

リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要
分析モデルに関する方法論的研究

昭和63年2月

高 山 純 一

リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要
分析モデルに関する方法論的研究

昭和63年2月

高山純一

序

我が国におけるモータリゼーションの進展は戦後急速に進行し、現在では既に自動車は国民生活、産業活動の上で欠くことができないものとなっている。一方、我が国における道路整備も第1次道路整備五箇年計画以来、道路特定財源制度の確立と堅持により、積極的に推進されてきているが、増大する自動車交通に対しては、まだその整備水準は質量ともに十分とはいえない。特に、都市部においては交通問題が深刻化しており、社会経済活動に重大な影響を及ぼしている。このような都市交通問題に対処するには、交通需要に見合った道路の整備が必要となるが、最近の大都市における地価高騰や財政再建下の厳しい情勢においては、道路の新設、拡幅といった早急な道路整備は、非常に困難な状況にあると考えられる。したがって、このような状況下では既存の道路施設を有効利用し、合理的に運用することが重要といえよう。

道路網の合理的な運用計画を策定するためには、現実道路網に即した形で交通流動をできる限り正確に把握することが必要となるが、従来の方法では費用および推計精度の面では対応が困難である。そこで、本研究ではリンクフロー観測値に基づく新しい観点からの交通需要分析モデルを提案し、従来より提案されているこの種のモデルとの比較検討により、その有効性と適用限界を明らかにした。

また、モデルの実際適用において問題となる大規模道路網への適用方法についても、メッシュ簡略化による方法を提案し、金沢都市圏の道路網を対象としたケーススタディにより、その適用性を検討した。

このように、本研究は主にリンクフロー観測値に基づく道路網交通需要分析モデルの方法論の確立と各種分析モデルの総合比較を目的としたものであり、当初の研究目的はある程度達成されたものとする。本研究の成果が今後の道路網整備計画立案の一助となれば幸いである。

昭和63年2月

高山 純一

目 次

第1章	序 論	
1. 1	本研究の目的および意義	1
1. 2	本研究の概要	2
	第1章 参考文献	4
第2章	需要分析モデルの分類と研究の発展経緯	
2. 1	概 説	5
2. 2	エントロピー最大化によるモデル	6
2. 3	情報量最小化によるモデル	7
2. 4	最尤法によるモデル	7
2. 5	残差平方和最小化によるモデル	8
2. 6	その他のモデル	11
2. 7	結 語	11
	第2章 参考文献	12
第3章	エントロピー最大化による分析モデル	
3. 1	概 説	19
3. 2	OD交通量を未知変量とするエントロピー最大化モデル	19
(1)	モデルの基本的な考え方と問題点	19
(2)	モデルの改良とその解法	21
3. 3	発生交通量を未知変量とするエントロピー最大化モデルの提案	22
(1)	モデルの基本的な考え方とその解法	22
(2)	スクリーンライン交通量を制約条件としたモデル	24
3. 4	推計誤差特性の比較分析	25
(1)	シュミレーションの方法	25
(2)	制約条件の相違による推計誤差比較	28
(3)	未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較	30
3. 5	結 語	36
	第3章 参考文献	38
第4章	情報量最小化による分析モデル	
4. 1	概 説	41

4. 2	モデルの基本的な考え方とその解法	4 1
(1)	道路区間交通量に関する情報量最小化モデル (IMA法L型)	4 1
(2)	スクリーンライン交通量に関する情報量最小化モデル (IMA法S型) の提案	4 4
4. 3	推計誤差特性の比較分析	4 5
(1)	シュミレーションの方法	4 5
(2)	IMA法L型とIMA法S型の推計誤差比較	4 7
4. 4	結 語	5 2
	第4章 参考文献	5 4
第5章	最尤法による分析モデル	
5. 1	概 説	5 7
5. 2	交通量変動特性の統計分析	5 8
(1)	分析に用いたデータの概要	5 8
(2)	交通量変動の要因分析	5 8
(3)	交通量変動の周期性と相関性	6 1
(4)	交通量の変動分布形	6 5
(5)	変動分布形の平均値と分散の関係	6 8
5. 3	OD交通量の不規則変動を考慮した最尤法モデルの提案	7 1
(1)	モデルの基本的な考え方とその解法	7 1
(2)	トリップエンド保存条件式を考慮したモデルの拡張	7 8
(3)	推計誤差分析のためのシュミレーションの方法	8 3
(4)	シュミレーション結果と考察	8 5
5. 4	OD交通量の周期変動を考慮した最尤法モデルの提案	9 5
(1)	モデルの基本的な考え方とその解法	9 5
(2)	推計誤差分析のためのシュミレーションの方法	9 8
(3)	シュミレーション結果と考察	9 9
5. 5	OD交通量の傾向変動を考慮した最尤法モデルの提案	1 0 5
(1)	モデルの基本的な考え方とその解法	1 0 5
(2)	モデルの簡略化とその改良法	1 0 9
(3)	推計誤差分析のためのシュミレーションの方法	1 1 1
(4)	シュミレーション結果と考察	1 1 3
5. 6	結 語	1 1 8
	第5章 参考文献	1 2 2

第6章	残差平方和最小化による分析モデル	
6. 1	概 説	1 2 5
6. 2	OD交通量を未知変量とする分析モデル	1 2 5
(1)	OD交通量の残差平方和最小化モデル (OD交通量モデル)	1 2 5
(2)	道路区間交通量とOD交通量の総残差平方和最小化モデル (結合モデル1)	1 2 8
6. 3	発生交通量を未知変量とする分析モデルの提案	1 2 8
(1)	道路区間交通量の残差平方和最小化モデル (道路区間モデル)	1 2 8
(2)	発生交通量の残差平方和最小化モデル (発生交通量モデル)	1 3 0
(3)	道路区間交通量と発生交通量の総残差平方和最小化モデル (結合モデル2)	1 3 1
(4)	OD分布と道路区間利用率の同時決定方法	1 3 2
(5)	目的地選択確率の与え方と修正方法	1 3 3
6. 4	残差平方和最小化モデルの推計誤差特性の比較分析	1 3 6
(1)	シミュレーションの方法	1 3 6
(2)	残差平方和の定式化の相違による推計誤差比較	1 4 0
(3)	分布モデルの仮定の相違による推計誤差比較	1 4 8
(4)	未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較	1 5 3
6. 5	他の各種分析モデルとの関係	1 5 5
(1)	χ^2 値最小化モデルとの関係	1 5 5
(2)	エントロピー最大化モデルとの関係	1 6 0
(3)	情報量最小化モデルとの関係	1 6 1
(4)	最尤法モデルとの関係	1 6 1
6. 6	各種分析モデルの推計誤差特性の比較分析	1 6 2
(1)	シミュレーションの方法	1 6 2
(2)	モデル構造の相違による推計誤差比較	1 6 2
(3)	未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較	1 7 0
6. 7	結 語	1 7 7
	第6章 参考文献	1 8 0
第7章	ネットワーク表示の簡略化と需要分析モデルの実際への適用性	
7. 1	概 説	1 8 3
7. 2	大規模道路網を対象としたネットワーク解析手法に関する 従来の研究	1 8 4
(1)	ネットワークの分割, 階層化による方法	1 8 4

(2)	ネットワーク表示の簡略化による方法	184
(3)	その他の方法	185
7. 3	ネットワーク表示における細街路交通省略の影響分析と推計	
	精度向上策	185
(1)	影響分析を行うためのシミュレーションの方法	185
(2)	シミュレーション結果と考察	189
(3)	発生交通量比率を用いた推計精度向上策	194
7. 4	ネットワーク分割による需要分析モデルの計算法	197
(1)	計算法の基本的な考え方	197
(2)	シミュレーションの方法	200
(3)	シミュレーション結果と考察	201
7. 5	ネットワーク表示簡略化による交通量配分法の提案	204
(1)	簡略化の基本的な考え方	204
(2)	簡略化のためのメッシュ分割方法	206
(3)	メッシュ分割を用いた交通量配分法	207
(4)	シミュレーションの方法	209
(5)	シミュレーション結果と考察	211
7. 6	金沢都市圏を対象としたケーススタディ	214
(1)	メッシュ分割配分法を用いた需要分析モデル	214
(2)	使用データおよびメッシュ分割による簡略化ネットワーク の作成	218
(3)	シミュレーションの方法	223
(4)	シミュレーション結果と考察	228
7. 7	結 語	232
	第7章 参考文献	234
第8章	結 論	
8. 1	本研究の成果	237
8. 2	今後の課題	242
	謝 辞	245

第1章 序 論

1. 1 本研究の目的および意義

我が国の大部分の都市は第2次世界大戦後の急速な発展により工業化、都市化が進み、それにともない市街地が大きく拡大して来た。しかし、都市化の進行が急速であるために、それに見合った社会資本の整備が遅れ、市街地拡大とのアンバランスが問題となって来ている。特に、交通施設整備の遅れが都市周辺部での朝夕の交通渋滞、幹線道路周辺での騒音、振動問題など大きな社会問題を引き起している。

これらの問題の解決には、現状道路網の整備、新設道路の建設など中長期的には交通施設の整備拡充が必要であるが、短期的には交通規制策による現状道路網の合理的運用が効果的であろう。合理的な道路網運用計画を策定するためには、現実道路網に即した形で交通流動をできるだけ正確に把握することが必要であるが、従来主に用いられて来た四段階推計法では広域的なパーソントリップ調査をベースとするため、調査や解析に膨大な費用と時間が必要であり、都市圏全体での巨視的な総合交通計画の立案には有効であるが、現実道路網を対象とした微視的な交通政策（たとえば、交通規制など）の策定には、費用および推計精度の面での対応が困難である。しかも、短期間に何度もOD調査を実施することは、事実上不可能といえる。それゆえ、より経済的で、推計精度の信頼性が高く、しかも推計作業が迅速に行える新しい推計モデルの開発が期待されてきた。

新しい推計手法として最近注目をあびているのが、非集計行動モデルを応用したOD推計モデルと観測交通量に基づいた道路網交通需要分析モデル（以後、「分析モデル」と呼ぶ）である。前者のモデルの利点は、個人の交通行動をモデル化することにより、少ないサンプル数でモデル構築が行えるところにある。また、政策変数を入れることにより、各種政策評価が可能なところも利点である。ただし、現段階ではまだOD推計には、パーソントリップ調査などの大規模調査データを必要とするため、その点が今後の課題となっている^{1),2)}。一方、後者の最も大きな利点は、既存のOD交通量データが得られる場合、道路区間交通量を観測するだけで現実道路網に即した形のOD交通量が容易に推計できる点にある³⁾。既存OD交通量が入手できない場合には、簡単なサンプル調査を実施するか⁴⁾、あるいは重力モデルなどの分布モデルを平均的OD分布として、そのパラメータを求めればよい^{5),6)}。推計値の信頼性の面でも、観測交通量の誤差が極端に大きくない限り、比較的高い精度で推計値が得られることが、これまでのモデル計算で検証されている^{7)~9)}。しかも、既存の交通量調査資料（道路交通センサス資料、車両感知器データなど）を有効利用できるのも、非常に経済的な手法といえよう。

本研究では、これまでに提案された観測リンク交通量に基づく分析モデルをそのモデル構造により分類し整理するとともに、新しくいくつかの分析モデルを提案する。そして、それと同時に従来比較検討が行われてこなかったこれらの分析モデル（ただし、既存のOD交通量データが得られる場合、あるいは簡単なサンプル調査が実施できる場合に適用可能な分析モデルに限定して）の総合比較を行い、モデ

ルの実際適用において問題となるインプットデータの誤差の影響や推計計算に必要な計算時間の比較により、各分析モデルの有効性とその適用限界を明らかにすることを目的とする。

また、分析モデルの大規模道路網への適用には膨大な計算機容量と計算時間が必要となるので、計算手法そのものの効率化をはかると同時にネットワーク表示の簡略化が必要となる。本研究ではメッシュ分割によるネットワーク表示の簡略化手法¹⁰⁾を提案するとともに、道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデル(道路区間モデル)の分布・配分同時推定への適用を考え、金沢都市圏の道路網を対象としたケーススタディ¹¹⁾により、その有効性と適用限界を明らかにする。

このように、既存のOD交通量データが得られる場合あるいは簡単なサンプル調査が実施できる場合に適用可能な分析モデルのみではあるが、各種分析モデルの適用性を同一の条件により比較検討した研究¹²⁾(あるいは、関連論文のレビューを行った研究¹³⁾)は少なく、これまで個々に行われて来た適用性の検討結果を総合的に評価したところに本研究の大きな意義があるといえよう。

1. 2 本研究の概要

本研究は8章によって構成されており、その内容は第1章が序論、第2章から第7章が本論、第8章が結論であり、第8章において研究全体のまとめを行っている。以下に、第2章以降の具体的内容と研究全体の構成を示す。

第2章では、観測リンク交通量に基づく従来の研究をその定式化方法(モデル構造)により分類し、研究の発展経緯をまとめるとともに、本研究で提案する各種分析モデルの位置づけを明確にする。具体的には、エントロピー最大化によるモデル、情報量最小化によるモデル、最尤法によるモデル、残差平方和最小化によるモデル、および上記以外のその他の定式化によるモデルについて、それぞれ従来の研究をまとめ、各分析モデルの特徴を記述する。

第3章では、エントロピー最大化によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、従来開発されて来たモデルを整理するとともに、その改良方法の提案を行う。さらに、発生交通量の発生確率に着目した発生エントロピー法を提案し、各エントロピーモデルの適用性をシミュレーションにより検討する。具体的には、外生的に与えるインプットデータの誤差の影響および制約条件の相違あるいは未知変量の取り扱い方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討を行う。

第4章では、情報量最小化によりモデル定式化を行う Information Minimising Approach (IMA)法を取り上げ、その推計特性を明らかにする。また、計算時間の節約を目的としたスクリーンライン交通量による改良モデルの提案を行い、その適用性を検討する。

第5章では、最尤法によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、モデル定式化の背景ならびに交通量変動特性に応じて使い分ける3タイプの最尤法モデルを提案する。そして、モデル計算を用いたシミュレーションによりその適用性を検討する。まず、実際の交通量観測データの変動特性を分析し、交通量変動の周期性および相関性を明らかにする。また、交通量変動の分布形を検定し、平均交通量と分散の関係など日々変動する交通量の変動特性を明らかにする。そして、その変動特性をもとにモデル

定式化を行い、モデル計算を用いたシミュレーションによりモデルの適用性を検討する。

第6章では、まず残差平方和最小化によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、それぞれのモデルの推計特性とその適用限界をシミュレーションにより明らかにする。具体的には、簡単な道路網を対象としたシミュレーションにより残差平方和の定式化方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。また、分布モデル式、未知変量の取り扱い方法の相違による影響を比較検討することによりその適用性を明らかにする。さらに、第3章、第4章、第5章で検討を行った各種分析モデルと本研究では検討を行っていないが残差平方和最小化モデルと類似性が高い χ^2 値最小化モデルとのモデル構造を比較することにより、分析モデル相互の類似性とその推計特性を明らかにする。

第7章では、大規模道路網を対象としたネットワーク解析法に関する従来の研究を整理し、その問題点を明らかにする。そして、ネットワーク表示の省略が道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデル（道路区間モデル）にどのような影響を及ぼすか検討を行う。また、実際の大規模道路網へ分析モデルを適用する場合に問題となる計算機容量および計算時間の節約を目的として、道路区間モデルの効率的計算を行うネットワーク分割計算法とメッシュ分割配分法を導入したメッシュ法を提案し、金沢都市圏への適用を通して、その有効性と適用限界を明らかにする。特に、ここではメッシュ分割の大きさおよび簡略化ネットワークの作成方法の違いによる影響を検討することにより、モデル実用化の今後の課題を明らかにする。

第8章は本研究の結論であり、第2章～第7章で得られた成果をまとめるとともに、今後の研究課題を整理して示す。

なお、研究全体の構成を示すと、図-1.1のように表わすことができる。

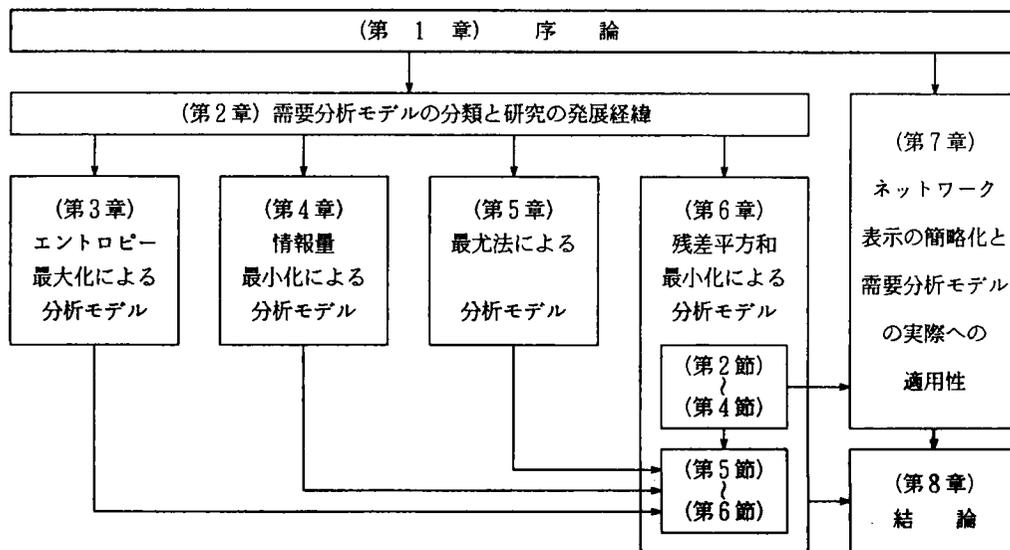


図-1.1 研究の全体構成を示すフローチャート

第1章 参考文献

- 1) 森地茂, 屋井鉄雄, 田村亮; 非集計行動モデルによる都市圏OD表の推計, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.399~400, 1985年9月
- 2) 森地茂, 屋井鉄雄, 田村亮; 非集計行動モデルによるOD交通量推計法, 土木計画学研究・論文集, No.2, pp.45~52, 1985年1月
- 3) 飯田恭敬; 発生交通量のみを変量とした実測交通量による交通需要推計法, 土木学会論文報告集, 第283号, pp.95~104, 1974年3月
- 4) *L.J. Leblanc and K. Farhangin; Selection of A Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows, Transpn. Res.-B Vol.16B, No.2, pp.83~88, 1982*
- 5) 井上博司; 交通量調査資料を用いたOD交通量の統計的推計法, 土木学会論文報告集, 第332号, pp.85~94, 1983年4月
- 6) *J. Holm, T. Jensen, S.K. Nielsen, A. Christensen, B. Johnsen and G. Ronby; Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only, Traffic Engineering and Control, Vol.17, No.4, pp.137~140, April, 1976.*
- 7) 前掲 3)
- 8) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; *Dial* 確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法, 都市計画別冊, 第19号, pp.13~18, 1984年11月
- 9) 飯田恭敬, 高山純一, 水口玲二; 発生交通量のみを変量としたリンク交通量による各種交通需要推計モデルの特性比較分析, 土木計画学研究・論文集, No.3, pp.145~152, 1986年
- 10) 飯田恭敬, 高山純一, 横山日出男; メッシュ分割によるネットワーク表示の簡略化手法を用いた交通量配分計算法, 土木計画学研究・論文集, No.2, pp.149~156, 1985年1月
- 11) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; ネットワーク表示簡略化手法を用いたリンク観測交通量からのOD推計法, 土木計画学研究・講演集, No.10, pp.109~116, 1987年11月
- 12) 井上矩之, 佐佐木綱; OD表修正による転換率制度の向上, 第32回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.109~110, 1977年10月
- 13) *L.G. Willumsen; Simplified Transport Models Based on Traffic Counts, Transportasion, Vol.10, pp.257~278, 1981*

第2章 需要分析モデルの分類と研究の発展経緯

2.1 概 説

道路区間上で観測されるリンク交通量データを利用して、対象地域内の交通需要量を推計する分析モデルがこれまでに数多く提案されている。これらのモデルは、対象地域の広さや利用できる交通量データの種類などにより、そのモデル定式化方法（モデル構造）も様々であり、いくつかのタイプに分類することができる。たとえば、対象ネットワークの大きさを分類すると、(1) 局所的なネットワーク（単独あるいは数個の交差点や道路区間）を対象とする場合と、(2) 広域的なネットワーク（都市内あるいは都市間）を対象とする場合に大別される¹⁾。また、利用可能データの種類の種類で分類すると、(1) 既存OD交通量データがある場合と、(2) 既存OD交通量データがない場合、あるいは経路選択に関する道路区間利用率が、(1) 外生的に与えられる場合（たとえば、既存配分理論^{2),3)}や経路調査^{4)~8)}などにより先決される場合）と、(2) モデル内の内生操作^{9)~15)}によって与える場合のそれぞれ2つに分類される。既存OD交通量データの有無は、推計計算のベースとなるOD分布パターンをどのようにして規定するかという問題に関係し、既存OD交通量データがある場合にはそのODパターンを事前情報として用いればよいが、既存OD交通量データがない場合には、一般に重力モデル式でOD分布パターンを与え、そのパラメータを推定する問題となる。

一方、モデルの定式化方法（モデル構造）で分類すると、道路区間交通量（あるいは、スクリーンライン交通量）については、現実値（観測値）と推計値（計算値）を制約条件として一致させる方法と、目的関数としてその残差平方和（誤差自乗和）を最小にする方法に、またODパターン（あるいは、発生交通量パターン）については、既存値と推計値のずれを最小化する方法と、まったく考慮しない方法（ただし、このような場合には重力モデルなどによりODパターンを与える）に分類され、これらの組合せによってモデル構造式が決められる¹⁶⁾。一般には、道路区間交通量（あるいは、スクリーンライン交通量）を制約条件として、次のように、(1) エントロピー最大化によりモデル定式化を行うモデル、(2) 情報量最小化によりモデル定式化を行うモデル、(3) 交通量の変動特性を考慮して最尤法によりモデル定式化を行うモデル、(4) 残差平方和最小化によりモデル定式化を行うモデル、さらに上記以外の方法、たとえば χ^2 値最小化あるいは交差点における右左折直進交通量比率を用いる方法など、(5) その他のモデル定式化によるモデル、の5つに分類される。

本章では、従来から提案されてきた分析モデルをモデル構造の違いにより分類し、整理するとともに、本研究で提案する分析モデルとの関係について記述する。

まず、第2節ではエントロピー最大化による分析モデルについて記述する。第3節では、情報量最小化による分析モデルについて記述する。第4節では、交通量の変動特性を考慮した最尤法による分析モデルについて記述する。第5節では、OD交通量あるいは発生交通量の残差平方和最小化による分析モ

デルについて記述する。第6節では、その他のモデルとして χ^2 値最小化あるいは右左折直進交通量比率などにより定式化を行う分析モデルについて記述し、第7節においてそれら全体のまとめを行う。

2. 2 エントロピー最大化によるモデル

道路区間上で観測される交通量データ（断面交通量あるいはスクリーンライン交通量）を利用して、エントロピー最大化により対象地域内のOD交通量を推計するエントロピー最大化モデルは、OD交通量の同時生起確率最大のお考え方により定式化されるが、いずれのモデルもOD交通量に関する先験情報（先験確率）が必要であり、過去に調査された既存OD交通量データ（あるいは、推計時点において行われる簡単なサンプル調査の調査OD交通量）を用いてOD推計を行うモデルである。

佐佐木綱等（1972）¹⁷、井上博司（1977）¹⁸は家庭訪問調査（パーソントリップ調査 etc.）によって推計されるOD交通量を実測されたスクリーンライン交通量（上下方向合計値）により修正する1つの方法（井上博司の方法）を提案した。この方法は調査によって得られたOD分布をトリップの起こり易さの程度を表わすものと解釈し、各スクリーンラインでの計算交通量が実測交通量に一致するOD分布のなかで、最も起こる確率が高いOD分布を求めようとする方法である。しかし、この方法では調査洩れによるODトリップの修正は可能であるが、ODパターンのひずみ（推計OD交通量と現実OD交通量のOD分布パターンのずれ）の修正については詳しい検討がなされていない。

一方、*H. J. Van Zuylen and L. G. Willumsen* (1980)¹⁹、*D. Van Vliet and L. G. Willumsen* (1981)²⁰は道路区間での観測交通量（断面交通量）を制約条件として、エントロピー最大化によりOD交通量を推計する方法（*Willumsen*の方法）を提案した。そして、さらに*L. G. Willumsen* (1984)²¹はそのエントロピーモデルを時間帯別のOD交通量推計に適用することを提案し、その基本的な考え方を示した。しかし、*Willumsen*は推計OD交通量の総和（トータル交通量）が一定であるとしてモデル定式化を行っているため、既存OD交通量の総和と推計OD交通量の総和が異なる場合には大きな問題となる。なぜなら、一般には推計時のトータル交通量は未知であり、傾向変動が大きい場合には既存OD交通量の総和と大きく異なることが予想されるからである。飯田・高山・小林（1986）²²は推計OD交通量の総和を未知としてモデル定式化を行う改良方法（改良*Willumsen*法）を提案するとともに、新たにOD遷移確率モデルを導入した発生交通量に関するエントロピーモデル（発生エントロピー法）を提案し、これまでに提案された上記エントロピーモデルとの比較検討を行っている。さらに、飯田恭敬等（1986）²³はスクリーンライン交通量を制約条件とした発生エントロピーモデルを提案し、簡単なモデル計算を用いたシミュレーションによりその適用性を検討している。

このエントロピー最大化による考え方は広域的なネットワークを対象とした上記の各研究に対してばかりではなく、局所的なネットワークに対しても適用可能であり、*E. Hauer, E. Pagitsas and B. T. Shin* (1981)²⁴は交差点における右左折直進交通量を対象にモデル定式化を行った。そして、その後*L. J. Mountain and P. M. Westwell* (1983)²⁵がそのエントロピーモデルの適用性を交

差点での車両感知器データと一部人間による観測データを用いて検討し、このモデルを用いれば簡単にOD交通量を推計することができることを示した。しかし、モデルの適用に当っては、いずれもOD交通量に関する先験的な情報（先験確率）が必要であり、その解法には繰返し計算法（ファーンエス法に類似した収束法）を用いなければならないという特徴を持つとしている。

2. 3 情報量最小化によるモデル

情報量最小化によりモデル定式化を行うIMA（Information Minimising Approach）法は、Henk J. Van Zuylen(1978)²⁶⁾がBrillouin情報尺度²⁷⁾を用いて定式化したものであり、OD交通量の構成の仕方を道路区間上で考え、確率的に最も起こりやすい状態のOD交通量を求める方法として提案したものである²⁸⁾。しかし、この方法は各道路区間でそれぞれ情報量を計算し、全体として情報量が最小になるように、OD分布を決定するものであるため、対象道路網が大規模になり観測地点数（制約条件として取り入れる選択リンク数）が多くなると、非線形連立方程式の数が多くなるため、計算時間および計算機容量の制約から計算が困難になるという問題点を持つ。

そこで、飯田・高山・小林(1985)²⁹⁾、高山純一等(1986)³⁰⁾は計算時間および計算機容量の節約を目的として、非線形連立方程式の数を減らす新しい方法の提案を行い、その適用性の検討を行っている。この方法は1つの道路区間に着目するのではなく、1本のスクリーンライン（上下方向別）に着目して定式化を行うものであり、OD別スクリーンライン交通量の同時確率最大化より導かれる。

本研究では、道路区間交通量を制約条件とする分析モデル（IMA法L型）の定式化方法とスクリーンライン交通量を用いたモデルの改良方法（IMA法S型）を示し、それぞれのモデルの推計特性の比較検討を行う。そして、情報量最小化による分析モデルの有効性と適用限界を明らかにする。

2. 4 最尤法によるモデル

リンクフロー観測値から道路網内の交通需要量を推計する最尤法モデルのモデル定式化方法は、既存OD交通量データがある場合とない場合で異なっており、過去にOD調査（パーソントリップ調査あるいはカートリップ調査）が実施され、信頼性のあるOD表が得られている場合には、このOD表をベースとして各リンク上での観測交通量から現在（リンク交通量の観測時）のOD表を推計すればよいが、既存OD交通量データがない場合、あるいは調査から相当年月が経過してOD分布のパターンが変化している場合（たとえば、傾向変動が大きい場合）には、重力モデル値を基本的なOD分布パターンとして、そのパラメータを推計する方法を用いなければならない。井上博司(1979)³¹⁾は交通量変動を考慮するために、OD交通量を1つの確率変数として取り扱い、その確率分布（正規分布）を理論的に誘導するとともに、最尤法を用いて観測リンク交通量（断面交通量）からOD交通量を推計する最尤法モデルを提案した。しかし、モデル定式化において仮定した断面交通量相互の独立性が問題であるため、その後井上博司(1983)³²⁾はOD交通量の不規則変動とOD調査における標本誤差を考慮した改良

モデルを提案している。なお、このモデルは井上博司（1977）³³）が先に提案したスクリーンライン交通量を用いてパーソントリップ調査OD交通量を最尤法により修正する考え方に基づいたものであり、その解法には繰り返し計算を用いなければならない。

高山・飯田等（1983）³⁴）、（1984）³⁵）は井上博司の方法と同様な考え方に基づいて不規則変動を考慮する最尤法モデルを提案している。井上法との違いは道路区間交通量相互の相関関係を考慮した点にあり、発生・集中トリップエンド条件式を考慮する場合についてもモデル定式化を行い、その適用性の検討を行っている。

また、飯田恭敬・高村義晴（1980）³⁶）、高山・飯田等（1983）³⁷）、（1984）³⁸）はOD交通量が周期変動し、相関を持って変化する場合に適用する最尤法モデルを提案している。しかし、ODペア相互の相関係数の与え方および計算機容量の節約が今後の研究課題といえる。

J. Holm et al.（1976）³⁹）は重力モデル値を平均的なOD分布パターンとして、Smockの配分方法⁴⁰）によって得られる計算交通量と観測交通量から、最尤法によって重力モデル式のパラメータを推定する方法を開発した。この方法は道路網各リンクでの観測交通量の分布の独立性を仮定することによって、重力モデル式の発生係数、トリップ長指数の最尤推定値を求め、これによってOD交通量の推定を行うモデルである。しかし、実際には同じ路線のリンク相互間あるいは隣接しているリンク相互間の相関係数は高く、この方法が信頼性の高いOD交通量を推計できるかどうか疑問である。そこで、井上博司（1981）⁴¹）、（1983）⁴²）は現実のOD交通量が重力モデル値を平均値とする正規分布に従い、互いに独立であることを仮定することによりモデル定式化を行い、各リンクでの計算交通量が観測交通量に一致するOD交通量の組合せのうちで、その同時生起確率密度を最大にするOD交通量を重力モデル式のパラメータと同時に推計する方法を提案している。

また、高山・飯田・竹内（1983）⁴³）、飯田・高山・金子（1985）⁴⁴）、（1987）⁴⁵）は既存OD調査時点と推計時点のODパターンが異なり、傾向変動が無視できない場合に適用する最尤法モデルを提案している。このモデルは、発生交通量を未知変量とした重力モデルにより推計時点の母平均OD交通量（母数）を推計するステップと、その推計母数を用いて現実OD交通量を推計するステップの2つのステップにより構成されている。

井上博司および飯田・高山等のモデルではいずれも起終点間の経路選択率（道路区間利用率）を外生的に与える必要があるが、J. Holm et al.のモデルでは内生操作により交通量配分を行っているので経路選択率を外生的に与える必要はないといえる。なお、この最尤法によるモデル定式化の考え方は、ベイズの統計的推論により行われるもので、この他にもM. J. Maher（1983）⁴⁶）が同様なモデルを提案している。しかし、M. J. MaherのモデルにおいてもOD交通量相互および道路区間交通量相互の分散・共分散行列をどのように与えるかが今後の課題といえる。

2. 5 残差平方和最小化によるモデル

残差平方和最小化による分析モデルは前述したように、道路区間交通量を制約条件とする場合と目的

関数とする場合の2つに大別され、既存OD交通量データがある場合には既存OD交通量との残差平方和を最小化するようにモデル定式化が行われるが、既存OD交通量データがない場合にはOD分布パターンを重力モデル式などで与え、道路区間交通量の残差平方和が最小になるようにそのパラメータを推定する問題となる。

D. E. Low(1972)⁴⁷⁾はゾーン間交通量(OD分布)を人口をもとにした重力モデル式で与え、その線形回帰によって解くモデルを作成した。P. Högberg(1976)⁴⁸⁾はOD交通量を3つのクラス(home-work, home-home, work-work)に分け、非線形回帰式によって表わされる重力モデル式のパラメータを道路区間交通量の残差平方和が最小になるように繰り返し計算を用いて解く方法を示した。Overgard(1972)⁴⁹⁾は重力モデルの交通抵抗関数をスクリーンラインの計算交通量が観測交通量によく適合するように推定する手法を示した。T. Jensen and S. K. Nielsen(1973)⁵⁰⁾は重力モデル式のパラメータをAll-or-nothing法によって得られた計算交通量と観測交通量の残差平方和が最小となるように決定する手法を提案した。P. Robillard and M. Trahan(1973)⁵¹⁾、P. Robillard(1976)⁵²⁾はリンク交通容量を考慮しない比例配分モデルに対して、リンクフローの観測値と計算値の誤差自乗和(残差平方和)が最小となるようにOD交通量を推計する方法を示した。しかし、リンク交通容量を考慮した非線形配分モデルの場合については、理論の拡張が困難であり今後の課題としている。また、M. Carey, C. Hendrickson and K. Siddharthan(1981)⁵³⁾はOD交通量に関する不完全な集計データとリンクフロー観測値から線形結合(重力モデルの場合は対数をとって線形化する)によって表わされる直接需要関数のパラメータを2次計画問題として解く手法を提案した。この手法はコードンライン等でのインタビュー調査によって得られる不完全なOD表をいくつかの発生・集中交通量(カット交通量として観測される)とリンクフロー観測値の制約条件のもとに推計するものである。しかし、線形制約条件を有する2次計画問題を解く必要があるため、大規模道路網に対してはその計算量が問題となる。

S. Nguyen(1977)⁵⁴⁾はネットワーク均衡の概念を取り入れた手法を提案した。しかし、Nguyenのモデルでは解の唯一性が保証されないため、Y. Gur et al.(1978)⁵⁵⁾はターゲットマトリックスを導入することによりNguyenモデルの適用を実際に試みた。また、L. J. Leblanc and K. Farhangian(1982)⁵⁶⁾もリンクフロー観測値に一致させ、ネットワーク均衡条件のもとにアンケート等で得られるターゲットマトリックスと推計OD交通量の残差平方和(誤差自乗和)が最小となるようにモデル定式化を行った。これらのモデルはネットワーク均衡問題として取り扱うことにより、経路選択についての情報を先験的に与えなくてもよいという利点を持つが、ターゲットマトリックスをいかにして与えるかが問題点として残される。また、井上博司(1981)⁵⁷⁾もネットワーク均衡問題(リンクフロー観測値を制約条件として用いる)としてモデル定式化を行い、簡単な計算例によりその解法を示した。しかし、大規模道路網への適用とその計算法については今後の課題としている。

一方、既存OD交通量データがある場合には、一般にそのOD交通量をリンクフロー観測値を用いて修正するという考え方によりモデル定式化が行われる。このタイプのモデルの中で最も単純なものは、すべてのODペアに対して一定の倍率[K]をかけてOD表を修正するというものである。佐佐木綱等

(1972)⁵⁸⁾ はスクリーンライン上の計算交通量と観測交通量の残差平方和が最小となるように修正倍率 [K] を求め、それをを用いてOD交通量を修正する方法 (一定倍率法) を提案した。また、井上矩之・佐佐木綱 (1976)⁵⁹⁾ は計算交通量が観測交通量に一致する (ただし、経路選択率は外生的に与えられる) という条件のもとでOD交通量の調査値と修正後の値の差 (補正量) の平方和が最小となるように、OD交通量を修正する方法 (補正量平方和最小化法) を提案した。その後、佐佐木・井上・大矢 (1977)⁶⁰⁾ は総トリップ数不変の条件を付加する場合やOD交通量に重み付けを行って定式化する場合の修正法を提案し、それぞれの修正法の適用性を高速道路における調査データを利用して検討している。さらに、井上矩之・佐佐木綱 (1977)⁶¹⁾ は、それまでに提案された一定倍率法、エントロピー法 (スクリーンライン交通量を用いたエントロピー最大化法)、補正量平方和最小化法のそれぞれの手法の適用性について比較検討を行っている。比較検討に利用したデータが高速道路を対象としたものであり、一般の都市圏を対象としたパーソントリップ調査データに比べて特異なデータであるといえるが、モデル定式化の理論的側面からの検討も行っており、研究的意義は大きいといえる。

また一方、飯田恭敬 (1979)⁶²⁾ は起終点間の経路選択率が先決されているという前提のもとで、OD分布を発生交通量を未知変量とした二重制約型の重力モデル構造で表わし、リンクフローの計算値と観測値の残差平方和が最小となるようにモデル定式化を行い、そのときの発生交通量を求めることによりOD交通量を推計する方法を提案した。この方法はその後金井一二等 (1984)⁶³⁾、飯田恭敬等 (1984)⁶⁴⁾ により *Dial* 確率配分法を導入することで、経路選択問題を内生化したモデルとして改良されている。しかし、この二重制約型の分析モデルは道路網形態が線形状あるいはループ状である場合に、解がユニークに定まらないケースがあるため⁶⁵⁾、その後、飯田・高山・水口 (1986)⁶⁶⁾ が一重制約型の修正重力モデル、介在機会型のモデル、あるいはOD推移確率を固定値として与えるOD推移確率モデルとして改良を加え、それぞれのモデルの適用性の比較検討を行っている。さらに、OD推移確率が固定値として与えられる場合には、道路区間交通量の残差平方和最小化によるモデル定式化方法の他にも、道路区間交通量を制約条件として、発生交通量の残差平方和を最小化するモデル定式化 (発生交通量モデル)、あるいは道路区間交通量と発生交通量の総残差平方和を最小化するモデル定式化 (結合モデル2) が考えられる。高山純一・飯田恭敬 (1985)⁶⁷⁾、Y. Iida and J. Takayama (1986)⁶⁸⁾ は、上記3タイプのモデルを提案し、その適用性をシミュレーションにより検討している。しかし、OD推移確率を固定値として用いるために、既存OD調査時点と推計時点でOD分布パターンが大幅に変化している場合には推計精度が悪化することが予想される。そこで、飯田・秋山・桂川 (1986)⁶⁹⁾、飯田・高山・中島 (1987)⁷⁰⁾ はOD推移確率 (目的地選択確率) をupdate (更新) して推計を行う修正方法を提案している。

また、交差点における右左折直進交通量 (OD交通量) を対象として、M. Norman et al (1979)⁷¹⁾ は繰り返し計算を必要としない方法を提案している。この方法はOD交通に関する先験的な情報が得られない場合においても適用可能であり、モデルの定式化は残差平方和最小化、あるいは χ^2 値最小化により行われる。そして、先験的情報が得られる場合にはエントロピー最大化⁷²⁾ (あるいは、情報量最小化⁷³⁾) による方法とほとんど同じ程度の推計精度が得られるとしている。

2. 6 その他のモデル

上記以外のその他の方法によるモデル定式化としては、残差平方和最小化の代わりに χ^2 値最小化によりモデル定式化を行う方法あるいは交差点での右左折直進交通量比率を用いる方法などが考えられる。

第5節で述べた *M. Norman, N. Hoffmann and F. Harding* (1979)⁷⁴⁾の方法は交差点における流入・流出交通量から繰り返し計算を用いず、右左折直進交通量(交差点内OD交通量)を推計する方法であり、残差平方和最小化あるいは χ^2 値最小化により定式化が行われる。

E. Hauer and B-Y. Tom Shin (1981)⁷⁵⁾は都市内の短い道路区間を取り上げ、各交差点での右左折直進交通量比率から右左折直進交通量を推定する方法を提案している。このモデルは計算方法が非常に単純であるという利点を持つが、交差点での流入・流出交通量の条件が満足されないという欠点がある。また、飯田恭敬(1978)⁷⁶⁾、飯田・浅井・椿川(1980)⁷⁷⁾は1つの交差点とこれに接続する道路区間および隣接交差点を基本部分道路網とし、基本部分道路網ごとにOD交通量を推計し、それを逐次結合することによって、対象道路網全体の交通需要量を推計する方法を提案している。この方法は、基本部分道路網ごとに車両番号照合法などによって右左折直進交通量比率(OD比率)を求めておけば、交差点への流入・流出交通量を観測するだけで簡単に基本部分道路網のOD交通量を推計することができる。しかし、対象道路網が大きくなると結合による誤差が累積し、推計精度が悪化するため、モデルの適用はある程度狭い範囲に限るのがよいとしている。一方、佐佐木綱(1965)⁷⁸⁾の提案した吸収マルコフ過程による交通流配分モデルを応用すれば、交差点における遷移確率(発生・集中および右左折直進交通量の確率)を与えることにより、OD交通量を推計することができる。このモデルは、交差点をゾーンの代表として、その交差点に発生・集中(吸収)点を設け、道路区間を過渡状態としてモデル化を行うものであり、基本部分道路網ごとに車両番号照合法などにより遷移確率を求めておけば、簡単にOD推計を行うことができる。しかし、実際の交通流が吸収マルコフ過程に従っているかどうかは不明であり、マルコフ連鎖がほぼ成り立つと考えられる交通混雑の著しい場合に限り、適用が可能と考えられる。

2. 7 結 語

本章では、これまでに提案された数多くの分析モデルをモデル定式化方法の違いにより分類し、その特徴を整理した。その結果、観測リンク交通量に基づく分析モデルは多種多様であり、その適用条件も異なるため、すべてのモデルを同一基準で比較することは不可能といえる。

そこで、本研究では、(1) 既存OD交通量データが得られ、(2) 起終点間に関する経路選択率(道路区間利用率)が外生的に与えられる場合に適用を限定して、各種分析モデルの適用性を比較検討する。ただし、一部のモデルについては、経路選択率を内生化した計算方法を提案し、大規模道路網への適用を試みる。

第2章 参 考 文 献

- 1) 飯田恭敬, 高山純一; リンクフローによるOD交通量推計モデル, 土木計画学講習会テキスト「交通ネットワークの分析と計画; 最新の理論と応用」, Vol. 18, pp. 97 ~118, 1987年
- 2) Robert B. Dial; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.*, Vol. 5, pp. 83 ~111, 1970.
- 3) 井上博司; 等時間原則交通量配分における経路交通量の推定, *交通工学*, Vol. 13, No. 1, pp. 3 ~9, 1978年1月
- 4) 鈴木尚一, 垂沢璋治; 自動車走行経路調査について, *交通工学*, Vol. 7, No. 5, pp. 14 ~24, 1972年9月
- 5) 越 正毅, 片倉正彦, 北川久; プレートナンバー法による街路網の走行経路解析, *交通工学*, Vol. 8, 増刊号, pp. 3 ~13, 1973年
- 6) 飯田恭敬, 高山純一; 基本部分道路網における車両番号照合法の解析について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 288 ~289, 1980年2月
- 7) 飯田恭敬, 高山純一; 車両番号照合法による道路網交通流解析法, 第5回交通工学研究発表会論文集, pp. 42 ~44, 1980年11月
- 8) 高山純一, 飯田恭敬; 交通需要予測のための部分道路網の交通流解析, 金沢大学工学部紀要, 第14巻2号, pp. 97 ~107, 1981年10月
- 9) T. Jensen and S.K. Nielsen; Calibrating A Gravity Model and Estimating Its Parameters Using Traffic Volume Counts, *Proceedings from the English University Traffic Engineer's yearly congress*, January 1973.
- 10) J. Holm, T. Jensen, S.K. Nielsen, A. Christensen, B. Johnsen and G. Ronby; Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 17, No. 4, pp. 137 ~140, April, 1976.
- 11) 井上博司; 交通量調査データだけを用いるOD交通量推計法, 第3回土木計画学研究発表会講演集, pp. 277 ~282, 1981年1月
- 12) S. Nguyen; Estimating An O-D Matrix from Network Data, *Centre de recherche sur les Transports, Universite de montreal, Publication 87*, 1977
- 13) Y. Gur et al.; Determining An Origin-Destination Trip Table Based on Observed Volumes, *ORSA-TIMS Annual Meeting*, New York, May 1978
- 14) L.J. Leblanc and K. Farhangian; Selection of A Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows, *Transpn. Res.-B* Vol. 16B, No. 2, pp.

83 ~88, 1982

- 15) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; *Dial* 確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法, 都市計画別冊, 第19号, pp.13~18, 1984年11月
- 16) 飯田恭敬, 高山純一, 秋山考正; リンク交通量による道路網交通需要推計モデルの定式化方法とその精度比較分析, 昭和60・61年度文部省科学研究費補助金 一般研究(C) 研究成果報告書, 1987年3月
- 17) 佐佐木綱, 岡本利章, 井上博司, 杉山守久; スクリーンライン調査によるOD表の修正, 昭和47年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-1~IV-2, 1972年
- 18) 井上博司; スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法, 交通工学, Vol.12, No.6, pp.11~19, 1977年11月
- 19) *H. J. Van Zuylen and L. G. Willumsen*; The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts, *Transpn. Res.-B*, Vol.14B, pp.281~293, 1980.
- 20) *D. Van Vliet and L. G. Willumsen*; Validation of The ME2 Model for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts, *Proceedings of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Tronto University, pp.640~655, June 1981.
- 21) *L. G. Willumsen*; Estimating Time-dependent Trip Matrices from Traffic Counts, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Delft University, pp.397~411, June 1984.
- 22) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二; リンク観測交通量を用いたエントロピー最大化による道路網交通需要推計法, 土木計画学研究・講演集, No.9, pp.441~448, 1986年10月
- 23) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二, 中田淳之介; スクリーンライン交通量を制約条件とした発生エントロピーモデル, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.370~371, 1987年3月
- 24) *E. Hauer, E. Pagitsas and B. T. Shin*; Estimation of Turning Flows from Automatic Counts, *Transportation Research Record* 795, pp.1~7, 1981
- 25) *Linda J. Mountain and Paul M. Westwell*; The Accuracy of Estimation of Turning Flows from Automatic Counts, *Traffic Engineering and Control*, Vol.24, No.1, pp.3~7, 1983
- 26) *H. J. Van Zuylen*; The Information Minimising Method; Validity and Applicability to Transport Planning. In *New Developments in Modelling Travel Demand and Urban Systems* (Edited by *G. R. M. Jensen et al.*) Saxon, Farnborough, 1978.

- 27) *L. Brillouin; Science and Information Theory, Academic Press, New York., 1956.*
- 28) 前掲 19)
- 29) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二; 道路区間交通量を用いた情報量最小化による道路網交通需要推計法, 第16回日本道路会議一般論文集, pp.11~12, 1985年10月
- 30) 高山純一, 飯田恭敬, 高山 篤, 小林光二; 能登地域を対象とした Information Minimising Approach によるOD調査法, 第41回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第四部, pp.53~54, 1986年11月
- 31) 井上博司; 路上交通量観測による自動車OD交通量の推計, 第1回土木計画学研究発表会講演集, pp.37~40, 1979年
- 32) 井上博司; 交通量調査資料を用いたOD交通量の統計的推計法, 土木学会論文報告集, 第332号, pp.85~94, 1983年4月
- 33) 前掲 18)
- 34) 高山純一, 飯田恭敬, 高村義晴, 竹内宏樹; OD交通量の不規則変動を考慮した交通量観測による道路網交通需要推計法, 金沢大学工学部紀要, 第16巻1号, pp.61~72, 1983年3月
- 35) 高山純一, 飯田恭敬, 山口義雄; トリップエンド条件式を考慮した最尤推定法による実測路上交通量予測モデル, 金沢大学工学部紀要, 第17巻1号, pp.31~42, 1984年3月
- 36) 飯田恭敬, 高村義晴; OD交通量が相関を有する場合の道路網交通需要推計モデル, 第2回土木計画学研究発表会講演集, pp.161~165, 1980年1月
- 37) 高山純一, 飯田恭敬, 竹内宏樹; OD交通量変動が相関を有する場合の道路網交通需要推計法の適用性について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.306~307, 1983年2月
- 38) 高山純一, 飯田恭敬; 周期変動を考慮した実測交通量による交通需要推計法, 土木計画学研究論文集, No.1, pp.43~50, 1984年1月
- 39) 前掲 10)
- 40) *R. Smock; An Iterative Assignment Approach to Capacity Restraint on Arterial Networks, H.R.B., Bulletin 347, pp.60~66, 1962*
- 41) 井上博司; 交通量観測資料を用いるOD交通量の統計的推計法, 第36回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第四部, pp.383~384, 1981年10月
- 42) 前掲 32)
- 43) 高山純一, 飯田恭敬, 竹内宏樹; 傾向変動を考慮した確率論的手法による道路網交通需要推計法, 第5回土木計画学研究発表会講演集, pp.386~392, 1983年1月
- 44) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; 傾向変動を考慮した最尤推定法による実測路上交通量モデル, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第四部, pp.409~410, 1985年9月
- 45) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; 傾向変動を考慮したリンク交通量によるOD交通量推計法, 土木学会論文集, No.383(IV-7), pp.83~91, 1987年7月

- 4 6) *M. J. Maher* ; Inferences on Trip Matrices from Observation on Link Volumes A Bayesian Statistical Approach, *Transpn. Res.- B*, Vol.17B, No. 6, pp.435 ~447, 1983
- 4 7) *D. E. Low* ; A New Approach to Transportation Systems Modeling, *Traffic Quarterly*, pp.391 ~404, July, 1972.
- 4 8) *P. Hogberg* ; Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction ; A Non-linear Approach, *Transpn. Res.*, Vol.10, pp.263 ~265, 1976
- 4 9) *Overgard* ; Development of A Simplified Traffic Model for The City of Silkeborg, Paper presented at the O. E. C. D. T. 7 group in Copenhagen, 1972.
- 5 0) 前掲 9)
- 5 1) *P. Robillard and M. Trahan* ; Estimating The O-D Matrix and Network Characteristics from Observed Volumes , *Proceedings of the International Conference on Transportation Research, The 1st Conference*, pp.736 ~740, 1973
- 5 2) *P. Robillard* ; Estimating The O-D Matrix from Observed Link Volumes, *Transpn. Res.* Vol.9, pp.123 ~128, 1975
- 5 3) *M. Carey, C. Hendrickson and K. Siddharthan* ; A Method for Direct Estimatin of Origin/ Destinatin Trip Matrices, *Transportation Science* Vol.15, No.1, pp.32 ~49, 1981
- 5 4) 前掲 1 2)
- 5 5) 前掲 1 3)
- 5 6) 前掲 1 4)
- 5 7) 前掲 1 1)
- 5 8) 前掲 1 7)
- 5 9) 井上矩之, 佐佐木綱; 断面交通量調査によるOD表の修正, 第31回土木学会年次学術講演会講演概要, 第IV部, pp.237, 1976年10月
- 6 0) 佐佐木綱, 井上矩之, 大矢正樹; 断面交通によるOD表の修正, 昭和52年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-6 ~IV-7, 1977年
- 6 1) 井上矩之, 佐佐木綱; OD表修正による転換率制度の向上, 第32回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.109~110, 1977年10月
- 6 2) 飯田恭敬; 発生交通量のみを变量とした実測交通量による交通需要推計法, 土木学会論文報告集, 第283号, pp.95 ~104, 1974年3月
- 6 3) 金井一二, 高山純一, 飯田恭敬, 水口玲二; 経路指定を行わない重力モデル型実測路上交通量

- モデル, 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.277 ~ 278, 1984年10月
- 64) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; OD推移確率が既知の場合の道路網交通需要推計モデル, 第7回交通工学研究発表会論文集, pp.52 ~ 54, 1984年11月
- 65) *Y. Iida and J. Takayama*; Traffic Demand Estimation Model for Actual Road Network by Observed Link Flows Regarding Generation Trips only as Unknowns, Proceedings of the 3rd World Conference on Transportation Research, Vol.1, pp.130 ~142, 1983
- 66) 飯田恭敬, 高山純一, 水口玲二; 発生交通量のみを変量としたリンク交通量による各種交通需要推計モデルの特性比較分析, 土木計画学研究・論文集, No.3, pp.145 ~ 152, 1986年
- 67) 高山純一, 飯田恭敬; リンク観測交通量を用いた残差平方和最小化による交通需要推計法, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.407 ~ 408, 1985年9月
- 68) *Y. Iida and J. Takayama*; Comparative Study of Model Formulations on O-D Matrix Estimation from Observed Link Flows, Proceedings of the 4th World Conference on Transportation Research, Vol.2, pp.1570 ~ 1581, 1986
- 69) 飯田恭敬, 秋山孝正, 桂川博志; 目的地選択確率の変化を考慮したリンクフローによるOD交通量推計方法, 昭和61年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, IV-4-1 ~ IV-4-2, 1986年
- 70) 飯田恭敬, 高山純一, 中島良光; 目的地選択確率の更新を考慮したリンク交通量によるOD推計法, 第42回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.122 ~ 123, 1987年9月
- 71) *M. Norman, N. Hoffmann and F. Harding*; Non-iterative Methods for Generating A Realistic Turning Flow Matrix for A Junction, Traffic Engineering and Control, Vol.20, No.12, pp.587 ~589, 1979
- 72) 前掲 24)
- 73) *Henk J. Van Zuylen*; The Estimation of Turning Flows on A Junction, Traffic Engineering and Control, Vol.20, No.11, pp.539 ~ 541, 1979
- 74) 前掲 71)
- 75) *E. Hauer and B-Y.T. Shin*; Origin-Destination Matrices from Traffic Counts: Application and Validation on Simple Systems, Traffic Engineering and Control, Vol.22, No.3, pp.118 ~121, 1981.
- 76) 飯田恭敬; 実測路上交通量を用いた部分道路網の結合による道路網交通需要推計法, 交通工学, Vol.13, No.2, pp.3 ~14, 1978年3月
- 77) 飯田恭敬, 浅井加寿彦, 椿川利弘; 観測交通量による交通需要推計モデルの部分道路網結合計

算法の検討, 交通工学, Vol.15, No.6, pp.21 ~31, 1980年9月

- 78) 佐佐木綱; 吸収マルコフ過程による交通量配分理論, 土木学会論文報告集, 第121号, pp.28 ~ 32, 1965年9月

第3章 エントロピー最大化による分析モデル

3.1 概 説

この章では、リンク交通量からOD交通量を推計する方法の中から、エントロピー最大化によりモデル定式化を行うモデルを取り上げ、従来開発されてきた方法^{1)~5)}を整理するとともに、新たに遷移確率モデルを導入した発生エントロピーモデル⁶⁾を提案する。このモデルは従来OD交通量に関して定式化されていたエントロピー最大化モデルを発生交通量の発生確率に着目して定式化したところに特徴があるといえる。

以下では、まず第2節においてこれまでに開発されてきたOD交通量に関するエントロピー最大化モデルを検討し、その問題点を明らかにする。そして、その改良方法の提案を行う。次に、第3節において新しく遷移確率モデル（OD推移確率モデル）を導入した発生交通量に関するエントロピー最大化モデル（発生エントロピー法）を提案し、その適用性を数値計算を用いたシミュレーションにより検討する（第4節）。この発生交通量を未知変量とするエントロピーモデルは、OD推移確率（目的地選択確率）が安定しているときに、高精度の推計値が得られることを考えて提案したモデルである。なお、シミュレーションでは、外生的に与える先験確率の推定誤差（サンプリング調査におけるランダム誤差や日々変動するOD交通量の不規則変動によるランダム誤差および目的地選択確率の先決誤差）の影響や道路区間交通量の観測誤差（幹線道路のみを対象としたネットワーク表示では、細街路への流出入交通量による誤差が生じるし、地点によって観測交通量の調査日が異なる場合には、データの非整合による誤差が考えられる）、観測リンク数の影響などについて検討を行い、各種エントロピーモデルの有効性と適用限界を明らかにする。特に、本研究では制約条件（道路区間条件式とスクリーンライン条件式）の相違が推計精度に対してどのような影響を及ぼすか、また未知変量（OD交通量と発生交通量）の取り扱い方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。

3.2 OD交通量を未知変量とするエントロピー最大化モデル

(1) モデルの基本的な考え方と問題点

井上博司はスクリーンライン上での実測交通量を制約条件として、式(3-1)に示す目的関数を最大化する最適化問題としてモデル定式化を行った。同様に、Willumsenもまた道路区間上での実測交通量を制約条件としてモデル定式化を行った。

$$P(T_{ij}) = \frac{T!}{\prod_i \prod_j T_{ij}!} \prod_i \prod_j (q_{ij})^{T_{ij}} \quad \Rightarrow \quad \text{Max} \quad (3-1)$$

$$T = \sum_i \sum_j T_{ij} \quad (3-2)$$

ここで、 T ; OD交通量 T_{ij} の総和 (推計時のトータル交通量)

T_{ij} ; ゾーン i, j 間のOD交通量

q_{ij} ; 単位OD表 (先験確率)

t_{ij}^* ; 既存OD交通量 (たとえば、家庭訪問調査によって得られたOD交通量)

$$q_{ij} = \frac{t_{ij}^*}{\sum_i \sum_j t_{ij}^*} \quad (3-3)$$

スクリーンライン交通量の制約条件式 (井上博司の方法)

$$SX_l = \sum_i \sum_j T_{ij} \delta_{ij}^l \quad (l = 1, 2, \dots, s) \quad (3-4)$$

ここで、 δ_{ij}^l ; OD交通量 T_{ij} がスクリーンライン l を通過する場合 = 1

そうでない場合 = 0

SX_l ; スクリーンライン l 上での合計交通量

道路区間交通量の制約条件式 (Willumsen の方法)

$$X_k = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (3-5)$$

ここで、 p_{ij}^k ; OD交通量 T_{ij} が道路区間 k を利用する確率 (道路区間利用率) で、

$0 \leq p_{ij}^k \leq 1$ の値をとる

X_k ; 道路区間 k 上での交通量

$P(T_{ij})$ の最大化は $\log P(T_{ij})$ の最大化と同値であるので、スターリングの公式を用いて近似すると式 (3-1) は式 (3-6) のように書き直すことができる。

$$\begin{aligned} \log P(T_{ij}) \approx T \log T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) \\ + \sum_i \sum_j T_{ij} \log q_{ij} \quad \Rightarrow \quad \text{Max} \quad (3-6) \end{aligned}$$

ここで、井上博司は式 (3-6) に示す $\log P(T_{ij})$ の最大化をトータル交通量とスクリーンライン交通量の制約条件式 (式 (3-2), 式 (3-4)) のもとで解く最適化問題としてモデル定式化を行っている⁷⁾。この方法は家庭訪問調査によって得られたOD分布をトリップの起こり易さの程度を表わすものと解釈し、各スクリーンラインでの計算交通量が実測交通量に一致するOD分布のなかで、最も起こる確率が高いOD分布を求めようとする方法である。しかし、この方法では調査洩れによるODトリップの修正は可能であるが、ODパターンのひずみ (推計OD交通量と現実OD交通量のODパターンのずれ) の修正については詳しい検討がなされていない。

また一方、Willumsen は道路区間での観測交通量を制約条件 (式 (3-5)) として、エントロピ

一最大化によりOD交通量を推計する方法 (Willumsenの方法) を提案している⁸⁾。しかし, Willumsen は推計OD交通量の総和 (トータル交通量) が一定であるとしてモデル定式化を行っているため, 既存OD交通量の総和と推計OD交通量の総和が異なる場合には大きな問題となる。なぜなら, 一般には推計時のトータル交通量は未知であり, 既存OD交通量の総和とは異なると考えられるからである⁹⁾。そこで, 本研究では推計OD交通量の総和を未知として定式化を行う改良方法 (改良 Willumsen 法) の提案を行う。

(2) モデルの改良とその解法¹⁰⁾

Willumsen はトータル交通量 T が一定であるとして式 (3-6) より除外し, 式 (3-7) に示す目的関数を最大化する問題としてモデル定式化を行った。

$$\log P' = -\sum_i \sum_j (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) + \sum_i \sum_j T_{ij} \log q_{ij} \Rightarrow \text{Max} \quad (3-7)$$

しかし, 一般にはトータル交通量 T は未知であり, T 自体同時確率 $P(T_{ij})$ が最大となるように決定されるべきものと考えられる。

そこで, 本研究ではトータル交通量 T を未知として, 式 (3-6) に示す目的関数を最大化する最適化問題としてモデル定式化を行う。ただし, 制約条件は式 (3-2) および式 (3-5) である。

この問題はラグランジュの未定乗数法を用いることにより解くことができる。ラグランジュ関数 L は式 (3-8) のようになる。ここで, $\lambda_k (k=1, 2, \dots, m)$ および ν はラグランジュの未定乗数である。

$$L = T \log T - \sum_i \sum_j T_{ij} \log T_{ij} + \sum_i \sum_j T_{ij} \log q_{ij} \\ + \sum_k \lambda_k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k) + \nu (T - \sum_i \sum_j T_{ij}) \quad (3-8)$$

ラグランジュ関数 L を未知変数である T, T_{ij}, λ_k および ν でそれぞれ偏微分して零 (0) とおくと次のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial T_{ij}} = -\log T_{ij} - 1 + \log q_{ij} + \sum_k \lambda_k p_{ij}^k - \nu = 0 \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (3-9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial T} = \log T + 1 + \nu = 0 \quad (3-10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_k} = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k = 0 \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (3-11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \nu} = T - \sum_i \sum_j T_{ij} = 0 \quad (3-12)$$

式 (3-10) を変形して式 (3-9) に代入し, 整理すると式 (3-13) が得られる。

$$\log T - \log T_{ij} + \log q_{ij} + \sum_k \lambda_k p_{ij}^k = 0$$

$$T_{ij} = \exp(\log T + \log q_{ij} + \sum_k \lambda_k p_{ij}^k)$$

$$\therefore T_{ij} = T \cdot q_{ij} \exp(\sum_k \lambda_k p_{ij}^k) \quad (3-13)$$

式(3-13)を式(3-11), 式(3-12)にそれぞれ代入すると次のようになる。

$$T \cdot \sum_{i,j} q_{ij} p_{ij}^k \exp(\sum_k \lambda_k p_{ij}^k) = X_k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (3-14)$$

$$\sum_{i,j} q_{ij} \exp(\sum_k \lambda_k p_{ij}^k) = 1 \quad (3-15)$$

したがって、式(3-14), 式(3-15)の非線形連立方程式を T および $\lambda_k (k=1, 2, \dots, m)$ について解けば、式(3-13)に代入することによりOD交通量 T_{ij} を推計することができる。ただし、 q_{ij} はある1つのトリップがODペア i, j である確率(単位OD表)を表わし、本研究では式(3-3)に示すように既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて先決するものとする。また、 p_{ij}^k も既存の配分理論(11)~(15)や経路調査(16)~(19)などによって決定されるものとし、ここでは外生的に与える。

なお、この定式化は井上博司の提案した方法とほとんど同様であり、異なるのはスクリーンライン交通量を制約条件とした井上博司の方法に対し、この方法では道路区間交通量を制約条件としている点である。したがって、道路区間利用率 p_{ij}^k をAll-or-nothing法により簡便的に決定する場合(道路区間利用率 p_{ij}^k は1.0か0.0のどちらかの値をとる)には、井上博司の提案した計算アルゴリズム(20)を用いて解くことが可能である。

3. 3 発生交通量を未知変量とするエントロピー 最大化モデルの提案

(1) モデルの基本的な考え方とその解法²¹⁾

ゾーン i からゾーン j へのOD推移確率(目的地選択確率)を f_{ij} ($\sum_j f_{ij} = 1.0$)とすると、OD交通量 T_{ij} はゾーン i の発生交通量 A_i を用いて式(3-16)のように表わすことができる。

$$T_{ij} = A_i \cdot f_{ij} \quad (3-16)$$

また一方、トータル交通量 T のうち、ゾーン1, 2, 3, ..., n の各発生交通量がそれぞれ $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ である確率(同時生起確率)は $P(A_i)$ で表わされる。

$$P(A_i) = \frac{T!}{\prod_i A_i!} \prod_i (f_i)^{A_i} \quad \Rightarrow \quad \text{Max} \quad (3-17)$$

ここで、 f_i は発生交通量に関する先験確率(事前情報)であり、ここでは既存OD交通量 t_{ij}^* の

発生交通量 α_i^* を用いて、式(3-18)のように与える。また、 f_{ij} も t_{ij}^* を用いて式(3-19)のように与えるものとする。

$$f_i = \frac{\sum_i t_{ij}^*}{\sum_i \sum_j t_{ij}^*} = \frac{\alpha_i^*}{\sum_i \alpha_i^*} \quad (3-18)$$

$$f_{ij} = \frac{t_{ij}^*}{\sum_j t_{ij}^*} \quad (3-19)$$

そうすると、この問題はOD交通量に関するエントロピー最大化モデルと同様、式(3-20)および式(3-21)を制約条件とする式(3-17)の最大化問題として定式化することができる。

$$X_k = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k = \sum_i \sum_j A_i f_i p_{ij}^k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (3-20)$$

$$T = \sum_i A_i \quad (3-21)$$

$P(A_i)$ の最大化は $\log P(A_i)$ の最大化と同値であるので、スターリングの公式を用いて変形すると次のようになる。

$$\log P(A_i) = T \log T - \sum_i A_i (\log A_i - \log f_i) \quad \Rightarrow \quad \text{Max} \quad (3-22)$$

よって、ラグランジュの未定乗数法を用いるとラグランジュ関数 K は式(3-23)のようになる。

$$K = \log P(A_i) + \sum_k \lambda_k (\sum_i \sum_j A_i f_{ij} p_{ij}^k - X_k) + \nu (T - \sum_i A_i) \quad (3-23)$$

ラグランジュ関数 K を未知変数である T 、 A_i 、 λ_k および ν (λ_k 、 ν はラグランジュの未定乗数) でそれぞれ偏微分し、零(0)とにおいて整理すると、式(3-24)、式(3-25)が得られるので、この非線形連立方程式を未知変数 T および λ_k ($k=1, 2, \dots, m$) について解けば、式(3-26)に代入することによって、OD交通量 T_{ij} を推計することができる。以後、このリンク交通量を制約条件とする発生エントロピーモデルを「発生エントロピー法L型」と呼ぶ。

$$\sum_i [T f_i \exp \{ \sum_k \lambda_k (\sum_j f_{ij} p_{ij}^k) \}] (\sum_j f_{ij} p_{ij}^k) = X_k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (3-24)$$

$$\sum_i f_i \exp \{ \sum_k \lambda_k (\sum_j f_{ij} p_{ij}^k) \} = 1 \quad (3-25)$$

$$T_{ij} = T f_i f_{ij} \exp \{ \sum_k \lambda_k (\sum_j f_{ij} p_{ij}^k) \} \quad (3-26)$$

(2) スクリーンライン交通量を制約条件としたモデル²²⁾

井上博司が定式化したように、発生交通量を未知変量とした場合においてもスクリーンライン交通量を制約条件としてモデル定式化を行うことが可能である。この場合、目的関数は式(3-17) (あるいは式(3-22))、制約条件は式(3-2)および式(3-27)となる。以後、このスクリーンライン交通量を制約条件とする発生エントロピーモデルを「発生エントロピー法S型」と呼ぶ。

$$SX_l = \sum_i \sum_j T_{ij} \delta_{ij}^l = \sum_i \sum_j A_i f_{ij} \delta_{ij}^l \quad (l=1, 2, \dots, s) \quad (3-27)$$

この問題も、ラグランジュの未定乗数法を用いることにより簡単に解くことができる。

$$K = \log P(A_i) + \sum_l \lambda_l (\sum_i \sum_j A_i f_{ij} \delta_{ij}^l - SX_l) + \nu (T - \sum_i A_i) \quad (3-28)$$

ラグランジュ関数 K (式(3-28)) を未知変量である T , A_i , λ_l および ν (λ_l , ν はラグランジュの未定乗数) でそれぞれ偏微分し、零(0)とにおいて整理すると、式(3-29)、式(3-30) が得られるので、この非線形連立方程式を未知変量 T および λ_l ($l=1, 2, \dots, s$) について解けば、式(3-31)に代入することによって、OD交通量 T_{ij} を推計することができる。

$$\sum_i \{ T f_i \exp \{ \sum_l \lambda_l (\sum_j f_{ij} \delta_{ij}^l) \} \} (\sum_j f_{ij} \delta_{ij}^l) = SX_l \quad (l=1, 2, \dots, s) \quad (3-29)$$

$$\sum_i f_i \exp \{ \sum_l \lambda_l (\sum_j f_{ij} \delta_{ij}^l) \} = 1 \quad (3-30)$$

$$T_{ij} = T f_i f_{ij} \exp \{ \sum_l \lambda_l (\sum_j f_{ij} \delta_{ij}^l) \} \quad (3-31)$$

ただし、 f_i および f_{ij} は発生交通量に関する先験確率(発生確率)および目的地選択確率を表わし、式(3-18)および(3-19)により外生的に与えるものとする。また、 δ_{ij}^l はスクリーンライン l に

表-3.1 エントロピー最大化による分析モデルの比較

制約条件 未知変数 外生データ	制 約 条 件			未 知 変 数			外 生 デ ー タ			
	道路区間 交通量の 観測値 X_k^*	スクリーン ライン交通 量の観測値 SX_l^*	トータル 交通量 T	OD 交通量 T_{ij}	発生 交通量 A_i	トータル 交通量 T	単位 OD表 q_{ij}	OD推移 確率・ 発生確率 $f_{ij} \cdot f_i$	道路区間 利用率 p_{ij}^k	スクリー ンライン 利用率 δ_{ij}^l
各種 エントロピーモデル										
Willumsenの方法	○			○			○		○	
改良Willumsen法	○		○	○		○	○		○	
井上博司の方法		○	○	○		○	○			○
発生エントロピー法し型	○		○		○	○		○	○	
発生エントロピー法S型		○	○		○	○		○		○

ついでインシデンスマトリックスの要素であり、 δ_{ij}^l も外生的に与える。

以上、5つのエントロピーモデルを①制約条件、②未知変量、③外生的データの相違により比較すると、表-3.1に示すように整理することができる。なお、エントロピー最大化による分析モデルの解法は、すべて非線形の連立方程式を解くことにより行われるが、本研究では井上博司の方法（独自の計算アルゴリズムを提案している）を除く4つのモデルについては、すべてプレント法²³⁾を用いて解くことにする。ただし、改良Willumsen法、発生エントロピー法では未知変量の T^* と λ_k のオーダーが非常に掛け離れているので、プレント法をそのまま用いたのでは解が収束しない場合が多い。そこで、解法のテクニックとして式(3-14)（あるいは式(3-24)、式(3-29)）の右辺を一定値 K ($10^4 \sim 10^5$; リンクフロー観測値のオーダー) で除して基準化した後に、プレント法を用いれば簡単に解が得られるので、得られた T に一定値 K を掛けて元のオーダーに戻せば、本来の解を求めることができる。

3. 4 推計誤差特性の比較分析

(1) シミュレーションの方法²⁴⁾

本章では、図-3.1に示す簡単な道路網（リンク上の数値は初期所要時分を示す）を対象に、シミュレーションにより推計精度の検討を行う。シミュレーションでは先ずOD調査により得られるサンプルOD交通量 t_{ij}^S を任意に設定し、それをもとに推計時の現実OD交通量 TR_{ij} と調査OD交通量 t_{ij}^* （サンプル調査結果を拡大して計算される推定OD交通量；過去に調査されたものであれば、既存OD交通量となる）を作成する。次に、現実OD交通量をネットワークに配分（Dial確率配分法²⁵⁾）して道路区間交通量 RX_k およびスクリーンライン交通量 SX_l を作成し、エントロピー最大化による推計モデルを用いて RX_k あるいは SX_l （観測誤差がある場合は X_k^* あるいは SX_l^* ）からOD交通量 T_{ij} を推計する。

推計精度の評価は t_{ij}^S をもとに作成した TR_{ij} と RX_k あるいは SX_l （実際には観測値である X_k^* あるいは SX_l^* ）から推計される T_{ij} の誤差（重みつき標準比率誤差 δ_T ；式(3-32)に示す）および TR_{ij} と t_{ij}^* の誤差（重みつき標準比率誤差 δ_t ；式(3-33)に示す）を用いて行う。ただし、 TR_{ij} はサンプルOD調査におけるランダム誤差あるいは日々変動する不規則変動（ランダム変動）の大きさ σ_T （比率誤差）を考慮するために、正規乱数を発生させて式(3-34)により作成する。この変動シミュレーションをODランダム型変動シミュレーションと呼ぶ。

また、目的地選択確率 f_{ij} が安定している場合（ここでは、 f_{ij} が変化しないと仮定し、固定値とする）の推計精度を検討するために、式(3-35)および式(3-36)により TR_{ij} を作成し、シミュレーションを行った。ここで、 α_i^S および AR_i はそれぞれサンプルOD交通量および現実OD交通

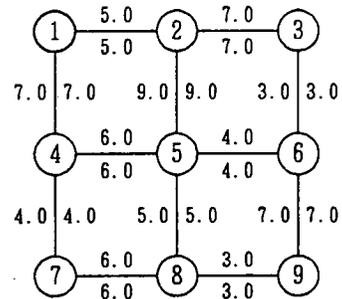


図-3.1 対象道路網

量の発生交通量を表わし、 σ_A は発生交通量の変動の大きさを示すランダム誤差である。この変動シミュレーションをOD推移確率（固定）型変動シミュレーションと呼ぶ。なお、発生交通量を未知変量とする発生エントロピー法は f_{ij} が安定している場合に高精度の推計値が期待されるため、このシミュレーションはそれを確かめるために行うものである。

道路区間交通量の実測値 X_k^* は観測誤差 σ_X （比率誤差）を考慮して、式（3-37）により作成する。ただし、スクリーンライン交通量 SX_l^* はスクリーンライン上の実測値 X_k^* を合計することにより計算する。なお、実際には交通量観測における観測誤差はほとんど無視できるほど小さいものと考えられるが、調査日の異なる観測データを用いる場合や12時間交通量を昼夜率などにより補正して用いる場合、あるいは車両感知器による観測データを用いる場合には実際の交通量との誤差が問題となる。シミュレーションでは、正規乱数を発生させることによりそれらの影響を検討する。

また、推計時に外生的に与える道路区間利用率 p_{ij}^k の推定誤差の影響は、配分に用いる Dial 確率配分法のパラメータ θ （ $E\theta$ ）を変化させることによって行う。

$$\delta_T = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j TR_{ij}} \sum_i \sum_j TR_{ij} \left(\frac{T_{ij} - TR_{ij}}{TR_{ij}} \right)^2} \quad (3-32)$$

$$\delta_t = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j TR_{ij}} \sum_i \sum_j TR_{ij} \left(\frac{t_{ij}^* - TR_{ij}}{TR_{ij}} \right)^2} \quad (3-33)$$

$$TR_{ij} = \eta \cdot t_{ij}^S (1.0 - \sigma_T \cdot Z_{ij}) \quad (3-34)$$

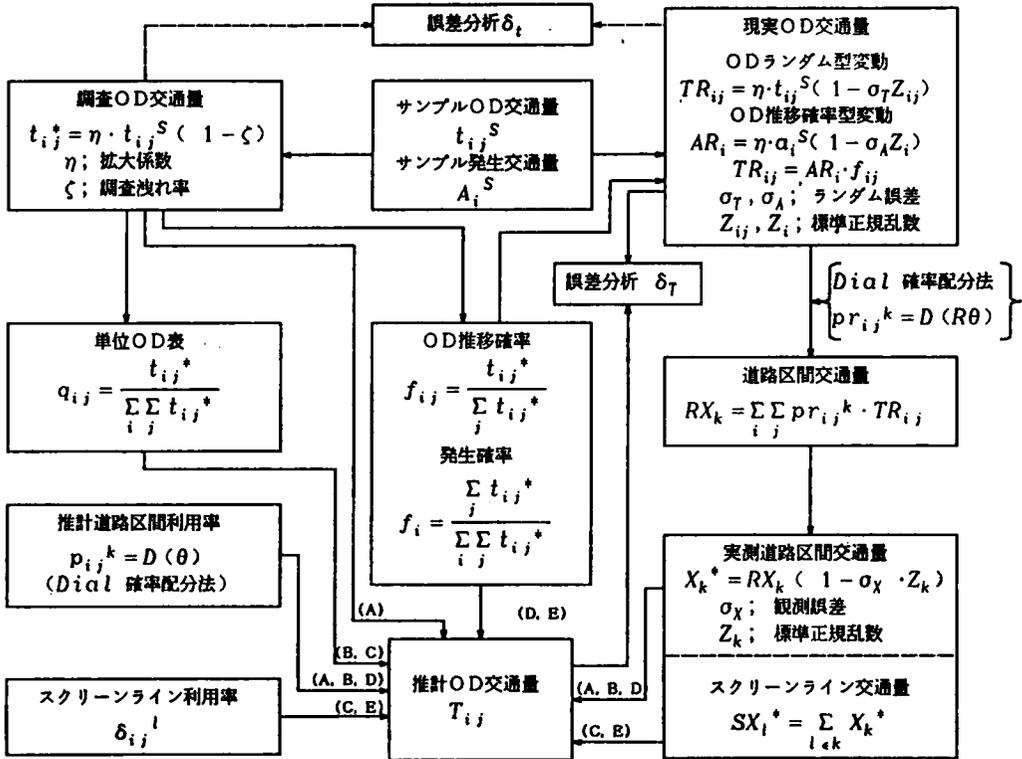
$$AR_i = \eta \cdot a_i^S (1.0 - \sigma_A \cdot Z_i) \quad (3-35)$$

$$TR_{ij} = AR_i \cdot f_{ij} \quad (3-36)$$

$$X_k^* = RX_k (1.0 - \sigma_X \cdot Z_k) \quad (3-37)$$

ここで、 η は拡大係数（サンプル抽出率の逆数）である。また、 Z_{ij} 、 Z_i および Z_k はそれぞれ OD ペア ij 、ゾーン i および道路区間 k ごとに決まる標準正規乱数である。したがって、シミュレーションでは標準正規乱数 Z_{ij} 、 Z_i および Z_k を任意に発生させて TR_{ij} 、 AR_i および X_k^* を作成し、モデルの推計誤差を検討する。

また、OD調査（パーソントリップ調査、自動車OD調査 etc.）は一般に家庭訪問調査により行われるため、偶発的なランダム誤差（ σ_T ）の他に、調査洩れによる誤差が問題となる。調査洩れがなければ、式（3-38）に示すように現実OD交通量 TR_{ij} の総和と調査OD交通量 t_{ij}^* の総和はほぼ等しくなるはずである。しかし、普通両者は一致せず、調査OD交通量の総和の方が小さいといわれている²⁶⁾。これはスクリーンライン上での計算交通量と実測交通量を比較した場合、計算交通量の方が



A: Willumsenの方法 B:改良Willumsen法 C:井上博司の方法
 D:発生エントロピー法I型 E:発生エントロピー法S型

図-3.2 シミュレーションの推計手順を示すフローチャート

実測交通量よりも小さい（たとえば、昭和49年度に行われた金沢都市圏パーソントリップ調査^{27)~29)}の全目的自動車OD交通量を道路網に配分し、スクリーンライン上で集計するとその計算交通量は実測交通量の約74%であった³⁰⁾）ことから明らかである。

$$\sum_{ij} \sum TR_{ij} = \sum_{ij} \sum t_{ij}^* \quad (3-38)$$

そこで、本研究ではその影響を考慮するために、式(3-39)を用いて調査OD交通量 t_{ij}^* を作成し、OD調査の推計精度の検討を行う。

$$t_{ij}^* = \eta \cdot t_{ij}^S (1.0 - \zeta) \quad (3-39)$$

ここで、 ζ は調査洩れの比率 $(1.0 - \sum_{ij} t_{ij}^* / \sum_{ij} \sum TR_{ij})$ を表わす。

なお、シミュレーションの手順を図-3.2のフローチャートに示す。

(2) 制約条件の相違による推計誤差比較

1) 調査洩れが推計精度に及ぼす影響

制約条件の相違による推計精度への影響を検討する前に、調査洩れが推計精度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。ここでは、調査洩れの比率 ζ を $\zeta = 0.2$, $\zeta = 0.4$ としてシミュレーションを行った。ただし、道路区間利用率 p_{ij}^k (あるいは、スクリーンライン利用率 δ_{ij}^l) の先決誤差はないものとする。

表-3.2 調査洩れが推計精度に及ぼす影響 ($\zeta = 0.2$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T, σ_A	$\sigma_T, \sigma_A = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_A = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t	20.0%			25.8%			21.7%		
	リンク交通量の観測誤差	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
選択リンク数 m=3 リンク番号 (1, 11, 21)	Willumsenの方法	18.1	18.1	18.7	25.9	25.9	26.3	17.9	17.9	18.5
	改良Willumsen法	0.0	1.1	4.8	22.0	22.1	22.4	15.5	15.9	16.5
	井上博司の方法	0.3	0.2	0.4	22.2	22.3	22.4	15.5	16.5	16.6
	発生エントロピー法L型 (%)	0.0	1.3	2.7	21.6	22.0	25.0	15.1	15.8	18.5
	発生エントロピー法S型	0.0	0.4	0.1	20.1	20.1	20.1	15.6	15.9	15.8
選択リンク数 m=6 リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	Willumsenの方法	15.9	16.0	16.8	22.7	22.9	23.3	16.3	16.4	17.2
	改良Willumsen法	0.0	2.5	5.5	22.7	23.7	23.6	10.4	11.4	12.3
	井上博司の方法	0.1	1.8	1.2	23.8	24.7	24.9	10.3	10.3	10.4
	発生エントロピー法L型 (%)	0.0	3.1	6.2	24.3	26.2	29.3	6.2	7.4	13.2
	発生エントロピー法S型	0.0	2.6	1.9	20.1	20.4	20.2	9.0	9.8	9.9

表-3.3 調査洩れが推計精度に及ぼす影響 ($\zeta = 0.4$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T, σ_A	$\sigma_T, \sigma_A = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_A = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t	40.0%			41.8%			50.1%		
	リンク交通量の観測誤差	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
選択リンク数 m=3 リンク番号 (1, 11, 21)	Willumsenの方法	36.1	36.3	36.3	38.5	38.8	38.8	37.6	37.6	37.9
	改良Willumsen法	0.0	1.1	4.8	19.9	21.8	22.8	14.6	14.6	15.3
	井上博司の方法	0.3	0.2	0.4	20.1	20.2	20.0	15.1	15.3	16.2
	発生エントロピー法L型 (%)	0.0	1.3	2.7	20.6	20.2	20.0	14.1	14.1	17.0
	発生エントロピー法S型	0.0	0.4	0.1	20.1	20.0	20.1	15.0	15.0	15.1
選択リンク数 m=6 リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	Willumsenの方法	31.8	32.1	32.6	35.3	35.5	36.1	32.5	32.7	33.0
	改良Willumsen法	0.0	2.5	5.5	18.9	19.6	22.0	14.1	14.9	15.5
	井上博司の方法	0.1	1.8	1.2	20.2	20.7	20.4	15.4	15.0	15.5
	発生エントロピー法L型 (%)	0.0	3.1	6.2	21.7	20.5	19.7	7.8	8.9	13.4
	発生エントロピー法S型	0.0	2.6	1.9	20.2	20.7	20.4	15.9	17.0	16.8

結果の一例を表-3.2 ($\zeta = 0.2$) および表-3.3 ($\zeta = 0.4$) に示す。ただし、各手法とも制約条件として選択するリンク数 (スクリーンライン数) およびそのリンク位置 (スクリーンライン位置) は同一とした。表-3.2, 表-3.3 より、Willumsenの方法は調査洩れが大きいほど、推計精度が悪く調査洩れの影響を大きく受けることが明らかである。これはモデルの定式化において、OD交通量の総和を一定として除外しているためである。それに対し、他の4つの方法はいずれも調査洩れの影響を受けないといえる。ただし、OD交通量のランダム誤差 (ODランダム変動) σ_T が大きくなれば、それに応じて推計精度が悪化する傾向にあることがわかる。これは、推計時に外生的に与える先験確率

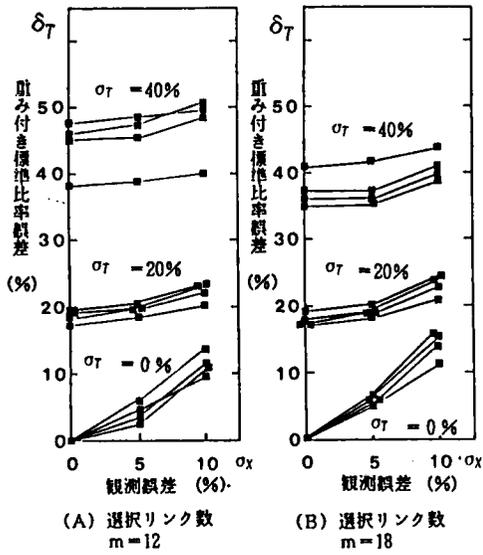


図-3.3 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (改良Willumsen 法)

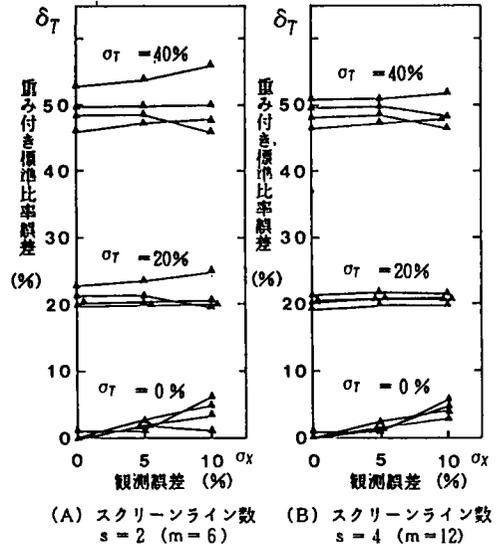


図-3.4 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (井上博司の方法)

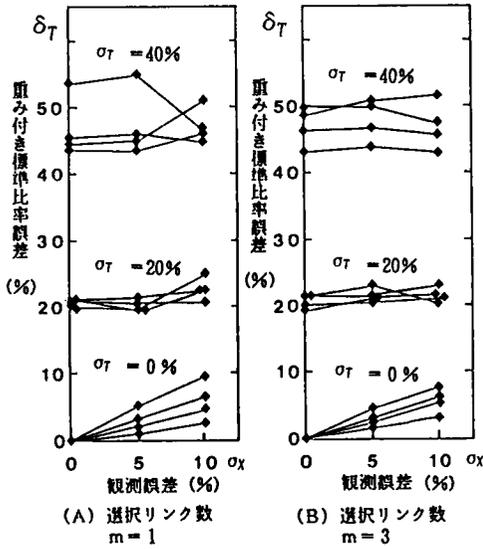


図-3.5 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (発生エントロピー法L型)

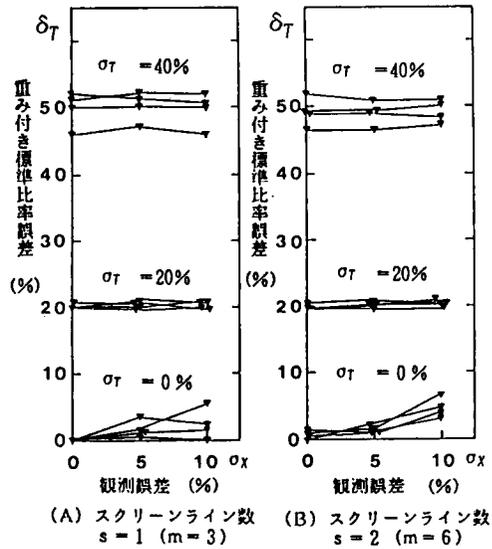


図-3.6 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (発生エントロピー法S型)

(q_{ij} , f_{ij} , f_i) の不確実性が大きくなることによるものと考えられる。

2) 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響

改良Willumsen 法, 井上博司の方法および発生エントロピー法 (L型, S型) の各手法について,

選択するリンク位置（番号）あるいはスクリーンライン位置が推計精度に対して、どのような影響を及ぼすか検討するために、選択するリンク位置（あるいはスクリーンライン位置）を任意に代えてシミュレーションを行った。結果をそれぞれ図-3.3（改良 Willumsen 法）、図-3.4（井上博司の方法）、図-3.5（発生エントロピー法L型）、図-3.6（発生エントロピー法S型）に示す。

これらの図より、OD交通量のランダム誤差 σ_T および道路区間交通量の観測誤差の大小により多少結果は異なるが、改良 Willumsen 法、井上博司の方法、発生エントロピー法S型はいずれも、推計精度のパラッキが小さくリンク選択位置あるいはスクリーンライン選択位置の違いが推計精度にそれほど大きな影響を及ぼさないことがわかる。しかも、改良 Willumsen 法と井上博司の方法を比較しても明らかなように、スクリーンライン交通量を制約条件とした後者の場合の方が道路区間交通量を制約条件とする前者に比べ、リンク選択位置の影響は小さいといえる。一方、発生エントロピー法L型は少ない選択リンクでOD交通量を推計することができるが、他の3つの方法に比べて推計精度のパラッキが大きくリンク選択位置の違いによる影響が大きいといえる。

3) 道路区間交通量の観測誤差が推計精度に及ぼす影響

道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響を比較すると、図-3.3～図-3.6に示すようにスクリーンライン交通量を制約条件とする井上博司の方法および発生エントロピー法S型の方が道路区間交通量を制約条件とする改良 Willumsen 法および発生エントロピー法L型よりも観測誤差 σ_X の影響が小さい傾向にあるといえる。これは、スクリーンライン交通量を制約条件とした場合、各道路区間における観測誤差 σ_X が互いに相殺されるために、その影響が小さくなるものと考えられる。ただし、OD交通量のランダム誤差 σ_T が大きい場合には、道路区間交通量を制約条件とする改良 Willumsen 法および発生エントロピー法L型においても、道路区間交通量の観測誤差の影響はそれほど大きくはないことがわかる。

(3) 未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較

1) 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響

OD交通量を未知変量とする場合（Willumsen 法、改良 Willumsen 法、井上博司の方法）と発生交通量を未知変量とする場合（発生エントロピー法L型、発生エントロピー法S型）では、制約条件としての取り入れ可能なリンク数（あるいはスクリーンライン数）が異なる。前者の場合は発生ノード数を n 個とすると最大 $(n^2 - 1)$ 個であり、後者の場合は $(n - 1)$ 個である。したがって、選択リンク数（あるいは選択スクリーンライン数）が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討することは、非常に重要なことである。そこで、ここでは選択リンクの数が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するた

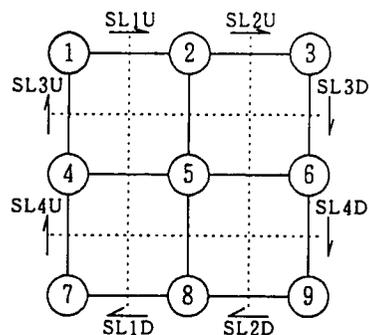


図-3.7 スクリーンライン番号

めに、選択リンク数（道路区間制約条件式あるいはスクリーンライン制約条件式の数）を変えてシミュ

レーションを行った。シミュレーションでは、各手法とも同じ条件になるように、道路区間（あるいはスクリーンライン）の選択位置は同一とした。ただし、発生エントロピー法は未知変量が発生交通量であるため、前述したように制約条件（等式）の数は発生（集中）ノードの数よりも多くできないという特徴を持つ。

なお、道路区間の選択順位は図-3.7に示すスクリーンライン $SL1U, SL1D, SL2U, \dots, SL4D$ （上下方向別に8本）に対応した図-3.8の道路区間（1,11,21）,（2,

12,22）,（3,13,23）, \dots ,（16,18,20）から順に行うものとし、選択リンク数の増加に応じて制約条件数を増加させた。

ODランダム型変動シミュレーションの推計結果の一例を図-3.9（ $\sigma_X = 0\%$, $\zeta = 0.4$ ）および図-3.10（ $\sigma_X = 10\%$, $\zeta = 0.4$ ）に示す。また、OD推移確率型変動シミュレーションの結果を図-3.11（ $\sigma_X = 0\%$, $\zeta = 0.4$ ）および図-3.12（ $\sigma_X = 10\%$, $\zeta = 0.4$ ）に示す。ここでは、それぞれ正規乱数 Z_{ij} （式（3-34））、 Z_i （式（3-35））を2通り発生させて、2回のシミュレーションを行った。ただし、OD交通量がランダムに変動する場合と発生交通量のみが変動し、OD推移確率が安定している場合では推計結果が異なるので、ここではそれぞれ別に考察する。

図-3.9、図-3.10より、OD交通量がランダムに変動する場合には、全体的傾向として次のことがいえる。まず、Willumsenの方法と改良Willumsen法を比較した場合、後者の方がいずれも推計精度が良いといえる。特に、この傾向はOD交通量のランダム誤差 σ_T が小さい場合に顕著である。また、改良Willumsen法と井上博司の方法、発生エントロピー法（L型、S型）を比較した場合、道路区間交通量の観測誤差およびランダム誤差の大小により結果は異なるが、ランダム誤差が大きい場合（ $\sigma_T = 40\%$ ）には、改良Willumsen法の推計精度の方が良いといえる。しかし、ランダム誤差が小さくて、しかも道路区間交通量の観測誤差が大きい場合（ $\sigma_T = 0\%$, $\sigma_X = 10\%$ ）には、後者の方法（井上博司の方法、発生エントロピー法L型、発生エントロピー法S型）を用いた方が推計精度は良いといえる。

ここで、選択リンク（あるいはスクリーンライン）数の影響を比較すると、道路区間交通量の観測誤差 σ_X およびランダム誤差 σ_T の大小により結果は異なるが、観測誤差がない場合（ $\sigma_X = 0\%$ ）には、Willumsenの方法も改良Willumsen法も選択リンク数が増加すれば、それに応じて推計精度が上昇する傾向にあるが、井上博司の方法および発生エントロピー法（L型、S型）では、ランダム誤差 σ_T が小さい場合はそれほど推計精度の変化はなく、 σ_T が大きくなると、逆に推計精度が悪化する傾向にある。特に、スクリーンライン数（制約条件数）を多くすると井上博司の方法と発生エントロピー法S型では、解が発散して非常に誤差が大きくなる場合が存在した。これは、制約条件の数が多くなると解の存在範囲が狭くなり、ずれた先験確率を満足させるために、大きく掛け離れたところで解が求まるためと考えられる。

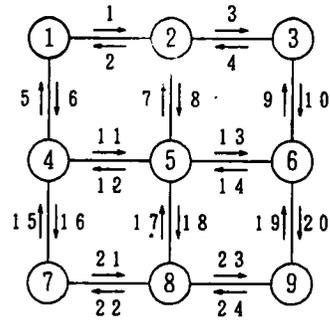
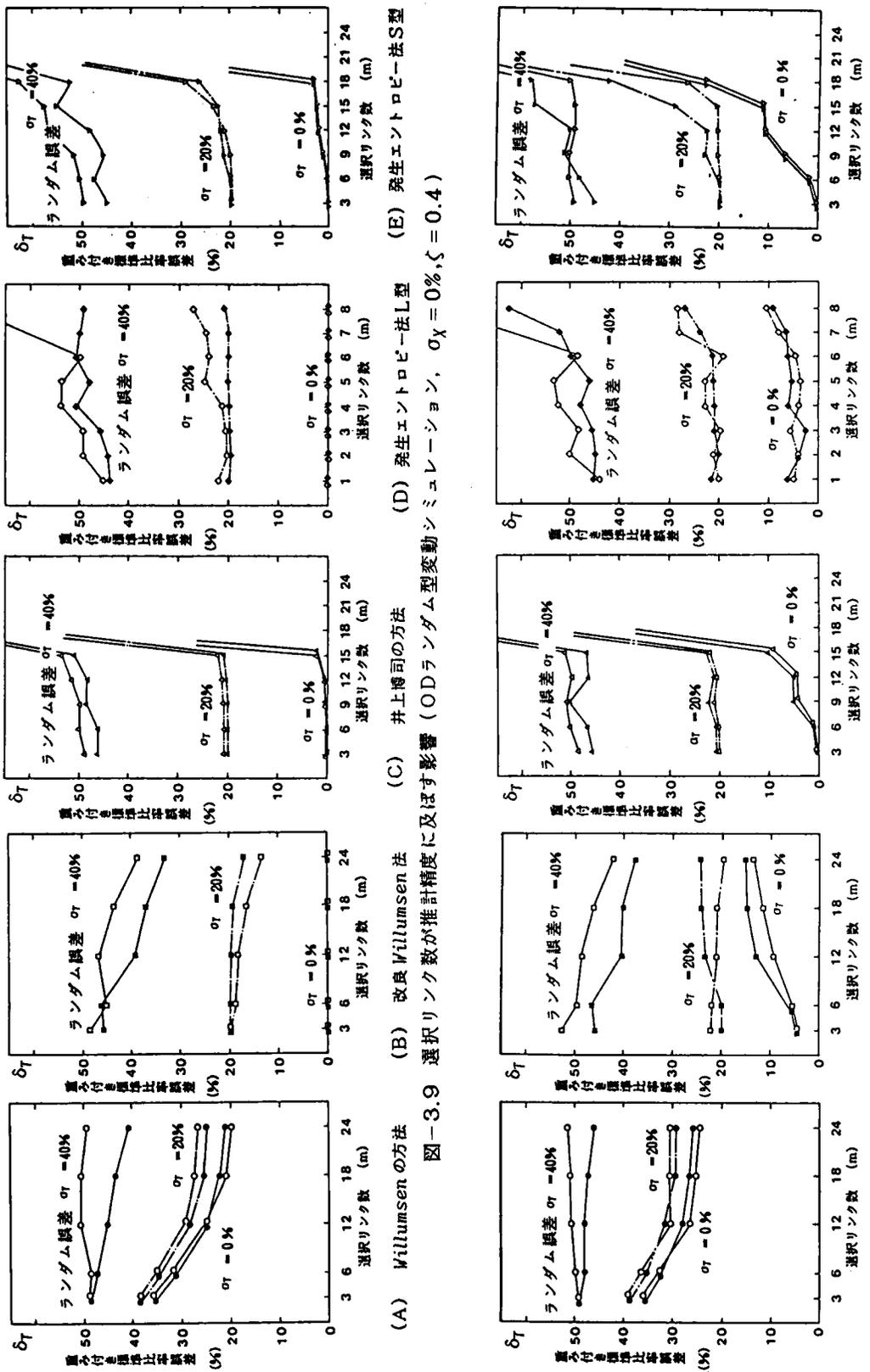


図-3.8 道路区間番号



(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

図-3.9 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 (ODランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\zeta = 0.4$)

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

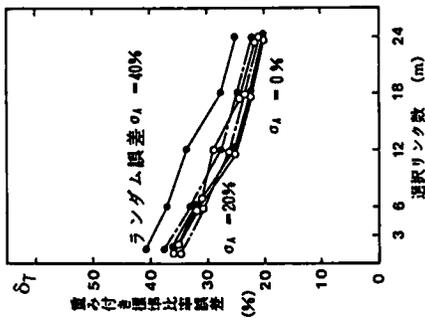
(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

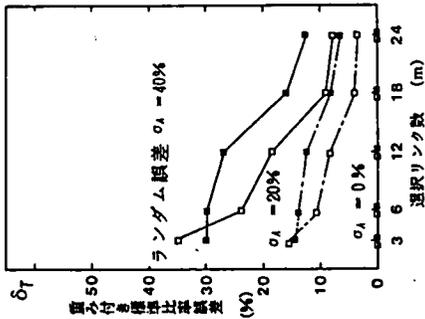
(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

(A) Willumsenの方法 (B) 改良Willumsen法 (C) 井上博司の方法 (D) 発生エントロピー法L型 (E) 発生エントロピー法S型

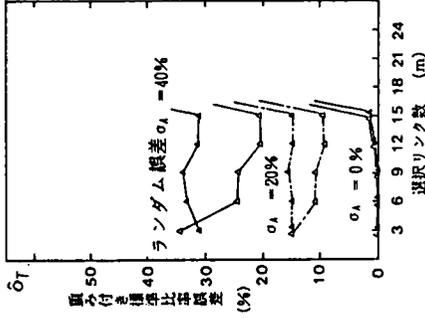
図-3.10 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 (ODランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\zeta = 0.4$)



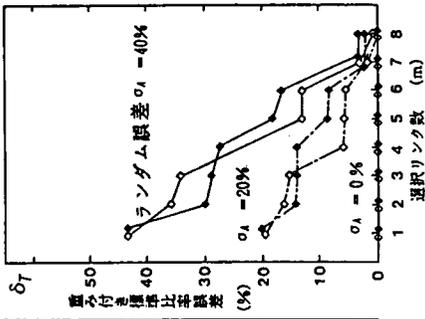
(A) Willumsen の方法



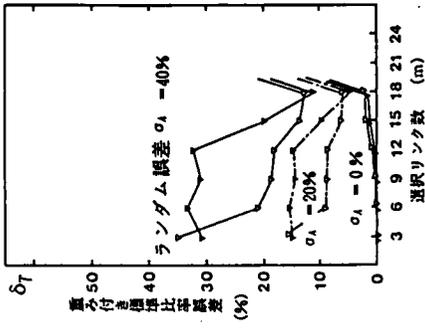
(B) 改良 Willumsen 法



(C) 井上博司の方法

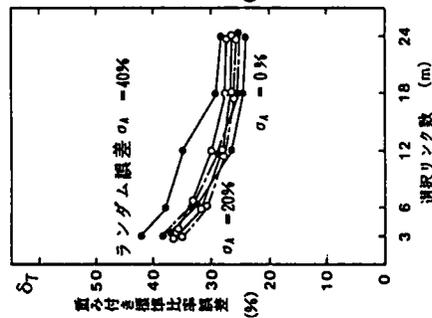


(D) 発生エントロピー法 L型

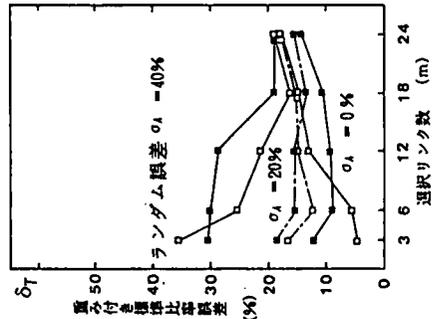


(E) 発生エントロピー法 S型

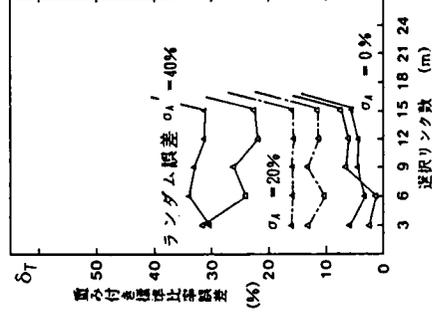
図一 3.11 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 (OD 推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\zeta = 0.4$)



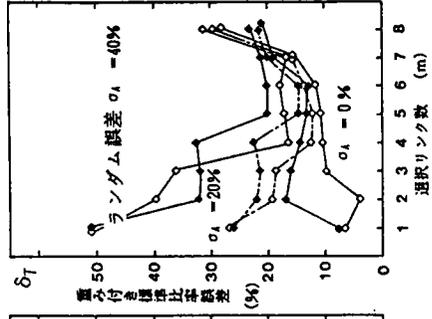
(A) Willumsen の方法



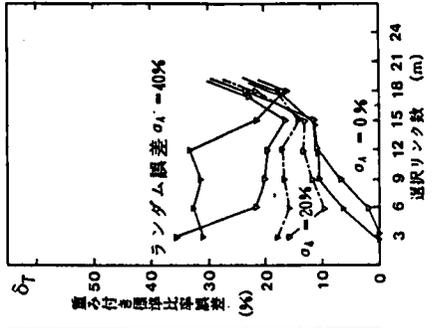
(B) 改良 Willumsen 法



(C) 井上博司の方法



(D) 発生エントロピー法 L型



(E) 発生エントロピー法 S型

図一 3.12 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 (OD 推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\zeta = 0.4$)

表-3.4 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(Willumsen の方法, $\zeta = 0.4$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T		$\sigma_T = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_T = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t		40.0 %			41.8 %			50.1 %		
	リンク交通量の観測誤差		0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
選択リンク数 $m=3$ リンク番号 (1, 11, 21)	道路区間利用率の	0. 2	36.1	36.2	36.4	38.5	38.6	38.8	48.7	48.9	48.8
	推定のために先決	0. 3	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.7	48.8	48.8
	した Dial 確率	0. 4	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.8	48.8
	配分法の配分バラ	0. 5	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.9	48.8
	メータ ($E\theta$)	0. 6	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.9	48.8
		0. 7	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.9	48.9	48.7
		0. 8	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.9	49.0	48.7
選択リンク数 $m=6$ リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	道路区間利用率の	0. 2	31.8	31.9	32.2	35.3	35.5	35.7	47.7	47.9	48.6
	推定のために先決	0. 3	31.8	31.9	32.2	35.3	35.5	35.7	47.9	48.2	48.8
	した Dial 確率	0. 4	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.7	48.3	48.5	49.1
	配分法の配分バラ	0. 5	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	48.6	48.9	49.4
	メータ ($E\theta$)	0. 6	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.0	49.3	49.8
		0. 7	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.4	49.7	50.1
		0. 8	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.7	50.1	50.4
選択リンク数 $m=24$ リンク番号 (全リンクを 用いた場合)	道路区間利用率の	0. 2	22.9	24.6	30.7	27.7	29.2	33.2	46.7	47.0	47.2
	推定のために先決	0. 3	21.2	22.7	28.5	26.9	28.2	31.7	47.3	47.1	47.2
	した Dial 確率	0. 4	20.3	21.6	27.2	26.7	27.8	31.0	48.4	47.7	47.6
	配分法の配分バラ	0. 5	20.0	21.1	26.4	26.8	27.7	30.7	49.7	48.5	48.5
	メータ ($E\theta$)	0. 6	20.1	21.0	26.1	27.1	27.8	30.7	51.0	49.5	49.4
		0. 7	20.4	21.2	26.0	27.5	28.1	30.8	52.2	50.4	50.4
		0. 8	20.1	21.6	26.1	28.0	28.4	31.1	53.2	51.1	51.2

また、道路区間交通量の観測誤差がある場合 ($\sigma_X = 10\%$) でもランダム誤差 σ_T の大小により結果は異なるが、一般に $\sigma_T = 0\%$ では、いずれの方法 (ただし、Willumsen の方法を除く) においても、選択リンク数 (スクリーンライン数) を増加させると推計精度が悪化する傾向にあるといえる。これは、誤差の大きい道路区間交通量を多く用いれば、その影響がさらに大きくなるためと考えられる。ただし、Willumsen の方法では道路区間交通量の観測誤差よりも調査洩れの影響の方が大きいため、選択リンク数の増加が推計精度の向上につながるものと考えられる。

一方、OD推移確率が安定している場合には、図-3.11、図-3.12より次のことがいえる。まず、道路区間交通量に観測誤差 σ_X が無い場合 (図-3.11) には、いずれの推計法も選択リンク数 (スクリーンライン数) を増加すると、推計精度が向上する傾向にあるといえる。特に、発生交通量を未知変数とした発生エントロピー法L型では、発生交通量の変動が大きい場合 ($\sigma_A = 40\%$) でも、選択リンク数を7~8本とれば、非常に精度よく推計できることがわかる。しかし、道路区間交通量に観測誤差 σ_X がある場合 (図-3.11) には、その大きさと発生交通量の変動 σ_A の大きさによって推計精度が異なり、最も推計精度がよくなる最適な選択リンク数があるものといえる。なお、スクリーンライン交通量を制約条件とする井上博司の方法と発生エントロピー法S型を比較すると、ある程度選択スクリーンライン数が多い場合には、後者の方が推計精度が良いといえるが、あまり多く取り過ぎると、どちらの推計法も解が発散する場合が存在した。

以上のことより、OD推移確率が安定している場合には、発生交通量を未知変数とした発生エントロ

表-3.5 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(改良Willumsen 法, $\zeta = 0.4$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T		$\sigma_T = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_T = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t		40.0 %			41.8 %			50.1 %		
	リンク交通量の観測誤差		0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
選択リンク数 $m=3$ リンク番号 (1, 11, 21)	道路区間利用率の	0.2	1.0	2.1	4.4	19.9	20.1	20.4	48.6	48.9	48.4
	推定のために先決	0.3	0.6	1.7	4.5	19.9	20.1	20.4	48.6	48.9	48.4
	したDial確率	0.4	0.3	1.4	4.7	19.9	20.0	20.4	48.6	49.0	48.3
	配分法の配分パラ	0.5	0.0	1.1	4.8	19.9	20.0	20.4	48.6	49.0	48.3
	メータ ($E\theta$)	0.6	0.2	0.9	4.9	19.9	20.0	20.4	48.7	49.0	48.3
		0.7	0.4	0.8	4.9	19.9	20.0	20.4	48.7	49.1	48.3
選択リンク数 $m=6$ リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	道路区間利用率の	0.2	1.5	3.6	5.5	19.0	19.6	19.9	44.6	45.4	45.7
	推定のために先決	0.3	0.9	3.1	5.4	18.9	19.5	19.9	44.9	45.7	45.9
	したDial確率	0.4	0.4	2.8	5.4	18.9	19.4	19.9	45.3	46.1	46.3
	配分法の配分パラ	0.5	0.0	2.5	5.5	18.9	19.4	19.9	45.6	46.5	46.6
	メータ ($E\theta$)	0.6	0.3	2.3	5.6	18.9	19.3	19.9	46.0	46.9	47.0
		0.7	0.6	2.2	5.6	18.9	19.3	19.9	46.4	47.4	47.3
選択リンク数 $m=24$ リンク番号 (全リンクを 用いた場合)	道路区間利用率の	0.2	12.2	15.7	25.0	17.9	20.5	27.6	38.1	39.3	41.8
	推定のために先決	0.3	7.4	11.5	21.6	15.3	17.6	24.8	37.7	38.5	40.5
	したDial確率	0.4	3.4	8.4	19.4	14.0	16.0	23.1	37.9	38.3	40.1
	配分法の配分パラ	0.5	0.0	6.8	18.1	13.7	15.4	22.2	38.4	38.5	40.1
	メータ ($E\theta$)	0.6	2.9	6.8	17.6	14.0	15.4	21.9	39.1	38.8	40.4
		0.7	5.3	7.8	17.5	14.7	15.8	21.9	39.8	39.3	40.8
	0.8	7.3	9.1	17.7	15.6	16.5	22.1	40.5	39.8	41.2	

ビー法L型が有効であるといえる。

2) 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

モデルの適用においては、スクリーンライン利用率の先決誤差の影響も検討する必要があるが、今回用いた図-3.1の道路網のように単純な道路網においては、ほとんどスクリーンライン利用率の先決誤差はないものと考えられるので、ここでは道路区間利用率の先決誤差についてのみその影響を検討する。なお、道路区間利用率の先決誤差の影響は、配分に用いる Dial 確率配分法のパラメータ θ に先決誤差がある場合を仮定して行った。シミュレーションでは、 RX_k の計算に用いるパラメータを $R\theta = 0.5$ とし、推計に用いるパラメータを $E\theta = 0.2 \sim E\theta = 0.8$ まで変化させてその影響を検討した。

シミュレーション結果の一例を表-3.4 (Willumsen の方法)、表-3.5 (改良Willumsen 法)、表-3.6 (発生エントロピー法L型)に示す。ただし、いずれもOD交通量がランダムに変動する場合のシミュレーション結果である。表-3.4より、Willumsen の方法では選択リンク数によって多少結果は異なるが、ほとんど調査洩れ率 ζ とランダム誤差 σ_T の大きさによって推計精度が決定され、今回仮定した $E\theta$ の範囲 (0.2 ~ 0.8, ただし、真値は $R\theta = 0.5$) では、それほど大きな影響はないものといえる。また、改良Willumsen 法、発生エントロピー法L型においても、ランダム誤差が大きい場合 ($\sigma_T = 40\%$) には $E\theta$ の影響はそれほど大きくはないといえる。しかし、ランダム誤差が小さい場合 ($\sigma_T = 0\%$) には $E\theta$ の先決誤差の影響が大きく、特に選択リンクを多く選んだ改良Willumsen 法においてその影響が大きいといえる。

表-3.6 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

(発生エントロピー法L型, $\zeta = 0.4$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T		$\sigma_T = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_T = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t		40.0%			41.8%			50.1%		
	リンク交通量の観測誤差		0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
選択リンク数 $m=3$ リンク番号 (1, 11, 21)	道路区間利用率の	0.2	3.3	6.5	3.2	23.3	24.9	20.9	45.7	46.3	44.9
	推定のために先決	0.3	2.0	5.2	4.6	22.7	24.3	20.6	45.5	46.0	44.9
	したDial確率	0.4	0.9	4.2	5.8	22.3	23.7	20.3	45.3	45.8	44.8
	配分法の配分バラ	0.5	0.0	3.3	6.7	21.9	23.3	20.2	45.2	45.7	44.8
	メータ ($E\theta$)	0.6	0.8	2.6	7.5	21.7	23.0	20.1	45.2	45.6	44.8
		0.7	1.5	1.9	8.3	21.4	22.7	20.0	45.1	45.5	44.8
	0.8	2.2	1.2	9.0	21.2	22.4	19.9	45.0	45.4	44.8	
選択リンク数 $m=6$ リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	道路区間利用率の	0.2	1.4	2.9	7.5	20.5	21.0	20.9	46.7	47.2	45.8
	推定のために先決	0.3	0.8	2.4	8.3	20.3	20.8	21.0	46.7	47.2	45.8
	したDial確率	0.4	0.3	2.0	9.1	20.2	20.7	21.1	46.7	47.2	45.8
	配分法の配分バラ	0.5	0.0	1.6	9.9	20.1	20.6	21.3	46.7	47.2	45.7
	メータ ($E\theta$)	0.6	0.3	1.4	10.7	20.1	20.5	21.5	46.8	47.2	45.7
		0.7	0.6	1.1	11.6	20.0	20.5	21.8	46.8	47.3	45.7
	0.8	0.9	0.9	12.4	20.0	20.4	22.0	47.0	47.5	45.6	
選択リンク数 $m=24$ リンク番号 (全リンクを 用いた場合)	道路区間利用率の	0.2	3.1	5.4	11.0	21.3	22.7	21.8	49.7	50.5	50.4
	推定のために先決	0.3	1.6	4.5	10.6	21.0	22.4	21.5	50.1	50.9	50.5
	したDial確率	0.4	0.7	3.9	10.9	20.8	22.0	21.4	50.4	51.2	50.7
	配分法の配分バラ	0.5	0.0	3.5	11.5	20.6	21.7	21.5	50.5	51.3	50.8
	メータ ($E\theta$)	0.6	0.6	3.1	12.3	20.4	21.4	21.6	50.6	51.5	50.8
		0.7	1.2	2.8	13.1	20.2	21.2	21.8	50.8	51.6	50.9
	0.8	1.7	2.7	13.9	20.1	21.0	22.0	51.0	51.8	50.9	

3.5 結 語

本章では、エントロピー最大化によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、従来開発されてきた方法を整理するとともに、その改良方法の提案を行った。また、新しくOD推移確率モデルを導入した発生エントロピーモデル（発生エントロピー法L型）とそれをスクリーンライン条件式によって解くモデル（発生エントロピー法S型）の提案を行った。さらに、それらの各手法について、その推計特性（適用性）をシミュレーションにより検討した。ただし、未知変量（OD交通量、発生交通量）と制約条件（道路区間交通量、スクリーンライン交通量）の組合せにより、モデルの推計特性が異なるので、ここではまず道路区間交通量を制約条件とする3つの推計法（Willumsenの方法、改良Willumsen法、発生エントロピー法L型）について考察し、次にスクリーンライン交通量を制約条件とする井上博司の方法、発生エントロピー法S型を含め、全体についての考察を行う。シミュレーション結果をまとめると、次のことがいえる。

- ① Willumsenの提案した方法は調査洩れの影響を大きく受けるため、調査洩れが大きい場合には問題が残る。したがって、そのような場合には、本研究で改良を加えた改良Willumsen法を用いた方がよいといえる。
- ② 道路区間交通量に観測誤差 σ_x がなければ、できるだけ多くの道路区間交通量を用いて推計を行っ

た方が推計精度が良いといえる。このとき、OD交通量がランダムに変動する場合はOD交通量を未知変量とする改良 Willumsen 法を用いた方がよく、OD推移確率が安定していて発生交通量のみが変動する場合には発生交通量を未知変量とする発生エントロピー法L型を用いた方がよい。

- ③ 道路区間交通量に観測誤差 σ_X がある場合は選択リンク数とOD交通量のランダム誤差 (σ_T , σ_A) の大小によって推計結果が異なり、ランダム誤差が小さい場合には改良 Willumsen 法も発生エントロピー法L型も選択リンク数を多くすればするほど推計精度が悪化する傾向にあるが、ランダム誤差が大きい場合にはその大きさと σ_X の大きさによって推計精度が異なり、最も推計精度がよくなる最適なリンク数が存在する。
- ④ 道路区間利用率 (Dial 確率配分法の配分パラメータ θ) の先決誤差の影響を検討したところ、ランダム誤差が大きい場合にはほとんどその影響はないといえるが、ランダム誤差が小さい場合には影響が見られ、特に改良 Willumsen 法でその影響が大きい。したがって、そのような場合にはスクリーンライン交通量を制約条件とした方法 (井上博司の方法、発生エントロピー法S型) を用いた方がよいといえる。
- ⑤ 発生エントロピー法L型は非常に少ない観測地点交通量からOD交通量を推計することができるという利点を持つが、その反面井上博司の方法、発生エントロピー法S型に比べてリンク選択位置の違いによる影響が大きいといえる。

なお、今後の課題をまとめると次のようになる。

- ⑥ 各分析モデルは対象地域が大きくなっても理論的には問題はないが、非線形の連立方程式を解く必要があるため、道路網が大規模になると計算時間が多くなり解法が困難となる。したがって、そのような場合には計算の効率化を考える必要がある。
- ⑦ ネットワークが大規模になると、それにともない各ODペアの経路選択も複雑になり、スクリーンラインを回り込む交通量 (スクリーンラインを2回以上通過する交通量) が増加する。本研究では、その影響については検討を行わなかったが、今後はそれらの影響についても検討する必要がある。
- 以上、本章ではエントロピー最大化による分析モデルの推計特性を検討し、各分析モデルの有効性と適用限界を明らかにした。今後は、現実道路網への適用を通して、その実用性を確かめる必要がある。

第3章 参考文献

- 1) 佐佐木綱, 岡本利章, 井上博司, 杉山守久; スクリーンライン調査によるOD表の修正, 昭和47年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-1~IV-2, 1972年
- 2) 井上博司; スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法, 交通工学, Vol.12, No.6, pp.11~19, 1977年11月
- 3) *H. J. Van Zuylen and L. G. Willumsen*; The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts, *Transpn. Res. - B*, Vol.14B, pp.281~293, 1980.
- 4) *D. Van Vliet and L. G. Willumsen*; Validation of The ME2 Model for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts, *Proceedings of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Tronto University*, pp.640~655, June 1981.
- 5) *L. G. Willumsen*; Estimating Time-dependent Trip Matrices from Traffic Counts, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Delft University*, pp.397~411, July 1984.
- 6) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二; リンク観測交通量を用いたエントロピー最大化による道路網交通需要推計法, 土木計画学研究・講演集, No.9, pp.441~448, 1986年10月
- 7) 前掲 2)
- 8) 前掲 3)
- 9) 前掲 1), 2)
- 10) 前掲 6)
- 11) *Robert B. Dial*; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.*, Vol.5, pp.83~111, 1971.
- 12) 井上博司; 等時間原則交通量配分における経路交通量の推定, 交通工学, Vol.13, No.1, pp.3~9, 1978年1月
- 13) 土木学会, 「交通需要予測ハンドブック」, 技報堂, pp.99~109, 1981年10月
- 14) 大矢正樹; 経路を先決しない確率的均衡配分に関する考察, 第5回土木計画学研究発表会講演集, pp.399~406, 1983年1月
- 15) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; *Dial*確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法, 都市計画別冊, 第19号, pp.13~18, 1984年11月
- 16) 鈴木尚一, 垂沢璋治; 自動車走行経路調査について, 交通工学, Vol.7, No.5, pp.14~24, 1972年
- 17) 越正毅, 片倉正彦, 北川久; プレートナンバー法による街路網の走行経路解析, 交通工学,

Vol. 8 , 増刊号, pp. 3 ~ 13, 1973年

- 1 8) 飯田恭敬, 高山純一; 基本部分道路網における車両番号照合法の解析について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 288 ~ 289, 1980年2月
- 1 9) 飯田恭敬, 高山純一; 車両番号照合法による道路網交通流解析法, 第5回交通工学研究発表会論文集, pp. 42 ~ 44, 1980年11月
- 2 0) 前掲 2)
- 2 1) 前掲 6)
- 2 2) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二, 中田淳之介; スクリーンライン交通量を制約条件とした発生エントロピーモデル, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 370 ~ 371, 1987年3月
- 2 3) FACOM FORTRAN SSL II 使用手引書(科学用サブルーチンライブラリー); 連立非線形方程式(プレント法), pp. 418 ~ 420, 富士通
- 2 4) 前掲 6)
- 2 5) 前掲 11)
- 2 6) 前掲 2)
- 2 7) 昭和49年度金沢都市圏パーソントリップ調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1975年3月
- 2 8) 昭和50年度金沢都市圏総合交通体系調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1976年3月
- 2 9) 昭和51年度金沢都市圏総合交通体系調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1977年3月
- 3 0) 金子信之; ネットワーク表示簡略化手法を用いた交通需要分析モデルの実用化に関する研究, 金沢大学学位(修士)論文, p. 120, 1987年1月

第4章 情報量最小化による分析モデル

4.1 概 説

この章では、道路区間上（あるいはスクリーンライン上）で観測される断面交通量からOD交通量を推計する方法のうち、情報量最小化によりモデル定式化を行うIMA（Information Minimising Approach）法を取り上げ、その推計特性および適用限界を明らかにする。このIMA法はHenk J. Van Zuylen（1978）がBrillouin情報尺度¹⁾を用いて定式化したものであり、OD交通量の構成の仕方を道路区間上で考え、確率的に最も起こりやすい状態（同時生起確率最大）のOD交通量を求める方法として提案したものである^{2),3)}。しかし、この方法は各道路区間でそれぞれ情報量（エントロピー）を計算し、全体として情報量が最小（エントロピーが最大）になるように、OD分布を決定するものであるため、対象道路網が大規模になり観測地点数が多くなると、非線形連立方程式の数が多くなって、計算（計算時間および計算機容量の制約）が困難になるという問題点を持つ。

そこで、本研究では1つの道路区間に着目するのではなく、1本のスクリーンライン（上下方向別）に着目して定式化を行う新しい方法を提案する^{4)~6)}。こうすることにより、非線形連立方程式の数を減らし、計算時間および計算機容量の節約を可能にすることができる。なお、この情報量最小化によるモデル定式化はOD別道路区間交通量の同時生起確率最大化より導かれるものであり、OD分布に関するあいまい性の最大化（外部情報量の最小化）と同値関係にある。

以下では、まず道路区間交通量を制約条件とするIMA法（IMA法L型）の定式化方法とスクリーンライン交通量を用いたモデルの改良方法（IMA法S型）を示し、その特徴を比較する（第2節）。次に、シミュレーションを用いたモデル計算により、IMA法L型とIMA法S型の推計誤差特性の比較検討を行う。シミュレーションでは外生的に与える先験確率の推定誤差および道路区間交通量（スクリーンライン交通量）の観測誤差、観測リンク数の影響などについて検討を行う（第3節）。そして、第4節ではシミュレーション結果をまとめ、情報量最小化による分析モデルの有効性と適用限界を示す。

4.2 モデルの基本的な考え方とその解法

(1) 道路区間交通量に関する情報量最小化モデル（IMA法L型）⁷⁾

道路区間 k 上で観測される交通量 X_k は、様々なOD交通量 Q_{ij}^k （ゾーン i から j へのOD交通量 T_{ij} のうち、道路区間 k を利用するOD交通量）から構成されている。ここで、OD交通量 T_{ij} が道路区間 k を選択する確率（OD別道路区間利用率あるいは単に道路区間利用率と呼ぶ）を p_{ij}^k とすると、 X_k は式(4-1)のように表わされる。

$$X_k = \sum_i \sum_j Q_{ij}^k = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (4-1)$$

そこで、そのOD交通量の構成の仕方を確率的にとらえ、最も起こりやすい状態で各OD交通量 Q_{ij}^k が生起すると考えると、その同時確率 $P(X_k)$ は式(4-2)のようになる。

$$P(X_k) = \frac{X_k!}{\prod_i \prod_j Q_{ij}^k!} \prod_i \prod_j (r_{ij}^k)^{Q_{ij}^k} \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (4-2)$$

ここで、 r_{ij}^k はゾーン*i j*間のトリップが道路区間*k*に生起する先験確率(事前確率)を表わし、Van Zuylenの研究では既存OD交通量 t_{ij}^* (あるいはサンプル調査により推定された調査OD交通量)を用いて式(4-3)のように与えている。

$$r_{ij}^k = t_{ij}^* p_{ij}^k / \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k \quad (4-3)$$

$$P(X_k) = \frac{X_k!}{\prod_i \prod_j (T_{ij} p_{ij}^k)!} \prod_i \prod_j \left\{ \frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right\}^{T_{ij} p_{ij}^k} \Rightarrow \text{Max.} \quad (4-4)$$

$$I(X_k) = -\log \left[\frac{X_k!}{\prod_i \prod_j (T_{ij} p_{ij}^k)!} \prod_i \prod_j \left\{ \frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right\}^{T_{ij} p_{ij}^k} \right] \Rightarrow \text{Min.} \quad (4-5)$$

式(4-4)の最大化と式(4-5)の最小化は同値であるので、計算の便宜上、式(4-5)を用いる。式(4-5)をスターリングの公式(4-6)を用いて変形すると、式(4-7)のようになる。

$$\log Z! = Z \log Z - Z \quad (4-6)$$

$$\begin{aligned} I(X_k) &= -X_k \log X_k + X_k + \sum_i \sum_j \{ T_{ij} p_{ij}^k \log(T_{ij} p_{ij}^k) - T_{ij} p_{ij}^k \} \\ &\quad - \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \log \left\{ \frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right\} \\ &= \sum_i \sum_j (T_{ij} p_{ij}^k) \log X_k + \sum_i \sum_j \{ T_{ij} p_{ij}^k \log(T_{ij} p_{ij}^k) \} \\ &\quad - \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \log \left\{ \frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right\} \\ &= \sum_i \sum_j \left[T_{ij} p_{ij}^k \left\{ -\log X_k + \log X_k + \log(T_{ij} p_{ij}^k) - \log \left(\frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right) \right\} \right] \\ &= \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\} \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (4-7) \end{aligned}$$

ここで、道路区間*k*について加え合わせると式(4-8)のようになる。

$$I = \sum_k I(X_k) = \sum_k \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\} \Rightarrow \text{Min.} \quad (4-8)$$

ゆえに、モデルの定式化は式(4-1) (道路区間条件式)を制約条件とした式(4-8)の最小化問題(情報量最小化)となる。この問題の解法は、ラグランジュの未定乗数法を用いることによって行うことができる。

$$L = \sum_k \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\} + \sum_k \lambda_k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k) \quad (4-9)$$

λ_k をラグランジュの未定乗数とすると、ラグランジュ関数 L は式(4-9)のようになる。 L を未知数である T_{ij} , λ_k で偏微分して零(0)とおくと、それぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial T_{ij}} &= \sum_k p_{ij}^k \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\} + \sum_k T_{ij} p_{ij}^k \frac{1}{T_{ij}} + \sum_k \lambda_k p_{ij}^k \\ &= \sum_k p_{ij}^k \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\} + \sum_k p_{ij}^k (1 + \lambda_k) = 0 \end{aligned} \quad (4-10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_k} = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (4-11)$$

式(4-10)を変形して、整理すると式(4-12)が得られる。

$$\begin{aligned} \log \left(\prod_k \left\{ \frac{T_{ij} \sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*} \right\}^{p_{ij}^k} \right) &= - \sum_k p_{ij}^k (1 + \lambda_k) \\ \prod_k \left(\left(\frac{T_{ij}}{t_{ij}^*} \right)^{p_{ij}^k} \left\{ \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k} \right\}^{p_{ij}^k} \right) &= \prod_k \exp\{-p_{ij}^k (1 + \lambda_k)\} \\ (T_{ij})_k^{\sum p_{ij}^k} &= (t_{ij}^*)_k^{\sum p_{ij}^k} \prod_k \left[\left(\frac{X_k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right) \exp\{-(1 + \lambda_k)\} \right]^{p_{ij}^k} \\ \therefore T_{ij} &= t_{ij}^* \prod_k \left[\left(\frac{X_k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right) \exp\{-(1 + \lambda_k)\} \right]^{\frac{p_{ij}^k}{\sum_k p_{ij}^k}} \end{aligned} \quad (4-12)$$

式(4-12)を式(4-11)に代入して変形すると式(4-13)が得られる。

$$\sum_i \sum_j p_{ij}^k t_{ij}^* \prod_k \left[\left(\frac{X_k}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \right) \exp\{-(1 + \lambda_k)\} \right]^{\frac{p_{ij}^k}{\sum_k p_{ij}^k}} - X_k = 0$$

(k = 1, 2, \dots, m) \quad (4 - 13)

したがって、走行経路調査^{8)~10)}や既存配分理論(分割配分法¹¹⁾、等時間配分法¹²⁾、Dial確率配分法^{13), 14)}等により道路区間利用率 p_{ij}^k が先決できれば、式(4-13)に示す非線形連立方程式(X_k に観測値 X_k^* を代入すれば、未知数は λ_k のみとなる)を解くだけで、式(4-12)よりOD交通量 T_{ij} を推計することができる。以後、この手法を「IMA法L型」と呼ぶ。

(2) スクリーンライン交通量に関する情報量最小化モデル (IMA法S型)¹⁵⁾

H. J. Van Zuylenの提案したIMA法L型では、観測地点(m 個)と等しい数の非線形連立方程式(式(4-13))を解く必要があるため、対象道路網が大規模になって観測地点数が多くなると、推計計算が非常に多くなり、解法が困難になるという問題点を持つ。

そこで、本研究では非線形連立方程式の数を減らすために、スクリーンライン上(上下方向別)での交通量に着目して、モデル定式化を行う新しい方法(IMA法S型)を提案する。以下に、その定式化方法を記述する。

スクリーンライン l 上の交通量を SX_l 、OD交通量 T_{ij} のうち、スクリーンライン l を通過するOD交通量を SQ_{ij}^l とすると、 SX_l は式(4-14)のように表わされる。

$$SX_l = \sum_i \sum_j SQ_{ij}^l = \sum_i \sum_j T_{ij} \delta_{ij}^l \quad (l = 1, 2, \dots, s) \quad (4 - 14)$$

ここで、 δ_{ij}^l はODペア ij がスクリーンライン l を通過すれば1、そうでなければ0の値をとる変数である。

よって、スクリーンライン l 上でのOD交通量 SQ_{ij}^l の構成の仕方を確率的にとらえ、IMA法L型の場合と同様にモデル定式化を行うと、その同時確率 $P(SX_l)$ は式(4-15)のようになる。

$$P(SX_l) = \frac{SX_l!}{\prod_i \prod_j SQ_{ij}^l!} \prod_i \prod_j \{sr_{ij}^l\}^{SQ_{ij}^l} \quad (l = 1, 2, \dots, s) \quad (4 - 15)$$

ここで、 sr_{ij}^l はゾーン ij 間のトリップがスクリーンライン l 上に生起する先験確率(事前確率)を表わし、本研究では既存OD交通量 t_{ij}^* (あるいはサンプル調査により推定された調査OD交通量)を用いて式(4-16)のように与えるものとする。

$$sr_{ij}^l = t_{ij}^* \delta_{ij}^l / \sum_i \sum_j t_{ij}^* \delta_{ij}^l \quad (4 - 16)$$

$$P(SX_l) = \frac{SX_l!}{\prod_i \prod_j (SQ_{ij}^l)!} \prod_i \prod_j \left\{ \frac{t_{ij}^* \delta_{ij}^l}{\sum_i \sum_j t_{ij}^* \delta_{ij}^l} \right\}^{SQ_{ij}^l} \Rightarrow \text{Max.} \quad (4 - 17)$$

$$I(SX_l) = -\log \frac{SX_l!}{\prod_{i,j} (T_{ij} \delta_{ij}^l)!} - \prod_{i,j} \left\{ \frac{t_{ij}^* \delta_{ij}^l}{\sum_{i,j} t_{ij}^* \delta_{ij}^l} \right\}^{T_{ij} \delta_{ij}^l} \Rightarrow \text{Min.} \quad (4-18)$$

式(4-17)の最大化と式(4-18)の最小化は同値であるので、式(4-18)をスターリングの公式(4-6)を用いて変形し、スクリーンライン*l*について加え合わせると式(4-19)が得られる。

$$SI = \sum_l I(SX_l) \\ = \sum_l \sum_{i,j} T_{ij} \delta_{ij}^l \log \left\{ \frac{T_{ij} \sum_{i,j} t_{ij}^* \delta_{ij}^l}{SX_l t_{ij}^*} \right\} \Rightarrow \text{Min.} \quad (4-19)$$

よって、モデルの定式化は式(4-14)を制約条件とした式(4-19)の最小化問題となる。この問題もやはりラグランジュの未定乗数法を用いることによって解くことができる。ラグランジュの未定乗数を λ_l として解くと、式(4-20)、式(4-21)が得られる。

$$T_{ij} = t_{ij}^* \prod_l \left[\left(\frac{SX_l}{\sum_{i,j} t_{ij}^* \delta_{ij}^l} \right) \exp\{-(1+\lambda_l)\} \right]^{\frac{\delta_{ij}^l}{\sum_l \delta_{ij}^l}} \quad (4-20)$$

$$\sum_{i,j} \delta_{ij}^l t_{ij}^* \prod_l \left[\left(\frac{SX_l}{\sum_{i,j} t_{ij}^* \delta_{ij}^l} \right) \exp\{-(1+\lambda_l)\} \right]^{\frac{\delta_{ij}^l}{\sum_l \delta_{ij}^l}} - SX_l = 0 \\ (l = 1, 2, \dots, s) \quad (4-21)$$

したがって、式(4-21)に示す非線形連立方程式を λ_l について解けば、式(4-20)に代入することにより、OD交通量 T_{ij} を推計することができる。なお、非線形連立一次方程式の解法には一般にニュートンラプソン法、ブレント法などが用いられるが、ここではブレント法¹⁶⁾を用いて解くことにする。このブレント法はニュートン法と同様、反復計算を用いて解くものであり、微係数を差分で近似し、テイラー展開の一次項までの近似式を用いて計算する手法である。以後、このスクリーンライン交通量を用いる情報量最小化モデルを「IMA法S型」と呼ぶ。

4.3 推計誤差特性の比較分析

(1) シミュレーションの方法

本研究では、第3章と同様に図-4.1に示すノード数9、リンク数24(上下方向別)の田字型道路網(図中の数字はリンク所要時分を示す)を用いて、推計誤差特性の比較分析を行う。以下に、シミュレーションの方法とその計算手順を示す。

シミュレーションでは、図-4.2のフローチャートに示すように、まずOD調査により得られるサ

サンプルOD交通量 t_{ij}^S を任意に設定し、それをもとに推計時の現実OD交通量 TR_{ij} と調査OD交通量 t_{ij}^* (サンプル調査結果を拡大して計算される推定OD交通量; 調査時点が異なる場合は既存OD交通量) を作成する。次に、現実OD交通量 TR_{ij} をネットワークに配分 (Dial 確率配分法) して道路区間交通量 RX_k を作成し、交通量の観測誤差 σ_X (比率誤差) を考慮して、式(4-22)により実測道路区間交通量 X_k^* を作成する。このとき、スクリーンライン交通量 SX_l^* の計算は、スクリーンライン上の道路区間交通量を加え合わせることにより行う。

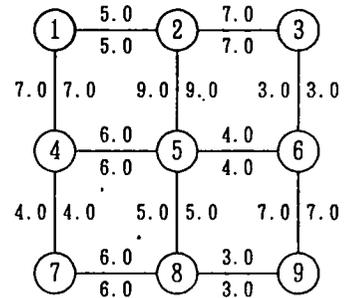
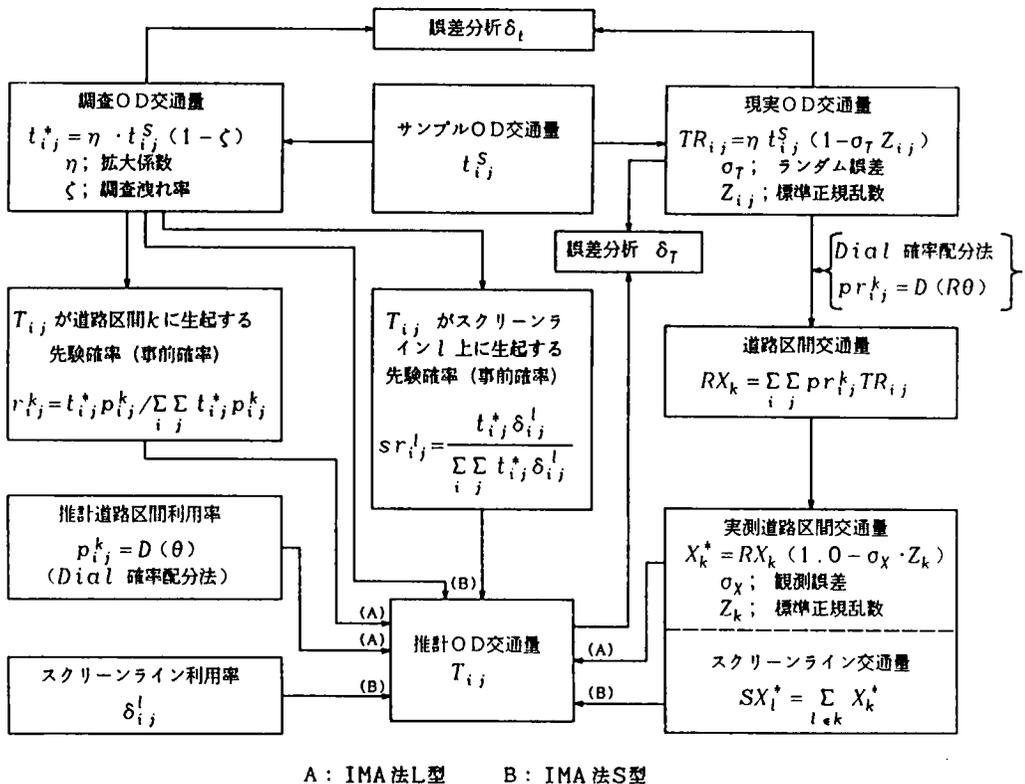


図-4.1 対象道路網

$$X_k^* = RX_k (1.0 - \sigma_X \cdot Z_k) \quad (4-22)$$

ここで、 Z_k は道路区間 k ごとに決る標準正規乱数である。

OD交通量の推計は観測された道路区間交通量 X_k^* (あるいは、スクリーンライン交通量 SX_l^*) と先決される道路区間利用率 p_{ij}^k (あるいは、スクリーンライン利用率 δ_{ij}^l) および調査OD交通量 (既存OD交通量) t_{ij}^S を用いて行う。なお、推計精度の評価は、 t_{ij}^S をもとに作成した TR_{ij} と



A : IMA 法L型 B : IMA 法S型

図-4.2 シミュレーションの推計手順を示すフローチャート

X_k^* (あるいは SX_k^*) から推計される T_{ij} の相対誤差 (重みつき標準比率誤差 δ_T) および TR_{ij} と t_{ij}^* の相対誤差 (重みつき標準比率誤差 δ_t) を用いて行う。

$$\delta_T = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j TR_{ij}} \sum_i \sum_j TR_{ij} \left(\frac{T_{ij} - TR_{ij}}{TR_{ij}} \right)^2} \quad (4-23)$$

$$\delta_t = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j TR_{ij}} \sum_i \sum_j TR_{ij} \left(\frac{t_{ij}^* - TR_{ij}}{TR_{ij}} \right)^2} \quad (4-24)$$

ただし, TR_{ij} はOD調査におけるランダム誤差 σ_T を考慮するために, 式(4-25)に示すようにODペアごとに標準正規乱数を発生させて作成する。

$$TR_{ij} = \eta \cdot t_{ij}^S (1.0 - \sigma_T \cdot Z_{ij}) \quad (4-25)$$

ここで, η は拡大係数 (サンプル抽出率の逆数) である。また, Z_{ij} はODペア ij ごとに決る標準正規乱数である。

一般にOD調査 (パーソントリップ調査, 自動車OD調査等) は家庭訪問調査により行われるため, 偶発的なランダム誤差 σ_T の他に, 調査洩れによる誤差が問題となる。調査洩れがなければ, 式(4-26)に示すように現実OD交通量 TR_{ij} の総和と調査OD交通量 t_{ij}^* の総和はほぼ等しくなるはずである。しかし, 一般には両者は一致せず, 調査OD交通量の総和の方が小さいといわれている¹⁷⁾。

$$\sum_i \sum_j TR_{ij} \approx \sum_i \sum_j t_{ij}^* \quad (4-26)$$

そこで, 本研究ではその影響を検討するために, 第3章と同様に式(4-27)を用いて調査OD交通量 t_{ij}^* を作成し, 推計精度の評価に利用する。

$$t_{ij}^* = \eta \cdot t_{ij}^S (1.0 - \zeta) \quad (4-27)$$

$$\zeta = 1.0 - \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}^*}{\sum_i \sum_j TR_{ij}} \quad (4-28)$$

ここで, ζ は調査洩れの比率 (式(4-28)) を表わす。なお, モデル適用に当たって先決する道路区間利用率 p_{ij}^k の先決誤差の影響は, Dial 確率配分法のパラメータ θ を変化させて, シミュレーションにより検討する。

(2) IMA 法L型と IMA 法S型の推計誤差比較

1) 調査洩れが推計精度に及ぼす影響

調査洩れが推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために, 調査洩れの比率 ζ をそれぞれ $\zeta = 0.0$, $\zeta = 0.2$, $\zeta = 0.4$ としてシミュレーションを行った。ただし, OD交通量のランダム誤差 σ_T および道路区間利用率 p_{ij}^k (あるいは, スクリーンライン利用率 δ_{ij}^l) の先決誤差 σ_p はないも

のとし、それぞれ $\sigma_T = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$ としてシミュレーションを行った。

道路区間交通量に観測誤差 σ_X がない場合 ($\sigma_X = 0\%$) と観測誤差がある場合 ($\sigma_X = 10\%$) の計算結果の一例を表-4.1 ($\sigma_X = 0\%$) , 表-4.2 ($\sigma_X = 10\%$) に示す。表-4.1より、IMA 法L型、IMA 法S型、どちらの推計法も調査洩れの比率 ζ が大きくなるにつれて推計精度が悪化し、特に選択するリンク数 (あるいは、スクリーンライン数) が少ないほど、その影響が大きい傾向にあることがわかる。これは、式(4-12) (あるいは式(4-20)) より明らかなように、制約条件として選択したリンク (あるいはスクリーンライン) を通過

表-4.1 調査洩れが推計精度に及ぼす影響 ($\sigma_X = 0\%$)

調査洩れ率 ζ	$\zeta = 0.0$		$\zeta = 0.2$		$\zeta = 0.4$	
	IMA法 L型	IMA法 S型	IMA法 L型	IMA法 S型	IMA法 L型	IMA法 S型
3ヶ所 (1本)	0.0	0.0	18.1	18.1	36.1	36.1
6ヶ所 (2本)	0.0	0.0	15.9	16.5	31.8	32.9
12ヶ所 (4本)	0.0	0.0	10.4	10.8	20.8	21.6
18ヶ所 (6本)	0.0	0.0	7.2	7.7	14.5	15.3
24ヶ所 (8本)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表-4.2 調査洩れが推計精度に及ぼす影響 ($\sigma_X = 10\%$)

調査洩れ率 ζ	$\zeta = 0.0$		$\zeta = 0.2$		$\zeta = 0.4$	
	IMA法 L型	IMA法 S型	IMA法 L型	IMA法 S型	IMA法 L型	IMA法 S型
3ヶ所 (1本)	4.8	4.6	18.7	18.1	36.4	36.1
6ヶ所 (2本)	5.4	3.5	16.8	16.8	32.2	33.1
12ヶ所 (4本)	13.4	9.1	16.9	14.1	24.8	23.4
18ヶ所 (6本)	15.2	9.5	16.8	12.2	21.0	18.0
24ヶ所 (8本)	18.7	10.8	18.7	10.8	18.7	10.8

しないODペアについては、調査OD交通量である t_{ij}^* がそのまま推計値として推計されるためである。すなわち、ODペア ij に関して $p_{ij}^k = 0.0$ (あるいは、 $\delta_{ij}^l = 0.0$) であれば、推計OD交通量 T_{ij} は式(4-13) (あるいは式(4-20)) より、 $T_{ij} = t_{ij}^*$ となる。その結果、選択するリンク数が少ない場合には、当然そのリンクを利用しないODペアの数が多くなるため、調査洩れの比率が大きい場合に、その影響が大きくなるものと考えられる。

2) 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響

選択するリンク位置 (番号) あるいはスクリーンライン位置が推計精度に対してどのような影響を及ぼすか検討するために、選択リンク位置 (あるいはスクリーンライン位置) を任意に代えてシミュレーションを行った。結果の一例をそれぞれ図-4.3 (IMA 法L型) , 図-4.4 (IMA 法S型) に示す。ただし、図は各ランダム誤差に対してそれぞれ4通りのリンク選択位置を設定し、それぞれの場合の推計精度をまとめて示したものである。

図-4.3 と図-4.4 の各推計精度のバラツキを比較すると、IMA 法L型の方がリンク選択位置の違いによるバラツキが大きく、特にOD交通量のランダム誤差が小さい場合 ($\sigma_T = 0\%$) にその傾向が顕著である。このことより、IMA 法L型とIMA 法S型を比較するとL型の方が選択リンク位置の違いによる影響が大きいといえる。これは、前述したようにより多くのODペアが利用するリンクを選択した方がIMA 法においては推計精度が良いといえるからである。したがって、リンクを選択するに当たってはなるべく多くのODペアが利用するリンクを選択すべきであるといえる。なお、このことは

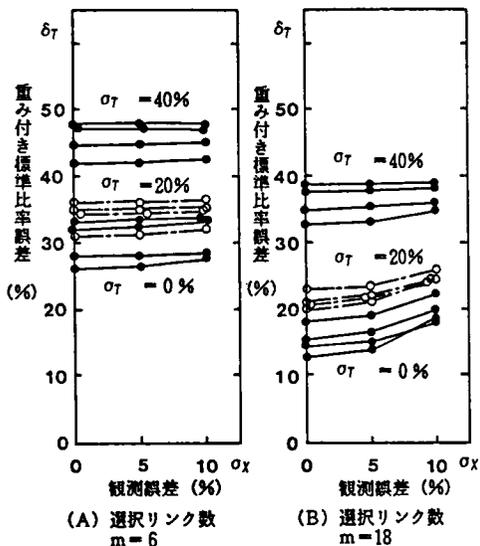


図-4.3 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (IMA 法L型)

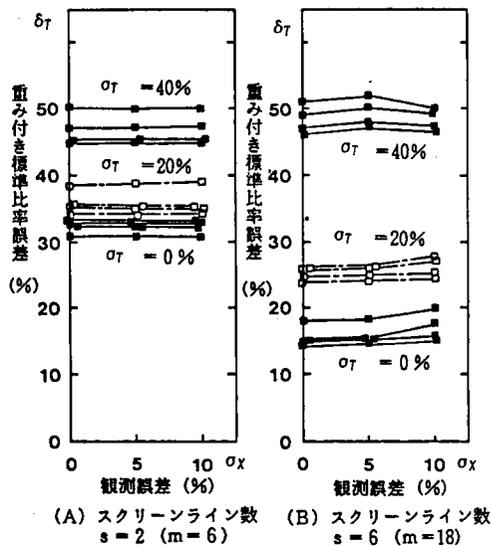


図-4.4 選択リンク位置が推計精度に及ぼす影響 (IMA 法S型)

IMA 法S型においても同様であるが、今回のシミュレーションでは対象とした道路網が小さいために、どのようにスクリーンラインを設定しても通過するODペア数がほとんど同じとなり、スクリーンライン位置の違いによる影響が小さかったものと考えられる。

3) 道路区間交通量の観測誤差および選択リンク数が推計精度に及ぼす影響

道路区間交通量の観測誤差 σ_x および選択リンク数 (あるいは、スクリーンライン数) が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、選択リンク数を変化させてシミュレーションを行った。ただし、シミュレーションではどちらの手法も同じ条件になるように、道路区間 (あるいはスクリーンライン) の選択位置は同一とした。

なお、道路区間の選択順位は図-4.5 に示すスクリーンライン $SL1U$, $SL1D$, $SL2U$, \dots , $SL4D$ (上下方向別に8本) に対応した図-4.6 の道路区間 (1, 11, 21), (2, 12, 22), (3, 13, 23), \dots , (16, 18, 20) から順に行うものとし、選択リンク数の増加に応じて制約条件数を増加させた。

結果の一例を図-4.7 ($\sigma_x = 0\%$), 図-4.8 ($\sigma_x = 10\%$) に示す。図-4.7 と図-4.8 の推計結果を比較すると、選択リンク数が少ない場合には IMA 法L型においても、また IMA 法S型においてもほとんど推計精度の違いは見られないが、選択リンク数が増えるとどちらの推計法においても図-4.8 (道路区間交通量の観測誤差 $\sigma_x = 10\%$) の推計精度が悪くなっている。また、この傾向は図-4.3 および図-4.4 から読み取れる。これらのことより、道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響は選択するリンク数 (あるいは、スクリーンライン数) とOD交通量のランダム誤差 σ_T の大きさによって異なり、選択リンク数が少ない場合には IMA 法L型も IMA 法S型もランダム誤差 σ_T の大きさによって推計精度が決まり、道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響は小さいといえる。こ

これは、IMA 法の場合、選択リンクを利用しないODペアは修正されず、そのまま既存OD交通量が推計値となるためであり、選択リンク数が少ない場合には修正されるODペア数も少ないために、観測誤差 σ_x が $\sigma_x = 20\%$ 、 $\sigma_x = 30\%$ と大きくなっても、全体としての影響はそれほど大きくはないものと考えられるからである。しかし、選択リンク数が多い場合には修正されるODペア数も多くなるため、ランダム誤差 σ_T の大小によって σ_x の影響が異なってくる。ランダム誤差 σ_T が σ_x に比べてかなり大きい場合 ($\sigma_T = 40\%$) にはIMA 法L型もIMA 法S型も σ_x の影響は小さいが、ランダム誤差 σ_T が小さい場合 ($\sigma_T = 0\%$) にはIMA 法L型もIMA 法S型も道路区間交通量の観測誤差 σ_x が大きくなるに従って、推計精度が悪化する傾向にあるといえる (図-4.3, 図-4.4)。しかも、その影響はIMA 法L型の方が大きく、 $\sigma_x = 10\%$ ではIMA 法S型の方が推計精度が良いという結果であった (表-4.1, 表-4.2)。

ここで、道路区間交通量の観測誤差 σ_x が無い場合 ($\sigma_x = 0\%$) について、IMA 法L型とIMA 法S型の推計精度の比較を行うと選択リンク数 (あるいは、スクリーンライン数) が少ない場合にはほとんど差はないが、選択リンク数 (あるいは、スクリーンライン数) が多くなると、それに従ってどちらの推計法も推計精度が向上する傾向にあるといえる。ただし、OD交通量のランダム誤差が大きい場合 ($\sigma_T = 40\%$) には、IMA 法L型の方がIMA 法S型よりも推計精度が良いといえる。これは、IMA 法のモデル定式化が道路区間上 (あるいはスクリーンライン上) でのOD交通量の同時生起確率最大化により行われるため、スクリーンライン上で道路区間交通量を集約すると、ODパターンを規定する制約条件の数が減少し、その結果ODパターンの変動が大きい場合には推計精度の低下を招くものと考えられる。

4) 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

モデルの適用においてはスクリーンライン利用率の先決誤差の影響も検討する必要があるが、今回用いた図-4.1の道路網のように単純なネットワークにおいては、ほとんどスクリーンライン利用率の先決誤差はないものと考えられるので、ここでは道路区間利用率の先決誤差についてのみその影響を検討する。なお、道路区間利用率の先決誤差の影響は、配分に用いる Dial 確率配分法のパラメータ θ に先決誤差がある場合を仮定して行った。シミュレーションでは、 RX_k の計算に用いるパラメータを R $\theta = 0.5$ とし、推計に用いるパラメータ $E\theta$ を $E\theta = 0.2 \sim E\theta = 0.8$ まで変化させてその影響を検討した。

シミュレーション結果の一例を表-4.3 に示す。この表より、選択リンク数が少ない場合 ($m =$

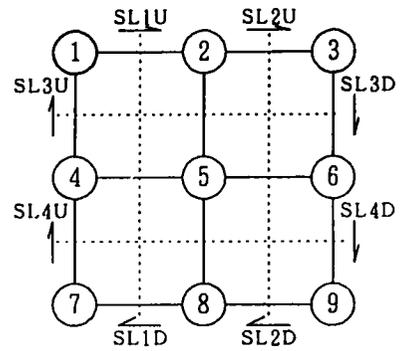


図-4.5 スクリーンライン番号

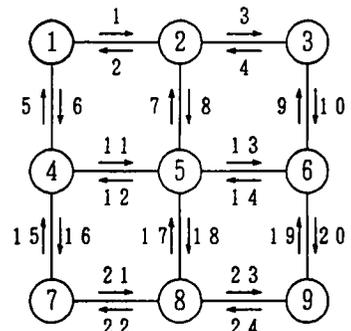
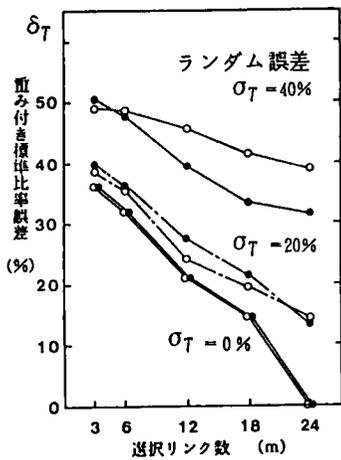
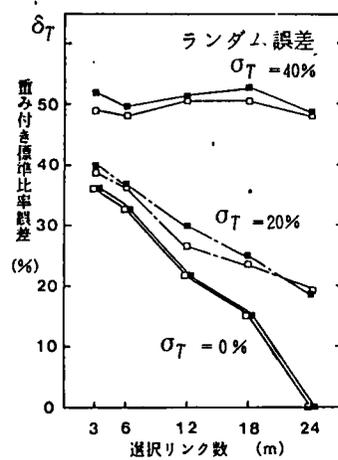


図-4.6 道路区間番号

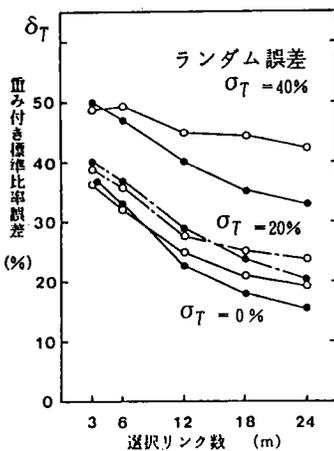


(a) IMA 法L型

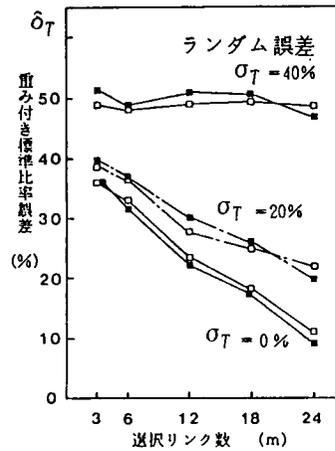


(b) IMA 法S型

図-4.7 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 ($\sigma_X = 0\%$, $\zeta = 0.4$)



(a) IMA 法L型



(b) IMA 法S型

図-4.8 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響 ($\sigma_X = 10\%$, $\zeta = 0.4$)

3, $m = 6$) では、調査洩れ ζ による影響の方が大きく、ほとんど $E\theta$ の影響は見られない。しかし、全リンクを用いた場合 ($m = 24$) には、 $E\theta$ の先決誤差の影響はかなり見られ、特に OD 交通量のランダム誤差が小さい場合 ($\sigma_T = 0\%$) にその影響が大きいといえる。

ここで、IMA 法L型と IMA 法S型の計算時間 (C.P.U. TIME) の比較を行うと、表-4.4 のような結果であった。ただし、計算には金沢大学情報処理センターの FACOM M320AP を用いた。表-4.4 より、選択リンク数が増加すると、それに応じて IMA 法L型の方が IMA 法S型に比べて、指数関数的に計算時間が増加する傾向にあることがわかる。ちなみに、ここでは計算結果は示さなかったが、ノード数 25、リンク数 80 (上下方向別) の格子状道路網における両推計法の計算時

表-4.3 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(IMA 法L型, $\zeta = 0.4$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

誤差 選択リンク	ランダム誤差 σ_T	$\sigma_T = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_T = 40\%$			
	OD調査の精度 δ_t	40.0 %			41.8 %			50.1 %			
	リンク交通量の観測誤差	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%	
選択リンク数 m=3 リンク番号 (1, 11, 21)	道路区間利用率の	0.2	36.1	36.2	36.4	38.5	38.6	38.8	48.7	48.8	48.8
	0.3	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.7	48.8	48.8	
	推定のために先決	0.4	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.8	48.8
	した Dial 確率	0.5	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.9	48.8
	0.6	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.8	48.9	48.8	
	配分法の配分バラ	0.7	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.9	48.9	48.7
	0.8	36.1	36.1	36.4	38.5	38.6	38.8	48.9	49.0	48.7	
	メータ ($E\theta$)										
選択リンク数 m=6 リンク番号 (1, 11, 21) (2, 12, 22)	道路区間利用率の	0.2	31.8	31.9	32.2	35.3	35.5	35.7	47.7	47.9	48.6
	0.3	31.8	31.9	32.2	35.3	35.5	35.7	47.9	48.2	48.8	
	推定のために先決	0.4	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.7	48.3	48.5	49.1
	した Dial 確率	0.5	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	48.6	48.9	49.4
	0.6	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.0	49.3	49.8	
	配分法の配分バラ	0.7	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.4	49.7	50.1
	0.8	31.8	31.8	32.2	35.3	35.4	35.8	49.7	50.1	50.4	
	メータ ($E\theta$)										
選択リンク数 m=24 リンク番号 (全リンクを 用いた場合)	道路区間利用率の	0.2	12.5	16.1	25.8	17.9	21.0	29.0	35.6	38.4	43.3
	0.3	7.7	11.8	22.3	15.2	18.0	25.9	33.2	35.7	40.2	
	推定のために先決	0.4	3.5	8.7	20.0	13.9	16.3	23.9	32.1	34.2	38.4
	した Dial 確率	0.5	0.0	7.1	18.7	13.7	15.6	22.9	31.7	33.5	37.5
	0.6	3.0	7.1	18.2	14.2	15.7	22.5	31.9	33.5	37.1	
	配分法の配分バラ	0.7	5.5	8.1	18.1	15.1	16.3	22.5	32.4	33.8	37.1
	0.8	7.6	9.5	18.3	16.1	17.1	22.7	33.1	34.4	37.4	
	メータ ($E\theta$)										

間を比較すると、表-4.5のような結果であった。この表より、対象道路網が大きくなるとIMA法L型の計算時間の増加がさらに顕著になることがわかる。したがって、これらのことよりIMA法S型の計算時間節約に対する有効性が、対象道路網が大きくなればなるほど大きいといえる。

4.4 結 語

本章では、情報量最小化によりモデル定式化を行う分析モデル (IMA法) を取り上げ、従来開発されてきた道路区間交通量による方法 (IMA法L型) と、その改良方法であるスクリーンライン交通量による

方法 (IMA法S型) の比較分析を行った。シミュレーション結果をまとめると、次のことがいえる。

① IMA法L型もIMA法S型も、調査洩れの影響を大きく受けるため、調査洩れが大きい場合には

表-4.4 IMA法L型とIMA法S型の計算時間の比較
(ノード数9, リンク数24)

選択リンク数 (スクリーン数)	IMA法L型 (CPU TIME)	IMA法S型 (CPU TIME)
3ヶ所 (1本)	1.02 秒	1.08 秒
6ヶ所 (2本)	1.80 秒	1.16 秒
12ヶ所 (4本)	8.28 秒	1.39 秒
18ヶ所 (6本)	22.82 秒	1.94 秒
24ヶ所 (8本)	54.58 秒	3.24 秒

表-4.5 IMA法L型とIMA法S型の計算時間の比較
(ノード数25, リンク数80)

選択リンク数 (スクリーン数)	IMA法L型 (CPU TIME)	IMA法S型 (CPU TIME)
5ヶ所 (1本)	7.99 秒	2.38 秒
10ヶ所 (2本)	40.12 秒	4.89 秒
15ヶ所 (3本)	2分 01.01 秒	10.53 秒
20ヶ所 (4本)	4分 56.29 秒	19.48 秒
25ヶ所 (5本)	10分 00.11 秒	38.99 秒
30ヶ所 (6本)	18分 01.89 秒	1分 01.73 秒

問題があるといえる。特に、その傾向は選択するリンク数（あるいは、スクリーンライン数）が少ない場合に顕著であるので、モデル適用に当ってはできるだけ多くのリンク交通量を用いて推計を行う必要がある。

- ② 道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響は選択するリンク数（あるいは、スクリーンライン数）とOD交通量のランダム誤差 σ_T の大きさによって異なっており、選択リンク数が少ない場合にはIMA法L型もIMA法S型もランダム誤差 σ_T の大きさによって推計精度が決まり、道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響は小さい。
- ③ しかし、選択リンク数が多い場合には修正されるODペア数が多くなるため、ランダム誤差 σ_T の大小によって σ_X の影響が異なる。ランダム誤差 σ_T が σ_X に比べてかなり大きい場合にはIMA法L型もIMA法S型も σ_X の影響は小さいが、ランダム誤差 σ_T が小さい場合にはどちらの推計法も道路区間交通量の観測誤差 σ_X が大きくなるに従って、推計精度が悪化する傾向にある。特に、その影響はIMA法S型よりもIMA法L型の方が大きい。
- ④ 道路区間交通量の観測誤差 σ_X が小さい場合について、IMA法L型とIMA法S型の推計精度の比較を行うと選択リンク数（あるいは、スクリーンライン数）が少ない場合にはほとんど差はないが、選択リンク数（あるいは、スクリーンライン数）が多くなると、それによってどちらの推計法も推計精度が向上する傾向にある。ただし、OD交通量のランダム誤差 σ_T が大きい場合には、IMA法L型の方がIMA法S型よりも推計精度がよい。
- ⑤ 選択リンク数が少ない場合では調査洩れによる影響の方が大きく、ほとんど $E\theta$ の先決誤差の影響は見られない。しかし、全リンクを用いた場合では $E\theta$ の影響はかなり見られ、特にランダム誤差 σ_T が小さい場合にその影響が大きい。

- ⑥ IMA法L型とIMA法S型の計算時間（C.P.U. TIME）の比較を行うと、IMA法L型の方がIMA法S型に比べて、選択リンク数が増加すると指数関数的に計算時間が増加する傾向にある。したがって、対象道路網が大きい場合にはIMA法S型を用いた方がよい。

これらの結果より、IMA法を実際の道路網へ適用する場合、基本的には選択リンク数を多く取って推計を行えばよいが、道路区間交通量の観測誤差 σ_X が大きい場合には推計精度に及ぼす影響も大きくなるので、調査日の同じ観測データを用いるのが望ましいといえる。

なお、今後の課題をまとめると次のようになる。

- ⑦ ネットワークが大規模になると、それにともない各ODペアの経路選択も複雑になり、スクリーンラインを回り込む交通量（スクリーンラインを2回以上通過する交通量）が増加する。本研究では、その影響についての検討は行わなかったが、今後はそれらの影響についても検討する必要がある。

以上、本章では情報量最小化による分析モデルについて、その有効性と適用限界を明らかにした。今後は、現実道路網への適用を通して、その実用性を確かめる必要がある。

第4章 参考文献

- 1) *L. Brillouin*; Science and Information Theory, Academic Press, New York, 1956.
- 2) *H. J. Van Zuylen*; The Information Minimising Method: Validity and Applicability to Transport Planning. In *New Developments in Modelling Travel Demand and Urban Systems* (Edited by *G. R. M. Jensen et al.*) Saxon, Farnborough, 1978.
- 3) *H. J. Van Zuylen and L. G. Willumsen*; The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts, *Transpn Res.*, Vol. 14-B, No. 3, pp. 281 ~ 293, 1980
- 4) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二; 道路区間交通量を用いた情報量最小化による道路網交通需要推計法, 第16回日本道路会議一般論文集, pp. 11 ~ 12, 1985年10月
- 5) 飯田恭敬, 高山純一, 小林光二; スクリーンライン交通量を用いたIMA法によるOD表修正の可能性について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 318 ~ 319, 1986年3月
- 6) 高山純一, 飯田恭敬, 高山 篤, 小林光二; 能登地域を対象とした Information Minimising Approach によるOD調査法, 第41回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第四部, pp. 53 ~ 54, 1986年11月
- 7) 前掲 2), 3)
- 8) 鈴木尚一, 垂沢璋治; 自動車走行経路調査について, *交通工学*, Vol. 7, No. 5, pp. 14 ~ 24, 1972年
- 9) 越 正毅, 片倉正彦, 北川久; プレートナンバー法による街路網の走行経路解析, *交通工学*, Vol. 8, 増刊号, pp. 3 ~ 13, 1973年
- 10) 高山純一, 飯田恭敬; 交通需要予測のための部分道路網の交通流解析; 金沢大学工学部紀要, 第14巻2号, pp. 97 ~ 107, 1981年10月
- 11) 土木学会, 「交通需要予測ハンドブック」, 技報堂出版, p. 106, 1981年10月
- 12) 井上博司; 等時間原則交通量配分における経路交通量の推定, *交通工学*, Vol. 13, No. 1, pp. 3 ~ 9, 1978年1月
- 13) *Robert B. Dial*; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.*, Vol. 5, pp. 83 ~ 111, 1971.
- 14) 大矢正樹; 経路を先決しない確率的均衡配分に関する考察, 第5回土木計画学研究発表会講演集, pp. 399 ~ 406, 1983年1月
- 15) 前掲 4) ~ 6)
- 16) FACOM FORTRAN SSL II 使用手引書(科学用サブルーチンライブラリー); 連立非線

形方程式 (ブレント法), pp.418 ~ 420, 富士通

- 17) 井上博司; スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法, 交通工学,
Vol.12, No.6, pp.11~19, 1977年11月

第5章 最尤法による分析モデル

5.1 概 説

この章では、最尤法による分析モデル（最尤法モデル）を提案する。具体的には、交通量の変動特性を考慮するために、OD交通量を1つの確率変数として取り扱い、モデル化を行う。こうすることにより、交通量の変動特性に応じた分析モデルの開発が可能となる。ここでは、交通量変動を不規則変動、周期変動、傾向変動の3成分に分類し¹⁾、それぞれの変動成分が卓越する場合に適用する3タイプの分析モデルを提案する。

まず、第2節では実際の交通量観測データ（高速道路と一般平面街路の日交通量）を分析し、交通量の変動特性を明らかにする。これはモデル定式化において必要となるOD交通量の変動特性を明らかにするためのものであり、交通量変動の周期性と相関性の関係、変動分布形の検定、平均交通量と分散の関係など日々変動するOD交通量の基本的な特性を分析するものである。なお、分析には分散分析法、相関分析法などの統計的手法^{2), 3)}を用いた。第3節では、第2節で得られた変動特性をもとに、OD交通量の不規則変動を考慮する最尤法モデル^{4) ~ 6)}を提案する。第4節では、OD交通量の相関性を利用して、周期変動を考慮する場合の最尤法モデル^{7), 8)}を提案する。第5節では、さらにOD交通量が経年的に変化し、傾向変動が無視できない場合に適用する最尤法モデル^{9) ~ 11)}を提案する。提案した最尤法モデルの適用性はモデル計算を用いたシミュレーションにより検討するが、井上博司も最尤法を用いた類似モデル^{12) ~ 16)}を提案しているので、その比較分析も行う。

表-5.1 交通量変動の変動成分と各種最尤法モデルの対応関係

第5章	不規則変動	周期変動	傾向変動	本研究の方法	井上博司の方法
第3節	○	×	×	OD推計法1 母数推計法1	井上の推計法1 井上の推計法2
第4節	○	○	×	OD推計法2	
第5節	○	×	○	OD推計法3 母数推計法3	井上の推計法3

[○ ; 大きい × ; 無視できる]

各変動成分に対応する3タイプの最尤法モデルを整理すると表-5.1に示すようにまとめることができる。なお、第2章でも示したが最尤法を用いたモデルとしては、他にJ. Holm等の研究¹⁷⁾があるが、これは井上博司の推計法3と類似しているため、ここではそれとの比較分析は割愛する。

5. 2 交通量変動特性の統計分析

(1) 分析に用いたデータの概要

道路交通量は季節、曜日、時間、天候などの諸要因によって変動し、その変動特性は地域事情や利用交通の内容によってかなり相違があるといわれている^{18) ~ 20)}。それゆえ、交通規制や交通制御などを組み込んだ道路網運用計画をネットワーク的観点から合理的に実施するためには、交通量の変動特性を明確にすると同時に、変動に対応したOD交通量の的確な推計が必要となる。

本節の目的は、実際の交通量観測データを分析し、その変動特性を明らかにするとともに、その変動特性がOD交通量推計に利用可能であるかどうかを検討することにある。なお、OD表はゾーン区分のとり方によってどのようにでも分割統合が可能であり、多数のOD交通量を合計した交通量（たとえば、発生・集中交通量、道路区間交通量）も1つのOD交通量と考えることができる。したがって、本分析で用いるインターチェンジ交通量、道路区間断面交通量を一種のOD交通量と考えて論を進めても本質的に大きな問題はないと思われる。

そこで、表-5.2 に示す交通量観測データ 表-5.2 分析に用いた交通量観測データの概要

(24時間交通量)を用いて分析を行う。一般に、交通量変動は傾向変動と周期変動および不規則変動によって起ると考えられる。したがって、日単位の観測交通量は式(5-1)のように表わすことができる^{21), 22)}。今回用いた観測交通量は一年間の観測値データであるため、傾向変動はあまり

場所	北陸自動車道	中国自動車道	金沢市内平面街路
調査日時	昭和52年 4月1日 ↓ 昭和53年 3月31日	昭和52年 1月1日 ↓ 昭和52年 12月31日	昭和53年 9月1日 ↓ 昭和54年 8月31日
交通量	各インターチェンジ流出入合計交通量		断面日交通量
観測地点	7インター	14インター	15道路区間

り大きくないものと考えられる。傾向変動が無視できれば、単純移動平均法を用いて周期変動を取り出し、式(5-2)~(5-4)のように補正することによって、それぞれの変動成分を除去した新しい修正交通量データを作ることができる。ここでは、この4種類のデータを用いて分析を行う。

$$\text{観測交通量} = \text{定数} + \text{傾向変動} + \text{周期変動} + \text{不規則変動} \quad (5-1)$$

$$\text{月間変動除去交通量} = \text{年平均交通量} + \text{観測交通量} - \text{月間移動平均交通量} \quad (5-2)$$

$$\text{月間週間除去交通量} = \text{年平均交通量} + \text{観測交通量} - \text{週間移動平均交通量} \quad (5-3)$$

$$\text{修正不規則交通量} = \text{年平均交通量} + \text{月間週間除去交通量} - \text{曜日別平均交通量} \quad (5-4)$$

(2) 交通量変動の要因分析²³⁾

一年間の時系列データでは、傾向変動は小さいと考えられる。そこで、変動要因として、月、週、曜日の3要因を取り上げ、三元配置の分散分析法²⁴⁾を用いて要因分析を行った。ただし、分析の都合上、1カ月を4週間(28日)として処理した。

① 北陸自動車道

観測交通量に対する分散分析の結果、有意差の認められた要因は、月間変動、曜日変動、月間と週間

の交互作用であり、有意差の認められなかった要因は、週間変動、月間と曜日、週間と曜日の交互作用であった。変動要因の大小関係は個々のインターチェンジによって異なるが、全般的傾向としては月間変動が大きいといえる（表-5.3）。これは、春（特に五月の連休）、夏（特にお盆）、秋の行楽期に交通量が集中し、冬は積雪の影響で交通量が減少することによるものと考えられる。ただし、片山津、加賀の両インターチェンジにおいては、月間変動に比べ曜日変動の占める割合が大きい。これは、後背地に温泉郷があるため、土曜日、日曜日に著しく交通量が増加することによるものと考えられる。

ここで、変動成分を補正した月間変動除去交通量の分散分析結果をみると、当然のことながら月間変動が有意な要因としては認められず、また月間週間除去交通量では曜日変動だけが有意な要因となっている。また、修正不規則交通量ではまったく有意な要因は見られなかった。

表-5.3 観測交通量に対する分散分析表（北陸自動車道）

要因	インター	金沢西		小松		片山津		加賀		丸岡		福井北		福井	
		分散比	寄与率												
月間変動		34.1	41.6	29.8	42.4	15.5	16.0	5.7	9.7	23.0	34.5	30.8	39.6	37.4	47.9
曜日変動		9.1	5.6	6.9	4.8	71.4	42.3	15.6	16.6	8.5	6.5	9.7	6.3	4.7	2.7
月間週間の交互作用		4.8	14.5	2.8	7.9	3.5	8.2	2.6	10.0	3.4	11.2	4.4	13.6	3.3	9.3
不規則変動			38.3		44.9		33.5		63.6		47.8		40.5		40.1

* 寄与率は%を表わす。

② 中国自動車道

有意差の認められた要因は、ほぼ北陸自動車道の場合と同様であった。全般的傾向としては、阪神地区に近い宝塚、吉川、福崎の各インターチェンジで、月間変動に比べ曜日変動の占める割合が大きく、中国山間部にあたる北房、新見、三次の各インターチェンジでは、反対に月間変動が卓越している（表-5.4）。これは、阪神地区に近いインターチェンジの場合、業務あるいは通勤などの目的として利用する交通量が考えられるのに対し、中国山間部のインターチェンジは北陸自動車道と同様に、春、夏、秋の行楽期や盆、正月に交通量が集中するためと考えられる。

表-5.4 観測交通量に対する分散分析表（中国自動車道）

要因	インター	中国豊中		池田		宝塚		吉川		福崎		山崎		佐用	
		分散比	寄与率												
月間変動		24.6	28.4	28.3	34.8	11.9	13.3	19.2	20.4	10.4	12.2	10.4	14.4	15.1	17.5
曜日変動		29.9	19.0	28.6	19.1	66.1	43.6	63.6	38.4	68.9	48.2	32.5	26.2	48.1	32.0
月間週間の交互作用		5.4	15.9	2.9	7.4	2.5	5.7	3.0	6.9			3.8	13.0	4.4	12.6
不規則変動			36.7		38.7		37.4		34.3		39.6		46.4		37.9

要因	インター	美作		津山		院庄		落合		北房		新見		三次	
		分散比	寄与率												
月間変動		19.7	24.8	19.5	23.4	13.3	16.5	17.6	23.2	33.1	37.9	35.8	38.5	20.7	28.2
曜日変動		30.9	21.7	35.0	23.4	35.7	25.4	16.6	11.9	14.9	9.0	12.5	7.0	8.8	6.1
月間週間の交互作用		4.2	12.9	4.9	14.7	5.2	17.1	6.3	22.3	5.9	17.2	7.3	20.8	6.2	22.1
不規則変動			40.5		38.5		40.9		42.6		36.0		33.7		43.6

* 寄与率は%を表わす。

③ 金沢市内平面街路

観測交通量に対する分散分析の結果、有意差の認められた要因は、北陸、中国の両自動車道の場合とほぼ同様であった。しかし、観測地点によっては、週間変動あるいは月間と曜日の交互作用を含めた4

要因、両方含めた5要因が有意である場合も存在している。そしてそれら要因の占める割合は様々であり、月間変動が卓越したもの（たとえば、片町）、曜日変動が卓越したもの（たとえば、松村町）、不規則変動が大きいもの（たとえば、長田本町）など、観測地点によって変動要因の大きさはばらばらである（表-5.5）。これは、一般平面街路の場合、その利用形態は様々であり、一日の交通を考えた場合においても通勤のために主に利用される道路もあれば、業務交通や帰宅のために利用される道路も

表-5.5 観測交通量に対する分散分析表（金沢市内平面街路）

観測地点 要因	大 樋 町				東 山				南 町			
	UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向	
	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
月 間 変 動	82.7	60.1	46.2	42.8	80.8	53.0	35.0	40.0	36.5	34.6	10.1	12.0
週 間 変 動	23.2	8.9	45.6	23.0	35.4	12.5	33.4	20.8	64.1	33.6	67.1	47.7
曜 日 変 動	3.5	5.4	1.7	2.0	8.1	14.2	1.9	3.2	1.7	2.1		
月間週間の交互作用	1.7	3.2	1.6	3.4								
月間曜日の交互作用												
不 規 則 変 動		22.4		28.8		20.3		35.9		29.7		40.3

観測地点 要因	片 町				横 川 町				浅 野 小 前			
	UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向	
	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
月 間 変 動	101.2	70.0	437.3	86.1	443.4	85.2	13.3	18.5	91.3	58.9	24.8	23.3
週 間 変 動	8.7	2.9	15.6	0.8	46.3	4.8	36.4	29.0	39.3	13.6	11.3	2.8
曜 日 変 動	3.7	5.7	9.6	5.1	7.5	3.8	2.5	6.8	4.9	7.6	2.6	4.8
月間週間の交互作用					1.4	0.4						
月間曜日の交互作用												
不 規 則 変 動		21.3		6.0		5.9		45.7		19.9		29.8

観測地点 要因	増 泉 北				本 多 町				長 田 本 町			
	UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向	
	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
月 間 変 動	36.8	38.5	16.3	15.3	41.6	39.4	12.6	15.1	21.5	34.8	19.5	22.2
週 間 変 動	42.3	24.2	91.7	49.7	44.3	22.9	60.3	42.1	11.6	9.8	42.6	27.2
曜 日 変 動	2.4	4.5	2.5	4.4	3.8	8.3	1.8	3.1	1.7	3.5	4.0	10.8
月間週間の交互作用												
月間曜日の交互作用												
不 規 則 変 動		32.7		30.6		29.5		39.6		51.8		36.5

観測地点 要因	泉 1 丁 目				松 島 北				松 村 町			
	UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向	
	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
月 間 変 動	19.0	21.4	29.9	30.1	55.2	36.5	52.0	35.8	17.0	13.8	21.9	17.7
週 間 変 動	60.1	38.4	60.5	33.8	9.8	1.6	10.9	1.9				
曜 日 変 動	2.1	3.9	2.4	4.4	84.9	30.8	84.8	32.1	118.7	55.3	113.6	52.1
月間週間の交互作用					5.0	8.0	4.2	6.7	2.8	4.7	2.7	4.4
月間曜日の交互作用					1.6	2.5	1.5	2.1				
不 規 則 変 動		36.3		31.7		20.5		21.4		26.2		25.8

観測地点 要因	南 新 保 南				広 岡 北				大 豆 田 橋			
	UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向		UP方向		DOWN方向	
	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
月 間 変 動	63.4	34.0	49.4	29.4	64.8	44.8	18.0	15.5	31.5	26.9	20.6	14.9
週 間 変 動	10.0	1.3	8.9	1.3			9.0	2.0			8.8	1.6
曜 日 変 動	127.6	37.6	129.2	42.5	78.8	29.8	100.3	49.3	80.2	38.0	131.9	54.2
月間週間の交互作用	5.7	7.7	4.5	6.5	2.9	4.1	3.0	5.6	4.2	8.4	3.7	6.2
月間曜日の交互作用	1.9	2.8	1.5	1.8			*					
不 規 則 変 動		16.6		18.5		21.4		27.7		26.8		23.1

* 寄与率は%を表わす。

ある。また、金沢都市圏の圏域内に起終点を持つ交通が主に利用する道路もあれば、圏域外に起終点を持つ通過交通が主に利用する道路もある。さらに一年間で考えれば、冬期積雪のために渋滞が激しく、利用交通量が減少する道路もあれば、あまり影響を受けない道路もある。このように、一般平面街路の利用形態は高速道路に比べかなり複雑であるといえる。

(3) 交通量変動の周期性と相関性²⁵⁾

交通量変動に周期性が存在することは、移動平均交通量に周期的な変動が確かめられること(図-5.1)や交通量変動が月間変動、曜日変動などの変動要因から構成されていることなどにより推測できる。したがって、ここでは自己相関係数および曜日変動係数を用いて交通量変動の周期性の分析を行う²⁶⁾。ただし、自己相関係数は交通量データを4カ月平行移動させて計算を行った。また、曜日変動係数は基本周期を7日間として計算した。以下に、周期性の分析結果を示す。

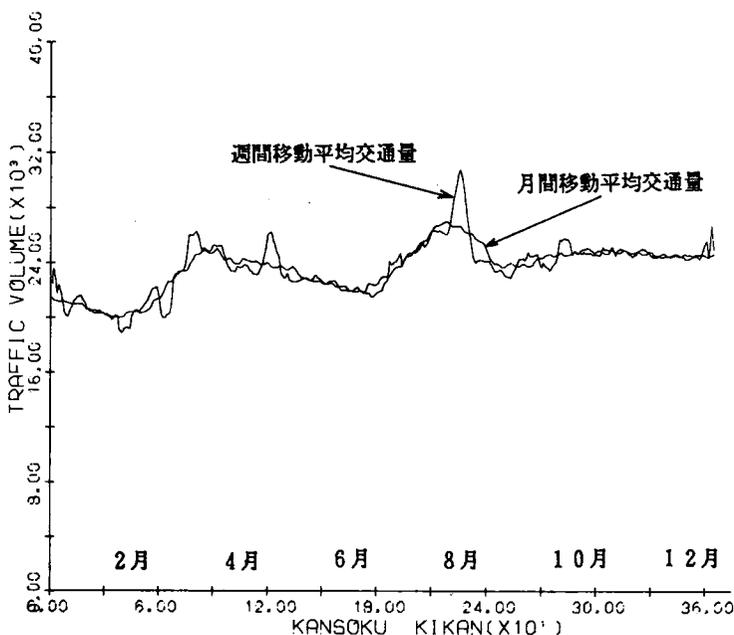


図-5.1 中国池田インターチェンジにおける移動平均交通量

① 北陸自動車道

観測交通量についての自己相関係数を比較すると、曜日変動の卓越した片山津インターを除けば、目立った周期性(7日周期)は見られず、4週間以上平行移動させるとほぼ±0.25以下の相関係数となっている。しかし、曜日変動の卓越した片山津インターでは非常にはっきりとした周期性が見られた。ただし、修正不規則交通量についてはどのインターチェンジにおいてもまったく周期性は見られなかった(図-5.2, 図-5.3)。

曜日変動係数をみると、全般的傾向として変動が小さくあまり大きな差は見られない(たとえば、図-5.4)。しかし、曜日変動の卓越したインターチェンジにおいては変動係数の差が大きい傾向にあ

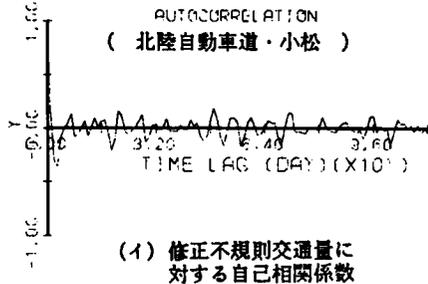
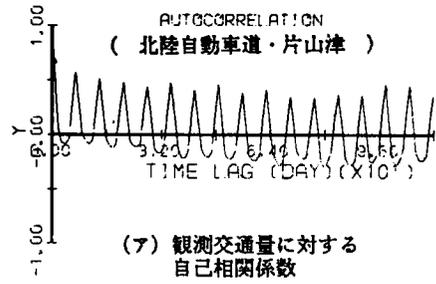
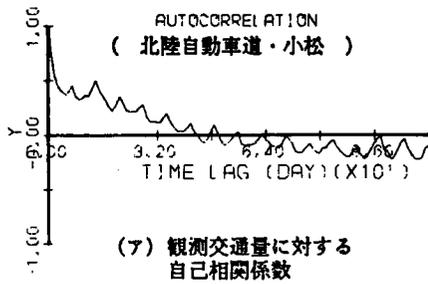


図-5.2 北陸自動車道・小松インターチェンジにおける自己相関係数

図-5.3 北陸自動車道・片山津インターチェンジにおける自己相関係数

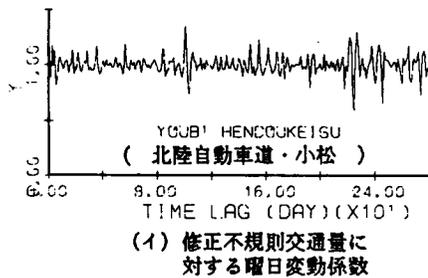
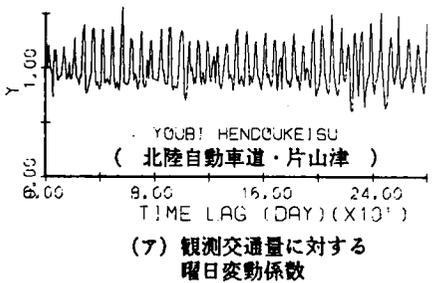
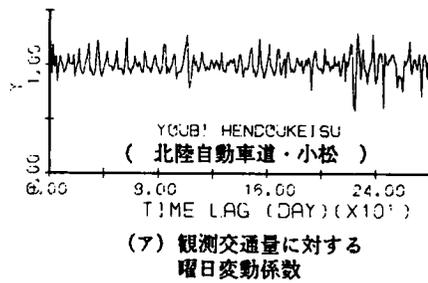


図-5.4 北陸自動車道・小松インターチェンジにおける曜日変動係数

図-5.5 北陸自動車道・片山津インターチェンジにおける曜日変動係数

る(たとえば, 図-5.5)。ただし, その大小関係は必ずしも分散分析の寄与率には比例していない。

② 中国自動車道

北陸自動車道と同様に, 曜日変動の卓越したインターチェンジでは7日の周期性がはっきりしている

が(たとえば, 図-5.6), 月間変動の卓越したインターチェンジでは周期性が曖昧である(たとえば, 図-5.7)。

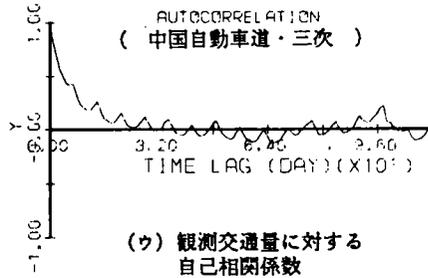
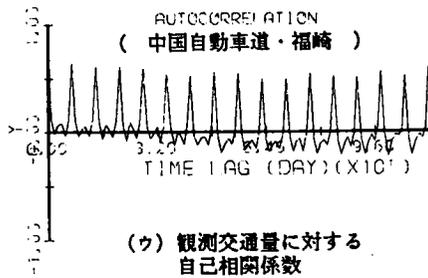
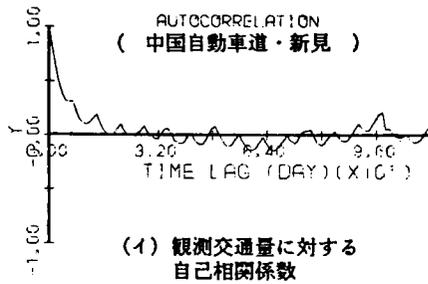
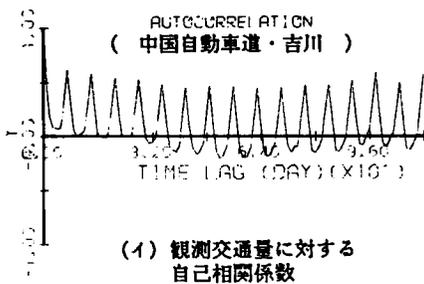
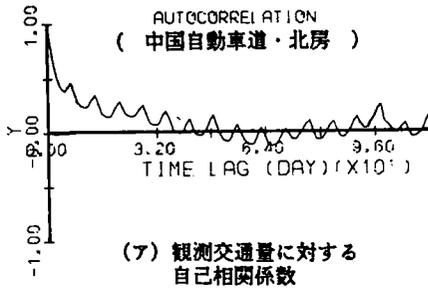
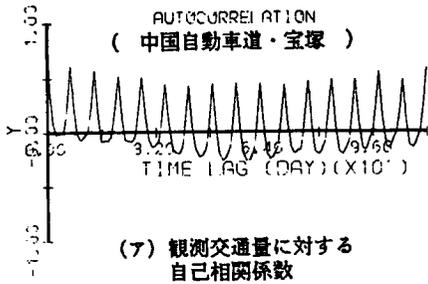


図-5.6 曜日変動の卓越したインターチェンジにおける自己相関係数

図-5.7 月間変動の卓越したインターチェンジにおける自己相関係数

北陸自動車道の曜日変動係数と比較すると, 変動の大きさ(係数の最大値と最小値の差)が大きい傾向にある(たとえば, 図-5.8, 図-5.9)。

③ 金沢市内平面街路

自己相関係数を比較すると, 月間変動, 曜日変動どちらも見られないもの(たとえば, 図-5.10 (ア)), 曜日変動の周期性がはっきり見られるもの(たとえば, 図-5.10 (イ)), 月間変動の上に曜日変動の周期が重なったもの(たとえば, 図-5.10 (ウ))など様々であるが, 全体としては曜日変動の周期性がはっきりしているものが多い。

曜日変動係数については, 高速道路の場合に比べ変動の差が小さいものが多く, 土曜日, 日曜日の交

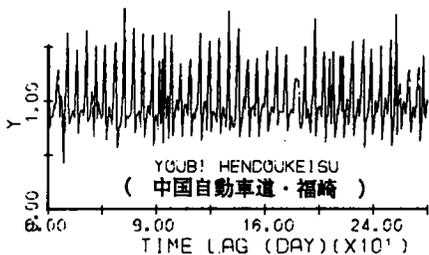


図-5.8 曜日変動の卓越したインターチェンジにおける曜日変動係数

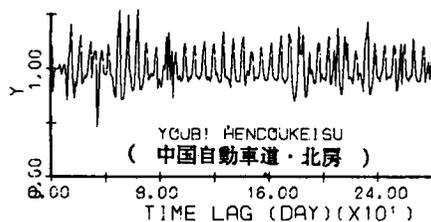


図-5.9 月間変動の卓越したインターチェンジにおける曜日変動係数

通量が平日よりも少ない特徴がある（たとえば、図-5.11）。

次に、交通量変動の相関性を分析する。

一般に、交通量変動がまったくの偶然に支配される不規則変動のみによって起るものであると仮定すれば、交通量は互いに独立であるといえる。しかし、前述のごとく交通量が月間変動や曜日変動に大きく支配される場合にはもはや独立とはいえず、交通量相互には何らかの相関関係が生ずると考えられる。以下に、相関性の分析結果を示す。

表-5.6 観測交通量に対するインターチェンジ相互間の相関係数
(北陸自動車道)

	金沢西	小松	片山津	加賀	丸岡	福井北	福井
金沢西	1.00	0.90	0.73	0.79	0.92	0.89	0.44
小松	0.90	1.00	0.66	0.69	0.92	0.86	0.43
片山津	0.73	0.66	1.00	0.74	0.73	0.70	0.42
加賀	0.79	0.69	0.74	1.00	0.77	0.69	0.39
丸岡	0.92	0.92	0.73	0.77	1.00	0.92	0.55
福井北	0.89	0.86	0.70	0.69	0.92	1.00	0.61
福井	0.44	0.43	0.42	0.39	0.55	0.61	1.00

表-5.7 観測交通量に対するインターチェンジ相互間の相関係数
(中国自動車道)

	宝塚	福崎	美作	津山	北房	新見	三次
宝塚	1.00	0.89	0.77	0.86	0.73	0.68	0.67
福崎	0.89	1.00	0.65	0.74	0.57	0.52	0.48
美作	0.77	0.65	1.00	0.94	0.91	0.89	0.86
津山	0.86	0.74	0.94	1.00	0.94	0.92	0.91
北房	0.73	0.57	0.91	0.94	1.00	0.96	0.94
新見	0.68	0.52	0.89	0.92	0.96	1.00	0.97
三次	0.67	0.48	0.86	0.91	0.94	0.97	1.00

④ 北陸自動車道

福井インターを除けば、各インターチェンジ間の相関はかなり高いといえる（表-5.6）。特に、0.9以上の非常に高い相関を持つインターチェンジ相互を比較すると、交通量変動パターン（分散分析での寄与率、分散比の大小のパターン）および、自己相関係数の形がよく似ている場合が多い。ここで、福井インターについての相関係数が低いのは、昭和52年12月より新しく武生-敦賀間の共用が開始され、特に福井インターの交通量が大きく影響されたことによるものと考えられる。

なお、不規則変動のみを取り出した修正不規則交通量においても、それほど大きくはないが相関係数が見られた。これは、高速道路の場合、あるインターチェンジから流入した交通量はその日のうちに必ずどこかのインターチェンジより流出するはずである。したがって、今回のようにインターチェンジ交通量を用いた場合には、はじめからある程度の相関があるものと考えられる。

表-5.8 観測地点相互間の相関係数（金沢市内平面街路，観測交通量）

	大樋町	東山	南町	片町	横川町	浅野小前	増泉北	本多町	長田本町	泉1丁目	松島北	松村町	南新保南	広岡北	大豆田橋
大樋町	1.00	0.68	0.70	0.12	0.34	-0.11	0.17	0.18	0.11	0.47	0.68	0.49	0.69	0.67	0.52
東山	0.68	1.00	0.55	0.10	-0.05	0.02	0.31	0.36	-0.00	0.37	0.56	0.49	0.53	0.50	0.45
南町	0.70	0.55	1.00	0.40	0.53	0.14	0.38	0.39	0.40	0.65	0.76	0.80	0.82	0.83	0.75
片町	0.12	0.10	0.40	1.00	0.46	0.20	0.27	0.27	0.45	0.22	0.21	0.31	0.18	0.35	0.17
横川町	0.34	-0.05	0.53	0.46	1.00	0.32	0.30	0.15	0.50	0.44	0.35	0.48	0.47	0.52	0.36
浅野小前	-0.11	0.02	0.14	0.20	0.32	1.00	0.69	0.52	0.31	0.49	0.02	0.44	0.12	0.08	0.13
増泉北	0.17	0.31	0.38	0.27	0.30	0.69	1.00	0.84	0.36	0.60	0.30	0.61	0.37	0.43	0.36
本多町	0.18	0.36	0.39	0.27	0.15	0.52	0.84	1.00	0.24	0.53	0.31	0.52	0.35	0.42	0.38
長田本町	0.11	-0.00	0.40	0.45	0.50	0.31	0.36	0.24	1.00	0.40	0.29	0.45	0.34	0.44	0.33
泉1丁目	0.47	0.37	0.65	0.22	0.44	0.49	0.60	0.53	0.40	1.00	0.47	0.77	0.61	0.56	0.60
松島北	0.68	0.56	0.76	0.21	0.35	0.02	0.30	0.31	0.29	0.47	1.00	0.75	0.92	0.88	0.78
松村町	0.49	0.49	0.80	0.31	0.48	0.44	0.61	0.52	0.45	0.77	0.75	1.00	0.85	0.81	0.81
南新保南	0.69	0.53	0.82	0.18	0.47	0.12	0.37	0.35	0.34	0.61	0.92	0.85	1.00	0.91	0.87
広岡北	0.67	0.50	0.83	0.35	0.52	0.08	0.43	0.42	0.44	0.56	0.88	0.81	0.91	1.00	0.84
大豆田橋	0.52	0.45	0.75	0.17	0.36	0.13	0.36	0.38	0.33	0.60	0.78	0.81	0.87	0.84	1.00

⑤ 中国自動車道

表-5.7 からも明らかであるが，かなり高い正の相関関係が見られる。しかも，非常に高い相関を持つインターチェンジ相互は変動パターン，自己相関の形が似ており，その傾向は北陸自動車道と同様であった。

⑥ 金沢市内平面街路

一般平面街路では高速道路の場合とは若干異なり，非常に相関の高いもの，ほとんど相関のないもの，また逆に負の相関を持つものなど様々である（表-5.8）。そのなかで，非常に相関の高いインターチェンジ相互はやはり変動パターンおよび自己相関の形が似ているといえる。しかし，逆に変動パターンが似ているからといって必ずしも相関が高いとは限らない。なぜなら，変動パターンが似ている場合でも，自己相関の形が異なったり，周期に位相差があったりする場合があるからである。

（4）交通量の変動分布形²⁷⁾

一般に，平均値の回りに不規則に変動する確率変量は正規分布するといわれている。そこで，次に示すような帰無仮説 H_0 を設定し，仮説の検定を行った。検定には，ピアソンの χ^2 検定²⁸⁾を用いた。なお，平日（月曜～金曜）と土日（土曜，日曜，祝祭日）では交通量に大きな差が見られ，母集団が異なる場合があると考えられる。よって，全サンプル（全日）を用いた場合とサンプルを平日と土日の2つに分けた場合について，仮説の検定を行った。

帰無仮説 H_0 ・・・「傾向変動が無視できる場合，交通量変動は正規分布に従う。」

検定結果を以下に示す。

① 北陸自動車道，中国自動車道

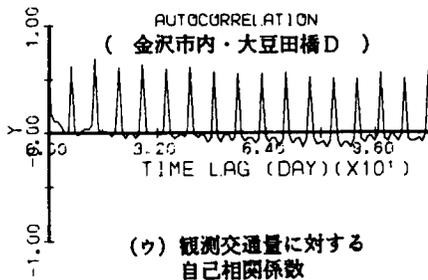
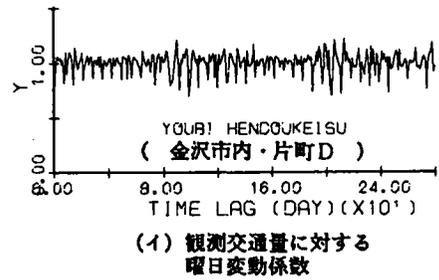
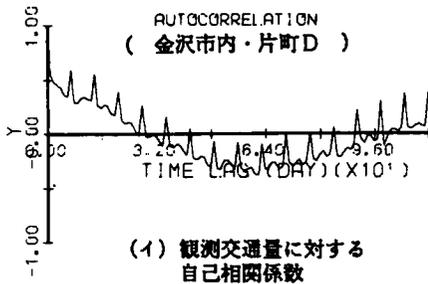
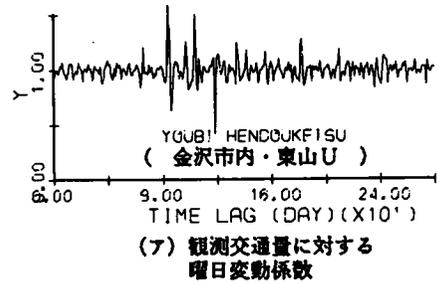
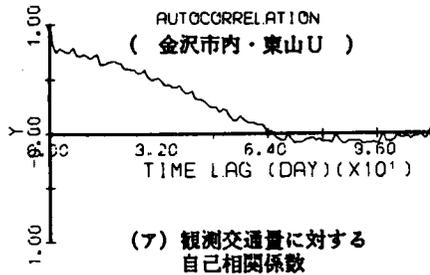


図-5.10 金沢市内平面街路における自己相関係数

図-5.11 金沢市内平面街路における曜日変動係数

検定結果を見れば、北陸・中国自動車道のいずれのインターチェンジにおいても、ほぼ交通量変動が正規分布しているといえる。ただし、サンプル区分の取り方によっては適合度が異なっており、正規分布への適合性は土日が高く、全サンプルを用いた全日が低くなっている。これは、曜日によって利用交通量が大きく異なり、土日と平日では属する母集団が異なるためと考えられる。なお、すべての周期変動を補正した修正不規則交通量においては、ほとんどのインターチェンジにおいて正規分布しているといえる(表-5.9, 表-5.10)。

② 金沢市内平面街路

高速道路の場合に比べれば適合している観測地点は少ないが、それでも平日においてはかなり適合しているといえる。ただし、土日はほとんど適合していない。これは、完全週休二日制の普及が遅れているために、土曜日と日曜日では交通量にまだかなりの差が見られ、分布形が2つの山になるためと考え

表-5.9 正規分布形の検討
(北陸自動車道)

データの種別 インター	観測交通量			月間変動除去交通量			月間週間除去交通量			修正不規則交通量		
	平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日
北陸自動車道	金沢西	5%	5%	1%	5%	5%	5%	5%	1%	5%	5%	5%
	小松	5%	5%	5%	1%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	片山津	5%	5%		5%	5%	5%	5%		5%	5%	5%
	加賀		5%		1%	5%	5%	5%			5%	5%
	丸岡	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	福井北		5%		5%	5%	1%	5%	5%	5%	5%	5%
	福井		5%		5%	5%	5%	1%	5%	1%	5%	5%

(注) 5%…播無仮設日が有意水準5%で受容されたもの
1%…播無仮設日が有意水準1%で受容されたもの
空白…播無仮設日が棄却されたもの

表-5.11 正規分布形の検討
(金沢市内平面街路)

データの種別 観測地点		観測交通量			月間変動除去交通量			月間週間除去交通量			修正不規則交通量		
		平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日
1	U	5%	5%	5%	1%	5%	5%			5%	5%	1%	
	D		5%		5%						5%	5%	1%
2	U	5%		1%	5%			5%			5%	5%	
	D			1%	5%		5%	1%	5%	1%	5%	1%	
3	U		5%		1%			5%	5%	5%	5%	1%	
	D	5%		5%	5%		5%	5%	5%	5%	5%	5%	
4	U	5%	5%	5%		5%	5%	5%		5%	5%	5%	
	D				1%	5%		5%			5%	5%	1%
5	U				5%	5%		5%	5%	5%	5%	5%	
	D	1%	1%						5%	5%	5%	5%	
6	U				5%		5%	5%	5%	5%	5%	5%	
	D	5%		5%				5%	5%	5%	5%	5%	
7	U	5%		1%	5%		5%	5%	5%	1%	5%	1%	
	D	5%		5%	5%		5%	1%	1%	1%	5%	1%	
8	U				1%	5%	1%	5%		5%	1%	5%	
	D	1%		1%				5%				1%	
9	U				5%	5%	1%	5%	5%	5%		5%	
	D	1%			5%		5%	1%	1%	5%	5%	1%	
10	U	1%		5%	5%		5%	5%			1%	5%	
	D			1%	5%						5%	5%	
11	U	5%			5%		5%	5%		5%	5%	5%	
	D	5%			5%			5%			5%	5%	
12	U	5%		5%	5%		5%				1%	5%	
	D	5%		5%	5%		5%				5%	5%	
13	U	5%		5%	5%		1%	5%		5%	5%	5%	
	D	5%		1%	5%			5%			5%	5%	
14	U	5%	5%	5%	5%		5%	5%		5%	5%	5%	
	D	5%		5%	5%		1%	1%	1%	5%	5%		
15	U	5%		5%	5%		5%	1%			5%	5%	
	D	5%		5%	5%		5%				5%	5%	

(注) 5%…播無仮設日が有意水準5%で受容されたもの
1%…播無仮設日が有意水準1%で受容されたもの
空白…播無仮設日が棄却されたもの

表-5.10 正規分布形の検討
(中国自動車道)

データの種別 インター	観測交通量			月間変動除去交通量			月間週間除去交通量			修正不規則交通量		
	平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日	平日	土日	全日
中国自動車道	中国豊中	5%	1%		1%	1%	5%		5%	5%		
	池田	5%	5%	5%	5%	5%	1%	1%	1%	5%	5%	
	宝塚	5%	5%		5%	5%	1%	5%		5%	5%	5%
	吉川		1%	5%	5%	5%	5%	5%				
	福崎	1%	5%	1%	5%	5%	5%	5%		5%	5%	5%
	山崎	5%	5%	1%	5%	5%	1%	5%	5%	1%	5%	5%
	佐用	1%	5%		5%	5%	5%	5%		5%	5%	
	美作		5%			5%		5%			5%	
	津山	5%	1%		5%	5%	5%	5%		5%	5%	5%
	院庄	5%			5%	5%	5%	5%		5%	5%	5%
	落合	5%	5%	1%	5%		5%	5%		5%	5%	5%
	北房		5%	5%	5%	5%	5%	5%		5%		5%
	新見	5%	5%		5%		5%	5%		5%	5%	5%
	三次	1%	5%	5%	5%	5%	1%	5%		5%	5%	

(注) 5%…播無仮設日が有意水準5%で受容されたもの
1%…播無仮設日が有意水準1%で受容されたもの
空白…播無仮設日が棄却されたもの

られる。なお、修正不規則交通量については高速道路の場合と同様、いずれのサンプル区分においても正規分布しているといえる(表-5.11)。

これらのことより、傾向変動が無視できるような場合には、交通量変動は正規分布に従い、特に周期変動が小さいときにはそのほとんどが正規分布するといえる。

(5) 変動分布形の平均値と分散の関係²⁹⁾

交通量変動がほぼ正規分布することは、前述の検定結果より明らかであるが、その分布形を決定するためにはパラメータ（平均値、分散）を決めなければならない。しかし、OD交通量について何度も調査を行い、パラメータを求めることは実際問題として不可能に近い。そこで、既存の実績OD交通量を利用してパラメータを求める方法を提案する。この方法は既存の実績OD交通量を平均値として分散を推定する方法である。つまり、平均値と分散の間に、ある1つの関係式を設定し、その係数（ α 、 β ）を前もって決定しておくことによって推定する方法である。本研究では、式（5-5）に示す指数関係式を仮定し、その適合度とパラメータ推定を行った。分析結果を以下に示す。

$$\sigma^2 = \alpha(\mu)^\beta \quad (5-5)$$

ここで、 σ^2 、 μ はそれぞれ交通量の分散、平均値を表わす。また、 α 、 β はパラメータである。

① 北陸自動車道、中国自動車道

仮定した関係式の適合度を相関係数でみると、北陸・中国自動車道いずれも0.9前後の高い相関関係にあり、適合度はかなり高いといえる（表-5.12、表-5.13）。したがって、パラメータ α 、 β を求めておけば、平均値を与えるだけで簡単に分散を求めることができる。そうなれば、確率論（最尤法）を用いて交通需要推計を行うことも可能となる。

また、パラメータ β の値は1.0以上であり、このことは交通量が大きい程分散が大きいということを表わしている。なお、北陸自動車道では β の値が2.0前後であり、変動係数（ $\nu = \sigma / \mu$ ）がほぼ一定値に近いことを表わしている。

表-5.12 平均値と分散の関係
(北陸自動車道)

		α	β	相関係数
全分散	観測交通量	0.028	2.061	0.950
	月間変動除去交通量	0.229	1.991	0.895
	月間週間除去交通量	0.050	1.864	0.846
	修正不規則交通量	0.019	1.943	0.899
不規則分散	観測交通量	0.015	2.040	0.917
	月間変動除去交通量	0.015	2.038	0.917
	月間週間除去交通量	0.022	1.937	0.882
	修正不規則交通量	0.022	1.936	0.882

表-5.13 平均値と分散の関係
(中国自動車道)

		α	β	相関係数
全分散	観測交通量	127.4	1.154	0.909
	月間変動除去交通量	71.5	1.175	0.918
	月間週間除去交通量	8.2	1.377	0.943
	修正不規則交通量	9.3	1.279	0.950
不規則分散	観測交通量	81.5	1.102	0.907
	月間変動除去交通量	74.6	1.112	0.910
	月間週間除去交通量	9.3	1.288	0.951
	修正不規則交通量	9.5	1.289	0.951

② 金沢市内平面街路

金沢市内平面街路においては、相関が0.7前後（DOWN方向）、0.3前後（UP方向）と、必ずしも高いとはいえない。この理由についてはよくわからないが、平均交通量以外に分散の大きさを決定する要因（たとえば、区間交通容量、利用形態、渋滞度など）があるものと考えられる。よって、区間交通容量、渋滞度などを用いて道路を分類し、各グループ毎に式（5-5）を適用すれば、かなり適合するものと予想される。

さらに、交通量変動の大きさを式(5-6)に示す平均比率変動 δ (= 変動係数 ν) を用いて調べてみると、次のようであった。

$$\text{平均比率変動 } \delta = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{x_i - \mu}{\mu} \right)^2} \quad (5-6)$$

ここで、 μ ; 年平均交通量
 x_i ; i 時点の交通量
 m ; サンプル数

③ 北陸自動車道、中国自動車道

北陸自動車道の各インターチェンジにおける交通量変動の大きさを表-5.14に示す。インターチェンジによって多少変動の大きさは異なるが、それほどおおきな差は見られない(最大 32.4%，最小 16.7%，平均 21.9%)。一方、中国自動車道においては変動の大きいインターチェンジと小さいインターチェンジの差が大きく、平均値を比較しても北陸自動車道よりも大きい(最大 66.9%，最小 12.1%，平均 34.8%)。曜日別に比較すると、北陸自動車道の場合は火曜日の変動が大きく、金曜日が小さい傾向にあるが、中国自動車道の場合では月曜日、火曜日が大きく、他は小さい傾向にある(表-5.17)。なお、不規則変動のみを取り出した修正不規則交通量においては、いずれのインターチェンジにおいても変動の大きさは補正前の約半分となっている。

表-5.14 年平均交通量に対する相対比率変動の大きさ(北陸自動車道%)

データ \ インター	金沢西	小松	片山津	加賀	丸岡	福井北	福井	平均値
観測交通量	21.8	16.7	24.7	32.4	17.6	20.6	19.5	21.9
月間変動除去交通量	15.8	12.1	22.0	30.0	13.6	15.2	13.0	17.4
月間週間除去交通量	11.0	9.7	20.2	25.1	10.6	11.4	9.4	13.9
修正不規則交通量	9.5	8.8	12.2	21.1	9.4	10.0	8.8	11.4

表-5.15 年平均交通量に対する相対比率変動の大きさ(中国自動車道%)

データ \ インター	中国豊中	池田	宝塚	吉川	福崎	山崎	佐用	美作	津山	院庄	落合	北房	新見	三次	平均値
観測交通量	24.4	12.1	18.4	20.5	31.0	18.1	33.6	44.5	41.8	37.1	38.8	39.1	61.1	66.9	34.8
月間変動除去交通量	19.2	9.1	16.3	17.4	28.1	15.7	28.7	36.5	34.6	31.6	31.1	28.9	44.7	52.4	28.2
月間週間除去交通量	15.0	8.2	15.6	16.2	27.9	13.3	24.4	29.3	27.6	25.3	21.8	19.6	27.7	32.1	21.7
修正不規則交通量	10.5	6.2	9.7	10.0	17.6	9.5	15.4	20.6	18.7	17.0	17.0	15.5	22.2	27.0	15.5

④ 金沢市内平面街路

高速自動車道路の場合と比較すると相対変動の大きさは小さいといえる(UP方向・・・最大 31.6%，最小 9.7%，平均 17.6%，DOWN方向・・・最大 23.3%，最小 9.1%，平均 14.4%，表-5.16)。また、修正不規則交通量の変動の大きさは、やはり補正前の約半分となっている。これらのことより、交通需要推計においては周期変動を考慮した推計が必要であり、周期変動を考慮することが推計精度を上げることにつながると予想される。

以上の分析結果をまとめると、次のことがいえる。

表-5.16 年平均交通量に対する相対比率変動の大きさ（金沢市内平面街路 %）

データ		道路区間														平均値	
		大福町	東山	南町	片町	横川町	浅野小	増泉北	本多町	長本	田町	泉丁	松島北	松村町	南保		新町
UP 方向	観測交通量	10.8	20.4	9.9	22.4	31.6	27.9	16.1	15.1	28.1	9.7	13.4	13.2	14.6	13.3	17.6	17.6
	月間変動除去交通量	6.5	12.1	7.8	10.6	10.9	17.0	12.4	11.1	22.5	8.5	10.3	12.1	11.5	9.7	14.7	11.9
	月間週間除去交通量	5.7	10.5	7.4	9.6	9.6	13.9	11.1	9.7	20.5	8.1	9.1	11.5	10.6	9.0	13.6	10.7
	修正不規則交通量	4.6	7.6	4.8	8.9	6.9	9.4	7.9	6.5	18.4	5.4	5.2	6.0	5.5	5.3	8.1	7.4
DOWN 方向	観測交通量	9.5	16.1	9.1	23.3	14.0	16.3	11.1	11.9	15.8	12.5	17.0	12.7	14.8	13.2	19.4	14.4
	月間変動除去交通量	7.1	12.2	8.3	7.3	12.1	13.9	10.1	10.7	13.7	10.3	13.2	11.2	12.1	11.9	17.4	11.4
	月間週間除去交通量	6.7	11.1	8.0	6.0	10.8	12.9	9.4	10.0	11.8	9.6	11.7	10.7	11.2	11.1	16.4	10.5
	修正不規則交通量	4.9	8.3	5.0	4.8	7.7	7.9	5.2	6.4	8.4	6.3	6.6	5.6	5.7	6.2	8.2	6.5

- ① 交通量変動は月間、曜日の変動要因による影響が大きく、週間の影響は小さい。
- ② 単純移動平均法を用いて順次変動成分を取り除けば、不規則変動だけを取り出すことができる。ただし、月、週、曜日の3要因以外はすべて不規則成分とみなしたため、完全な不規則変動とはいえない場合もある。
- ③ 曜日変動の卓越した交通量では、7日の周期性が明確となった。
- ④ 高速道路の場合、その特殊性から交通量相互に高い相関が見られ、特に変動特性が似ている場合にその傾向が強い。一般平面街路においては、相関の高いもの、低いもの、様々であるが、やはり変動特性が似ている場合に相関が高い傾向にある。このことより、ある地点で交通量が増加すれば、他の地点においても交通量が増加することがいえる。
- ⑤ 傾向変動が無視できれば、交通量変動はほぼ正規分布に従い、特に周期変動が大きくなれば適合性が高いといえる。
- ⑥ 平均値 μ と分散 σ^2 の間には、指数関係 ($\sigma^2 = \alpha(\mu)^\beta$) が成り立ち、パラメータ β はほぼ 1.0 以上である。つまり、交通量が大きくなればなるほど、分散も大きくなる傾向にある。
- ⑦ 一般平面街路よりも高速道路（特に、中国自動車道）の相対変動の方が大きいといえる。しかし、周期変動を補正すれば変動の大きさは約半分となり、周期変動を考慮することが推計精度向上につながるといえる。

表-5.17 観測交通量に対する曜日別の相対比率変動の大きさ

	sun.	mon.	tue.	wed.	thu.	fri.	sat.
北陸自動車道	22.6	23.2	25.0	17.4	16.3	14.9	18.0
中国自動車道	25.8	40.0	38.1	25.4	26.2	27.3	29.7
金沢市内平面街路 UP	17.5	17.8	15.6	14.6	14.3	13.7	15.0
金沢市内平面街路 DOWN	12.8	14.2	11.8	10.6	10.9	9.6	10.1

ゆえに、たとえば変動分布形が正規分布であることを利用して確率論的（最尤法）に交通需要推計を行うことが可能となる³⁰⁾。また、平均値と分散の関係および交通量変動の相関性を利用してOD交通抵抗パラメータの修正を行い、交通量変動に合致した需要推計を行うことも可能である³¹⁾。さらに、地点交通量相互に存在する相関関係を利用して、交通量観測の簡素化（簡略化）を行ったり^{32), 33)}、周期変動特性を利用して調査実施の規模を分割することも可能である。このように、ここで得られた特性は交通需要推計だけでなく、調査実施の方法に対しても有効に利用できるものと考えられる。

5. 3 OD交通量の不規則変動を考慮した最尤法モデルの提案

(1) モデルの基本的な考え方とその解法

第2節で示したように、交通量変動は一般に月間変動や曜日変動のように、周期のはっきりした変動（周期変動）と長期間にわたって時系列的に増減する変動（傾向変動）、さらにそれら以外のまったくの偶然によって起る不規則な変動（ランダム変動）が混合して起ると考えられる。つまり、構造式で示すと式(5-7)のようになる。ただし、その変動の大きさは場所により、また土地利用形態によって一般には異なっている。そこで、本節では既存OD調査時点と推計時点の時間的ずれが小さく、しかも周期変動が無視できるような場合に適用する最尤法モデル³⁴⁾を提案する。以下に、モデル定式化の考え方とその解法を示す。

$$T_{ij}(\tau_1) = \mu_{ij}(\tau_0) + \psi_{ij}(\tau_0, \tau_1) + \sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1) + \varepsilon_{ij} \quad (5-7)$$

ここで、

$T_{ij}(\tau_1)$; 推計時点 τ_1 における ij ゾーン間のOD交通量を表わす確率変数である。

$\mu_{ij}(\tau_0)$; 既存OD調査時点 τ_0 における母集団の平均OD交通量（母平均）を表わす。

$\psi_{ij}(\tau_0, \tau_1)$; τ_0 と τ_1 の間の傾向変動成分を表わす。

$\sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1)$; τ_1 における周期変動成分（平均値は零）を表わす。なお、 s はたとえば曜日変動、月間変動など周期変動成分の内容を示す。

ε_{ij} ; 不規則変動成分を表わし、強定常な確率変数とする。ただし、 $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う。まず、同類モデルである井上博司の方法（井上の推計法1）³⁵⁾について記述する。

井上博司はOD交通量を1つの確率変数として定義し、モデルの定式化を行った。いま、不規則変動のみを考慮する場合（傾向変動、周期変動が無視できる場合）を考えると、OD交通量 T_{ij} は互いに独立で正規分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に従うと仮定することができる。このとき、OD交通量 T_{ij} の確率密度関数は式(5-8)のように表わされ、構造式で示すと式(5-9)のようになる。

$$P(t_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right) \quad (5-8)$$

$$T_{ij}(\tau) = \mu_{ij}(\tau) + \varepsilon_{ij} \quad (5-9)$$

ここで、 $T_{ij}(\tau)$; 時間 τ における ij ゾーン間のOD交通量を表わす確率変数であり、その1つの実現値（日々変動するOD交通量）が t_{ij} である。

ε_{ij} ; 不規則変動成分を表わし、強定常な確率変数とする。ただし、 $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う。

μ_{ij} ; 時間 τ における母集団の平均OD交通量（母平均）を表わす。

σ_{ij}^2 ; 時間 τ における母集団の分散（母分散）を表わす。

OD交通量 T_{ij} を1つの正規母集団 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に属する確率変数と考えれば、日々変動するOD交通量 t_{ij} は、母確率変数 T_{ij} の1つの実現値と考えることができる。概念図で示すと図-5.12のように表わされる。そうすると、1組のOD交通量 $[t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}]$ が生起する同時確率密度 $P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn})$ は各OD交通量が互いに独立であると考えれば、式(5-10)のように表わすことができる。

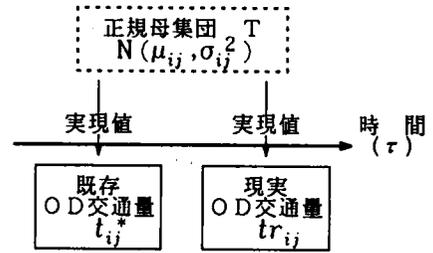


図-5.12 交通量変動のモデル化の概念図

$$P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) = P(t_{11}) \cdot P(t_{12}) \cdot \dots \cdot P(t_{nn})$$

$$= \prod_{i,j} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right) \quad (5-10)$$

最尤推定法の同時確率密度最大の考え方より、1組の実現値 $[t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}]$ は式(5-10)を最大とする場合であると考えられる。それゆえ、式(5-10)の指数部を改めて Q とおくことによって、この問題は目的関数 Q の最小化問題として定式化される。ただし、OD交通量の実現値 t_{ij} は道路区間交通量の条件式を満足する必要があるため、この最適化問題は式(5-12)の制約条件のもとで解かなければならない。

目的関数

$$Q = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Min.} \quad (5-11)$$

制約条件

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5-12)$$

ここで、 x_k^* ; 道路区間 k において観測される道路区間交通量(既知量)を表わし、確率変数 X_k の1つの実現値である。

p_{ij}^k ; OD交通量 t_{ij} が道路区間 k を利用する確率 (OD別道路区間利用率あるいは単に道路区間利用率と呼ぶ)、経路調査などにより既知であるとする。

しかし、母数である μ_{ij} および σ_{ij}^2 は未知であるため、適当な方法で与える必要がある。井上博司は母数 μ_{ij} が既存OD交通量 t_{ij}^* (パーソントリップ調査により求められる推定OD交通量) に近いとして、分散 σ_{ij}^2 を式(5-13)により近似した(井上の推計法1)。

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha_{ij} \cdot \mu_{ij} = \alpha_{ij} \cdot t_{ij}^* \quad (5-13)$$

$$\alpha_{ij} = (1.0 - s_{ij}) / s_{ij} \quad (5 - 14)$$

ここで、 α_{ij} ; OD交通量 t_{ij} ごとに定まるパラメータであり、サンプル抽出率 s_{ij} を用いて式 (5 - 14) より求められる。

$$Q = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - t_{ij}^*)^2}{\alpha_{ij} t_{ij}^*} \quad \Rightarrow \quad \text{Min.} \quad (5 - 15)$$

これより、式 (5 - 11) は式 (5 - 15) のように変形され、ラグランジュの未定乗数法を用いると、ラグランジュの未定乗数 λ_k ($k = 1, 2, \dots, m$) に対して、ラグランジュ関数 ϕ は次のようになる。

$$\begin{aligned} \phi(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) \\ = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - t_{ij}^*)^2}{\alpha_{ij} t_{ij}^*} + \sum_k \lambda_k (\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} - x_k^*) \end{aligned} \quad (5 - 16)$$

ϕ の t_{ij} および λ_k に関する偏微分を式 (5 - 17)、式 (5 - 18) に示すように、それぞれ零 (0) とおく。式 (5 - 17) を変形すると式 (5 - 19) が得られる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t_{ij}} = \frac{t_{ij} - t_{ij}^*}{\alpha_{ij} t_{ij}^*} + \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5 - 17)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda_k} = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} - x_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5 - 18)$$

$$t_{ij} = t_{ij}^* - \alpha_{ij} t_{ij}^* \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k \quad (5 - 19)$$

また、この t_{ij} を式 (5 - 18) に代入すると式 (5 - 20) が得られる。したがって、これを変形して整理すると式 (5 - 21) のようになる。

$$\sum_{i,j} p_{ij}^k (t_{ij}^* - \alpha_{ij} t_{ij}^* \sum_h \lambda_h p_{ij}^h) - x_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5 - 20)$$

$$\sum_{i,j} p_{ij}^k t_{ij}^* - x_k^* = \sum_{i,j} \sum_h \alpha_{ij} p_{ij}^k p_{ij}^h t_{ij}^* \lambda_h \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5 - 21)$$

ベクトル D 、 R および行列 A を次のように定義すれば、式 (5 - 21) は式 (5 - 22) のように表わされる。そこで、この連立一次方程式を $R = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m]^t$ について解き、求められた λ_k を式 (5 - 19) に代入すれば、推計時点におけるOD交通量 t_{ij} が得られる。

$$d_k = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij}^* - x_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

$$a_{kh} = \sum_{i,j} a_{ij} \cdot p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot t_{ij}^* \quad (k, h = 1, 2, \dots, m)$$

$$D = [d_1, d_2, \dots, d_m]^t$$

$$R = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m]^t \quad \text{ただし, } [\]^t \text{ は転置を表わす。}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$D = A \times R \quad (5 - 22)$$

しかし、この井上の推計法1は母数 μ_{ij} 、 σ_{ij}^2 を便宜的に式(5-13)のように近似して推計を行ったものであるが、必ずしもその近似が妥当とはいえない。そこで、本研究では道路区間上で観測される実測交通量 x_k^* と既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて最尤推定法によりOD交通量の母平均 μ_{ij} を推定し(母数推計法1と呼ぶ)、それを改めて式(5-11)に代入することにより推計時点におけるOD交通量 t_{ij} を推計する方法(OD推計法1と呼ぶ)を提案する。この母平均 μ_{ij} を推計する方法は、既に井上博司がその基本的な考え方を提案しているが、先に述べたように井上は道路区間交通量を独立な確率変数として取り扱っているため、定式化に問題を残している³⁶⁾。そこで、その点を考慮してモデルを修正し、次のように定式化を行う³⁷⁾。

$$\begin{aligned} L(\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{nn}) \\ = P(t_{11}^*, t_{12}^*, \dots, t_{nn}^*, x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) \end{aligned} \quad (5 - 23)$$

$$\begin{aligned} L(\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{nn}) \\ = P(t_{11}^*, t_{12}^*, \dots, t_{nn}^*) \cdot P(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) \end{aligned} \quad (5 - 24)$$

OD交通量 T_{ij} は互いに独立で、正規分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に従うことにより、既存OD交通量 t_{ij}^* の同時確率密度は式(5-10)と同じ形となる。一方、道路区間交通量 X_k はOD交通量 t_{ij} と式(5-12)の関係にあり、正規分布の加法性より正規分布 $N(\sum_{i,j} p_{ij}^k \mu_{ij}, \sum_{i,j} (p_{ij}^k)^2 \sigma_{ij}^2)$ に従う。ただし、各道路区間交通量 X_k は互いに独立ではなく、次に示すような共分散を持つ。 X_k 、 X_h の平均値を m_k 、 m_h 、分散を v_k^2 、 v_h^2 とすると、式(5-25)、式(5-26)の関係が成立し、 X_k 、 X_h の共分散 $\text{Cov}(X_k, X_h)$ は式(5-27)のようになる。

$$E(X_k) = E\left(\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot T_{ij}\right) = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot \mu_{ij} = m_k \quad (5 - 25)$$

$$V(X_k) = V\left(\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot T_{ij}\right) = \sum_{i,j} (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2 = \nu_k^2 \quad (5-26)$$

$$\text{Cov}(X_k, X_h) = E[(X_k - m_k) \cdot (X_h - m_h)]$$

$$= E\left[\left(\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot T_{ij}\right) \cdot \left(\sum_{i,j} p_{ij}^h \cdot T_{ij}\right)\right] - m_k \cdot m_h$$

$$= E\left(\sum_{i,j} \sum_{o,s} p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot T_{ij} \cdot T_{os}\right) - m_k \cdot m_h \quad (5-27)$$

ここで、各 T_{ij} は互いに独立であることより、

(i, j) \neq (o, s) のとき

$$E(p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot T_{ij} \cdot T_{os}) = p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot \mu_{ij} \cdot \mu_{os} \quad (5-28)$$

(i, j) = (o, s) のとき

$$E(p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot T_{ij} \cdot T_{os}) = p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h (\sigma_{ij}^2 + \mu_{ij}^2) \quad (5-29)$$

となる。また、式(5-28)、式(5-29)を式(5-27)に代入すると式(5-30)となる。

$$\begin{aligned} \text{Cov}(X_k, X_h) &= \sum_{\substack{i,j \\ (i,j)}} \sum_{\substack{o,s \\ (o,s)}} p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot \mu_{ij} \cdot \mu_{os} + \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h (\sigma_{ij}^2 + \mu_{ij}^2) - m_k \cdot m_h \\ &= m_k \cdot m_h + \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2 - m_k \cdot m_h \\ &= \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2 \end{aligned} \quad (5-30)$$

X_k と X_h の相関係数 ρ_{kh} は次のようになる。

$$\rho_{kh} = \frac{\text{Cov}(X_k, X_h)}{\sqrt{V(X_k)} \cdot \sqrt{V(X_h)}} = \frac{\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2}{\left\{ \sum_{i,j} (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2 \right\} \cdot \left\{ \sum_{i,j} (p_{ij}^h)^2 \cdot \sigma_{ij}^2 \right\}} \quad (5-31)$$

したがって、道路区間交通量 X_k の同時確率は多次元正規分布で与えられ、その同時確率密度は式(5-32)となる。

$$P(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|A|}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}(X^* - m)^t \cdot A^{-1} \cdot (X^* - m)\right\} \quad (5-32)$$

ここで、

$$(X^* - m) = \begin{bmatrix} x_1^* - \sum_{i,j} p_{ij}^1 \cdot \mu_{ij} \\ x_2^* - \sum_{i,j} p_{ij}^2 \cdot \mu_{ij} \\ \vdots \\ x_n^* - \sum_{i,j} p_{ij}^n \cdot \mu_{ij} \end{bmatrix} \quad A = [a_{kh}] \text{ (共分散行列)}$$

ただし、 $a_{kh} = \text{Cov}(X_k, X_h) = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2$

また、()^t は転置を表わす。

ゆえに、式(5-24)は式(5-10)と式(5-32)より式(5-33)のように書くことができる。

$$L(\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{nn}) = \prod_{i,j} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \cdot \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|A|}} \times \\ \exp\left\{-\frac{1}{2}\left\{\sum_{i,j} \frac{(t_{ij}^* - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} + (X^* - m)^t \cdot A^{-1} \cdot (X^* - m)\right\} \quad (5-33)$$

式(5-33)の同時確率密度を最大にする μ_{ij} が母平均 μ_{ij} の最尤推定値である。式(5-33)の指数部を改めて G と置くと、 L の最大化と G の最小化は同値である。したがって、 G を μ_{ij} で偏微分し、零(0)とおいた連立方程式(5-35)の解が求める最尤推定値となる。

$$G = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij}^* - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} + (X^* - m)^t \cdot A^{-1} \cdot (X^* - m) \\ = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij}^* - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} + \sum_k \sum_h \left(\sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot \mu_{ij} - x_k^* \right) \left(\sum_{i,j} p_{ij}^h \cdot \mu_{ij} - x_h^* \right) \hat{a}_{kh} \\ \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-34)$$

ここで、 \hat{a}_{kh} は A^{-1} の (k, h) 要素である。

式(5-34)を μ_{ij} で偏微分して整理し、零(0)とおく。

$$\frac{\partial G}{\partial \mu_{ij}} = 2 \cdot \frac{\mu_{ij} - t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2} - \sum_k \sum_h x_h^* \cdot p_{ij}^k \cdot \hat{a}_{kh} - \sum_k \sum_h x_k^* \cdot p_{ij}^h \cdot \hat{a}_{kh} \\ + \sum_k \sum_h \left[\left(\sum_{o,s} p_{os}^k \cdot \mu_{os} \right) p_{ij}^h + \left(\sum_{o,s} p_{os}^h \cdot \mu_{os} \right) p_{ij}^k \right] \cdot \hat{a}_{kh}$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \cdot \frac{\mu_{ij} - t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2} - 2 \cdot \sum_k \sum_h x_h^* \cdot p_{ij}^k \cdot \hat{a}_{kh} \\
&+ 2 \cdot \sum_k \sum_h \sum_{o,s} p_{ij}^h \cdot p_{os}^k \cdot \mu_{os} \cdot \hat{a}_{kh} = 0 \tag{5-35}
\end{aligned}$$

式(5-35)を変形すると、式(5-36)が得られる。これを(0, s)について展開すると、式(5-37)のようになる。

$$\begin{aligned}
&\sum_k \sum_h \sum_{o,s} p_{ij}^h p_{os}^k \mu_{os} \hat{a}_{kh} + \frac{\mu_{ij}}{\sigma_{ij}^2} \\
&= \sum_k \sum_h x_h^* p_{ij}^k \mu_{os} \hat{a}_{kh} + \frac{t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2} \tag{5-36}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&(\sum_k \sum_h p_{i1}^k p_{ij}^h \hat{a}_{kh}) \mu_{11} + (\sum_k \sum_h p_{i2}^k p_{ij}^h \hat{a}_{kh}) \mu_{12} \\
&+ \dots + (\sum_k \sum_h p_{ij}^k p_{ij}^h \hat{a}_{kh} + \frac{1}{\sigma_{ij}^2}) \mu_{ij} \\
&+ \dots + (\sum_k \sum_h p_{nn}^k p_{ij}^h \hat{a}_{kh}) \mu_{nn} \\
&= \sum_k \sum_h x_h^* p_{ij}^k \hat{a}_{kh} + \frac{t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2} \tag{5-37}
\end{aligned}$$

ここで、ベクトル C 、 M および行列 F を次のように定義すれば、式(5-37)は式(5-38)のように表わされる。よって、式(5-38)に示す連立一次方程式を $M = [\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{nn}]^t$ について解けば、推計母数 μ_{ij} を求めることができる。これを母数推計法1と呼ぶことにする。

$$c_{ij} = \sum_k \sum_h x_h^* \cdot p_{ij}^k \cdot \mu_{os} \cdot \hat{a}_{kh} + \frac{t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2}$$

$$f_{ij, os} = \sum_k \sum_h p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot \hat{a}_{kh} \quad (i, j \neq o, s)$$

$$f_{ij, os} = \sum_k \sum_h p_{ij}^k \cdot p_{os}^h \cdot \hat{a}_{kh} + \frac{1}{\sigma_{ij}^2} \quad (i, j = o, s)$$

$$C = [c_{11}, c_{12}, \dots, c_{nn}]^t$$

$$M = [\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{nn}]^t$$

ただし、 $[]^t$ は転置を表わす。

$$F = \begin{bmatrix} f_{11,11} & f_{11,12} & \cdots & f_{11,nn} \\ f_{12,11} & f_{12,12} & \cdots & f_{12,nn} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ f_{nn,11} & f_{nn,12} & \cdots & f_{nn,nn} \end{bmatrix}$$

$$F \times M = C \quad (5-38)$$

求められた母数 μ_{ij} を式(5-11)に代入し、道路区間交通量(式(5-12))を制約条件として推計を行えば、推計OD交通量 t_{ij} を求めることができる。これをOD推計法1とよぶことにする。ただし、ここで問題となるのが分散 σ_{ij}^2 の与え方である。本研究では、便宜的に式(5-39)を用いて分散を与えた。

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha_{ij} \cdot (\mu_{ij})^\beta = 1.0 \cdot (t_{ij}^*)^{1.0} \quad (5-39)$$

パラメータ α_{ij} は母集団の変動の大きさを表わすものであるが、ODペア ij によりそれほど大きな差はないとして、ここでは $\alpha_{ij} = \alpha$ (一定値)と仮定する。そうすると、式(5-40)より明らかであるが、どのように与えても推計値そのものには何ら影響を与えないといえる。しかし、パラメータ β_{ij} は $\beta_{ij} = \beta$ (一定値)と仮定してもOD交通量 t_{ij}^* の大小により σ_{ij}^2 が変化するため、推計値に影響を及ぼすと考えられる。よって、その影響についてはシミュレーションを用いることにより検討する。

$$Q = \frac{1}{\alpha} \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{(t_{ij}^*)^\beta} \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-40)$$

(2) トリップエンド保存条件式を考慮したモデルの拡張

前節ではOD交通量が不規則変動する場合に適用する最尤法モデル(OD推計法1, 母数推計法1)を提案した。ここではさらにその方法を拡張し、トリップエンド保存条件式を満足するようにモデル定式化を行い、推計精度の向上を目指す。

一般に、ナンバープレート法³⁸⁾~⁴⁰⁾や原単位法⁴¹⁾を用いれば、発生・集中交通量を推計することができる。本節では道路区間交通量の他に、発生・集中交通量を制約条件として加えた新しいモデル(制約条件付加法と呼ぶ)を提案する⁴²⁾。そして発生・集中交通量の制約条件がある場合とない場合について比較検討を行う。また、このとき一般によく用いられる現在パターン法(フレーター法)との推計精度の比較検討も行う。

OD推計法1は制約条件式(5-12)のもとで、目的関数 Q (式(5-11))を最小化する最適化問題として定式化された。ここで提案する制約条件付加法はさらに式(5-41), 式(5-42)のトリップエンド保存条件式を制約条件に加え、3つの制約条件を満足するように定式化する方法である。

制約条件

$$O_i^* = \sum_j t_{ij} \quad (5-41)$$

$$D_j^* = \sum_i t_{ij} \quad (5-42)$$

ここで、 O_i^* ; ゾーン*i*における発生交通量 (既知量)

D_j^* ; ゾーン*j*における集中交通量 (既知量)

ただし、式(5-41)と式(5-42)の制約条件は式(5-43)に示すように互いに従属関係にあるため、式(5-41)と式(5-42)を同時に制約条件として加えることはできない。

$$\sum_j D_j^* = \sum_j \sum_i t_{ij} = \sum_i \sum_j t_{ij} = \sum_i O_i^* \quad (5-43)$$

そこで、3つの制約条件を同時に用いるのではなく、それぞれ2つずつ2段階に分けて用いることにする。つまり、第一段階では式(5-12)と式(5-41)を制約条件式として式(5-11)の最適化問題を解き、さらに第二段階では第一段階で求めた推計OD交通量 t_{ij} を母数 μ_{ij} に置き換えて、式(5-12)と式(5-42)の制約条件を満足するように式(5-11)の最適化問題を解く。このとき、制約条件式(5-42)の集中交通量は式(5-44)で与える。これは、第一段階の推計結果を第二段階に反映させるためである。

$$D_j = \frac{D_j + D_j^*}{2} = \frac{\sum_i t_{ij} + D_j^*}{2} \quad (5-44)$$

本推計法では母平均 μ_{ij} 、母分散 σ_{ij}^2 を既知量としてモデル定式化を行うため、何らかの方法でそれらを与える必要がある。井上の推計法1では母平均 μ_{ij} を既存OD交通量 t_{ij}^* で近似し、母分散 σ_{ij}^2 を式(5-13)のようにして与えた。また、OD推計法1では母平均 μ_{ij} を母数推計法1を用いることによって求め、母分散 σ_{ij}^2 は井上の推計法1と同様に式(5-39)のようにして与えた。そこで、制約条件付加法の場合もOD推計法1と同様にして母平均 μ_{ij} 、母分散 σ_{ij}^2 を与えることにする。

以下に、その解法の手順を記述する。

1) 第一段階

目的関数

$$Q = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Min.} \quad (5-45)$$

制約条件

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5-46)$$

$$O_i^* = \sum_j t_{ij} \quad (5-47)$$

ラグランジュの未定乗数法を用いると、ラグランジュの未定乗数 λ_k ($k=1, 2, \dots, m$), ζ_i ($i=1, 2, \dots, n$) に対して、ラグランジュ関数 φ_1 は次のようになる。

$$\begin{aligned} \varphi_1(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) \\ = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - t_{ij}^*)^2}{\sigma_{ij}^2} + \sum_k \lambda_k \left(\sum_{i,j} p_{ij}^k t_{ij} - x_k^* \right) + \sum_i \zeta_i \left(\sum_j t_{ij} - 0_i^* \right) \quad (5-48) \end{aligned}$$

φ_1 を t_{ij} , λ_k , ζ_i についてそれぞれ偏微分し、零(0)とおく。式(5-49)を t_{ij} について変形すると式(5-52)のようになる。

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t_{ij}} = \frac{t_{ij} - t_{ij}^*}{\sigma_{ij}^2} + \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k + \zeta_i = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-49)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial \lambda_k} = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} - x_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5-50)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial \zeta_i} = \sum_j t_{ij} - 0_i^* = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5-51)$$

$$t_{ij} = t_{ij}^* - \sigma_{ij}^2 \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k - \sigma_{ij}^2 \cdot \zeta_i \quad (5-52)$$

式(5-52)を式(5-50), 式(5-51)にそれぞれ代入すると、式(5-53), 式(5-54)が得られる。

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k (t_{ij}^* - \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h - \sigma_{ij}^2 \cdot \zeta_i) \quad (5-53)$$

$$0_i^* = \sum_j (t_{ij}^* - \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h - \sigma_{ij}^2 \cdot \zeta_i) \quad (5-54)$$

これを変形して整理すると、式(5-55), 式(5-56)のようになる。

$$\sum_{i,j} p_{ij}^k \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h + \sum_{i,j} p_{ij}^k \sigma_{ij}^2 \cdot \zeta_i = \sum_{i,j} p_{ij}^k t_{ij}^* - x_k^* \quad (5-55)$$

$$\sum_j \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h + \sum_j \sigma_{ij}^2 \cdot \zeta_i = \sum_j t_{ij}^* - 0_i^* \quad (5-56)$$

行列 W_1 およびベクトル X_1, Y_1 を次のように定義すれば、式(5-55), 式(5-56)は式(5-57)のように表わされる。

$$a_{kh} = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2 \quad (k, h = 1, 2, \dots, m)$$

$$b_{ik} = \sum_j p_{ij}^k \cdot \sigma_{ij}^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m)$$

$$c_i = \sum_j \sigma_{ij}^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$d_k = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij}^* - x_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

$$e_i = \sum_j t_{ij}^* - 0_i^* \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$D_1 = [d_1, d_2, \dots, d_m, e_1, e_2, \dots, e_n]^t$$

$$R_1 = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n]^t \quad \text{ただし, } [\]^t \text{ は転置を表わす。}$$

$$W_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} & b_{11} & \dots & b_{n1} \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} & b_{1m} & \dots & b_{nm} \\ b_{11} & \dots & b_{1n} & c_1 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & & \cdot & 0 & & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & & 0 \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} & 0 & \dots & 0 & c_n \end{bmatrix}$$

$$W_1 \times R_1 = D_1 \quad (5-57)$$

よって、式(5-57)に示す連立一次方程式を $R_1 = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n]^t$ について解き、求められた λ_k, ζ_i を式(5-52)に代入することにより t_{ij} を求めることができる。

2) 第二段階

目的関数

$$Q = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - tt_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Min} \quad (5-58)$$

制約条件

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5-59)$$

$$D_j = \sum_j t_{ij} \quad (5-60)$$

ラグランジュの未定乗数法を用いると、ラグランジュの未定乗数 λ_k ($k = 1, 2, \dots, m$)、 η_j ($j = 1, 2, \dots, n$) に対して、ラグランジュ関数 φ_2 は次のようになる。

$$\begin{aligned} \varphi_2(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) \\ = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - tt_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} + \sum_k \lambda_k \left(\sum_{i,j} p_{ij}^k t_{ij} - x_k^* \right) + \sum_j \eta_j \left(\sum_i t_{ij} - D_j \right) \end{aligned} \quad (5-61)$$

φ_2 を t_{ij} , λ_k , η_j についてそれぞれ偏微分し、零 (0) とおく。式 (5-62) を t_{ij} について変形すると式 (5-65) のようになる。

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial t_{ij}} = \frac{t_{ij} - t_{ij}}{\sigma_{ij}^2} + \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k + \eta_i = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-62)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial \lambda_k} = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} - x_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5-63)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial \eta_j} = \sum_i t_{ij} - D_j = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-64)$$

$$t_{ij} = t_{ij} - \sigma_{ij}^2 \sum_k \lambda_k \cdot p_{ij}^k - \sigma_{ij}^2 \cdot \eta_i \quad (5-65)$$

式 (5-65) を式 (5-63), 式 (5-64) にそれぞれ代入すると, 式 (5-66), 式 (5-67) が得られる。

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k (t_{ij} - \sigma_{ij} \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h - \sigma_{ij}^2 \cdot \eta_i) \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5-66)$$

$$D_j = \sum_i (t_{ij} - \sigma_{ij} \sum_h \lambda_h \cdot p_{ij}^h - \sigma_{ij}^2 \cdot \eta_i) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-67)$$

これを変形して整理すると, 式 (5-68), 式 (5-69) のようになる。

$$\sum_{i,j} p_{ij}^k \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h p_{ij}^h + \sum_{i,j} p_{ij}^k \sigma_{ij}^2 \eta_i = \sum_{i,j} p_{ij}^k t_{ij} - x_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (5-68)$$

$$\sum_i \sigma_{ij}^2 \sum_h \lambda_h p_{ij}^h + \sum_i \sigma_{ij}^2 \eta_i = \sum_i t_{ij} - D_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-69)$$

行列 W_2 およびベクトル X_2, Y_2 を次のように定義すれば, 式 (5-68), 式 (5-69) は式 (5-70) のように表わされる。

$$a_{kh} = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2 \quad (k, h = 1, 2, \dots, m)$$

$$f_{jk} = \sum_i p_{ij}^k \cdot \sigma_{ij}^2 \quad (j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m)$$

$$g_j = \sum_i \sigma_{ij}^2 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$u_k = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} - x_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

$$v_j = \sum_i t_{ij} - D_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$D_2 = [u_1, u_2, \dots, u_m, v_1, v_2, \dots, v_n]^t$$

$R_2 = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n]^t$ ただし、 $[]^t$ は転置を表わす。

$$W_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} & f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} & f_{1n} & \cdots & f_{nn} \\ f_{11} & \cdots & f_{1n} & g_1 & 0 \cdots 0 \\ \cdot & & \cdot & 0 & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & 0 \\ f_{n1} & \cdots & f_{nn} & 0 & \cdots 0 & g_n \end{bmatrix}$$

$$W_2 \times R_2 = D_2 \quad (5-70)$$

よって、式(5-70)に示す連立一次方程式を $R_2 = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n]^t$ について解き、求められた λ_k, η_j を式(5-65)に代入すれば推計OD交通量 t_{ij} が求められる。なお、第2段階の推計結果 t_{ij} は制約条件式(5-41)を満たさないが、第1段階において考慮しているので、大幅に掛け離れた結果ではない。

(3) 推計誤差分析のためのシミュレーションの方法

図-5.13に示すようなシミュレーションにより、推計精度の検討を行う。まず、実際のOD交通量の変動現象を再現するために、OD交通量についてある正規母集団 $N(\mu r_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ を考える。そして、日々変動するOD交通量とその正規母集団からの実現値であると考え、正規乱数を発生させることによりOD交通量を作成することができる。シミュレーションでは2組のOD交通量を作成し、その1組を過去に調査された既存OD交通量 $[t_{11}^*, t_{12}^*, \dots, t_{nn}^*]$ 、もう1組を推計時点における現実OD交通量 $[tr_{11}, tr_{12}, \dots, tr_{nn}]$ として推計精度の検討を行う。ただし、母分散 σ_{ij}^2 は式(5-39)より $\sigma_{ij}^2 = \alpha \mu r_{ij}$ (α はパラメータである)として与えた。このとき、推計時点における現実OD交通量 $[tr_{ij}]$ は実際には未知であるが、シミュレーションでは上述のように正規乱数を発生させて人工的に作成し、道路区間交通量 $[x_k^*]$ より推計した推計OD交通量 $[t_{ij}]$ と比較することにより誤差分析を行う。なお、実測交通量 x_k^* には一般に観測誤差 σ_x (比率誤差)が含まれるため、ここでは式(5-72)のように正規乱数を発生させてその影響を考慮した。ただし、 xr_k は道路区間 k の交通量を表わし、 pr_{ij}^k はODペア ij が道路区間 k を利用する確率(道路区間利用率)を表わす。

$$xr_k = \sum_{i,j} pr_{ij}^k \cdot tr_{ij} \quad (5-71)$$

$$x_k^* = xr_k(1.0 - \sigma_x \cdot z_k) \quad (5-72)$$

ここで、 z_k は xr_k に対する標準正規乱数を示す。また、 pr_{ij}^k は推計時における道路区間利用率であり、経路調査⁴³⁾、⁴⁴⁾ や既存配分理論⁴⁵⁾ などにより求められる推定道路区間利用率 p_{ij}^k と式(5-73) の関係にあるとしてシミュレーションを行う。

$$pr_{ij}^k = p_{ij}^k (1.0 - \sigma_p \cdot z_{ij}^k) \quad (5-75)$$

ここで、 σ_p は p_{ij}^k に対する pr_{ij}^k の相対的ずれ(比率誤差)を表わし、 z_{ij}^k は p_{ij}^k に対する標準正規乱数を示す。シミュレーションでは、このようにして作成した t_{ij}^* 、 x_k^* と外生的に与える p_{ij}^k を既知データとして、OD交通量の母平均 μ_{ij} (推計母数) と推計時OD交通量 t_{ij} の推計を行う。このとき、推計モデルの実用性を確かめるために、道路区間交通量の観測誤差 σ_x および、道路区間利用率の推定誤差 σ_p の影響についても検討を行う。

OD交通量 t_{ij} および推計母数 μ_{ij} の推計誤差の表示は、交通量の多いものほど交通工学的取り扱いが重要となるので、式(5-74)、式(5-75)に示すように、交通量で重みづけした標準比率誤差を用いる。なお、シミュレーションにおいては $[t_{ij}^*]$ と $[tr_{ij}]$ の正規乱数の組合せにより、推計精度が異なると考えられる。つまり、正規乱数によって発生させた $[t_{ij}^*]$ と $[tr_{ij}]$ の値が掛け離れている場合には、当然推計誤差も大きくなると予想されるし、 $[t_{ij}^*]$ と $[tr_{ij}]$ の値が近ければ推計誤差は小さくなると考えられる。そこで、本研究では本推計法の推計精度を評価するために、推計母数 μ_{ij} 、推計OD交通量 t_{ij} の推計誤差に加えて、 t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差 $\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$ 、 $\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$ および t_{ij}^* 、 tr_{ij} の推計時母数 μ_{ij} に対する相対誤差 $\delta(t_{ij}^*, \mu_{ij})$ 、 $\delta(tr_{ij}, \mu_{ij})$ を式(5-74)、式(5-75)と同様にして計算し、推計精度の評価に用いる。なお、相対誤差の

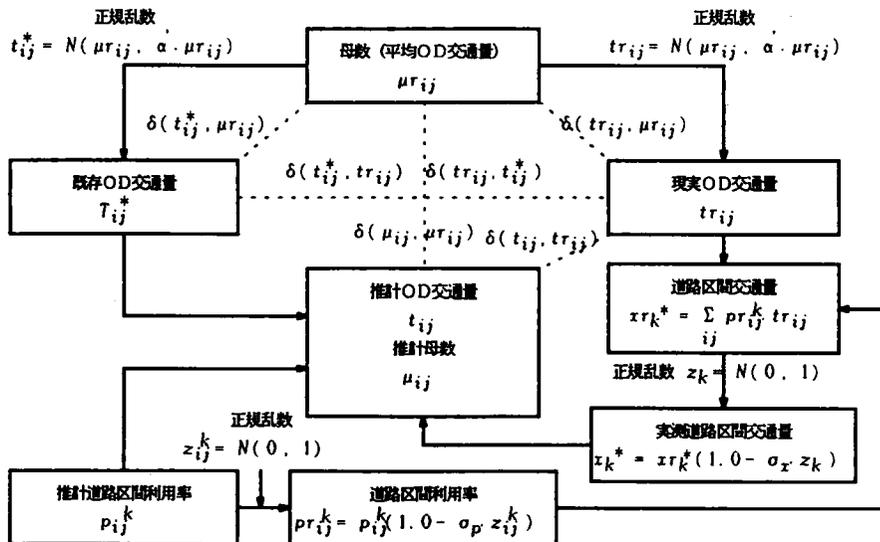


図-5.13 推計手順を示すシミュレーションのフローチャート

$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$ と $\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$ の違いは、 t_{ij}^* と tr_{ij} のどちらを基準（重み）に相対誤差を計算するかの違いであり、前者は tr_{ij} を基準として相対誤差を表示したものであり、後者は t_{ij}^* を基準とする場合である。

$$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{ij} tr_{ij}} \sum_{ij} tr_{ij} \left(\frac{t_{ij}^* - tr_{ij}}{tr_{ij}} \right)^2} \quad (5-74)$$

$$\delta(\mu_{ij}, \mu r_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{ij} \mu r_{ij}} \sum_{ij} \mu r_{ij} \left(\frac{\mu_{ij} - \mu r_{ij}}{\mu r_{ij}} \right)^2} \quad (5-75)$$

(4) シミュレーション結果と考察

1) トリップエンド保存条件式を考慮しない場合

本研究では、図-5.14 に示すようなノード数9、リンク数24（上下方向別）の田の字型道路網（数値は道路区間番号を示す）を用いて推計精度の検討を行った。OD交通量の変動の大きさにより推計精度が異なるため、母分散として i) $\sigma_{ij}^2 = 10 \mu r_{ij}$ （データA）、ii) $\sigma_{ij}^2 = 90 \mu r_{ij}$ （データB）の2通りを設定し、それぞれ3回のシミュレーションを行って推計精度への影響を確かめた。ただし、データの母数（平均OD交通量） μr_{ij} としては、表-5.18（基本ODパターン）に示す値を用いた。

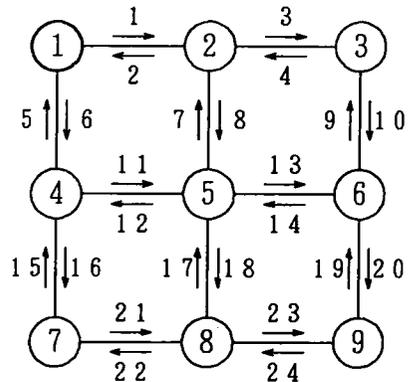
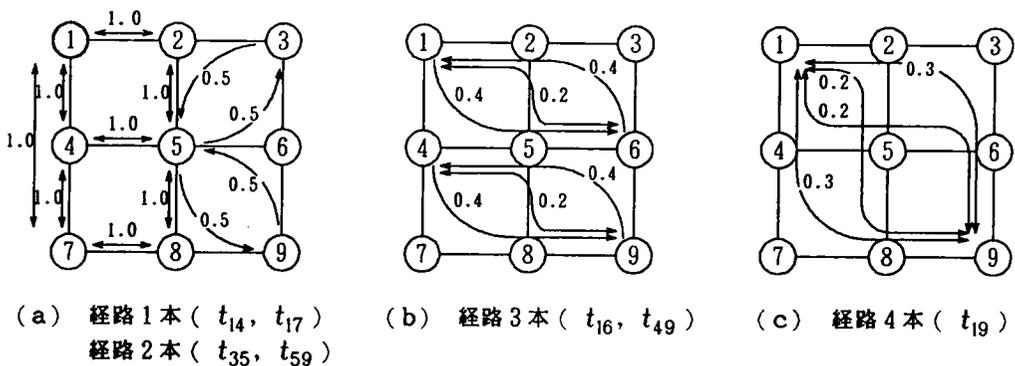


図-5.14 モデル計算に用いる対象道路網

なお、今回はゾーン内々交通量を問題としないことでモデル構成を行うが、交通計画上ゾーン内々交通量が問題となるときには、ゾーン内に観測地点を設けるか、あるいはそのゾーンを改めて取り出して



(a) 経路1本 (t_{14}, t_{17}) 経路2本 (t_{35}, t_{59})
 (b) 経路3本 (t_{16}, t_{49})
 (c) 経路4本 (t_{19})

図-5.15 道路区間利用率（OD別経路選択率）の設定の仕方

表-5.18 データの平均OD交通量 μ_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	840	1410	740	2230	1260	1430	1140	2740	11790
2	860	0	760	880	1120	930	1700	820	1630	8700
3	1430	740	0	1180	2130	360	1330	1030	2740	10940
4	850	920	1350	0	1120	840	720	960	1420	8180
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1300	830	720	950	3510	0	1420	890	800	10420
7	1530	1730	1350	720	1240	1230	0	830	1720	10350
8	950	760	1250	920	1160	940	830	0	760	7570
9	2800	1750	950	1250	1350	860	960	940	0	10860
D_j	10000	7710	10390	7820	13860	7560	10650	7790	10390	88870

表-5.19 母数推計法1による推計母数 μ_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	813	1521	763	2397	1350	1288	1137	2865	12134
2	1023	0	738	941	1109	904	1603	812	1566	8696
3	1287	810	0	1103	2057	404	1407	1142	2963	11173
4	997	967	1370	0	1063	958	632	893	1530	8410
5	261	111	2814	1172	0	1241	2167	1012	1294	10072
6	1356	782	751	934	3793	0	1366	818	752	10552
7	1674	1786	1319	790	1104	1379	0	629	1775	10456
8	845	627	1218	991	1247	745	948	0	784	7409
9	2876	1880	1122	1168	1356	824	881	874	0	10981
D_j	10323	7776	10853	7862	14126	7805	10292	7317	13529	89883

解析すればよい。

また、OD別道路区間利用率 p_{ij}^k の設定は図-5.15 に示すようにして行った。直進OD (たとえば、 t_{14} 、 t_{17} など) については経路を1本と限定し、すべて最短経路を通るものとした。また、屈折経路を有する対角ODについては経路を複数 (たとえば、 t_{26} 、 t_{59} などでは2本、 t_{16} 、 t_{49} などでは3本、 t_{19} 、 t_{37} などでは4本) として p_{ij}^k を設定した。なお、 p_{ij}^k の推定誤差 σ_p の影響については、複数経路の場合のみを考慮するものとし、直進ODの場合は推定誤差はないものとした。

データAについての推計結果の一例を表-5.19、表-5.20、表-5.21に示す。ただし、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha \cdot (t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータは $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 1.0$ とした。表-5.19は母数推計法1により推計された平均OD交通量 μ_{ij} を示し、表-5.20、表-5.21はそれぞれ井上の推計法1、およびOD推計法1により推計された推計OD交通量 t_{ij} を表わす。ただし、道路区間交通量の観測誤差 σ_x および道路区間利用率の先決誤差 σ_p は無いとし、共に $\sigma_x = 0$ (%)、 $\sigma_p = 0$ (%) とした場合の結果である。また、シミュレーションにおける乱数発生のおよび組合せの相対誤差とOD交通量の推計誤差を表-5.22、表-5.23に示す。

まず、表-5.20と表-5.21の結果を比較すると、井上の推計法1を用いても、またここで提案したOD推計法1を用いても、推計結果がまったく同じであることが明らかとなった。すなわち、式(5-10)において簡単に μ_{ij} を既存OD交通量 t_{ij}^* で置き換えて推計を行っても、母数推計法1により μ_{ij} を推計し、それを式(5-10)に代入して推計を行っても、結果は同じということである。このこ

表-5.20 井上の推計法1による推計OD交通量 t_{ij} (データA, パラメータ $\beta=1.0$)

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	705	1429	837	2359	1353	1351	1130	2813	11977
2	1079	0	780	990	1049	917	1622	760	1529	8724
3	1346	801	0	1164	2018	421	1446	1116	3082	11394
4	991	928	1369	0	1095	965	595	899	1477	8319
5	269	112	2886	1169	0	1212	2132	1003	1231	10014
6	1381	776	753	914	3718	0	1323	791	750	10404
7	1616	1703	1313	768	1114	1380	0	656	1751	10301
8	857	616	1217	979	1208	717	979	0	734	7307
9	2934	1877	1166	1148	1325	854	882	843	0	11029
D_j	10473	7518	10913	7969	13886	7817	10330	7198	13367	89473

表-5.21 OD推計法1による推計OD交通量 t_{ij} (データA, パラメータ $\beta=1.0$)

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	705	1429	837	2359	1353	1351	1130	2813	11977
2	1079	0	780	990	1049	917	1622	760	1529	8724
3	1346	801	0	1164	2018	421	1446	1116	3082	11394
4	991	928	1369	0	1095	965	595	899	1477	8319
5	269	112	2886	1169	0	1212	2132	1003	1231	10014
6	1381	776	753	914	3718	0	1323	791	750	10404
7	1616	1703	1313	768	1114	1380	0	656	1751	10301
8	857	616	1217	979	1208	717	979	0	734	7307
9	2934	1877	1166	1148	1325	854	882	843	0	11029
D_j	10473	7518	10913	7969	13886	7817	10330	7198	13367	89473

とより、推計の手順の簡単な井上博司の方法が有利であるといえる。しかし、ここで提案した母数推計法1の利点は、OD交通量の平均交通量である母平均 μ_{ij} を推計できることにあり、単に一推計時点のOD交通量を推計するよりは計画的意義が大きいといえよう。しかも、表-5.22に示すように推計精度を比較すると、 μ_{ij} に対する推計誤差は $\delta(\mu_{ij}, \mu r_{ij}) = 8.27\%$ であり、 t_{ij} に対する推計誤差は $\delta(t_{ij}, tr_{ij}) = 10.37\%$ である。つまり、母平均に対する推計精度の方が良くなっており、このことから母数推計法1の利点が裏づけられる。

次に、推計時分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ β の影響について検討する。シミュレーションでは β を $\beta=1.0$ 、 $\beta=1.5$ 、 $\beta=2.0$ の3通りに変えて推計精度の比較を行った。これは、第2節

表-5.22 シミュレーションにおける乱数発生時の相対誤差と推計精度
(データA, 重み付き標準比率誤差%)

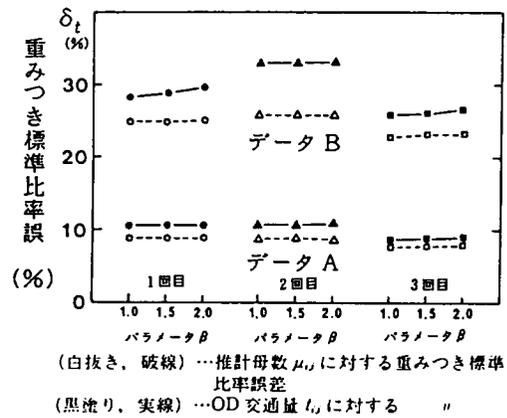
	μr_{ij} に対する相対誤差			t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差			μr_{ij} に対する相対誤差 $\delta(\mu_{ij}, \mu r_{ij})$	tr_{ij} に対する相対誤差 $\delta(t_{ij}, tr_{ij})$
	$\delta(t_{ij}^*, \mu r_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, \mu r_{ij})$	平均値	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	平均値		
1回目	8.91	8.90	8.91	12.53	12.17	12.35	8.27	10.39
2回目	9.67	8.00	8.84	12.72	12.81	12.77	8.49	10.60
3回目	8.84	8.86	8.85	12.09	11.62	11.86	7.94	8.85
平均値	9.14	8.59	8.87	12.45	12.20	12.33	8.23	9.95

表-5.23 シミュレーションにおける乱数発生時の相対誤差と推計精度
(データ B, 重み付き標準比率誤差 %)

	μr_{ij} に対する相対誤差			t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差			μr_{ij} に対する相対誤差	tr_{ij} に対する相対誤差
	$\delta(t_{ij}^*, \mu r_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, \mu r_{ij})$	平均値	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	平均値	$\delta(\mu_{ij}, \mu r_{ij})$	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$
1回目	26.73	26.69	26.71	32.08	40.43	36.26	25.13	28.42
2回目	29.00	24.01	26.51	39.90	44.54	42.22	26.03	33.40
3回目	26.52	26.57	26.55	37.10	35.60	36.35	23.41	26.34
平均値	27.42	25.76	26.59	36.36	40.19	38.28	24.86	29.39

の分析結果より実際の交通量変動においては β の値がほぼ $1.0 \leq \beta \leq 2.0$ の範囲にあることが確かめられたからである。

3回のシミュレーション結果をまとめて図-5.16 に示す。ただし、道路区間交通量の観測誤差および道路区間利用率の先決誤差はないものとし、それぞれ $\sigma_x = 0\%$ 、 $\sigma_p = 0\%$ とした。シミュレーションにおける正規乱数の組合せによって多少推計精度は異なるが、 β を1.0としても、2.0としても、それほど大きな影響がないことがわかる。特に、OD交通量の変動が小さい場合(データ A)には、ほとんど影響がないといえる。

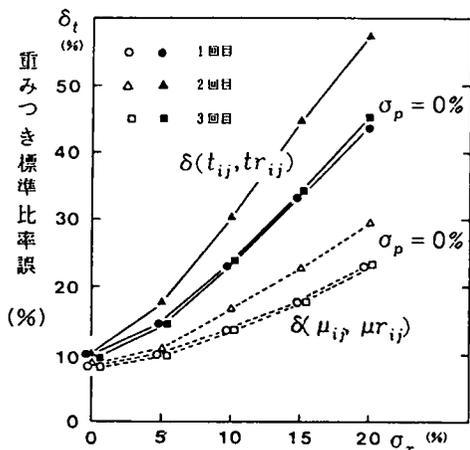


ここで、シミュレーションにおけるデータ

t_{ij}^* 、 tr_{ij} 、 μ_{ij} の相対誤差と推計精度の関係を比較し、本推計法の推計精度を評価する。表-5.22、表-5.23は、それぞれデータ A、データ Bにおけるシミュレーションの結果である。 t_{ij}^* および tr_{ij} の μr_{ij} に対する相対誤差は3回の平均で、データ A の場合は、それぞれ 9.1%、8.6% (両者の平均 = 8.9%) であり、データ B の場合は、それぞれ 27.4%、25.8% (両者の平均 = 26.6%) である。 μ_{ij} に対する推計精度は3回の平均で、データ A の場合は 8.2%、データ B の場合は 24.9% であり、 t_{ij}^* をそのまま平均 OD 交通量とみなして交通計画を立案するよりは精度が良いといえる。また、 t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差はどちらを基準にするかによって異なるが、平均値で見るとデータ A の場合は 12.3%、データ B の場合は 38.3% である。 t_{ij} に対する推計精度は3回の平均でデータ A の場合は 10.0%、データ B の場合は 29.4% である。したがって、 t_{ij}^* を tr_{ij} とみなすよりは推計結果の t_{ij} の方がデータ A の場合で約 2%、データ B の場合で約 10%、精度が良くなるといえる。

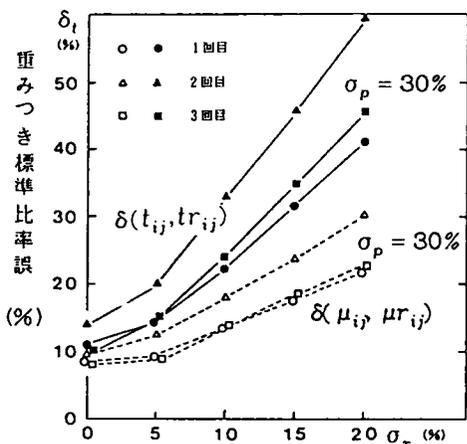
図-5.16 推計時分散 $\sigma_{t_{ij}}^2 = \alpha (t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ β が推計精度に及ぼす影響

以上の分析は、いずれも道路区間交通量の観測誤差 σ_x および道路区間利用率の先決誤差 σ_p をそれ



(データ A , $\sigma_p = 0\%$)

図-5.17 道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度に及ぼす影響

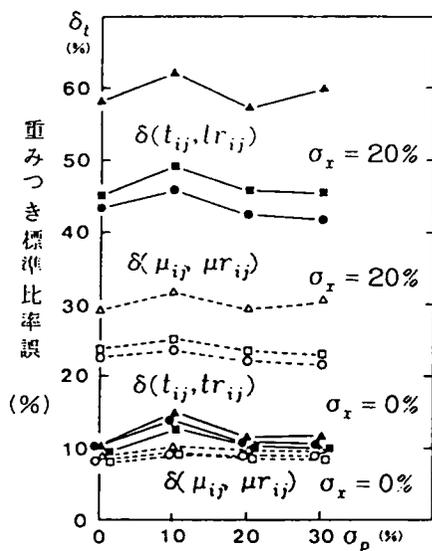


(データ A , $\sigma_p = 30\%$)

図-5.18 道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度に及ぼす影響

それ $\sigma_x = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$ とした場合の結果であるが、現実問題として σ_x および σ_p の影響度を検討しておくことは、本推計法の適用性を知るうえで重要なことである。そこで、まず観測誤差 σ_x の影響を検討する。

データ A に対し、 σ_p を一定として σ_x を 0% , 5% , 10% , 15% , 20% の 5 段階で変動させシミュレーションを行った。結果を図-5.17 ($\sigma_p = 0\%$) , 図-5.18 ($\sigma_p = 30\%$) に示す。図中白抜き破線は μ_{ij} に対する推計誤差を表わし、黒塗り実線は t_{ij} に対する推計誤差を表わす。図-5.17 より、 σ_x が大きくなるにつれて推計誤差が大きくなることわかる。しかも、その傾向は図-5.18 においても同様であり、観測誤差が $\sigma_x = 0\%$ のときと比較すると、 $\sigma_x = 20\%$ のときには μ_{ij} に対する推計誤差で約 2~3 倍、 t_{ij} に対する推計誤差で約 4~5 倍と、推計精度が非常に悪くなっている。ただし、グラフには



(データ A)

図-5.19 道路区間利用率の推定誤差 σ_p が推計精度に及ぼす影響

は示さなかったが、変動の大きいデータ B においては表-5.24 に示すように、 μ_{ij} に対する推計誤差で約 1.4 倍、 t_{ij} に対する推計誤差で約 2.1 倍と、データ A の場合に比べ観測誤差の影響が小さくなっている。以上のことより、OD 交通量の変動が小さい場合には、特に観測誤差を小さくする必要がありといえる。

次に、 σ_p の影響を検討する。図-5.19 はデータ A に対し σ_x を一定 ($\sigma_x = 0\%$, $\sigma_x = 20\%$) として、 σ_p を 0% , 10% , 20% , 30% の 4 段階で変動させ推計を行ったものである。この図よりいずれの推計においても σ_p の影響はほとんどないといえる。なお、この傾向は変動の大きいデータ B においても同様であった。これらのことより、選択経路が大きく変化しない場合には道路区間交通量の観測に比べ道路区間利用率の推定はそれほど神経質になる必要はないといえる。ただし、これは対象道路網が今回のように小さい場合の傾向であり、対象地域が大きい場合については、今後さらに検討を加える必要があると考えられる。

2) トリップエンド保存条件式を考慮する場合

前項での分析結果を踏まえ、本項ではさらにデータの OD 分布パターンの違いによる影響を検討するために、データの母数 (平均 OD 交通量 $\mu_{r_{ij}}$) として、表-5.18 の他に表-5.25、表-5.26 に示す 3 通りの OD パターン (OD 表) を設定した。

また、OD 交通量の変動の大きさにより推計精度が異なるため、母分散 σ_{ij}^2 の与え方 (OD 交通量の変動パターン) としては次の 4 通りを設定した。

- i) $\sigma_{ij}^2 = 10 \cdot \mu_{r_{ij}}$ (データ A_1 , A_2 , A_3)
- ii) $\sigma_{ij}^2 = 90 \cdot \mu_{r_{ij}}$ (データ B_1 , B_2 , B_3)
- iii) $\sigma_{ij}^2 = 0.05 \cdot (\mu_{r_{ij}})^2$ (データ C_1 , C_2 , C_3)
- iv) $\sigma_{ij}^2 = 0.15 \cdot (\mu_{r_{ij}})^2$ (データ D_1 , D_2 , D_3)

ただし、表-5.25 に示す OD パターンは表-5.18 の基本 OD パターン (基本 OD 表) に比べ各 OD ペアの交通量がほぼ同じオーダーである均等型 OD パターン (均等型 OD 表) となっている。また、表-5.26 に示す通過交通型 OD パターン (通過型 OD 表) は基本 OD パターンに比べ長トリップの OD 交通量 ($\mu_{r_{19}}$, $\mu_{r_{28}}$, $\mu_{r_{37}}$, $\mu_{r_{49}}$ 等) が特に大きくなっており、その影響をみるために設定したものである。

表-5.24 道路区間交通量の観測誤差 σ_x および道路区間利用率の先決誤差 σ_p が母数 μ_{ij} および OD 交通量 t_{ij} の推計精度に及ぼす影響
(データ B, 重み付き標準比率誤差 %)

$\sigma_p(\%)$	推計誤差	$\sigma_x(\%)$				
		0	5	10	15	20
0	$\delta(\mu_{ij}, \mu_{r_{ij}})$	24.86	25.86	28.22	31.61	35.77
	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$	29.39	33.57	41.33	51.06	61.81
10	$\delta(\mu_{ij}, \mu_{r_{ij}})$	25.39	26.61	29.07	32.53	36.71
	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$	31.32	35.90	43.45	52.95	63.52
20	$\delta(\mu_{ij}, \mu_{r_{ij}})$	24.91	25.88	28.20	31.58	35.72
	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$	29.49	33.58	41.27	50.95	61.69
30	$\delta(\mu_{ij}, \mu_{r_{ij}})$	25.12	26.07	28.37	31.71	35.81
	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$	29.77	33.67	41.20	50.78	61.43

表-5.25 データの平均OD交通量 (均等型ODパターン) μ_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	840	1410	1740	2230	1260	1430	1140	2740	13790
2	2860	0	1760	1880	1120	2930	1700	2820	1630	16700
3	1430	1740	0	1180	2130	1360	1330	1030	2740	12940
4	1850	2920	1350	0	1120	2840	1720	1960	1420	15180
5	2280	1140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	13060
6	1300	2830	1720	1950	3510	0	1420	2890	2800	18420
7	1530	1730	1350	2720	1240	1230	0	2830	1720	14350
8	1950	2760	1250	2920	1160	1940	1830	0	2760	16570
9	2800	1750	950	1250	1350	2860	2960	1940	0	15860
D_j	16000	16710	12390	14820	13860	15560	14650	15790	17390	136870

表-5.26 データの平均OD交通量 (通過交通型ODパターン) μ_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	840	1410	740	2230	12600	1430	11400	27400	58050
2	860	0	760	880	1120	930	17000	820	16300	38670
3	1430	740	0	11800	2130	360	13300	10300	2740	42800
4	850	920	13500	0	1120	840	720	960	14200	33110
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	13000	830	720	950	3510	0	14200	890	800	34900
7	1530	17300	13500	720	1240	12300	0	830	1720	49140
8	9500	760	12500	920	1160	940	830	0	760	27370
9	28000	17500	950	12500	1350	860	960	940	0	63060
D_j	55450	39030	45940	29690	13860	29970	50700	27320	65200	357160

表-5.27 シミュレーションにおける乱数発生時の相対誤差

	μ_{ij} に対する相対誤差の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)			tr_{ij} と t_{ij}^* の相対誤差の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)		
	$\delta(t_{ij}^*, \mu_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, \mu_{ij})$	平均値	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	平均値
データA	9.158	9.583	9.371	12.884	12.623	12.754
データB	27.474	28.354	27.914	50.815	46.605	48.710
データC	23.139	24.253	23.696	34.679	33.692	34.186
データD	39.863	41.405	40.634	85.167	71.181	78.174

推計法の違いが推計精度にどのような影響を及ぼすか確かめるために、OD推計法1、制約条件付加法、現在パターン法(フレーター法)の3種類の推計法を用いてシミュレーションを行った。ただし、OD推計法1および制約条件付加法では母数(母平均、母分散)を予め与えておく必要があるため、ここでは母数推計法1を用いて推計した μ_{ij} を用いる。また、制約条件付加法については母数 μ_{ij} が既知の場合と未知の場合(過去の既存OD交通量 t_{ij}^* を用いる井上の推計法1と母数推計法1により求める方法)について推計精度の比較検討を行う。

表-5.28 推計法の違いによる推計精度の比較 (重み付き標準比率誤差 %)

	OD推計法1	制約条件付加法			フレーター法
	母数未知	母数未知		母数既知	
	母数推計法1	母数推計法1	従来法(t_{ij}^*)	(μr_{ij})	
データA	9.563	8.404	8.404	6.807	10.944
データB	41.571	39.249	39.249	22.311	42.485
データC	26.566	24.438	24.438	18.154	30.659
データD	60.112	54.983	54.983	37.542	73.730

なお、シミュレーションでは表-5.18の基本ODパターンを用い、道路区間交通量の観測誤差 σ_x はなしとし、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha \cdot (\mu_{ij})^\beta = \alpha \cdot (t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ α 、 β はそれぞれ $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 1.0$ とした。

表-5.27、表-5.28は4通りの分散の与え方(データA₁、B₁、C₁、D₁)についてそれぞれ3回のシミュレーションを行った結果を平均値で表わしたものである。 t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差はどちらを基準にするかによって異なるが、たとえばデータA₁の場合その平均で12.8%、データD₁の場合は78.2%である。 t_{ij} に対する推計精度はOD推計法1を用いた場合9.6%(データA₁)、60.1%(データD₁)、また制約条件付加法を用いた場合8.4%(データA₁)、55.0%(データD₁)であり、シミュレーションの相対誤差に比べそれぞれOD推計法1を用いた場合で約3%(データA₁)、約18%(データD₁)、また制約条件付加法を用いた場合で約4.4%(データA₁)、約23%(データD₁)それぞれ精度が向上している。しかも、現在パターン法(フレーター法)を用いた場合よりも推計精度が良いという結果が得られている。特に、OD交通量の変動が大きいデータD₁において推計精度の向上が著しいといえる。

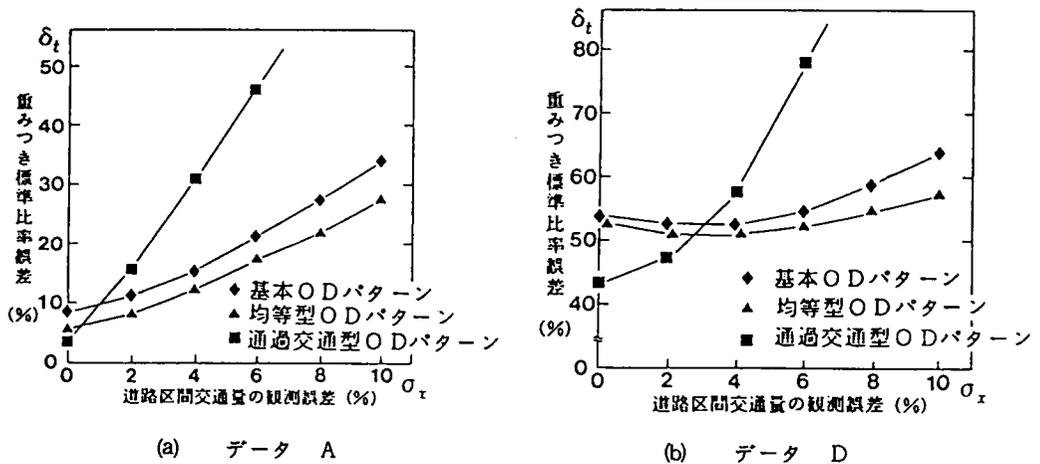


図-5.20 ODパターンの違いによる推計精度への影響

次に、データのOD分布パターンの違いが推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。シミュレ

ーションでは、制約条件付加法について検討を行った。なお、ここでは道路区間交通量の観測誤差 σ_x を0%、2%、4%、6%、8%、10%の6段階で変化させ、観測誤差 σ_x の影響についても検討を行う。

結果の一例を図-5.20 (a) データA, (b) データD) に示す。ただし、OD分布パターンによって t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差が異なるため、単純には比較できない。そこで、表-5.29にシミュレーションにおける t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差の大きさを示し、観測誤差 σ_x の影響について検討する。

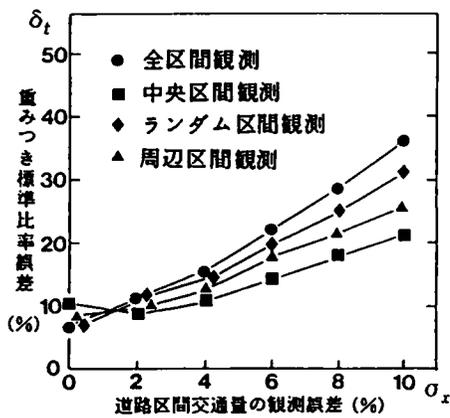
表-5.29 シミュレーションにおける t_{ij}^* と tr_{ij} の相対誤差 (重み付き標準比率誤差 %)

	基本ODパターン			均等型ODパターン			通過交通型ODパターン		
	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	平均値	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	平均値	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	平均値
データA	12.884	12.623	12.754	10.302	10.115	10.209	6.447	6.302	6.375
データD	85.167	71.181	78.174	75.736	74.923	75.330	60.784	74.832	67.809

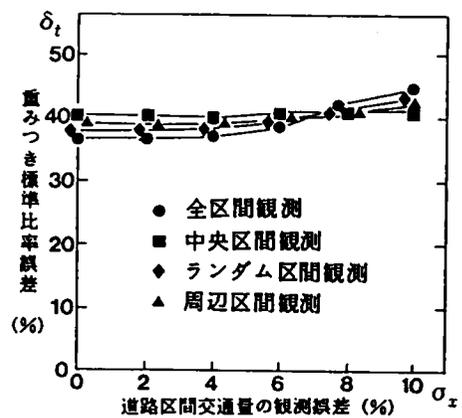
図-5.20より道路区間交通量の観測誤差が大きくなると推計精度は大きく影響を受けることがわかる。これは、制約条件の道路区間交通量に観測誤差があるためであり、出現確率を最大にするOD交通量の解が、ずれた制約条件を満足させるために、真実値よりも掛け離れたところで解が求まることによるものであると考えられる。また、基本ODパターン、均等型ODパターンに比較して、特に通過交通型ODパターンにおいてその傾向が顕著である。これは、長トリップのOD交通量が多いため、発生交通量や集中交通量の制約条件よりも道路区間交通量の条件の方が強いと考えられる。さらに、OD交通量の変動の大きさの違いによる影響をみると、変動の小さいデータAの方が観測誤差 σ_x の影響を受けやすいといえる。

一般に、対象地域が大きくなるとすべての道路区間において同時に交通量観測を行うことは、非常に困難となる。そこで、現実問題としては観測道路区間を限定したり、何回かに分けて観測する必要がある。本研究では、観測可能な道路区間が限定されている場合に、観測区間数と観測区間の位置が推計精度にどのような影響をおよぼすか検討を行う。シミュレーションでは、次に示すような4通りの道路区間制約条件を設定し、その影響を検討する。用いた推計法は制約条件付加法である。結果の一例を図-5.21 (基本ODパターン) に示す。

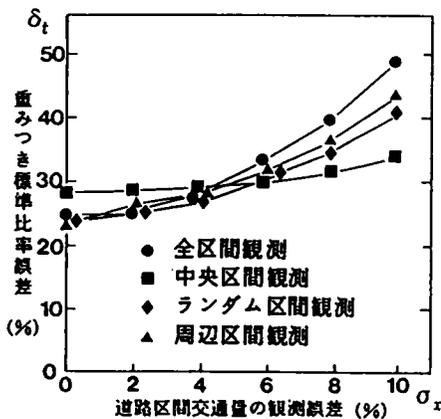
- i) 全区間観測・・・全24区間の交通量がすべて観測されている場合
- ii) 中央区間観測・・・区間7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18の8区間の交通量が観測されている場合
- iii) ランダム区間観測・・・区間1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 23の16区間の交通量が観測されている場合
- iv) 周辺区間観測・・・区間1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24の16区間の交通量が観測されている場合



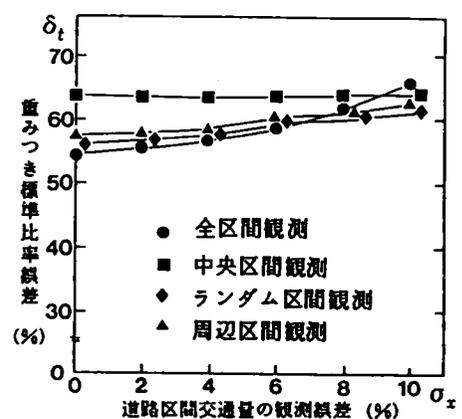
(a) データ A



(b) データ B



(c) データ C



(d) データ D

図-5.21 道路区間交通量の観測地点数が推計精度に及ぼす影響

図-5.21より、データA₁やデータC₁のようにOD交通量の分散が小さい場合には、特に観測誤差 σ_x の影響を受け易いことがわかる。しかし、中央区間観測の場合には観測誤差 σ_x が大きくなっても、それほど推計精度の悪化はみられない。これは、各ODペアがいくつかの選択経路を有し、その経路がほぼ中央区間において重複するため、観測誤差 σ_x の影響が各経路交通量に分散して推計精度にそれほど影響しないと考えられるからである。このことより、実際にこの推計法を適用する場合には、できるだけ経路が多く重複する道路区間を観測することが望ましいといえる。

一方、データB₁やデータD₁のようにOD交通量の分散が大きい場合には、観測区間の数や位置に関係なく、観測誤差 σ_x の影響が小さいことがわかる。これは、OD交通量の分散が制約条件である道路区間交通量の観測誤差よりも大きいため、それほど推計精度に影響を及ぼさないからと考えられる。

なお、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(\mu_{ij})^\beta = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ β の影響について検討を行ったところ、OD推計法1と同様に制約条件付加法においても、ほとんど影響はなかった。

5. 4 OD交通量の周期変動を考慮した最尤法モデルの提案

(1) モデルの基本的な考え方とその解法⁴⁶⁾

第3節ではOD交通量が不規則に変動する場合（周期変動や傾向変動が小さく無視できる場合）についてモデル定式化を行った。本節では周期変動が無視できない場合についてモデル定式化を行い、周期変動を考慮した最尤法モデル（OD推計法2と呼ぶ）を提案する。以下に、その基本的な考え方を記述する。

第2節で示したように交通量の変動特性を分析したところ、周期変動のはっきりした交通量相互にはかなり強い相関関係が見られ、変動のパターンが似ている場合には、特にその傾向が著しかった。したがって、周期変動が無視できない場合には、OD交通量は互いに相関を持つため、独立な確率変数として取り扱うことはできない。そこで、次のような仮定のもとにモデルの定式化を行う。すなわち、「OD交通量 T_{ij} は正規分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に従い、互いに相関を有する。その結果、日変動するOD交通量 t_{ij} は多次元正規確率母集団からの実現値となる。」と仮定してモデル化を行う。構造式で示すと式(5-76)のようになる。

$$T_{ij}(\tau_1) = \mu_{ij}(\tau_1) + \sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1) + \varepsilon_{ij} \quad (5-76)$$

ここで、 $T_{ij}(\tau_1)$ ；推計時点 τ_1 における ij ゾーン間のOD交通量を表わす確率変数である。

$\mu_{ij}(\tau_1)$ ； τ_1 における母集団の平均OD交通量（母平均）を表わす。

$\sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1)$ ； τ_1 における周期変動成分（平均値は零）を表わす。なお、 s は曜日変動、月間変動などの周期変動成分の内容を示す。

ε_{ij} ；不規則変動成分を表わし、強定常な確率変数である。ただし、 $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う。

$$P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ij}, \dots, t_{nn})$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^{n^2/2} \sqrt{|B|}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}(t - \mu)^t \cdot B^{-1} \cdot (t - \mu)\right\} \quad (5-77)$$

ここで、

$$(t - \mu) = \begin{bmatrix} t_{11} - \mu_{11} \\ t_{12} - \mu_{12} \\ \cdot \\ \cdot \\ t_{nn} - \mu_{nn} \end{bmatrix} \quad B = [b_{ij, os}] \quad (\text{共分散行列})$$

ただし、 $b_{ij, os} = \rho_{ij, os} \cdot \sigma_{ij} \cdot \sigma_{os}$

$\rho_{ij, os}$; ゾーン ij 間のOD交通量 T_{ij} とゾーン os 間のOD交通量 T_{os} の間の相関係数を表わす

σ_{ij} ; T_{ij} の標準偏差を表わす

σ_{os} ; T_{os} の標準偏差を表わす

また、()^t は転置を表わす。

このように考えると周期変動が無視できない場合、OD交通量 T_{ij} の同時確率は多次元正規分布に従い、 T_{ij} の実現値 t_{ij} が生起する同時確率密度は式(5-77)のように表わされる。ここで、生起確率が最大となる $[t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}]$ を道路区間交通量観測時の推定OD交通量 $[t_{ij}]$ と考えると、式(5-78)に示す道路区間条件式を満足し、式(5-77)を最大とする $[t_{ij}]$ を求めればよいことになる。これは最尤推定法の同時確率密度最大の考え方によるものであり、解法はラグランジュの未定乗数法を用いることにより簡単に行うことができる。

ただし、適用にあたっては母平均 μ_{ij} 、母分散 σ_{ij}^2 、母相関係数 ρ_{ijos} の与え方と道路区間利用率 p_{ij}^k の先決方法(推定方法)が問題となる。

制約条件

$$x_k^* = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5-78)$$

ここで、 x_k^* ; 道路区間 k において観測される道路区間交通量(既知量)を表わし、確率変数 X_k の1つの実現値である。

p_{ij}^k ; OD交通量 t_{ij} が道路区間 k を利用する確率(経路調査などにより既知とする)を表わす。

井上博司は分散 σ_{ij}^2 が平均値 μ_{ij} に比例するとしてモデル定式化を行っている。すなわち、式(5-79)により分散 σ_{ij}^2 を与えている。ここで、 P ; トリップメーカーが、ある1日にトリップを行う確率を表わす。

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha \mu_{ij} = (1 - P) \mu_{ij} \quad (5-79)$$

そして井上博司は道路区間交通量観測時のOD交通量 t_{ij} が道路区間交通量の条件式を満足するように、母集団の平均交通量 μ_{ij} を求めている⁴⁷⁾。

本研究においても、井上博司の方法と同様にして μ_{ij} を推計することもできるが、①反復計算を用いるため計算が多少面倒であること、また、②交通規制や交通管制などのような短期的な交通運用計画の立案には、平均OD交通量 μ_{ij} よりも、むしろ季節変動や曜日変動が含まれたOD交通量 $(\mu_{ij}(\tau_1) + \sum \xi_{ij}^s(\tau_1) + \varepsilon_{ij})$ の方が良いと考えられるため、ここでは道路区間交通量観測時のOD交通量 t_{ij} を推計する。ただし、本研究では過去に調査されたパーソントリップの調査OD交通量 t_{ij}^* (既存OD

交通量、*印は既知量を表わす)を用いて、便宜的に母平均 μ_{ij} (式(5-80))、母分散 σ_{ij}^2 (式(5-81))を与える。これは、第2節の分析結果にもとづいたものである。したがって、実際の適用にあたっては常時観測交通量データなどを用いて交通量の変動特性を分析し、パラメータ α 、 β の値を求めておく必要があるといえる。

$$\mu_{ij} = t_{ij}^* \quad (5-80)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha \cdot (t_{ij}^*)^\beta \quad (5-81)$$

道路区間利用率 p_{ij}^k の推定方法については、いくつかの方法⁴⁸⁾が考えられるが、本研究では既存配分理論を用いることにより先決されているものとする。ただし、推定誤差 σ_p については道路区間交通量の観測誤差 σ_x による影響とともにシミュレーションにより検討する。なお、母相関係数、母平均、母分散の与え方による推計精度への影響についても検討を加える。

モデルの具体的な解法は、式(5-78)の制約条件のもとに式(5-77)を最大にするOD交通量 t_{ij} を求めるようにして行う。共分散行列 B を前述のように標準偏差と相関係数を用いて与えれば、式(5-79)の最大化は指数部 Q (式(5-82))の最小化問題として定式化でき、制約条件付き最小化問題となる。ただし、 $\tilde{b}_{ij\ os}$ は B^{-1} の (ij, os) 要素を表わす。

$$Q = (t - \mu)^t \cdot B^{-1} \cdot (t - \mu) \quad \Rightarrow \quad \text{Min.} \quad (5-82)$$

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{i,j} \sum_{o,s} (t_{ij} - \mu_{ij})(t_{os} - \mu_{os}) \cdot \tilde{b}_{ij\ os} \\ &= \sum_{i,j} \sum_{o,s} (t_{ij} - t_{ij}^*)(t_{os} - t_{os}^*) \cdot \tilde{b}_{ij\ os} \quad \Rightarrow \quad \text{Min.} \end{aligned} \quad (5-83)$$

ここで、添字が煩雑になるのでODペアを単一番号で示し、式(5-84)、式(5-85)のように変換する。

$$t_{11}, t_{12}, t_{13}, \dots, t_{nn} \quad \Rightarrow \quad t_1, t_2, t_3, \dots, t_s \quad (5-84)$$

$$p_{11}^k, p_{12}^k, p_{13}^k, \dots, p_{nn}^k \quad \Rightarrow \quad p_1^k, p_2^k, p_3^k, \dots, p_s^k \quad (5-85)$$

ラグランジュの未定乗数を λ_k とすると、ラグランジュ関数 L は式(5-86)のように与えられ、 t_i で偏微分して零(0)とおくと、式(5-87)のようになる。 t_i 、 λ_k について展開すると、式(5-89)のような連立一次方程式が得られ、方程式の数($m+s$)と未知数 t_i 、 λ_k の数($m+s$)が一致しているので簡単に解くことができる。

$$\begin{aligned} L(t_1, t_2, \dots, t_s) \\ = \sum_i \sum_j (t_i - t_i^*)(t_j - t_j^*) \cdot \tilde{b}_{ij} + \sum_k (x_k^* - \sum_i p_i^k \cdot t_i) \cdot \lambda_k \end{aligned} \quad (5-86)$$

$$\frac{\partial L}{\partial t_i} = \sum_j (t_j - t_j^*) \cdot \tilde{b}_{ij} + \sum_k \lambda_k \cdot p_i^k \quad (i = 1, 2, 3, \dots, s) \quad (5-87)$$

$$x_k = \sum_j p_j^k \cdot t_j \quad (k = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (5-88)$$

$$x_1^* = p_1^1 \cdot t_1 + p_2^1 \cdot t_2 + \dots + p_s^1 \cdot t_s$$

$$x_2^* = p_1^2 \cdot t_1 + p_2^2 \cdot t_2 + \dots + p_s^2 \cdot t_s$$

$$\vdots$$

$$x_m^* = p_1^m \cdot t_1 + p_2^m \cdot t_2 + \dots + p_s^m \cdot t_s$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot \tilde{b}_{1j} &= \tilde{b}_{11} \cdot t_1 + \tilde{b}_{12} \cdot t_2 + \dots + \tilde{b}_{1s} \cdot t_s \\ &\quad - p_1^1 \cdot \lambda_1 - p_1^2 \cdot \lambda_2 - \dots - p_1^m \cdot \lambda_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot \tilde{b}_{2j} &= \tilde{b}_{21} \cdot t_1 + \tilde{b}_{22} \cdot t_2 + \dots + \tilde{b}_{2s} \cdot t_s \\ &\quad - p_2^1 \cdot \lambda_1 - p_2^2 \cdot \lambda_2 - \dots - p_2^m \cdot \lambda_m \\ &\quad \vdots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot \tilde{b}_{sj} &= \tilde{b}_{s1} \cdot t_1 + \tilde{b}_{s2} \cdot t_2 + \dots + \tilde{b}_{ss} \cdot t_s \\ &\quad - p_s^1 \cdot \lambda_1 - p_s^2 \cdot \lambda_2 - \dots - p_s^m \cdot \lambda_m \end{aligned} \quad (5-89)$$

(2) 推計誤差分析のためのシミュレーションの方法

図-5.22に示すようなシミュレーションの手順により、推計精度の検討を行う。本節においても第3節と同様、実際のOD交通量の変動現象を再現するために、OD交通量についてある正規母集団 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ を考える。日々変動するOD交通量はその正規母集団からの実現値と考えられるから、正規乱数を用いて2組のOD交通量を作成し、その1組を過去に調査されたパーソントリップの調査OD交通量 $[t_{11}^*, t_{12}^*, \dots, t_{nn}^*]$; 既存OD交通量] とし、もう1組を推計時点(道路区間交通量の観測時点)における現実OD交通量 $[tr_{11}, tr_{12}, \dots, tr_{nn}]$ としてシミュレーションを行う。ただし、周期変動があるため各OD交通量は互いに独立に生起するのではなく、相関 $\rho_{ij os}$ を持って生起するものと考えられる。なお、各OD交通量の変動周期がすべて同じ場合には、相関係数も一律になると考えられるが、普通変動周期はODペアによって異なるので、ここでは道路区間交通量の変動分析結果をもとにして作成した相関係数を用いてシミュレーションを行った。ただし、推計に用いる道路区間交通量 x_k^* には、一般に観測誤差 σ_x (比率誤差%) が含まれるため、本節においても第3節のシミュレーション(式(5-72))と同様に、正規乱数を発生させてその影響を考慮する。また、道路区間利用率 p_{ij}^k の推定誤差 σ_p についても同様に式(5-73)により、その影響を検討する。

よって、シミュレーションではこのようにして作成した t_{ij}^* 、 x_k^* と外生的に与える p_{ij}^k 、 $\rho_{ij os}$ を既知データとして、推計時のOD交通量 t_{ij} を推計する。このとき、推計モデルの適用性を確かめるた

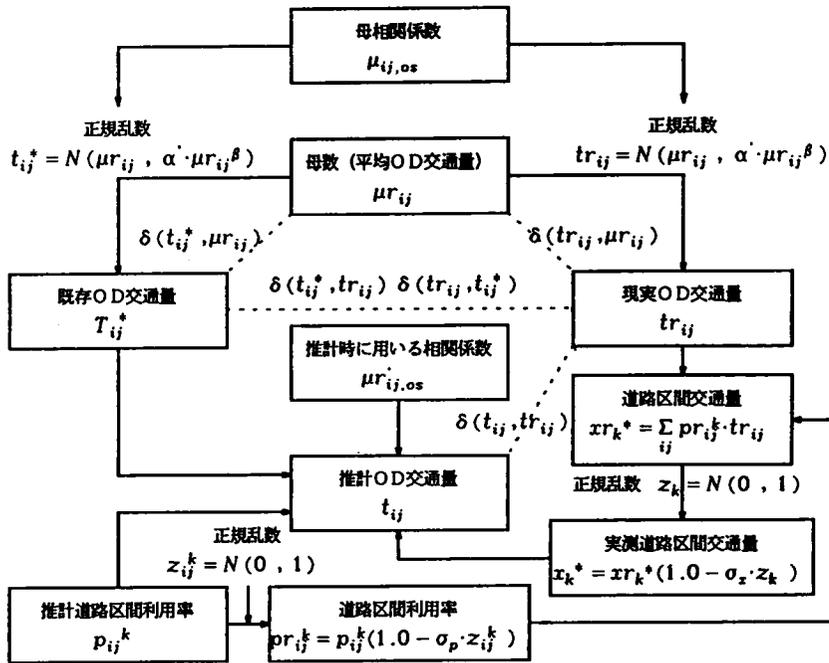


図-5.22 推計手順を示すシミュレーションのフローチャート

めに、道路区間交通量の観測誤差 σ_x 、道路区間利用率の推定誤差 σ_p 、母相関係数の推定誤差 σ_ρ の影響についても検討を行う。なお、推計精度の評価は前節と同様、式(5-74)、式(5-75)に示す重み付き標準比率誤差を用いて行う。

(3) シミュレーション結果と考察

本節では、モデルの特性とその適用性を検討するために、次に示すような仮想的なOD交通量を考え、図-5.14に示すノード数9、リンク数24(上下方向別)の田の字型道路網を用いて推計精度の検討を行う。ODデータとしては、平均OD交通量 μ_{ij} のOD分布パターン(表-5.30(a),(b))と母分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha (\mu_{ij})^\beta$ のパラメータ (α , β) の組合せにより、次の6通りを考える。ただし、表-5.30(b)の母平均OD交通量 μ_{ij} は表-5.30(a)に比べ、直進方向のトリップ長の長い

表-5.30(a) データの平均OD交通量(基本ODパターン) μ_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	840	1410	740	2230	1260	1430	1140	2740	11790
2	860	0	760	880	1120	930	1700	820	1630	8700
3	1430	740	0	1180	2130	360	1330	1030	2740	10940
4	850	920	1350	0	1120	840	720	960	1420	8180
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1300	830	720	950	3510	0	1420	890	800	10420
7	1530	1730	1350	720	1240	1230	0	830	1720	10350
8	950	760	1250	920	1160	940	830	0	760	7570
9	2800	1750	950	1250	1350	860	960	940	0	10860
D_j	10000	7710	10390	7820	13860	7560	10650	7790	13090	88870

表-5.30 (b) データの平均OD交通量 (通過交通型ODパターン) μr_{ij}

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0_i
1	0	840	11280	740	2230	1260	11440	1140	2740	31670
2	860	0	760	880	1120	930	1700	6560	1630	14440
3	11440	740	0	1180	2130	360	1330	1030	21920	40130
4	850	920	1350	0	1120	6720	720	960	1420	14060
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1300	830	720	7600	3510	0	1420	890	800	17070
7	12240	1730	1350	720	1240	1230	0	830	13760	33100
8	950	6080	1250	920	1160	940	830	0	760	12890
9	2800	1750	7600	1250	1350	860	7680	940	0	24230
D_j	30720	13030	26910	14470	13860	13440	27380	13530	44310	197650

OD交通量 (たとえば, μr_{13} , μr_{17} , μr_{28} , μr_{46}) が特に大きくなっており, 通過OD交通量の影響を見るために設定したものである。なお, 表-5.30(a) に示すOD表は前節で使用した表-5.18 (基本ODパターン) と同一のOD表である。

[仮想ODデータの母平均と母分散の組合せ]

- a) データA μr_{ij} = 表-5.30(a) , $\sigma_{ij}^2 = 0.05(\mu r_{ij})^{2.0}$
- b) データB μr_{ij} = 表-5.30(a) , $\sigma_{ij}^2 = 0.20(\mu r_{ij})^{2.0}$
- c) データC μr_{ij} = 表-5.30(a) , $\sigma_{ij}^2 = 90.0(\mu r_{ij})^{1.0}$
- d) データD μr_{ij} = 表-5.30(b) , $\sigma_{ij}^2 = 0.05(\mu r_{ij})^{2.0}$
- e) データE μr_{ij} = 表-5.30(b) , $\sigma_{ij}^2 = 0.20(\mu r_{ij})^{2.0}$
- f) データF μr_{ij} = 表-5.30(b) , $\sigma_{ij}^2 = 90.0(\mu r_{ij})^{1.0}$

また, ODペア相互の相関係数 $\rho_{ij\ os}$ は金沢市内幹線道路における常時観測交通量データ (車両感知器による断面24時間交通量) をもとにして作成した。3種類 (ρ^1 , ρ^2 , ρ^3) 作成した相関係数のうち, ρ^1 をデータの実際の母相関係数としてシミュレーションを行う。なお, ρ^1, ρ^2, ρ^3 の平均値はそれぞれ $\rho^1 = 0.58, \rho^2 = 0.59, \rho^3 = 0.59$ であり, ρ^1 を基準としたときの各相関係数 ρ^1, ρ^2, ρ^3 の相対誤差 σ_ρ (比率誤差%) はそれぞれ $\sigma_{\rho^1} = 0\%, \sigma_{\rho^2} = 9\%, \sigma_{\rho^3} = 60\%$ である。

1) 母数の与え方が推計精度に及ぼす影響

一般に, 日々変動するOD交通量の平均値とその分散は未知であるので, 本OD推計法2を用いる場合には, 何らかの方法でそれらを与える必要がある。本研究では推計に用いる母数 (μ_{ij} , σ_{ij}^2) を便宜的に既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて式(5-80), 式(5-81)のように与え推計を行う。したがって, シミュレーションで仮定した実際の母数を用いて推計を行う場合に比べ, 推計精度が低下すると考えられる。そこで, ここではまずその影響について検討を行う。ただし, 母数の推定誤差以外の影響を除くために, 道路区間交通量 x_k の観測誤差 σ_x , 道路区間利用率 p_{ij}^k の推定誤差 σ_p , 母相関係数 $\rho_{ij\ os}$ の推定誤差 σ_ρ はそれぞれ $\sigma_x = 0\%, \sigma_p = 0\%, \sigma_\rho = 0\%$ としてシミュレーションを行った。

表-5.31はOD交通量の実際の母数が既知の場合と未知の場合の推計結果を比較して表わしたものである。既知の場合は, $\mu_{ij} = \mu r_{ij}, \sigma_{ij}^2 = \alpha (\mu r_{ij})^\beta$ (α, β も既知)とし, 未知の場合は μ_{ij}

表-5.31 母数の与え方の違いが推計精度に及ぼす影響

(a) シミュレーションにおける乱数発生相対変動の大きさ

データ	μr_{ij} に対する相対変動の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)			tr_{ij} と t_{ij}^* の相対変動の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)		
	$\delta(t_{ij}^*, \mu r_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, \mu r_{ij})$	平均値 (a)	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	平均値 (b)
データA	13.61	20.05	16.83	14.32	15.21	14.77
データB	27.21	40.10	33.66	28.00	30.11	29.06
データC	15.38	24.66	20.02	17.78	19.45	18.62
データD	11.05	19.27	15.16	12.88	13.51	13.23
データE	22.11	38.55	30.33	24.90	26.51	25.71
データF	10.31	16.54	13.43	12.26	13.25	12.76

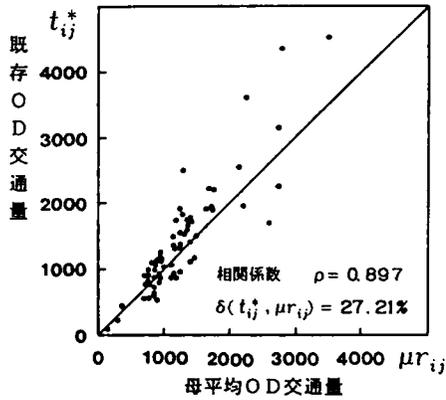
(b) OD推計法2による推計精度

データ	母数が既知 (現実値 μr_{ij}) 重み付き標準比率誤差 (%)			母数が未知 (既存値 t_{ij}^*) 重み付き標準比率誤差 (%)		
	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})(c)$	c/a	c/b	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})(d)$	d/a	d/b
データA	2.78	16.5%	18.8%	4.46	26.5%	30.2%
データB	5.59	16.6%	19.2%	9.95	29.6%	34.2%
データC	3.58	17.9%	19.2%	5.32	26.6%	26.6%
データD	1.63	10.8%	12.3%	2.71	17.9%	17.9%
データE	3.15	10.4%	12.3%	7.10	23.4%	27.6%
データF	2.37	17.6%	18.6%	3.99	29.7%	29.7%

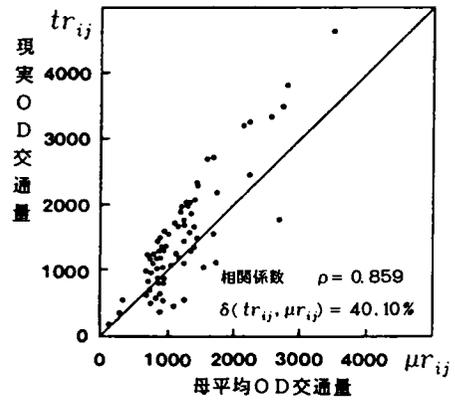
$=t_{ij}^*, \sigma_{ij}^2 = \alpha (t_{ij}^*)^\beta$ ($\alpha=1.0, \beta=1.0$ あるいは $\alpha=1.0, \beta=2.0$)として推計を行った。当然のことながら、母数を既知とした場合の方が推計精度は良いといえる。しかし、既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて簡便的に与えた場合でも推計精度はかなり良く、シミュレーションにおける母集団の相対変動の大きさ (相対誤差 $d/a, d/b$) の約3割程度であり、 t_{ij}^* をそのまま用いて交通計画を立案するよりは推計精度の顕著な向上がみられる。

OD交通量の変動が最も大きいデータBについて、そのシミュレーション結果を図-5.23および図-5.24に示す。図-5.23はそれぞれ母平均交通量 μr_{ij} に対する t_{ij}^* と tr_{ij} の変動 (バラツキ) の程度を示したものであり、図-5.24は母数が既知の場合と未知の場合の推計OD交通量 t_{ij} と現実OD交通量 tr_{ij} の関係を表わしたものである。また、母数が未知の場合には分散 σ_{ij}^2 (式(5-81)) のパラメータ α, β も未知であるので、その与え方によっても推計精度が影響されると考えられる。 α は式(5-82) (あるいは式(5-83)) より明らかなように推計値に対し影響を与えないので、ここでは β の影響についてのみ検討する。

図-5.25に3回のシミュレーション結果とその平均値を示す。図中、実線は本推計法 (OD推計法2) の平均値を示し、一点鎖線は井上の推計法1の結果を示す。図より、設定したデータによって多少その影響が異なっている。OD交通量の相対変動が小さい場合 (たとえば、データC、データF) には、

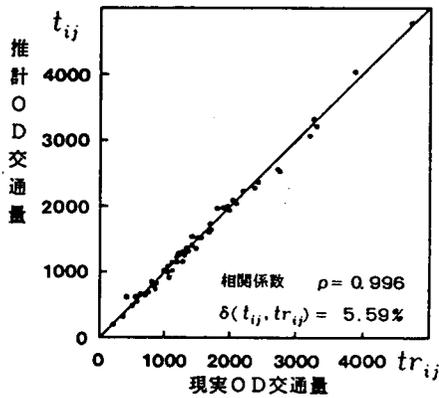


(a) 母平均OD交通量と既存OD交通量

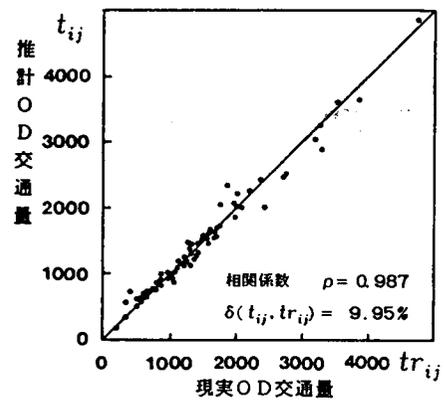


(b) 母平均OD交通量と現実OD交通量

図-5.23 シミュレーションにおける乱数発生相対誤差 (データB)



(a) 母数が既知の場合



(b) 母数が未知の場合

図-5.24 現実OD交通量と推計OD交通量の関係 (データB)

それほど影響はないが、母分散のパラメータ β が $\beta = 1.0$ であり、しかも各OD交通量の大小格差が大きい場合 (たとえば、データE) には、 β の影響が前者に比べ大きいといえる。

2) 相関係数の推定誤差が推計精度に及ぼす影響

一般に、OD交通量相互の相関係数は未

知であるので、何らかの方法で推定する必要がある。ここでは、相関係数の推定誤差 σ_ρ が推計精度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。相関係数としては常時交通量観測データより作成した

表-5.32 井上の推計法1とOD推計法2の推計精度の比較 (データB, 重み付き標準比率誤差%)

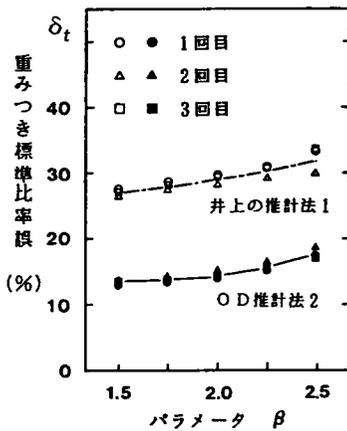
真実相関係数との相対誤差 σ_ρ	OD推計法2 推計に用いた相関係数			井上の推計法1
	ρ^1 (0%)	ρ^2 (9%)	ρ^3 (60%)	
1回目	9.95	10.08	10.22	18.48
2回目	15.21	16.96	21.31	25.95
3回目	15.72	16.29	22.32	24.51
平均	13.63	14.44	17.95	22.98

3種類 (ρ^1, ρ^2, ρ^3) の相関係数を
用いる。シミュレーションでは ρ^1 をOD
交通量の母相関係数とし、それぞれ $\rho^1,$
 ρ^2, ρ^3 を用いて推計を行った場合と、
相関係数を考慮せずに推計を行った井上の
推計法1の結果を比較する。ただし、推計
に用いる母数は既存OD交通量 t_{ij}^* を用い
て与え、 $\sigma_x = 0\%$ 、 $\sigma_p = 0\%$ としてシ
ミュレーションを行った。

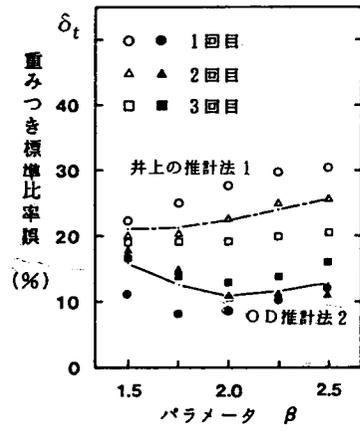
表-5.33 井上の推計法1とOD推計法2の推計精度
の比較 (データE, 重み付き標準比率誤差 %)

真実相関 係数との 相対誤差 σ_ρ	OD推計法2 推計に用いた相関係数			井上の 推計法1
	ρ^1 (0%)	ρ^2 (9%)	ρ^3 (60%)	
1回目	6.53	6.69	7.10	16.05
2回目	11.68	11.78	12.87	23.13
3回目	12.91	13.52	15.21	19.44
平均	10.37	10.66	11.73	19.54

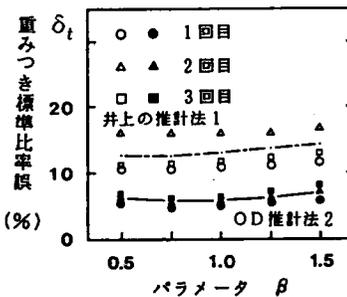
表-5.32, 表-5.33はそれぞれデータB, データEについての推計結果を示したものである。こ
れらの表より、相関係数を考慮したOD推計法2の方が相関係数を考慮しない井上の推計法1よりもか
なり推計精度が良いといえる。しかも、母相関係数 ρ^1 からずれた相関係数 ρ^2 (あるいは ρ^3) を用
いて推計を行った場合においても、それほど精度の悪化は大きくないことがわかる。



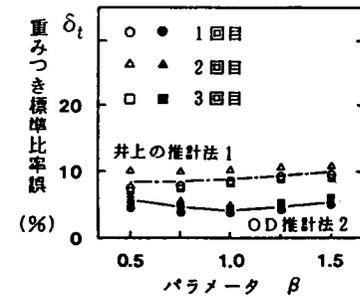
(a) データ B



(b) データ E



(c) データ C



(d) データ F

図-5.25 パラメータ β が推計精度に及ぼす影響

3) 道路区間交通量の観測誤差が推計精度に及ぼす影響

道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度にどのような影響を及ぼすかシミュレーションにより検討する。推計に用いる母数 μ_{ij} は t_{ij}^* を用いて与え、他は $\sigma_p = 0\%$ 、 $\sigma_r = 0\%$ としてシミュレーションを行った。3回行ったシミュレーション結果の一例を図-5.26 ((a) データB, (b) データE)に示す。図-5.26より明らかなように観測誤差 σ_x が大きくなると、推計精度は非常に大きく影響を受けることがわかる。しかも、その影響は相関係数を考慮していない井上の推計法1 (図中、白抜き破線で示す) よりも、相関係数を考慮した本推計法 (OD推計法2) の方が大きいといえる。これは制約条件である道路区間交通量に観測誤差 σ_x があるためであり、観測誤差 σ_x が大きくなると出現確率を最大にするOD交通量の解が、ずれた制約条件を満足させるために、真実値よりも掛け離れたところで求まることによるものと考えられる。特に、本推計法の場合は相関係数を考慮することにより解の存在範囲を規定するため、その影響が井上の推計法1よりも大きいものと考えられる。

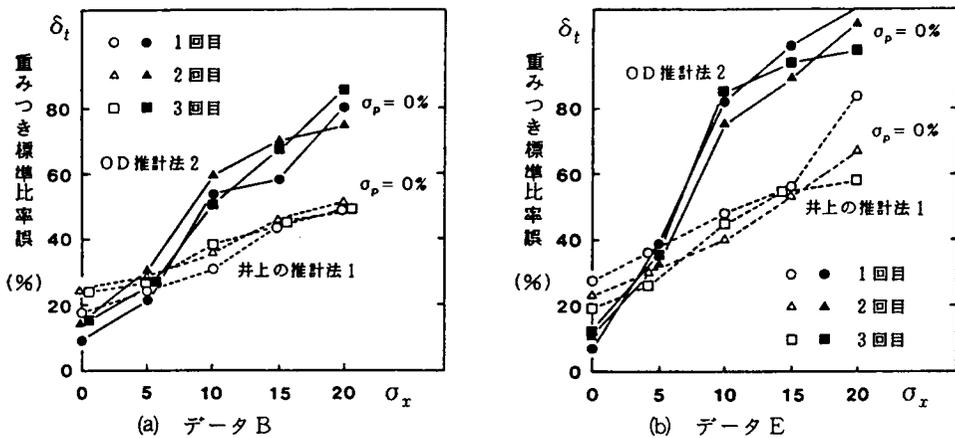


図-5.26 道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度に及ぼす影響

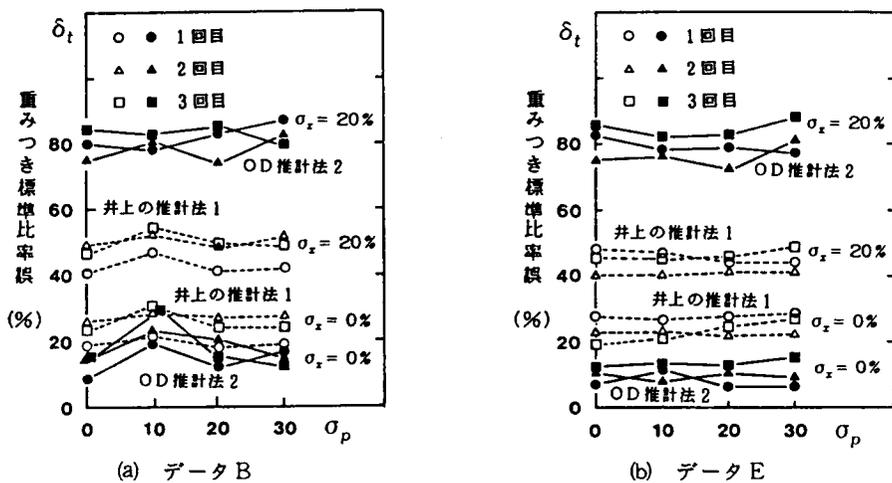


図-5.27 道路区間利用率の推定誤差 σ_p が推計精度に及ぼす影響

また、データのODパターンの違いによる影響を比較すると、通過OD交通量の大きいデータEの方が大きく影響を受けることがわかる。

以上のことより、道路区間交通量の観測誤差はできるだけ小さくする必要があるといえる。

4) OD別道路区間利用率の推計誤差が推計精度に及ぼす影響

本推計法では前節でも示したように、道路区間利用率 p_{ij}^k を走行経路調査や既存配分理論などにより推定し、先決値として与えてOD交通量の推計を行う。したがって、道路区間利用率の推定誤差 σ_p がOD交通量の推計に対し、どのような影響を及ぼすか検討しておく必要がある。ここでは、経路選択確率の推定が直線OD交通に比べて困難である対角OD交通（経路が複数）に対し、経路選択確率を変化させてシミュレーションを行った。

結果の一例を図-5.27 ((a) データB, (b) データE)に示す。この図より道路区間利用率の推定誤差 σ_p が大きくなっても、推計精度にはほとんど影響がないことがわかる。しかも、その傾向はOD交通量の特性（たとえば、母平均、母分散、母相関係数）の違いにもほとんど関係しないといえる。ただし、ここでの分析はODペアについての選択経路を指定し、その選択確率が増加してシミュレーションを行ったものである。しかも、対象道路網が単純な田の字型の道路網であるため、現実の道路網に比べ、経路選択が単純であるといえる。したがって、対象道路網が大規模な場合のように、選択経路それ自体が変化する場合や、さらに複雑な経路選択をするような場合については、今後検討を加える必要があるといえる。

5. 5 OD交通量の傾向変動を考慮した最尤法モデルの提案

(1) モデルの基本的な考え方とその解法⁴⁹⁾

本節では、既存OD交通量の調査時点からかなりの時間経過があり、OD交通量の確率分布が既存OD調査時点(τ_0)と推計時点(τ_1)において、大きく異なり、傾向変動が大きい場合に適用する最尤法モデル(母数推計法3, OD推計法3)を提案する。

いま、OD交通量 $T_{ij}(\tau)$ を1つの確率変数として定式化すると第3節で示したように、次のように表わすことができる。ただし、ここでは $\sum_S \xi_{ij}^S(\tau_1)$ は対象外とし、 $\psi_{ij}(\tau_0, \tau_1)$ は重力モデル構造で表わすことにより考慮する。

$$T_{ij}(\tau_1) = \mu_{ij}(\tau_0) + \psi_{ij}(\tau_0, \tau_1) + \sum_S \xi_{ij}^S(\tau_1) + \varepsilon_{ij} \quad (5-92)$$

$$T_{ij}(\tau_1) = \mu_{ij}(\tau_1) + \varepsilon_{ij} \quad (5-93)$$

ここで、

$T_{ij}(\tau_1)$; τ_1 (推計時点)におけるOD交通量を表わす確率変数である。

$\mu_{ij}(\tau_0)$; τ_0 (既存OD調査時点)における母集団の平均OD交通量(母平均)を表わす。

$\mu_{ij}(\tau_1)$; τ_1 (推計時点)における母集団の平均OD交通量(母平均)を表わす。

$\psi_{ij}(\tau_0, \tau_1)$; τ_0 と τ_1 の間の傾向変動成分を表わす。

$\sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1)$; τ_1 における周期変動成分 (平均値は零 (0)) を表わす。

ε_{ij} ; 不規則変動成分を表わし、強定常な確率変数である。 $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う。

したがって、推計時 τ_1 における OD 交通量 T_{ij} の確率密度関数 $P(t_{ij})$ は式 (5-94) のように表わされる。

$$P(t_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2(\tau_1)}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij}(\tau_1))^2}{\sigma_{ij}^2(\tau_1)}\right) \quad (5-94)$$

ここで、

$T_{ij}(\tau_1)$; 時間 τ_1 における OD 交通量を表わす確率変数であり、その 1 つの実現値が t_{ij} である。

ε_{ij} ; 不規則変動成分を表わし、強定常な確率変数である。 $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う。

$\mu_{ij}(\tau_1)$; 時間 τ_1 における母集団の平均 OD 交通量 (母平均) を表わす。

$\sigma_{ij}^2(\tau_1)$; 時間 τ_1 における母集団の分散 (母分散) を表わす。

ただし、 t_{ij} は τ_1 における OD 交通量 $T_{ij}(\tau_1)$ の 1 つの実現値であり、 $\mu_{ij}(\tau_1)$ 、 $\sigma_{ij}^2(\tau_1)$ はそれぞれ τ_1 における OD 交通量 $T_{ij}(\tau_1)$ の母平均 (平均 OD 交通量)、母分散を表わす。

ここで、 $\mu_{ij}(\tau_1)$ は時間 τ_1 が決れば一意的に定まる確定値と考えられるので、式 (5-95) に示すような重力モデル構造で表わすことができる。 $u_i(\tau_1)$ 、 $v_j(\tau_1)$ は発生ゾーンおよび集中ゾーンの発生、集中パラメータを表わし、 $R_{ij}^*(\tau_1)$ は i 、 j ゾーン間の交通抵抗パターンを表わすパラメータである。一般には、 $R_{ij}^*(\tau_1)$ も時間 τ_1 によって変化すると考えられるが、 $R_{ij}^*(\tau_1)$ の変化は小さいものとし、ここでは既存 OD 交通量 t_{ij}^* を用いて式 (5-96) のように定義する。なお *印は先決値 (あるいは既知量) であることを示す。

$$\mu_{ij}(\tau_1) = u_i(\tau_1) \cdot v_j(\tau_1) \cdot R_{ij}^*(\tau_1) \quad (5-95)$$

$$R_{ij}^*(\tau_1) = R_{ij}^*(\tau_0) = \frac{t_{ij}^*}{\left(\sum_i t_{ij}^*\right) \cdot \left(\sum_j t_{ij}^*\right)} \quad (5-96)$$

モデルの概念図を示すと図-5.28 のようになる。すなわち、既存 OD 調査時および推計時において日々変化する OD 交通量 t_{ij}^* および tr_{ij} は OD 交通量の母集団 $N(\mu_{ij}(\tau_0), \sigma_{ij}^2(\tau_0))$ および $N(\mu_{ij}(\tau_1), \sigma_{ij}^2(\tau_1))$ からの 1 つの実現値と考えられる。しかし、傾向変動が大きい場合には母数 (母平均、母分散) それ自身が大きく変化するため推計時の母数を何らかの方法で推計する必要がある。

そこで、本研究では観測道路区間交通量 $x_k^*(\tau_1)$ を情報として、最尤推定法により母数 μ_{ij} を推計する方法を提案する。 μ_{ij} が求まれば OD 推計法 3 を用いることにより、推計時の OD 交通量 t_{ij} を求め

ることができる。なお、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2(\tau_1)$ は推計精度にそれほど大きな影響を与えないと考えられるので、母数推計法3では便宜的に既存OD調査時の分散 $\sigma_{ij}^2(\tau_0)$ を用いて与えた。また、OD推計法3では推計された $\mu_{ij}(\tau_1)$ を用いて $\sigma_{ij}^2(\tau_1) = \alpha \cdot (\mu_{ij}(\tau_1))^\beta$ のように近似した。ただし、その影響についてはシミュレーションにより検討する。

1) 母数推計法3

道路区間交通量 X_k の同時確率は多次元正規分布で与えられ、その同時確率密度(すなわち尤度関数)は式(5-97)のように表わされる。したがって、同時確率密度(式(5-97))が最大となるときの値を推計母数 $\mu_{ij} = F(u_i, v_j)$ と考えれば、次の最適化問題(式(5-98))を解くことにより、推計時の u_i, v_j を求めることができる。

$$P(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|A|}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}(X^* - m)^t \cdot A^{-1} \cdot (X^* - m)\right\} \quad (5-97)$$

ここで、

$$(X^* - m) = \begin{bmatrix} x_1^* - \sum_{i,j} p_{ij}^1 \cdot \mu_{ij} \\ x_2^* - \sum_{i,j} p_{ij}^2 \cdot \mu_{ij} \\ \vdots \\ x_n^* - \sum_{i,j} p_{ij}^n \cdot \mu_{ij} \end{bmatrix} \quad A = [a_{kh}] \text{ (共分散行列)}$$

ただし、
$$a_{kh} = \text{Cov}(X_k, X_h) = \sum_{i,j} p_{ij}^k \cdot p_{ij}^h \cdot \sigma_{ij}^2$$

x_k^* ; 道路区間 k において観測される道路区間交通量(既知量)を表わし、確率変数 X_k の1つの実現値である。

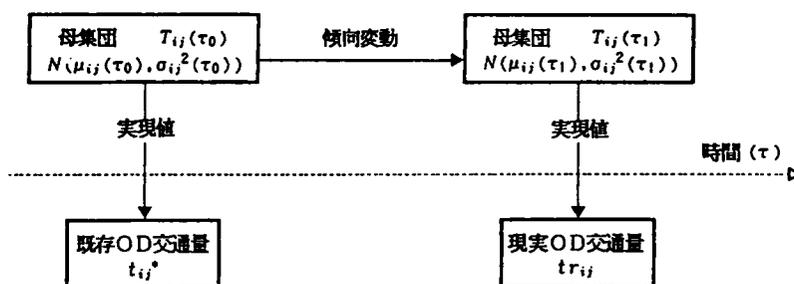


図-5.28 交通量変動のモデル化の概念図(傾向変動がある場合)

p_{ij}^k ; OD交通量 t_{ij} が道路区間 k を利用する確率 (経路調査などにより既知とする) を表わす。
 なお, $(\quad)^t$ は転置を意味する。

目的関数

$$H = (X^* - m)^t \cdot A^{-1} \cdot (X^* - m) \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-98)$$

制約条件 なし

式 (5-95) の関係より式 (5-98) を展開すれば, 次のように表わすことができる。ただし, \hat{a}_{kh} は A^{-1} の (k, h) 要素である。

$$\begin{aligned} H &= \sum_k \sum_h (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot u_i \cdot v_j \cdot R_{ij}^*) (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^h \cdot u_i \cdot v_j \cdot R_{ij}^*) \hat{a}_{kh} \\ &= \sum_k \sum_h x_k^* \cdot x_h^* \cdot \hat{a}_{kh} - 2 \sum_k \sum_h x_k^* \cdot \hat{a}_{kh} (\sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot u_i \cdot v_j \cdot R_{ij}^*) + \\ &\quad \sum_k \sum_h \hat{a}_{kh} (\sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot u_i \cdot v_j \cdot R_{ij}^*) (\sum_i \sum_j p_{ij}^h \cdot u_i \cdot v_j \cdot R_{ij}^*) \\ &\Rightarrow \text{Min.} \end{aligned} \quad (5-99)$$

ここで, 発生パラメータ u_i , 集中パラメータ v_j をそれぞれ各ノード (ゾーンの発生, 集中交通量をノードで代表させている) の発生, 集中交通量と考え, ノード j への流入方向合計交通量 $\sum_k x_{kj}^*$ と流出方向合計交通量 $\sum_k x_{jk}^*$ の差 (d_j^*) が発生, 集中交通量の差 ($u_i - v_j$) に等しいという関係を利用すれば, v_j は u_j と d_j^* を用いて式 (5-100) のように表わすことができる。

$$v_j = u_j - d_j^* \quad (5-100)$$

したがって, この関係を式 (5-99) に代入して整理すると式 (5-101) が得られる。よって, 式 (5-101) を最小とする u_i を求めれば, 式 (5-102) に代入することによって推計母数 μ_{ij} を求めることができる。この問題は制約条件なしの非線形最適化問題となるため, 計算はブレント法 (50) を用いて行った。

$$\begin{aligned} H &= \sum_k \sum_h x_k^* \cdot x_h^* \cdot \hat{a}_{kh} - 2 \sum_k \sum_h x_k^* \cdot \hat{a}_{kh} \{ \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^* \} + \\ &\quad \sum_k \sum_h \hat{a}_{kh} \{ \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^* \} \{ \sum_i \sum_j p_{ij}^h u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^* \} \\ &\Rightarrow \text{Min.} \end{aligned} \quad (5-101)$$

$$\mu_{ij} = u_i \cdot (u_j - d_j^*) \cdot R_{ij}^* \quad (5-102)$$

2) OD推計法3

OD交通量 T_{ij} の一組の実現値 t_{ij} が同時に生起する同時確率密度は、井上博司が示したように式(5-94)より式(5-103)のように表わされる⁵¹⁾。したがって、同時確率密度最大の考え方より P を最大にする t_{ij} が推計OD交通量と考えられる。

ここで、分散 σ_{ij}^2 を推計された μ_{ij} を用いて $\sigma_{ij}^2 = \alpha(\mu_{ij})^\beta$ (α, β はパラメータであり、たとえば常時観測地点交通量データの変動特性を分析することにより推計可能である。井上の推計法1では $\beta = 1.0$ としている)のように近似すれば、 $P(t_{ij})$ の最大化問題は Q の最小化問題として書き直すことができる。ただし、式(5-105)に示す道路区間交通量を制約条件として解く必要がある。この方法は井上博司の提案した推計法1(スクリーンライン交通量を制約条件としている)および推計法2, 3(道路区間交通量を制約条件としている)の考え方と同様のものである。

この問題の解法は第3節で示したようにラグランジェの未定乗数法を用いれば、簡単に行うことができる⁵²⁾。

$$\begin{aligned}
 P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) &= P(t_{11}) \cdot P(t_{12}) \cdot \dots \cdot P(t_{nn}) \\
 &= \prod_{i,j} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} \\
 &= \prod_{i,j} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \right) \times \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} \Rightarrow \text{Max.} \quad (5-103)
 \end{aligned}$$

目的関数

$$Q = \sum_i \sum_j \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\alpha_{ij}(\mu_{ij})^\beta} \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-104)$$

制約条件

$$x_k^* = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5-105)$$

(2) モデルの簡略化とその改良法

交通量観測の簡素化や計算機容量、計算時間の節約を考えると、推計に用いる道路区間数(l)はできるだけ少ない方が有利である。しかし、そのためには d_j^* (あるいは v_j)を何らかの形で推定する必要がある。

1) 方法1

道路区間交通量がすべて観測されていて、計算機容量および計算時間の節約を目的とする場合には、

観測値の一部を用いてモデル定式化を行い、OD交通量を推計すればよい。ただし、この場合 d_j^* はすべての道路区間交通量からあらかじめ計算しておく必要がある。

道路区間交通量が部分的にしか観測されていない場合には、次に示す2つ簡便法（方法2、方法3）が考えられる。

2) 方法2

既存OD調査時 τ_0 の道路区間交通量 $y_s^*(\tau_0)$ を用いて未知道路区間交通量 $x_s(\tau_1)$ （観測されていない道路区間交通量）を推定し、 d_j^* の計算を行う。ただし、OD交通量の推計には観測値 $x_k^*(\tau_1)$ のみを用いる。

$$x_s(\tau_1) = \frac{\sum_k x_k^*(\tau_1)}{\sum_k y_k^*(\tau_0)} \cdot y_s^*(\tau_0) \quad (5-106)$$

3) 方法3

既存OD調査時 τ_0 の発生パラメータ u_i^* （すなわち発生交通量 $a_i^* = \sum_j t_{ij}^*$ ）と集中パラメータ v_j^* （すなわち集中交通量 $b_j^* = \sum_i t_{ij}^*$ ）の比 $w_j^* (= v_j^* / u_j^*)$ を用いて、推計時 τ_1 の集中パラメータ v_j を推定する。

$$v_j = w_j^* \cdot u_j \quad (5-107)$$

v_j を式(5-99)に代入すると次のようになる。ただし、OD交通量の推計には観測値のみを用いる。よって、式(5-108)に示す最適化問題を u_i について解けば、式(5-109)より推計母数 μ_{ij} を求めることができる。

$$H = \sum_k \sum_h (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot u_i \cdot u_j \cdot w_j^* \cdot R_{ij}^*) \cdot (x_h^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^h \cdot u_i \cdot u_j \cdot w_j^* \cdot R_{ij}^*) \cdot \hat{a}_{kh} \quad (5-108)$$

$$\mu_{ij} = u_i \cdot v_j \cdot w_j^* \cdot R_{ij}^* \quad (5-109)$$

4) 方法4

一般に道路区間交通量は互いに相関を持つと考えられるが、観測誤差 σ_x が大きい場合には独立（相関ゼロ）としてモデル定式化を行った方がよい。相関を持つ場合には道路区間交通量の同時確率は多次元正規分布（式(5-97)）で与えられるが、独立の場合には単純に正規分布（式(5-110)）となる。

$$P(x_1^*, x_2^*, \dots, x_l^*) = \prod_k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_k \frac{(x_k^* - m_k)^2}{\sigma_k^2}\right\} \quad (5-110)$$

ただし,
$$m_k = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot \mu_{ij}$$

$$\sigma_k^2 = \sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2$$

ここで, m_k , σ_k^2 を式(5-110)に代入し, 指数部を改めて H とおくと式(5-111)あるいは式(5-112)のようになる。

$$H = \sum_k \frac{(x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot \mu_{ij})^2}{\sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2} \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-111)$$

$$H = \sum_k \frac{\{x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot u_i \cdot (u_j - d_j^*) \cdot R_{ij}^*\}^2}{\sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2} \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-112)$$

よって, 式(5-112)に示す最適化問題を u_i について解けば, 式(5-102)より推計母数 μ_{ij} を計算することができる。

(3) 推計誤差分析のためのシミュレーションの方法

本節では, 図-5.29に示すようなシミュレーションによりモデルの推計精度を検討する。まず, 既存OD調査時 τ_0 の母数 μr_{ij} を外生的に設定する。これと同時に, 時間 τ による傾向変動を考慮するために, 仮想的な傾向変動成分 κ_{ij} (≥ 0) を設定し, 式(5-113)に示すように推計時 τ_1 の母数 $\mu r'_{ij}$ を作成する。ただし, κ_{ij} の設定は各ODペアの傾向変動係数の平均値を $\bar{\kappa}$ として, 正規乱数 $N(\bar{\kappa}, \alpha \bar{\kappa})$ を発生させることにより行った。ここで, α はパラメータである。

$$\mu r'_{ij} = \kappa_{ij} \cdot \mu r_{ij} \quad (5-113)$$

次に, 既存OD調査時の母数 μr_{ij} と推計時の母数 $\mu r'_{ij}$ を用いて, 2組の正規乱数 $N(\mu r_{ij}, \alpha (\mu r_{ij})^\beta)$ および $N(\mu r'_{ij}, \alpha (\mu r'_{ij})^\beta)$ を発生させる。ここで, α, β はパラメータである。前者を既存OD交通量 $[t_{ij}^*]$, 後者を推計時現実OD交通量 $[tr_{ij}]$ とし, 人工的にデータの作成を行う。シミュレーションではこの $[t_{ij}^*]$ および $[tr_{ij}]$ を道路網に配分することによって道路区間交通量 $[yr_k]$, $[xr_k]$ を作成する。ただし, yr_k, xr_k は道路区間 k の交通量であり, 一般には観測誤差 σ_x, σ_y (比率誤差%) が含まれるため, 本研究では式(5-115), 式(5-117)を用いてその影響も検討する。

ここで, Z_k は yr_k および xr_k に対する標準正規乱数を示す。また, p_{ij}^k は推計時における道路区間利用率を表す。ここでは Dial 確率配分法⁵³⁾により推計された既存OD調査時の道路区間利用率 p_{ij}^k をパラメータ θ を変動させて作成した⁵⁴⁾。

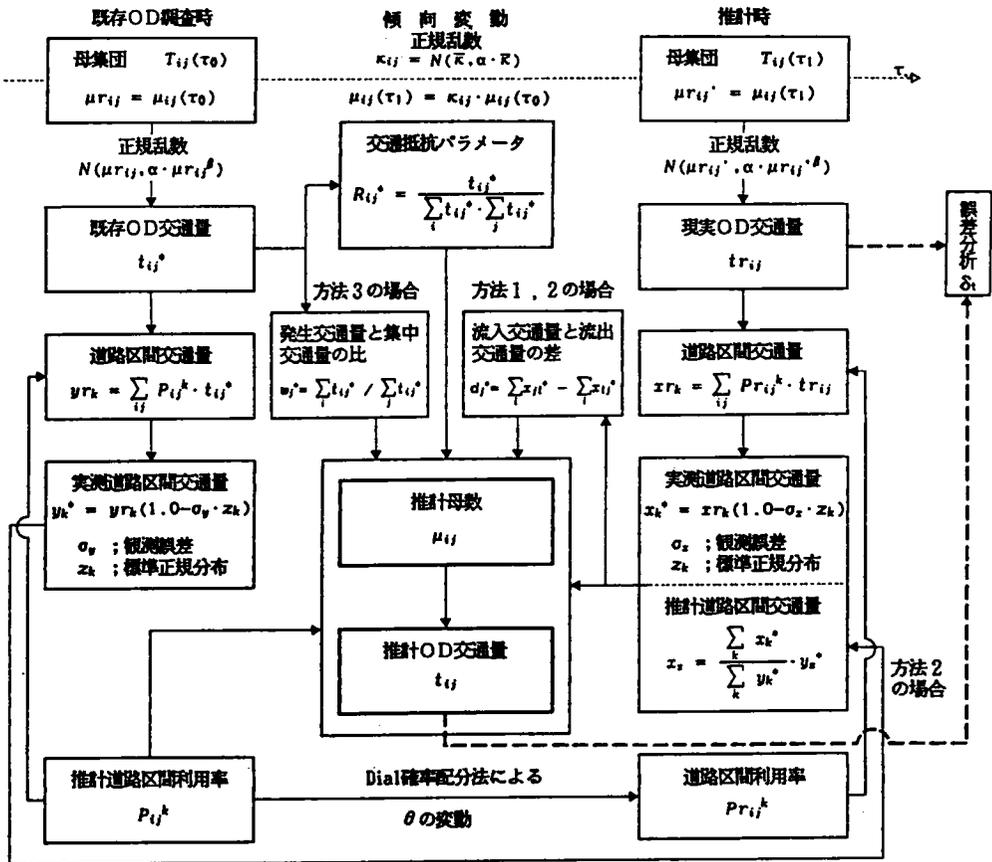


図-5.29 推計手順を示すシミュレーションのフローチャート

$$y_{rk} = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot t_{ij}^* \quad (5-114)$$

$$y_k^* = y_{rk} (1.0 - \sigma_y \cdot Z_k) \quad (5-115)$$

$$x_{rk} = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot tr_{ij} \quad (5-116)$$

$$x_k^* = x_{rk} (1.0 - \sigma_x \cdot Z_k) \quad (5-117)$$

本節では、以上のようにして作成した t_{ij}^* 、 x_k^* と外生的に与える p_{ij}^k を既知データとして、まず推計時の母平均OD交通量 μ_{ij} (推計母数) の推計を行う (母数推計法3)。そして、それを用いて推計時のOD交通量 t_{ij} (推計OD交通量) を推計する (OD推計法3)。なお、シミュレーションではモデル適用上問題となる道路区間交通量の観測誤差の影響と道路区間利用率の先決誤差 (Dial 確率配分法のパラメータ θ の先決誤差) の影響を検討し、モデルの推計特性を明らかにする。

推計OD交通量 t_{ij} に対する推計誤差の表示は、前節と同様に交通量で重み付けした標準比率誤差 (式(5-76)、式(5-77)) を用いる。

(4) シミュレーション結果と考察

本研究では、モデルの特性とその適用生を検討するために、OD交通量についての仮想的な正規母集団を考え、図-5.30に示すような簡単な対象道路網（アーク上の数値は初期所要時間を表わす）を用いて推計精度の検討を行う。

母集団の変動の大きさやOD分布パターンの違いが推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、次に示す6通りの正規母集団を設定した。具体的には、既存OD調査時 τ_0 における母平均OD交通量 μr_{ij} (OD交通量1, OD交通量2, OD交通量3) と母分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha \cdot (\mu r_{ij})^\beta$ (パラメータ α, β) の大きさの組合せにより設定した。ただし、OD交通量1 (表-5.34) およびOD交通量2 (表-5.45) は、都市圏全域を対象にゾーニングする場合を想定したものであり、近距離トリップが卓越した重力モデル型のODパターンである。また、OD交通量3 (表-5.36) は都市中心部を対象に周辺部は集約してゾーニングする場合を想定したものであり、距離に影響されないランダム型のODパターンである (図-5.31)。なお、重力モデルによる推計OD交通量 t_{ij} と母平均OD交通量 μr_{ij} の適合性は相関係数 ρ , 重み付き標準比率誤差 δ (式-5.77), 平均比率誤差 $\bar{\delta}$ (式-5.118, NN はODペアの数) で、それぞれOD交通量1 ($\rho = 0.987, \delta = 23.6\%, \bar{\delta} = 22.6\%$), OD交通量2 ($\rho = 0.922, \delta = 46.0\%, \bar{\delta} = 68.6\%$), OD交通量3 ($\rho = 0.639, \delta = 38.3\%, \bar{\delta} = 67.4\%$) である。

$$\bar{\delta}(t_{ij}, \mu r_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{NN} \sum_i \sum_j \left(\frac{t_{ij} - \mu r_{ij}}{\mu r_{ij}} \right)^2} \quad (5-118)$$

[シミュレーションに用いたデータ (仮想正規母集団の母平均と母分散の組合せ)]

- a) データA μr_{ij} = 表-5.34 (OD交通量1) $\sigma_{ij}^2 = 0.5 \cdot \mu r_{ij}$
- b) データB μr_{ij} = 表-5.34 (OD交通量1) $\sigma_{ij}^2 = 0.15(\mu r_{ij})^{2.0}$
- c) データC μr_{ij} = 表-5.35 (OD交通量2) $\sigma_{ij}^2 = 0.5 \cdot \mu r_{ij}$
- d) データD μr_{ij} = 表-5.35 (OD交通量2) $\sigma_{ij}^2 = 0.15(\mu r_{ij})^{2.0}$

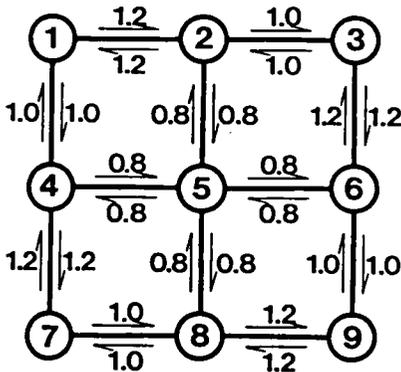


図-5.30 モデル計算に用いる対象道路網

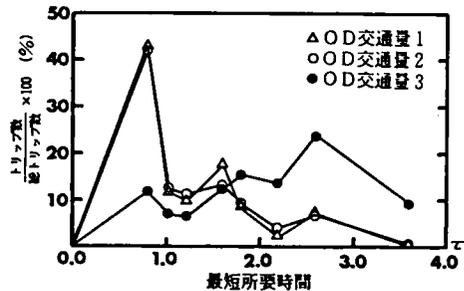


図-5.31 仮想正規母集団のトリップ長分布

- e) データ E $\mu r_{ij} = \text{表-5.36 (OD交通量3)}$ $\sigma_{ij}^2 = 0.5 \cdot \mu r_{ij}$
 f) データ F $\mu r_{ij} = \text{表-5.36 (OD交通量3)}$ $\sigma_{ij}^2 = 0.15(\mu r_{ij})^{2.0}$

表-5.34 既存OD調査時における母集団の平均OD交通量1
(重力モデル型ODパターン1)

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	120	56	520	332	166	58	71	32	1355
2	187	0	200	398	1176	398	64	170	64	2657
3	30	150	0	167	334	442	32	71	59	1265
4	145	142	80	0	1740	497	200	213	80	2827
5	77	392	95	1372	0	1299	148	587	149	4119
6	49	171	241	597	1754	0	93	256	300	3461
7	35	48	32	422	333	167	0	255	58	1350
8	32	114	64	398	1176	398	200	0	161	2543
9	28	64	78	222	445	689	78	243	0	1847
D_j	583	1201	846	4096	7020	4036	873	7790	903	21424

表-5.35 既存OD調査時における母集団の平均OD交通量2
(重力モデル型ODパターン2)

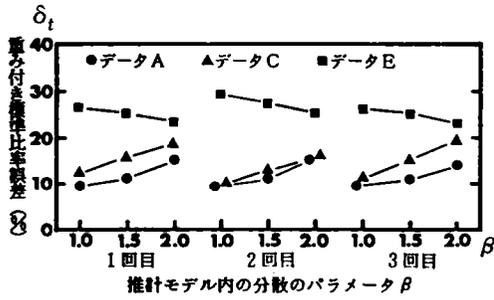
O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	76	28	84	151	34	39	18	13	443
2	51	0	136	70	356	101	49	47	26	836
3	42	181	0	48	69	131	29	57	69	626
4	126	47	32	0	737	153	182	48	66	1391
5	100	428	46	886	0	491	89	221	121	2382
6	22	142	149	141	691	0	90	245	202	1682
7	25	42	18	121	133	60	0	84	58	541
8	14	58	37	32	245	176	126	0	175	863
9	20	16	64	44	163	302	66	215	0	890
D_j	400	990	510	1426	2545	1448	670	935	730	9654

表-5.36 既存OD調査時における母集団の平均OD交通量3
(ランダム型ODパターン)

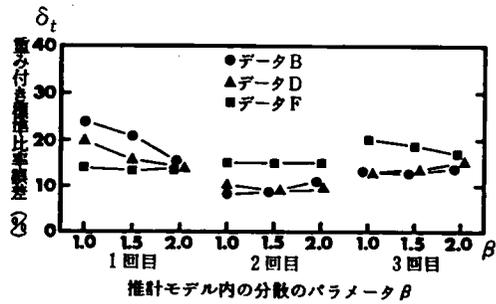
O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O_i
1	0	84	141	74	223	126	143	114	274	1179
2	86	0	76	88	112	93	170	82	163	870
3	143	74	0	118	213	36	133	103	274	1094
4	85	92	135	0	112	84	72	96	142	818
5	28	14	260	118	0	114	226	118	128	1006
6	130	83	72	95	351	0	142	89	80	1042
7	153	173	135	72	124	123	0	83	172	1035
8	95	76	125	92	116	94	83	0	76	757
9	280	175	95	125	135	86	96	94	0	1086
D_j	1000	771	1039	782	1386	756	1065	779	1309	8887

1) 推計時分散の与え方が推計精度に及ぼす影響

母数推計3に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha (t_{ij}^*)^\beta$ 、およびOD推計3に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha (\mu_{ij})^\beta$ のパラメータ β の影響を検討するため、 β を $\beta = 1.0$ 、 $\beta = 1.5$ 、 $\beta = 2.0$ と変化させて、3回シミュレーション(方法1)を行った。



(a) $\alpha = 0.5$ $\bar{\kappa} = 2.0$



(b) $\alpha = 0.15$ $\bar{\kappa} = 2.0$

図-5.32 推計モデル内の分散のパラメータが推計精度に及ぼす影響

推計結果の一例を図-5.32に示す。ただし、この図は傾向変動係数の平均値 $\bar{\kappa}$ を $\bar{\kappa} = 2.0$ 、パラメータ α を (a) $\alpha = 0.5$ 、(b) $\alpha = 0.15$ とした場合の結果である。また、ここでは道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響と経路選択率の先決誤差 σ_p の影響を除くために、 $\sigma_x = 0\%$ 、 $\sigma_p = 0\%$ としてシミュレーションを行った。これらの図より、全体的傾向としては推計時の β の影響はそれほど大きくないものの、母集団によっては β の影響が多少大きい場合（たとえば、データA、データC）もあるので、なるだけ既存交通量資料などを利用して交通量の変動特性を分析し、パラメータ α 、 β の値を求めておく必要があるといえる。

2) OD別道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

道路区間利用率の先決誤差（推定誤差）の影響を検討するために、Dial 確率配分法の配分パラメータ θ を3通り（シミュレーションにおける現実値 $R\theta$ を $R\theta = 1.0$ 、 $R\theta = 1.5$ 、 $R\theta = 2.0$ ）設定して、シミュレーションを行った。推計結果の一例を図-5.33（データC）に示す。ただし、道路区間交通量の観測誤差の影響はないものとする。なお、昭和46年度に調査されたパーソントリップ調査結果を岐阜市へ実際に適用した配分結果では、 θ の値が $\theta = 1.63$ であり⁵⁵⁾、また昭和56年度の調査結果では $\theta = 0.5$ である⁵⁶⁾

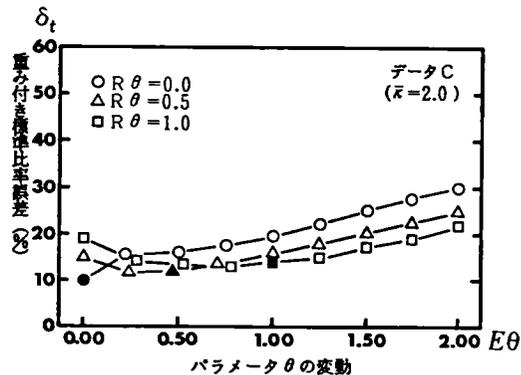


図-5.33 配分パラメータの先決誤差が推計精度に及ぼす影響

という事例報告をもとに、ここでは $E\theta$ を 0.0 から 2.0 までの範囲で変化させてシミュレーションを行った。この図-5.33より、推計に用いる $E\theta$ の値が現実値 $R\theta$ からずれるほど、推計誤差は大きくなるが、その影響はそれほど大きくないことがわかる。なお、この傾向は他のデータにおいても同様であった。

3) 母集団のOD分布パターンが推計精度に及ぼす影響

OD分布パターンの相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、母平均の異なる3

通りのデータ A, C, E およびデータ B, D, F に対してシミュレーションを行った。

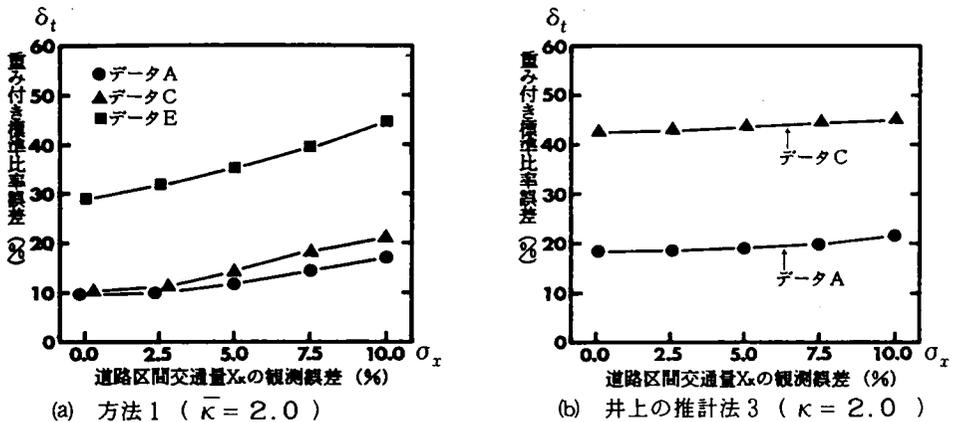


図-5.34 データのOD分布パターンが推計精度に及ぼす影響

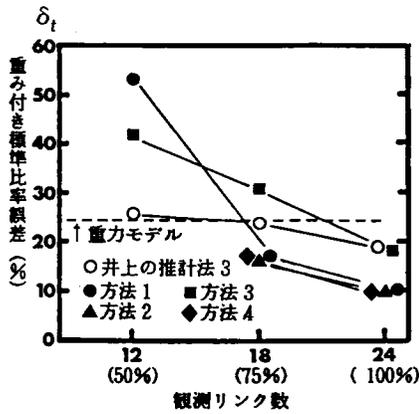
データ A, C, E についての推計結果を図-5.34 に示す。この図より、いずれの推計法も母集団分布が重力モデル式からずれるほど推計精度が悪いといえる。特に、井上の推計法 3 ではその影響が顕著であり、OD 交通量 3 (ランダム型 OD パターン) では推計不可能であった。これは、井上の推計法 3 の場合、データ E (あるいはデータ F) のように OD 分布が重力モデル式では説明できず、推計誤差が非常に大きくなるからである。しかし、井上の推計法 3 は既存 OD 交通量データが得られない場合においても手軽に OD 推計を行うことができるため、対象地域の OD 分布が重力モデルパターンである場合には非常に有効な推計法といえる。なお、この傾向はデータ B, D, F においても同様であった。よって、これ以降の分析ではデータ E, F を除くものとする。

4) 道路区間交通量の観測数が推計精度に及ぼす影響

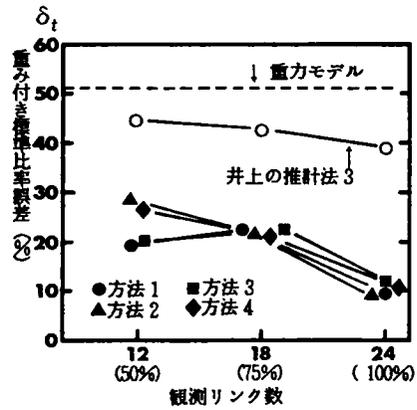
対象道路網内のすべての道路区間において交通量観測を実施する場合、非常に費用がかかるという問題がある。そこで、本研究では道路区間交通量の観測数 (l) が減少した場合の影響をシミュレーションを用いて検討する。

推計結果の一例を図-5.35 (データ A, データ C) に示す。ただし、重力モデルおよび井上の推計法 3 では推計における発生交通量 (あるいは発生指数) を外生的に与える必要があるため、ここでは推計時の発生交通量を与えて推計を行った。

この図-5.35 より、全体的傾向としては観測したリンク数が少なくなると、推計精度が悪化する傾向にあるといえる。特にデータ A においてその傾向が強く、本推計法では観測リンク数が全体の半分以上になると、解が求まらない場合が存在した。なお、この傾向はデータ B, データ D においても同様であった。これらのことより、データ A, データ B のように重力モデルに非常によく適合した OD 分布データに対しては、井上の推計法 3 を用いるか、あるいはリンク観測交通量を利用せずに単純な重力モデルを用いて推計を行った方がよいといえる。しかし、実際の都市圏における OD 交通量の重力モデルに対する適合性は相関係数 ρ で $\rho = 0.753 \sim 0.918$ 程度であり⁵⁷⁾、データ A, データ B ほど高いものではない。しかも、ここでは推計時の発生交通量 (発生指数) としてシミュレーションで用いた値を



(a) データ A



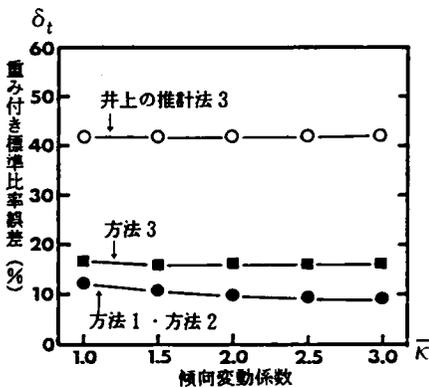
(b) データ C

図-5.35 観測リンク数が推計精度に及ぼす影響

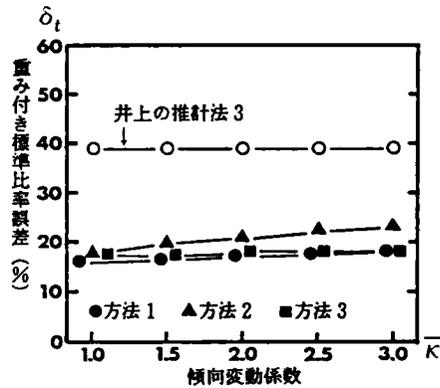
そのまま与えて推計を行ったが、一般には推計時の発生交通量は未知であり、その推計値には、普通誤差が含まれる。それゆえ、重力モデルおよび井上の推計法 3 の推計精度は発生交通量の推計誤差にも影響され、ここで示した精度より悪くなると予想される。したがって、観測リンク数が多少少ない場合でも十分本推計法は有効であるといえる。

5) 各推計法の推計精度比較

本推計法（方法 1，方法 2，方法 3）と井上の推計法 3 の 4 つの推計法の推計精度を比較するために、傾向変動の大きさと道路区間交通量の観測誤差の大きさを変化させてシミュレーションを行った。



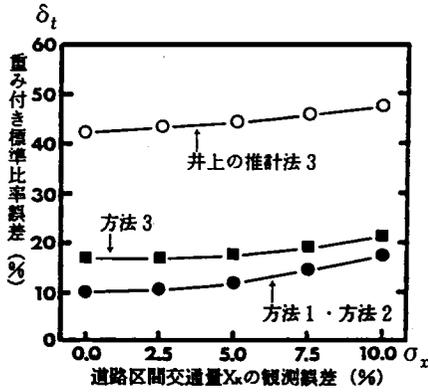
(a) 観測リンク数 24



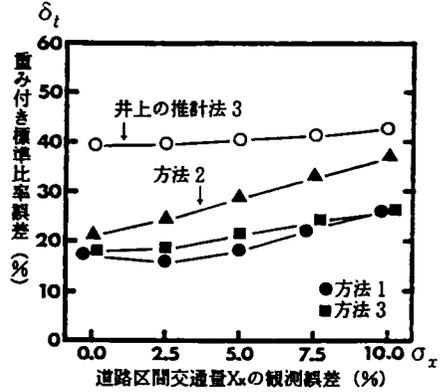
(b) 観測リンク数 18

図-5.36 傾向変動の大きさが推計精度に及ぼす影響（データ C， $\sigma_x = 0\%$ ）

推計結果の一例を図-5.36（データ C），図-5.37（データ C）に示す。図-5.36より、傾向変動が大きくなっても推計精度の悪化はほとんど見られない。ゆえに、いずれの推計法も傾向変動に対して十分対応可能であるといえる。また、図-5.37では本推計法の方が井上博士の方法に比べて推計精度は優れているものの、観測誤差の影響を受けやすいことがわかる。ここで、観測リンク数の影響を



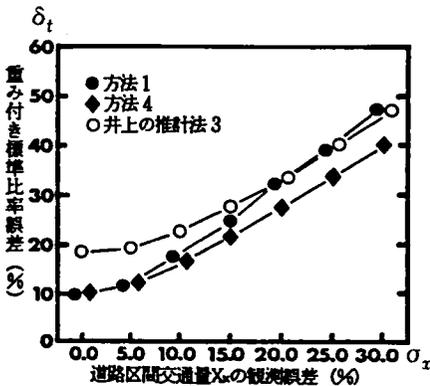
(a) 観測リンク数 24



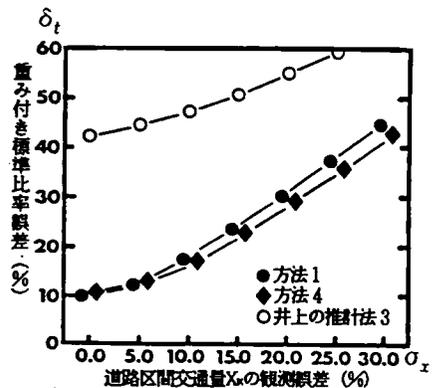
(b) 観測リンク数 18

図-5.37 道路区間交通量の観測誤差が推計精度に及ぼす影響 (データC, $\bar{\kappa} = 2.0$)

比較すると全リンク観測されている場合には、方法3を用いるよりも、方法2（方法1と同じ）を用いた方が精度はよいといえるが、観測リンク数が少ない場合には、方法2を用いるよりも方法3を用いた方がよいといえる。



(a) データA



(b) データC

図-5.38 道路区間交通量の観測誤差が大きい場合の推計精度へ及ぼす影響 ($\bar{\kappa} = 2.0$)

また、道路区間交通量の観測誤差が非常に大きくなった場合の影響を図-5.38（データA、データC）に示す。この図より、観測誤差が大きい場合には各道路区間交通量が互いに独立であるとしてモデル定式化（方法4）を行った方が精度はよいといえる。

5.6 結 語

本章では、最尤法を用いてリンク観測交通量からOD交通量を推計する3つのタイプの分析モデルを提案した。これらのモデルの特徴は、OD交通量を確率変数として取り扱うことによって、日々変動す

るOD交通量の変動特性を考慮できるようにしたところにあるといえる。本研究では交通量変動を、傾向変動、周期変動、不規則変動の3成分に分類し、それぞれの変動成分が卓越する場合に適用する3タイプの最尤法モデルを提案し、モデル計算によりその適用性を検討した。ただし、モデルの定式化にあたっては、現実の交通量観測データを分析し、その変動特性を利用している。

以下に、本章で得られた結果をまとめる。

まず、交通量変動特性の分析結果をまとめると、次のようなことが明らかとなった。

- ① 曜日変動の卓越した交通量では、7日の周期性が明確である。
- ② 傾向変動が無視できれば、交通量変動はほぼ正規分布に従い、特に周期変動が大きくなければその適合性が高いといえる。
- ③ 平均値 μ と分散 σ^2 の間には、指数関係($\sigma^2 = \alpha(\mu)^\beta$)が成り立ち、パラメータ β はほぼ1.0以上である。
- ④ 周期変動を補正すれば変動の大きさは約半分となり、周期変動を考慮することが推計精度向上につながるといえる。

次に、シミュレーションを用いたモデル計算結果をまとめると、次のことが明らかとなった。

1) 不規則変動のみを考慮する場合

- ① 井上の推計法1を用いても、OD推計法1を用いても、OD交通量の推計結果はまったく同じである。したがって、道路区間交通量観測時のOD交通量を推計するには、推計手順の簡単な井上の推計法1を用いた方が有利である。しかし、母数推計法1の利点はODデータの平均値が推計できるところにあるといえる。しかも、推計精度を比較すると、OD交通量に対するよりも母平均OD交通量に対する推計精度の方が高く、特にODデータの変動(相対変動)が大きい場合に有効である。
- ② 推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ α 、 β の影響について検討を行ったところ、その影響はそれほど大きくないことが明らかになった。特に、ODデータの変動が小さい場合にはほとんど影響しないといえる。
- ③ 道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響について検討を行ったところ、ODデータの変動が小さい場合や通過交通量の比率が大きい通過ODパターンにおいて、その影響が大きいことが明らかとなった。このことより、交通量変動の大きさが小さい場合や通過交通量の比率が大きい対象地域に対しては、特に道路区間交通量の観測誤差はできるだけ小さくする必要があるといえる。
- ④ 選択経路が指定されていれば、経路選択率(OD別道路区間利用率)の推定誤差 σ_p の影響は、ほとんどないことが明らかとなった。
- ⑤ OD推計法1、制約条件付加法、フレーター法の推計精度を比較したところ、トリップエンド条件式を考慮した制約条件付加法が最も推計精度が良く、特にODデータの変動が大きい場合に有効であるといえる。

2) 周期変動を考慮する場合

- ① ODデータの母数が既知の場合は非常に推計精度が高く、OD変動の大きさ(相対誤差)の約

8～9割を消去できる。推計に用いる母数を便宜的に既存OD交通量 t_{ij}^* で与えた場合でもそれほど精度の悪化は見られず、やはり変動の大きさ（相対誤差）の約7割を消去することが可能である。

- ② 相関係数の推定誤差 σ_p が60%と大きくても、相関係数を考慮しない井上の推計法1（あるいはOD推計法1）に比べ、相関係数を考慮したOD推計法2の方が推計精度は良いといえる。しかし、道路区間交通量の観測誤差 σ_x が大きくなると、井上の推計法1の精度の方が良くなる傾向にある。ただし、ODデータの相関係数の推定方法が今後に残された課題であるが、今回の分析でも明らかなように、相関係数変化の感応度が比較的小さいので、相関係数を簡便的に一律として与えるのも1つの方法であろう。
- ③ 道路区間交通量に観測誤差 σ_x がある場合は、非常に大きな影響を受けるため、観測人員の配置や観測地点の選定などに注意して、できるだけ観測誤差がないようにする必要がある。また、このことはモデル適用上の注意として、信頼性の低い情報（データ）はむしろ取り入れるべきではないということを示唆している。なお、今回の分析では観測地点数やその位置についての検討は行わなかったが、今後それらについても検討する必要があるといえる。
- ④ 選択経路が指定されていれば、経路選択確率の推定誤差 σ_p の影響はほとんどないといえる。ただし、選択経路自体が変化する場合や対象道路網が大きい場合の経路選択確率の先決方法については、今後検討する必要がある。
- ⑤ 本推計法は対象地域が大きくなっても理論的には問題はないが、道路区間数 m にODペアの数 s （ただし、OD交通量が零のODペアは除く）を加えた数 $(m+s)$ の連立方程式を解く必要があるため、大規模道路網に適用する場合には計算上の効率化が必要になる。

3) 傾向変動を考慮する場合

- ① 推計に用いる分散のパラメータ β の影響について検討を行ったところ、現実値と大きく掛け離れて与えない限り、それほど影響がないことが明らかとなった。しかし、データによっては影響が大きい場合（各OD交通量の大小格差が大きいODデータ）もあるので、既存交通量資料を利用して交通量変動特性をあらかじめ分析しておく必要がある。
- ② 道路区間利用率の推計誤差の影響を検討したところ、選択経路が大きく変化しない場合にはほとんど影響がないことが明らかとなった。
- ③ 井上の推計法3は既存OD交通量データが得られない場合においても手軽にOD推計を行うことが可能であるが、OD分布パターンが距離に影響されないランダム型の場合には誤差が大きくなり適用困難である。しかし、対象地域の広さおよびゾーニング方法を考慮してOD分布が重力モデル式に適合するように対象地域の設定などを工夫すれば非常に有効な手法といえる。
- ④ 母数推計法3はどのようなOD分布パターンに対しても適用可能であるが、道路区間の観測リンク数が少ない場合（観測リンク数が半分以下の場合）に誤差が大きくなり、推計不能の場合が存在する。特に、重力モデルによく適合したOD分布の場合にその傾向が強いといえる。
- ⑤ 傾向変動が大きくなっても、母数推計法3および井上の推計法3はほとんど精度の悪化は見ら

れず、十分傾向変動に対応可能である。

- ⑥ 全体的傾向として、母数推計法3の方が井上の推計法3に比べて推計精度は優れているといえるが、道路区間交通量の観測誤差の影響は前者の方が大きいといえる。
- ⑦ 道路区間交通量の観測誤差が大きいと考えられる場合（調査日の異なる交通量データを用いるときなど）には、各道路区間交通量の変動が互いに独立であるとして定式化した方がよいといえる。
- ⑧ 本推計法は非線形最適化問題であり、対象道路網が大きくなると急激に計算量が多くなる。ちなみに、今回の対象道路網（ノード数9）では、約32秒の計算時間（FACOM M170FによるC. P. U. TIME）であったが、ノード数25では約20分必要となる。したがってそのような場合には道路網を分割し、ノードを集約してネットワーク表示を簡略化するなど、解法上の工夫が必要である。
- ⑨ 本推計法では母数推計法3により推計時の平均OD交通量を推計し、その結果をもとにOD推計法3により日々のOD交通量を推計するという2段階の推計方法を用いているが、OD推計法3の代わりに井上の推計法2を用いることも可能である。今後はその適用性についても検討する必要がある。
- ⑩ 本推計法では ij ゾーン間の交通抵抗パラメータ $R_{ij}^*(\tau)$ が大きく変化しないと仮定して推計を行ったが、今後は R_{ij}^* の変化法則を解明するような実証的な分析が必要である。
- ⑪ 今回のシミュレーションでは道路の改良、新設などによる道路網の変化の影響については検討を行わなかったが、そのような場合には変化した新しい道路網を対象に推計を行えばよい。ただし、道路網が変化すれば、選択経路も変化すると考えられるのでその影響について今後検討する必要がある。

なお、本研究では交通量変動特性を不規則変動、周期変動、傾向変動の3成分に分類し、それぞれの変動成分が卓越する場合に適用する3タイプの最尤法モデルを提案したが、周期変動、傾向変動の両成分が卓越する場合には検討していない。しかし、そのような場合には、まず母数推計法3により傾向変動を考慮して母平均OD交通量を推計し、その後OD推計法2を用いて周期変動を考慮すればよいと考えられる。ただし、その場合もやはり推計時点における母相関係数をどのように与えるかが問題となる。

以上本章では、簡単なシミュレーションではあるがモデルの有効性と今後の課題を明らかにした。今後は、既存のOD交通量データや道路区間交通量データの変動特性をさらに詳しく分析するとともに、現実道路網への適用を通してその実用性を確かめる必要がある。

第5章 参考文献

- 1) 池之上慶一郎, 交通工学シリーズ 12 「交通量の変動」, 技術書院, pp. 23 ~ 83, 1972年
- 2) 河口至商, 数学ライブラリー 46 「多変量解析入門Ⅱ」, 森北出版, pp. 45 ~ 68, 1978年
- 3) 吉田信夫, 「土木技術者への計画と管理のための予測手法」, 山海堂, pp. 16 ~ 25, 1974年
- 4) 高山純一, 飯田恭敬, 高村義晴, 竹内宏樹; OD交通量の不規則変動を考慮した交通量観測による道路網交通需要推計法, 金沢大学工学部紀要, 第16巻1号, pp. 61 ~ 72, 1983年3月
- 5) 山口義雄, 飯田恭敬, 高山純一; OD交通量の不規則変動を考慮した路上交通量による道路網交通需要推計法の特性分析, 第38回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 159 ~ 160, 1983年9月
- 6) 高山純一, 飯田恭敬, 山口義雄; トリップエンド条件式を考慮した最尤推定法による実測路上交通量予測モデル, 金沢大学工学部紀要, 第17巻1号, pp. 31 ~ 42, 1984年3月
- 7) 高山純一, 飯田恭敬, 竹内宏樹; OD交通量変動が相関を有する場合の道路網交通需要推計法の適用性について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 306 ~ 307, 1982年2月
- 8) 高山純一, 飯田恭敬; 周期変動を考慮した実測交通量による交通需要推計法, 土木計画学研究論文集, No. 1, pp. 43 ~ 50, 1984年1月
- 9) 高山純一, 飯田恭敬, 竹内宏樹; 傾向変動を考慮した確率論的手法による道路網交通需要推計法, 第5回土木計画学研究発表会講演集, pp. 386 ~ 392, 1983年1月
- 10) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; 傾向変動を考慮した最尤推定法による実測路上交通量モデル 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 409 ~ 410, 1985年9月
- 11) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; 傾向変動を考慮したリンク交通量によるOD交通量推計法, 土木学会論文集, No. 383(IV-7), pp. 83 ~ 91, 1987年7月
- 12) 井上博司; 断面交通量によるOD表の推計, 第32回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 107 ~ 108, 1977年10月
- 13) 井上博司; スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法, 交通工学, Vol. 12, No. 6, pp. 11 ~ 19, 1977年11月
- 14) 井上博司; 路上交通量観測による自動車OD交通量の推計, 第1回土木計画学研究発表会講演集, pp. 37 ~ 40, 1979年1月
- 15) 井上博司; 交通量観測資料を用いるOD交通量の統計的推計法, 第36回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 383 ~ 384, 1981年10月
- 16) 井上博司; 交通量調査資料を用いたOD交通量の統計的推計法, 土木学会論文報告集, 第332号, pp. 85 ~ 94, 1983年4月
- 17) J. Holm, T. Jensen, S.K. Nielsen, A. Christensen, B. Johnsen and G. Ronby; Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only, Traffic Engineering and Control, Vol. 17, No. 4, pp. 137 ~ 140, April,

1976.

- 1 8) 前掲 1)
- 1 9) 金丸次男; 観光交通量の多い道路の交通量変動について, 第 2 9 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 IV 部, pp. 208 ~ 209, 1974 年
- 2 0) 交通工学研究会, 「道路交通データブック」, 1976 年
- 2 1) 飯田恭敬, 高山純一; 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路と自動車, Vol. 24, No. 12, pp. 22 ~ 32, 1981 年 12 月
- 2 2) 飯田恭敬, 高山純一; 高速道路と平面街路における交通量変動特性について, 北陸路, pp. 50 ~ 65, 1982 年 4 月
- 2 3) 飯田恭敬, 高山純一, 安藤俊明; 交通量変動特性の解析について, 第 3 5 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 IV 部, pp. 298 ~ 299, 1980 年 9 月
- 2 4) 前掲 2)
- 2 5) 前掲 2 3)
- 2 6) 前掲 3)
- 2 7) 飯田恭敬, 高山純一, 井戸昭典; 交通量変動における分布形と平均値・分散の関係, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 204 ~ 205, 1981 年 2 月
- 2 8) 米谷栄二, 定井喜明, 「交通工学のための推計学」, 国民科学社, pp. 60 ~ 61, 1976 年
- 2 9) 前掲 2 7)
- 3 0) 前掲 4), 1 6)
- 3 1) 飯田恭敬, 中嶋益雄; 実測路上交通量モデルを用いた OD 間パラメータの修正について, 第 3 回土木計画学研究発表会講演集, pp. 283 ~ 286, 1981 年 1 月
- 3 2) 横山日出男, 飯田恭敬, 高山純一; 相関乱数シミュレーションによる道路区間交通量推計, 第 3 7 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 IV 部, pp. 29 ~ 30, 1982 年 10 月
- 3 3) 飯田恭敬, 高山純一, 横山日出男, 伊藤正治; 相関乱数シミュレーションによる道路区間交通量推計の適用性, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 308 ~ 309, 1983 年 2 月
- 3 4) 前掲 4)
- 3 5) 前掲 1 3)
- 3 6) 前掲 1 4)
- 3 7) 前掲 4)
- 3 8) 飯田恭敬, 高山純一; 基本部分道路網における車両番号照合法の解析について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 288 ~ 289, 1980 年 2 月
- 3 9) 飯田恭敬, 高山純一; 車両番号照合法による道路網交通流解析法, 第 5 回交通工学研究発表会論文集, pp. 42 ~ 44, 1980 年 11 月
- 4 0) 高山純一, 飯田恭敬; 交通需要予測のための部分道路網の交通流解析, 金沢大学工学部紀要, 第 1 4 巻 2 号, pp. 97 ~ 107, 1981 年 10 月

- 4 1) 土木学会, 「交通需要予測ハンドブック」, 技報堂, p.70, 1981年 10 月
- 4 2) 前掲 6)
- 4 3) 鈴木尚一, 垂沢璋治; 自動車走行経路調査について, 交通工学, Vol.7, No.5, pp.14 ~ 24, 1972 年
- 4 4) 越正毅, 片倉正彦, 北川久; プレートナンバー法による街路網の走行経路解析, 交通工学, Vol.8, 増刊号, pp.3~13, 1973 年
- 4 5) 井上博司; 等時間原則交通量配分における経路交通量の推定, 交通工学, Vol.13, No.1, pp.3~9, 1978年 1 月
- 4 6) 前掲 8)
- 4 7) 前掲 14)
- 4 8) 前掲 43) ~ 45)
- 4 9) 前掲 9) ~ 11)
- 5 0) FACOM FORTRAN SSL II 使用手引書 (科学用サブルーチンライブラリ) : 連立非線形方程式 (プレント法), pp.418~420, 富士通.
- 5 1) 前掲 13), 16)
- 5 2) 前掲 13), 9)
- 5 3) Robert B. Dial; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, Transpn. Res., Vol.5, pp. 83 ~111, 1971.
- 5 4) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; Dial 確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法, 都市計画別冊, 第19号, pp.13~18, 1984年 11 月
- 5 5) 宮城俊彦, 小嶋幸則, 小川俊幸; 均衡確率配分法に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.312~313, 1985年 3 月
- 5 6) 宮城俊彦, 小川俊幸; 均衡確率配分モデルの岐阜市への適用結果について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.306~307, 1986年 3 月
- 5 7) 神崎絃郎, 木下端夫, 浦野 隆, 山川朝生; 将来交通量の推計手法に関する調査報告 (その2) - 分布交通量の適合度の実証的分析 -, 交通工学, Vol.19, No.5, pp.29~39, 1984年 9 月

第6章 残差平方和最小化による分析モデル

6.1 概 説

この章では、残差平方和最小化によりモデル定式化を行う2種類5タイプの分析モデルを取り上げ、それぞれのモデルの推計特性およびその適用限界を明らかにする。

まず、第2節ではOD交通量を未知変量とする2つのタイプのモデルについて定式化を行う。第3節では、発生交通量を未知変量とした3タイプのモデルを提案する。そして、道路区間利用率が先決されていない場合のOD分布と道路区間利用率の同時推定法についても検討する。第4節では、簡単な道路網を対象としたシミュレーションにより、残差平方和最小化の定式化方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。また、分布モデル式、未知変量の取り扱い方法の相違による推計精度への影響についても検討する。さらに、第5節では第3章、第4章、第5章でそれぞれ検討を行ったエントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデル、および本研究では検討していないが、残差平方和最小化モデルと類似性が高い χ^2 値最小化モデルとの関係について簡単に記述し、それぞれのモデルの相互比較を第6節において行う。

6.2 OD交通量を未知変量とする分析モデル

(1) OD交通量の残差平方和最小化モデル (OD交通量モデル)

残差平方和最小化による分析モデルは、もともとサンプル抽出によるOD調査によって得られたOD交通量(調査OD交通量)をリンクフローの観測値を用いて修正するという考え方に基づくモデルであり、最も単純なものはすべてのODペアに対して一定倍率Kを掛けてOD表を修正するというモデルである。その場合の倍率Kは、たとえばスクリーンライン交通量の計算値と実測値から求めることができる¹⁾。しかし、この方法では実測交通量と一致させるという制約条件が満たされないこと、また総トリップ数の増加量が多いことなどが指摘されている²⁾。

調査OD交通量との補正量の平方和が最小になるように修正を行う方法も提案されている^{3)~4)}。この場合、総トリップ数(トータル交通量)不変の条件を付加する場合と付加しない場合、さらにサンプル抽出率で重み付けする場合と重み付けしない場合でそれぞれ定式化は多少異なるが、いずれも負のトリップ数を持つODペアが生じる可能性があるという特徴を持っている。また、総トリップ数不変の条件を付加する場合と付加しない場合で修正されるODペアの数が異なり、前者の場合全ODペアが修正され、修正前後のOD分布パターンの変化は大きい傾向にあるが、後者ではチェック断面(交通量観測を行う道路区間断面)を通過するODペアのみが修正され、OD分布パターンの変化も小さいことが報告されている⁵⁾。しかし、この傾向は実際のOD交通量(現実OD交通量)の総トリップ数と調査

結果における総トリップ数の差に依存し、その差が大きい場合に特に上記の傾向が強いと考えられる。

そこで、本研究では推計時点におけるトータル交通量 T そのものを未知変量とし、計算交通量 X_k ($= \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k$) が実測交通量 X_k^* に一致するという条件のもとでOD調査によって得られるOD分布パターンに最も近いOD交通量 T_{ij} を推計する残差平方和最小化モデル（以後、OD交通量モデル、あるいはOD残差平方和最小化法と呼ぶ）を考える。そうすると、モデルの定式化は次のように考えればよい。すなわち、式（6-2）（道路区間交通量条件式）および式（6-3）（トータル交通量条件式）に示す制約条件のもとで、OD交通量に関する残差平方和の目的関数（式（6-1））を最小にするOD交通量 T_{ij} およびトータル交通量 T を求める問題となる。ただし、 q_{ij} は単位OD表であり、 p_{ij}^k はOD交通量 T_{ij} が道路区間 k を利用する確率（道路区間利用率）を示す。ここでは、既存の配分理論^{6)~7)}を用いて p_{ij}^k を先決できるものとする。なお、 q_{ij} は調査OD交通量 t_{ij}^* の単位OD表 ($q_{ij} = t_{ij}^* / \sum_i \sum_j t_{ij}^*$) を用いる。

目的関数

$$Y_T = \sum_i \sum_j (T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2 \quad \Leftrightarrow \quad \text{Min.} \quad (6-1)$$

制約条件

$$X_k^* = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (6-2)$$

$$T = \sum_i \sum_j T_{ij} \quad (6-3)$$

この問題の解法はラグランジュの未定乗数法を用いることにより行うことができる。ラグランジュ関数 L_T は式（6-4）のようになるので、 L_T を未知変量である T, T_{ij}, λ_k および ν でそれぞれ偏微分して零（0）とおくと、式（6-5）～式（6-8）が得られる。ただし、 λ_k および ν はラグランジュの未定乗数である。

$$L_T = \sum_i \sum_j (T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2 + \sum_k \lambda_k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k^*) + \nu (T - \sum_i \sum_j T_{ij}) \quad (6-4)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial T_{ij}} = 2(T_{ij} - T \cdot q_{ij}) + \sum_k \lambda_k p_{ij}^k - \nu = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6-5)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial T} = -2 \sum_i \sum_j q_{ij} (T_{ij} - T \cdot q_{ij}) + \nu = 0 \quad (6-6)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial \lambda_k} = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (6-7)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial \nu} = T - \sum_i \sum_j T_{ij} = 0 \quad (6-8)$$

式 (6-5) を変形すると、OD交通量は式 (6-9) のように表わすことができる。

$$T_{ij} = T \cdot q_{ij} + \frac{1}{2} (\nu - \sum_k \lambda_k p_{ij}^k) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6-9)$$

さらに、式 (6-9) を式 (6-6), 式 (6-7), 式 (6-8) にそれぞれ代入し、変形すると以下ようになる。

$$\sum_i \sum_j \{ q_{ij} (\nu - \sum_k \lambda_k p_{ij}^k) \} - \nu = 0 \quad (6-10)$$

$$\sum_i \sum_j \{ T \cdot q_{ij} p_{ij}^k + \frac{1}{2} p_{ij}^k (\nu - \sum_k \lambda_k p_{ij}^k) \} = X_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (6-11)$$

$$\sum_i \sum_j (\nu - \sum_k \lambda_k p_{ij}^k) = 0 \quad (6-12)$$

$C_k \equiv \sum_i \sum_j q_{ij} p_{ij}^k$, $D_k \equiv \sum_i \sum_j p_{ij}^k$, $E_{hk} \equiv \sum_i \sum_j p_{ij}^h p_{ij}^k$ とおいて整理すると、それぞれ次のように書き換えられる。

$$\sum_k \lambda_k C_k = 0 \quad (6-13)$$

$$T \cdot C_k + \frac{1}{2} \nu D_k - \frac{1}{2} \sum_k \lambda_k E_{hk} = X_k^* \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (6-14)$$

$$\sum_k \lambda_k D_k - n^2 \nu = 0 \quad (6-15)$$

したがって、式 (6-13) ~ 式 (6-15) に示す $(m+2)$ 元連立一次方程式 (マトリックス表示すると式 (6-16) のようになる) を解いて、 λ_k, T, ν を式 (6-9) に代入すれば、簡単にOD交通量 T_{ij} を推計することができる。

$$\begin{bmatrix} -\frac{1}{2}E_{11} & -\frac{1}{2}E_{12} & \cdots & -\frac{1}{2}E_{1m} & C_1 & \frac{1}{2}D_1 \\ -\frac{1}{2}E_{21} & -\frac{1}{2}E_{22} & \cdots & -\frac{1}{2}E_{2m} & C_2 & \frac{1}{2}D_2 \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ -\frac{1}{2}E_{m1} & -\frac{1}{2}E_{m2} & \cdots & -\frac{1}{2}E_{mm} & C_m & \frac{1}{2}D_m \\ C_1 & C_2 & \cdots & C_m & 0 & 0 \\ D_1 & D_2 & \cdots & D_m & 0 & -n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_m \\ T \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1^* \\ X_2^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_m^* \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6-16)$$

(2) 道路区間交通量とOD交通量の総残差平方和最小化モデル(結合モデル1)

道路区間交通量とOD交通量の残差平方和の総和が最小になるようにモデル化を行うと次のようになる。ここでは、このモデルを結合モデル1と呼ぶ。

目的関数

$$Y_{TX} = \sum_i \sum_j (T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2 + \sum_k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k^*)^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-17)$$

制約条件

$$T = \sum_i \sum_j T_{ij} \quad (6-18)$$

解法はラグランジュの未定乗数法を用いて行う。ラグランジュ関数 L_{TX} は式(6-19)のようになるので、 L_{TX} を未知変数である T , T_{ij} および ν (ラグランジュの未定乗数) でそれぞれ偏微分して零(0)とおくと次のようになる。

$$L_{TX} = \sum_i \sum_j (T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2 + \sum_k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k^*)^2 + \nu (T - \sum_i \sum_j T_{ij}) \quad (6-19)$$

$$\frac{\partial L_{TX}}{\partial T_{ij}} = 2(T_{ij} - T \cdot q_{ij}) + 2 \sum_k \{ p_{ij}^k (\sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^k - X_k^*) \} - \nu = 0$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6-20)$$

$$\frac{\partial L_{TX}}{\partial T} = -2 \sum_i \sum_j q_{ij} + \nu = 0 \quad (6-21)$$

$$\frac{\partial L_{TX}}{\partial \nu} = T - \sum_i \sum_j T_{ij} = 0 \quad (6-22)$$

式(6-20)～式(6-22)で表わされる $(n^2 + 2)$ 元連立一次方程式を解けばOD交通量を推計することができるが、式の数が $(n^2 + 2)$ 個であるため、大規模なネットワークに適用するには、計算機容量の点で問題が残るといえる。それゆえ、このような定式化は可能であるが、大規模なネットワークに対してはその適用性は低いものと思われる。

6. 3 発生交通量を未知変数とする分析モデルの提案^{8)~10)}

(1) 道路区間交通量の残差平方和最小化モデル(道路区間モデル)

OD交通量を未知変数とした結合モデル1では連立方程式の数が多くなり、大規模ネットワークへの適用が困難である。そこで、ここでは未知変数の数を減らすために、発生交通量を未知変数としたモデルの提案を行う。

いま、ゾーン i からゾーン j へのOD推移確率(目的地選択確率)を f_{ij} ($\sum_j f_{ij} = 1.0$)、またゾーン i の発生確率を f_i ($\sum_i f_i = 1.0$) で表わすと、OD交通量 T_{ij} はトータル交通量 T (あるいはゾーン

i の発生交通量 A_i) を用いて式 (6-23) のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} T_{ij} &= T \cdot f_i \cdot f_{ij} \\ &= A_i \cdot f_{ij} \end{aligned} \quad (6-23)$$

ただし、 f_{ij} および f_i は既存のOD交通量 t_{ij}^* (過去に行われたパーソントリップ調査あるいはカートリップ調査の調査OD交通量) あるいは発生交通量 a_i^* を用いて先決できるものとする。

$$f_{ij} = \frac{t_{ij}^*}{\sum_j t_{ij}^*} \quad (6-24)$$

$$f_i = \frac{\sum_j t_{ij}^*}{\sum_i \sum_j t_{ij}^*} = \frac{a_i^*}{\sum_i a_i^*} \quad (6-25)$$

また、道路区間 k の計算交通量 X_k は式 (6-26) のように表わされる。

$$\begin{aligned} X_k &= \sum_i \sum_j T_{ij} \cdot p_{ij}^k \\ &= \sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k \end{aligned} \quad (6-26)$$

ここで、既存の配分理論を用いて道路区間利用率 p_{ij}^k が先決できれば、式 (6-26) の未知変量は発生交通量 A_i のみとなる。そこで道路区間交通量の推計値 X_k と実測値 X_k^* が等しくなるように、その残差平方和 (式 (6-27)) を最小にする発生交通量 A_i を求めれば、式 (6-23) を用いてOD交通量 T_{ij} が推計できる。したがって、モデルの定式化は次のようになる。

目的関数

$$\begin{aligned} Y_X &= \sum_k (X_k - X_k^*)^2 \\ &= \sum_k (\sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k - X_k^*)^2 \Rightarrow \text{Min.} \end{aligned} \quad (6-27)$$

ここで、 $Q_{ki} \equiv \sum_j f_{ij} \cdot p_{ij}^k$ とおき、 Y_X を A_j で偏微分して零 (0) とおくと、式 (6-28) が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y_X}{\partial A_j} &= \sum_k \{ 2(\sum_i A_i Q_{ki} - X_k^*) Q_{kj} \} \\ &= 2\{ \sum_i (A_i \sum_k Q_{ki} Q_{kj}) - \sum_k X_k^* Q_{kj} \} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (6-28)$$

さらに、 $G_{ji} \equiv \sum_k Q_{kj} Q_{ki}$ 、 $H_j \equiv \sum_k X_k^* Q_{kj}$ とおくと、式 (6-28) は次のように書き換えられる。

$$2(\sum_i A_i G_{ji} - H_j) = 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6-29)$$

したがって、発生交通量 A_i は式(6-29)に示す n 元連立一次方程式(マトリックスで示すと式(6-30)となる)を解くことによって、簡単に求めることができる。発生交通量 A_i が求めれば、それを式(6-23)に代入することによりOD交通量 T_{ij} が推計される。ここでは、このモデルを道路区間モデルと呼ぶ。

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ G_{n1} & G_{n2} & \cdots & G_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ H_n \end{bmatrix} \quad (6-30)$$

(2) 発生交通量の残差平方和最小化モデル(発生交通量モデル)

道路区間交通量を制約条件として、発生交通量の残差平方和が最小となるようにモデル化を行うことも可能である。ここでは、このモデルを発生交通量モデルと呼ぶ。

目的関数

$$Y_A = \sum_i (T \cdot f_i - A_i)^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-31)$$

制約条件

$$X_k^* = \sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (6-32)$$

$$T = \sum_i \sum_j A_i \quad (6-33)$$

解法はラグランジュの未定乗数法を用いて行う。そうすると、ラグランジュ関数 L_A は次のようになる。ただし、 λ_k, ν はラグランジュの未定乗数を表わす。

$$L_A = \sum_i (T \cdot f_i - A_i)^2 + \sum_k \lambda_k (\sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k - X_k^*) + \nu (T - \sum_i A_i) \quad (6-34)$$

L_A を未知変数である A_j, T, λ_k および ν でそれぞれ偏微分して零(0)とおくと次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_A}{\partial A_j} &= -2(T \cdot f_{ij} - A_j) + \sum_k \lambda_k (\sum_i f_{ij} \cdot p_{ij}^k) - \nu \\ &= -2(T \cdot f_{ij} - A_j) + \sum_k \lambda_k \cdot Q_{kj} - \nu = 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6-35) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L_A}{\partial T} = 2 \sum_i (T \cdot f_i - A_i) f_i + \nu = 0 \quad (6-36)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_A}{\partial \lambda_k} &= \sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k - X_k^* \\ &= \sum_j A_i \cdot Q_{kj} - X_k^* = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (6-37)$$

$$\frac{\partial L_A}{\partial \nu} = T - \sum_i A_i = 0 \quad (6-38)$$

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & \cdots & 0 & -2f_1 & Q_{11} & \cdots & Q_{m1} & -1 \\ 0 & 2 & \cdots & 0 & -2f_2 & Q_{12} & \cdots & Q_{m2} & -1 \\ \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdots & 2 & -2f_n & Q_{1n} & \cdots & Q_{mn} & -1 \\ -2f_1 & -2f_2 & \cdots & -2f_n & \sum_i 2(f_i)^2 & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1n} & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \cdots & Q_{mn} & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -1 & -1 & \cdots & -1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ A_n \\ T \\ \lambda_1 \\ \cdot \\ \lambda_m \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \\ X_1^* \\ \cdot \\ X_m^* \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6-39)$$

式(6-35)～式(6-38)に示す(m+n+2)元連立一次方程式(マトリックスで示すと式(6-39)となる)を解いて、式(6-23)に代入すれば、OD交通量 T_{ij} が推計できる。ただし、ここでは発生交通量を未知変量としているので制約条件(等式)として観測する道路区間数は(n-1)個よりも少ない数で十分である。

(3) 道路区間交通量および発生交通量の総残差平方和最小化モデル(結合モデル2)

式(6-27)と式(6-31)を結合し、道路区間交通量と発生交通量のそれぞれの残差平方和の総和が最小になるようにモデル化を行うと、目的関数は式(6-40)のようになる。ここでは、このモデルを結合モデル2と呼ぶ。

目的関数

$$Y_{AX} = \sum_k (\sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k - X_k^*)^2 + \sum_i (T \cdot f_i - A_i)^2 \Rightarrow \text{Min} \quad (6-40)$$

制約条件

$$T = \sum_i A_i \quad (6-41)$$

解法は同じくラグランジュの未定乗数法を用いて行う。ラグランジュ関数 L_{AX} は次のようになる。ただし、 ν はラグランジュの未定乗数を表わす。

$$L_{AX} = \sum_i (T \cdot f_i - A_i)^2 + \sum_k (\sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} \cdot p_{ij}^k - X_k^*)^2 + \nu (T - \sum_i A_i) \quad (6-42)$$

L_{AX} を未知変数である A_j , T および ν でそれぞれ偏微分して零 (0) とおく。

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_{AX}}{\partial A_j} &= -2(T \cdot f_j - A_j) + 2\left\{ \sum_i A_i (\sum_k Q_{ki} \cdot Q_{kj}) - \sum_k X_k^* \cdot Q_{kj} \right\} - \nu \\ &= -2(T \cdot f_j - A_j) + 2\left\{ \sum_i A_i \cdot G_{ji} - H_j \right\} - \nu = 0 \end{aligned} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6-43)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_{AX}}{\partial T} &= 2 \sum_i (T \cdot f_i - A_i) f_i + \nu \\ &= 2T \sum_i (f_i)^2 - 2 \sum_i A_i \cdot f_i + \nu = 0 \end{aligned} \quad (6-44)$$

$$\frac{\partial L_{AX}}{\partial \nu} = T - \sum_i A_i = 0 \quad (6-45)$$

式 (6-43) ~ 式 (6-45) に示す $(n+2)$ 元連立一次方程式 (マトリックスで表示すると式 (6-46) となる) を解いて、式 (6-23) に代入すれば、OD交通量 T_{ij} が推計できる。

$$\begin{bmatrix} 2(1+G_{11}) & 2G_{12} & \cdots & 2G_{1n} & -2f_1 & -1 \\ 2G_{21} & 2(1+G_{22}) & \cdots & 2G_{2n} & -2f_2 & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2G_{n1} & 2G_{n2} & \cdots & 2(1+G_{nn}) & -2f_n & -1 \\ -2f_1 & -2f_2 & \cdots & -2f_n & 2\sum_i (f_i)^2 & 1 \\ -1 & -1 & \cdots & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \\ T \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2H_1 \\ 2H_2 \\ \vdots \\ 2H_n \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6-46)$$

(4) OD分布と道路区間利用率の同時推定方法

本研究で提案したモデルは、そのほとんどが道路区間利用率を既存配分理論等により推定し、先決値として外生的に与えるタイプのモデルである。しかし、道路区間利用率が先決できない場合にはなんらかの方法で内生的に推計する必要がある。本研究では *Dial* 確率配分法を応用して道路区間利用率を推計し、分布交通量と配分交通量を同時に推計する方法を提案する¹¹⁾。ただし、ここでは発生交通量を未知変数とする道路区間モデルに対する適用方法について記述する。

Dial 確率配分法は、式 (6-47) に示すロジットモデルによりOD交通量 T_{ij} を効率的経路に配分する手法である。ここで、Parallel probabilistic assignmentによる効率的経路の定義は、

この経路を進むことにより必ず出発点より遠ざかる経路のことであり、配分パラメータ θ が零 (0) のときには、すべての効率的経路に等確率でOD交通量が配分され、 θ が無限大 (∞) のときには、最短経路配分となる。

$$P_p = \begin{cases} \frac{\exp\{\theta(\tau_0 - \tau_p)\}}{\sum_{q \in P} \exp\{\theta(\tau_0 - \tau_q)\}} & q \in P \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6-47)$$

ここに、 P ； 効率的経路の集合

P_p ； 効率的経路 p の選択確率 ($p \in P$)

τ_0 ； 最短経路の所要時間

τ_p ； 効率的経路 p の所要時間 ($p \in P$)

τ_q ； 効率的経路 q の所要時間 ($q \in P$)

θ ； 配分パラメータ ($0 \leq \theta \leq \infty$)

式 (6-24) に示すように、既存OD交通量 t_{ij}^* を用いてOD推移確率 f_{ij} が先決できれば、目的関数 Y_X (式 (6-27)) の未知変量は発生交通量 A_i と道路区間利用率 p_{ij}^k となる。そこで、道路区間交通量の観測値 X_k^* から発生交通量 A_i が推計できれば、式 (6-23) に代入することによりOD交通量 T_{ij} が計算される。また、Dial 確率配分法では配分パラメータ θ が決まれば、OD交通量 T_{ij} を道路網に配分して道路区間交通量 X_k を計算することができる。したがって、この2つの操作を図-6.1に示すように道路区間交通量の観測値 X_k^* と計算値 X_k の誤差 (残差平方和) が最小になるまで交互に繰り返せば、OD交通量を推計することができる。ただし、この場合の未知変量は発生交通量 A_i と配分パラメータ θ であり、発生交通量 $A_i^{(n+1)}$ は式 (6-48) に示すように、ノード i への流入側道路区間交通量の観測値合計 $\sum_s X_{is}^*$ と計算値合計 $\sum_s X_{is}^{(n)}$ の差を用いて計算する。また、配分パラメータ $\theta^{(n+1)}$ の推定は最尤法¹²⁾を用いて行うことも可能であるが、ここでは簡便性を考慮して直接探索法¹³⁾を用いて行うことにする。

$$A_i^{(n+1)} = \frac{A_i^{(n)}}{\sum_s X_{is}^*} \{ \sum_s X_{is}^* - \sum_s X_{is}^{(n)} \} + A_i^{(n)} \quad (6-48)$$

なお、この分布・配分同時推定アルゴリズムは、発生交通量を未知変量とした二重制約型重力モデル^{14), 15)}においても同様に適用することが可能であり、計算機容量および計算時間の節約という点で非常に有効な手段といえる。

(5) 目的地選択確率の与え方と修正方法

発生交通量を未知変量とした残差平方和最小化によるOD交通量分析モデルは、道路区間利用率が先決できれば、連立一次方程式を解くだけで、簡単にOD交通量を推計することができる。しかし、目的

地選択確率（OD推移確率）を式（6-24）に示すように既存OD交通量を用いて先決し、固定値として取り扱っているため、目的地選択確率が既存OD調査時点と推計時点で、大幅に変化する場合には問題が残るといえる¹⁶⁾。そこで、ここでは目的地選択確率を修正重力モデル（Voorhees型）を用いて更新（update）し、OD交通量の推計精度を向上させる方法を提案する。

i) 目的地選択確率の修正方法¹⁷⁾

ゾーンjの集中交通量を B_j 、ゾーンi、j間の交通抵抗係数を R_{ij} とすると、Voorhees型の修正重力モデルは式（6-49）のように表わされる。

$$T_{ij} = A_i \frac{B_j \cdot R_{ij}}{\sum_j B_j \cdot R_{ij}} \quad (6-49)$$

ここで、 $\frac{B_j \cdot R_{ij}}{\sum_j B_j \cdot R_{ij}}$ を目的地選択確率と考えると、式（6-49）はそのまま式（6-24）と等しくなる。

一方、一日の交通量を考えした場合、発生交通量 A_j と集中交通量 B_j の間には一般に式（6-50）が成り立つといえる。

$$\frac{B_j}{A_j} = \lambda_j \quad (\text{一定値}) \quad (6-50)$$

したがって、 f_{ij} は次のように変形することができる。

$$f_{ij}^{(n+1)} = \frac{B_j \cdot R_{ij}}{\sum_j B_j \cdot R_{ij}} = \frac{\lambda_j \cdot A_j^{(n)} \cdot R_{ij}}{\sum_j \lambda_j \cdot A_j^{(n)} \cdot R_{ij}} \quad (6-51)$$

つまり、モデルの適用に当たっては、まず目的地選択確率の初期値 $f_{ij}^{(0)}$ を既存OD交通量 t_{ij}^* により $f_{ij}^{(0)} = t_{ij}^* / \sum_i t_{ij}^*$ のように与え、道路区間交通量を用いて発生交通量 $A_i^{(0)}$ の推計を行う。次に推計された $A_i^{(0)}$ を式（6-51）に代入し、目的地選択確率の更新（update）を行う。updateされた $f_{ij}^{(1)}$ をモデルに入力し、連立一次方程式を解くことにより発生交通量 $A_i^{(1)}$ を推計する。すなわ

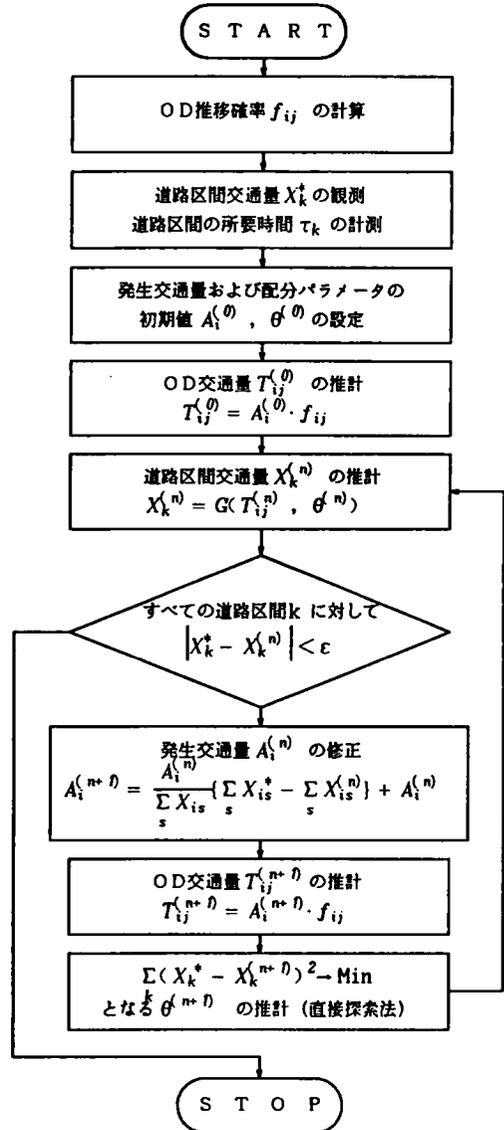


図-6.1 分布・配分同時推定の計算アルゴリズム

ち、この操作を道路区間交通量の誤差（重み付き標準比率誤差）が最小になるまで繰り返す、目的地選択確率の更新を行えば、OD交通量の更新を行うことが可能である。

ii) 発生交通量を未知変量とした分布モデル

OD交通量 T_{ij} を表わす分布モデルとしては、式（6-23）に示したOD推移確率固定型の分布モデル（OD推移確率モデル）の他に、二重制約型の重力モデル^{18), 19)}、一重制約型の重力モデル（修正重力モデル）²⁰⁾、介在機会型のモデル²¹⁾、などが考えられる。しかし、OD推移確率モデル以外の3つのモデルは道路区間利用率 p_{ij}^k を先決値として与える場合においても、モデル定式化が非線形の最適化問題となるため、単純に連立一次方程式を解いてOD交通量を推計することはできない。

すなわち、二重制約型の重力モデル（式（6-52））の場合は、式（6-53）に示す目的関数を最小にする最適化問題を未知変量である発生交通量 A_i について解く必要がある。

分布モデル式（二重制約型の重力モデル）

$$T_{ij} = \alpha_i \cdot A_i \cdot \beta_j \cdot B_j \cdot R_{ij} \quad (6-52)$$

目的関数

$$\sum_{i,j} \{ \sum_i \alpha_i \cdot A_i \cdot \beta_j \cdot (A_j - \Delta D_j) \cdot R_{ij} \cdot p_{ij}^k - R X_k^* \}^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-53)$$

ここに、 α_i 、 β_j は $A_i = \sum_j T_{ij}$ 、 $B_j = \sum_i T_{ij}$ のトリップエンド条件式を満足するためのパラメータである。また、 $B_j = A_j - \Delta D_j$ は発生交通量 A_i と集中交通量 B_j の差が隣接する道路区間の流出側合計交通量 $\sum X_{js}^*$ と流入側合計交通量 $\sum X_{sj}^*$ の差（ ΔD_j ）に等しいという式（6-54）に示す関係を利用したものである。ただし、*印は既知量を示す。

$$A_j - B_j = \sum_k X_{jk}^* - \sum_k X_{kj}^* = \Delta D_j \quad (6-54)$$

ΔD_j は道路区間交通量の観測値（ $\sum X_{js}^*$ 、 $\sum X_{sj}^*$ ）より既知である。また、交通抵抗係数 R_{ij} は既存OD交通量 t_{ij}^* （たとえば、過去の自動車OD調査やパーソントリップ調査より得られるサンプルOD交通量、あるいはそれを拡大して推定した調査OD交通量）を用いて式（6-55）のように計算するか、あるいは、ゾーン i 、 j 間の交通費用 τ_{ij} （所要時間）を用いて式（6-56）（ γ はトリップ長指数）のように与える。

$$R_{ij} = \frac{t_{ij}^*}{\sum_i t_{ij}^* \cdot \sum_j t_{ij}^*} \quad (6-55)$$

$$R_{ij} = (\tau_{ij})^{-\gamma} \quad (6-56)$$

既存の配分理論を応用して p_{ij}^k を先決すれば、式（6-53）の未知変量は発生交通量 A_i のみとなる。しかし、前述したようにこの問題は非線形の最適化問題となるため、ここでは、式（6-48）に示した繰り返し計算式を用いて解くことにする。

また、一重制約型の修正重力モデル（式（6-57））、ここで、 $\beta_j = 1.0$ としても、一般性は失われない）の場合は、式（6-58）に示す目的関数を最小にする最適化問題を発生交通量 A_i について

解く必要がある。この問題も非線形となるため、解法にはやはり繰り返し計算式（式（6-48））を用いる必要がある。

分布モデル式（一重制約型の修正重力モデル）

$$T_{ij} = A_i \cdot \frac{\beta_j \cdot B_j \cdot R_{ij}}{\sum_j \beta_j \cdot B_j \cdot R_{ij}} = A_i \cdot \frac{(A_j - \Delta D_j) \cdot R_{ij}}{\sum_j (A_j - \Delta D_j) \cdot R_{ij}} \quad (6-57)$$

目的関数

$$\sum_k \left\{ \sum_i \sum_j A_i \cdot \frac{(A_j - \Delta D_j) \cdot R_{ij}}{\sum_j (A_j - \Delta D_j) \cdot R_{ij}} \cdot p_{ij}^k - X_k^* \right\}^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-58)$$

さらに、介在機会型のモデル（式（6-59））の場合は、式（6-60）に示す目的関数を最小にする最適化問題を発生交通量 A_i について解く必要がある。ただし、 i を発生ゾーン、 j をゾーン i から見て所要時間が小さい順に並べた j 番目の到着地とする。また、 j 番目ゾーンの到着機会数を B_j 、 j 番目ゾーンまでに通過してきた機会数を $V_j (= \sum_{k=1} B_k)$ 、ゾーン i からの発生トリップ数（発生交通量）を A_i とし、 L は到着地のいずれかに止る確率を表わす。

分布モデル式（介在機会型のモデル）

$$T_{ij} = A_i \cdot \frac{[\exp(-LV_j) - \exp(-LV_{j+1})]}{[1 - \exp(-LV_{n+1})]} \quad (6-59)$$

目的関数

$$\sum_k \left\{ \sum_i \sum_j A_i \cdot \frac{[\exp(-LV_j) - \exp(-LV_{j+1})]}{[1 - \exp(-LV_{n+1})]} \cdot p_{ij}^k - X_k^* \right\}^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-60)$$

この問題も同様に非線形となるので、解法には式（6-48）に示す繰り返し計算式を用いる必要がある。なお、道路区間利用率 p_{ij}^k が先決できない場合には、本節第4項で示したように、Dial 確率配分法を導入することによりOD交通量 T_{ij} の推計（発生交通量 A_i の推計）とネットワーク配分計算（配分パラメータ θ の推計）を交互に繰り返し、道路区間交通量の残差平方和が最小となる A_i および θ を求めればよい。

6. 4 残差平方和最小化モデルの推計誤差特性の比較分析

(1) シミュレーションの方法²²⁾

一般に、現実の道路網においては対象地域の取り方（大きさ）やゾーニングの仕方によって、得られるOD交通量の分布パターンがかなり異なると考えられる。なぜなら、対象地域を広範囲にとって、ゾーニングを大きくすると比較的重力モデルに適合したOD交通量が得られるが、対象地域を狭く（ゾー

ニング小)してOD調査を行うと、対象地域内外(あるいは、通過)のOD交通量が多くなり、一般に重力モデルに合っていない。

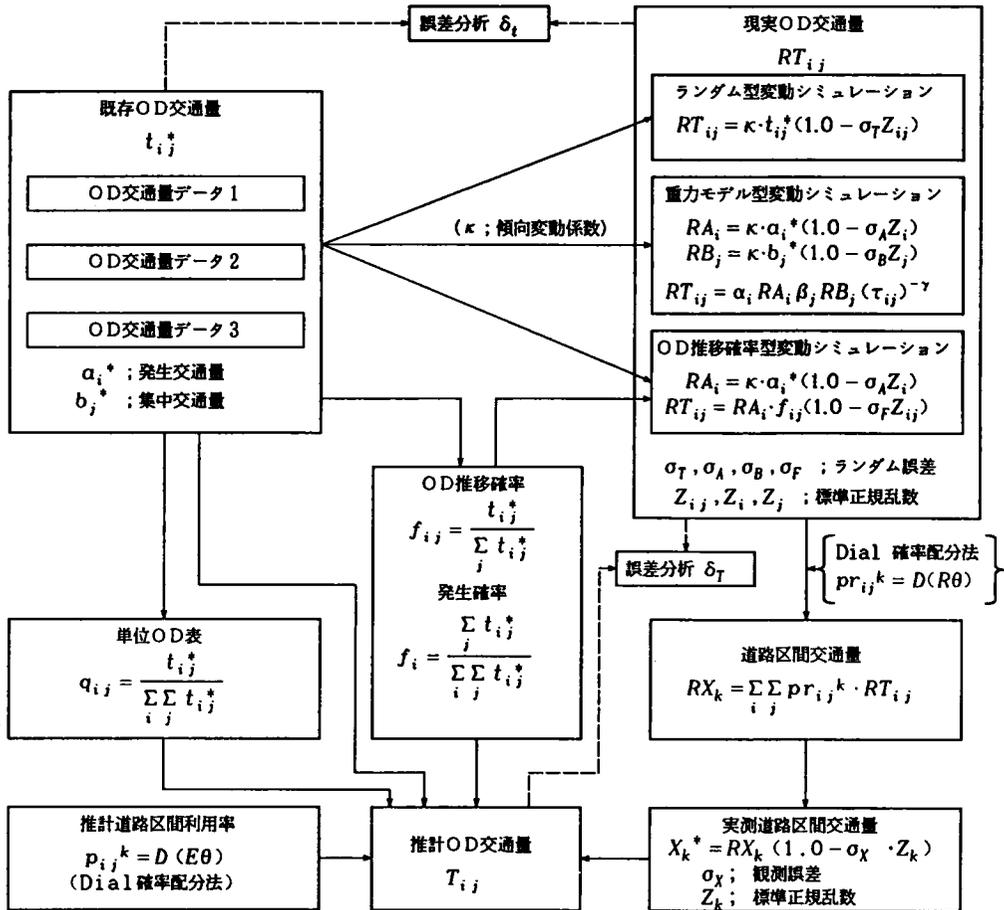


図-6. 2 シミュレーションの手順を示すフローチャート

また、利用する既存OD交通量の調査時点と推計時点では普通OD分布パターンにずれがあり、対象地域の特性(土地利用の変化、道路網の変化etc.)に応じてOD分布パターンが変化している可能性が大きい。既存OD交通量を利用せず、推計時点において簡単なサンプルOD調査を行う場合でも、調査OD交通量(サンプルOD交通量)にはランダム誤差が含まれる。したがって、リンク交通量に基づく分析モデルを適用する場合には、利用可能なデータの信頼性や対象地域の特性を考慮して、モデルの選択を行うことが必要となる。

そこで、本節では次に示す3つの点を明らかにするために、図-6. 2に示すようなシミュレーションを行い、残差平方和最小化による分析モデルの推計特性を明らかにする。

- 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。
- 分布モデルの仮定の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。

c) 未知変量の取り扱い方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。

具体的には、① OD交通量の変動特性（ランダム型変動、重力モデル型変動、OD推移確率型変動）の影響、② 既存OD交通量のOD分布パターンの影響、③ 道路区間交通量の観測誤差の影響を検討することにより、それぞれの分析モデルの推計特性を考察する。なお、ここでは図-6. 3に示す田字型の道路網（リンク上の数値はリンク所要時間を表わす）を用いてシミュレーションを行う。

まず、シミュレーションではOD分布パターンの異なる3種類の既存OD交通量データ t_{ij}^* を設定し、OD分布パターンの違いの影響を検討する。OD交通量データ1は平均トリップ長が $\bar{\tau} = 1.27$ 時間の重力モデル（式(6-6)、ただし、 $a_i^* = \sum_j t_{ij}^*$ 、 $b_j^* = \sum_i t_{ij}^*$ ）に比較的良好に適合したOD交通量であり、重力モデルへの適合度（相関係数 ρ 、比率誤差 δ_t^1 、重み付き標準比率誤差 δ_t^2 ）は、それぞれ $\rho = 0.922$ 、 $\delta_t^1 = 46.0\%$ 、 $\delta_t^2 = 68.6\%$ （図-6. 4）である。

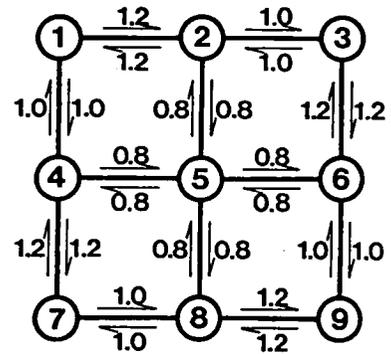


図-6. 3 シミュレーションに用いた田字型の道路網

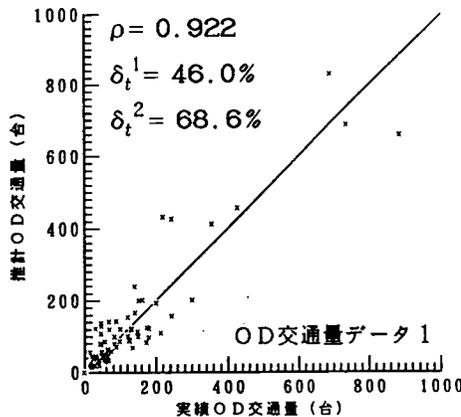


図-6. 4 OD交通量の実績値と重力モデル式による推計値の関係

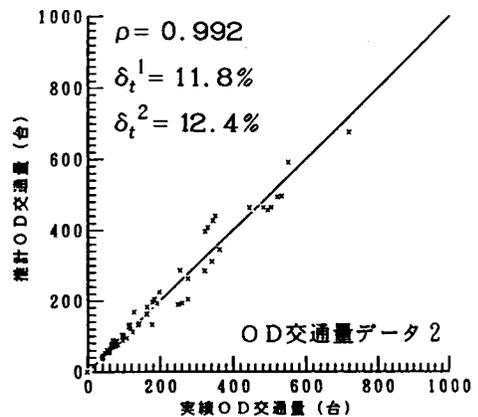


図-6. 5 OD交通量の実績値と重力モデル式による推計値の関係

OD交通量データ2は重力モデル（ $\rho = 0.992$ 、 $\delta_t^1 = 11.8\%$ 、 $\delta_t^2 = 12.4\%$ 、図-6. 5）、介入機会モデルの両モデルに適合したOD交通量（ $\bar{\tau} = 1.34$ 時間）である。また、OD交通量データ3はゾーン間所要時間（ τ_{ij} ）では説明できないまったくランダムなOD交通量であり、対象地域内外（あるいは通過）のOD交通量が多い場合を想定して作成したOD交通量（ $\bar{\tau} = 1.98$ 時間）である。それぞれのトリップ長分布の形を図-6. 6に示す。

$$t_{ij} = \alpha \cdot a_i^* \cdot b_j^* \cdot (\tau_{ij})^{-\gamma} \quad (6-61)$$

$$\delta_t^1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \sum_j \left\{ \frac{t_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*} \right\}^2} \quad (6-62)$$

$$\delta_t^2 = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_i \sum_j t_{ij}^* \left\{ \frac{t_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*} \right\}^2} \quad (6-63)$$

ここで、 N はODペア総数を表わし、 t は総合計交通量 ($t = \sum_i \sum_j t_{ij}^*$) を表わす。

次に、既存OD調査時と推計時のOD分布パターンのずれの影響を検討するために、3通りのODパターン変動シミュレーションを設定し、それぞれの分析モデルの推計誤差分析を行う。

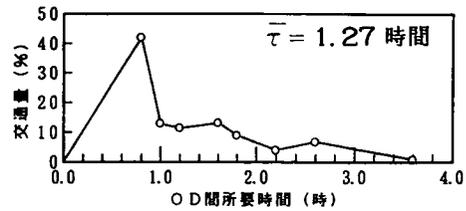
(i) ランダム型変動シミュレーション

これは、サンプルOD調査におけるランダム誤差 σ_T の影響、あるいは日々変動するOD交通量の不規則変動 (ランダム変動 σ_T) の影響を検討するために設定したOD分布パターンの変動シミュレーションであり、推計時の現実OD交通量 RT_{ij} と既存OD交通量 t_{ij}^* の相対ずれ (OD分布パターンのずれ) の大きさを σ_T としてシミュレーションを行うものである。シミュレーションでは、式 (6-64) を用いて現実OD交通量 RT_{ij} を作成する。ただし、 Z_{ij} は RT_{ij} ごとに決まる標準正規乱数 $Z_{ij} = N(0, 1)$ であり、 κ (カッパー) は傾向変動の大きさを表わす係数である。ここでは $\kappa = 1.0$, $\kappa = 1.2$, $\kappa = 1.4$ の3通りを設定してシミュレーションを行った。

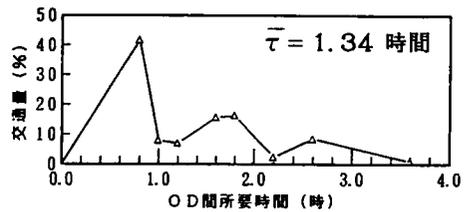
$$RT_{ij} = \kappa \cdot t_{ij}^* \cdot (1.0 - \sigma_T \cdot Z_{ij}) \quad (6-64)$$

(ii) 重力モデル型変動シミュレーション

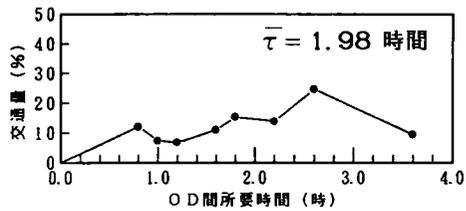
これは、既存OD調査時と推計時におけるOD分布パターンの変化が重力モデルに従って変化する場合 (たとえば、土地利用形態の変化に応じて発生交通量、集中交通量が変化し、それに伴ってOD交通量も変化する) の影響を検討するために設定した変動シミュレーションである。具体的には、既存OD交通量の発生交通量 a_i^* と集中交通量 b_j^* に対して、それぞれ標準正規乱数 Z_i , Z_j を発生させ、推計時の発生交通量 RA_i (式 (6-65)), 集中交通量 RB_j (式 (6-66)) を作成する。現実OD交通量 RT_{ij} は、式 (6-67) に RA_i , RB_j を代入し、トリップエンド条件式を満足するようにフレーター法により計算して求める。ただし、 σ_A , σ_B はそれぞれ発生交通量、集中交通量の相対ずれの大きさを表わす。



(a) OD交通量データ 1



(b) OD交通量データ 2



(c) OD交通量データ 3

図-6.6 既存OD交通量データのトリップ長分布

$$RA_i = \kappa \cdot \alpha_i^* \cdot (1.0 - \sigma_A \cdot Z_i) \quad (6-65)$$

$$RB_j = \kappa \cdot b_j^* \cdot (1.0 - \sigma_B \cdot Z_j) \quad (6-66)$$

$$RT_{ij} = \alpha_i \cdot RA_i \cdot \beta_j \cdot RB_j \cdot (\tau_{ij})^{-\gamma} \quad (6-67)$$

(iii) OD推移確率型変動シミュレーション

この変動シミュレーションは、OD推移確率 f_{ij} (式(6-24)) が大きく変化しないと仮定した場合の影響を検討するために行うものであり、具体的には式(6-65)を用いて RA_i を変化させ、式(6-68)により現実OD交通量 RT_{ij} を計算することにより行う。ここで、 σ_F はOD推移確率 f_{ij} の変動の大きさを示すランダム誤差であり、今回は $\sigma_F = 0\%$ としてシミュレーションを行った。

$$RT_{ij} = RA_i \cdot f_{ij} \cdot (1.0 - \sigma_F \cdot Z_i) \quad (6-68)$$

なお、道路区間交通量 X_k は推計時の現実OD交通量 RT_{ij} を Dial 確率配分法(配分パラメータを $R\theta = 0.5$ とする)により配分して求めた。ただし、一般に観測交通量 X_k^* には観測誤差(ランダム誤差 σ_X)が含まれるため、シミュレーション(式(6-69))、 Z_k は標準正規乱数を用いてその影響を検討する。

$$X_k^* = R X_k \cdot (1.0 - \sigma_X \cdot Z_k) \quad (6-69)$$

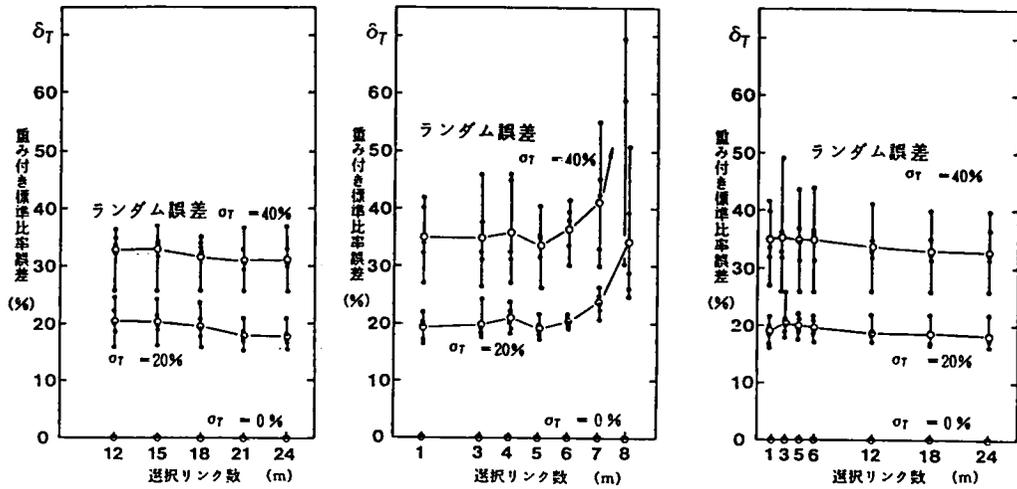
また、道路区間利用率 p_{ij}^k の推定誤差の影響は推計に用いる Dial 確率配分法の配分パラメータ $E\theta$ を変化させて検討する。なお、シミュレーションにおけるOD交通量の推計誤差 δ_T の表示は重み付き標準比率誤差(式(6-63))、ただし、 t_{ij}^* の代わりに RT_{ij} を代入して計算する)を用いて行うことにする。

(2) 残差平方和の定式化の相違による推計誤差比較

残差平方和最小化モデルの定式化の相違が推計特性にどのような影響を及ぼすか明らかにするために、発生交通量を未知変量とした3タイプのモデル(道路区間モデル、発生交通量モデル、結合モデル2)について、その推計誤差特性を検討する。

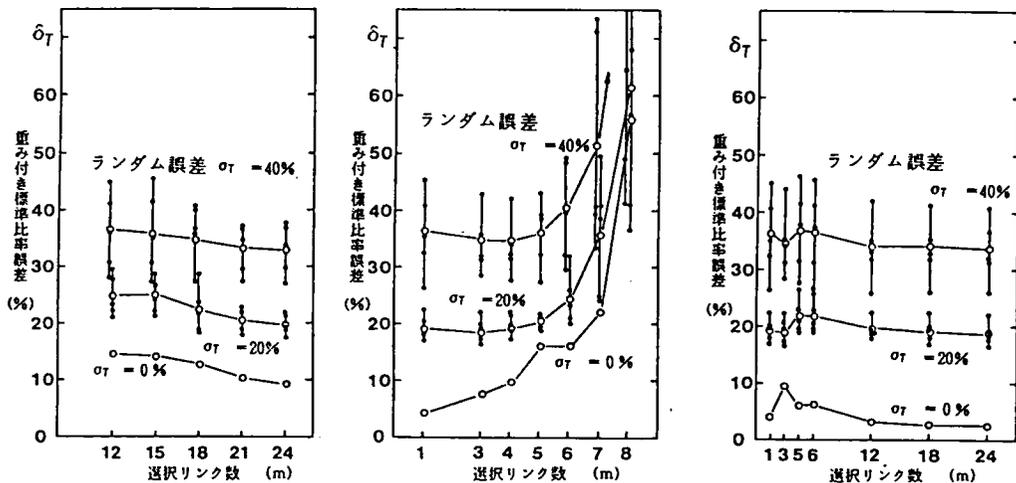
この3タイプのモデルは、いずれもOD推移確率 f_{ij} を固定値として取り扱っているために、既存OD調査時と推計時のOD分布パターンのずれ(変動)の大きさによって、またその変動の仕方によって推計精度が異なると考えられる。そこで、ここでは上述の3通りのODパターン変動シミュレーションにより、その影響を検討する。ただし、道路区間利用率 p_{ij}^k の先決誤差はないものとして、それぞれ正規乱数を5回発生させてシミュレーションを行った。なお、既存ODデータとしては、OD交通量データ1を用いた。

ランダム型変動シミュレーションにおける推計結果を図-6.6 ($\sigma_X = 0\%$)、図-6.7 ($\sigma_X = 10\%$) に示し、重力モデル型変動シミュレーションにおける推計結果を図-6.8 ($\sigma_X =$



(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6.6 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響



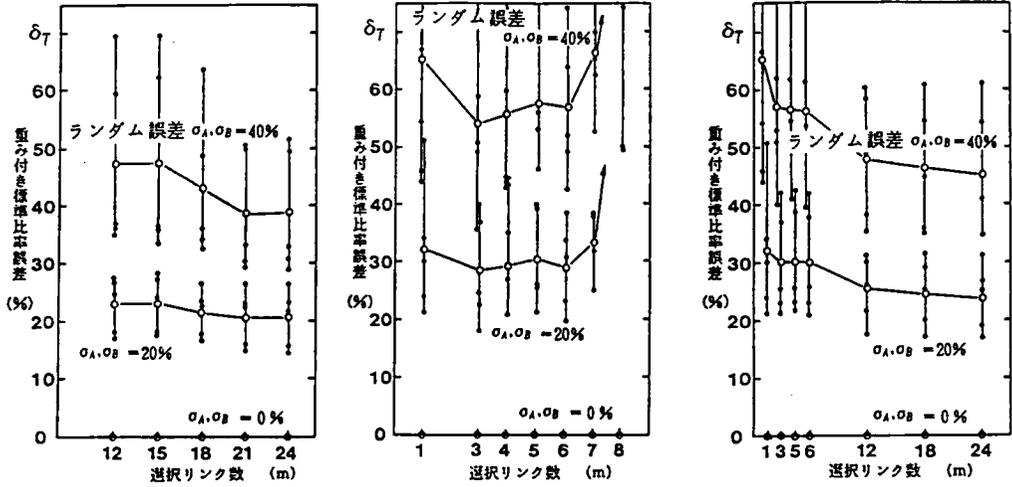
(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6.7 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響

0%), 図-6.9 ($\sigma_X = 10\%$) に示す。また, OD推移確率型変動シミュレーションにおける推計結果を図-6.10 ($\sigma_X = 0\%$), 図-6.11 ($\sigma_X = 10\%$) に示す。

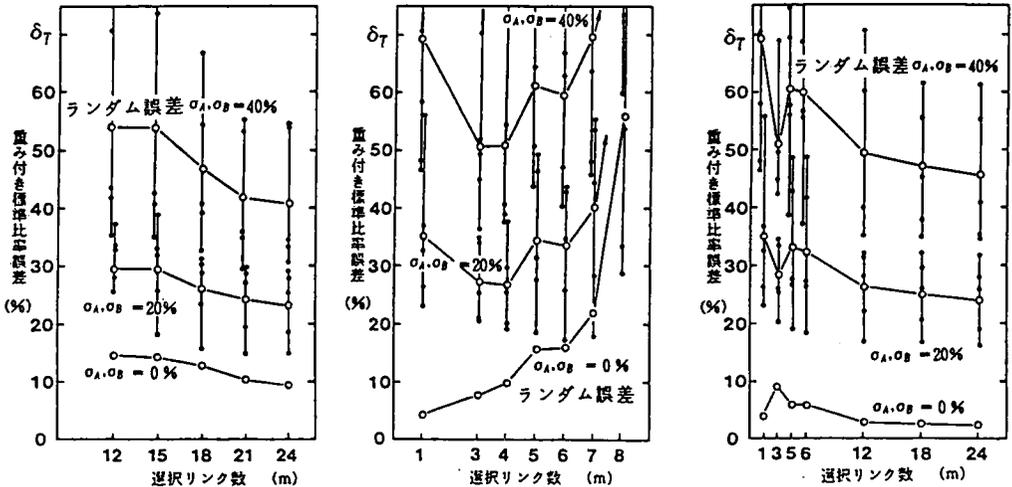
1) 選択リンク数が推計精度に及ぼす影響

各分析モデルの推計誤差特性はOD分布パターンの変動の仕方および道路区間交通量の観測誤差 σ_X の有無によって異なっており, 道路区間モデルでは $\sigma_X = 0\%$ で, しかもOD推移確率 f_{ij} が変化しな



(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, 重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

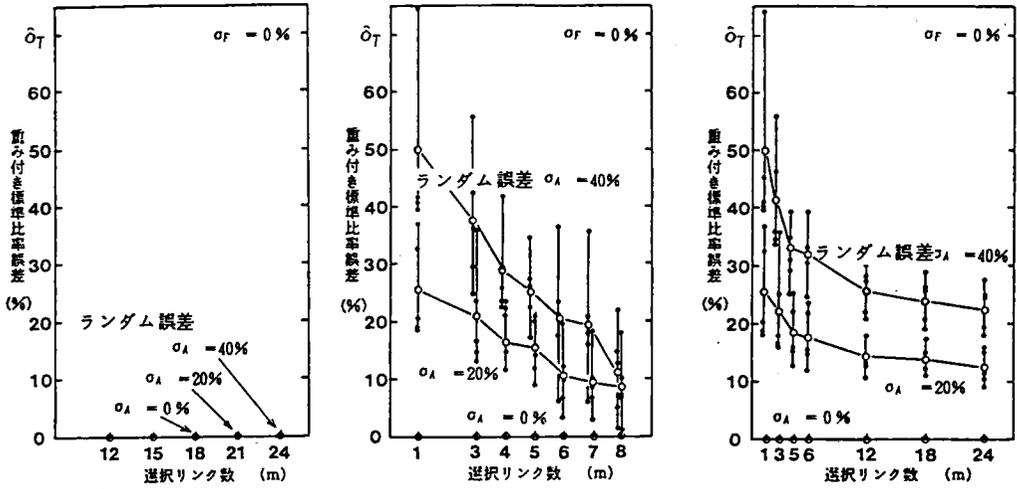
図-6.8 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響



(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, 重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_P = 0\%$)

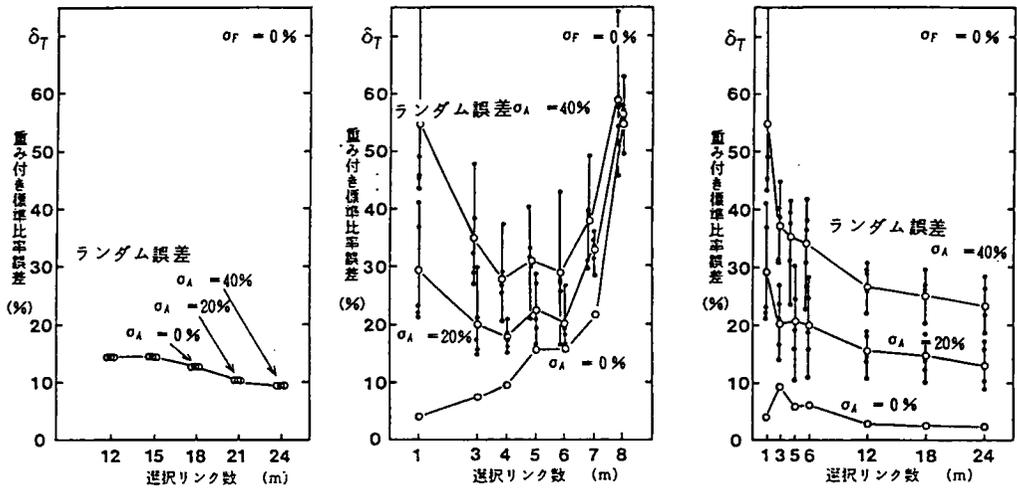
図-6.9 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響

ければまったく誤差がなく推計することが可能である(図-6.10, (a))。道路区間交通量に観測誤差がある場合($\sigma_X = 10\%$)でも、推計誤差はその σ_X のみの影響によるものであり、それほど大きなものではない(図-6.11, (a))。次に、選択リンク数 m の影響を比較すると、道路区間モデルおよび結合モデル2では選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向にあるが、発生交通量モデルでは、OD分布パターンの変動の仕方および道路区間交通量の観測誤差の有無によってその傾向が異なっている。



(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_\chi = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$)

図-6. 10 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響



(a) 道路区間モデル (b) 発生交通量モデル (c) 結合モデル2
 (OD交通量データ1, OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_\chi = 10\%$, $\sigma_p = 0\%$)

図-6. 11 残差平方和最小化の定式化の相違が推計精度に及ぼす影響

すなわち、 $\sigma_\chi = 0\%$ で、しかもOD推移確率 f_{ij} が安定していれば、選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向 (図-6. 10, (b)) にあるが、 $\sigma_\chi = 10\%$ ではOD分布パターンの変動の大きさに応じて、推計誤差が最小となる最適な選択リンク数が存在するようである (図-6. 11, (b))。なお、観測誤差 σ_χ のある場合の傾向は、OD分布パターンがランダム的に変動する場合 (図-6. 7, (b)) においても、また重力モデル的に変動する場合 (図-6. 9, (b)) においてもほぼ同様である。

表-6.1 目的地選択確率の更新による推計精度の比較
 (重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_A = 20\%$, $\sigma_B = 20\%$, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

シミュレーションの回数		1	2	3	4	5	平均
乱数発生による相対誤差		26.2	27.2	18.7	33.4	19.2	24.9
道路区間	m=24 修正前	23.2	21.8	14.8	26.6	15.5	20.4
	m=24 修正後	19.9	6.7	12.8	3.9	1.1	8.9
モデル	m=18 修正前	22.8	23.8	17.8	26.6	16.7	21.5
	m=18 修正後	17.6	14.8	17.6	4.3	8.2	12.5
発生交通量	m=5 修正前	26.0	39.4	25.5	40.0	21.3	30.4
	m=5 修正後	25.3	39.0	21.8	38.3	19.6	28.8
モデル	m=3 修正前	24.7	40.0	18.0	36.9	22.4	28.4
	m=3 修正後	22.7	40.4	14.7	35.8	22.6	27.2
結合モデル2	m=24 修正前	25.0	26.8	16.8	31.1	18.9	23.7
	m=24 修正後	23.2	23.2	14.4	26.7	15.6	20.6
	m=12 修正前	26.6	30.1	17.1	31.3	21.7	25.4
	m=12 修正後	26.2	28.4	15.5	28.1	19.9	23.6

表-6.2 目的地選択確率の更新による推計精度の比較
 (重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_A = 40\%$, $\sigma_B = 40\%$, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

シミュレーションの回数		1	2	3	4	5	平均
乱数発生による相対誤差		53.6	57.1	37.5	79.1	36.1	52.7
道路区間	m=24 修正前	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6	38.8
	m=24 修正後	43.0	13.5	26.3	15.0	2.7	20.1
モデル	m=18 修正前	49.0	32.7	36.1	63.9	34.2	43.2
	m=18 修正後	37.8	31.2	36.2	69.0	24.2	39.7
発生交通量	m=5 修正前	56.6	52.7	52.9	80.4	46.6	57.8
	m=5 修正後	54.9	47.4	47.7	67.4	42.8	52.1
モデル	m=3 修正前	50.7	58.9	35.4	75.4	49.2	53.9
	m=3 修正後	45.4	58.7	27.3	71.1	49.5	50.4
結合モデル2	m=24 修正前	54.3	34.6	35.6	61.0	41.0	45.3
	m=24 修正後	50.6	28.3	30.7	51.8	33.6	39.0
	m=12 修正前	58.4	38.3	35.3	60.2	48.7	48.2
	m=12 修正後	57.6	33.4	32.1	55.8	44.9	44.8

また、シミュレーションにおける推計精度のバラツキを比較すると、OD分布パターンの変動の仕方によって異なり、重力モデル的に変動する場合(図-6.8, 重力モデル型変動シミュレーション)が最も推計精度のバラツキが大きく、ランダム型変動シミュレーション(図-6.6)での推計精度のバラツキは小さいといえる。これは、前者の変動シミュレーションの場合、発生確率 f_i がほぼ確実に σ_A だけ変化するのに対し、後者の変動シミュレーションの場合では、ODペアごとに σ_T だけOD分布パターンは変化するが、シミュレーション結果としての発生交通量の変化量はそれほど大きくないと考えられるからである。また、各分析モデルの推計精度を比較すると発生交通量モデルが最もバラツキが大きく、

表-6.3 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(ランダム型変動シミュレーション, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

モデル 選択リンク	誤差	変動の大きさ	$\sigma_T = 0\%$			$\sigma_T = 20\%$			$\sigma_T = 40\%$					
		σ_T	δ_t			0.0%			18.6%			27.1%		
			OD調査の精度			0%			5%			10%		
道路区間 モデル 選択リンク数 $m = 12$	道路区間利用率の	0.05	4.5	9.6	16.2	19.8	21.0	24.4	25.4	25.9	28.3			
	推定のために先決	0.10	4.0	9.2	15.9	19.6	20.8	24.1	25.4	25.9	28.2			
	したDial確率	0.25	2.4	8.3	15.2	19.1	20.2	23.5	25.6	25.9	28.2			
	したDial確率	0.50	0.0	7.2	14.4	18.7	19.4	22.6	26.0	26.2	28.3			
	配分法の配分パラ	0.75	2.3	6.8	13.9	18.7	19.0	22.0	26.6	26.5	28.5			
	メータ ($E\theta$)	1.00	4.5	7.0	13.7	18.9	18.9	21.7	27.3	27.0	28.9			
		2.00	11.9	11.4	15.5	21.8	20.8	22.6	30.2	29.4	30.9			
道路区間 モデル 選択リンク数 $m = 24$	道路区間利用率の	0.05	3.3	6.5	10.9	17.6	18.2	20.0	25.2	25.7	27.0			
	推定のために先決	0.10	2.9	6.2	10.7	17.5	18.0	19.9	25.2	25.7	27.0			
	したDial確率	0.25	1.8	5.5	10.2	17.2	17.7	19.5	25.4	25.8	27.0			
	したDial確率	0.50	0.0	4.8	9.6	16.9	17.2	18.9	25.7	26.0	27.2			
	配分法の配分パラ	0.75	1.7	4.7	9.3	16.8	17.0	18.6	26.1	26.4	27.4			
	メータ ($E\theta$)	1.00	3.4	5.2	9.4	16.8	16.9	18.4	26.6	26.8	27.8			
		2.00	8.8	9.0	11.5	18.3	18.0	19.1	28.8	28.8	29.5			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m = 3$	道路区間利用率の	0.05	1.7	3.3	6.9	18.6	18.6	19.3	26.7	27.3	28.3			
	推定のために先決	0.10	1.5	3.3	7.0	18.5	18.5	19.3	26.7	27.3	28.3			
	したDial確率	0.25	0.9	3.4	7.2	18.4	18.5	19.3	26.6	27.3	28.3			
	したDial確率	0.50	0.0	3.8	7.5	18.2	18.4	19.3	26.6	27.3	28.4			
	配分法の配分パラ	0.75	0.9	4.3	8.0	18.1	18.4	19.3	26.5	27.3	28.4			
	メータ ($E\theta$)	1.00	1.8	4.8	8.5	18.1	18.4	19.4	26.5	27.3	28.5			
		2.00	5.1	7.5	10.7	18.1	18.7	19.9	26.7	27.6	29.9			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m = 6$	道路区間利用率の	0.05	4.3	10.9	18.5	19.6	20.7	24.6	29.0	28.3	29.6			
	推定のために先決	0.10	3.9	10.6	18.2	19.6	20.6	24.4	29.1	28.3	29.5			
	したDial確率	0.25	2.4	9.6	17.4	19.7	20.3	23.9	29.5	28.3	29.3			
	したDial確率	0.50	0.0	8.0	16.0	20.2	20.1	23.2	30.3	28.7	29.2			
	配分法の配分パラ	0.75	2.5	6.8	14.8	21.2	20.2	22.7	31.4	29.3	29.3			
	メータ ($E\theta$)	1.00	5.1	6.3	13.8	22.5	20.8	22.5	32.8	30.2	29.6			
		2.00	15.9	11.7	13.1	30.6	26.4	25.0	40.7	36.4	33.7			
結合モデル2 選択リンク数 $m = 6$	道路区間利用率の	0.05	0.9	3.9	6.9	18.7	19.6	21.0	26.0	26.2	26.7			
	推定のために先決	0.10	0.8	3.8	6.8	18.7	19.6	20.9	26.0	26.2	26.7			
	したDial確率	0.25	0.5	3.5	6.6	18.6	19.5	20.8	26.0	26.2	26.7			
	したDial確率	0.50	0.0	3.1	6.1	18.5	19.3	20.6	26.0	26.1	26.6			
	配分法の配分パラ	0.75	0.5	2.7	5.8	18.4	19.1	20.3	26.1	26.1	26.5			
	メータ ($E\theta$)	1.00	0.9	2.3	5.4	18.3	19.0	20.1	26.1	26.1	26.5			
		2.00	2.4	1.6	4.3	18.1	18.5	19.5	26.2	26.1	26.4			
結合モデル2 選択リンク数 $m = 24$	道路区間利用率の	0.05	1.3	2.0	3.1	17.9	17.7	17.6	26.0	26.0	26.1			
	推定のために先決	0.10	1.1	1.9	3.0	17.9	17.7	17.6	26.0	26.0	26.1			
	したDial確率	0.25	0.7	1.6	2.8	17.9	17.7	17.5	25.9	26.0	26.0			
	したDial確率	0.50	0.0	1.2	2.5	17.8	17.6	17.5	25.9	25.9	25.9			
	配分法の配分パラ	0.75	0.7	1.2	2.4	17.8	17.5	17.4	25.8	25.8	25.9			
	メータ ($E\theta$)	1.00	1.4	1.5	2.4	17.8	17.5	17.4	25.7	25.7	25.8			
		2.00	3.8	3.6	3.8	17.9	17.6	17.4	25.7	25.7	25.7			

道路区間モデルのパラツキが最も小さい傾向にある。なお、結合モデル2はその中間となっている。この理由は、道路区間モデルの場合、道路区間交通量に観測誤差がなければ推計精度に影響を及ぼす主な要因は、OD推移確率 f_{ij} のずれの大きさであるのに対し、発生交通量モデルでは f_{ij} のずれに加えて、発生確率 f_i のずれも影響を及ぼすからである。

2) 目的地選択確率の修正による推計精度への影響

目的地選択確率 (OD推移確率) f_{ij} をVoorhees 型の重力モデルを用いて更新し、OD交通量の推計精度の向上が可能かどうか検討を行った。推計結果を表-6.1 (重力モデル型変動シミュレーション)

表-6. 4 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(重力モデル型変動シミュレーション, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

モデル 選択リンク	誤差		変動の大きさ σ_A, σ_B			$\sigma_A = 20\%, \sigma_B = 20\%$			$\sigma_A = 40\%, \sigma_B = 40\%$		
	OD調査の精度 δ_t					18.6%			27.1%		
	リンク交通量の観測誤差		0%	5%	10%	0%	5%	10%			
道路区間 モデル 選択リンク数 $m=12$	道路区間利用率の	0.05	19.8	21.0	24.4	25.4	25.9	28.3			
	推定のために先決	0.10	19.6	20.8	24.1	25.4	25.9	28.2			
	した Dial 確率	0.25	19.1	20.2	23.5	25.6	25.9	28.2			
	配分法の配分バラ	0.50	18.7	19.4	22.6	26.0	26.2	28.3			
	メータ ($E\theta$)	0.75	18.7	19.0	22.0	26.6	26.5	28.5			
		1.00	18.9	18.9	21.7	27.3	27.0	28.9			
		2.00	21.8	20.8	22.6	30.2	29.4	30.9			
道路区間 モデル 選択リンク数 $m=24$	道路区間利用率の	0.05	17.6	18.2	20.0	25.2	25.7	27.0			
	推定のために先決	0.10	17.5	18.0	19.9	25.2	25.7	27.0			
	した Dial 確率	0.25	17.2	17.7	19.5	25.4	25.8	27.0			
	配分法の配分バラ	0.50	16.9	17.2	18.9	25.7	26.0	27.2			
	メータ ($E\theta$)	0.75	16.8	17.0	18.6	26.1	26.4	27.4			
		1.00	16.8	16.9	18.4	26.6	26.8	27.8			
		2.00	18.3	18.0	19.1	28.8	28.8	29.5			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m=3$	道路区間利用率の	0.05	18.6	18.6	19.3	26.7	27.3	28.3			
	推定のために先決	0.10	18.5	18.5	19.3	26.7	27.3	28.3			
	した Dial 確率	0.25	18.4	18.5	19.3	26.6	27.3	28.3			
	配分法の配分バラ	0.50	18.2	18.4	19.3	26.6	27.3	28.4			
	メータ ($E\theta$)	0.75	18.1	18.4	19.3	26.5	27.3	28.4			
		1.00	18.1	18.4	19.4	26.5	27.3	28.5			
		2.00	18.1	18.7	19.9	26.7	27.6	28.9			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m=6$	道路区間利用率の	0.05	19.6	20.7	24.6	29.0	28.3	29.6			
	推定のために先決	0.10	19.6	20.6	24.4	29.1	28.3	29.5			
	した Dial 確率	0.25	19.7	20.3	23.9	29.5	28.3	29.3			
	配分法の配分バラ	0.50	20.2	20.1	23.2	30.3	28.7	29.2			
	メータ ($E\theta$)	0.75	21.2	20.2	22.7	31.4	29.3	29.3			
		1.00	22.5	20.8	22.5	32.8	30.2	29.6			
		2.00	30.6	26.4	25.0	40.7	36.4	33.7			
結合モデル2 選択リンク数 $m=6$	道路区間利用率の	0.05	18.7	19.6	21.0	26.0	26.2	26.7			
	推定のために先決	0.10	18.7	19.6	20.9	26.0	26.2	26.7			
	した Dial 確率	0.25	18.6	19.5	20.8	26.0	26.2	26.7			
	配分法の配分バラ	0.50	18.5	19.3	20.6	26.0	26.1	26.6			
	メータ ($E\theta$)	0.75	18.4	19.1	20.3	26.1	26.1	26.5			
		1.00	18.3	19.0	20.1	26.1	26.1	26.5			
		2.00	18.1	18.5	19.5	26.2	26.1	26.4			
結合モデル2 選択リンク数 $m=24$	道路区間利用率の	0.05	17.9	17.7	17.6	26.0	26.0	26.1			
	推定のために先決	0.10	17.9	17.7	17.6	26.0	26.0	26.1			
	した Dial 確率	0.25	17.9	17.7	17.5	25.9	26.0	26.0			
	配分法の配分バラ	0.50	17.8	17.6	17.5	25.9	25.9	25.9			
	メータ ($E\theta$)	0.75	17.8	17.5	17.4	25.8	25.8	25.9			
		1.00	17.8	17.5	17.4	25.7	25.7	25.8			
		2.00	17.9	17.6	17.4	25.7	25.7	25.7			

ン, $\sigma_A = 20\%, \sigma_B = 20\%, \sigma_X = 0\%, \sigma_P = 0\%$), 表-6. 2 (重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_A = 40\%, \sigma_B = 40\%, \sigma_X = 0\%, \sigma_P = 0\%$) に示す。

これらの表より目的地選択確率 f_{ij} の update の効果はモデルによって異なっており, 道路区間モデルにおける update の効果が最も大きく, 次いで結合モデル2, 発生交通量モデルの順となっている。また, その効果の大きさは選択リンク数が多いほど大きいといえる。ただし, ここでは示さなかったが道路区間交通量に観測誤差 σ_X が有る場合には, 必ずしも update の効果があるとは限らず, σ_X が大きくなると逆に推計精度が悪化する場合が存在した。なお, OD分布パターンがランダム的に変動する場

表-6. 5 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
(OD推移確率型変動シミュレーション, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

モデル 選択リンク	誤差		変動の大きさ σ_A, σ_F			$\sigma_A = 20\%, \sigma_F = 0\%$			$\sigma_A = 40\%, \sigma_F = 0\%$		
	OD調査の精度 δ_t					22.1%			28.9%		
	リンク交通量の観測誤差		0%	5%	10%	0%	5%	10%			
道路区間 モデル 選択リンク数 $m=12$	道路区間利用率の	0.05	4.3	9.5	16.3	4.0	9.2	16.1			
	推定のために先決	0.10	3.8	9.2	16.1	3.6	9.0	15.9			
	したDial確率	0.25	2.3	8.4	15.6	2.2	8.2	15.4			
	したDial確率	0.50	0.0	7.5	15.0	0.0	7.4	14.8			
	配分法の配分パラ	0.75	2.2	7.3	14.7	2.1	7.2	14.6			
	メータ ($E\theta$)	1.00	4.3	7.6	14.8	4.1	7.4	14.5			
		2.00	11.4	11.8	16.9	10.8	10.9	16.0			
道路区間 モデル 選択リンク数 $m=24$	道路区間利用率の	0.05	3.1	6.2	10.8	3.0	6.1	10.7			
	推定のために先決	0.10	2.7	6.0	10.7	2.6	5.9	10.6			
	したDial確率	0.25	1.7	5.5	10.3	1.6	5.4	10.3			
	したDial確率	0.50	0.0	4.9	9.9	0.0	5.0	9.9			
	配分法の配分パラ	0.75	1.6	5.0	9.8	1.6	5.0	9.9			
	メータ ($E\theta$)	1.00	3.2	5.5	9.9	3.0	5.5	10.0			
		2.00	8.2	9.0	12.0	7.9	8.8	11.9			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m=3$	道路区間利用率の	0.05	35.7	32.4	29.6	55.6	51.6	47.8			
	推定のために先決	0.10	35.7	32.4	29.6	55.6	51.6	47.9			
	したDial確率	0.25	35.7	32.5	29.7	55.6	51.7	47.9			
	したDial確率	0.50	35.7	32.6	29.9	55.7	51.8	48.1			
	配分法の配分パラ	0.75	35.8	32.7	30.1	55.8	51.9	48.3			
	メータ ($E\theta$)	1.00	35.9	32.9	30.3	55.9	52.0	48.4			
		2.00	36.5	33.7	31.3	56.4	52.7	49.3			
発生交通量 モデル 選択リンク数 $m=6$	道路区間利用率の	0.05	13.1	20.2	24.6	18.2	21.8	27.3			
	推定のために先決	0.10	12.9	19.9	24.4	18.1	21.7	27.2			
	したDial確率	0.25	12.1	19.2	23.9	17.9	21.2	26.7			
	したDial確率	0.50	11.0	18.1	23.2	17.7	20.7	26.0			
	配分法の配分パラ	0.75	10.2	17.1	22.7	17.9	20.3	25.4			
	メータ ($E\theta$)	1.00	9.9	16.3	22.5	18.4	20.2	24.9			
		2.00	14.3	16.2	25.0	23.4	22.5	24.8			
結合モデル2 選択リンク数 $m=6$	道路区間利用率の	0.05	24.5	26.8	29.3	34.3	36.6	39.0			
	推定のために先決	0.10	24.4	26.8	29.2	34.2	36.5	38.9			
	したDial確率	0.25	24.2	26.5	29.0	33.9	36.3	38.7			
	したDial確率	0.50	23.9	26.2	28.6	33.5	35.9	38.3			
	配分法の配分パラ	0.75	23.6	25.8	28.3	33.2	35.5	37.9			
	メータ ($E\theta$)	1.00	23.3	25.5	27.9	32.8	35.1	37.5			
		2.00	22.3	24.5	26.9	31.6	34.0	36.4			
結合モデル2 選択リンク数 $m=24$	道路区間利用率の	0.05	15.4	15.7	16.2	18.8	19.2	19.8			
	推定のために先決	0.10	15.3	15.7	16.1	18.7	19.2	19.7			
	したDial確率	0.25	15.2	15.6	16.0	18.5	19.0	19.5			
	したDial確率	0.50	15.0	15.3	15.8	18.3	18.7	19.3			
	配分法の配分パラ	0.75	14.8	15.1	15.6	18.0	18.5	19.0			
	メータ ($E\theta$)	1.00	14.6	15.0	15.4	17.7	18.2	18.8			
		2.00	14.2	14.5	15.0	17.0	17.5	18.0			

合には, f_{ij} のupdateの効果はほとんど見られず, OD推移確率型変動シミュレーションにおいては f_{ij} を固定しているのでまったくupdateすることは不可能である。

3) 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

ここでは, 配分に用いるDial 確率配分法の配分パラメータ $E\theta$ に先決誤差がある場合を仮定して, 推計に用いるパラメータを $E\theta = 0.05 \sim E\theta = 2.0$ まで変化させてその影響を検討した。シミュレーション結果の一例を表-6. 3 (ランダム型変動シミュレーション), 表-6. 4 (重力モデル型変動シミュレーション), 表-6. 5 (OD推移確率型変動シミュレーション) に示す。これらの表より配分パ

ラメータ θ の先決誤差の影響は道路区間交通量に観測誤差 σ_X がある場合とない場合で、また OD 分布パターンにずれがある場合とない場合でそれぞれ異なっており、全般的傾向としては OD 分布パターンにずれがなく、しかも道路区間交通量に観測誤差 σ_X がない場合にその影響が大きく、道路区間交通量の観測誤差 σ_X が大きくなればその影響は小さくなる傾向にあるといえる。モデル定式化の違いによる影響を比較すると、選択リンクの数によっても異なるが、道路区間モデル、発生交通量モデルにおいて $E\theta$ の先決誤差の影響が大きく、結合モデル 2 では前二者に比べてその影響は小さい（表-6. 3、変動 $\sigma_T = 0\%$ の場合）。また、この傾向は OD 分布パターンの変動の仕方によっても多少異なっており、OD 分布パターンがランダムに変動する場合にはその影響は小さいが、重力モデル的に、あるいは OD 推移確率を変化せず、発生確率のみが変化する場合には $E\theta$ の先決誤差の影響が大きいといえる（表-6. 4、表-6. 5）。特に、道路区間モデルにおいてその傾向が強い。

以上のことより、モデルの推計精度に最も大きな影響を及ぼすのは、OD 分布パターンのずれの大きさとその変動の仕方であり、今回モデル計算に用いた田字型のような単純な道路網では配分パラメータ $E\theta$ の影響は小さいといえる。

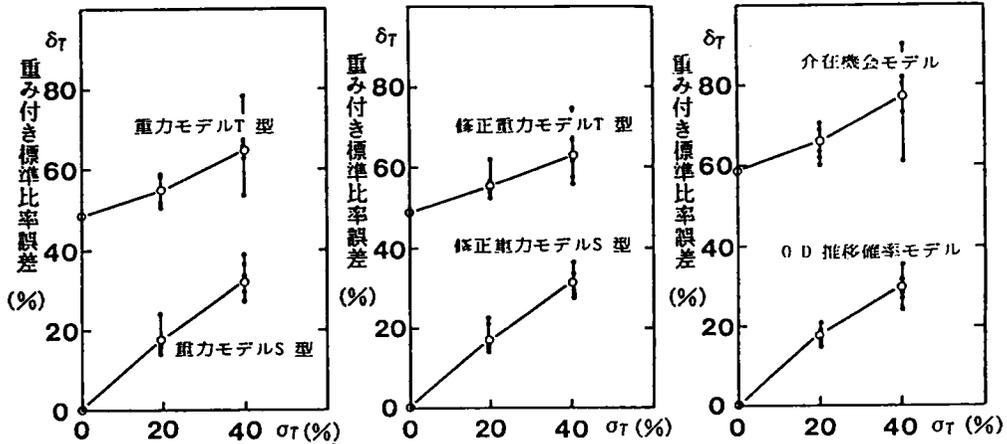
なお、ここでは既存 OD 交通量データとして、OD 交通量データ 1 を用いたシミュレーション結果のみを示したが、他のデータ（OD 交通量データ 2、OD 交通量データ 3）を用いた場合も、ほぼ同様な結果が得られている。

(3) 分布モデルの仮定の相違による推計誤差比較

発生交通量を未知変量とした道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデル（道路区間モデル）は、OD 交通量 T_{ij} を表わす分布モデルとしてどのような分布モデル式を用いるかによって、いくつかのタイプに分けられる。ここでは、仮定する分布モデル式の相違によって推計特性がどのように異なるか、OD 分布パターンの異なる 3 種類の OD 交通量データを用いて検討を行った。仮定した分布モデル式は式 (6-52) に示す二重制約型の重力モデル、式 (6-57) に示す一重制約型の修正重力モデル、式 (6-59) に示す介在機会型のモデル、および OD 推移確率を固定した OD 推移確率型のモデル（式 (6-23)）の合計 4 タイプである。ただし、重力モデル、修正重力モデルの交通抵抗係数 R_{ij} を式 (6-55) のように既存 OD 交通量 t_{ij}^* を用いて与える場合をそれぞれ重力モデル S 型、修正重力モデル S 型と呼び、交通抵抗係数 R_{ij} を式 (6-56) のようにゾーン間所要時間を用いて与える場合をそれぞれ重力モデル T 型、修正重力モデル T 型と呼ぶことにする。

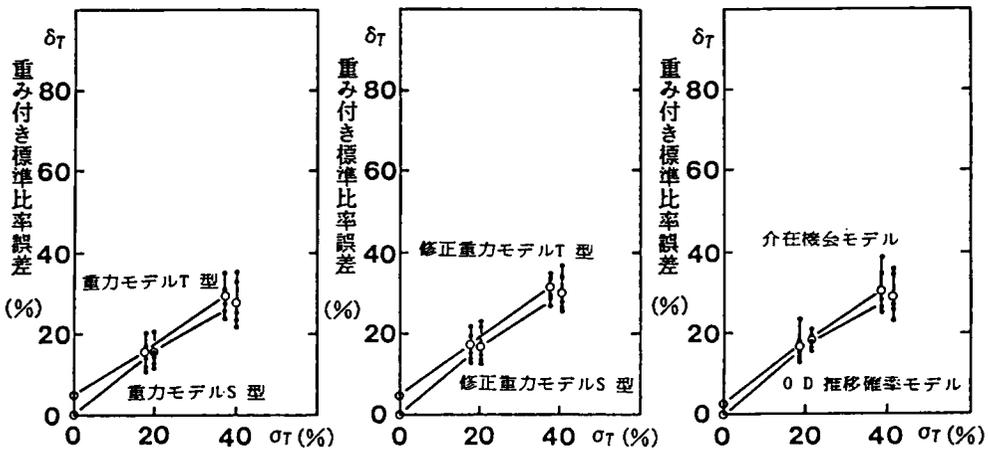
1) 道路区間交通量に観測誤差がない場合

シミュレーションではそれぞれ 5 通りの正規乱数を発生させることによって OD 分布パターンを変化させ、分布モデルの仮定の相違による推計誤差特性を比較する。OD 分布パターンがランダムに変化する場合を想定したランダム型変動シミュレーションにおける推計結果の一例をそれぞれ図-6. 12 (OD 交通量データ 1)、図-6. 13 (OD 交通量データ 2)、図-6. 14 (OD 交通量データ 3) に示す。ただし、道路区間交通量の観測誤差 σ_X および道路区間利用率の先決誤差 σ_p はないものと仮定し、それぞれ $\sigma_X = 0\%$ 、 $\sigma_p = 0\%$ としてシミュレーションを行った。なお、図中の小さな黒点 (・)



(a) 重力モデルT型
重力モデルS型
(b) 修正重力モデルT型
修正重力モデルS型
(c) 介入機会モデル
OD推移確率モデル
(OD交通量データ1, ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6.12 分布モデルの仮定の相違が推計精度に及ぼす影響

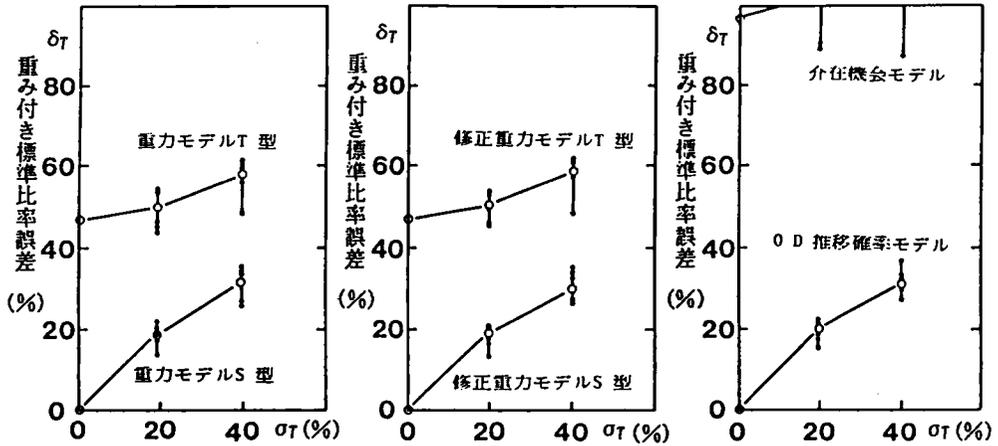


(a) 重力モデルT型
重力モデルS型
(b) 修正重力モデルT型
修正重力モデルS型
(c) 介入機会モデル
OD推移確率モデル
(OD交通量データ2, ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6.13 分布モデルの仮定の相違が推計精度に及ぼす影響

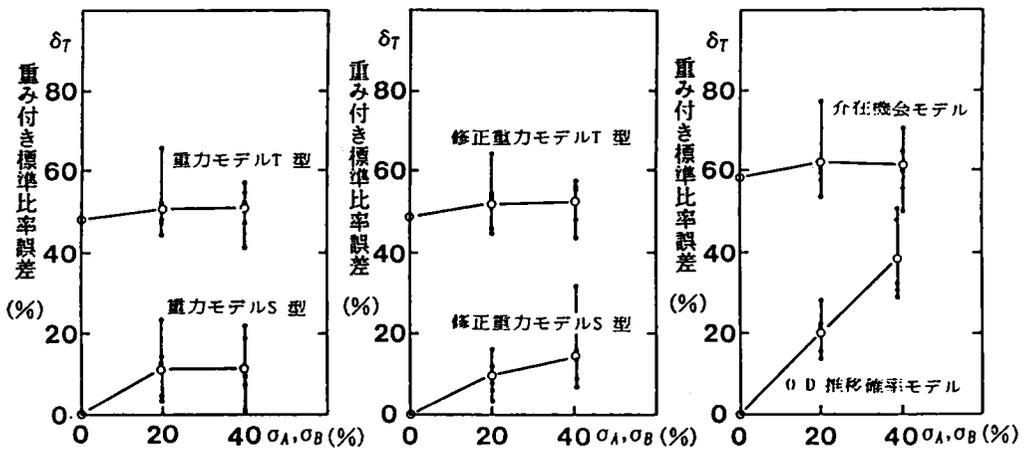
は5回のシミュレーションにおける各推計精度を示したものであり、全体の推計特性を見るためにその平均値(白丸 ○)もいっしょに図示してある。

これらの図より、既存OD交通量のOD分布パターンによって、かなり推計精度に差が見られる場合が存在することがわかる。すなわち、重力モデルおよび介入機会モデルに非常によく適合したOD交通量データ2では、いずれのモデルも推計精度に大きな差は見られず、しかも乱数発生の違いによる推計



(a) 重力モデルT型
重力モデルS型
(b) 修正重力モデルT型
修正重力モデルS型
(c) 介入機会モデル
OD推移確率モデル
(OD交通量データ3, ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

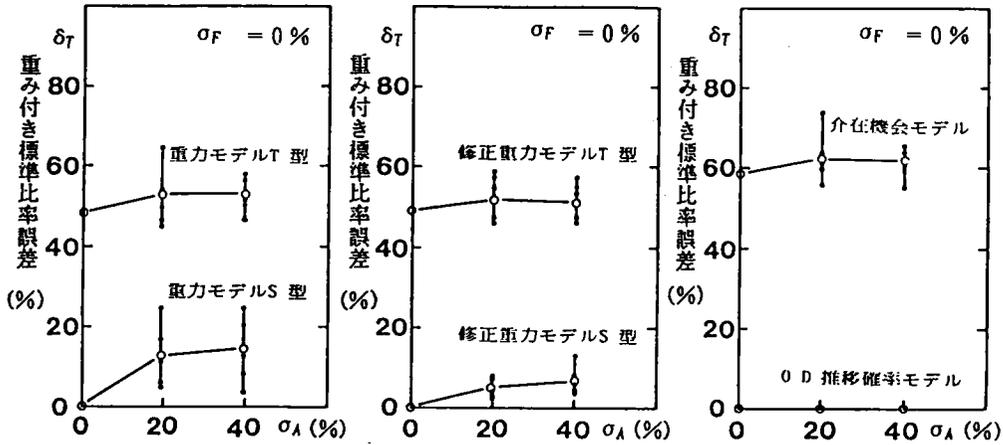
図-6.14 分布モデルの仮定の相違が推計精度に及ぼす影響



(a) 重力モデルT型
重力モデルS型
(b) 修正重力モデルT型
修正重力モデルS型
(c) 介入機会モデル
OD推移確率モデル
(OD交通量データ1, 重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6.15 分布モデルの仮定の相違が推計精度に及ぼす影響

精度のバラツキも小さいといえる。しかし、OD交通量データ1, あるいはOD交通量データ3では交通抵抗係数 R_{ij} をゾーン間所要時間で与えるT型の重力モデル, 修正重力モデル, および介入機会型のモデルの推計精度が低く, 乱数発生の違いによる推計精度のバラツキも前者に比較して大きいといえる。ただし, 交通抵抗係数 R_{ij} を既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて与えるS型の重力モデル, 修正重力モデルおよびOD推移確率型のモデルでは既存OD交通量のOD分布パターンがどのような場合でも, その推計

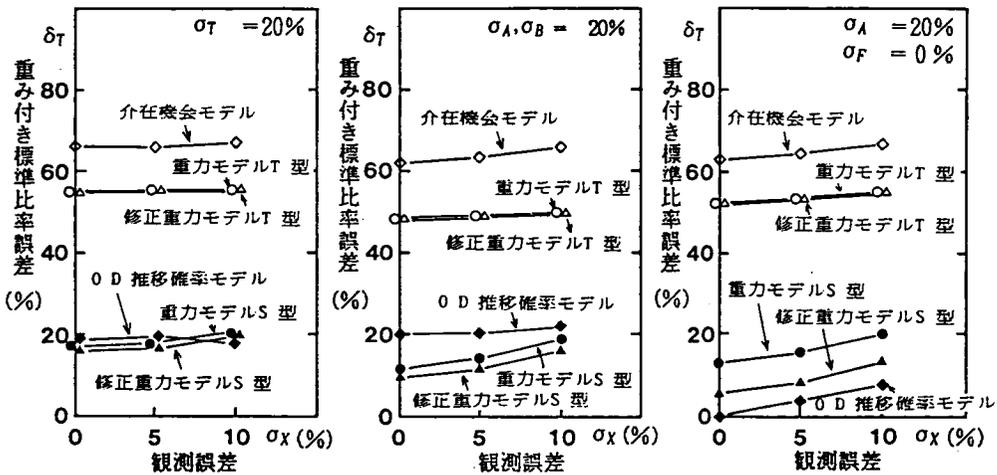


(a) 重力モデルT型
重力モデルS型
(OD交通量データ1, OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

(b) 修正重力モデルT型
修正重力モデルS型

(c) 介入機会モデル
OD推移確率モデル

図-6.16 分布モデルの仮定の相違が推計精度に及ぼす影響



(a) ランダム型変動シミュレーション

(b) 重力モデル型変動シミュレーション

(c) OD推移確率型変動シミュレーション

図-6.17 道路区間交通量の観測誤差が推計精度に及ぼす影響 ($\sigma_P = 0\%$)

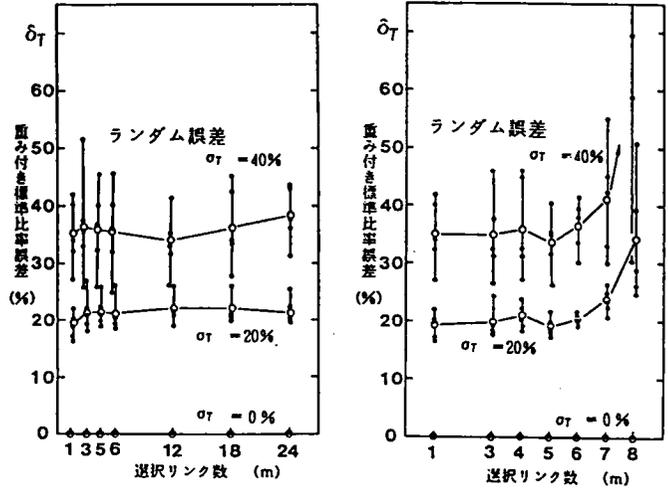
精度の差はほとんど見られず、乱数発生の違いによる推計精度のバラツキも小さいといえる。

OD分布パターンが重力モデル的に変化する場合を想定した重力モデル型変動シミュレーションの結果を図-6.15 (OD交通量データ1)に、また発生交通量の比率のみが変化し、OD推移確率の変化が小さい場合を想定したOD推移確率(固定)型変動シミュレーションの結果を図-6.16 (OD交通量データ1)に示す。図-6.15より、発生・集中交通量に対する正規乱数の発生の仕方によ

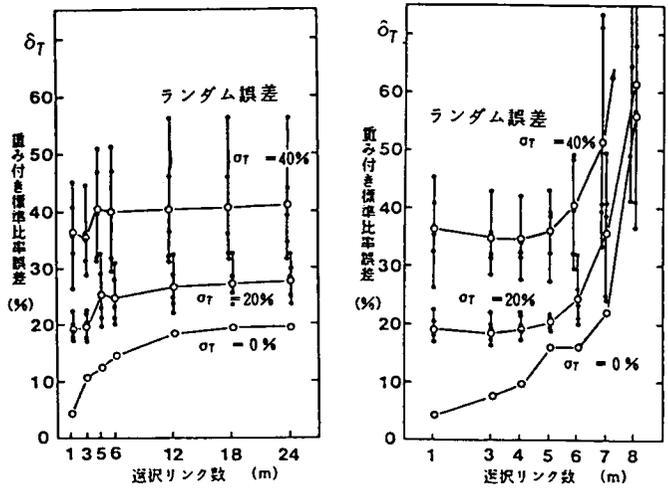
て推計精度のバラツキは大きい
 が、OD推移確率型のモデルを
 除く他のモデルでは発生・集中
 交通量の変動比率が大きくなっ
 ても、推計精度の悪化はそれほ
 ど大きなものではない。しかし、
 OD推移確率型のモデルは発生・
 集中交通量の変動比率の大きき
 に対応して、推計精度が悪化す
 る傾向にあるといえる。これは、
 OD推移確率 f_{ij} を固定値とし
 てモデル定式化を行っているた
 めであり、 f_{ij} の変化に対応で
 きないからである。また、図-
 6. 16よりOD分布パターン
 の変化が、発生交通量の変動の
 みであり、OD推移確率が変化
 しない場合には、OD推移確率
 型のモデルの推計精度が最も良
 く、その他のモデルは重力モデ
 ル型変動シミュレーションの場
 合とほぼ同様な傾向にあり、O
 D分布パターンがランダムに変
 動する場合に比較して、いずれ
 も推計精度が良いといえる。

2) 道路区間交通量の観測誤
 差の影響

道路区間交通量に観測誤差
 σ_X がある場合の影響を検討す
 るために、 σ_X の大きさを σ_X
 $= 0\%$, $\sigma_X = 5\%$, $\sigma_X = 10\%$ と変化させてシミュレーションを行った。図-6. 17 (OD交通量デ
 ータ1) はそれぞれ5回のシミュレーション結果の推計精度の平均値を表わしたものである。この図よ
 り、分布モデルによって、道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響は多少異なるが、全体として σ_X が大
 きくなれば、推計精度も悪化する傾向にあるといえる。しかし、もともと推計精度の悪い介在機会型モ
 デル、重力モデルS型、修正重力モデルS型は σ_X の影響が小さく、推計精度の良い重力モデルT型、



(a) OD交通量モデル (b) 発生交通量モデル
 (ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$)
 図-6. 18 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響



(a) OD交通量モデル (b) 発生交通量モデル
 (ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_p = 0\%$)
 図-6. 19 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響

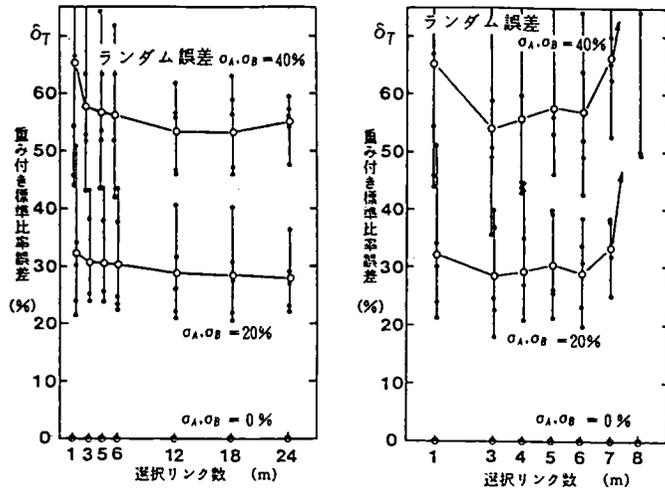
修正重力モデルT型、OD推移確率型モデルは σ_X の影響が大きいといえる。この傾向はOD分布パターンの変動の仕方およびその大きさによっても多少異なり、OD分布パターンがランダム的に変動する場合に、 σ_X の影響が大きい傾向にある。ただし、いずれもOD分布パターンの変動の大きさが大きくなれば、 σ_X の影響は小さくなる傾向にあるといえる。

(4) 未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較

未知変量の取り扱い方法の相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、OD交通量を未知変量とした残差平方和最小化モデルと発生交通量を未知変量とした残差平方和最小化モデルの推計誤差特性を比較する。ただし、道路区間交通量とOD交通量の総残差平方和を最小化する結合モデル1は、前述したようにODペアの個数 (n^2) + 2個の連立一次方程式を解く必要があり、一般的には計算機容量の点で実用性が低い

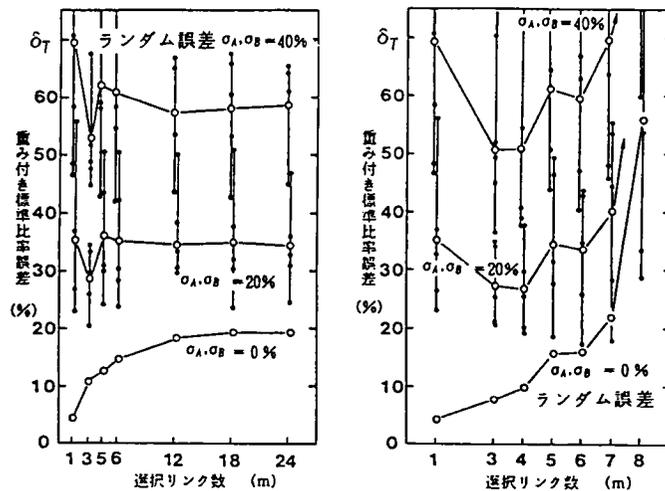
と考えられる。そこで、ここではOD交通量を未知変量としたOD交通量モデルと発生交通量を未知変量とした発生交通量モデルの推計誤差比較を行う。なお、シミュレーションは本節第2項(残差平方和の定式化の相違による推計誤差比較)とまったく同様にして行い、本節第2項におけるシミュレーション結果と比較することにより考察する。

OD交通量データ1を用いたランダム型変動シミュレーションにおける推計結果を、図-6. 18



(a) OD交通量モデル (b) 発生交通量モデル
(重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6. 20 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響



(a) OD交通量モデル (b) 発生交通量モデル
(重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_P = 0\%$)

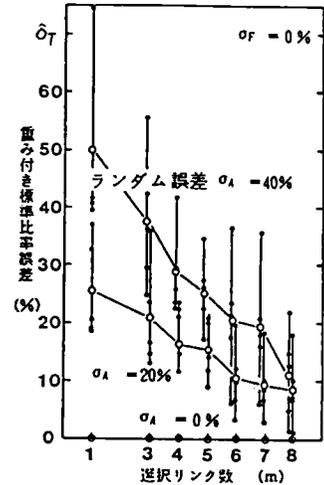
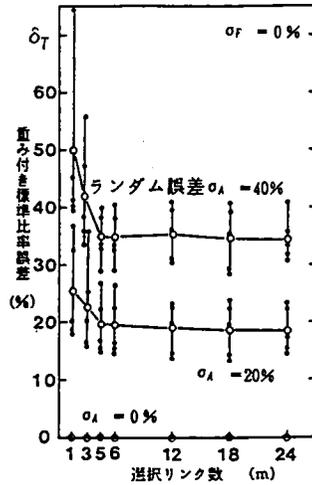
図-6. 21 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響

($\sigma_X = 0\%$) および図-6.

19 ($\sigma_X = 10\%$) に、重力モデル型変動シミュレーションにおける推計結果を、図-6. 20 ($\sigma_X = 0\%$) および図-6. 21 ($\sigma_X = 10\%$) に、OD推移確率型変動シミュレーションにおける推計結果を、それぞれ図-6. 22 ($\sigma_X = 0\%$) および図-6. 23 ($\sigma_X = 10\%$) に示す。

これらの図より、両モデルの推計特性は道路区間交通量に観測誤差 σ_X がある場合とない場合で、また選択するリンクの本数によって、さらにOD分布パターンの変動の仕方によってそれぞれ異なっていることがわかる。そこで、まず同一条件となるように選択リンク数 m が等しい場合 ($m \leq 6$) について、推計精度の比較を行う。道路区間交通量に観測誤差 σ_X がなくて、しかもOD分布パターンがランダムに変化する場合 (図-6. 18) には、発生交通量モデルの方がOD交通量モデルに比べて推計精度のバラツキが小さい傾向にあるが、OD分布パターンが重力モデル的に変化する

場合 (図-6. 20) には、推計精度のバラツキは両モデルとも同程度であり、OD分布パターンがランダムに変化する場合に比べてそのバラツキは大きいといえる。両モデルの推計精度は、正規乱数の発生の仕方および選択リンクの本数によって異なっており、全体としては同程度であるといえる。ただし、この傾向は選択リンク数が等しいという条件のもとでの比較であり、選択リンク数が $m = 18$, $m = 24$ というように多い場合には、OD交通量モデルの推計精度のバラツキは小さくなり、全体として

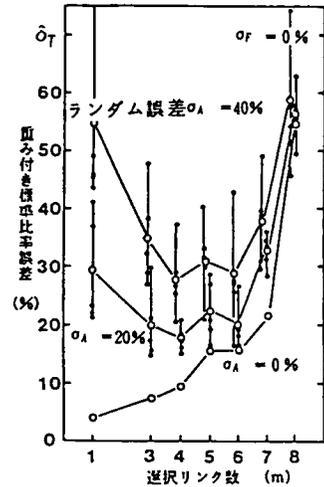
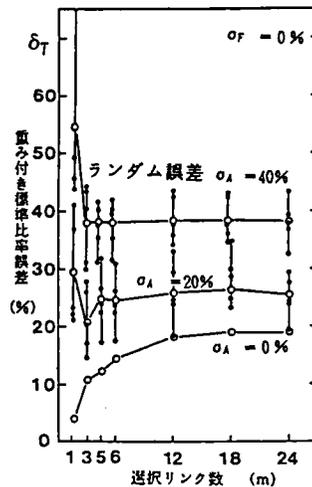


(a) OD交通量モデル

(b) 発生交通量モデル

(OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6. 22 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響



(a) OD交通量モデル

(b) 発生交通量モデル

(OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_P = 0\%$)

図-6. 23 未知変量の取り扱い方法の違いによる影響

の推計精度も多少向上する傾向にある（図-6.18, 図-6.20）。一方、OD推移確率が変化せず、発生確率のみが変化する場合（図-6.22）には、発生交通量モデルの推計精度が高く、選択リンク数が $m=6$, $m=7$ と大きくなるにつれて、その傾向はさらに顕著となる。これは発生交通量モデルの場合、選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向があるのに対し、OD交通量モデルでは、選択リンク数が $m=5 \sim 6$ 本までは推計精度が向上する傾向にあるが、それ以上選択リンク数を多くしても推計精度の向上が見られないためである。

道路区間交通量に観測誤差 σ_x がある場合には、その大きさとOD分布パターンの変動の仕方によって推計特性が異なっており、発生交通量モデルは選択リンク数がある本数（ $m=7 \sim 8$ ）よりも多くなると急に推計精度が悪化する傾向にあるのに対し、OD交通量モデルはOD分布パターンの変動の大きさにもよるが、選択リンク数が多くなってもそれほど推計精度の悪化は見られない（図-6.19, 図-6.21, 図-6.23）。ただし、OD分布パターンが変化しない場合には、選択リンクの本数が多くなるとそれに応じて推計精度が悪化している。

なお、ここではモデルの定式化の考え方が等しい発生交通量モデルとOD交通量モデルの2つのモデルの推計誤差特性を比較したが、選択リンク数を等しくできるという点で、まったく同一条件の比較が可能である結合モデル2との比較を次に行う。

本節第2項の図-6.6～図-6.11の結果と、ここで示した図-6.18～図-6.23の結果は、まったく同一条件でのシミュレーション結果である。これらの図をそれぞれ比較すると、選択リンク数が少ない場合（ $m \leq 6$ ）にはOD分布パターンがどのように変化してもOD交通量モデルと結合モデル2の推計精度はほぼ等しく、それほど差はないが、選択リンク数が多くなると、全体として結合モデル2の推計精度の方が良いといえる。特に、OD分布パターンがOD推移確率型あるいは重力モデル型で変動する場合にその傾向が顕著であり、ランダム型変動の場合にはそれほど推計精度の差は大きくない。これは、結合モデル2が道路区間モデルと発生交通量モデルの両方を兼ね備えたモデルであり、選択リンク数が少ないときには発生交通量モデルの特性が強く、選択リンク数の増加に従って、道路区間モデルの特性が強くなるためである。すなわち、OD分布パターンが重力モデル的に変動する場合には、OD推移確率（目的地選択確率）の更新の効果が現われ、OD推移確率が変化せずに発生確率のみ変化する場合には、道路区間モデルの推計特性が現われるためと考えられる。

6.5 他の各種分析モデルとの関係

(1) χ^2 値最小化モデルとの関係

一般に、理論値（期待値）と観測値（調査値）の誤差を示す指標として、誤差2乗和（残差平方和）あるいは χ^2 値がよく用いられる。本章では、残差平方和最小化によりモデル定式化を行う2種類5タイプの分析モデルについて検討を行った。しかし、同様の考え方を取り入れれば、 χ^2 値最小化によりモデル定式化を行うことも可能である。すなわち、OD交通量に関する残差平方和最小化モデルは、式(6-1)に示す残差平方和を目的関数として用いたが、 χ^2 値最小化モデルでは目的関数を式(6-

69) に示すような χ^2 値の形とすれば、同一の制約条件式 (式 (6-2), 式 (6-3)) を設定することにより同様にモデル定式化を行うことができる。ただし、トータル交通量 T を未知変量としない場合には、式 (6-68) に示す目的関数を道路区間交通量の制約条件式 (6-2) のもとで最小化する最適化問題となる。ここで、トータル交通量 T を未知変量としない場合を OD χ^2 値最小化法 1、トータル交通量 T を未知変量とする場合を OD χ^2 値最小化法 2 と呼ぶことにする。

目的関数

$$W_T = \sum_i \sum_j \frac{(T_{ij} - t_{ij}^*)^2}{T_{ij}} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-68)$$

目的関数

$$W_T = \sum_i \sum_j \frac{(T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2}{T \cdot q_{ij}} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-69)$$

この2つの最適化問題の解法は、どちらもラグランジェの未定乗数法を用いることにより行うことはできるが、非線形最適化となるため、残差平方和最小化モデルのように連立一次方程式の解法という簡単な方法では解を求めることはできない。そこで、繰り返し計算を用いた近似解法によって解くことを考える。

まず、トータル交通量 T を未知変量としない OD χ^2 値最小化法 1 の場合は、その目的関数 (式 (6-68)) が不規則変動のみを考慮する最尤法モデル (第5章で示した井上の推計法 1、あるいは OD 推計法 1) の目的関数 (式 (5-11)、あるいは式 (5-14)) と類似しているため、式 (6-68) の分母 (T_{ij}) を n 回目の推計値 $T_{ij}^{(n)}$ で近似することによって問題を線形化して解けばよい。この場合、推計 OD 交通量の初期値 $T_{ij}^{(0)}$ としては、既存 OD 交通量 t_{ij}^* を代入する方法が一般的である。

また、トータル交通量 T を未知変量とする OD χ^2 値最小化法 2 の場合も同様に、式 (6-69) の分母 ($T \cdot q_{ij}$) を推計値で近似して問題を残差平方和最小化問題とすればよい。そうすれば、本章第2節で記述した OD 交通量の残差平方和最小化モデルの解法とまったく同様な方法により連立一次方程式を繰り返し解くだけで、OD 交通量 $T_{ij}^{(n+1)}$ を推計することができる。

OD χ^2 値最小化法 2 の近似解法の手順は、次のようになる。ただし、 (n) は繰り返し計算 (修正) 回数を示す。

- ① OD 交通量の初期値を設定する。

$$T_{ij}^{(0)} = t_{ij}^* \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

- ② 式 (6-70) の連立一次方程式を解いて式 (6-71) に代入し、OD 交通量 $T_{ij}^{(n+1)}$ の修正を行う。

- ③ $T_{ij}^{(n+1)}$ が収束したならば④へ進む。収束しないならば、②に戻って計算を繰り返す。

- ④ 求まった $T_{ij}^{(n+1)}$ を推計 OD 交通量 T_{ij} とする。

$$\begin{bmatrix}
 \frac{E_{11}^{(n)}}{2} & \frac{E_{12}^{(n)}}{2} & \cdots & \frac{E_{1n}^{(n)}}{2} & C_1 & \frac{D_1^{(n)}}{2} \\
 \frac{E_{21}^{(n)}}{2} & \frac{E_{22}^{(n)}}{2} & \cdots & \frac{E_{2n}^{(n)}}{2} & C_2 & \frac{D_2^{(n)}}{2} \\
 \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \frac{E_{n1}^{(n)}}{2} & \frac{E_{n2}^{(n)}}{2} & \cdots & \frac{E_{nn}^{(n)}}{2} & C_n & \frac{D_n^{(n)}}{2} \\
 C_1 & C_2 & \cdots & C_n & 0 & 0 \\
 D_1^{(n)} & D_2^{(n)} & \cdots & D_n^{(n)} & 0 & -\sum_i \sum_j T_{ij}^{(n)}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \lambda_1^{(n+1)} \\
 \lambda_2^{(n+1)} \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \lambda_n^{(n+1)} \\
 T^{(n+1)} \\
 \nu^{(n+1)}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 X_1^* \\
 X_2^* \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 X_n^* \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}
 \quad (6-70)$$

$$T_{ij}^{(n+1)} = T^{(n+1)} \cdot q_{ij} + \frac{T_{ij}^{(n)}}{2} (\nu^{(n+1)} - \sum_k \lambda_k^{(n+1)} \cdot p_{ij}^k) \quad (6-71)$$

ただし、 $C_k \equiv \sum_i \sum_j q_{ij} \cdot p_{ij}^k$, $D_k^{(n)} \equiv \sum_i \sum_j T_{ij}^{(n)} \cdot p_{ij}^k$, $E_{hk}^{(n)} \equiv \sum_i \sum_j p_{ij}^h \cdot p_{ij}^k \cdot T_{ij}^{(n)}$ とおく。

道路区間交通量およびOD交通量の総 χ^2 値最小化モデルの場合も同様に、式(6-17)に示す残差平方和の目的関数を式(6-72)のように χ^2 値の形とすればよい。ただし、制約条件式(式(6-18))は同じである。

目的関数

$$W_{TX} = \sum_i \sum_j \frac{(T_{ij} - T \cdot q_{ij})^2}{T \cdot q_{ij}} + \sum_k \frac{(\sum_i \sum_j T_{ij} \cdot p_{ij}^k - RX_n)^2}{RX_n} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-72)$$

しかし、この最適化問題をラグランジェの未定乗数法で解くと、式の数が $(n^2 + 2)$ 個の非線形連立方程式となるため、実際に解くのは非常に困難と思われる。したがって、この χ^2 値最小化によるモデルの定式化は可能であるが、実際の適用性は低いといえる。

発生交通量を未知変量とした χ^2 値最小化モデルの場合も同様である。式(6-27)に示す残差平方和の目的関数を χ^2 値の形(式(6-73))に置き換え、この式(6-73)を最小にする発生交通量 A_i を求めればよい。

目的関数

$$W_X = \sum_k \frac{(\sum_i \sum_j A_i \cdot f_{ij} p_{ij}^k - X_k^*)^2}{X_k^*} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-73)$$

すなわち、 W_X を A_j で偏微分して零(0)とおいた連立一次方程式(式(6-74))を解けばよい。 $Q_{ki} \equiv \sum_j f_{ij} p_{ij}^k$ とおくと次のようになる。

$$\frac{\partial W_X}{\partial A_j} = \sum_k \frac{2(\sum_i A_i \cdot Q_{ki} - X_k^*) \cdot Q_{kj}}{X_k^*} = 2 \sum_k \frac{\sum_i A_i \cdot Q_{ki} \cdot Q_{kj}}{X_k^*} - 2 \sum_k Q_{kj}$$

$$= 2 \left\{ \sum_i A_i \left(\sum_k \frac{Q_{ki} \cdot Q_{kj}}{X_k^*} \right) - \sum_k Q_{kj} \right\} = 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6-74)$$

ここで、 $K_{ji} \equiv \sum_k \frac{Q_{ki} \cdot Q_{kj}}{X_k^*}$ 、 $M_j \equiv \sum_k Q_{kj}$ とおくと、式(6-74)は式(6-75) (マトリックスで示すと式(6-76)となる)となる。

$$2(\sum_i A_i K_{ji} - M_j) = 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6-75)$$

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \cdots & K_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ K_{n1} & K_{n2} & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ M_n \end{bmatrix} \quad (6-76)$$

発生交通量の χ^2 値最小化モデルの場合は、式(6-31)に示す残差平方和の目的関数を χ^2 値の形に置き換えて、同一の制約条件式(式(6-32)、式(6-33))で解けばよい。

目的関数

$$W_A = \sum_i \frac{(A_i - T \cdot f_i)^2}{T \cdot f_i} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-77)$$

この最適化問題をラグランジュの未定乗数法を用いて解くと非線形となるため、OD交通量の χ^2 値最小化モデルの場合と同様に繰り返し計算を用いた近似解法を用いて解く必要がある。

近似解法の手順を示すと、次のようになる。ただし、(n)は繰り返し計算(修正)回数を示す。

① 発生交通量の初期値を設定する。

$$A_i^{(0)} = a_i^* \quad (i, j=1, 2, \dots, n)$$

② 式(6-78)の連立一次方程式を解いて発生交通量 $A_i^{(n+1)}$ を修正する。

③ $A_i^{(n+1)}$ が収束したならば④のステップへ進む。収束しないならば、②に戻って計算を繰り返す。

④ 求めた $A_i^{(n+1)}$ を式(6-23)に代入してOD交通量 T_{ij} を推計する。

$$\begin{bmatrix}
 \frac{2}{A_1^{(n)}} & 0 & \cdots & 0 & -\frac{f_1}{A_1^{(n)}} & Q_{11} & \cdots & Q_{m1} & \cdots & -1 \\
 0 & \frac{2}{A_2^{(n)}} & \cdots & 0 & -\frac{f_2}{A_2^{(n)}} & Q_{12} & \cdots & Q_{m2} & \cdots & -1 \\
 \cdot & \cdot \\
 0 & 0 & \cdots & \frac{2}{A_n^{(n)}} & -\frac{f_n}{A_n^{(n)}} & Q_{1n} & \cdots & Q_{mn} & \cdots & -1 \\
 \frac{2f_1}{A_1^{(n)}} & \frac{2f_2}{A_2^{(n)}} & \cdots & \frac{2f_n}{A_n^{(n)}} & -2\sum_i \frac{f_i^2}{A_i^{(n)}} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & -1 \\
 Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1n} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 Q_{m1} & Q_{m2} & \cdots & Q_{mn} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
 1 & 1 & \cdots & 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 A_1^{(n+1)} \\
 A_2^{(n+1)} \\
 \cdot \\
 A_n^{(n+1)} \\
 T^{(n+1)} \\
 \lambda_l^{(n+1)} \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \lambda_m^{(n+1)} \\
 \nu^{(n+1)}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 \cdot \\
 0 \\
 0 \\
 X_l^* \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 X_m^* \\
 0
 \end{bmatrix}$$

(6-78)

道路区間交通および発生交通量の総 χ^2 値最小化モデルの場合は、式(6-40)に示す残差平方和の目的関数を式(6-79)に示すような χ^2 値の形にしてモデル化を行うえばよい。制約条件は同じ式(6-41)となる。

目的関数

$$W_{AX} = \sum_k \frac{(\sum_{ij} A_i \cdot f_{ij} p_{ij}^k - X_k^*)^2}{X_k^*} + \sum_i \frac{(A_i - T \cdot f_i)^2}{T \cdot f_i} \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-79)$$

ラグランジュの未定乗数法を用いて解くとラグランジュ関数 L_{AX} は次のようになる。 ν はラグランジュの未定乗数である。

$$L_{AX} = \sum_k \frac{(\sum_{ij} A_i \cdot f_{ij} p_{ij}^k - X_k^*)^2}{X_k^*} + \sum_i \frac{(A_i - T \cdot f_i)^2}{T \cdot f_i} + \nu(T - \sum_i A_i) \quad (6-80)$$

L_{AX} を未知変数である A_j , T および ν で偏微分して零(0)とおくと次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L_{AX}}{\partial A_j} &= \sum_k \frac{2(\sum_i A_i \cdot Q_{ki} - X_k^*) \cdot Q_{kj}}{X_k^*} + \sum_i \frac{2(A_j - T \cdot f_j)}{T \cdot f_j} - \nu \\
 &= 2\sum_k \sum_i A_i \frac{Q_{ki} \cdot Q_{kj}}{X_k^*} - 2\sum_k Q_{kj} + 2\frac{A_j}{T \cdot f_j} - 2 - \nu
 \end{aligned}$$

$$= 2 \sum_i A_i K_{ji} - 2 M_j + 2 \frac{A_j}{T \cdot f_j} - 2 - \nu = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6-81)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_{AX}}{\partial T} &= - \sum_i \frac{A_i^2}{T^2 \cdot f_i} + \sum_i f_i + \nu \\ &= - \frac{1}{T^2} \sum_i \frac{A_i^2}{f_i} + \sum_i f_i + \nu = 0 \end{aligned} \quad (6-82)$$

$$\frac{\partial L_{AX}}{\partial \nu} = T - \sum_i A_i = 0 \quad (6-83)$$

したがって、式(6-81)～式(6-83)で表わされる $(n+2)$ 個の非線形連立方程式を解かなければならない。ゆえに、ネットワークが大規模になると、数学的に解を求めることはかなり困難となる。よって、実際の適用性は低いと考えられる。

以上、示したように、 χ^2 値最小化モデルは残差平方和最小化モデルと同様にしてモデル定式化を行うことが可能であるが、残差平方和最小化モデルの場合は連立一次方程式を解くだけで解を求めることができるが、 χ^2 値最小化モデルではそのほとんどが非線形連立方程式となるため、近似的な繰り返し計算を用いるなど、解法が多少面倒であるといえる。

(2) エントロピー最大化モデルとの関係²³⁾

まず、Willumsenのエントロピー法について考える。Willumsenはトータル交通量 T が一定であるとして省略し、次の目的関数を導いている²⁴⁾。

$$\log S_1 = - \sum_i \sum_j T_{ij} \left(\log \frac{T_{ij}}{t_{ij}^*} - 1 \right) \Rightarrow \text{Max.} \quad (6-84)$$

さらに、Willumsenは式(6-84)を変形し、式(6-85)に示す関数を設定している。

$$\log S_2 = \sum_i \sum_j T_{ij} \left(\log \frac{T_{ij}}{t_{ij}^*} \right) - T_{ij} + t_{ij}^* \Rightarrow \text{Min.} \quad (6-85)$$

式(6-85)は既存OD交通量 t_{ij}^* と推計OD交通量 T_{ij} の相対的なずれの尺度を表わしたものであり、 $T_{ij} = t_{ij}^*$ ならば、 $\log S_2 = 0$ となる。

ここで、 $\log x$ の α の近傍でのテイラー級数(式(6-86))を利用して、 $\log S_2$ を展開すると式(6-87)のように近似できる²⁵⁾。ただし、 $\alpha = 1$ とする。

$$\log x \approx \left(\frac{x-\alpha}{x} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{x-\alpha}{x} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{x-\alpha}{x} \right)^3 + \dots \quad (6-86)$$

$$\log S_2 \approx \sum_i \sum_j \left\{ T_{ij} \left(\frac{T_{ij}/t_{ij}^* - 1}{T_{ij}/t_{ij}^*} \right) + \frac{T_{ij}}{2} \left(\frac{T_{ij}/t_{ij}^* - 1}{T_{ij}/t_{ij}^*} \right)^2 - T_{ij} + t_{ij}^* \right\}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_i \sum_j \left\{ T_{ij} \left(\frac{t_{ij}^*}{T_{ij}} \cdot \frac{T_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*} \right) + \frac{T_{ij}}{2} \left(\frac{t_{ij}^*}{T_{ij}} \cdot \frac{T_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*} \right)^2 - T_{ij} + t_{ij}^* \right\} \\
&= \sum_i \sum_j \left\{ T_{ij} - t_{ij}^* + \frac{1}{2} \cdot \frac{(T_{ij} - t_{ij}^*)^2}{T_{ij}} - T_{ij} + t_{ij}^* \right\} \\
&= \sum_i \sum_j \frac{1}{2} \cdot \frac{(T_{ij} - t_{ij}^*)^2}{T_{ij}} \quad \Leftrightarrow \quad \text{Min.} \quad (6-87)
\end{aligned}$$

つまり、Willumsen のエントロピー法は、OD交通量の既存値 t_{ij}^* と推計値 T_{ij} の相対的乖離度を示す χ^2 値を目的関数として設定した χ^2 値最小化モデル (式 (6-68)) と同値であるといえることができる。

しかし、一般にはトータル交通量 T は未知であるため、Willumsen のエントロピー法のように目的関数より除外して定式化を行う方法には問題が残るといえる。トータル交通量 T を未知変量としてモデル定式化を行うと、ここで示したように χ^2 値最小化モデルの目的関数を簡単に導くことはできないが、本質的には χ^2 値最小化モデルと類似したモデルであると考えられる。

(3) 情報量最小化モデルとの関係²⁶⁾

情報量理論においては、エントロピーの最大化と情報量の最小化は同値であり、「あいまいさ」を表わすエントロピーの減少は情報量の増加を意味している²⁷⁾。したがって、第4章で示した情報量最小化モデルは、本質的にはエントロピー最大化モデルであり、第3章で示したエントロピー最大化モデルとの違いは、着目するトリップの同時生起確率が異なっている点にある。つまり、エントロピー最大化モデルではトータル交通量 T に対するOD交通量 T_{ij} (あるいは発生交通量 A_i) の同時生起確率に着目しているのに対し、情報量最小化モデルでは道路区間交通量 X_k (あるいはスクリーンライン交通量 SX_l) に対するOD交通量 T_{ij} の同時生起確率に着目している点が異なっている²⁸⁾。その結果、この2つのモデルは基本的な考え方は同じであるが、トリップ分布の着目点が異なるために、制約条件およびモデル構造が異なり、それゆえそれぞれの推計特性も異なる場合があると考えられる。

(4) 最尤法モデルとの関係²⁹⁾

交通量変動のどの変動特性を考慮するかにより最尤法モデルのモデル定式化も異なるが、不規則変動のみを考慮する最も単純な場合を考えると、OD交通量の同時生起確率密度は式 (5-10) で表わされる。式 (5-10) におけるOD交通量の母平均 μ_{ij} および母分散 σ_{ij}^2 を調査OD交通量 t_{ij}^* で便宜的に置き換えると (式 (5-13))、この問題は調査OD交通量 t_{ij}^* の標本誤差を実測の道路区間交通量を用いて修正する問題と考えることができる³⁰⁾。この場合の目的関数は式 (5-14) となる。すなわち、式 (5-14) はトータル交通量を一定としたOD交通量に関する χ^2 値最小化モデルの目的関数と類似した形である。ゆえに、不規則変動のみを考慮する最尤法モデルは Willumsen のエントロピー法とも類似したモデルであると考えられる。

$$P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn}) = P(t_{11}) \cdot P(t_{12}) \cdot \dots \cdot P(t_{nn}) P(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn})$$

$$= \prod_{ij} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} \quad (5-10)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha_{ij} \cdot \mu_{ij} = \alpha_{ij} \cdot t_{ij}^* \quad (5-13)$$

ここで、 α_{ij} ；OD交通量 t_{ij} ごとに定まるパラメータである。

$$Q = \sum_i \sum_j \frac{(t_{ij} - t_{ij}^*)^2}{\alpha_{ij} \cdot t_{ij}^*} \Rightarrow \text{Min.} \quad (5-14)$$

6. 6 各種分析モデルの推計誤差特性の比較分析

(1) シミュレーションの方法

本章第5節では、残差平方和最小化モデルと他の分析モデル（ χ^2 値最小化モデル、エントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデル）のモデル構造から見た理論的關係を簡単に考察した。その結果、Willumsenのエントロピー法はモデル定式化の考え方は異なるが、OD交通量に関する χ^2 値最小化モデルおよび不規則変動のみを考慮した最尤法モデルと類似した推計特性を持つことが予想された。しかし、道路区間交通量に観測誤差がある場合や道路区間利用率に先決誤差がある場合の影響を理論的に考察することはかなり困難であると考えられる。そこで、本節では本章第4節で用いた方法とまったく同様のシミュレーション方法により、エントロピー最大化モデル（Willumsenの方法、改良Willumsen法、発生エントロピー法L型）、情報量最小化モデル（IMA法L型）、最尤法モデル（OD推計法1）、 χ^2 値最小化法モデル（OD χ^2 値最小化法1、OD χ^2 値最小化法2）および残差平方和最小化モデル（OD交通量モデル、道路区間モデル、発生交通量モデル、結合モデル2）の推計誤差特性を比較検討し、それぞれのモデルの類似性を実証する。ただし、未知変量をOD交通量とする場合と発生交通量とする場合では、推計誤差特性に相違があると考えられるので、ここではそれぞれ区別して比較する。

(2) モデル構造の相違による推計誤差比較

OD交通量を未知変量とする場合のシミュレーション結果をそれぞれ表-6.6～表-6.11に示す。表-6.6および表-6.9はOD分布パターンがランダムに変動する場合を想定して行ったシミュレーション結果であり、道路区間交通量に観測誤差 σ_x がない場合を表-6.6（ $\sigma_x = 0\%$ ）に、観測誤差 σ_x がある場合を表-6.9（ $\sigma_x = 10\%$ ）に示した。また、表-6.7（ $\sigma_x = 0\%$ ）、表-6.10（ $\sigma_x = 10\%$ ）はOD分布パターンが重力モデルに従って変動する場合を想定したシミュレーション結果であり、表-6.8（ $\sigma_x = 0\%$ ）、表-6.11（ $\sigma_x = 10\%$ ）はOD推移確率が安定しており、発生確率（発生交通量の生起確率）が変動する場合を想定したシミュレーション結果である。

ただし、道路区間利用率の先決誤差 σ_p はないもの ($\sigma_p = 0\%$) とし、いずれも OD 交通量データ 1 を用いて行った推計結果である。

これらのシミュレーション結果を比較すると、既存 OD 交通量 t_{ij}^* のトータル交通量 t と推計 OD 交通量 T_{ij} のトータル交通量 T に差がある場合 (b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$) と差がない場合 (a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$) ではそれぞれ分析モデルの誤差特性 (推計特性) が異なっていることがわかる。

そこでまず、道路区間交通量に観測誤差がない場合 (表-6.6~表-6.8, $\sigma_x = 0\%$) について、各分析モデルの推計特性を比較する。表-6.6より、既存 OD 調査時と推計時のトータル交通量に差がない場合 (a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$) には、トータル交通量の制約条件を導入しても、導入しなくてもほとんど推計精度に差は見られないが、トータル交通量に差がある場合 (b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$) にはかなり推計精度の差が大きく、トータル交通量の制約条件を導入しない Willumsen の方法、IMA 法 L 型 (選択リンク数 $m = 6$)、OD χ^2 値最小化法 1、最尤法 (OD 推計法 1) の方が、トータル交通量の制約条件を導入する改良 Willumsen 法、OD χ^2 値最小化法 2 に比べて相対的に推計精度が悪いといえる。また、モデル構造の相違による推計精度の差を比較すると、トータル交通量に差がない場合 ($\kappa = 1.0$) には OD 残差平方和最小化法 (OD 交通量モデル) を除けばほとんど推計精度が等しく、トータル交通量に差がある場合 ($\kappa = 1.4$) でも、選択リンク数 m が少ない場合 ($m = 6$) には、Willumsen の方法、IMA 法 L 型、OD χ^2 値最小化法 1、最尤法 (OD 推計法 1) の各分析モデルの推計精度が等しいといえる。しかし、トータル交通量に差があり、しかも選択リンク数が多い場合 ($m = 24$) には、Willumsen の方法、OD χ^2 値最小化法 1、最尤法 (OD 推計法 1) の各分析モデルの推計精度には多少差が見られ、類似したモデルとはいえない面がある。これは、トータル交通量に差がある場合、式 (6-87) で示した $\alpha = 1$ の近傍での $\log(T_{ij}/t_{ij}^*)$ のテイラー級数による近似が成立しないために、推計精度に差がでるものと考えられる。ただし、トータル交通量に関する制約条件式を導入すれば、エントロピー法も χ^2 値最小化法もほぼ等しい推計精度となることより、やはり両モデルは類似したモデルと考えられる。なお、トータル交通量の制約条件を導入する改良 Willumsen 法、OD χ^2 値最小化法 2、OD 残差平方和最小化法の各分析モデルは、トータル交通量に差がある場合も差がない場合も推計結果はまったく等しくなる。

これらの特性は、OD パターンがランダム的に変化した場合のシミュレーション結果であるが、OD パターンが重力モデル的に変化する場合 (表-6.7) も、また OD 推移確率が変化せず発生確率のみが変化する場合 (表-6.8) もほぼ同様である。しかも、道路区間交通量に観測誤差がある場合 (表-6.9~表-6.11, $\sigma_x = 10\%$) についても、これらの推計特性は同様であり、異なるのは観測誤差がない場合 (表-6.6~表-6.8, $\sigma_x = 0\%$) に比べて、いずれのモデルも推計誤差が相対的に大きくなっている点だけである。

次に、道路区間利用率の先決誤差 σ_p が各分析モデルの推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、Dial 確率配分法の配分パラメータ $E\theta$ を変化させてシミュレーションを行った。ただし、本研究では実際の配分パラメータ $R\theta$ を $R\theta = 0.5$ とし、推計時の配分パラメータ $E\theta$ を 5 通り ($E\theta = 0.05, E\theta = 0.25, E\theta = 0.50, E\theta = 0.75, E\theta = 2.00$) 設定してシミュレーションを行った。

表-6. 6 モデル構造の相違による推計精度比較 (ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$ · $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差) シミュレーションの回数	$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$					平均		
	0%					0%							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
乱数発生による相対誤差	0.0	22.8	18.4	16.9	19.9	17.2	19.0	43.1	25.2	34.6	35.9	40.1	36.0
Willumsenの方法 m=24	0.0	16.7	11.4	12.3	13.9	11.5	13.2	25.1	18.5	18.4	20.7	27.0	21.9
改良Willumsenの方法 m=24	0.0	16.7	11.4	12.3	13.9	11.5	13.2	25.1	18.6	18.5	20.7	27.3	22.0
IMA法L型 m=24	0.0	15.6	11.8	11.2	13.5	12.1	12.8	23.4	17.3	18.4	19.0	26.6	21.0
OD χ^2 縮小化法1 m=24	0.0	16.9	11.3	11.2	13.9	11.5	13.0	26.5	18.6	18.4	21.2	27.6	22.5
OD χ^2 縮小化法2 m=24	0.0	16.9	11.4	12.3	14.0	11.5	13.2	26.8	19.3	18.1	21.3	27.5	22.6
最尤法 (OD推計法1) m=24	0.0	16.5	11.6	12.4	13.9	11.5	13.2	23.9	18.5	18.9	20.5	26.9	21.7
OD残差平方和縮小化法 m=24	0.0	25.3	20.7	19.3	22.3	20.0	21.5	43.3	31.1	37.4	43.5	36.2	38.3
Willumsenの方法 m=6	0.0	21.4	17.6	16.0	18.3	15.4	17.7	43.1	23.9	30.4	32.7	35.6	33.2
改良Willumsenの方法 m=6	0.0	21.2	17.5	16.6	18.3	17.4	18.2	44.3	24.8	30.2	34.1	36.2	33.9
IMA法L型 m=6	0.0	21.4	17.6	16.0	18.3	15.4	17.7	43.1	23.9	30.4	32.7	35.6	33.2
OD χ^2 縮小化法1 m=6	0.0	21.4	17.5	16.0	18.3	15.4	17.7	43.1	23.9	30.4	32.7	35.7	33.2
OD χ^2 縮小化法2 m=6	0.0	21.2	17.4	16.3	18.4	16.8	18.0	43.7	25.1	30.2	32.7	35.9	33.5
最尤法 (OD推計法1) m=6	0.0	21.4	17.6	16.0	18.3	15.4	17.7	43.1	23.9	30.4	32.8	35.5	33.1
OD残差平方和縮小化法 m=6	0.0	25.6	19.2	18.7	20.5	21.3	21.1	45.4	24.7	32.0	40.0	35.7	35.6

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差) シミュレーションの回数	$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$					平均		
	0%					0%							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
乱数発生による相対誤差	40.0	42.2	44.0	41.4	40.3	42.9	42.2	48.5	45.4	42.8	44.1	42.3	44.6
Willumsenの方法 m=24	19.0	25.1	24.2	23.4	26.2	22.3	24.3	32.9	30.9	25.6	22.8	30.2	28.5
改良Willumsenの方法 m=24	0.0	16.7	11.4	12.3	13.9	11.5	13.2	25.1	18.6	18.5	20.7	27.3	22.0
IMA法L型 m=24	0.0	15.6	11.8	11.2	13.5	12.1	12.8	23.4	17.3	18.4	19.0	26.6	21.0
OD χ^2 縮小化法1 m=24	25.8	30.7	28.6	29.0	34.3	27.3	30.0	40.7	36.8	30.1	35.4	34.9	35.6
OD χ^2 縮小化法2 m=24	0.0	16.9	11.4	12.3	14.0	11.5	13.2	26.8	19.3	18.1	21.3	27.5	22.6
最尤法 (OD推計法1) m=24	15.8	22.1	21.6	20.5	22.3	19.6	21.5	30.2	28.5	24.7	26.2	28.9	27.7
OD残差平方和縮小化法 m=24	0.0	25.3	20.7	19.3	22.3	20.0	21.5	43.3	31.1	37.4	43.5	36.2	38.3
Willumsenの方法 m=6	31.4	35.8	34.3	32.5	35.4	31.3	33.9	42.2	38.7	40.8	37.3	39.3	39.7
改良Willumsenの方法 m=6	0.0	21.2	17.5	16.6	18.3	17.4	18.2	44.3	24.8	30.2	34.1	36.2	33.9
IMA法L型 m=6	31.4	35.8	34.3	32.5	35.4	31.3	33.9	42.2	38.7	40.8	37.3	39.3	39.7
OD χ^2 縮小化法1 m=6	31.4	35.8	34.3	32.5	35.4	31.3	33.9	42.2	38.7	40.8	37.3	39.3	39.7
OD χ^2 縮小化法2 m=6	0.0	21.2	17.4	16.3	18.4	16.8	18.0	43.7	25.1	30.2	32.7	35.9	33.5
最尤法 (OD推計法1) m=6	31.4	35.8	34.3	32.5	35.4	31.3	33.9	42.3	38.7	40.8	37.4	39.2	39.7
OD残差平方和縮小化法 m=6	0.0	25.6	19.2	18.7	20.5	21.3	21.1	45.4	24.7	32.0	40.0	35.7	35.6

表-6.7 モデル構造の相違による推計精度比較 (重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 0\%$ · $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\%$ · $\sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 40\%$ · $\sigma_B = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	0.0	26.0	31.3	19.1	38.8	20.6	27.2	54.9	39.8	40.9	80.2	40.6	51.3
乱数発生による相対誤差													
Wiliumsenの方法 m=24	0.0	17.7	17.2	10.0	22.3	9.1	15.3	38.3	19.4	22.0	34.0	17.9	26.3
改良Wiliumsen法 m=24	0.0	18.0	17.3	10.0	22.5	9.1	15.4	39.1	19.5	22.0	34.3	17.9	26.6
IMA法L型 m=24	0.0	18.1	17.7	10.4	26.0	10.8	16.6	38.9	18.7	23.2	40.4	21.3	28.5
ODx ² 縮小化法1 m=24	0.0	18.1	17.8	10.4	22.3	9.6	15.6	41.1	19.6	24.2	37.5	20.0	28.5
ODx ² 縮小化法2 m=24	0.0	18.0	17.6	10.5	21.8	9.6	15.5	39.6	19.8	23.9	33.5	20.2	27.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	0.0	17.6	16.9	9.9	22.8	8.7	15.2	37.8	20.4	21.5	35.6	16.7	26.4
OD残差平方和縮小化法 m=24	0.0	26.8	36.1	22.2	29.2	22.9	27.5	57.7	55.8	47.4	59.2	53.7	54.8
Wiliumsenの方法 m=6	0.0	24.9	28.7	14.9	33.0	20.5	24.4	52.0	38.3	30.5	65.4	44.0	46.0
改良Wiliumsen法 m=6	0.0	24.7	39.5	17.0	35.8	22.1	27.8	50.4	58.1	32.9	71.0	48.4	52.2
IMA法L型 m=6	0.0	24.9	28.7	14.9	33.0	20.5	24.7	52.0	38.3	30.5	65.4	44.0	46.0
ODx ² 縮小化法1 m=6	0.0	24.9	28.7	15.0	33.0	20.5	24.4	51.9	38.3	30.5	65.3	44.0	46.1
ODx ² 縮小化法2 m=6	0.0	24.6	39.1	18.1	34.8	22.0	27.7	49.3	56.9	36.2	67.4	48.1	51.6
最尤法 (OD推計法1) m=6	0.0	25.0	28.7	14.9	33.0	20.5	24.4	52.3	38.3	20.5	65.6	44.0	46.1
OD残差平方和縮小化法 m=6	0.0	24.6	43.4	22.3	37.4	23.3	30.2	51.4	63.4	41.7	72.0	51.8	56.1

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\%$ · $\sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 40\%$ · $\sigma_B = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	40.0	43.7	42.6	42.0	41.3	45.9	43.1	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	51.7
乱数発生による相対誤差													
Wiliumsenの方法 m=24	19.0	22.7	23.7	23.2	26.2	22.0	23.5	37.0	26.4	29.8	35.0	26.3	30.9
改良Wiliumsen法 m=24	0.0	18.0	17.3	10.0	22.5	9.1	15.4	39.1	19.5	22.0	34.3	17.9	26.6
IMA法L型 m=24	0.0	18.1	17.7	10.4	26.0	10.8	16.6	38.9	18.7	23.2	40.4	21.3	28.5
ODx ² 縮小化法1 m=24	25.8	28.8	27.9	30.6	29.5	27.2	28.8	41.4	30.3	38.1	34.0	32.9	35.3
ODx ² 縮小化法2 m=24	0.0	18.0	17.6	10.5	21.8	9.6	15.5	39.6	19.8	23.9	33.5	20.2	27.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	15.8	20.8	21.8	19.9	27.9	19.3	21.9	37.8	25.2	28.9	43.8	26.2	32.4
OD残差平方和縮小化法 m=24	0.0	26.8	36.1	22.2	29.2	22.9	27.5	57.7	55.8	47.4	59.2	53.7	54.8
Wiliumsenの方法 m=6	31.4	37.6	30.3	35.2	37.0	32.6	34.7	51.4	31.3	43.7	53.8	40.9	44.2
改良Wiliumsen法 m=6	0.0	24.7	39.5	17.0	35.8	22.1	27.8	50.4	58.1	32.9	71.0	48.4	52.2
IMA法L型 m=6	31.4	37.6	30.3	36.2	37.0	32.6	34.7	51.4	31.3	43.7	53.8	40.9	44.2
ODx ² 縮小化法1 m=6	31.4	37.5	30.3	36.2	37.0	32.6	34.7	51.2	31.3	43.7	53.7	40.9	44.2
ODx ² 縮小化法2 m=6	0.0	24.6	39.1	18.1	34.8	22.0	27.7	49.3	56.9	36.2	67.4	48.1	51.6
最尤法 (OD推計法1) m=6	31.4	37.6	30.3	36.2	37.0	32.6	34.7	51.6	31.3	43.7	54.1	40.9	44.3
OD残差平方和縮小化法 m=6	0.0	24.6	43.4	22.3	37.4	23.3	30.2	51.4	63.4	41.7	72.0	51.8	56.1

表一6. 8 モデル構造の相違による推計精度比較 (OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_Y = 0\%$ · $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$					$\sigma_A = 40\% \cdot \sigma_F = 0\%$							
	0%	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
シミュレーションの回数	0.0	16.0	22.1	13.2	25.8	15.1	18.4	33.3	28.4	28.0	47.8	29.4	33.4
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=24	0.0	5.6	7.5	4.1	8.0	3.6	5.8	11.9	8.8	8.8	11.4	7.3	9.6
改良Willumsen法 m=24	0.0	5.7	7.6	4.1	8.1	3.6	5.8	12.3	8.8	8.8	11.5	7.3	9.7
IMA法L型 m=24	0.0	6.8	8.4	4.9	10.6	5.4	7.2	14.0	10.3	10.3	16.7	10.5	12.4
OD \times 2縮小化法1 m=24	0.0	6.0	8.6	4.5	8.9	3.8	6.4	14.1	9.6	11.0	13.4	8.7	11.4
OD \times 2縮小化法2 m=24	0.0	5.8	8.5	4.5	8.6	3.9	6.3	13.1	10.2	11.0	13.2	9.3	11.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	0.0	5.2	7.0	3.9	7.7	3.5	5.5	10.5	8.4	7.8	13.2	6.9	9.4
OD残差平方和最小化法 m=24	0.0	17.3	22.4	14.7	23.6	15.0	18.6	35.8	33.7	31.0	40.9	31.7	34.6
Willumsenの方法 m=6	0.0	14.3	18.0	10.2	21.0	13.4	15.4	29.3	24.3	20.8	37.5	28.7	28.1
改良Willumsen法 m=6	0.0	14.6	23.5	11.0	21.8	14.4	17.0	28.9	34.3	21.7	39.5	31.2	28.1
IMA法L型 m=6	0.0	14.3	18.0	10.2	21.0	13.4	15.4	29.3	24.3	20.8	37.5	28.7	28.1
OD \times 2縮小化法1 m=6	0.0	14.3	18.0	10.2	21.0	13.4	15.4	29.2	24.3	21.1	37.5	28.6	28.1
OD \times 2縮小化法2 m=6	0.0	14.8	22.0	11.5	21.4	14.2	16.8	29.2	30.9	23.7	37.5	30.5	30.4
最尤法 (OD推計法1) m=6	0.0	14.4	18.0	10.1	21.0	13.4	15.4	29.4	24.3	20.7	37.5	28.7	28.1
OD残差平方和最小化法 m=6	0.0	16.6	26.5	14.7	22.5	15.2	19.1	32.7	38.3	29.0	40.4	33.1	34.7

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$					$\sigma_A = 40\% \cdot \sigma_F = 0\%$							
	0%	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
シミュレーションの回数	40.0	41.9	40.4	41.2	37.5	45.2	41.2	46.1	44.4	44.2	41.6	50.8	45.4
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=24	19.0	18.5	19.9	20.3	19.4	20.3	19.7	18.5	20.7	21.3	27.8	21.1	21.9
改良Willumsen法 m=24	0.0	5.7	7.6	4.1	8.1	3.6	5.8	12.3	8.8	8.8	11.5	7.3	9.7
IMA法L型 m=24	0.0	6.8	8.4	4.9	10.6	5.4	7.2	14.0	10.3	10.4	16.7	10.5	12.4
OD \times 2縮小化法1 m=24	25.8	25.3	25.6	27.4	25.7	26.3	26.0	25.2	27.6	30.3	32.2	38.9	28.8
OD \times 2縮小化法2 m=24	0.0	5.8	8.5	4.5	8.6	3.9	6.3	13.1	10.2	11.0	13.2	9.3	11.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	15.8	15.1	17.0	16.4	17.4	16.9	16.6	16.5	18.0	18.1	23.0	19.1	19.0
OD残差平方和最小化法 m=24	0.0	17.3	22.4	14.7	23.6	15.0	18.6	35.8	33.7	31.0	40.9	31.7	34.6
Willumsenの方法 m=6	31.4	34.3	29.3	33.7	33.4	31.3	32.4	39.8	28.8	37.4	39.0	34.4	35.9
改良Willumsen法 m=6	0.0	14.6	23.5	11.0	21.8	14.4	17.0	28.9	34.3	21.7	39.5	31.2	28.1
IMA法L型 m=6	31.4	34.3	29.3	33.7	33.4	31.3	32.4	39.8	28.8	37.4	39.0	34.4	35.9
OD \times 2縮小化法1 m=6	0.0	14.8	22.0	11.5	21.4	14.2	16.8	29.2	30.9	23.7	37.5	30.5	30.4
OD \times 2縮小化法2 m=6	31.4	34.3	29.3	33.7	33.4	31.3	32.4	39.9	28.8	37.3	39.2	34.4	35.9
最尤法 (OD推計法1) m=6	0.0	16.6	26.5	14.7	22.5	15.2	19.1	32.7	38.3	29.0	40.4	33.1	34.7

表-6.9 モデル構造の相違による推計精度比較 (ランダム型変動シミュレーション, $\sigma_Y = 10\%$ · $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	0.0	22.8	18.4	16.9	19.9	17.2	19.0	43.1	26.2	34.6	35.9	40.1	36.0
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=2.4	12.3	21.1	16.7	17.3	18.4	16.4	18.0	28.8	21.5	22.8	23.8	30.1	25.4
改良Willumsenの方法 m=2.4	12.3	21.1	16.7	17.3	18.4	16.4	18.0	28.8	21.6	22.8	23.9	30.4	25.5
IMA法L型 m=2.4	12.8	20.7	17.0	16.7	18.2	17.3	18.0	27.1	21.6	22.7	22.9	30.5	25.0
ODx ² 縮小化法1 m=2.4	12.4	21.3	16.7	17.4	18.3	16.2	17.9	30.4	21.6	22.8	25.2	30.5	26.1
ODx ² 縮小化法2 m=2.4	12.4	21.3	16.9	17.5	18.4	16.1	18.0	30.8	22.0	22.5	25.3	30.2	26.1
最尤法 (OD推計法1) m=2.4	12.3	20.8	16.7	17.3	18.5	16.7	18.0	27.6	21.6	23.0	23.6	30.3	25.2
OD残差平方和縮小化法 m=2.4	19.3	27.5	29.7	24.7	23.2	32.4	27.5	43.6	31.3	34.4	56.8	38.7	40.9
Willumsenの方法 m=6	8.3	23.2	19.4	18.1	19.9	17.8	19.7	44.2	25.3	31.7	33.8	36.7	34.3
改良Willumsenの方法 m=6	8.5	23.2	19.7	19.2	19.9	20.9	20.6	46.2	25.7	31.4	36.9	38.2	35.7
IMA法L型 m=6	8.3	23.2	19.4	18.1	19.9	17.8	19.7	44.2	25.3	31.7	33.8	36.7	34.3
ODx ² 縮小化法1 m=6	8.3	23.2	19.4	18.1	19.9	17.8	19.7	44.2	25.4	31.7	33.6	36.8	34.4
ODx ² 縮小化法2 m=6	8.3	23.2	19.4	19.1	19.9	19.3	20.2	45.8	26.2	31.4	33.2	37.4	34.8
最尤法 (OD推計法1) m=6	8.3	23.1	19.5	18.1	19.9	17.9	19.7	44.2	25.2	31.7	34.0	36.6	34.3
OD残差平方和縮小化法 m=6	14.7	23.1	27.9	21.1	19.9	31.1	24.6	47.0	29.2	31.5	51.4	39.8	39.8

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	40.0	42.2	44.0	41.4	40.3	42.2	42.2	48.5	45.4	42.8	44.1	42.3	44.6
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=2.4	22.9	28.0	27.1	26.3	28.5	24.9	27.0	36.2	31.2	28.0	32.0	31.9	31.9
改良Willumsenの方法 m=2.4	12.3	21.1	16.7	17.3	18.4	16.4	18.0	28.8	21.6	22.8	23.9	30.4	25.5
IMA法L型 m=2.4	12.8	20.7	17.0	16.7	18.2	17.3	18.0	27.1	21.6	22.7	22.9	30.5	25.0
ODx ² 縮小化法1 m=2.4	28.4	34.1	32.9	31.5	35.8	29.1	32.7	43.0	34.3	32.2	37.8	34.4	36.3
ODx ² 縮小化法2 m=2.4	12.4	21.3	16.9	17.5	18.4	16.1	18.0	30.8	22.0	22.5	25.3	30.2	26.1
最尤法 (OD推計法1) m=2.4	20.1	25.4	24.6	23.7	25.2	23.2	24.4	33.3	29.9	26.9	29.4	32.0	30.3
OD残差平方和縮小化法 m=2.4	19.3	27.5	29.7	24.7	23.2	32.4	27.5	43.6	31.3	34.4	56.8	38.7	40.9
Willumsenの方法 m=6	32.4	36.9	35.3	33.6	36.2	32.5	34.9	43.3	39.6	41.8	38.2	40.3	40.7
改良Willumsenの方法 m=6	8.5	23.2	19.7	19.2	19.9	20.9	20.6	46.2	25.7	31.4	36.9	38.2	35.7
IMA法L型 m=6	32.4	36.9	35.3	33.6	36.2	32.5	34.9	43.3	39.6	41.8	38.2	40.3	40.7
ODx ² 縮小化法1 m=6	32.4	36.9	35.3	33.6	36.2	32.5	34.9	43.3	39.7	41.8	38.1	40.4	40.7
ODx ² 縮小化法2 m=6	8.3	23.2	19.4	19.1	19.9	19.3	20.2	45.8	26.2	31.4	33.2	37.4	34.8
最尤法 (OD推計法1) m=6	32.4	36.9	35.4	33.6	36.2	32.6	34.9	43.3	39.6	41.8	38.5	40.2	40.7
OD残差平方和縮小化法 m=6	14.7	23.1	27.9	21.1	19.9	31.1	24.6	47.0	29.2	31.5	51.4	39.8	39.8

表-6. 1. 0 モデル構造の相違による推計精度比較 (重力モデル型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$ \cdot $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 40\% \cdot \sigma_B = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	0.0	26.0	31.3	19.1	38.8	20.6	27.2	54.9	39.8	40.9	80.2	40.6	51.3
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=24	12.3	21.4	21.4	15.7	25.0	15.1	19.7	40.0	23.2	25.0	36.2	21.2	29.1
改良Willumsenの方法 m=24	12.3	21.7	21.5	15.7	25.2	15.1	19.8	40.8	23.2	25.0	36.6	21.2	29.4
IMA法L型 m=24	12.8	22.3	22.2	16.3	28.2	16.7	21.2	41.1	22.6	26.3	42.2	24.4	28.5
OD π^2 縮小化法1 m=24	12.4	21.8	22.8	15.9	24.9	15.7	20.2	40.1	24.1	26.6	39.2	25.8	31.2
OD π^2 縮小化法2 m=24	12.4	21.5	22.5	15.9	24.4	15.8	20.0	41.3	24.3	26.2	35.6	24.4	30.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	12.3	21.4	20.8	15.6	25.5	14.9	19.6	39.6	24.0	24.5	37.8	20.3	29.2
OD残差平方和最小化法 m=24	19.3	31.2	46.9	24.3	36.0	32.8	34.2	59.5	65.5	44.9	64.2	61.4	59.1
Willumsenの方法 m=6	8.3	26.5	30.2	16.9	34.3	22.2	26.0	53.2	39.5	31.5	66.4	45.0	47.1
改良Willumsenの方法 m=6	8.5	26.4	42.9	18.0	38.3	24.9	30.1	52.2	61.9	33.2	73.6	51.1	54.4
IMA法L型 m=6	8.3	26.5	30.2	16.9	34.3	22.2	26.0	53.2	39.5	31.5	66.4	45.0	47.1
OD π^2 縮小化法1 m=6	8.3	26.4	30.2	17.0	34.3	22.2	26.0	53.0	39.5	32.0	66.2	45.0	47.2
OD π^2 縮小化法2 m=6	8.3	26.2	41.0	19.3	36.6	24.1	29.4	50.8	58.5	36.7	69.5	49.6	53.0
最尤法 (OD推計法1) m=6	8.3	26.5	30.2	16.8	34.3	22.3	26.0	53.4	39.6	31.4	66.6	45.0	47.2
OD残差平方和最小化法 m=6	14.7	28.6	50.8	24.2	42.4	30.5	35.3	54.9	71.0	42.1	76.8	58.4	60.6

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 40\% \cdot \sigma_B = 40\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
シミュレーションの回数	40.0	43.7	42.6	42.0	41.3	45.9	43.1	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	51.7
乱数発生による相対誤差													
Willumsenの方法 m=24	22.9	25.1	26.9	25.7	28.5	24.8	26.2	38.2	29.3	31.5	37.2	28.4	32.9
改良Willumsenの方法 m=24	12.3	21.7	21.5	15.7	25.2	15.1	19.8	40.8	23.2	25.0	36.6	21.2	29.4
IMA法L型 m=24	12.8	22.3	22.2	16.3	28.2	16.7	21.2	41.1	22.6	26.3	42.2	24.4	28.5
OD π^2 縮小化法1 m=24	28.4	29.5	31.9	31.0	31.1	30.8	30.9	41.4	33.1	36.2	37.5	37.5	37.1
OD π^2 縮小化法2 m=24	12.4	21.5	22.5	15.9	24.4	15.8	20.0	41.3	24.3	26.2	35.6	24.4	30.4
最尤法 (OD推計法1) m=24	20.1	24.0	25.1	23.2	30.0	22.9	25.0	39.5	28.3	31.1	45.4	28.7	34.6
OD残差平方和最小化法 m=24	19.3	31.2	46.9	24.3	36.0	32.8	34.2	59.5	65.5	44.9	64.2	61.4	59.1
Willumsenの方法 m=6	32.4	38.6	31.8	37.1	38.1	33.7	35.8	52.5	32.9	44.3	55.0	42.0	45.3
改良Willumsenの方法 m=6	8.5	26.4	42.9	18.0	38.3	24.9	30.1	52.2	61.9	33.2	73.6	51.1	54.4
IMA法L型 m=6	32.4	38.6	31.8	37.1	38.1	33.7	35.8	52.5	32.9	43.3	55.0	42.0	45.3
OD π^2 縮小化法1 m=6	32.4	38.6	31.8	37.1	38.1	33.7	35.9	52.4	32.9	44.7	54.8	41.9	45.3
OD π^2 縮小化法2 m=6	8.3	26.2	41.0	19.3	36.6	24.1	29.4	50.8	58.5	36.7	69.5	49.6	53.0
最尤法 (OD推計法1) m=6	32.4	38.6	31.8	37.0	38.1	33.7	35.9	52.8	32.9	44.3	55.2	42.0	45.4
OD残差平方和最小化法 m=6	14.7	28.6	50.8	24.2	42.4	30.5	35.3	54.9	71.0	42.1	76.8	58.4	60.6

表-6. 1.1 モデル構造の相違による推計精度比較 (OD推移確率型変動シミュレーション, $\sigma_X = 10\%$ · $\sigma_P = 0\%$)

(a) 傾向変動係数 $\kappa = 1.0$

変動の大きさ (ランダム誤差)	0%					$\sigma_A = 20\%$ · $\sigma_F = 0\%$					$\sigma_A = 40\%$ · $\sigma_F = 0\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
シミュレーションの回数	0.0	16.0	22.1	13.2	25.8	15.1	18.4	33.3	28.4	28.0	29.4	33.4	33.3	28.4	28.0	47.8	29.4	33.4
乱数発生による相対誤差	0.0	16.0	22.1	13.2	25.8	15.1	18.4	33.3	28.4	28.0	29.4	33.4	33.3	28.4	28.0	47.8	29.4	33.4
Willumsenの方法 m=24	12.3	13.3	14.6	12.9	14.7	12.8	13.7	16.9	15.3	14.9	16.6	15.6	16.9	15.3	14.9	16.6	14.1	15.6
改良Willumsen法 m=24	12.3	13.3	14.6	12.9	14.7	12.8	13.7	17.0	15.3	14.9	16.6	15.6	17.0	15.3	14.9	16.6	14.1	15.6
IMA法L型 m=24	12.8	14.2	15.3	14.3	16.0	13.9	14.7	18.5	16.5	16.8	20.4	17.7	18.5	16.5	16.8	20.4	16.4	17.7
ODx ² 最小化法1 m=24	12.4	13.4	15.2	13.1	15.1	13.0	14.0	18.2	15.8	16.5	17.7	16.9	18.2	15.8	16.5	17.7	16.4	16.9
ODx ² 極小化法2 m=24	12.4	13.3	15.1	13.1	14.9	13.1	13.9	17.4	16.3	16.5	17.6	16.8	17.4	16.3	16.5	17.6	16.1	16.8
最尤法 (OD推計法1) m=24	12.3	13.3	14.5	12.8	14.6	12.8	13.6	16.4	15.6	14.4	18.2	15.7	16.4	15.6	14.4	18.2	14.0	15.7
OD残差平方和最小化法 m=24	19.3	18.8	29.4	24.6	27.4	25.7	25.2	32.3	39.1	36.8	43.6	38.1	32.3	39.1	36.8	43.6	38.9	38.1
Willumsenの方法 m=6	8.3	16.6	20.1	13.0	22.8	15.9	17.7	30.7	26.1	22.3	38.9	29.6	30.7	26.1	22.3	38.9	30.1	29.6
改良Willumsen法 m=6	8.5	16.7	26.4	13.1	24.3	17.7	19.6	30.3	36.7	22.5	41.7	33.0	30.3	36.7	22.5	41.7	33.8	33.0
IMA法L型 m=6	8.3	16.6	20.1	13.0	22.8	15.9	17.7	30.7	26.1	22.3	38.9	29.6	30.7	26.1	22.3	38.9	30.1	29.6
ODx ² 最小化法1 m=6	8.3	16.6	20.1	13.0	22.9	15.9	17.7	30.7	26.1	22.3	38.8	29.7	30.7	26.1	22.3	38.8	30.1	29.7
ODx ² 極小化法2 m=6	8.3	16.6	24.8	14.3	23.8	16.9	19.3	30.4	33.6	25.8	39.8	32.2	30.4	33.6	25.8	39.8	32.2	32.3
最尤法 (OD推計法1) m=6	8.3	16.6	20.1	13.0	22.8	15.9	17.7	30.8	26.1	22.2	38.9	29.6	30.8	26.1	22.2	38.9	30.2	29.6
OD残差平方和最小化法 m=6	14.7	17.3	30.8	22.6	26.2	23.5	24.1	31.2	36.8	22.8	42.1	33.9	31.2	36.8	22.8	42.1	36.8	33.9

(b) 傾向変動係数 $\kappa = 1.4$

変動の大きさ (ランダム誤差)	0%					$\sigma_A = 20\%$ · $\sigma_F = 0\%$					$\sigma_A = 40\%$ · $\sigma_F = 0\%$							
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
シミュレーションの回数	40.0	41.9	40.4	41.2	37.5	45.2	41.2	46.1	44.4	44.2	50.8	45.4	46.1	44.4	44.2	41.6	50.8	45.4
乱数発生による相対誤差	40.0	41.9	40.4	41.2	37.5	45.2	41.2	46.1	44.4	44.2	50.8	45.4	46.1	44.4	44.2	41.6	50.8	45.4
Willumsenの方法 m=24	22.9	21.6	23.2	23.2	22.8	23.4	22.8	21.3	23.9	23.9	24.3	23.5	21.3	23.9	23.9	24.3	24.2	23.5
改良Willumsen法 m=24	12.3	13.3	14.6	12.9	14.7	12.8	13.7	17.0	15.3	14.9	16.6	15.6	17.0	15.3	14.9	16.6	14.1	15.6
IMA法L型 m=24	12.8	14.2	15.3	14.0	16.0	13.9	14.7	18.5	16.5	16.8	20.4	17.7	18.5	16.5	16.8	20.4	16.4	17.7
ODx ² 最小化法1 m=24	12.4	13.4	15.2	13.0	14.9	13.0	14.0	18.2	15.8	16.5	17.7	16.9	18.2	15.8	16.5	17.7	16.4	16.9
ODx ² 極小化法2 m=24	12.4	13.3	15.1	13.1	14.9	13.1	13.9	17.4	16.3	16.5	17.6	16.8	17.4	16.3	16.5	17.6	16.1	16.8
最尤法 (OD推計法1) m=24	12.3	13.3	14.5	12.8	14.6	12.8	13.6	16.4	15.6	14.4	18.2	15.7	16.4	15.6	14.4	18.2	14.0	15.7
OD残差平方和最小化法 m=24	19.3	18.8	29.4	24.6	27.4	25.7	25.2	32.3	39.1	36.8	43.6	38.1	32.3	39.1	36.8	43.6	38.9	38.1
Willumsenの方法 m=6	32.4	35.3	30.6	34.7	34.6	32.4	33.5	40.9	30.4	38.2	40.3	35.6	40.9	30.4	38.2	40.3	35.6	37.1
改良Willumsen法 m=6	8.5	16.7	26.4	13.1	24.3	17.7	19.6	30.3	36.7	22.5	41.7	33.8	30.3	36.7	22.5	41.7	33.8	33.0
IMA法L型 m=6	32.4	35.3	30.6	34.7	34.6	32.4	33.5	40.9	30.4	38.2	40.3	35.6	40.9	30.4	38.2	40.3	35.6	37.1
ODx ² 最小化法1 m=6	32.4	35.3	30.6	34.7	34.6	32.4	33.5	40.9	30.3	38.5	40.3	35.6	40.9	30.3	38.5	40.3	35.6	37.1
ODx ² 極小化法2 m=6	8.3	16.8	24.8	14.3	23.8	16.9	19.3	30.4	33.6	25.8	39.8	32.2	30.4	33.6	25.8	39.8	32.2	32.3
最尤法 (OD推計法1) m=6	32.4	35.3	30.6	34.7	34.6	32.4	33.5	40.9	30.3	38.5	40.3	35.6	40.9	30.3	38.5	40.3	35.6	37.1
OD残差平方和最小化法 m=6	14.7	17.3	30.8	22.6	26.2	23.5	24.1	31.2	36.8	22.8	42.1	36.8	31.2	36.8	22.8	42.1	36.8	33.9

表-6. 12 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
 (傾向変動係数 $\kappa = 1.4$, 観測誤差 $\sigma_{\chi} = 0\%$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

変動シミュレーションの型		ODパターンの変動なし					ランダム型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 0\% \cdot \sigma_B = 0\%$					$\sigma_T = 20\%$				
Dial確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
Willumsenの方法	m=24	19.9	19.7	19.0	20.1	24.0	24.0	24.0	24.2	24.6	28.4
改良Willumsen法	m=24	5.0	2.7	0.0	2.6	13.6	12.3	11.6	11.4	11.8	18.0
IMA法L型	m=24	5.1	2.8	0.0	2.7	14.1	12.7	12.0	11.8	12.2	18.6
OD x^2 値最小化法1	m=24	24.8	25.1	25.8	26.9	32.4	28.4	28.2	28.6	29.3	33.8
OD x^2 値最小化法2	m=24	5.0	2.7	0.0	2.6	13.6	12.3	11.6	11.4	11.8	18.2
最尤法 (OD推計法1)	m=24	16.4	16.0	15.8	16.1	21.0	21.8	21.6	21.6	21.9	26.0
OD残差平方和最小化法	m=24	6.6	3.6	0.0	3.5	17.2	24.4	22.5	20.7	19.5	21.5
Willumsenの方法	m=6	31.4	31.4	31.4	31.4	31.9	34.3	34.3	34.3	34.4	35.0
改良Willumsen法	m=6	1.9	1.0	0.0	1.0	5.6	17.4	17.4	17.5	17.6	18.8
IMA法L型	m=6	31.4	31.4	31.4	31.4	31.9	34.3	34.3	34.3	34.4	35.0
OD x^2 値最小化法1	m=6	31.4	31.4	31.4	31.4	31.9	34.3	34.3	34.3	34.4	35.0
OD x^2 値最小化法2	m=6	1.9	1.0	0.0	1.0	5.6	17.4	17.4	17.4	17.5	18.7
最尤法 (OD推計法1)	m=6	31.4	31.4	31.4	31.4	31.9	34.3	34.3	34.3	34.4	35.0
OD残差平方和最小化法	m=6	2.6	1.4	0.0	1.4	7.1	19.1	19.1	19.2	19.4	21.2
変動シミュレーションの型		重力モデル型変動シミュレーション					OD推移確率型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$				
Dial確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
Willumsenの方法	m=24	24.6	24.1	23.7	23.5	25.4	20.3	20.0	19.9	20.0	23.3
改良Willumsen法	m=24	18.0	17.5	17.3	17.4	21.4	8.9	8.0	7.6	8.0	15.2
IMA法L型	m=24	17.8	17.6	17.7	18.2	23.3	9.2	8.5	8.4	9.1	16.9
OD x^2 値最小化法1	m=24	29.1	28.5	27.9	27.7	29.3	26.0	25.7	25.6	25.9	29.2
OD x^2 値最小化法2	m=24	18.3	17.8	17.6	17.7	21.6	9.8	8.9	8.5	8.8	15.8
最尤法 (OD推計法1)	m=24	22.4	22.0	21.8	21.8	24.5	17.5	17.1	17.0	17.2	21.4
OD残差平方和最小化法	m=24	37.1	36.5	36.1	36.0	38.0	23.9	23.0	22.4	22.3	26.5
Willumsenの方法	m=6	30.3	30.3	30.3	30.4	31.0	29.3	29.3	29.3	29.3	29.9
改良Willumsen法	m=6	39.5	39.5	39.5	39.5	40.1	23.5	23.5	23.5	23.5	24.3
IMA法L型	m=6	29.3	29.3	30.3	29.3	29.9	29.3	29.3	29.3	29.3	29.9
OD x^2 値最小化法1	m=6	29.3	29.3	30.3	29.3	29.9	29.3	29.3	29.3	29.3	29.9
OD x^2 値最小化法2	m=6	21.9	21.9	39.1	22.1	22.8	21.9	21.9	22.0	22.1	22.8
最尤法 (OD推計法1)	m=6	29.3	29.3	30.3	29.3	29.9	29.3	29.3	29.3	29.3	29.9
OD残差平方和最小化法	m=6	45.2	44.3	43.4	42.6	40.3	28.0	27.2	26.5	25.8	24.5

推計結果の一例を表-6. 12 ($\kappa = 1.4, \sigma_{\chi} = 0\%$), 表-6. 13 ($\kappa = 1.4, \sigma_{\chi} = 10\%$) に示す。

これらの表より, 道路区間交通量に観測誤差がある場合 (表-6. 12) とない場合 (表-6. 13) で, また制約条件として取り入れる選択リンクの数 m によって, 道路区間利用率の先決誤差 (配分パラメータの先決誤差) の影響が異なることがわかる。まず, 道路区間交通量に観測誤差がある場合とない場合の影響を比較すると, 前者の方がいずれのモデルも推計精度が悪いといえるが, 配分パラメータの先決誤差の影響は後者に比べて小さくなっている。また, 選択リンク数 m の違いによる影響を比較すると, 選択リンク数が多い場合の方が少ない場合に比べて相対的に推計精度が良いといえるが, 配分パラメータの先決誤差の影響は逆に大きくなっている。なお, これらの影響はODパターンの変動がない場合に最も顕著であり, ODパターンの変動が大きくなるほど小さくなる傾向にある。

(3) 未知変量の取り扱い方法の相違による推計誤差比較

発生交通量を未知変量とする場合のシミュレーション結果を表-6. 14~表-6. 19に示す。表

表-6. 13 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
 (傾向変動係数 $\kappa = 1.4$, 観測誤差 $\sigma_X = 10\%$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

変動シミュレーションの型		ODパターンの変動なし					ランダム型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 0\% \cdot \sigma_B = 0\%$					$\sigma_T = 20\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
Willumsenの方法	m=24	23.4	23.1	22.9	23.0	25.5	27.3	27.1	27.1	27.3	29.7
改良Willumsen法	m=24	14.0	13.1	12.3	12.1	15.9	17.9	17.2	16.7	16.5	19.6
IMA法L型	m=24	14.5	13.6	12.8	12.6	16.7	18.2	17.5	17.0	16.9	20.1
OD χ^2 値最小化法1	m=24	28.1	28.0	28.4	29.0	33.5	33.2	32.8	32.9	33.3	36.8
OD χ^2 値最小化法2	m=24	14.1	13.1	12.4	12.1	16.1	18.3	17.5	16.9	16.7	19.8
最尤法 (OD推計法1)	m=24	21.0	20.5	20.1	20.0	22.6	25.2	24.8	21.6	24.6	27.0
OD残差平方和最小化法	m=24	21.5	20.3	19.3	18.9	22.6	32.9	31.3	29.7	28.5	27.9
Willumsenの方法	m=6	32.6	32.5	32.4	32.4	32.6	35.4	35.4	35.3	35.3	35.7
改良Willumsen法	m=6	9.1	8.8	8.5	8.4	9.2	19.9	19.8	19.7	19.7	20.3
IMA法L型	m=6	32.6	32.5	32.4	32.4	32.6	35.4	35.4	35.3	35.3	35.7
OD χ^2 値最小化法1	m=6	32.6	32.5	32.4	32.4	32.6	35.4	35.4	35.3	35.3	35.7
OD χ^2 値最小化法2	m=6	8.9	8.6	8.3	8.2	9.0	19.5	19.4	19.4	19.4	20.0
最尤法 (OD推計法1)	m=6	32.6	32.5	32.4	32.4	32.6	35.4	35.4	35.4	35.4	35.7
OD残差平方和最小化法	m=6	15.4	15.1	14.7	14.5	14.8	28.0	27.9	27.9	27.9	29.0
変動シミュレーションの型		重力モデル型変動シミュレーション					OD推移確率型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
Willumsenの方法	m=24	28.1	27.5	26.9	26.6	27.1	23.9	23.5	23.2	23.2	25.1
改良Willumsen法	m=24	22.6	22.0	21.5	21.3	23.1	16.0	15.2	14.6	14.5	17.7
IMA法L型	m=24	22.8	22.4	22.2	22.2	24.9	16.3	15.7	15.3	15.4	19.3
OD χ^2 値最小化法1	m=24	33.4	32.6	31.9	31.4	31.6	29.4	29.1	29.0	29.1	31.0
OD χ^2 値最小化法2	m=24	23.6	23.0	22.5	22.3	24.1	16.4	15.6	15.1	15.0	18.4
最尤法 (OD推計法1)	m=24	26.1	25.6	25.1	24.9	26.0	22.1	21.6	21.2	21.2	23.5
OD残差平方和最小化法	m=24	48.0	47.4	46.9	46.5	46.4	31.1	30.2	29.4	29.0	30.7
Willumsenの方法	m=6	31.9	31.8	31.8	31.7	32.1	30.7	30.6	30.6	30.6	31.0
改良Willumsen法	m=6	43.0	43.0	42.9	42.9	43.2	26.5	26.4	26.4	26.4	26.9
IMA法L型	m=6	31.9	31.8	31.8	31.7	32.1	30.7	30.6	30.6	30.6	31.0
OD χ^2 値最小化法1	m=6	31.9	31.8	31.8	31.7	32.1	30.7	30.6	30.6	30.6	31.1
OD χ^2 値最小化法2	m=6	40.6	40.8	41.0	41.2	41.8	24.6	24.7	24.8	24.9	25.6
最尤法 (OD推計法1)	m=6	31.9	31.8	31.8	31.7	32.1	30.7	30.6	30.6	30.6	31.0
OD残差平方和最小化法	m=6	52.6	51.7	50.8	49.9	47.3	32.3	31.5	30.8	30.1	28.5

- 6. 14 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 0\%$) および表-6. 15 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 10\%$) はランダム型変動シミュレーションによる推計結果であり, 表-6. 16 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 0\%$) および表-6. 17 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 10\%$) は重力モデル型変動シミュレーションによる推計結果である。また, 表-6. 18 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 0\%$) および表-6. 19 ($\kappa = 1.4, \sigma_X = 10\%$) はOD推移確率 (固定)型変動シミュレーションによる推計結果である。

各分析モデルの推計特性は, 本章第4節で示した結果とまったく同様であるので, ここでは各分析モデルの未知変量の取り扱い方法の相違による影響を比較する。具体的には, モデル構造の等しいOD残差平方和最小化法 (OD交通量モデル) と発生交通量モデルおよび改良Willumsen法と発生エントロピー法のそれぞれの推計誤差特性の比較を行う。ただし, OD交通量を未知変量とする場合と発生交通量を未知変量とする場合では, 制約条件として取り入れ可能な選択リンク数が異なるので, ここでは同一の選択リンク数 ($m = 6$) を用いた場合について比較する。表-6. 6, 表-6. 14より, OD交通量がランダムに変動する場合には, OD残差平方和最小化法も発生交通量モデルもほぼ等しい推計精度であるが, OD交通量が重力モデルに従って変動する場合 (表-6. 7(b), 表-6. 16), あるい

表-6. 1.4 モデル構造の相違による推計精度比較 (ランダム型変動シミュレーション, $\kappa = 1.4$, $\sigma_X = 0\%$, $\sigma_P = 0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	0%					$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$					
	シミュレーションの回数					平均					平均					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
乱数発生による相対誤差	40.0	42.2	44.0	41.4	40.3	42.9	42.2	42.2	42.2	42.2	48.5	45.4	42.8	44.1	42.3	44.6
道路区間モデル m=2,4	0.0	20.9	16.9	15.3	17.4	17.7	17.6	17.6	17.6	17.6	33.3	25.7	29.7	30.0	37.4	31.2
発生交通量モデル m=6	0.0	21.7	20.2	19.0	19.2	21.7	20.4	20.4	20.4	20.4	39.8	30.3	33.4	38.0	41.4	36.6
結合モデル2 m=2,4	0.0	21.9	17.8	16.1	18.2	17.2	18.2	18.2	18.2	18.2	39.8	25.9	31.4	31.6	36.7	33.1
発生エントロピー法 m=6	0.0	71.6	70.9	68.9	71.4	71.4	70.9	70.9	70.9	70.9	73.4	72.5	73.0	74.4	65.8	71.8
Update道路区間モデル m=2,4	0.0	20.9	16.9	15.3	17.4	17.7	17.6	17.6	17.6	17.6	33.3	25.9	29.7	30.1	37.4	31.2
Update発生交通量モデル m=6	0.0	21.7	20.2	19.0	19.2	21.7	20.4	20.4	20.4	20.4	39.8	30.3	33.4	38.0	41.4	36.6
Update結合モデル2 m=2,4	0.0	21.9	17.8	16.1	17.8	16.7	18.1	18.1	18.1	18.1	39.8	25.9	31.4	31.6	36.4	33.0
道路区間モデル m=1,2	0.0	25.0	18.7	16.1	20.7	22.1	20.5	20.5	20.5	20.5	36.7	20.0	33.8	34.8	34.2	33.1
発生交通量モデル m=3	0.0	24.2	18.2	17.9	19.3	18.4	19.6	19.6	19.6	19.6	45.7	26.6	32.8	31.4	37.8	34.9
結合モデル2 m=3	0.0	26.2	18.3	20.6	19.2	19.8	20.8	20.8	20.8	20.8	49.8	26.3	33.1	32.6	35.6	35.5
発生エントロピー法 m=3	0.0	22.2	20.2	16.8	20.2	17.2	19.3	19.3	19.3	19.3	40.4	27.4	31.7	34.0	42.2	35.1
Update道路区間モデル m=1,2	0.0	25.0	18.7	16.1	20.7	22.1	20.5	20.5	20.5	20.5	36.7	20.0	33.8	34.8	34.2	33.1
Update発生交通量モデル m=3	0.0	24.2	18.2	17.9	19.3	16.5	19.2	19.2	19.2	19.2	45.7	26.6	32.6	31.4	37.2	34.7
Update結合モデル2 m=3	0.0	26.1	18.3	20.5	19.2	19.2	20.7	20.7	20.7	20.7	49.7	26.3	33.0	32.6	35.5	35.4

表-6. 1.5 モデル構造の相違による推計精度比較 (ランダム型変動シミュレーション, $\kappa = 1.4$, $\sigma_X = 10\%$, $\sigma_P = 0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	0%					$\sigma_T = 20\%$					$\sigma_T = 40\%$					
	シミュレーションの回数					平均					平均					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
乱数発生による相対誤差	40.0	42.2	44.0	41.4	40.3	42.9	42.2	42.2	42.2	42.2	48.5	45.4	42.8	44.1	42.3	44.6
道路区間モデル m=2,4	9.6	22.3	18.9	17.4	19.2	21.6	19.9	19.9	19.9	19.9	37.1	27.2	30.0	34.0	38.0	33.3
発生交通量モデル m=6	16.0	25.8	23.2	20.0	21.1	32.0	24.4	24.4	24.4	24.4	49.6	29.2	32.0	49.7	39.6	40.0
結合モデル2 m=2,4	2.5	22.3	17.5	16.7	18.5	17.5	18.5	18.5	18.5	18.5	41.0	25.9	31.5	31.8	36.9	33.4
発生エントロピー法 m=6	72.4	73.0	72.4	70.5	73.2	72.7	72.3	72.3	72.3	72.3	74.8	73.8	74.3	75.7	67.4	73.2
Update道路区間モデル m=2,4	9.6	22.3	18.9	17.4	26.8	21.6	21.4	21.4	21.4	21.4	37.1	27.2	30.0	34.0	65.6	38.8
Update発生交通量モデル m=6	8.1	25.8	23.2	20.0	21.1	32.0	24.4	24.4	24.4	24.4	49.6	29.2	32.0	49.7	39.6	40.0
Update結合モデル2 m=2,4	2.5	22.4	17.5	16.7	18.6	18.5	18.7	18.7	18.7	18.7	41.0	25.9	31.5	31.8	35.7	33.2
道路区間モデル m=1,2	14.4	28.0	22.6	21.3	23.9	29.8	25.1	25.1	25.1	25.1	45.1	28.3	31.1	41.6	36.6	36.5
発生交通量モデル m=3	7.5	22.3	19.3	16.3	19.6	17.0	18.9	18.9	18.9	18.9	42.9	28.4	31.6	31.7	36.0	34.1
結合モデル2 m=3	9.1	22.5	20.6	16.8	19.8	17.1	19.3	19.3	19.3	19.3	44.2	28.5	31.3	34.1	34.0	34.4
発生エントロピー法 m=3	4.3	22.4	19.0	16.9	19.1	18.1	19.1	19.1	19.1	19.1	41.2	26.5	32.6	35.3	45.3	36.2
Update道路区間モデル m=1,2	14.4	28.0	22.6	21.3	23.9	53.4	29.8	29.8	29.8	29.8	45.1	28.3	32.9	41.6	36.6	36.9
Update発生交通量モデル m=3	8.1	22.3	19.3	16.3	20.2	16.5	18.9	18.9	18.9	18.9	42.9	28.2	32.2	31.7	35.2	34.0
Update結合モデル2 m=3	8.8	22.5	20.6	16.8	19.7	16.9	19.3	19.3	19.3	19.3	44.2	28.5	31.5	34.6	33.7	34.5

表-6. 1.6 モデル構造の相違による推計精度比較 (重力モデル型変動シミュレーション, $\kappa=1.4$, $\sigma_X=0\%$ · $\sigma_P=0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A=20\%$ · $\sigma_B=20\%$										$\sigma_A=40\%$ · $\sigma_B=40\%$																													
	0%					平均					1					2					3					4					5					平均				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
シミュレーションの回数	40.0	43.7	42.6	42.0	41.3	45.9	43.1	43.1	43.1	43.1	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5
乱数発生による相対誤差	0.0	23.2	21.8	14.8	26.6	15.5	20.4	29.2	19.8	15.5	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6	49.8	28.9	30.8	51.9	32.6					
道路区間モデル 発生交通量モデル 結合モデル2	m=24 m=6 m=24	30.7	33.8	23.1	38.5	19.8	29.2	18.8	38.5	19.8	64.0	52.1	49.3	75.7	42.7	64.0	52.1	49.3	75.7	42.7	64.0	52.1	49.3	75.7	42.7	64.0	52.1	49.3	75.7	42.7	64.0	52.1	49.3	75.7	42.7					
発生エントロピー法	m=6	68.8	69.5	68.0	65.0	71.0	68.5	68.0	65.0	71.0	69.3	71.1	65.5	66.5	72.1	69.3	71.1	65.5	66.5	72.1	69.3	71.1	65.5	66.5	72.1	69.3	71.1	65.5	66.5	72.1										
Update道路区間モデル	m=24	19.9	6.7	12.8	3.9	1.1	8.9	1.1	3.9	1.1	43.0	13.5	26.3	15.0	2.7	43.0	13.5	26.3	15.0	2.7	43.0	13.5	26.3	15.0	2.7	43.0	13.5	26.3	15.0	2.7										
Update発生交通量モデル	m=6	30.7	27.1	19.3	35.8	18.9	26.4	35.8	18.9	26.4	64.0	42.4	45.2	75.7	41.7	64.0	42.4	45.2	75.7	41.7	64.0	42.4	45.2	75.7	41.7	64.0	42.4	45.2	75.7	41.7										
Update結合モデル2	m=24	23.2	23.2	14.4	26.7	15.6	20.6	26.7	15.6	20.6	50.6	28.3	30.7	51.8	33.6	50.6	28.3	30.7	51.8	33.6	50.6	28.3	30.7	51.8	33.6	50.6	28.3	30.7	51.8	33.6										
道路区間モデル	m=12	27.3	24.8	18.2	27.1	17.1	22.9	27.1	17.1	17.1	59.8	36.3	37.1	69.8	35.5	59.8	36.3	37.1	69.8	35.5	59.8	36.3	37.1	69.8	35.5	59.8	36.3	37.1	69.8	35.5										
発生交通量モデル	m=3	24.7	40.0	18.0	36.9	23.0	28.4	36.9	23.0	23.0	50.7	58.9	35.4	75.4	49.2	50.7	58.9	35.4	75.4	49.2	50.7	58.9	35.4	75.4	49.2	50.7	58.9	35.4	75.4	49.2										
結合モデル2	m=3	25.4	42.2	21.4	38.3	22.4	30.1	38.3	22.4	22.4	53.2	62.0	40.0	77.2	51.0	53.2	62.0	40.0	77.2	51.0	53.2	62.0	40.0	77.2	51.0	53.2	62.0	40.0	77.2	51.0										
発生エントロピー法	m=3	30.0	34.3	23.5	51.4	21.3	32.1	51.4	21.3	21.3	66.7	43.9	54.5	114.6	45.9	66.7	43.9	54.5	114.6	45.9	66.7	43.9	54.5	114.6	45.9	66.7	43.9	54.5	114.6	45.9										
Update道路区間モデル	m=12	24.6	19.3	19.1	4.4	9.3	15.3	19.1	4.4	9.3	54.3	36.2	39.0	69.8	20.7	54.3	36.2	39.0	69.8	20.7	54.3	36.2	39.0	69.8	20.7	54.3	36.2	39.0	69.8	20.7										
Update発生交通量モデル	m=3	22.7	40.4	14.7	35.8	22.6	27.2	35.8	22.6	22.6	45.4	58.7	27.3	71.1	49.5	45.4	58.7	27.3	71.1	49.5	45.4	58.7	27.3	71.1	49.5	45.4	58.7	27.3	71.1	49.5										
Update結合モデル2	m=3	25.0	42.1	20.6	37.8	23.0	29.7	37.8	23.0	23.0	51.9	61.8	38.4	76.1	51.0	51.9	61.8	38.4	76.1	51.0	51.9	61.8	38.4	76.1	51.0	51.9	61.8	38.4	76.1	51.0										

表-6. 1.7 モデル構造の相違による推計精度比較 (重力モデル型変動シミュレーション, $\kappa=1.4$, $\sigma_X=10\%$ · $\sigma_P=0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A=20\%$ · $\sigma_B=20\%$										$\sigma_A=40\%$ · $\sigma_B=40\%$																													
	0%					平均					1					2					3					4					5					平均				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
シミュレーションの回数	40.0	43.7	42.6	42.0	41.3	45.9	43.1	43.1	43.1	43.1	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5	53.0	47.5	47.7	56.8	53.5					
乱数発生による相対誤差	9.6	27.8	25.8	15.1	29.5	18.7	23.4	25.8	15.1	18.7	54.4	33.4	30.1	54.6	34.8	54.4	33.4	30.1	54.6	34.8	54.4	33.4	30.1	54.6	34.8	54.4	33.4	30.1	54.6	34.8										
道路区間モデル	m=24	34.8	44.0	17.1	43.5	25.8	33.1	44.0	17.1	25.8	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2										
発生交通量モデル	m=6	2.5	26.0	27.7	16.6	31.9	19.0	24.2	16.6	19.0	55.5	35.6	35.2	61.7	41.3	55.5	35.6	35.2	61.7	41.3	55.5	35.6	35.2	61.7	41.3															
結合モデル2	m=24	72.4	70.3	71.0	69.5	66.7	72.3	70.0	69.5	66.7	70.8	72.4	67.1	68.0	73.3	70.8	72.4	67.1	68.0	73.3	70.8	72.4	67.1	68.0	73.3															
発生エントロピー法	m=6	42.5	33.9	12.1	30.8	25.6	29.0	30.8	12.1	25.6	65.8	72.2	13.2	57.8	49.4	65.8	72.2	13.2	57.8	49.4	65.8	72.2	13.2	57.8	49.4															
Update道路区間モデル	m=24	34.8	44.0	17.1	43.5	25.8	33.1	44.0	17.1	25.8	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2	67.2	63.8	40.5	80.1	47.2															
Update発生交通量モデル	m=6	8.1	27.6	24.0	13.0	28.2	16.1	21.8	8.1	16.1	55.4	29.4	28.7	53.5	42.0	55.4	29.4	28.7	53.5	42.0	55.4	29.4	28.7	53.5	42.0															
Update結合モデル2	m=24	25.5	34.7	24.9	33.6	20.2	27.8	33.6	20.2	20.2	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0															
道路区間モデル	m=12	37.6	32.6	18.2	33.5	25.3	29.4	32.6	18.2	25.3	71.3	43.8	35.3	77.5	42.0	71.3	43.8	35.3	77.5	42.0	71.3	43.8	35.3	77.5	42.0															
発生交通量モデル	m=3	29.4	34.9	20.8	34.2	20.5	27.1	34.9	20.8	20.5	49.1	51.9	36.6	70.5	45.0	49.1	51.9	36.6	70.5	45.0	49.1	51.9	36.6	70.5	45.0															
結合モデル2	m=3	9.1	25.7	34.7	26.1	33.9	28.1	34.7	26.1	33.9	50.0	52.1	42.7	69.4	45.0	50.0	52.1	42.7	69.4	45.0	50.0	52.1	42.7	69.4	45.0															
発生エントロピー法	m=3	32.7	37.1	26.5	55.9	23.0	35.0	37.1	26.5	23.0	70.6	46.6	58.5	121.2	48.3	70.6	46.6	58.5	121.2	48.3	70.6	46.6	58.5	121.2	48.3															
Update道路区間モデル	m=12	37.6	47.9	18.2	33.5	25.3	32.5	47.9	18.2	25.3	71.3	71.8	35.3	77.5	49.0	71.3	71.8	35.3	77.5	49.0	71.3	71.8	35.3	77.5	49.0															
Update発生交通量モデル	m=3	8.1	24.9	34.9	17.8	33.8	20.5	26.4	8.1	20.5	46.0	51.7	29.2	68.0	45.0	46.0	51.7	29.2	68.0	45.0	46.0	51.7	29.2	68.0	45.0															
Update結合モデル2	m=3	25.5	34.7	24.9	33.6	20.2	27.8	34.7	24.9	20.2	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0	49.1	52.1	40.8	68.7	45.0															

表-6. 1. 8 モデル構造の相違による推計精度比較 (OD推移確率型変動シミュレーション, $\kappa=1.4$, $\sigma_X=0\%$, $\sigma_P=0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A=20\% \cdot \sigma_F=0\%$					$\sigma_A=40\% \cdot \sigma_F=0\%$					平均	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
シミュレーションの回数	40.0	41.9	40.4	41.2	45.2	41.2	46.1	44.4	44.2	41.6	50.8	45.4
乱数発生による相対誤差												
道路区間モデル m=24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
発生交通量モデル m=6	12.1	6.7	3.1	19.6	9.8	10.3	23.3	17.7	5.8	36.6	21.1	20.9
結合モデル2 m=24	0.0	11.8	15.0	9.2	16.0	12.4	25.1	18.3	19.4	27.8	21.8	22.5
発生エントロピー法 m=6	0.0	70.2	70.9	70.5	67.4	71.8	70.2	73.0	70.3	65.8	73.0	70.4
Update道路区間モデル m=24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Update発生交通量モデル m=6	12.1	6.7	3.1	19.6	9.8	10.3	23.3	17.7	5.8	36.6	21.1	20.9
Update結合モデル2 m=24	0.0	11.8	15.0	9.2	16.0	12.4	25.1	18.3	19.4	27.8	21.8	22.5
道路区間モデル m=12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
発生交通量モデル m=3	14.5	35.7	12.9	23.5	16.6	20.7	29.7	55.7	24.4	42.4	36.3	37.7
結合モデル2 m=3	0.0	15.8	35.9	18.1	25.2	22.3	33.3	56.0	34.5	46.6	36.0	41.3
発生エントロピー法 m=3	0.0	20.4	32.8	18.6	36.9	25.4	45.4	49.6	41.4	75.1	39.7	50.2
Update道路区間モデル m=12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Update発生交通量モデル m=3	14.5	35.7	12.9	23.5	16.6	20.7	29.7	55.7	24.4	42.4	36.3	37.7
Update結合モデル2 m=3	0.0	15.8	35.9	17.8	25.1	22.2	33.3	56.0	34.0	46.5	36.0	41.1

表-6. 1. 9 モデル構造の相違による推計精度比較 (OD推移確率型変動シミュレーション, $\kappa=1.4$, $\sigma_X=10\%$, $\sigma_P=0\%$)

変動の大きさ (ランダム誤差)	$\sigma_A=20\% \cdot \sigma_F=0\%$					$\sigma_A=40\% \cdot \sigma_F=0\%$					平均	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
シミュレーションの回数	40.0	41.9	40.4	41.2	45.2	41.2	46.1	44.4	44.2	41.6	50.8	45.4
乱数発生による相対誤差												
道路区間モデル m=24	9.6	9.9	9.5	9.4	9.8	9.7	9.6	9.9	9.5	9.4	9.8	9.7
発生交通量モデル m=6	16.0	13.4	18.1	16.1	26.9	19.3	27.2	26.0	16.7	43.3	27.9	28.2
結合モデル2 m=24	2.5	19.4	15.8	8.9	17.2	13.1	26.5	19.3	19.0	28.4	21.8	23.0
発生エントロピー法 m=6	72.4	71.7	72.4	71.9	68.9	73.2	71.4	—	72.0	67.5	74.6	—
Update道路区間モデル m=24	9.6	9.6	9.9	9.5	9.4	9.7	9.6	9.9	9.5	9.4	9.8	9.7
Update発生交通量モデル m=6	8.1	19.4	18.1	16.1	16.9	19.3	27.2	26.0	16.7	43.3	27.9	28.2
Update結合モデル2 m=24	2.5	13.4	15.8	8.9	17.2	13.1	26.5	19.3	19.0	28.4	21.8	23.0
道路区間モデル m=12	14.4	14.2	15.0	14.3	14.3	14.5	14.2	14.8	14.3	14.2	14.7	14.4
発生交通量モデル m=3	7.5	16.0	29.9	17.3	21.3	14.7	29.2	48.1	27.4	38.7	32.6	35.2
結合モデル2 m=3	9.1	16.8	27.2	24.0	21.4	13.9	31.3	44.9	38.8	40.4	30.7	37.2
発生エントロピー法 m=3	4.3	23.6	36.9	22.1	41.3	21.5	49.2	54.4	45.5	80.9	43.4	54.7
Update道路区間モデル m=12	14.4	14.2	15.0	14.3	14.3	14.5	14.2	14.8	14.3	14.2	14.7	14.4
Update発生交通量モデル m=3	8.1	16.0	29.9	17.3	21.3	14.7	29.2	48.1	27.4	38.7	32.6	35.2
Update結合モデル2 m=3	8.8	16.8	27.2	23.5	21.4	13.9	31.3	44.9	38.0	40.4	30.7	37.1

表-6. 20 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
 (傾向変動係数 $\kappa = 1.4$, 観測誤差 $\sigma_{\chi} = 0\%$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

変動シミュレーションの型		ODパターンの変動なし					ランダム型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 0\% \cdot \sigma_B = 0\%$					$\sigma_T = 20\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
道路区間モデル	m=24	3.3	1.8	0.0	1.7	8.8	17.6	17.2	16.9	16.8	18.3
発生交通量モデル	m=6	4.3	2.4	0.0	2.5	15.9	19.6	19.7	20.2	21.2	30.6
結合モデル2	m=24	1.3	0.7	0.0	0.7	3.8	17.9	17.9	17.8	17.8	17.9
発生エントロピー法	m=6	70.6	70.8	0.0	71.3	72.4	70.1	70.7	70.9	71.1	71.9
Update 道路区間モデル	m=24	5.2	2.7	0.0	2.5	13.0	17.6	17.2	16.9	16.8	18.3
Update 発生交通量モデル	m=6	4.5	2.5	0.0	2.6	16.2	19.6	19.7	20.2	21.2	30.6
Update 結合モデル2	m=24	1.5	0.8	0.0	0.8	4.3	17.9	17.9	17.8	17.8	17.9
道路区間モデル	m=12	4.5	2.4	0.0	2.3	11.9	19.8	19.1	18.7	18.7	21.8
発生交通量モデル	m=3	1.7	0.9	0.0	0.9	5.1	18.6	18.4	18.2	18.1	18.1
結合モデル2	m=3	1.0	0.5	0.0	0.5	2.6	18.3	18.3	18.3	18.3	18.5
発生エントロピー法	m=3	22.4	22.1	0.0	21.5	21.0	25.6	25.5	20.2	25.4	25.6
Update 道路区間モデル	m=12	4.9	2.5	0.0	2.4	12.9	19.8	19.1	18.7	18.7	21.8
Update 発生交通量モデル	m=3	2.3	1.3	0.0	1.2	5.1	18.6	18.4	18.2	18.1	18.1
Update 結合モデル2	m=3	0.9	0.5	0.0	0.5	2.5	18.3	18.3	18.3	18.3	18.6
変動シミュレーションの型		重力モデル型変動シミュレーション					OD推移確率型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
道路区間モデル	m=24	22.5	22.1	21.8	21.7	22.6	3.1	1.7	0.0	1.6	8.2
発生交通量モデル	m=6	34.0	33.9	33.8	34.0	37.9	8.0	7.2	6.7	7.2	17.4
結合モデル2	m=24	27.3	27.1	26.8	26.6	25.7	15.4	15.2	15.0	14.8	14.2
発生エントロピー法	m=6	69.1	69.3	69.5	69.8	71.0	70.3	70.6	70.9	71.2	73.4
Update 道路区間モデル	m=24	5.2	5.4	6.7	8.4	15.5	3.1	1.7	0.0	1.6	8.2
Update 発生交通量モデル	m=6	29.4	28.3	27.1	26.3	30.3	8.0	7.2	6.7	7.2	17.4
Update 結合モデル2	m=24	24.0	23.6	23.2	22.8	21.3	15.4	15.2	15.0	14.8	14.2
道路区間モデル	m=12	26.3	25.5	24.8	24.3	24.7	4.3	2.3	0.0	2.2	11.4
発生交通量モデル	m=3	40.1	40.1	40.0	40.0	40.3	35.7	35.7	35.7	35.8	36.5
結合モデル2	m=3	43.1	42.7	42.2	41.8	39.9	36.9	36.4	35.9	35.3	33.2
発生エントロピー法	m=3	34.3	33.8	34.3	32.8	31.5	25.9	25.4	32.8	24.4	23.4
Update 道路区間モデル	m=12	19.3	19.1	19.3	19.9	27.6	4.3	2.3	0.0	2.2	11.4
Update 発生交通量モデル	m=3	40.7	40.5	40.4	40.3	40.3	35.5	35.6	35.7	35.8	36.5
Update 結合モデル2	m=3	43.0	42.6	42.1	41.7	40.0	36.8	36.4	35.9	35.3	33.2

はOD推移確率が固定され、発生確率のみが変動する場合(表-6. 8(b), 表-6. 18)には、発生交通量を未知変量とした発生交通量モデルの方が推計精度が良いといえる。これは、OD分布確率を固定値として解くOD残差平方和最小化法に比べ、OD推移確率(目的地選択確率)を更新して解くことができる発生交通量モデルの方がOD分布パターンの変動に対して柔軟に対応できるからである。

なお、この傾向は発生交通量を未知変量とする道路区間モデルにおいて顕著であり、特にOD推移確率が固定されている場合(OD推移確率型変動シミュレーション, 表-6. 18, 表-6. 19)にはOD交通量を未知変量とする他のモデルに比べて推計精度が良いといえる。しかし、エントロピー最大化によるモデル定式化では逆に発生エントロピー法の方が推計精度が悪い傾向にある。これは、エントロピー最大化の場合、モデルが非線形の最適化問題となるために、制約条件式の数が多くなると解の存在範囲が狭くなり、OD分布パターンのずれが推計精度に大きく影響するためと考えられるからである。

次に、道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響を比較する。発生交通量を未知変量とする各分析モデルの推計結果を表-6. 20 ($\kappa = 1.4, \sigma_{\chi} = 0\%$), 表-6. 21 ($\kappa = 1.4, \sigma_{\chi} = 10\%$)に示す。表-6. 12および表-6. 13に示したOD交通量を未知変量とする場合のシミュ

表-6. 2 1 道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響
 (傾向変動係数 $\kappa = 1.4$, 観測誤差 $\sigma_{\chi} = 10\%$, $E\theta$ の真値は $R\theta = 0.5$)

変動シミュレーションの型		ODパターンの変動なし					ランダム型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 0\% \cdot \sigma_B = 0\%$					$\sigma_T = 20\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
道路区間モデル	m = 2 4	10.9	10.2	9.6	9.3	11.5	20.0	19.5	18.9	18.6	19.1
発生交通量モデル	m = 6	18.5	17.2	16.0	14.8	13.1	24.6	23.9	23.2	22.7	25.0
結合モデル2	m = 2 4	3.1	2.8	2.5	2.4	3.8	17.6	17.5	17.5	17.4	17.4
発生エントロピー法	m = 6	72.0	72.2	72.4	72.7	74.1	72.0	72.2	72.4	72.6	73.5
Update 道路区間モデル	m = 2 4	10.9	10.2	9.6	9.3	29.4	20.0	19.5	18.9	18.6	19.1
Update 発生交通量モデル	m = 6	18.5	17.4	16.0	14.8	13.1	24.6	23.9	23.2	22.7	25.0
Update 結合モデル2	m = 2 4	5.2	4.9	2.5	2.4	5.7	17.7	17.7	17.5	17.4	17.4
道路区間モデル	m = 1 2	16.2	15.2	14.4	13.9	15.5	24.4	23.5	22.6	22.0	22.6
発生交通量モデル	m = 3	6.9	7.2	7.5	8.0	10.7	19.3	19.3	19.3	19.3	19.9
結合モデル2	m = 3	8.1	8.6	9.1	9.5	11.5	20.2	20.4	20.6	20.8	21.7
発生エントロピー法	m = 3	25.5	25.3	4.3	25.1	25.2	29.0	29.0	19.0	29.1	29.6
Update 道路区間モデル	m = 1 2	16.2	15.2	14.4	13.9	15.5	24.4	23.5	22.6	22.0	22.6
Update 発生交通量モデル	m = 3	7.0	7.4	8.1	8.9	13.2	19.3	19.3	19.3	19.3	19.9
Update 結合モデル2	m = 3	8.0	8.4	8.8	9.3	11.1	20.2	20.4	20.6	20.8	21.7
変動シミュレーションの型		重力モデル型変動シミュレーション					OD推移確率型変動シミュレーション				
変動の大きさ (ランダム誤差)		$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_B = 20\%$					$\sigma_A = 20\% \cdot \sigma_F = 0\%$				
Dial 確率配分法の配分パラメータ		0.05	0.25	0.50	0.75	2.00	0.05	0.25	0.50	0.75	2.00
道路区間モデル	m = 2 4	26.5	26.1	25.8	25.6	26.0	10.8	10.3	9.9	9.8	12.0
発生交通量モデル	m = 6	45.2	44.7	44.0	43.5	42.2	20.2	19.2	18.1	17.1	16.2
結合モデル2	m = 2 4	28.1	27.9	27.7	27.4	26.4	16.2	16.0	15.8	15.6	15.0
発生エントロピー法	m = 6	70.5	70.7	71.0	71.2	72.7	71.7	72.0	72.4	72.8	76.3
Update 道路区間モデル	m = 2 4	33.0	33.3	33.9	34.6	39.2	10.8	10.3	9.9	9.8	12.0
Update 発生交通量モデル	m = 6	45.2	44.7	44.0	43.5	42.2	20.2	19.2	18.1	17.1	16.2
Update 結合モデル2	m = 2 4	24.8	24.4	24.0	23.6	22.0	16.2	16.0	15.8	15.6	15.0
道路区間モデル	m = 1 2	34.0	33.3	32.6	32.1	32.4	16.3	15.6	15.0	14.7	16.9
発生交通量モデル	m = 3	34.8	34.8	34.9	34.9	35.7	29.6	29.7	29.9	30.1	31.3
結合モデル2	m = 3	35.3	35.0	34.7	34.3	33.0	28.0	27.6	27.2	26.8	25.2
発生エントロピー法	m = 3	31.7	31.4	37.1	30.7	30.0	22.7	22.4	36.9	21.9	21.8
Update 道路区間モデル	m = 1 2	19.3	19.1	47.9	19.9	27.6	16.3	15.6	15.0	14.7	16.9
Update 発生交通量モデル	m = 3	40.7	40.5	34.9	40.3	40.3	29.6	29.7	29.9	30.1	31.3
Update 結合モデル2	m = 3	43.0	42.6	34.7	41.7	40.0	28.0	27.6	27.2	26.8	25.2

レーション結果と比較すると、制約条件として取り入れる選択リンクの数によってその影響は多少異なるが、OD残差平方和最小化法よりも発生交通量モデルの方が道路区間利用率の先決誤差の影響が大きい傾向にあるといえる ($m = 6$)。しかし、道路区間交通量に観測誤差がある場合やOD分布パターンのずれが大きい場合には、いずれも道路区間利用率の先決誤差の影響は小さく、特に選択リンク数が少ない場合にはほとんど影響がないといえる。この傾向は、OD残差平方和最小化法、発生交通量モデル以外の他のモデルにおいても同様であり、特に、発生交通量を未知変量とした結合モデル2では道路区間利用率の先決誤差の影響が小さく、推計精度が安定しているといえる。

ここで、各分析モデルの推計に必要な計算時間 (C.P.U. Time) を比較すると、表-6. 2 2 に示すようになる。この表より、OD交通量を未知変量とするエントロピー最大化モデル (Willumsen の方法、改良 Willumsen 法) および IMA 法 L 型では、選択リンク数を多くすると極端に計算時間が大きくなり、大規模道路網に対してはかなり計算時間が必要であることが予想される。これは、非線形の連立方程式をプレント法³¹⁾により解いてOD交通量を推計するためであり、非線形連立方程式を繰り返し計算 (線形近似) により解く χ^2 値最小化法、あるいは単なる連立一次方程式の解法による最尤

表-6. 2 2 推計計算に必要な計算時間 (C.P.U. Time) の比較

分析モデル	C.P.U. TIME			
	選択リンク数 (m)			
	m=3	m=6	m=12	m=24
Willumsenの方法	-----	1.64秒	-----	1分21.37秒
改良Willumsen法	-----	2.08秒	-----	1分22.66秒
I MA法L型	-----	1.57秒	-----	1分9.67秒
OD χ^2 値最小化法1	-----	0.39秒	-----	1.90秒
OD χ^2 値最小化法2	-----	0.37秒	-----	1.31秒
最尤法 (OD推計法1)	-----	0.31秒	-----	0.42秒
OD残差平方和最小化法	-----	0.29秒	-----	0.40秒
道路区間モデル	-----	-----	1.90秒	0.38秒
発生交通量モデル	0.36秒	0.37秒	-----	-----
結合モデル2	0.38秒	-----	-----	0.38秒
発生エントロピー法	0.24秒	0.38秒	-----	-----

法、残差平方和最小化法に比べて計算時間が多くなるからである。したがって、エントロピー最大化モデルあるいはI MA法L型の推計モデルを実際の大規模道路網へ適用する場合には、選択リンク数を制限する必要があるといえる。

6. 7 結 語

本章では、残差平方和最小化によりモデル定式化を行う2種類5タイプの分析モデルを取り上げ、それぞれのモデルの推計誤差特性を明らかにするとともに、第3章、第4章、第5章でそれぞれ検討を行ったエントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデル、並びに本研究では検討を行っていないが残差平方和最小化モデルと類似性が高い χ^2 値最小化モデルとの関係についてモデル構造の類似性を検討し、それぞれのモデルの推計特性を明らかにした。

発生交通量を未知変量とした残差平方和最小化モデルに対するシミュレーション結果をまとめると次のことがいえる。

- ① 道路区間モデルおよび結合モデル2では選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向にあるが、発生交通量モデルではその傾向が多少異なっており、道路区間交通量に観測誤差 σ_x がなくて、しかもOD推移確率 f_{ij} が変化しなければ、選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向にあるが、道路区間交通量に観測誤差がある場合にはOD分布パターンの変動の大きさに応じて、推計誤差が最小となる最適な選択リンク数が存在するといえる。
- ② OD分布パターンの変動が推計精度のパラツキに及ぼす影響を比較すると、OD分布パターンが重力モデル的に変化する場合に最も推計精度のパラツキが大きく、ランダム的に変動する場合は小さいといえる。
- ③ 各分析モデルの推計精度のパラツキを比較すると、発生交通量モデルが最も大きく、道路区間モデルが最も小さい傾向にある。
- ④ 目的地選択確率 (OD推移確率) のupdateの効果は道路区間モデルが最も大きく、次いで結

合モデル2、発生交通量モデルの順となっている。また、その効果の大きさは選択リンク数が多いほど大きく、特にOD分布パターンが重力モデル的に変動する場合に顕著である。ただし、道路区間交通量に観測誤差がある場合には必ずしもupdateの効果があるとは限らない。

- ⑤ 道路区間利用率（配分パラメータ θ ）の先決誤差の影響はOD分布パターンにずれがなく、しかも道路区間交通量に観測誤差がない場合に大きく、観測誤差が大きくなればその傾向は小さくなる。また、道路区間モデル、発生交通量モデルにおいて、配分パラメータ θ の先決誤差の影響が大きく、結合モデル2では前二者に比べて小さい傾向にある。
- ⑥ 道路区間モデルはOD交通量を表わす分布モデルとしてどのようなモデル式を仮定するかによって推計特性が異なり、交通抵抗係数をゾーン間所要時間で与える重力モデルT型、修正重力モデルT型および介在機会型のモデルでは既存OD交通量のOD分布パターンにより推計精度が大きく左右されるが、交通抵抗係数を既存OD交通量で与える重力モデルS型、修正重力モデルS型およびOD推移確率型のモデルではOD分布パターンがどのような場合でも推計精度の差はほとんど見られず、乱数発生の違いによる推計精度のバラツキも小さい傾向にある。
- ⑦ OD分布パターンの変動の仕方およびその大きさによって道路区間交通量の観測誤差の影響は異なり、OD分布パターンがランダム的に変動する場合にその影響が大きい。ただし、OD分布パターンの変動が大きくなれば、道路区間交通量の観測誤差の影響は小さくなる傾向にある。

また、 χ^2 値最小化モデル、エントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデルなど、他の各種分析モデルとのモデル構造比較を行ったシミュレーション結果をまとめると次のことがいえる。

- ① 既存OD調査時と推計時のトータル交通量に差がない場合には、トータル交通量の制約条件を導入しても、導入しなくてもほとんど推計精度に差は見られないが、トータル交通量に差がある場合にはかなり推計精度の差が大きく、トータル交通量の制約条件を導入しないWillumsenの方法、IMA法L型（ただし、選択リンク数が少ない場合）、OD χ^2 値最小化法1、最尤法（OD推計法1）の方がトータル交通量の制約条件を導入する改良Willumsen法、OD χ^2 値最小化法2に比べて相対的に推計精度が悪いといえる。
- ② モデル構造の相違による推計精度の差を比較すると、トータル交通量に差がない場合には各分析モデルの推計精度はほとんど等しく、トータル交通量に差がある場合でも選択リンク数が少ない場合には、Willumsenの方法、IMA法L型、OD χ^2 値最小化法1、最尤法（OD推計法1）の各分析モデルの推計精度が等しいといえる。これらのことより、上記各分析モデルは類似した推計特性を持ち、モデル構造の比較からも明らかなように非常に類似したモデルであるといえることができる。
- ③ 道路区間利用率（配分パラメータ）の先決誤差の影響は道路区間交通量に観測誤差がない場合に大きく、いずれのモデルも制約条件として取り入れる選択リンク数が多い場合の方が少ない場合に比べて推計精度は良いといえるが、配分パラメータの先決誤差の影響は逆に大きくなる。
- ④ OD交通量を未知変量とする場合と発生交通量を未知変量とする場合の推計精度の比較を行う

と、OD交通量がランダムに変動する場合には、OD残差平方和最小化法（OD交通量モデル）も発生交通量モデルもほぼ等しい推計精度であるが、OD交通量が重力モデルに従って変動する場合、あるいはOD推移確率が変化せず発生確率のみが変動する場合には、発生交通量モデルの方が推計精度が良いといえる。しかし、モデル構造の異なる他の分析モデル（エントロピー最大化モデル、OD χ^2 値最小化モデル、etc.）との推計精度を比較すると、OD交通量がランダムに変化する場合には、全観測地点の交通量データを用いた改良Willumsen法、IMA法L型、あるいはOD χ^2 値最小化法2の推計精度の方が発生交通量を未知変量とするいずれのモデルよりも推計精度が良いといえる。ただし、OD交通量が重力モデル的に変動する場合あるいはOD推移確率が変化せず発生交通量のみが変化する場合には、目的地選択確率（OD推移確率）の更新が可能である道路区間モデルが最も推計精度が良いといえる。

- ⑤ 道路区間利用率の先決誤差の影響は、OD残差平方和最小化法（OD交通量モデル）よりも発生交通量モデルの方が大きいといえるが、道路区間交通量に観測誤差がある場合やOD分布パターンの変動が大きい場合には、その影響は小さく、特に選択リンク数が少ない場合にはほとんど先決誤差の影響は見られない。
- ⑥ 推計計算に必要な計算時間（C.P.U. Time）を比較すると、モデル定式化が非線形最適化問題となるエントロピー最大化モデルあるいは情報量最小化モデルの方が、連立一次方程式の解法により解が求まる最尤法モデル、残差平方和最小化モデルに比べて計算時間が非常に長くなるため、実際の大規模道路網へ適用する場合には選択リンク数を制限する必要があるといえる。

以上のことより、OD交通量がランダムに変動する場合には、OD交通量を未知変量とした改良Willumsen法、IMA法L型、あるいはOD χ^2 値最小化法2を用いればよく、OD交通量が重力モデル的に変動する場合、あるいはOD推移確率の変動が小さい場合には発生交通量を未知変量とした道路区間モデルを用いて推計を行えばよいといえる。ただし、改良Willumsen法およびIMA法L型は選択リンク数を多くすると指数関数的に計算時間が増大するため、実際の大規模道路網への適用にあたっては、その点を留意して観測リンクを選択する必要がある。今後は、現実の道路網への適用を通して、モデルの適用性を検討する必要があるといえる。

第6章 参考文献

- 1) 佐佐木綱, 岡本利章, 井上博司, 杉山守久; スクリーンライン調査によるOD表の修正, 昭和47年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, IV-1~IV-2, 1972年
- 2) 井上矩之, 佐佐木綱; OD表修正による転換率変換の向上, 第32回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.109~110, 1977年10月
- 3) 井上矩之, 佐佐木綱; 断面交通量調査によるOD表の修正, 第31回土木学会年次学術講演会講演概要, 第IV部, pp.237, 1976年10月
- 4) 佐佐木綱, 井上矩之, 大矢正樹; 断面交通量調査によるOD表の修正, 昭和52年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, IV-6~IV-7, 1977年
- 5) 前掲 2)
- 6) *Robert B. Dial*; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.*, Vol. 5, pp. 83 ~ 111, 1971.
- 7) *Michael G. H. Bell*; Log-linear Models for The Estimation of Origin-Destination Matrices from Traffic Counts; An Approximation, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp. 451~469, 1984.
- 8) *Y. Iida and J. Takayama*; Comparative Study of Model Formulations on OD Matrix Estimation from Observed Link Flows, *Proceedings of the 4th World Conference on Transportation Research*, Vol. 2, pp. 1570 ~ 1581, 1986
- 9) 高山純一, 飯田恭敬; リンク観測交通量を用いた残差平方和最小化による交通需要推計法, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 407~408, 1985年9月
- 10) 飯田恭敬, 高山純一; リンクフローによるOD交通量推計モデル, 土木計画学講習会テキスト「交通ネットワークの分析と計画; 最新の理論と応用」, Vol. 18, pp. 97~118, 1987年11月
- 11) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; OD推移確率が既知の場合の道路網交通需要推計モデル, 第7回交通工学研究発表会論文集, pp. 52~54, 1984年11月
- 12) *P. Robillard*; Calibrating of Dial's Assignment Method, *Transpn. Science* Vol. 8, pp. 117~125, 1974.
- 13) 尾田十八, 佐藤秀紀, 車古正樹, 鶴崎明; 「工学のためのコンピュータープログラミング」, 実教理工学全書, pp. 173~180, 1980年
- 14) 金井一二, 高山純一, 飯田恭敬, 水口玲二; 経路指定を行わない重力モデル型実測路上交通量モデル, 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 277~278, 1984年

- 15) 飯田恭敬, 高山純一, 金井一二, 水口玲二; *Dial* 確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法, 都市計画別冊, 第19号, pp.13~18, 1984年11月
- 16) 飯田恭敬, 秋山考正, 桂川博志; 目的地選択確率の変化を考慮したリンクフローによるOD交通量推計方法, 昭和61年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, IV.4-1~IV.4-2, 1986年
- 17) 飯田恭敬, 高山純一, 中島良光; 目的地選択確率の更新を考慮したリンク交通量によるOD推計法, 第42回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.122~123, 1987年9月
- 18) 飯田恭敬; 発生交通量のみを变量とした実測交通量による交通需要推計法, 土木学会論文報告集, 第283号, pp.95~104, 1974年3月
- 19) *Y. Iida and J. Takayama*; Traffic Demand Estimation Model for Actual Road Network by Observed Link Flows Regarding Generation Trips only as Unknowns, Proceedings of the 3rd World Conference on Transportation Research, Vol.1, pp.130~142, 1983
- 20) 飯田恭敬, 高山純一, 水口玲二; 発生交通量のみを变量としたリンク交通量による各種交通需要推計モデルの特性比較分析, 土木計画学研究・論文集, No. 3, pp.145~152, 1986年1月
- 21) 河上省吾, 羽根田英樹; 介在機会モデルの推計精度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第251号, pp.91~106, 1976年
- 22) 前掲 20)
- 23) 高山純一, 飯田恭敬, 小林光二; リンク観測交通量に基づく各種OD推計法のモデル構造比較, 第42回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.128~129, 1987年9月
- 24) *L.G. Willumsen*; Estimating Time-Dependent Trip Matrices from Traffic Counts, Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Delft University, pp.397~411, Jun 1984
- 25) 前掲 24)
- 26) 前掲 23)
- 27) 国沢清典; ORライブラリー14「エントロピー・モデル」, 日科技連, 1975年4月
- 28) *H. J. Van Zuylen and L.G. Willumsen*; The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts, Transpn. Res.-B, Vol.14B, pp.281~293, 1980
- 29) 前掲 23)
- 30) 井上博司; スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法, 交通工学, Vol.12, No.6, pp.11~19, 1977年11月
- 31) FACOM FORTRAN SSL II 使用手引書(科学用サブルーチンライブラリ): 連立非線形方程式(プレント法), PP.418~420, 富士通.

第7章 ネットワーク表示の簡略化と需要分析モデルの 実際への適用性

7. 1 概 説

大規模道路網を対象とした交通需要分析には、膨大な計算機容量と計算時間を必要とするので計算手法（主に交通量配分手法）そのものの効率化をはかると同時に、ネットワーク表示の簡略化が必要となる。交通量配分に関する研究は、これまで専ら前者に重点が置かれ、幾多の重要な成果が得られてきた。しかし、後者についての研究はきわめて少なく取り残されてきた観がある。ネットワーク表示の簡略化として従来よく用いられているのは、たとえば幹線道路などの主要道路のみを表示し、その他の道路については省略するという方法である。しかし、このような単純な方法では、計算費用の節約には寄与しても、配分結果に対する精度が保証されず、交通計画の基本データとしての利用価値が減ずることになる。したがって計算の経済化、効率化と同時にネットワークの合理的表示方法の開発が配分問題におけるこれからの重要な課題といえる。

一方、本研究で提案したリンク交通量に基づく交通需要分析モデルの多くは、経路選択率（OD別道路区間利用率）を別途推計し、先決値として外生的に与える場合が多い。OD別道路区間利用率を同時推定する場合においても大きな計算機容量を必要とする。したがって、対象道路網が大規模になると、当然交通量配分手法の効率化が必要となり、分析モデルの経済的計算法の開発も重要な課題となる。

そこで、本研究では分析モデルの効率的計算を行うためのネットワーク分割計算法と道路網をメッシュに分割し、メッシュごとに簡略化ネットワークを作成して配分計算を行う新しい配分方法を提案し、モデル計算によりその特性を検討する。そして、金沢都市圏の道路網へ適用して、その有効性を明らかにする。

本章では、まず第2節において大規模道路網を対象としたネットワーク解析手法に関する従来の研究を整理し、これまでの研究の問題点を明らかにする¹⁾。第3節では、ネットワーク表示の省略がリンク観測交通量を用いた交通需要分析にどのような影響を及ぼすか検討を行う。具体的には、仮想的なネットワークに対するモデル計算により、道路区間交通量の残差平方和最小化モデルがどのような影響を受けるか検討するとともに、その対応策（推計精度向上策）を提案する^{2), 3)}。第4節では、分析モデル（道路区間交通量の残差平方和最小化モデル）の計算機利用上の経済性を考慮した計算方法（ネットワーク分割計算法）を提案し、モデル計算によりその有効性を検討する^{4), 5)}。第5節では、メッシュ分割によるネットワーク表示の簡略化手法（メッシュ分割配分法）を提案し、交通需要分析モデルへの適用を考える^{6) ~ 9)}。第6節では、メッシュ分割配分法を導入した道路区間モデル（メッシュ法）を金沢都市圏に適用し、その有効性と適用限界を明らかにする^{10) ~ 12)}。

以上、本章ではリンク観測交通量に基づく需要分析モデルの実用化において問題となる大規模道路網

での効率的計算法（ネットワーク分割計算法，メッシュ分割配分法）を提案し，その有効性と限界を明らかにする。

7. 2 大規模道路網を対象としたネットワーク解析手法 に関する従来の研究

(1) ネットワークの分割，階層化による方法

大規模道路網を対象とした解析手法とネットワーク表示についての，これまでの研究を整理すると，1つにはネットワークを分割あるいは階層化して解析を行う方法がいくつか提案されている。

ネットワークを分割する方法としては，*T. C. Hu*の方法¹³⁾や林等の方法^{14), 15)}が提案されているが，これらの方法は計算の効率化と節約化に主眼が置かれたものであり，ネットワーク表示の簡略化については言及していない。特に，林等の方法は多数のノードペア間の最短所要時間を求めるためのものであり，交通量配分に用いることを目的とはしていない。

また，ネットワークを階層化することにより交通量配分を行う方法には，*C. F. Daganzo*の方法^{16), 17)}や内山等の方法^{18) ~ 20)}がある。*C. F. Daganzo*は道路を幹線道路と非幹線道路に区分し，最短経路探索の計算効率を高める工夫を行った。しかし，配分計算では必ず幹線道路を経てトリップが行われると仮定しているため，幹線道路からなるネットワークの設定方法に問題が残ると思われる。また，内山等は道路網の階層化に加え，OD交通量も長トリップと短トリップに階層化しており，配分計算ではまず長トリップを幹線道路からなる特定ネットワークに配分し，その後で短トリップを非幹線道路の集約による仮想ネットワークに配分している。しかし，この方法では①幹線道路と非幹線道路の整合性に問題があり，また②現実道路網の詳細な配分結果を得ることが困難である，などの問題点を残している。

(2) ネットワーク表示の簡略化による方法

ネットワーク表示を簡略化して配分を行う代表的な方法としては，ネットワークのリンク除去による方法（枝村等の方法²¹⁾）がある。この方法は，リンク除去の基準（交通需要の小さいリンクから除去する）を明示的に取り扱った点では評価されるが，配分対象道路網の簡略化にリンク除去の度ごとに配分手法を用いなければならないところに問題が残るといえる。また，リンク除去およびゾーン統合の影響を実証的に検討した研究に，黒川等の研究²²⁾がある。この研究は関東地域全域の大規模道路網（Bゾーン数102，リンク数640）を対象として，リンク除去およびゾーン統合が予測誤差の伝播にどのような影響を及ぼすか検討したものであり，実証的研究としての意義は大きい，具体的な簡略化の方法を示したものではない。

一方，複数のリンクを集約化してネットワーク表示を行う*M. L. Manheim*の方法²³⁾や*Y. Chan*の方法²⁴⁾が提案されているが，前者の場合，詳細リンクを並列と直列の組合せとみなし，集約リンクの合成容量関数（走行時間関数）の作成を試みているが，まだ実用には至っていない。また，後者の場

合、詳細ネットワークと簡略ネットワークの総走行時間およびコードンライン通過交通量が一定であるという仮定のもとに、簡略ネットワークのリンク所要時間を算出しているが、ネットワーク表示の簡略化のみを目的としているため、実用的な配分計算は困難であるといえる。

(3) その他の方法

その他の方法としては、ネットワークを連続体あるいは理想道路網とみなし、簡略化を行う方法(たとえば、*C. F. Daganzo*の方法²⁵⁾、*J. C. Tanner et al*の方法²⁶⁾、*G. F. Newell*の方法²⁷⁾)も提案されているが、いずれの方法も抽象的なアグリゲーションを取り扱ったものであり、現実道路網を対象とした実用的手法とは言い難い。

また、最近では交通量配分だけではなく、交通機関分担も含めた形で簡略化を行う非集計モデルによる新しい手法(*N. Litinas and M. Ben-Akiva*²⁸⁾)も提案されている。この手法は、対象とする都市空間を第1サブエリア(詳細な解析を必要とするエリア)と第2サブエリア(その他の広い地域の影響だけを考えるエリア)の2つに区分し、配分計算の簡略化を行っている。しかし、具体的には第1サブエリアの中の対象とする輸送システムについては詳細に取り扱うが、それ以外の単に移動を表わすシステムについては、抽象的な空間密度関数を定義することによって処理している。したがって、その空間密度関数の作成方法が大きな問題といえる。

このように既存の各手法は、①計算技術の改良に的を絞っている、②特定の用途を目的に開発されている、③非現実的な抽象モデルにとどまっている、等の問題点を有しており、一般的な交通量配分手法として用いるにはまだ限界があるといえよう。

7. 3 ネットワーク表示における細街路交通省略の影響分析 と推計精度の向上策²⁹⁾

(1) 影響分析のためのシミュレーションの方法

本研究において提案した交通需要分析モデルは、その定式化方法によって推計特性も多様であるが、道路区間交通量に観測誤差がない場合には、一般に利用する道路区間交通量の数(観測地点数)が多いほど推計精度が向上するといえる。しかし、実際の推計においては、対象道路網を構成するすべての道路区間をネットワーク表示することは、計算量および計算コストの面から困難なので、幹線道路(図7.1)を主として取り上げ解析することが多い。ネットワーク表示を簡略化(省略を含む)すると当然のことながら推計結果に誤差を生じるが、この両者の関係についてはこれまであまり考究された例がない。そこで本節では、ネットワーク表示の簡略化が分析モデルの推計誤差にどのような影響を及ぼすかその一般的特性を明らかにするために、数値計算を用いたシミュレーションにより分析を行う。対象道路網としては格子状の街路網を考え、これを幹線街路と細街路(非幹線街路を意味する)に分けて解析を行う。ただし、ネットワーク表示の簡略化は細街路交通に対して行うものとする。

また、検討を行う分析モデルとしては、第6章3節で提案した発生交通量を未知変量とする道路区間

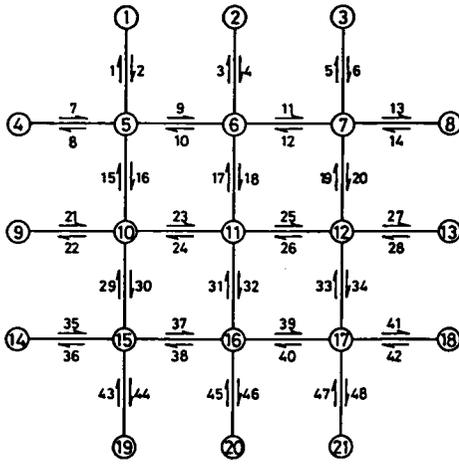


図-7.1 対象道路網（幹線街路と観測地点）

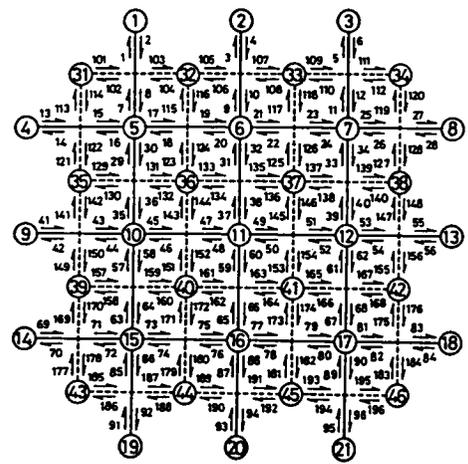


図-7.2 細街路をモデル化した対象道路網

交通量に関する残差平方和最小化モデル（道路区間モデル）とし、具体的には次に示すようなモデルシミュレーションにより影響分析を行う。

まず、幹線街路と幹線街路の間に存在する多くの細街路を図-7.2の破線で示す1本の細街路でまとめて道路網表示を行う。そして、推計において実測交通量として用いられる道路区間交通量は、細街路で分断される2つの幹線街路区間の交通量の平均値で与えることとする。これは、幹線街路上に細街路が多数交差しておれば、当然それらの交差点で交通量の出入りがあり、幹線街路上の区間（地点）ごとに交通量が異なるからである。すなわち、幹線街路上のどの区間（地点）で交通量が観測されるかわからないので、ここでは幹線街路区間の平均交通量で与えるという考え方をとする。

簡単な例を使って説明すると、たとえば 図-7.3 (a) に示す幹線街路区間9の実測交通量 RX_9 は、図-7.3 (b) に示す幹線街路区間17と19のOD別道路区間交通量を平均し（式(7-1)）、すべてのODペアについて合計した値として与える（式(7-2)）。同様に、幹線街路区間9のOD別道路区間利用率 P_{ij}^9 は幹線街路区間17と19のOD別道路区間利用率の平均値として式(7-3)により計算する。

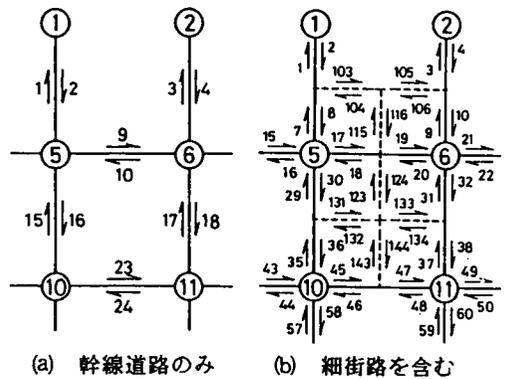


図-7.3 OD別道路区間交通量の求め方

$$Q_{ij}^9 = \frac{1}{2} (QQ_{ij}^{17} + QQ_{ij}^{19}) \quad (7-1)$$

$$RX_9 = \sum_i \sum_j Q_{ij}^9 \quad (7-2)$$

$$P_{ij}^9 = \frac{1}{2} (PP_{ij}^{17} + PP_{ij}^{19}) \quad (7-3)$$

ここで、 Q_{ij}^9 および P_{ij}^9 はODペア ij が幹線街路のみをネットワーク表示した図-7.1の道路

区間9を利用する交通量およびその利用率を表わしたものであり、一般に、 Q_{ij}^n, P_{ij}^n で示す。また、 $QQ_{ij}^{17}, QQ_{ij}^{19}$ および $PP_{ij}^{17}, PP_{ij}^{19}$ はODペア ij が細街路をも含めた形でネットワーク表示した図-7.2の道路区間17, 19を利用する交通量およびその利用率を表わしたものであり、一般に、 QQ_{ij}^n, PP_{ij}^n で示す。

OD別道路区間交通量 QQ_{ij}^n は図-7.2の各交差点において、OD別に分岐率を与えることによって作成する。ただし、各OD交通の経路選択は、途中各交差点において直進か、あるいは右折、左折のどちらか一方の二者択一の選択しかできないとしている。いま、ODペア ij の交差点 k における一方向の交差点分岐率を f_{ij}^k とすると、他方向の交差点分岐率は $(1 - f_{ij}^k)$ で表わされる。すなわち、直進比率を f_{ij}^k とすると、右折（あるいは左折）する比率は $(1 - f_{ij}^k)$ となり、逆に右折（あるいは左折）比率を f_{ij}^k とすると、直進比率は $(1 - f_{ij}^k)$

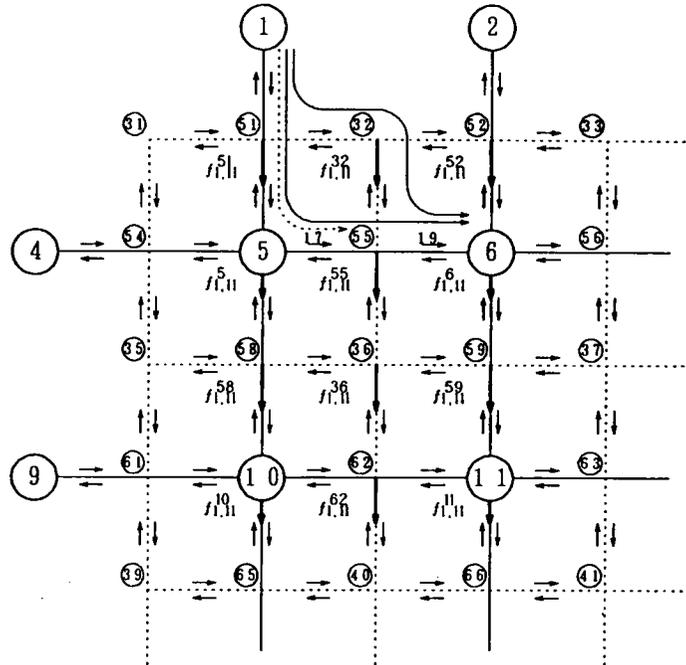


図-7.4 OD別交差点分岐率の与え方

となる。これらの交差点分岐率が与えられると、走行経路の順にその分岐率を掛け合わせるによって、OD別道路区間利用率 PP_{ij}^n が得られる。そして、これに別個に作成したOD交通量 RT_{ij} （これを現実OD交通量とする）を乗ずれば、 QQ_{ij}^n が算出できる。一例を示すと、たとえば $QQ_{1,11}^{17}$ の場合は、式(7-4)に示すように図-7.4の破線の矢印で示す走行経路に沿って分岐率を掛け合わせ利用率 $PP_{1,11}^{17}$ を計算し、それに $RT_{1,11}$ を乗ずる（式(7-5)）ことによって求める。また、 $QQ_{1,11}^{19}$ の場合は図-7.4の実線の矢印で示すように、経路が2本重なるので式(7-6)に示すように、それぞれの経路に沿って分岐率を掛け合わせ、それらを合計して利用率 $PP_{1,11}^{19}$ を計算する。そして、 $RT_{1,11}$ を乗ずることによって $QQ_{1,11}^{19}$ を求める。なお、今回のデータ作成では交差点における幹線街路相互、細街路相互の分岐率は0.5で固定するが、幹線街路と細街路の間の分岐率は細街路利用率として、0.0から0.4まで0.1刻みで変化させ、それぞれの場合について推計誤差の比較を行った。

$$PP_{1,11}^{17} = f_{1,11}^{51} \cdot (1.0 - f_{1,11}^{52}) \quad (7-4)$$

$$QQ_{1,11}^{17} = RT_{1,11} \cdot PP_{1,11}^{17} \quad (7-5)$$

$$PP_{1,11}^{19} = f_{1,11}^{51} \cdot (1.0 - f_{1,11}^5) \cdot (1.0 - f_{1,11}^{55}) + (1.0 - f_{1,11}^{51}) \cdot f_{1,11}^{32} \cdot (1.0 - f_{1,11}^{55}) \quad (7-6)$$

$$QQ_{1,11}^{19} = RT_{1,11} \cdot PP_{1,11}^{19} \quad (7-7)$$

データ作成をこのように行うことによって、現実道路網における様々な経路選択パターン、細街路選択パターンに対応した分析を行うことが可能となる。

この発生交通量を未知変量とする道路区間交通量の残差平方和最小化モデルを用いて推計を行う場合に必要となるデータは、道路区間上で観測される道路区間交通量 RX_{ij} と、先決値として与えられるOD間抵抗パラメータ R_{ij} 、およびOD別

表-7.1 推計計算で用いるデータの組合せ

	道路区間交通量	OD 別道路区間利用率
ケース 1	幹線街路のみ	幹線街路のみ
ケース 2	細街路を考慮	幹線街路のみ
ケース 3	細街路を考慮	細街路を考慮

道路区間利用率 P_{ij} の3種類である。本推計計算で作成する RX_{ij} および P_{ij} は、いずれも幹線街路に対するものであり、前述の式(7-1)～式(7-7)を用いて作成する。

推計計算は、細街路通過交通を考慮する場合と考慮しない場合のそれぞれについて推計精度を比較するために、データの組合せ(表-7.1)により3通り行った。

表-7.2 各ケースにおけるデータ (P_{ij} , RX_{ij}) 作成のための分岐率設定の一例

(OD 交通量 $T_{1,11}$ について、細街路利用率 0.2)

分岐点	交差点分岐率	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
		P_{ij} 作成 f_{ij}^*	RX_{ij} 作成 f_{ij}^*	P_{ij} 作成 f_{ij}^*	RX_{ij} 作成 f_{ij}^*	P_{ij} 作成 f_{ij}^*	RX_{ij} 作成 f_{ij}^*
k	51※	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8
	32	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	52	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	55※	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2
	6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	58※	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8
	36	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	59	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

※印は細街路利用率に関係する分岐点を示す。なお、この分岐点は OD ペアにより異なる。

ケース1は各OD交通量がすべて幹線街路のみを利用するとした(あるいは、細街路が現実にも存在しないとした)道路区間モデルの推計精度が最良となる場合を想定したものである。このとき、 P_{ij} および RX_{ij} は細街路利用率为 0.0 として作成する。図-7.4 に示すOD交通量 $T_{1,11}$ を例にとり説明すると、ケース1では表-7.2 に示すように、 P_{ij} と RX_{ij} を作成するときに同じ分岐率を与えて計算する。このとき、細街路利用率为 0.0 としているので、破線で示す細街路の交通量および利用率はどちらも 0.0 となっている。しかし、実際には細街路利用交通が存在するため、幹線街路において実測される RX_{ij} は細街路利用交通量の分だけ少なくなるはずである。そこで、ケース2では細街路利

用率にある値（表-7.2 では細街路利用率を 0.2 としてある）を与えて RX_{ij} を作成する。一方、 P_{ij}^* は細街路利用率を 0.0 として求めた値を用いる。すなわち、 P_{ij}^* を作成するときにはケース 1 と同様に、幹線街路のみを利用するとして分岐率を与えるが、 RX_{ij} を作成するときは幹線街路、細街路の双方を利用するとして分岐率を与え計算する。これは、道路区間モデルを現実道路網に適用する場合、普通細街路のネットワーク表示を省略するので、観測交通量である RX_{ij} は細街路利用、非利用の双方を含んだものと考えられるが、先決値として与える P_{ij}^* は一般に幹線街路のみを対象として推定することが多い。したがって、ケース 2 はこの場合に対応するものである。しかし、幹線街路の P_{ij}^* が細街路利用交通をも考慮した形で得られれば、推計精度が向上すると思われる。これを確かめるために行うのがケース 3 である。つまり、ケース 3 は表-7.2 に示すように、 P_{ij}^* 、 RX_{ij} のデータ作成がともに細街路利用を考慮した分岐率を与えた場合であり、ケース 1 に比べ P_{ij}^* および RX_{ij} はともに細街路利用の分だけ小さい値となっている。ただし、各ケースにおけるデータ作成の手順はいずれも同様であり、異なるのは表-7.2 に示すように分岐率の与え方のみである。

(2) シミュレーション結果と考察

数値計算では表-7.3 に示す人工的に作成した現実 OD 交通量（基本 OD 交通量 = BRT_{ij} ）を基準として用いる。ただし、交通量の発生集中はすべて幹線街路相互の交差点で行われるものとした。OD パターンの特徴は、現実交通現象に近似させるように対象道路網内部のノード（図-7.1 に示す 5, 6, 7, 11, 12, 15, 16, 17 の各ノードを本文では内部ノードと呼ぶ）で発着する交通、特に隣接ノード間の OD 交通量を小さくし、反対に対象道路網における通過交通量を大きくしてある。さらに、OD パターンによる推計精度の差異をみるために、OD パターンを変えて推計計算を行った。つまり、内部発着・通過交通比率と斜方向・直進方向交通比率の影響をみるために、それぞれ内部発着 OD 交通量および直進方向 OD 交通量を 1/16 倍から 16 倍まで変化させて誤差分析を行った。具体的には、たとえば「内部発着 OD 交通量を 1/16 倍から 16 倍まで変化させる」とは、対象道路網周辺部のノード（図-7.1 に示す 1, 2, 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18, 19, 20, 21 の各ノードを本文では周辺部ノードと呼ぶ）相互間の OD 交通量（通過交通）を除くすべての OD 交通量について、式(7-8) で現実 OD 交通量 RT_{ij} を作成し、推計計算を行った。ただし、図-7.1 の道路網において、格子状に沿った右左折しない交通を直進方向交通、屈折経路で通過する交通を斜方向交通としている。

$$RT_{ij} = 2^{\omega} \cdot BRT_{ij} \quad (7-8)$$

$$\omega = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4$$

ここで、 i, j はどちらか一方、あるいは両方が内部ノードである。

$$R_{ij} = \frac{t_{ij}^*}{a_i^* \cdot b_j^*} \quad (7-9)$$

$$\sum_j t_{ij}^* = a_i^* \quad (7-10)$$

$$\sum_i t_{ij}^* = b_j^* \quad (7-11)$$

ここで、 a_i^* 、 b_j^* はそれぞれ既存OD交通量 t_{ij}^* の発生交通量および集中交通量を表わす。

表一7.3 数値計算に用いた基本OD交通量 (BRT_{ij})

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	(i)
1	0	0	0	372	8	128	104	409	408	116	76	140	403	465	160	152	208	404	892	398	402	5245
2	0	0	0	361	52	20	32	411	419	128	84	72	396	431	124	160	192	373	453	865	398	4971
3	0	0	0	352	80	48	20	400	430	104	96	28	384	452	140	116	292	394	432	497	883	5148
4	383	370	362	0	8	28	84	872	0	64	60	124	399	0	132	100	148	382	87	76	493	4172
5	212	188	152	168	0	80	32	148	132	16	80	64	112	124	128	80	192	104	224	128	116	2480
6	84	200	176	192	80	0	80	156	120	48	16	16	144	108	64	128	112	116	96	192	92	2220
7	76	84	148	160	64	16	0	228	84	32	80	80	168	72	112	80	96	164	120	100	196	2160
8	423	378	392	857	244	120	48	0	378	124	104	76	0	383	132	108	80	0	402	372	391	5012
9	378	366	390	0	84	72	136	424	0	28	68	164	838	0	64	92	152	398	373	366	384	4777
10	152	96	104	188	32	48	64	72	192	0	80	16	200	120	32	48	128	124	176	120	112	2104
11	100	104	100	108	64	48	32	88	124	80	0	80	128	112	16	80	32	132	80	172	96	1776
12	64	72	164	96	48	32	16	124	148	32	80	0	156	84	48	64	80	164	84	72	152	1780
13	407	404	392	396	72	56	84	0	837	116	152	64	0	489	124	96	76	0	384	377	414	4940
14	421	411	409	0	92	92	76	392	0	52	84	60	388	0	8	68	124	907	503	482	393	4962
15	160	108	96	152	96	48	123	80	164	48	16	48	96	220	0	80	80	172	152	76	92	2112
16	92	132	100	112	64	80	96	88	124	80	48	64	128	188	80	0	80	216	96	192	136	2196
17	72	76	120	116	144	112	112	112	132	96	80	16	108	184	16	80	0	168	112	84	196	2136
18	373	368	382	379	68	112	92	0	391	116	56	28	0	912	72	20	12	0	423	481	452	4737
19	955	484	473	401	28	52	96	372	434	52	84	132	368	400	40	44	72	391	0	0	0	4878
20	389	932	401	428	84	56	72	382	415	124	48	48	369	434	92	32	48	383	0	0	0	4737
21	371	365	943	441	72	64	20	393	424	52	28	24	371	435	112	60	40	392	0	0	0	4607
(j)	5112	5138	5304	5279	1484	1312	1404	5151	5356	1508	1420	1344	5156	5613	1696	1688	2244	5384	5089	5050	5398	77150

OD間抵抗パラメータ R_{ij} は、前述したように式(7-9) で求めた値を用いる。今回の数値計算では、 R_{ij} が変化しないと仮定し、式(7-9) の t_{ij}^* に RT_{ij} を代入して R_{ij} の計算を行った。したがって、内部発着・通過交通比率および斜方向・直進方向交通比率でODパターンを変化させた場合においても、 R_{ij} の変化はないことになる。しかし、現実問題としてはOD間交通抵抗パラメータ R_{ij} は変化するため、その影響を検討しておく必要があるが、今回の分析では行わなかった。

推計精度の表示は、交通量の多いものほど交通対策上重要となるので、式(7-12)、式(7-13) に示すように交通量で重みづけした標準比率誤差を用いて行う。ただし、 δ_X 、 δ_T はそれぞれ道路区間交通量およびOD交通量に対する重みつき標準比率誤差である。

$$\delta_X = \sqrt{\frac{1}{RX} \sum RX_{\cdot} \cdot \left(\frac{X_{\cdot} - RX_{\cdot}}{RX_{\cdot}} \right)^2} \quad (7-12)$$

ただし、 $RX = \sum RX_{\cdot}$

$$\delta_T = \sqrt{\frac{1}{RT} \sum_i \sum_j RT_{ij} \cdot \left(\frac{T_{ij} - RT_{ij}}{RT_{ij}} \right)^2} \quad (7-13)$$

ただし、 $RT = \sum_i \sum_j RT_{ij}$

以上、各ケースにおけるデータ作成および推計手順をまとめると、図-7.5 に示すフローチャートのようなになる。なお、ここでは図-7.1 に示すような格子状道路網を例にとり、細街路利用率の影響度とODパターンの違いによる影響度を検討する。以下に、その結果を示す。

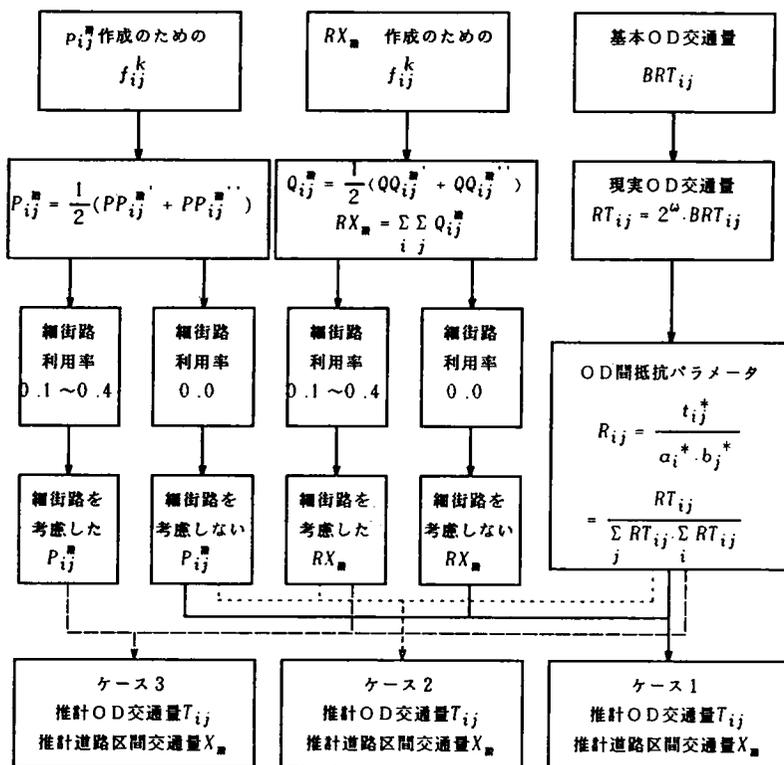


図-7.5 シミュレーションの手順を示すフローチャート

1) 細街路利用率の影響度

ネットワーク表示の簡略化による推計精度は、細街路利用率によって異なると予想される。そこで、細街路利用率の影響をみるために、細街路利用率を0.1から0.4まで変化させて推計計算を行い、推計精度への影響を検討した。なお、ケース1、2、3、いずれの場合も、用いた現実OD交通量、サンプルOD交通量（あるいは既存OD交通量）は表-7.3に示すものであり、 R_{ij} の変化はないものと仮定している。

図-7.6はケース2およびケース3における道路区間交通量の推計精度を表わしたものである。両者の推計精度を比較すると、後者の方が良いといえる。ただし、傾向としてはどちらも細街路利用率が大きくなるに従い、ほぼ直線的に精度が悪くなっている。

図-7.7はOD交通量の推計精度を表わしたものである。ケース2に比べ、ケース3の方が格段に

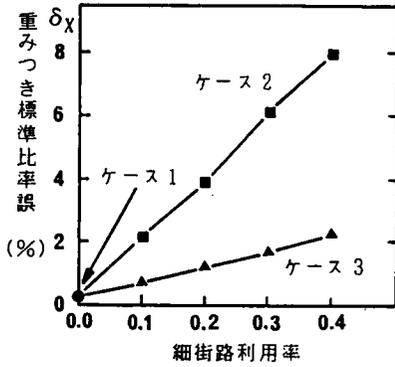


図-7.6 基本OD交通量に対する道路区間交通量の推計精度

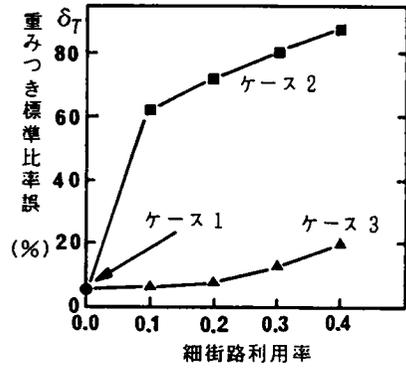


図-7.7 基本OD交通量に対する道路区間交通量の推計精度

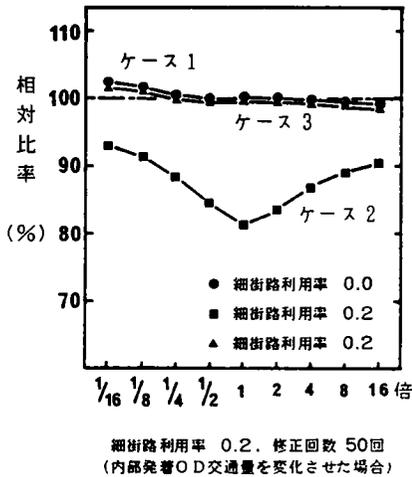


図-7.9 総トリップ数の現実値に対する推計値の相対比率

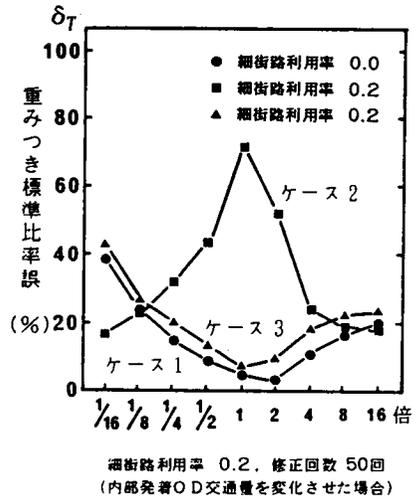


図-7.8 OD交通量の推計精度

精度が良いといえる。その特徴を比較すると、前者では細街路利用率が0.1の場合で誤差は61%にもなり、その後勾配は小さくなるもののほぼ直線的に増大して、細街路利用率が0.4の場合は86%となっている。これに比べて後者では細街路利用率が0.1で6%、また細街路利用率が0.4となっても誤差はほぼ20%にとどまっている。これは、前者の場合、データ作成時において設定した交差点分岐率 f_{ij}^k が RX_{ij} の作成に対しては細街路を考慮し、 P_{ij} の作成に対しては考慮しなかったからであり、この不整合が大きな推計誤差を生じた原因と考えられる。一方、後者の場合は RX_{ij} 、 P_{ij} とともに細街路を考慮した同一ベースでデータ作成を行っているために、推計誤差が小さくなっているものと考えられる。

なお、道路区間モデルの推計精度が最良となる場合（サンプル調査時と推計時において、 P_{ij} および

表-7.4 基本OD交通量における発生交通量の現実値に対する推計値の相対比率
(相対比率= 推計値/ 現実値 %)

ノード	ケース1	ケース2	ケース3	
周辺部ノード	1	100.00	94.11	99.99
	2	100.00	97.09	100.11
	3	100.00	94.18	99.96
	4	100.00	94.56	99.89
	8	100.00	94.31	99.94
	9	100.00	96.41	100.15
	13	100.00	96.64	100.19
	14	100.00	94.01	99.98
	18	100.00	94.17	99.93
	19	100.00	94.15	99.94
20	100.00	96.75	100.09	
21	100.00	94.04	99.99	
内部ノード	5	101.03	13.90	95.30
	6	95.51	16.72	96.94
	7	102.58	10.68	96.70
	10	92.15	13.66	88.41
	11	114.64	295.18	121.10
	12	91.94	13.20	91.53
	15	104.47	10.75	98.84
	16	93.13	17.21	99.82
17	102.27	11.82	98.43	

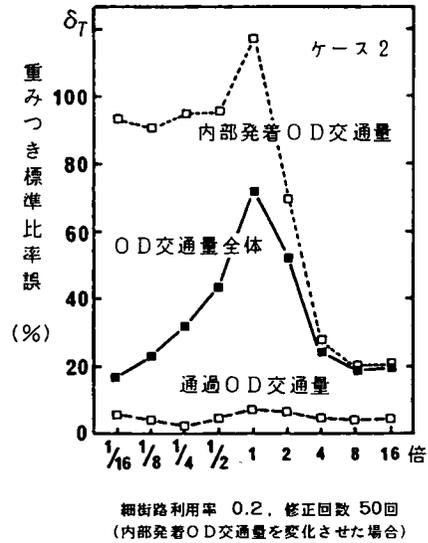


図-7.10 通過OD交通量と内部発着OD交通量の推計精度の比較

R_{ij} に現実値とのずれがなく、しかも細街路交通による影響がない場合)を想定したケース1においても、図-7.6, 図-7.7の白丸印(○印)で示すように誤差が少し残る。これは非線形最適化問題を解くために使用した発生交通量の繰返し修正計算式(式(6-48))の性質によるものである。また、OD交通量の推計誤差は道路区間交通量の推計誤差よりも一般に大きいことがわかる。

2) 内部発着・通過交通比率でODパターンを変化させた場合

図-7.8に細街路利用率が0.2の場合のケース2, ケース3の結果と、ケース1(細街路利用率は0.0となっている)の結果を比較して示す。ただし、ODパターンを変化させた場合の R_{ij} は、変化させたODパターンに対応した値であり、 t_{ij}^* と RT_{ij} の間の R_{ij} の変化はないとしている。図-7.8より、ケース1とケース3は同じような誤差特性を示しており、表-7.3に示す基本OD交通量からそれほどODパターンが大きく変化しない場合には精度が良く、内部ノードのOD交通量が相対的に小さいODパターンでは精度が悪くなっているのがわかる。これは基本OD交通量からODパターンが大きくなり、発生・集中交通量のノード間隔差が大きくなると、解の収束性が悪くなり、推計に用いた式(6-48)ではまだ誤差が残るものと考えられる。それに対し、ケース2は全く反対の傾向にあり、基本OD交通量の付近で非常に精度が悪くなっている。この傾向を総トリップ数の現実値 RT に対する推計値 T の相対比率(T/RT)でみると、図-7.9に示すようになる。ケース1, 3ではほぼ T と RT が等しいといえるが、ケース2では基本OD交通量の付近で特に推計値 T が小さくなっている。この理由は、表-7.4に示すように内部ノードの発生交通量に誤差が集積するためであり、発生交通量が現実値よりも小さめに推計されるからである。この傾向を明らかにするために、発生・集中地点がどちらも周辺部ノードである(通過交通)か、どちらか一方または両方が内部ノードである

(内部発着交通)かによりOD交通量を2分類し、推計誤差を比較すると図-7.10に示すようになる。

表-7.5 基本OD交通量に対する道路区間利用率(利用率=細街路を考慮/幹線街路のみ)

道路区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1~10	97.0	94.1	96.3	97.1	94.7	94.2	94.6	95.3	※73.6	※77.4
11~20	※75.4	※74.5	96.5	94.3	※74.8	※73.8	※90.3	※88.1	※76.1	※74.3
21~30	96.4	97.5	※87.1	※90.0	※90.2	※87.3	97.6	96.6	※72.8	※75.0
31~40	※87.4	※90.6	※73.7	※76.8	94.0	95.8	※74.1	※76.5	※76.8	※73.4
41~48	94.9	94.2	94.2	95.1	96.8	95.8	94.0	95.6	—	—

※ 対象道路網内部の道路区間を示す

この図より、通過OD交通量に比べ内部発着OD交通量の誤差が非常に大きいことがわかる。これは、表-7.5の※印で示す対象道路網内部の道路区間(たとえば、道路区間9, 10)において、特に細街路交通の影響が大きく、式-6.54 ($A_j - B_j = \Delta D_j$)の関係が成立しなくなるためである。しかも、発生交通量修正式の特徴から、周辺部ノードの発生交通量は接続する1本の流出側道路区間(たとえば、図-7.1のノード1の場合は道路区間2)の実測交通量 RX_{ik} によって一意に決るのに対し、内部ノードの場合は関係する接続道路区間は4本(流出側)であり、個々の推計道路区間交通量がどのような値であっても、合計値としての $\sum_k EX_{ik}$ が $\sum_k RX_{ik}$ にできるだけ等しくなるように推計が行われるからである。したがって、周辺部ノードの発生交通量が固定されれば、 RX_{ik} と P_{ij} の間のずれによるひずみは、必然的に内部ノードに集積することになるからである。

3) 斜方向・直進方向交通比率でODパターンを変化させた場合

図-7.11に細街路利用率が0.2の場合の推計結果を示す。ここで、ケース1は説明するまでもなく、細街路利用率が0.0の場合である。この場合も、ODパターンを変化させたときの t_{ij}^* と RT_{ij} の間の R_{ij} の変化はないものとして推計を行っている。図-7.11より、ケース1とケース3は同じような誤差特性を示し、ケース2に比べるとかなり精度が良いといえる。しかし、ケース2は直進方向のOD交通量が多くなるにつれて、推計精度が良くなる傾向にある。

これは直進方向のOD交通量が多くなれば、相対的に屈折経路を有する斜方向のOD交通量が少なくなり、その結果として細街路利用交通の影響が小さくなるためと考えられる。この影響は図-7.12に示すように総トリップ数の相対比率 (T/RT) でみても明らかである。つまり、ケース2の場合直進方向のOD交通量が大きくなると、図-7.12に示すように推計値 T と現実値 RT に近づく傾向にあり、細街路利用交通の影響が小さくなることわかる。特に、図-7.13に示すように、内部発着OD交通量においてその傾向が強い。しかし、相対的にみればやはり誤差は通過OD交通量に比べ、内部発着OD交通量に集積しているといえる。

(3) 発生交通量比率を用いた推計精度の向上策

ケース2の結果からわかるように、細街路利用交通が存在するにもかかわらず細街路利用率を0.0としてOD別道路区間利用率 P_{ij} を与えると、内部発着OD交通量に誤差が集積して推計精度がきわめて悪くなることが明らかとなった。逆に、ケース3から細街路利用交通を考慮した P_{ij} が得られれば、かなりの精度向上が可能なが判明した。しかし、細街路利用をも含めた形で、 P_{ij} を求めるとなると、

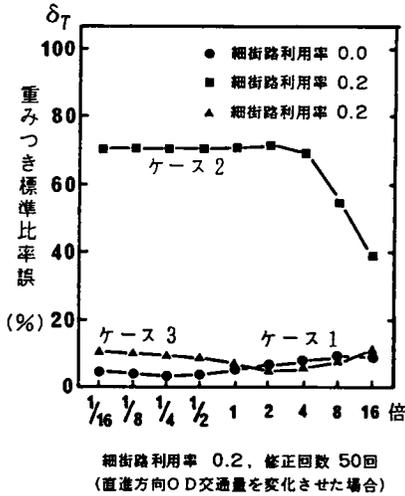


図-7.11 OD交通量の推計精度

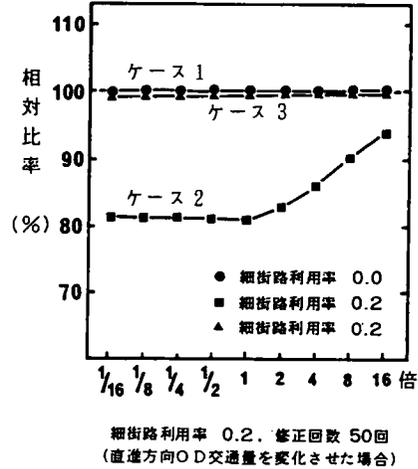


図-7.12 総トリップ数の現実値に対する推計値の相対比率

調査解析がきわめて複雑となり、例えば、既存配分理論を用いて行くとすれば計算量が膨大となり、本推計モデルの実用的価値が減殺されることになる。そこで、次に示すようなサンプルOD（あるいは既存OD）パターンを利用した補正法を提案する。

ケース2より明らかとなったが、誤差は主に内部発着OD交通量、すなわち内部ノードの発生、集中交通量に集積する。そこで、サンプルOD（あるいは既存OD）調査時点の各ノードの発生交通量パターン（各ノード発生交通量 a_i^* の総トリップ数 t に対する比率 $u_i = a_i^* / t$ ）と、推計時の現実OD交通量の発生交通量パターン（各ノード発生交通量 RA_i の総トリップ数 RT に対する比率 $U_i = RA_i / RT$ ）に大きな差はないと仮定し、総トリップ数推計値 T をサンプルOD（あるいは既存OD）の u_i で比例配分することによって A_i を求め、OD交通量の推計を行ってみる。

これは、具体的にはサンプルOD（あるいは既存OD）調査時点と推計時点において、ODパターンに大きな変化がないという条件を付加したことになる。したがって、この場合は路上交通量の一致条件に加えて、調査時と推計時のODパターンの近似条件を満足させねばならない。この方法を用いれば、細街路利用交通量による誤差の偏りを大幅に補正することができる。これをケース4とする。さらに、式 $(\sum_k RX_{jk} - \sum_k RX_{kj} = \Delta D_j)$ によって得られる ΔD_j の値を $1/2$ にすることによって、細街路

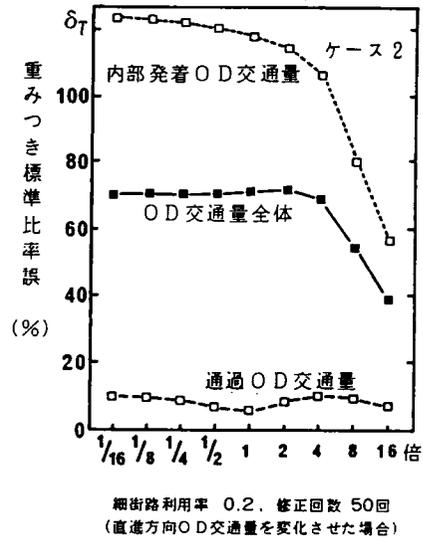


図-7.13 通過OD交通量と内部発着OD交通量の推計精度の比較

利用交通量による誤差を発生及び集中交通量で均等に分担させ、精度の向上を試みる。これをケース5とする。それぞれの結果を図-7.14, 図-7.15に示す。両ケースともケース2に比較して誤差は格段に小さくなっており、ケース5はケース4よりも更に数パーセント誤差が改良されている。

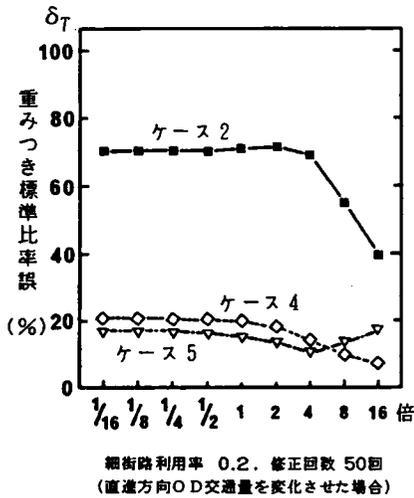


図-7.14 発生交通量比率を用いた簡便の推計法

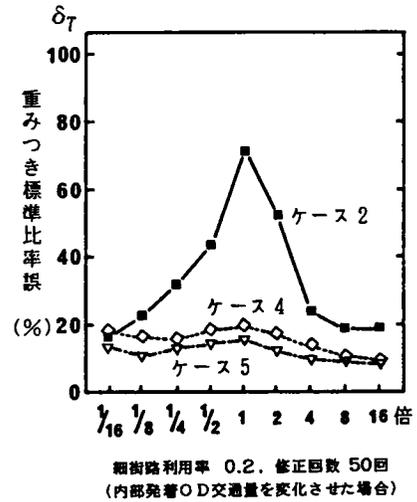


図-7.15 発生交通量比率を用いた簡便の推計法

これらのことより、ここで提案した方法を用いれば、細街路のネットワーク表示を省略したケース2に比べ、かなりの精度向上が期待できること、しかも細街路利用交通の影響が大きい場合に特に有効であることがわかった。また、細街路による誤差を発生、集中交通量で均等に分担させるケース5の方法を用いれば、更に精度を向上させることができる。したがって、サンプルOD(あるいは既存OD)調査時点と推計時点のODパターンに、それほど大きなずれがないときには非常に有効な手法といえる。しかし、両時点のODパターンに大きなずれがあると考えられる場合には、上述の補正法をそのまま使用することはできない。そのようなときには、ケース3で示したように細街路利用交通を考慮したOD別道路区間利用率を与える方法か、あるいは交通量の変動特性^{30)~32)}を利用したOD間抵抗パラメータの修正方法³³⁾が考えられるが、これらについては今後の検討課題である。

以上、本節での分析結果をまとめると次のことがいえる。

- ① 細街路利用交通を無視した場合、細街路利用率の増大とともにOD交通量の推計精度は急速に悪くなる。
- ② 斜方向に対する直進方向のOD交通量比率が大きい場合は、細街路利用交通量が小さくなるので推計精度への影響は小さい。
- ③ 細街路利用交通量を無視した場合、推計誤差は内部発着OD交通量に集中する。
- ④ 細街路利用交通を考慮した道路区間利用率が得られれば、推計精度を大幅に向上させることができる。

- ⑤ サンプルOD交通量（あるいは既存OD交通量）の発生交通量パターンを用いて補正を行えば、推計精度をかなり向上させることができる。ただし、調査時と推計時のODパターンが大きく変化しないことが前提である。
- ⑥ 細街路利用交通による誤差を発生、集中交通量で均等に分担させることによって補正を行えば、更に推計精度を向上させることができる。

しかし、この方法を適用する場合の条件は、前述したようにODパターンに大幅な変化がないことであり、変化がある場合にはその変化を前もって推定し、推定されたODパターンを用いて推計を行う必要がある。したがって、サンプルOD交通量を用いて R_{ij} を先決する場合には、サンプル抽出率の偏りが問題となるし、また過去に行われた既存OD交通量を利用する場合には、調査規模の大きさ（対象範囲、抽出率等）と調査実施からの経過年数、すなわち土地利用変化に伴う交通発生パターンの変化の大きさが問題となる。しかし、OD交通量の変動特性³⁴⁾、たとえば交通量変動の平均値 μ と分散 σ^2 の間に指数関係式 ($\sigma^2 = \alpha \cdot (\mu)^\beta$, α, β はパラメータである) が存在することやOD交通量相互に正の相関関係が存在することを考慮して、OD間抵抗パラメータ R_{ij} の修正を行えば、精度の向上が期待できる。今後は、OD交通量の変動特性を更に解明するとともに、 R_{ij} の修正法の改良を進める必要がある。

また、このモデルを広範な対象地域に適用する場合には、推計計算法の改良と道路区間利用率の合理的な先決方法の開発が必要となる。前者については、対象地域をいくつかのサブエリアに分割し、分割したサブエリアごとに推計計算を行うネットワーク分割計算法が考えられる。このネットワーク分割計算法については、第4節で記述する。また、後者についてはネットワーク表示の簡略化による交通量配分法の応用が考えられる。このネットワーク表示の簡略化手法については、第5節において記述する。

7. 4 ネットワーク分割による需要分析モデルの計算法³⁵⁾

(1) 計算法の基本的な考え方

発生交通量を未知変量とした道路区間交通量の残差平方和最小化モデルは、計算も手軽で、ODパターンの変化がそれほど大きくなければ、かなりの推計精度でOD交通量を推計することが可能である。しかし、対象とする道路網が大規模になると、道路網全体を同時に推計する従来の推計法（道路網一括推計法）ではOD別道路区間利用率の数が指数的に増大するため、計算機の経済的利用方法の開発が必要となる。

そこで、本節では道路網をいくつかのサブエリアに分割し、分割した道路網ごとに推計計算を行う2通りの計算法（道路網分割推計法、道路網集約化推計法）を提案し、その適用性をシミュレーションにより検討する。以下に、その基本的な考え方を示す。

1) 道路網分割推計法

この推計法の特徴は補助記憶装置を用いることによって、主記憶容量をできるだけ少なくすることにある。すなわち、道路網一括推計法においては、図-7.16に示すノード数 $n (= 16)$ 、リンク数

$m (= 48)$ の対象道路網の場合、 P_{ij}^m の記憶容量として、 $n \times n \times m = 16 \times 16 \times 48 = 12,288$ 個の主記憶容量が必要となるが、対象道路網を図-7.16のように4つのサブエリアに分割し、サブエリアごとに推計計算を行うようにすれば、主記憶容量は約1/3 ($n \times n \times m' = 16 \times 16 \times 16 = 4,096$ 個、 m' は境界を含めた1つのサブエリア内の道路区間数)となる。推計手順を示すと次のようになる。

ステップ1・・・対象道路網をいくつかのサブエリアに分割し、サブエリアごとに道路区間利用率を補助記憶装置へ格納する。

ステップ2・・・1つのサブエリアに注目し、そのサブエリア内の道路区間(たとえば、図-7.16のサブエリア[1]の場合では、1から8、33から40の合計16個の道路区間)について、実測値と推計値が一致するようにそのサブ

エリア内の発生交通量を1回修正する。このとき、他のサブエリア内の発生交通量は固定しておく。着目するサブエリアを順次入れ替えて、すべてのサブエリアについて修正計算を1通り行う。修正計算は式(6-55)(第6章第3節)を用いて行う。

ステップ3・・・ステップ2を繰り返す、対象道路網全体の道路区間において、実測交通量と推計交通量の誤差がある許容誤差以下になるまで修正を繰り返す。この推計法では、着目するサブエリアごとに補助記憶装置から P_{ij}^m を呼び出し、入れ替えて計算する必要があるため、道路網一括推計法に比べ約2~3割推計時間が長くなる。

2) 道路網集約化推計法

この推計法は補助記憶を用いるのではなく、推計対象のサブエリア以外を図-7.17に示すように集

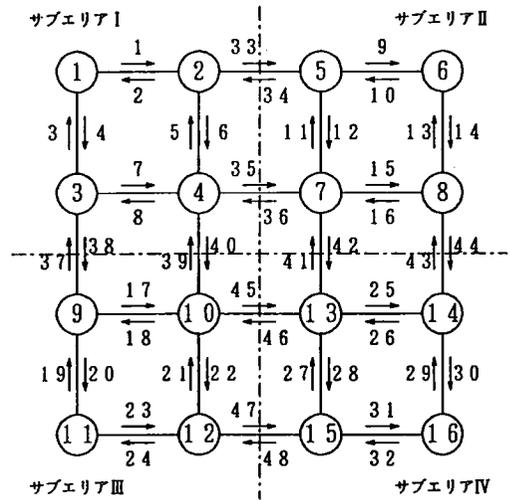


図-7.16 対象道路網とサブエリア

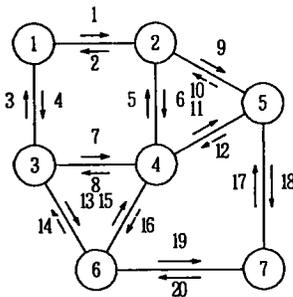


図-7.17 サブエリアIに着目した場合の集約ネットワーク

表-7.6 全域ODパターンと各サブエリアの関係

	1...4	5...8	9...12	13...16	O
1 ⋮ 4	I				
5 ⋮ 8		II			
9 ⋮ 12			III		
13 ⋮ 16				IV	
D					T

表-7.7 サブエリア [I] を推計対象とした場合の集約ODパターン

	1	2	3	4	5	6	7	O
1	I							SA ₁
2	I							SA ₂
3	I							SA ₃
4	I							SA ₄
5								
6								
7								
D	SB ₁	SB ₂	SB ₃	SB ₄				TT

約化し、ノード数、リンク数を減らすことによって計算機容量の軽減をはかるものである。ただし、図-7.17 はサブエリア I に着目した集約ネットワークを表わしたものであり、他のサブエリアについても同様にして集約ネットワークを作成することができる。このようにすれば、 P_{ij} の記憶容量を道路網一括推計法の約 $1/3$ ($n \times n \times m \times l = 7 \times 7 \times 20 \times 4 = 3,920$, n , m はそれぞれ集約ネットワークにおけるノード数、リンク数を示し、 l はサブエリアの数を示す) にすることができる。ただし、先決値として与える OD 間抵抗パラメータ SR_{ij} 、道路区間利用率 SP_{ij} および実測道路区間交通量 SRX_{ij} は集約ネットワークに対応したものでなければならない。推計手順を示すと次のようになる。

- ステップ 1・・・ 対象道路網を分割し、図-7.17 に示すように推計対象サブエリアごとに集約ネットワークを作成する。
- ステップ 2・・・ 全域 OD パターン (表-7.6) を集約することによって集約 OD パターン (表-7.7) を作成し、集約ネットワークにおける OD 間抵抗パラメータ SR_{ij} を求める。
- ステップ 3・・・ 全域 OD 比率を用いて、集約ネットワークにおける道路区間利用率 SP_{ij} を求める。このとき、いくつかの道路区間が集約されて 1 本になった場合には、対応する道路区間の利用率を合計して求めればよい。
- ステップ 4・・・ 集約ネットワークの道路区間交通量 SRX_{ij} は、対応する道路区間をそれぞれ合計して求める。
- ステップ 5・・・ ステップ 2, 3, 4 で得られた SR_{ij} , SP_{ij} , SRX_{ij} をインプットデータとして、式(6-53) (第 6 章第 3 節) を満たす α_i , A_i , β_j , A_j を求める。ただし、発生交通量の修正計算は集約ネットワーク全体に対して行う。
- ステップ 6・・・ 各サブエリアについて、ステップ 2 から 5 を繰り返す。得られた α_i , A_i , β_j , A_j ($i, j = 1, 2, \dots, 16$) を式(6-52) (第 6 章第 3 節) に代入して、OD 交通量 T_{ij} を計算する。

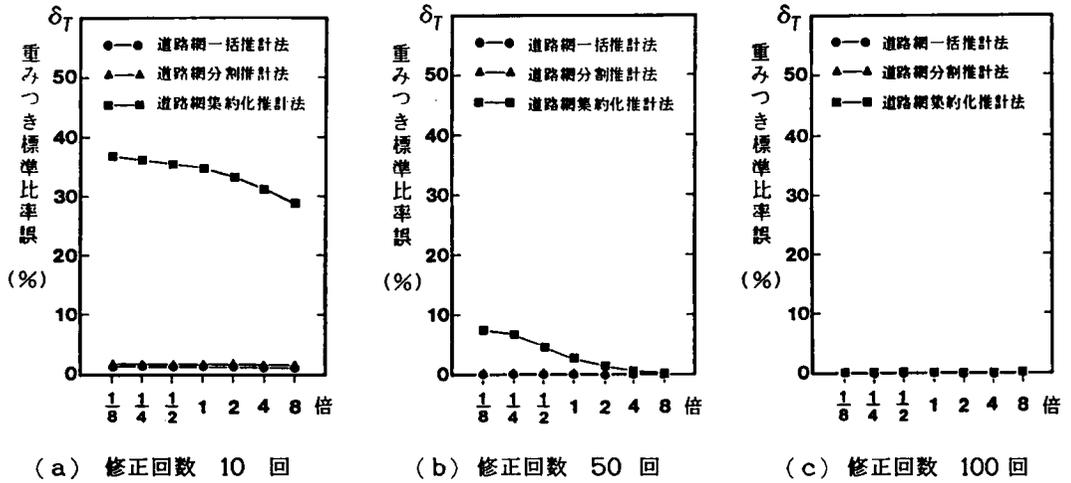


図-7.18 内部発着ODパターン変動に対するOD交通量の推計精度

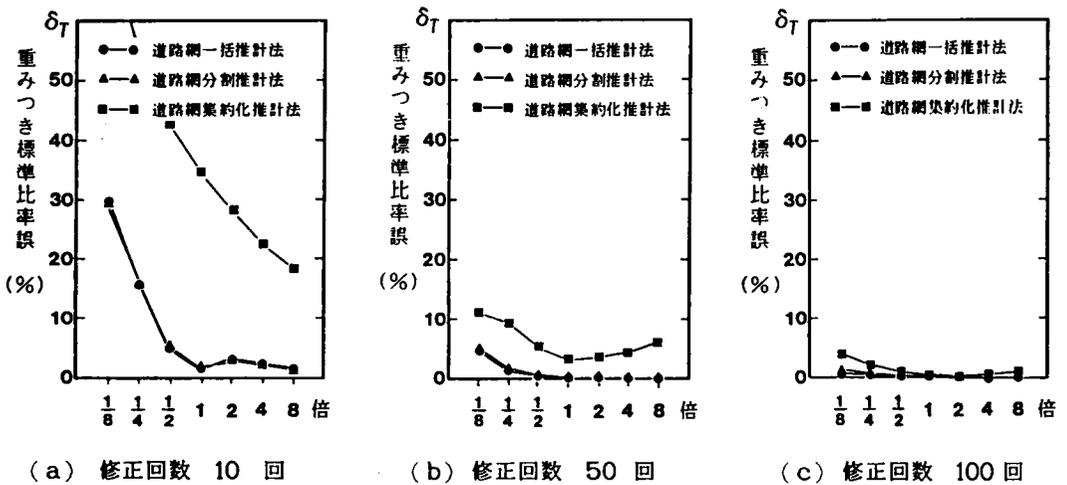


図-7.19 直進方向ODパターン変動に対するOD交通量の推計精度

(2) シミュレーションの方法

本節で提案した2つの分割計算法の適用性を簡単なシミュレーションにより検討する。シミュレーションは図-7.16に示す対象道路網を用い、最初に与えるOD交通量としてはOD交通量がすべて同一な均一OD交通量を用いた。また、先決値の道路区間利用率は次のように設定した。まず、格子状に沿った直進方向のOD交通量に対しては、格子状の最短経路のみを利用するとし、屈折経路を有する斜方向のOD交通量に対しては、屈折回数の少ない経路を優先させ、その経路の利用率が高くなるように設定した。なお、現実の都市では道路網形態、土地利用形態により様々なODパターンが存在し、たとえば通過交通量の多い都市では対象道路網外周部のノード間のOD交通量が多く、中心部に商業地や官庁が集中した都市では対象道路網内部のノードの発生集中交通量が多くなると考えられる。そこで本研究

では、このODパターンの違いが推計精度にどのような影響を与えるか分析するために、次のような2通りのODパターン変動シミュレーションを行った。すなわち、内部発着、通過交通比率の影響と斜め方向、直進方向交通比率の影響を見るために、内部ノードの発生集中交通量と直進方向のOD交通量をそれぞれ1/8倍から8倍まで変化させてシミュレーションを行った。

(3) シミュレーション結果と考察

1) 発生交通量の修正回数と推計精度

一般に発生交通量の修正回数を多くすれば、推計に必要な計算時間は長くなる。ただし、計算時間が単純に修正回数と比例関係にあるわけではない。なぜなら、道路網分割推計法では推計時間の他に P_{ij}^* を補助記憶装置から呼び出すアクセス時間が必要となり、道路網集約化推計法では集約ネットワークに対応した SP_{ij}^* , SR_{ij} , SRX_{ij} を前もって求めておき外生的に与えるか、推計計算の中で内生的に与えるかによって計算時間が異なるからである。そこで、修正回数を固定した場合のODパターンの違いによる推計精度を比較することにより、各推計法の特徴を検討する。

図-7.18, 図-7.19はそれぞれ内部発着、直進方向に関するODパターンを変化させた場合の各修正回数における推計精度を示したものである。ODパターンによって異なるが、修正回数が少ないと誤差が大きい傾向にある。その傾向は、特に道路網集約化推計法において強く、内部発着OD比率または直進方向OD比率が小さいODパターンで誤差が大きくなっている。このことより道路網集約化推計法を一般の道路網に適用する場合には、集約ODパターンによりあらかじめ修正回数を検討する必要があるといえる。

2) OD間抵抗パラメータの変動による影響

本推計法ではサンプル調査等によって与えられるOD間抵抗パラメータ R_{ij} を固定値として扱っているが、一般にはサンプル値と現実値との間に差異があると考えられる。したがって、その差異が推計精度にどのような影響を与えるかを調べることは、この推計法を適用するうえで重要なことである。そこで、この影響を見るために現実値を変動させそれぞれ4回のシミュレーションを行った。図は4回のシミュレーション結果とその平均値を示してある。図-7.20より、現実値に対する相対変動が10%、20%、30%と大きくなるにしたがい、推計誤差はほぼ10%、20%、30%と悪くなっており、そのバラツキも次第に大きくなっている。しかもその傾向は図-7.21の道路網分割推計法においても同様であり、ODパターンが異なっても同じである。一方、道路網集約化推計法(図-7.22)の場合は、前者2つの推計法に比べ、平均誤差、バラツキどちらも若干大きくなっている。これは、もともと相対変動が0%のときに誤差があるためと考えられる。

3) OD別道路区間利用率の変動による影響

OD間抵抗パラメータ R_{ij} と同様、OD別道路区間利用率 P_{ij}^* においても先決値(インプットデータ)と現実値との差異が問題となる。そこで、推計精度に与える影響を見るために、シミュレーションにより現実値を変動させ、誤差分析を行った。図はそれぞれ相対変動が0%、20%、40%の場合を示してある。 R_{ij} 変動の場合に比べ、 P_{ij}^* 変動の影響は小さいといえる。しかも、図-7.23, 図-

7.24 に示すように道路網一括推計法と道路網分割推計法においては変動によるバラツキが小さく、相対変動が40%の場合でも最大誤差が20%以下となっている。しかし、道路網集約化推計法(図-7.25)においては R_{ij} 変動の場合と同様に、誤差、バラツキともに前者2推計法に比べ大きくなっている。なお、内部発着OD交通量に関するシミュレーションでは、内部発着のOD交通量比率の大小にかかわらず、 P_{ij} 変動の影響は変わらないが、直進方向OD交通量に関するシミュレーションでは、直進方向OD交通量比率が小さいほど誤差が大きくなっている。これは、このシミュレーションが屈折経路を有する斜方向OD交通量に関する道路区間利用率のみを変動させているからである。すなわち、直進方向のOD交通量が相対的に大きくなれば、 P_{ij} の変動の影響が小さくなるからである。

以上のシミュレーション結果をまとめると、次のことがいえる。

- ① 道路網分割推計法は道路網一括推計法と同程度の推計精度が得られるが、サブエリアごとにデータを補助記憶装置から呼び出す必要があるため、計算時間は長くなる。
- ② 道路網集約化推計法は道路網分割推計法に比べ推計時間

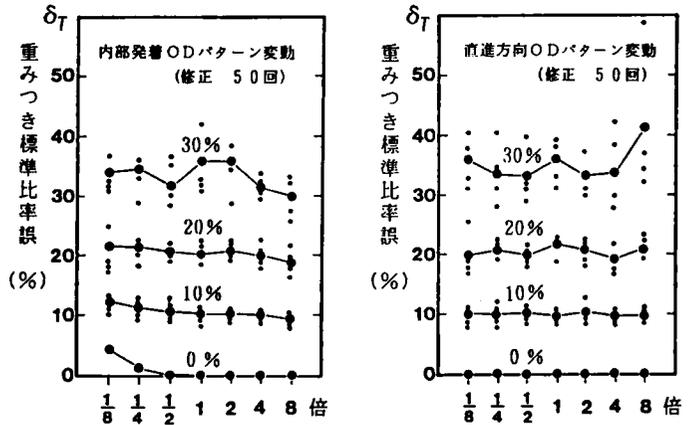


図-7.20 道路網一括推計法における R_{ij} 変動の影響

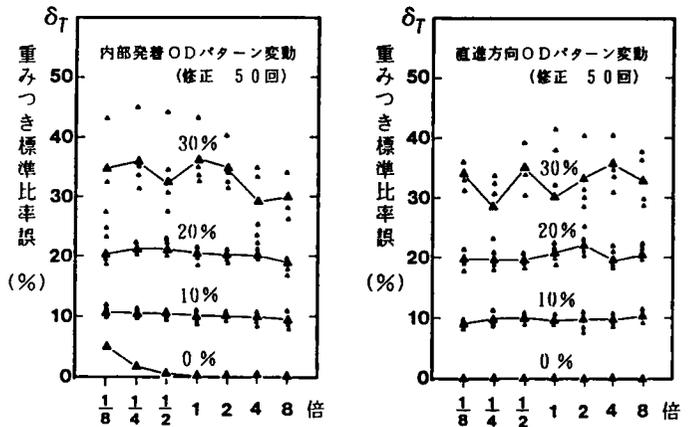


図-7.21 道路網分割推計法における R_{ij} 変動の影響

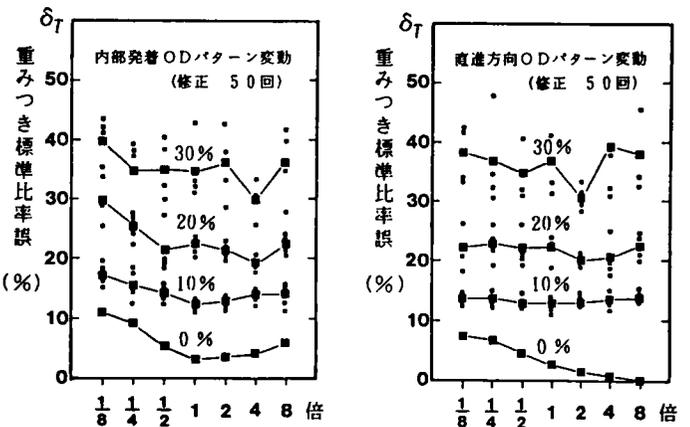


図-7.22 道路網集約化推計法における R_{ij} 変動の影響

は短縮できるが、推計誤差は大きい。特に、内部発着OD交通量が小さい場合に誤差が大きく、多くの修正回数が必要とする。

③ OD間抵抗パラメータの変動が大きくなると、いずれの推計法においても誤差、バラツキが大きくなり、その傾向はどのODパターンにおいても同じである。

④ OD別道路区間利用率の変動による影響はOD間抵抗パラメータの場合に比べかなり小さく、直進方向のOD交通量が大きい場合にはほとんどみられない。

よって、経済的観念のみからいえば計算時間の短い道路網集約化推計法が有利であり、推計精度面からみれば道路網分割推計法が有利である。また、道路網集約化推計法は集約ネットワークに対応させてデータを作る必要があるため、データ作成が多少面倒となる。しかし、対象地域が道路網全域ではなく、ある地域に限定された場合には非常に有効になると考えられ

る。このように両推計法は一長一短を持っており、対象道路網に応じて使い分ける必要がある。また今回のシミュレーションでは発生交通量の初期値を任意に与えたために多くの修正回数が必要としたが、この初期値の与え方によっては発生交通量の修正回数を減らすことが可能である。その1つの方法として、既存（あるいは調査）OD交通量の発生交通量パターンを用いる方法が考えられる³⁶⁾。この方法は発生交通量パターンのずれが大きくない場合に非常に有効であり、10回程度の修正回数でかなりの推計精度が得られている。今後は、対象道路網の分割数と推計精度の関係、最適な分割方法などについて現実道路網を用いた検討が必要である。

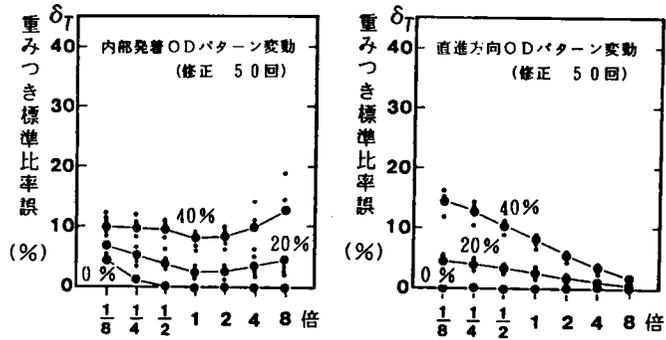


図-7.23 道路網一括推計法における P_{ij} 変動の影響

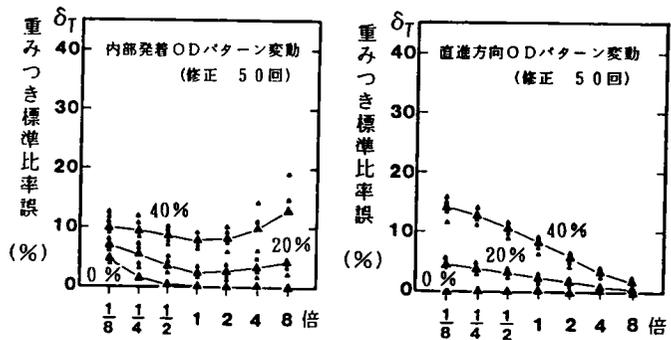


図-7.24 道路網分割推計法における P_{ij} 変動の影響

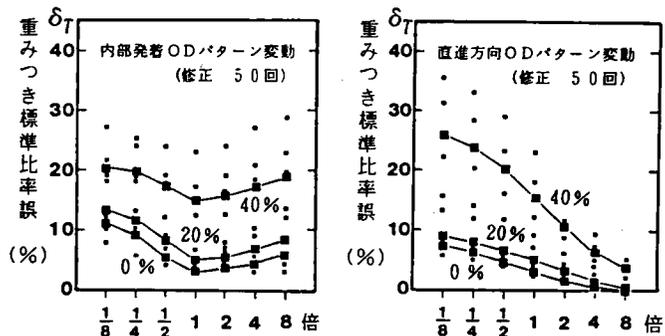


図-7.25 道路網集約化推計法における P_{ij} 変動の影響

7. 5 ネットワーク表示簡略化手法による需要分析モデルの提案³⁷⁾

(1) 簡略化の基本的な考え方

ネットワーク表示を簡略化して配分計算を行う方法としては、これまで様々なものが提案されているが、ここでは図-7.26 に示すように対象道路網（全域詳細道路網）をメッシュに分割し、メッシュごとに簡略ネットワークを作成して配分計算を行う新しい計算法を提案する。この方法の特徴は、簡略化した全域簡略道路網（図-7.27）を用いた全体配分と、その配分結果をメッシュ内詳細道路網へ再配分する詳細配分の2段階の配分計算（図-7.28）を交互に繰り返すことにより、配分精度の保証と計算時間の節約を達成しようとするところにある。

ネットワークの簡略化は、メッシュ内を通過する交通とメッシュ内から発生、あるいはメッシュ内へ集中する交通をそれぞれ1つの簡略アークで表示することにより行う。具体的には、図-7.29に示すように1つのメッシュには1個の集約ゾーンセントロイド（発着点N）と4個の集約中継点A、B、C、Dを設定し、発（着）ノードNと中継ノードA、B、C、Dを結ぶ簡略アークを発（着）アーク、中継ノード間を結ぶ簡略アークを通過アークとしてネットワーク表示する。こ

ここで、ノードNはメッシュ内のゾーンセントロイド n_i （発生集約点）を集約したものであり、ノードA、B、C、Dはそれぞれメッシュ辺A、B、C、D上の中継点 a_k, b_k, c_k, d_k を集約したものである。

以下に、その具体的な作成方法を記述する。

1) 発（着）アークの作成方法

ノード n_i から中継点 a_k への最短所要時間を $\tau_{n_i a_k}$ とし、その経路を利用する確率（利用率）を $P_{n_i a_k}$ ($\sum_k P_{n_i a_k} = 1.0$) とすると、ノード n_i から中継ノードAへの平均所要時間 $\tau_{n_i A}$ は、式(7-14)で表わすことができる。

$$\tau_{n_i A} = \sum_k \tau_{n_i a_k} \cdot P_{n_i a_k} \quad (7-14)$$

ここで、各ノード n_i の発生交通量比率 WO_{n_i} ($WO_{n_i} = O_i / \sum_j O_j$, O_i ; 発生交通量) を用いて、

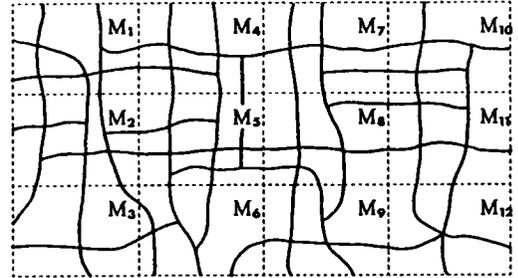


図-7.26 対象道路網とメッシュ分割
(全域詳細道路網)

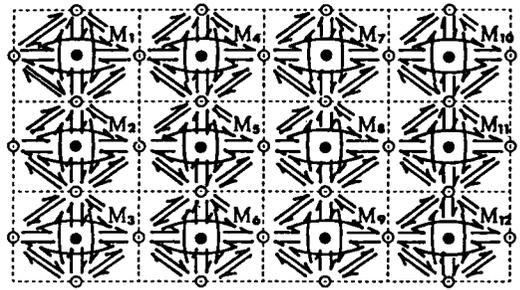


図-7.27 対象道路網のメッシュ簡略化
(全域簡略道路網)

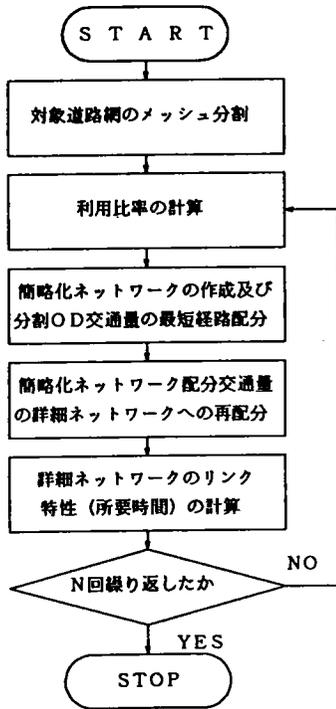


図-7.28 メッシュ分割配分法の推計手順

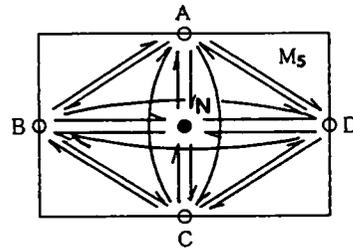


図-7.29 メッシュ内簡略道路網

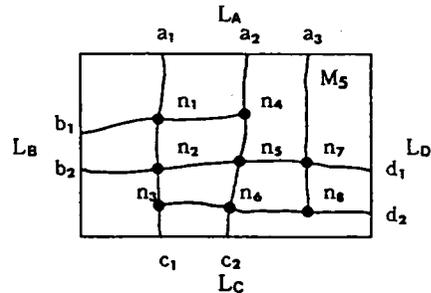


図-7.30 メッシュ内詳細道路網

アーク所要時間の重みづけを行うと、ノードNから中継ノードAへの平均所要時間 τ_{NA} （発アーク所要時間）は式(7-15)のように表わされる。

$$\tau_{NA} = \sum_i \tau_{n_i A} \cdot W O_{n_i} \quad (7-15)$$

同様にして、中継ノードAからノードNへの平均所要時間 τ_{AN} （着アーク所要時間）も、集中交通量比率 $W D_{n_j}$ （ $W D_{n_j} = D_j / \sum_i D_i$, D_j ; 集中交通量）を用いることにより表わすことができる。なお、中継ノードB, C, Dについても同様である。

2) 通過アークの作成方法

通過アークについてはメッシュ辺A全体から流入し、メッシュ辺C全体へ流出する通過交通量 F_{AC} のうち、中継点 a_k, c_k を通過する交通量を $f_{a_k c_k}$ とすると、その利用率 $P_{a_k c_k}$ は式(7-16)で表わされる。

$$P_{a_k c_k} = \frac{f_{a_k c_k}}{F_{AC}} = \frac{f_{a_k c_k}}{\sum_k \sum_{k'} f_{a_k c_k'}} \quad (7-16)$$

ここで、 a_k, c_k 間の最短所要時間を $\tau_{a_k c_k}$ とすると、通過アーク L_{AC} の平均所要時間は、式(7-17)のように表わすことができる。他の通過アークについても同様である。

$$\tau_{AC} = \sum_k \sum_{k'} \tau_{akck'} \cdot P_{akck'} \quad (7-17)$$

(2) 簡略化のためのメッシュ分割方法

一般に、メッシュ分割を大きくし、メッシュの数 m_z を少なくすると、全域簡略道路網での経路探索は効率的になるが、メッシュ内詳細道路網での計算効率はそれほど向上しない。逆に、メッシュの数を多くすると、仮設中継ノード数が多くなり、全域簡略道路網での計算効率が低下する。ここでは、1つのメッシュに含まれるノード数（ゾーンセントロイド数の平均値 $= \bar{n}$ 、通過ノード数の平均値 $= \bar{n}_0$ 、メッシュ境界上の中継ノード数の平均値 $= \bar{n}_B$ ）と分割の形状（メッシュ辺の数 $= n_L$ ）が、簡略化にどれほど寄与するかについて検討を行う。ただし、効率性の計算は最短経路探索に要する計算回数（1つのノードより出るリンク数が一定のとき、ノード数の約2乗のオーダーとなる）を用いて行う。

1) 簡略化を行わない場合の計算回数

対象地域全体のノード数 N はメッシュ内の平均ノード数（ \bar{n} 、 \bar{n}_0 ）を用いると、ほぼ $N \approx m_z \cdot (\bar{n} + \bar{n}_0)$ になる。したがって、最短経路探索のための計算回数 W は概算的に式(7-18)となる。

$$W \approx m_z \cdot \bar{n} \cdot \{m_z \cdot (\bar{n} + \bar{n}_0)\} \quad (7-18)$$

2) 簡略化を行った場合の計算回数

簡略化配分を行う場合には、メッシュ内詳細道路網での利用比率の計算（ W_P ）と全域簡略道路網における配分計算（ W_S ）が必要となる。

利用比率の計算には、メッシュ内各ノード間の最短所要時間が必要となる。したがって、その計算回数 W_P はメッシュ内ノード数 $N_P \approx \bar{n} + \bar{n}_0 + \bar{n}_B / \bar{\lambda}$ を用いて、 $W_P \approx m_z \cdot N_P^2$ のように表わすことができる。ただし、メッシュ境界上の中継ノードについては、メッシュ内の各ノードに接続する平均リンク数 $\bar{\lambda}$ により重みづけを行った。これは、最短経路探索に要する計算回数が1つのノードから出るリンク数に比例するというを考慮するためである。

全域簡略道路網におけるノード数 N_S は、 $N_S \approx m_z \cdot (1 + n_L / 2)$ （中継ノード n_L が隣接メッシュ間で共有）となる。したがって、全域簡略道路網における計算回数 W_S は $W_S \approx m_z \cdot m_z \cdot (1 + n_L / 2)$ となる。ゆえに、簡略化配分計算全体 W_M では次のようになる。

$$\begin{aligned} W_M &\approx W_P + W_S \\ &\approx m_z \cdot (\bar{n} + \bar{n}_0 + \bar{n}_B / \bar{\lambda})^2 + m_z^2 \cdot (1 + \frac{n_L}{2}) \end{aligned} \quad (7-19)$$

ここで、簡略化配分が有効となるのは、 $W > W_M$ のときである。したがって、この条件を満足する m_z （下限値）は式(7-20)で表わされる。

$$m_z > \frac{2(\bar{n} + \bar{n}_0 + \bar{n}_B / \bar{\lambda})^2}{2\bar{n}(\bar{n} + \bar{n}_0) - (n_L + 2)} \quad (7-20)$$

一方、簡略化表示のもう一つの目的は、ノード数とリンク数を減らし、計算機容量を削減することにある。したがって、詳細道路網全体のノード数 $N = m_z \cdot (\bar{n} + \bar{n}_0)$ 、リンク数 $L = 2m_z \cdot (\bar{n} + \bar{n}_0)$ よりも、簡略化した場合のノード数 $N_s = m_z \cdot (1 + n_L/2)$ 、リンク数 $L_s = m_z \cdot (n_L + 1) \cdot n_L/2$ を少なくする必要がある。よって、その条件は式(7-21)、式(7-22)となる。ただし、交差点は十字路を基本として考えた。

$$\bar{n} + \bar{n}_0 > 1 + n_L/2 \quad (7-21)$$

$$4(\bar{n} + \bar{n}_0) > (n_L + 1) \cdot n_L \quad (7-22)$$

なお、メッシュ辺の数 n_L は一般に $n_L \geq 3$ であるため、式(7-22)の条件式だけで十分である。ゆえに、簡略化のためのメッシュ分割は式(7-20)および式(7-22)を満足するように行わなければならない

(3) メッシュ分割を用いた交通量配分

簡略ネットワークの発(着)アークおよび通過アークの平均所要時間は式(7-15)、式(7-17)に示すように各メッシュ辺からのそれぞれの利用率を用いて計算するが、一般にはその値は未知であるため、本研究では次に示すようないくつかの仮定により利用率を設定し、簡略化を行うことにする。

1) 利用者運転特性の仮定による利用率計算法(従来法)

一般に、道路利用者の経路選択は様々であるが、概ね所要時間が短く、走行速度の速い混雑していない道路を選択するものと考えられる。そこで、次のような仮定を設定して利用率の計算を行った。

仮定1-利用率は所要時間 ($\tau_{n_i a_k}$, $\tau_{a_k c_k}$) の逆比に比例する。

$$P_{n_i a_k} = \frac{(1/\tau_{n_i a_k})^\gamma}{\sum_k (1/\tau_{n_i a_k})^\gamma} \quad (7-23)$$

仮定2-利用率は平均速度 ($v_{n_i a_k}$, $v_{a_k c_k}$) に比例する。

$$P_{n_i a_k} = \frac{v_{n_i a_k}^\beta}{\sum_k v_{n_i a_k}^\beta} \quad (7-24)$$

仮定3-利用率は平均速度と余裕交通容量 ($h_{n_i a_k}$, $h_{a_k c_k}$) の積に比例する。

$$P_{a_k c_k} = \frac{h_{a_k c_k}^\alpha \cdot v_{a_k c_k}^\beta}{\sum_k \sum_{k'} h_{a_k c_k}^\alpha \cdot v_{a_k c_k}^\beta} \quad (7-25)$$

仮定4-利用率は所要時間の逆比と余裕交通容量の積に比例する。

$$P_{a_k c_k} = \frac{h_{a_k c_k}^\alpha \cdot (1/\tau_{a_k c_k})^\gamma}{\sum_k \sum_{k'} h_{a_k c_k}^\alpha \cdot (1/\tau_{a_k c_k})^\gamma} \quad (7-26)$$

ここで、余裕交通容量 $h_{a_k c_k}$ とは、各経路区間の交通容量から配分交通量を引いた最小値のことである。 α, β, γ はパラメータとする。

2) 交通量の連続性を考慮した利用率計算法 (連続条件法)

各メッシュごとに、利用者運転特性を仮定して求めた利用率をそのまま用いて簡略化配分を行うと、ゾーン境界 (メッシュ辺) 上で交通量が不連続となる。これは交通量の連続性を考慮せずに利用率を計算し、詳細ネットワークへの配分比率として用いているためである。そこで、ここではゾーン境界上のリンクで交通量の連続性が保たれるように、断面交通量 RX_{a_k} (観測されていないときにはリンク交通容量 C_{a_k}) の比率を用いて配分比率を修正する方法を提案する。

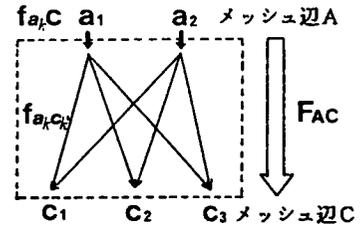


図-7.31 通過交通量の表示

図-7.31において、通過交通 F_{AC} を考える。このとき、中継点 a_k から流入し、メッシュ辺C全体へ流出する交通量 $f_{a_k C} = \sum_k f_{a_k c_k}$ は断面交通量 RX_{a_k} の比率 ($RX_{a_k} / \sum_k RX_{a_k}$) で流入側中継点 a_k を通過すると仮定する (式(7-27))。同様に、 $f_{A c_k}$ (メッシュ辺A全体から流入した交通量のうち中継点 c_k を通過する交通量; $\sum_k f_{a_k c_k}$) は断面交通量 RX_{c_k} の比率 ($RX_{c_k} / \sum_k RX_{c_k}$) で流出側中継点 c_k を通過すると仮定する (式(7-28))。

ここで、 $f_{a_k C}$ のうち中継点 c_k を通過する確率を $Q_{a_k c_k}$ とすると、式(7-29) が成り立つ。

$$f_{a_k C} = F_{AC} \cdot \frac{RX_{a_k}}{\sum_k RX_{a_k}} (= F_{AC} \cdot \frac{C_{a_k}}{\sum_k C_{a_k}}) \quad (7-27)$$

$$f_{A c_k} = F_{AC} \cdot \frac{RX_{c_k}}{\sum_k RX_{c_k}} (= F_{AC} \cdot \frac{C_{c_k}}{\sum_k C_{c_k}}) \quad (7-28)$$

$$F_{AC} \cdot P_{a_k c_k} = f_{a_k C} \cdot Q_{a_k c_k} \quad (7-29)$$

ただし、 $Q_{a_k c_k}$ は式(7-23)、あるいは式(7-24)により設定する。式(7-29)に、式(7-27)を代入すると、式(7-30)が得られる。

$$P_{a_k c_k} = \frac{RX_{a_k}}{\sum_k RX_{a_k}} \cdot Q'_{a_k c_k} \quad (7-30)$$

式(7-30)は流入側の仮定を満たすが、流出側の仮定は満たさない。そこで、流出側の仮定も同時に満たすように、 $P_{a_k c_k}$ の修正を行う。なお、メッシュ内からの発生交通量、メッシュ内への集中交通量についても、同様にして配分比率の修正を行うことができる。

3) 輸送計画問題の導入による利用率計算法 (輸送計画法)

分割配分法 (IA法)³⁸⁾ は、各配分段階において最短経路へ分割OD交通量を配分する方法である。

したがって、各配分段階においては総走行時間が最小になるように交通量配分が行われる。それゆえ、ここでは近似的にメッシュ内総走行時間が最小になるように経路選択が行われるとして配分を行う。そうすると、この問題は最短所要時間 τ_{akck} を輸送コストとした輸送計画問題（式（7-31）の目的関数最小化問題）として定式化することができる。ただし、制約条件は $f_{akck} \geq 0$ と式（7-27）、式（7-28）に示す流入側、流出側の条件式である。したがって、シンプレックス法を用いれば簡単に解を求めることができる。なお、発（着）アークの利用比率は断面交通量（交通容量）の代りに、発生（集中）交通量の比率を用いれば、同様にして計算できる。

$$G = \sum_k \sum_{k'} \tau_{akck'} \cdot f_{akck'} \quad \Leftrightarrow \quad \text{Min.} \quad (7-31)$$

4) 配分比条件の仮定による利用比率計算法（配分比条件法）³⁹⁾

各配分段階における利用比率 P_{akck} の現実値は、全域詳細道路網に対して交通量配分を行ったときに得られる。しかし、詳細ネットワーク全体に対して最短経路探索を行うのでは、簡略化の意味がなくなるので、ここでは着目したメッシュとその前後の隣接メッシュ間（図-7.32）でネットワークを作成して交通量配分（ただし、配分に用いるOD表は隣接したメッシュ間のOD交通量である）を行い、得られた利用比率を用いて簡略ネットワークを作成する方法を提案する。

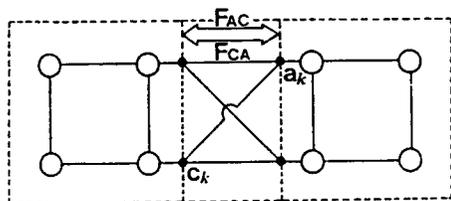


図-7.32 通過アークの利用比率計算のためのネットワーク

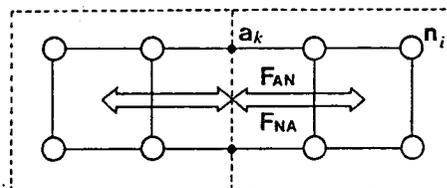


図-7.33 発着アークの利用比率計算のためのネットワーク

この方法は、配分比条件の成立を仮定したものであり、ネットワーク全体での経路選択が部分的に見た場合の経路選択に近似できるとしたものである。したがって、ネットワーク全体を対象とした経路探索は全域簡略道路網を用いて行い、メッシュ内詳細道路網に対しては着目メッシュを順次入れ換えて交通量配分を行うだけでよい。ゆえに、通過アークの場合は前後左右4方向に対して交通量配分を行い、発着アークの場合には着目メッシュと前後左右それぞれ1つずつの隣接メッシュ間（図-7.33）で交通量配分（利用比率の計算）を行えばよい。このようにすることにより、交通量配分（経路探索）の簡略化が可能となる。

(4) シミュレーションの方法

一般に、簡略化配分法の推計精度に影響を及ぼす要因としては、① 簡略化ネットワークの作成及び詳細ネットワークへの配分に用いる利用比率（パラメータ）の設定方法、② 簡略化のためのメッシュ

(5) シミュレーション結果と考察

1) 平均混雑率が推計精度に及ぼす影響

利用比率の仮定式を代えて行ったシミュレーション結果 (分割配分回数= 5回) を図-7.35 ((a) 仮定1, (b) 仮定2, (c) 仮定3) に示す。仮定式中のパラメータの値によって推計精度は多少異なるが、全体的傾向としては平均混雑率 ξ_c が大きくなると推計精度が良くなる傾向にある。これは、分割回数が少ないと、 ξ_c が小さい場合に各配分段階における最短経路が特定の経路に集中するのに対し、 ξ_c が大きい場合は最短経路が変化し、交通量がネットワークに分散するからである。なお、ネットワーク特性 (NET, たとえばリンク交通容量) とODパターン (ゾーン内々率 ν) の違いによる影響はそれほど明確とはいえず、ゾーン内々率 ν が小さいODパターンの方が推計精度は良い傾向にあるが、NETの違いによる差は見られない。

2) 利用比率の設定方法の違いによる影響

図-7.35に示すように、式(7-23)~式(7-26)の仮定式をそのまま用いたのでは、 ξ_c が小さい道路網に対しては適用が困難である。この理由の一つには、簡略ネットワークでの配分結果を詳細ネットワークへ再配分したときに、メッシュ境界上での配分交通量が隣接メッシュ間で異なるためであり、 ξ_c が大きい場合にはそれほどその差は大きくはないが、 ξ_c が小さい場合にはその差が大きくなるためである。

そこで、交通量の連続性を考慮して配分比率の修正を行った。結果を図-7.36 (仮定1) に示す。この図より交通量の連続性を考慮すれば平均混雑率 ξ_c が小さい場合でも、かなり精度が良いといえる。

図-7.37に、従来法 (仮定1, $\gamma=3.0$), 配分比条件法, 輸送計画法を用いた場合の配分結果 (NET4) を比較して示す。この図より、配分比条件法, 輸送計画法においても平均混雑率 ξ_c が大

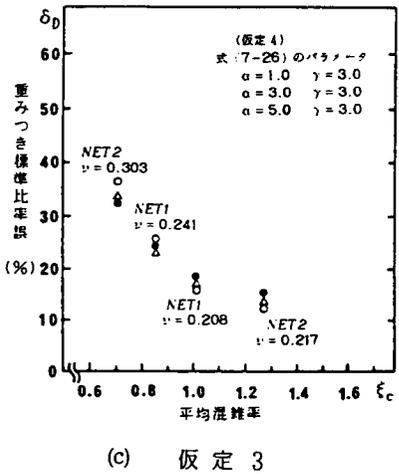
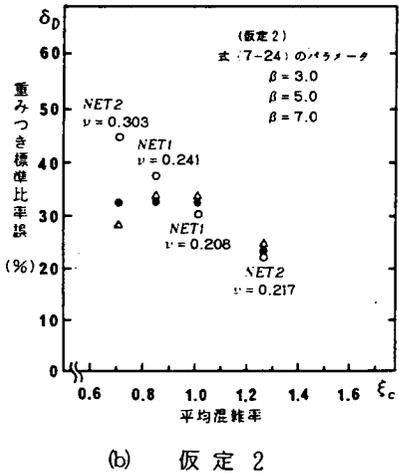
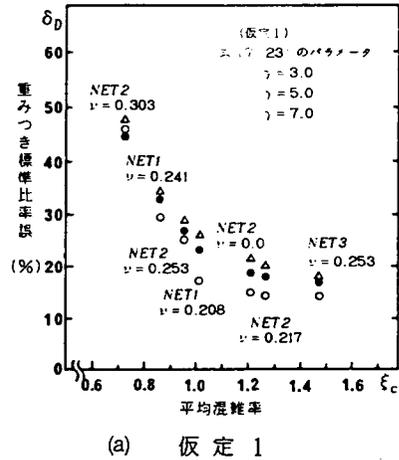


図-7.35 平均混雑率 ξ_c が推計精度 δ_D に及ぼす影響 (配分比率の修正無し)

きくなると、推計精度が良くなる傾向にあることがわかる。特に、配分比条件法は ξ_c が小さい場合でも、従来法、輸送計画法に比べて推計精度が良いといえる。これは、今回用いた対象道路網が比較的小さいためであり、配分比条件法の仮定がかなり成立しているためと考えられる。

3) 分割配分回数が推計精度に及ぼす影響

分割配分回数の違いが推計精度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

結果の一例を図-7.38に示す。図には分割配分回数を5回(白抜き)とした場合と、10回(黒抜き)とした場合の配分誤差をそれぞれ縦軸(簡略ネットワークにおける誤差 δ_S)と横軸(詳細ネットワークにおける誤差 δ_D)にとって示してある。

この図より、平均混雑率 ξ_c が大きい場合、分割配分回数を多くすれば推計精度(特に、 δ_S)が向上することがわかる。これは、ODペアによって異なる詳細ネットワーク上での最短経路を一本の簡略ネットワークで表示して配分を行うためであり、配分回数を多くすれば、その影響が小さくなるためと考えられる。

ここで、配分計算に必要なC.P.U.時間(FACOM-M170F)を比較すると、表-7.8のようになる。この表より、従来法、配分比条件法、輸送計画法のいずれの方法を用いても、対象道路網全体を一括に計算する場合(全域配分法)に比べ、かなり計算時間が短い(約半分)ことがわかる。しかし、計算機容量を比較すると、逆に全域配分法よりも少し増加している。これは、今回のケーススタディの場合、メッシュ分割数が $m_z = 9$ 、平均ノード数が $\bar{n} = 4$ 、 $\bar{n}_0 = 0$ 、 $\bar{n}_B = 8$ 、 $n_L = 4$ であ

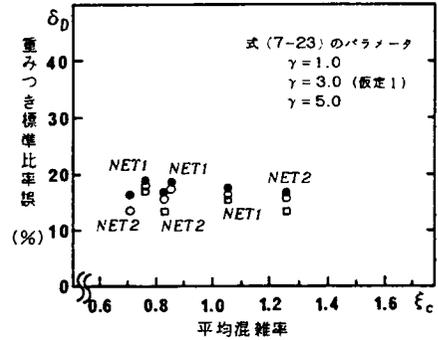


図-7.36 平均混雑率 ξ_c が推計精度 δ_D に及ぼす影響 (配分比率の修正あり)

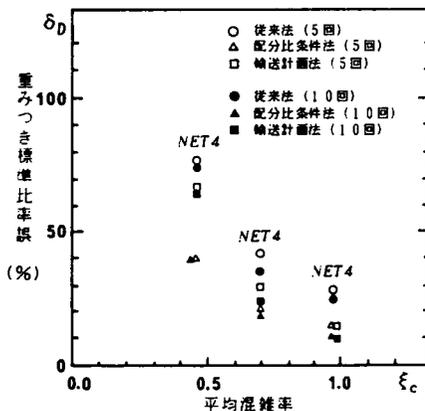


図-7.37 各簡略化配分法の推計精度 δ_D の比較

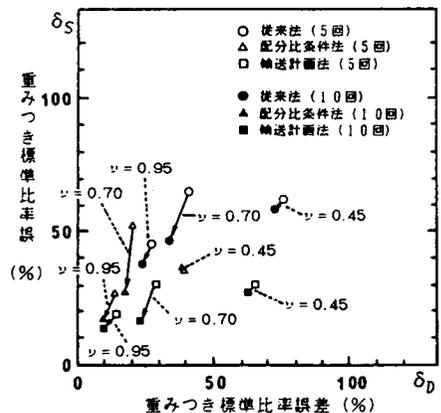


図-7.38 分割配分回数が推計精度 δ_D に及ぼす影響

り、式(7-21)は満足するが、式(7-22)は満足されないためである。このことより、本研究で提案した簡略化配分法(メッシュ分割配分法)を用いれば、かなりの計算時間を節約することが可能であるといえる。しかし、計算機容量を節約するためには、もっとメッシュの大きさを大きくしなければならないといえる。

以上のシミュレーション結果をまとめると、次のことがいえる。

- ① 提案した簡略化配分法を用いれば、簡略ネットワーク、詳細ネットワーク、どちらのネットワークにおいても、かなり良好な配分結果を得ることができる。しかし、混雑率 ξ_c が小さい場合には、いずれの方法も配分精度はかなり悪くなる。
- ② メッシュ分割数が少ない場合には、配分条件法が有効と思われる。
- ③ 分割配分回数を多くすれば、簡略化による誤差を小さくすることができる。
- ④ 輸送計画法はプログラム作成が容易であり、実用的手法としての発展の余地がある。
- ⑤ 全域を対象とした分割配分法に比べ、計算時間の大幅な節約が実現できる。

なお、ここでは示さなかったが、対象地域全体をすべて簡略化して配分計算を行うのではなく、いま着目している計画対象地域はそのまま詳細ネットワークとして残し、それ以外の地域を簡略化して配分計算を行うことも可能である。また、今回の配分計算では方法論の有用性を検証することが主目的であるので、単純な分割配分法を用いているが、他の配分方法(たとえば、IA*法⁴⁰⁾、Dial確率配分法⁴¹⁾)を用いることも可能である。

表-7.8 簡略化配分法の計算時間の比較(分割配分回数は5回)

	全域配分法	従来法	配分条件法	輸送計画法
計算時間	11分39秒	6分2秒	6分4秒	5分52秒
計算機容量	252K	284K	293K	368K

このように、本節で提案した簡略化配分法(メッシュ分割配分法)は単に計算時間の節約だけでなく、簡略道路網に対しても、また詳細道路網に対しても、かなり良好な配分精度で配分できることが示された。しかし、平均混雑率が小さい場合には、まだいくつかの問題点を残しているため、今後は①簡略ネットワークでの配分に確率配分(たとえば、Dial確率配分法)を導入し、配分経路を増やすことにより、簡略ネットワークでの配分誤差を小さくする、②メッシュ分割数(あるいは分割形状)と推計誤差の関係を解明する、などの検討を行う必要があるといえる。

7. 6 金沢都市圏を対象としたケーススタディ^{42), 43)}

(1) メッシュ分割配分法を用いた交通需要分析モデル

リンク観測交通量に基づく交通需要分析モデルを実際の大規模道路網に適用する場合、最も問題となるのが道路区間利用率の取り扱い方法である。道路区間利用率が先決されており、外生的に与えられる場合については、本章第4節でその効率的計算法を提案し、発生交通量を未知変量とする道路区間交通量の残差平方和最小化モデルについて検討を行った。本節では、道路区間利用率が先決されておらず、OD分布と同時推定する場合について検討を行う。具体的には、本章第5節で提案したメッシュ分割配分法を配分計算に導入し、推計計算の効率化を計るものである。以下に、モデル定式化の考え方とメッシュ境界通過交通量の計算法について記述する。

1) モデル定式化の基本的な考え方

第6章第3節で提案した発生交通量を未知変量とする道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデルは道路区間利用率が未知である場合でも、比較的容易にOD分布と道路区間利用率の同時推定モデルとして拡張することができる。ここでは、ネットワーク表示を簡略化した道路網(図-7.27)に対してその手法を適用し、推計計算の効率化を計る。

したがって、OD交通量の推計も簡略化されたメッシュゾーン(マクロゾーン)を単位として行うことになる。ゆえに、モデルの定式化は式(7-34)に示すようにメッシュ境界通過交通量の計算値 EX_M と観測値 RX_M^* の残差平方和が最小になるようにして行われる。

$$\sum_M (EX_M - RX_M^*)^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (7-34)$$

ここで、メッシュ IJ 間のOD交通量(マクロOD交通量)を T_{IJ} 、またこのマクロOD交通量 T_{IJ} がメッシュ境界 M を通過する確率(メッシュ境界通過率)を P_{IJ}^M とすると、メッシュ境界通過交通量の計算値 EX_M は、式(7-35)で与えられる。

$$EX_M = \sum_I \sum_J T_{IJ} \cdot P_{IJ}^M \quad (7-35)$$

ただし、マクロOD交通量は、式(7-36)に示すような二重制約型の重力モデル構造(あるいはVoorhees型の修正重力モデル構造)で表わすことにする。

$$T_{IJ} = \alpha_I \cdot A_I \cdot \beta_J \cdot B_J \cdot R_{IJ} \quad (7-36)$$

$$A_I = \sum_J T_{IJ} \quad (7-37)$$

$$B_J = \sum_I T_{IJ} \quad (7-38)$$

or

$$T_{IJ} = A_I \cdot \frac{B_J \cdot R_{IJ}}{\sum_J B_J \cdot R_{IJ}} \quad (7-39)$$

ここで、 A_I は簡略化されたメッシュゾーン I の発生交通量（マクロ発生交通量）を表わし、 B_J はメッシュゾーン J の集中交通量（マクロ集中交通量）を表わす。また、 R_{IJ} はメッシュ IJ 間の交通抵抗係数を表わし、 α_I 、 β_J は、トリップエンド条件式（式（7-37）、式（7-38））を満足するためのパラメータである。

ここで、集中交通量 B_J を式（7-40）（あるいは式（7-41））を用いて次のように変形する。また、交通抵抗係数 R_{IJ} を次のように式（7-42）（あるいは式（7-43））のように与えれば、式（7-36）に示すマクロOD交通量は式（7-45）（あるいは式（7-46））のようになり、目的関数式（7-34）は式（7-47）（あるいは式（7-48））のように変形される。そうすると、式（7-47）（あるいは式（7-48））の未知変量は発生交通量 A_I とメッシュ境界通過交通量 P_{IJ}^M となる。

$$B_J = A_J - \Delta D_J^* \quad (7-40)$$

or

$$B_J = \frac{b_J^*}{a_J^*} \cdot A_J \quad (7-41)$$

$$R_{IJ} = \frac{t_{IJ}^*}{(\sum_J t_{IJ}^*) \cdot (\sum_I t_{IJ}^*)} = \frac{t_{IJ}^*}{a_I^* \cdot b_J^*} \quad (7-42)$$

or

$$R_{IJ} = (\tau_{IJ})^{-\gamma} \quad (7-43)$$

ここで、 ΔD_J^* はメッシュゾーン J から流出する交通量 $\sum K RX_{JK}^*$ とメッシュゾーン J に流入する交通量 $\sum K RX_{KJ}^*$ の差であり、 a_J^* はメッシュゾーン J の既存発生交通量、 b_J^* はメッシュゾーン J の既存集中交通量を表わす。また、 t_{IJ}^* はメッシュ IJ 間の既存OD交通量を表わし、 τ_{IJ} はメッシュ IJ 間の最短所要時間を表わす。なお、 γ はトリップ長指数（既存OD交通量のODパターンより既知とする）である。ただし、 n は繰り返し回数を表わす。

$$T_{IJ}^{(n)} = \alpha_I \cdot A_I^{(n)} \cdot \beta_J \cdot (A_J^{(n)} - \Delta D_J^*) \cdot \frac{t_{IJ}^*}{a_I^* \cdot b_J^*} \quad (7-45)$$

or

$$T_{IJ}^{(n)} = A_I \cdot \frac{(b_J^* / a_J^*) \cdot A_J^{(n)} \cdot (\tau_{IJ})^{-\gamma}}{\sum_J (b_J^* / a_J^*) \cdot A_J^{(n)} \cdot (\tau_{IJ})^{-\gamma}} \quad (7-46)$$

$$\sum_H \{ \sum_I \sum_J \alpha_I A_I^{(n)} \beta_J (A_J^{(n)} - \Delta D_J^*) \frac{t_{IJ}^*}{a_I^* b_J^*} P_{IJ}^{M(n)} - RX_H^* \}^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (7-47)$$

or

$$\sum_H \{ \sum_I \sum_J A_I^{(n)} \frac{(b_J^* / a_J^*) A_J^{(n)} (\tau_{IJ})^{-\gamma}}{\sum_J (b_J^* / a_J^*) A_J^{(n)} (\tau_{IJ})^{-\gamma}} P_{IJ}^{M(n)} - RX_H^* \}^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (7-48)$$

したがって、モデルの定式化はメッシュ境界 M を通過する計算交通量 EX_M と観測交通量 RX_M^* の残差平方和が最小となるように未知量(A_l, P_{ij}^M)を求める問題となる。

この問題は非線形の最適化問題となるため、その解法は次に示すような発生交通量 A_l の推計(マクロOD交通量が求まる)とメッシュ境界通過率 P_{ij}^M の計算(ここでは、推計されたOD交通量を直接簡略化ネットワークに配分し、 EX_M の計算を行っている)を交互に繰り返すことにより行う。

- ① 発生交通量 $A_l^{(0)}$ 、Dial確率配分法の配分パラメータ $\theta^{(0)}$ 、簡略リンクの所要時間 $\tau_{IK}^{(0)}$ にそれぞれ初期値を与える。ただし、簡略リンクの所要時間 $\tau_{IK}^{(0)}$ はメッシュ簡略化手法を詳細ネットワーク(初期所要時間)に対して適用することによって求める。
- ② 式(7-45)(あるいは式(7-46))を用いて、マクロOD交通量 $T_{ij}^{(n)}$ を計算する。
- ③ マクロOD交通量 $T_{ij}^{(n)}$ をDial確率配分法を用いて簡略化ネットワークに配分し、メッシュ境界通過交通量 $EX_M^{(n)}$ を計算する。
- ④ 式(7-49)を用いて発生交通量 $A_l^{(n+1)}$ の修正を行う。

$$A_l^{(n+1)} = \frac{A_l^{(n)}}{\sum_K RX_{IK}^*} \cdot \left\{ \sum_K RX_{IK}^* - \sum_K EX_{IK}^{(n)} \right\} + A_l^{(n)} \quad (7-49)$$

ここで、既存OD調査時点からの時間経過が短く、発生交通量比率の変化が小さいと考えられる場合には、修正計算の効率性を考慮して次の目的関数を導入する。

$$\sum_l \left(\frac{A_l}{\sum_j A_j} - \frac{a_l^*}{\sum_j a_j^*} \right)^2 \rightarrow \text{Min.} \quad (7-50)$$

ただし、ここでは簡便的に式(7-51)を用いて式(7-50)を解き、 $A_l^{(n+1)}$ の修正を行う。

$$A_l^{(n+1)} = \frac{a_l^*}{\sum_j a_j^*} \cdot \sum_l A_l^{(n)} \quad (7-51)$$

- ⑤ メッシュ境界通過率 P_{ij}^M の修正(あるいは配分交通量の計算)を行う。この P_{ij}^M の修正は簡略リンクの所要時間を固定し、配分パラメータ θ を修正する方法(あるいは配分パラメータを固定し、簡略リンクの所要時間 τ_{IK} を修正する方法)により行う。

i) 配分パラメータ θ を修正する方法(メッシュ法A、メッシュ法B)

目的関数(7-34)を満足するような配分パラメータ $\theta^{(n)}$ の最適値を、直接探索法(Direct Ssearch Method)により求める。これにより、各経路への交通量配分確率が変更され、配分交通量が修正されることになる。

ii) 簡略リンクの所要時間 τ_{IK} を修正する方法(メッシュ法C)

推計された発生交通量 $A_l^{(n+1)}$ を式(7-52)に代入し、詳細なOD交通量 $T_{ij}^{(n+1)}$ を計算する。これをメッシュ分割配分法を用いて詳細ネットワークに配分し、簡略リンクの所要時間 $\tau_{IK}^{(n+1)}$ の修正を行う。これにより、配分対象となる経路(効率的経路の集合)が変更され、その結

果配分交通量が修正される。

$$T_{ij}^{(n+1)} = A_i^{(n+1)} \cdot f_{ij}^* = \frac{a_i^*}{a_l^*} \cdot A_l^{(n+1)} \cdot f_{ij}^* \quad (7-52)$$

ここで、 f_{ij}^* は、目的地選択確率 (t_{ij}^*/a_i^*) を表わす。

⑥ 修正された $A_l^{(n+1)}$ 、 $\theta^{(n+1)}$ 、 $\tau_{IK}^{(n+1)}$ を用いて、簡略リンクの配分交通量を求め、メッシュ境界通過交通量 $EX_M^{(n+1)}$ の計算を行う。

⑦ 観測値 RX_M^* と計算値 $EX_M^{(n+1)}$ の誤差が小さくなるまで②以下を繰り返す、発生交通量 $A_l^{(n+1)}$ の計算を行う。発生交通量 A_l が求めれば、式(7-45) (あるいは式(7-46)) よりマクロOD交通量 T_{IJ} を推計することができる。

このメッシュ分割配分法を導入したネットワーク表示の簡略化によるOD推計法をメッシュOD推計法 (あるいはメッシュ法) と呼ぶことにする。なお、ここではメッシュ簡略化による変数の添字は大文字 (たとえば、 I, J, M etc.) とし、簡略化 (集約化) を行わない場合の詳細なデータ (添字は小文字 i, j, m etc. を用いる) と区別して表示する。

2) メッシュ境界通過交通量の計算方法

③において推計されたマクロOD交通量 T_{IJ} を簡略ネットワークに配分し、簡略リンクの交通量を計算する。そして、これをメッシュ境界ごとに集計してメッシュ境界通過交通量 EX_M の計算を行う。

しかし、図-7.39に示すような場合、 EX_l には、ノード n から m を経て、 l に向かう交通量も含まれるため、式(7-53)によって、簡便的にメッシュ境界 M の通過交通量 EX_M を計算すると、実際よりも計算値の方が大きくなる。

$$EX_M = \sum_{k=1}^8 EX_k / 2 \quad (7-53)$$

一般に、リンク観測交通量を用いるモデルでは、観測誤差が推計精度に大きな影響を及ぼすため、メ

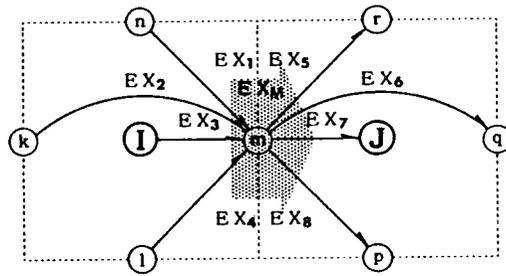


図-7.39 簡略ネットワークにおけるメッシュ境界通過交通量の計算略図

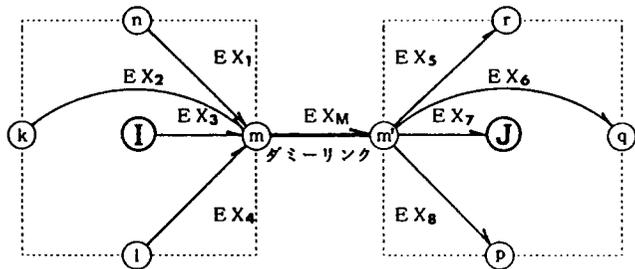


図-7.40 ダミーリンクを設けた簡略ネットワーク

メッシュ境界通過交通量の計算はできるだけ正確に行った方が良い。そこで、メッシュを一つ一つ切り離し、それぞれのメッシュをダミーリンク（所要時間ゼロ、図-7.40）で結んだ簡略ネットワーク（図-7.41）を用いて配分計算を行うことにする。このようにして、簡略リンクの計算交通量を求めると、ダミーリンクの交通量がメッシュ境界通過交通量に一致することになる。

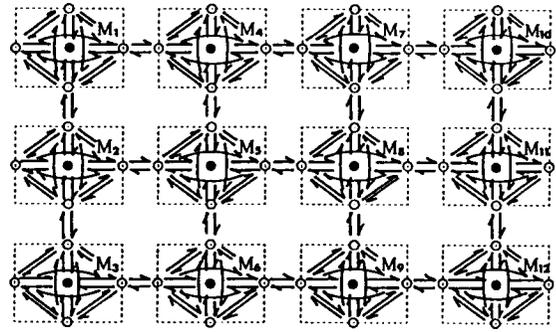


図-7.41 ダミーリンクを設けた全域簡略道路網（改良型）

したがって、メッシュ境界通過交通量の計算方法としては、次の2通りの方法が考えられる。それぞれの方法をメッシュ法A、メッシュ法Bと呼ぶ。

①メッシュ法A・・・旧型の簡略ネットワーク（図-7.27）を用いて、式（7-53）により

EX_H を計算する方法

②メッシュ法B・・・改良型の簡略ネットワーク（図-7.41）を用いて EX_H （ダミーリンクの

交通量）を計算する方法

ところで、本研究では簡略ネットワークの配分に Dial 確率配分法を用いているが、その Dial 確率配分法は本来 *flow-independent* な配分法であるため、混雑が予想される地域への適用には問題が残るといえる。*flow-dependent* な配分を行うには、簡略リンクの合成容量関数（合成走行時間関数）を作成する必要がある。

合成容量関数に関する研究は、本章第2節において記述したように *M. L. Manheim* 等によって行われているが、単純なネットワーク（平行なネットワーク、連続なネットワーク）に対してのみであり、現実道路網のような複雑なネットワークに対してはまだ不可能である。

そこで、本研究では配分パラメータ θ を修正することによって配分交通量の計算値と観測値の誤差（残差平方和）が最小になるように推計計算を行う方法（メッシュ法A、メッシュ法B）とメッシュ分割配分法を分析モデルに組み込み、配分計算ごとに簡略リンクの所要時間を修正して推計計算を繰り返す方法（メッシュ法Cと呼ぶ）を用いることにする。なお、メッシュ法Cにおける簡略化ネットワークはダミーリンクを用いた改良型のネットワークとする。

（2）使用データおよびメッシュ分割による簡略ネットワークの作成

本節では、ケーススタディとして金沢都市圏の道路網を取り上げ、シミュレーションによりモデルの適用性を検討する。対象とした金沢都市圏の道路網（基本ネットワーク）は図-7.42に示すように主要幹線道路から構成されたものであり、セントロイド数 75、通過ノード数 89、リンク数 534（方向別）から成るネットワークである。このネットワークの特徴は中心部にゾーンセントロイドが集中し、

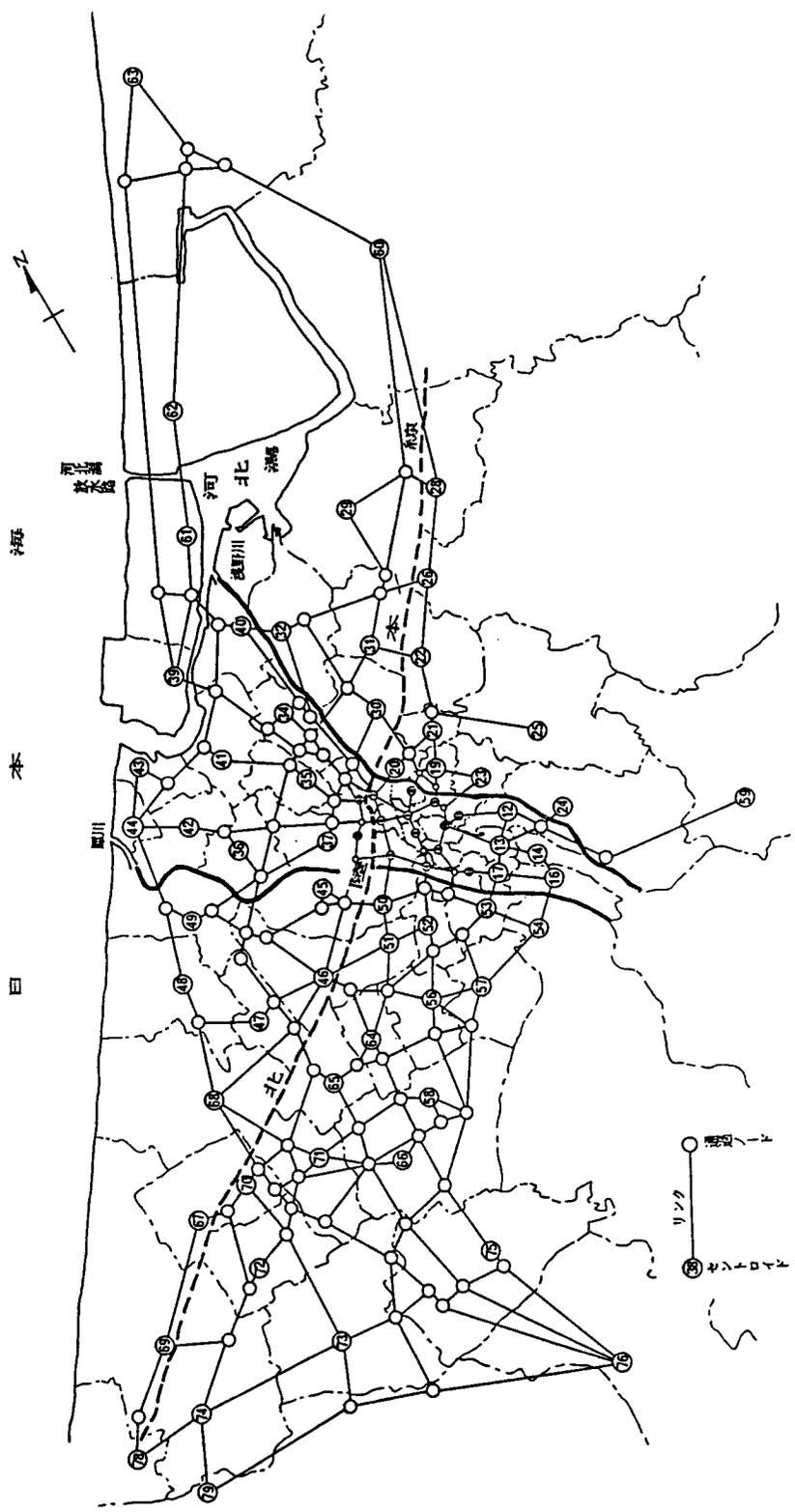
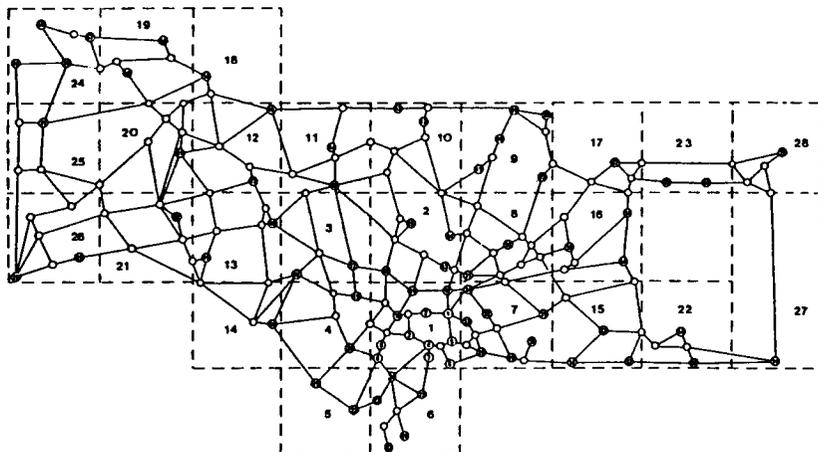
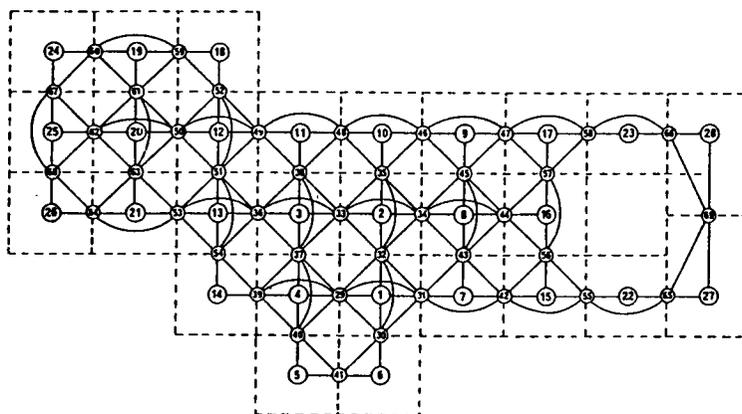


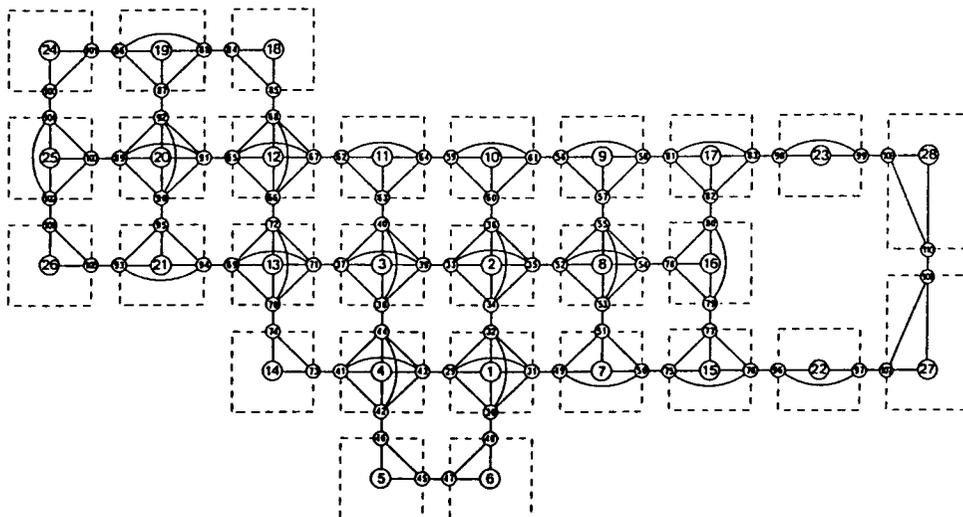
図-7.42 金沢都市圏を対象とした基本ネットワークとゾーン区分 (全体図)



(a) 詳細ネットワークと2.5km正方形によるメッシュ分割

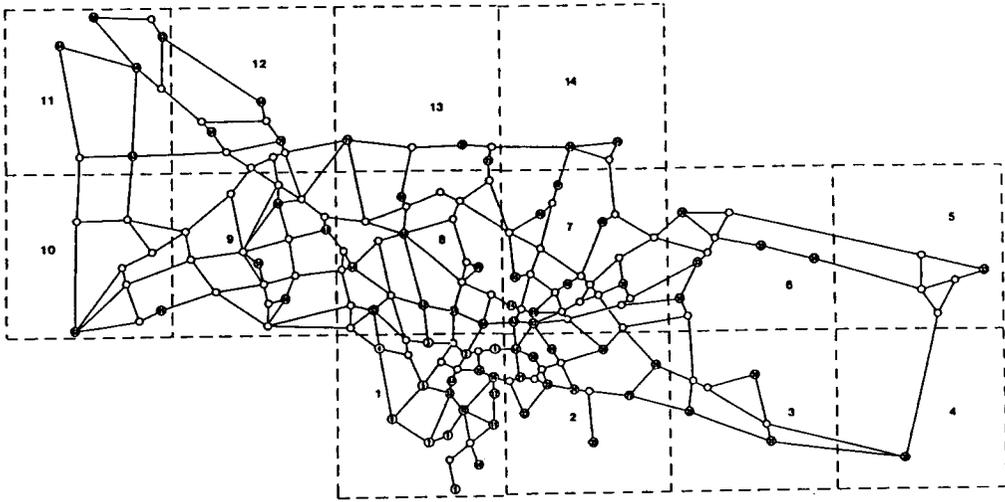


(b) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (旧型)

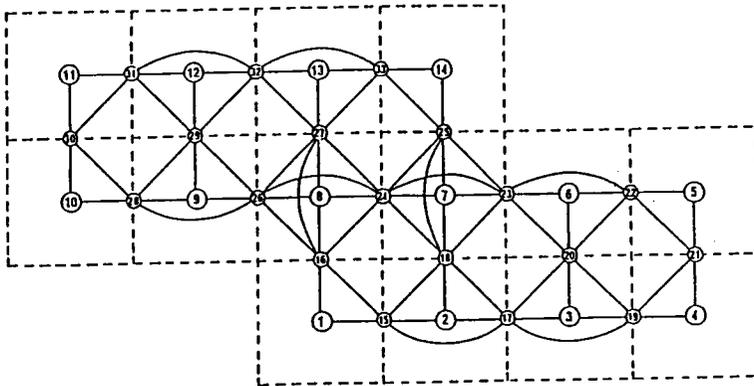


(c) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (改良型)

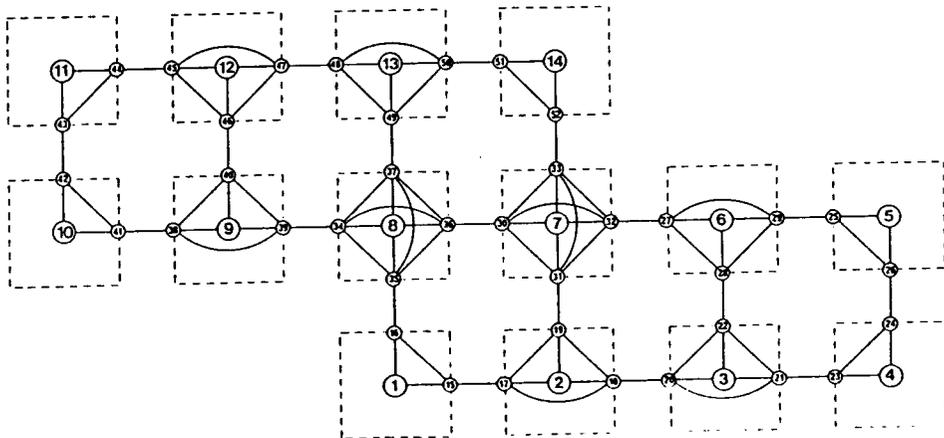
図-7.43 詳細ネットワークとメッシュ分割 (2.5km 正方形メッシュ)



(a) 詳細ネットワークと5.0 km正方形によるメッシュ分割

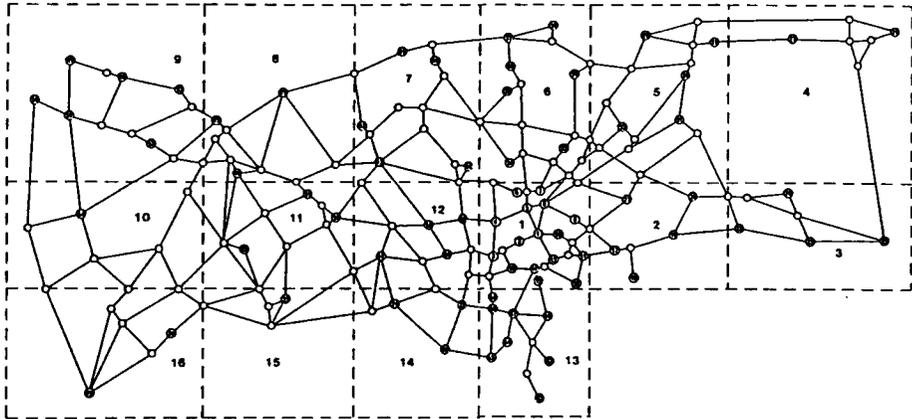


(b) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (旧型)

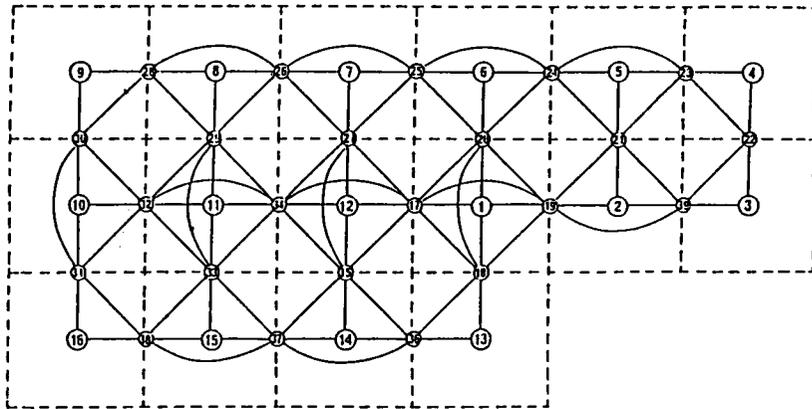


(c) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (改良型)

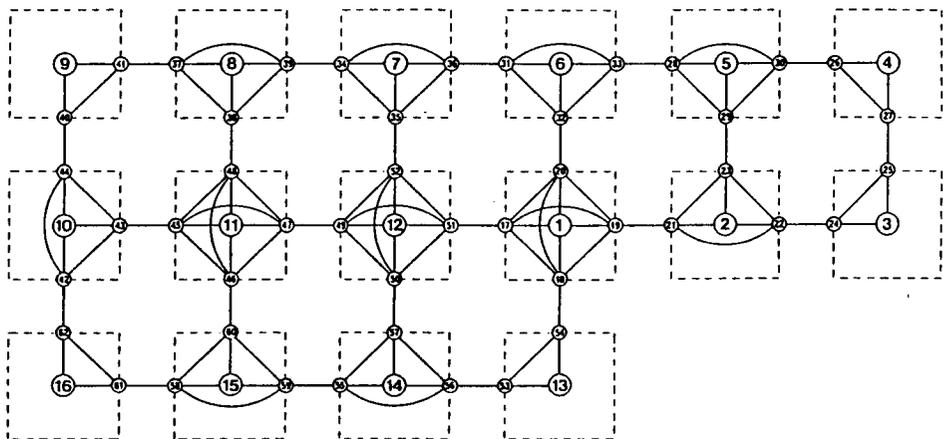
図-7.44 詳細ネットワークとメッシュ分割 (5.0km 正方形メッシュ)



(a) 詳細ネットワークと長方形によるメッシュ分割



(b) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (旧型)



(c) メッシュ分割による簡略化ネットワーク (改良型)

図-7.45 詳細ネットワークとメッシュ分割 (長方形メッシュ)

周辺部へ行くほどノード数、リンク数が少なくなる傾向にあることである。したがって、メッシュの大きさやその形状によって、1つのメッシュに含まれる詳細ネットワークのノード数（セントロイド数）やメッシュ境界上のリンク数が異なるため、集約化した簡略ネットワークの特性が異なると予想される。そこで、本研究では次に示すような3通りのメッシュ分割により対象道路網を簡略化してシミュレーションを行い、メッシュ分割の違いが推計精度にどのような影響を及ぼすか検討する。

表-7.9 推計に用いる各簡略化ネットワークのノード数、リンク数の比較

対象ネットワーク	全ノード数	発着ノード数	通過ノード数	全リンク数
詳細ネットワーク（全体図）	164	75	89	536
簡略化ネットワーク（旧型）	全ノード数	発着ノード数	通過ノード数	全リンク数
2.5km正方形メッシュ	69	28	41	340
5.0km正方形メッシュ	33	14	19	148
長方形メッシュ	39	16	23	186
簡略化ネットワーク（改良型）	全ノード数	発着ノード数	通過ノード数	全リンク数
2.5km正方形メッシュ	110	28	82	422
5.0km正方形メッシュ	52	14	38	186
長方形メッシュ	62	16	46	232

図-7.42の対象道路網を一辺の長さが2.5kmの正方形メッシュによりメッシュ分割した道路網を図-7.43(a)に示す。また、このメッシュ分割により作成した簡略化ネットワークを、図-7.43((b)旧型、(c)改良型)に示す。同様に、5.0km正方形メッシュ、長方形メッシュによりメッシュ分割した道路網をそれぞれ図-7.44(5.0km正方形メッシュ)、図-7.45(長方形メッシュ)に示す。また、これらのメッシュ分割により作成した簡略化ネットワークをそれぞれ図-7.44((b)旧型、(c)改良型)、図-7.45((b)旧型、(c)改良型)に示す。使用したデータは昭和49年度金沢都市圏パーソントリップ調査における全目的自動車OD交通量である。また、基本ネットワークのリンク交通容量、リンク長、リンク初期速度などはパーソントリップ調査報告書⁴⁴⁾~⁴⁶⁾を参考に設定した。なお、各簡略化ネットワークに含まれるノード数、リンク数を比較すると表-7.9に示すようになる。

(3) シミュレーションの方法

現状の調査OD交通量データが得られないので、次に示すような方法により推計時点のODデータを作成し、需要分析モデルの適用性を検討する。

まず、昭和49年度金沢都市圏パーソントリップ調査における全目的自動車OD交通量を既存OD交通量 t_{ij}^* とし、推計時点における現実OD交通量 RT_{ij} を仮想的に作成する。ここでは、既存発生交通量 a_i^* と既存集中交通量 b_j^* に対して、標準正規乱数 Z_i 、 Z_j を発生させ、推計時点の発生交通量 RA_i (式(7-54))、集中交通量 RB_j (式(7-55))を作成し、それをフレーター法により修

正することによって、推計時点のOD交通
量（現実OD交通量） RT_{ij} を作成した。

$$RA_i = \kappa \cdot \alpha_i^* (1.0 - \sigma_A \cdot Z_i) \quad (7-54)$$

$$RB_j = \kappa \cdot b_j^* (1.0 - \sigma_B \cdot Z_j) \quad (7-55)$$

ここで、 σ_A 、 σ_B はそれぞれ発生交通
量、集中交通量の変動の大きさを表す比
率であり、 κ は傾向変動の大きさを表す
係数である。ここでは傾向変動の大きさを

$\kappa = 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0$ の5段階に変化させ、5通りの現実OD交通量 RT_{ij} を作成し
た。

推計時点における道路区間交通量は、現実OD交通量 RT_{ij} を均衡確率配分法^{47)~49)}（修正回数
11回）を用いて配分することにより計算した。ただし、容量関数としては式（7-56）に示す修正
BPR 関数を用いた。また、配分パラメータの値としては $\theta = 1.0$ を用いた。これは既存OD交通量
 t_{ij}^* を均衡確率配分法（ここでは配分パラメータを $\theta = 1.0 \sim 2.0$ の間で変化させて配分を行った）
により配分し、得られたスクリーンライン上（犀川、浅野川）での断面交通量（計算値）とパーソント
リップ調査時点における観測値の誤差（図-7.46）を検討することにより求めたものである。図中、
計算値Aの誤差は配分計算によって得られる計算値と観測値の重み付き標準比率誤差を示し、計算値
Bの誤差はスクリーンライン上での観測交通量と計算交通量のトータル交通量が等しくなるように計算
交通量を補正した場合の誤差を示したものである。

$$\tau_m = \tau_m^0 \left\{ 1.0 + 2.62 \left(\frac{EX_m}{C_m} \right)^5 \right\} \quad (7-56)$$

ここで、 τ_m ；リンク m の所要時間
 τ_m^0 ；リンク m の初期所要時間
 EX_m ；リンク m の配分交通量
 C_m ；リンク m の交通容量

一方、交通量 RX_m^* には観測誤差（ランダム誤差）が含まれるため、ここではシミュレーション（式
（7-57））、 Z_m は標準正規乱数）を用いて、その影響を検討する。メッシュ境界通過交通量の観測
値 RX_m^* は、このように作成された RX_m^* をメッシュ境界ごとに集計して作成した。

$$RX_m^* = RX_m \cdot (1.0 - \sigma_X \cdot Z_m) \quad (7-57)$$

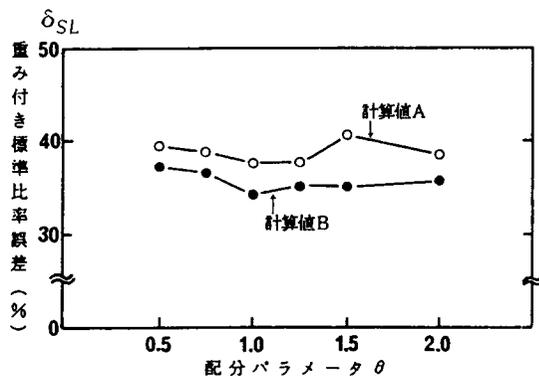


図-7.46 配分パラメータ θ の違いによる配分誤差
（スクリーンライン上の断面交通量の誤差）

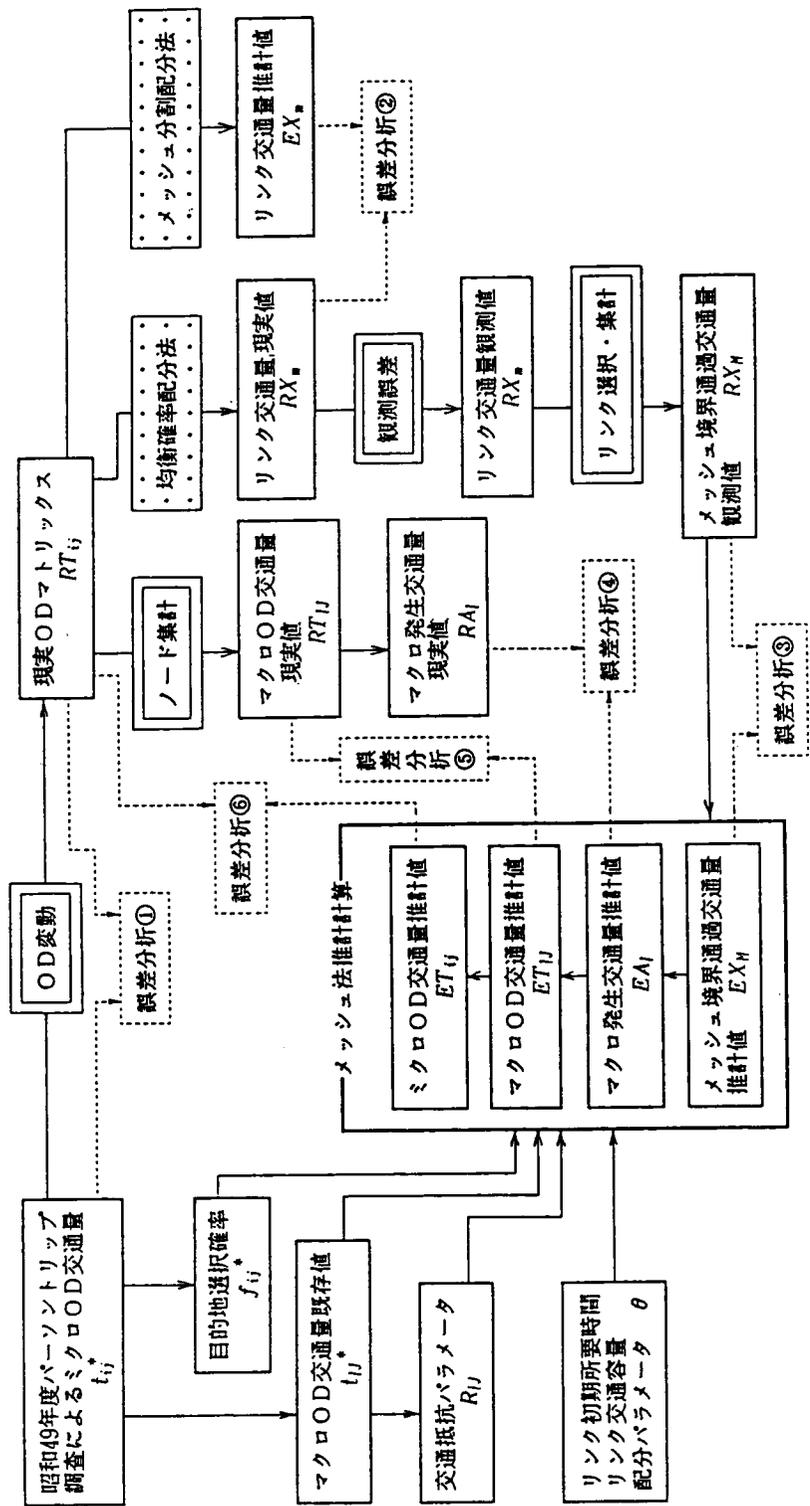


図-7.4.7 シミュレーションの手順を示すフローチャート

なお、シミュレーションの推計手順を示すと図-7.47のようになる。图中、誤差分析①～誤差分析⑥はシミュレーションにおけるデータ作成の相対誤差およびメッシュ分割配分法、メッシュOD推計法の推計精度を示したものであり、それぞれ次に示すような計算式により計算する。

1) 誤差分析①

既存OD交通量 t_{ij}^* と推計時点における現実OD交通量 RT_{ij} のシミュレーションにおける相対誤差を示すものであり、 δ_{OD1} は傾向変動の大きさを含めた誤差を表わし、 δ_{OD2} は傾向変動の大きさを除いたODパターンのずれの大きさを表わしたものである。

$$\delta_{OD1} = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j t_{ij}^*} \sum_i \sum_j t_{ij}^* \left(\frac{RT_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*} \right)^2} \quad (7-58)$$

$$\delta_{OD2} = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j \kappa t_{ij}^*} \sum_i \sum_j \kappa t_{ij}^* \left(\frac{RT_{ij} - \kappa t_{ij}^*}{\kappa t_{ij}^*} \right)^2} \quad (7-59)$$

2) 誤差分析②

ネットワーク表示を簡略化することによって生ずる誤差を表わしたものであり、均衡確率配分法による配分交通量 RX_{\square} とメッシュ分割配分法による配分交通量 EX_{\square} の配分誤差を示す。

$$\delta_{XD} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{\square} RX_{\square}} \sum_{\square} RX_{\square} \left(\frac{RX_{\square} - EX_{\square}}{RX_{\square}} \right)^2} \quad (7-60)$$

3) 誤差分析③

やはり、ネットワーク表示を簡略化することによって生ずる誤差であるが、メッシュ境界通過交通量に関する誤差を表わす。ここで、 RX_M 、 EX_M はそれぞれ均衡確率配分法による配分交通量（メッシュ境界通過交通量）、メッシュ分割配分法による配分交通量（メッシュ境界通過交通量）である。

$$\delta_{XS} = \sqrt{\frac{1}{\sum_M RX_M} \sum_M RX_M \left(\frac{RX_M - EX_M}{RX_M} \right)^2} \quad (7-61)$$

4) 誤差分析④

マクロ発生交通量の推計誤差を表わす。ここで、 RA_I および EA_I はそれぞれ現実OD交通量をマクロゾーン I について集計した発生交通量、およびメッシュOD推計法により推計されるマクロ発生交通量を表わす。

$$\delta_{AS} = \sqrt{\frac{1}{\sum_I RA_I} \sum_I RA_I \left(\frac{RA_I - EA_I}{RA_I} \right)^2} \quad (7-62)$$

5) 誤差分析⑤

マクロOD交通量の推計誤差を表わす。ここで、 RT_{IJ} および ET_{IJ} はそれぞれ現実OD交通量をマクロゾーン IJ 間で集計したOD交通量、およびメッシュOD推計法により推計されるマクロOD交通量を表わす。

$$\delta_{TS} = \sqrt{\frac{1}{\sum \sum T_{IJ}} \sum \sum T_{IJ} \left(\frac{RT_{IJ} - ET_{IJ}}{RT_{IJ}} \right)^2} \quad (7-63)$$

6) 誤差分析⑥

マイクロOD交通量の推計誤差を表わす。ここで、 RT_{ij} および ET_{ij} はそれぞれマイクロゾーン ij 間の現実OD交通量、およびメッシュOD推計法により推計されるマイクロOD交通量を表わす。

$$\delta_{TD} = \sqrt{\frac{1}{\sum \sum RT_{ij}} \sum \sum RT_{ij} \left(\frac{ET_{ij} - RT_{ij}}{RT_{ij}} \right)^2} \quad (7-64)$$

表-7.10 データ作成の相対誤差とネットワーク表示簡略化手法による配分誤差

シミュレーションにおけるデータ作成の相対誤差 (誤差分析①)						
傾向変動の大きさ κ		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
マイクロOD交通量の相対誤差	δ_{OD1}	0.0%	32.0%	63.6%	99.8%	140.7%
	δ_{OD2}	0.0%	14.9%	24.5%	35.2%	46.5%
ネットワーク表示簡略化を用いた場合の配分誤差 (誤差分析②)						
傾向変動の大きさ κ		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
2.5km正方形メッシュ		67.3%	63.5%	64.4%	66.8%	69.2%
5.0km正方形メッシュ		65.6%	61.8%	63.3%	65.7%	68.3%
長方形メッシュ		57.4%	55.5%	58.7%	62.4%	65.8%

また、シミュレーションにおけるデータ作成の相対誤差 (誤差分析①) とネットワーク表示簡略化手法 (配分比条件法を用いたメッシュ分割配分法) による配分誤差 (誤差分析②) を示すと表-7.10 のような結果であった。この表より、傾向変動が大きくなると当然のことながらそれに応じて、OD交通量の相対誤差 (δ_{OD1} , δ_{OD2}) も大きくなり、今回のシミュレーションでは $\kappa=2.0$ のときで、 $\delta_{OD1} = 140.7\%$ 、 $\delta_{OD2} = 46.5\%$ であった。また、メッシュ分割配分法による配分誤差 δ_x はメッシュの大きさ、形状により多少異なるが、いずれの場合もほぼ60%前後の配分誤差であった。

なお、ここでは特に断らない限り簡略化ネットワークの所要時間の計算には配分条件法（詳細リンクの初期所要時間を用いる、本章第5節）を用い、マクロOD交通量の分布モデルとしては二重制約型の重力モデル（式（7-45））を用いる。

(4) シミュレーション結果と考察

1) 簡略化ネットワークの違いが推計精度に及ぼす影響

ここでは、簡略化ネットワークの違い（ダミーリンク無・・・メッシュ法A，ダミーリンク有・・・メッシュ法B）が、マクロOD交通量の推計精度にどのような影響を及ぼすか検討を行った。推計結果を図-7.48に示す。なお、図中の数字は繰り返し計算回数（修正回数）を表わす。図-7.48より、メッシュ分割の大きさ、形状によって推計精度は異なるが、メッシュの大きさが小さい場合（2.5km 正方形メッシュ）には、ダミーリンクを取り入れた改良型の簡略化ネットワークを用いた方（メッシュ法B）が、ダミーリンクを用いない方法（メッシュ法A）よりも推計精度がよいといえる。しかし、メッシュの大きさが大きい場合（5.0km 正方形メッシュ）には、逆にメッシュ法Aの方が推計精度はよいという結果であった。

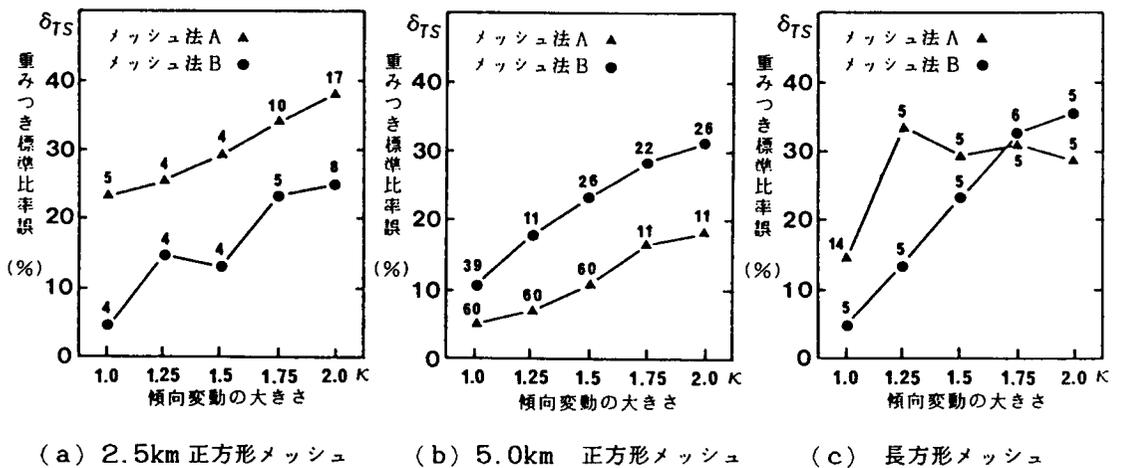


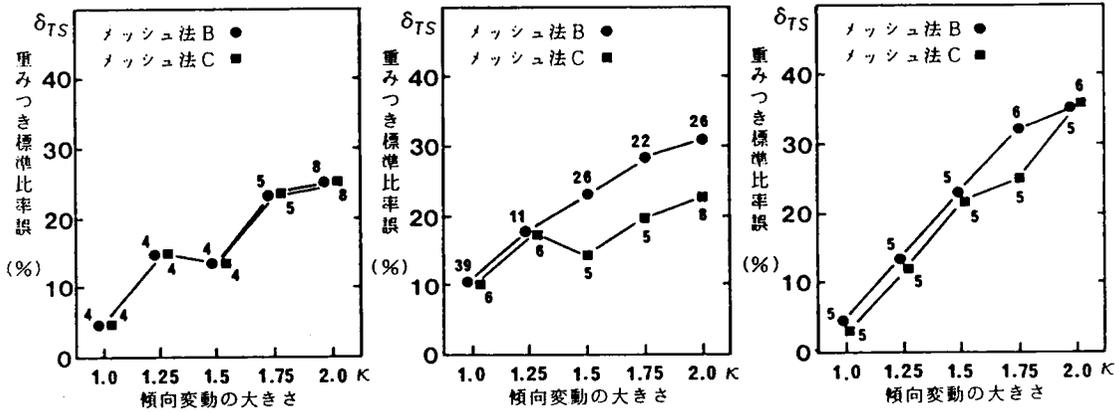
図-7.48 簡略化ネットワークの違いが推計精度 δ_{TS} に及ぼす影響

これは、2.5km 正方形メッシュの場合、簡略化ネットワークにダミーリンクを取り入れることによって、メッシュ境界通過交通量を正確に計算することができるためと考えられる。しかし、メッシュの大きい5.0km 正方形メッシュでは簡略リンクの所要時間設定の誤差の影響の方が大きいため、メッシュ境界通過交通量を多少曖昧に計算するメッシュ法Aの方が自由度が大きく、その配分パラメータによって計算交通量と観測交通量の二乗誤差（残差平方和）が小さくなるように、OD交通量を推計することができるものと考えられる。

2) 配分交通量の修正（メッシュ境界通過率の修正）方法の違いが推計精度に及ぼす影響

配分パラメータを修正する方法（メッシュ法B）と簡略リンクの所要時間を修正する方法（メッシュ

法C)を比較する。結果を図-7.49に示す。



(a) 2.5km 正方形メッシュ (b) 5.0km 正方形メッシュ (c) 長方形メッシュ

図-7.49 配分交通量の修正方法の違いが推計精度 δ_{TS} に及ぼす影響

図-7.49より、メッシュの大きさが小さい場合(2.5km 正方形メッシュ)には、どちらの手法を用いてもマクロOD交通量の推計精度と修正回数は等しくなっている。しかし、メッシュの大きさが大きい場合(5.0km 正方形メッシュ)には、傾向変動が大きくなると、簡略リンクの所要時間を修正する方法(メッシュ法C)の方が推計精度が良くなっている。これは、前述したようにメッシュの大きさが大きい場合には簡略リンクの所要時間設定の誤差が大きいため、傾向変動が大きくなると特にその影響が大きいためと考えられる。

したがって、メッシュの大きさが大きい場合や傾向変動が大きい場合には、簡略リンクの所要時間を修正するメッシュ法Cを用いた方が良いと考えられる。

3) マクロOD交通量の分布モデル式の違いが推計精度に及ぼす影響

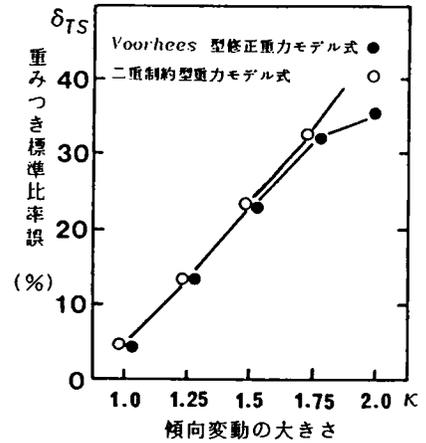
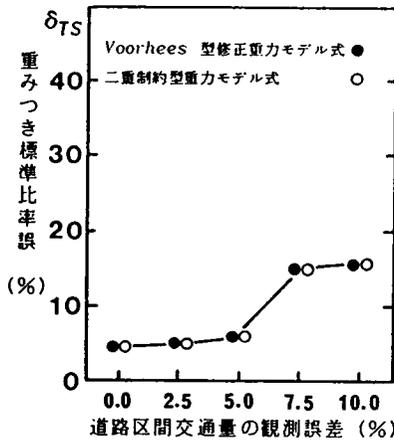
分布モデル式として、二重制約型重力モデル式を用いた場合(式(7-36))と修正重力モデル式(Voorhees型, 式(7-39))を用いた場合の推計精度を比較する。結果を、図-7.50(メッシュ法B, 長方形メッシュ)に示す。

この図より、どちらの分布モデル式を用いても、マクロOD交通量の推計精度はほとんど変わらないという結果であった。このことより、実用的にはどちらの分布モデル式を用いても大差はないものと考えられる。

4) マクロ集中交通量の設定方法の違いがマクロOD交通量の推計精度に及ぼす影響

式(7-40)のように、集中交通量を流入・流出交通量の差 ΔD_j^* を用いて設定した場合(流入流出差)と式(7-41)のように、既存OD交通量の発生交通量と集中交通量の比 (b_j^* / a_j^*) を用いて設定した場合(発生集中比)の比較検討を行った。結果を、図-7.51(メッシュ法B, 長方形メッシュ)に示す。

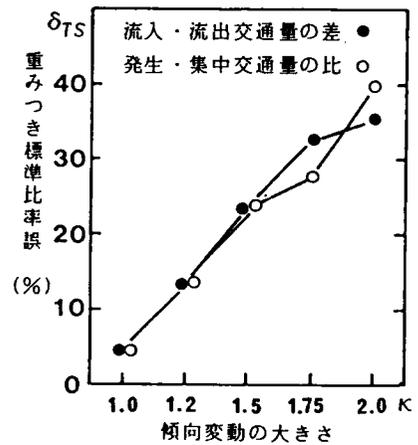
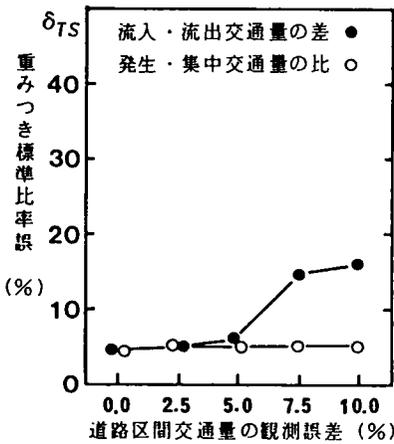
図-7.51(a)より、道路区間交通量の観測誤差が大きい場合には、流入流出差 ΔD_j^* を用いると精度



(a) 道路区間交通量の観測誤差の影響

(b) 傾向変動の大きさの影響

図-7.50 マクロOD交通量の分布モデル式の違いが推計精度 δ_{TS} に及ぼす影響



(a) 道路区間交通量の観測誤差の影響

(b) 傾向変動の大きさの影響

図-7.51 マクロ集中交通量の設定方法の違いが推計精度 δ_{TS} に及ぼす影響

が悪化する傾向にある。しかし、発生集中比ではほとんど影響が見られなかった。これは、道路区間交通量の観測誤差が大きくなると、流入・流出交通量の差 ΔD_j^* に及ぼす影響が大きくなり、式(7-40)では集中交通量を正しく表わせなくなるからである。

5) メッシュ間交通抵抗パラメータの設定方法の違いが推計精度に及ぼす影響

メッシュ法Cにおいて、交通抵抗係数(メッシュ間交通抵抗パラメータ)を式(7-42)のように既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて先決した場合(既存ODパターン)と式(7-43)のようにメッシュ間最短所要時間 τ_{ij} を用いて設定する場合(最短所要時間)を比較する。結果を、図-7.52(メッシュ法C, 長方形メッシュ)に示す。

この図-7.52より、交通抵抗係数を最短所要時間を用いて設定した場合の方が既存OD交通量を用いて設定した場合に比べ、マクロOD交通量の推計精度がかなり悪いことがわかる。これは、メッシュ簡略化により集約化されたマクロOD交通量の分布が簡略化ネットワークにより求められるメッシュ間所要時間を用いた重力モデル式では十分に説明できないためと考えられる。

ここで、推計計算に必要なC.P.U.時間(FACOM-M360AP)と計算機容量を比較すると、表-7.11のような結果であった。ただし、表中の計算時間は用いるデータによって多少の違いがあるので、修正を30回で打ち切った場合の平均的な計算時間を示したものである。

この表より、メッシュ分割の大きさが大きいほど、どのメッシュ法においても計算時間が短いことがわかる。これは、メッシュが大きければ簡略化ネットワークのノード数、リンク数が少なくなり、配分計算に必要な計算時間が短くなるためである。

メッシュ法Aとメッシュ法Bを比較すると、いずれのメッシュ分割においても後者の計算時間の方が長いといえる。これは、後者の場合簡略化ネットワークにダミーリンクを入れているため、その分だけノード数、リンク数が多くなっているためである。また、メッシュ法Bとメッシュ法Cを比較すると、メッシュ分割の大きさによって多少異なるが、メッシュが小さい場合には後者の計算時間の方が短い傾向にある。これは、配分パラメータ θ の最適値を得るために、メッシュ法Bでは発生交通量の修正1回につき何度もDial確率配分法の計算を行う必要があるが、メッシュ法Cでは発生交通量の修正ごとに1回のメッシュ分割配分法を行えばよいためである。

なお、計算機容量を比較すると、長方形メッシュが最も少ない計算機容量であった。これは、メッシュ分割の大きさが大きければ簡略化ネットワークのノード数、リンク数は少なくなるが、1つのメッシュに含まれる詳細ネットワークのノード数、リンク数は逆に多くなり、全体としては必ずしもメッシュ

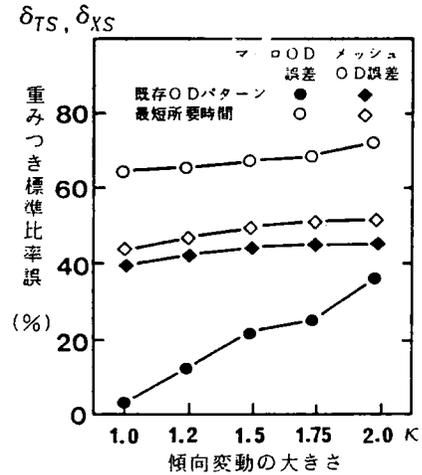


図-7.52 メッシュ間交通抵抗パラメータの設定方法の違いが推計精度 δ_{TS} , δ_{XS} に及ぼす影響

表-7.11 推計計算に必要なC.P.U. 時間と計算機容量

メッシュ分割	2.5km正方形メッシュ	5.0km正方形メッシュ	長方形メッシュ
メッシュ法A	5分 43秒	0分 30秒	1分 01秒
メッシュ法B	6分 15秒	1分 03秒	2分 52秒
メッシュ法C	3分 17秒	1分 14秒	1分 31秒
計算機容量	1836KB	1684KB	1432KB

分割の大きい場合が最も計算機容量が小さくなるとは限らないからである。

以上の計算結果をまとめると、次のことがいえる。

- ① 対象地域の大きさによっても異なると考えられるが、メッシュ分割の大きさが小さい場合には、ダミーリンクを取り入れた改良型の簡略化ネットワークを用いた方（メッシュ法B）が、ダミーリンクを用いない方法（メッシュ法A）よりも推計精度が良いといえる。しかし、推計計算に必要な計算時間および計算機容量はダミーリンクを用いる分だけメッシュ法Bの方が大きくなるので、実際の適用に当たってはその点を考慮してメッシュ分割の大きさを決定する必要がある。
- ② メッシュ分割の大きさが大きい場合や傾向変動が大きい場合には、簡略リンクの所要時間を修正するメッシュ法Cを用いた方が良いと考えられる。
- ③ 道路区間交通量の観測誤差が大きい場合には、流入流出差 ΔD_j^* を用いると精度が悪化する傾向にあるので、発生集中比を用いた方が良いといえる。
- ④ 交通抵抗係数（メッシュ間交通抵抗パラメータ）の設定は最短所要時間を用いるよりも既存OD交通量を用いて設定した方が推計精度は良いといえる。

このように、メッシュ分割配分法を取り入れれば、計算時間および計算機容量の節約が可能となり、推計誤差もそれほど大きなものとはならないことが示された。しかし、①メッシュ分割の最適な大きさの決定方法、②簡略化ネットワークにおける均衡確率配分法適用のための合成容量関数の作成方法、③マクロOD交通量からマイクロOD交通量へのブレイクダウンの方法、など今後に残された研究課題も多いといえる。

7. 7 結 語

本章ではリンク観測交通量に基づく需要分析モデルの実用化において問題となる大規模道路網での効率の計算法について検討し、これまでに行われてきた研究を整理するとともに、新しくネットワーク分割による計算法とメッシュ分割配分法を用いた計算法の提案を行った。検討した分析モデルは道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデルである。

本章での検討結果をまとめると次のことがいえる。

まず、ネットワーク表示の簡略化（省略を含む）が分析モデルの推計誤差にどのような影響を及ぼすか、数値計算を用いたシミュレーションにより分析を行った。結果をまとめると、① 細街路利用交通を無視した場合、細街路利用率の増大とともにOD交通量の推計精度は急速に悪化するが、サンプルOD交通量（あるいは既存OD交通量）の発生交通量パターンを用いて補正を行えば、推計精度をかなり向上させることができる。② 特に、細街路利用交通による誤差を発生、集中交通量で均等に分担させて補正を行えば、更に推計精度を向上させることが可能である。③ しかし、この方法を適用する場合の条件は、ODパターンに大幅な変化がないことであり、変化がある場合にはその変化を前もって推定し、推定されたODパターンを用いて推計を行う必要があるといえる。

次に、この分析モデルを広範な対象地域に適用する場合に問題となる効率の計算法について検討を行

った。

道路区間利用率が先決されている場合には、対象地域内をいくつかのサブエリアに分割し、分割したサブエリアごとに推計計算を行うネットワーク分割計算法（道路網分割推計法、道路網集約化推計法）が考えられる。数値計算を用いたシミュレーション結果より、① 道路網分割推計法は道路網一括推計法（対象道路網を分割せずに全体を一括して推計する従来の方法）と同程度の推計精度が得られるが、サブエリアごとにデータを補助記憶装置から呼び出す必要があるため計算時間は長くなる。② また、道路網集約化推計法は道路網分割推計法に比べ推計時間は短縮できるが、推計誤差は多少大きくなる場合があるということなどが明らかとなった。

道路区間利用率が先決されていない場合には、配分計算とOD推計を同時に行う必要がある。対象地域が広範になり道路網が大規模になると特に配分計算の効率化が必要となる。本章では、そのための方法としてメッシュ分割配分法を提案し、その適用性を数値計算により検討した。そしてさらに、そのメッシュ分割配分法をリンク観測交通量に基づくOD推計モデルへ導入し、金沢都市圏の道路網を対象にその有効性を検討した。

数値計算を用いたメッシュ分割配分法のシミュレーション結果をまとめると、① 簡略化ネットワーク、詳細ネットワーク、どちらのネットワークにおいてもかなり良好な配分結果を得ることができ、分割配分回数を多くすれば、簡略化による誤差を小さくすることができる。② また、全域を対象とした分割配分法に比べ、計算時間の大幅な節約が可能である。③ しかし、混雑率が小さい場合にはいずれの推計法においても配分精度が悪くなるので、配分比率を修正するなどにより推計精度の向上を計る必要があるということが明らかとなった。

金沢都市圏を対象としたモデル計算結果より、① メッシュ分割配分法を取り入れれば、リンク交通量からのOD推計法においても、計算時間および計算機容量の節約が可能である。② メッシュ分割の大きさが小さい場合には、ダミーリンクを取り入れた改良型の簡略化ネットワークを用いたメッシュ法Bを用いればよい。③ また、メッシュ分割の大きさが大きい場合や傾向変動が大きい場合には、簡略リンクの所要時間を修正するメッシュ法Cを用いた方がよい。④ しかし、最適なメッシュ分割の大きさを決定する方法やマクロOD交通量からマイクロOD交通量へOD交通量をブレイクダウンする方法などを開発する必要があるということなどが明らかとなった。

今後は他のモデル定式化による分析モデルにおいても、本章で提案した方法が適用可能であるかについて、さらに検討する必要があるといえる。

第7章 参 考 文 献

- 1) 飯田恭敬, 高山純一, 横山日出男; メッシュ分割によるネットワーク表示の簡略化手法を用いた交通量配分計算法, 土木計画学研究・論文集, No. 2, pp. 149~156, 1985年1月
- 2) 飯田恭敬, 高山純一, 鳥居久美子, 伊達欣志; 細街路を考慮した道路網交通需要推計法, 第36回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 387~388, 1981年10月
- 3) 飯田恭敬, 高山純一; 実測路上交通量を用いた交通需要予測モデルにおける細街路交通省略の影響と対策, 交通工学, Vol. 18, No. 3, pp. 3~16, 1983年5月
- 4) 飯田恭敬, 高山純一, 井戸昭典; 実測路上交通量モデルの簡易計算法の検討, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 220~221, 1982年2月
- 5) 飯田恭敬, 高山純一, 井戸昭典; 実測路上交通量を用いた道路網交通需要推計法のネットワーク分割計算法について, 都市計画別冊, 第17号, pp. 325~330, 1982年11月
- 6) 高山純一, 飯田恭敬, 名倉均; ネットワーク表示の簡略化による交通量配分, 第37回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 391~392, 1982年10月
- 7) 飯田恭敬, 高山純一, 橋本和重; ネットワーク表示の簡略化による交通量配分の特性分析, 第38回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 171~172, 1983年9月
- 8) 飯田恭敬, 高山純一, 横山日出男; ネットワーク表示の簡略化による交通量配分計算法について, 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 323~324, 1984年10月
- 9) 前掲 1)
- 10) 飯田恭敬, 高山純一, 山口義雄, 古川博人; 金沢都市圏を対象としたネットワーク表示簡略化によるメッシュ分割配分法, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 497~498, 1985年9月
- 11) 飯田恭敬, 高山純一, 水口令二; ネットワーク表示簡略化手法を用いた交通量による交通需要分析モデル, 第41回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 55~56, 1986年11月
- 12) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; ODマトリックス推計のためのネットワーク表示簡略化手法の改良について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 376~377, 1987年3月
- 13) *T. C. Hu*; A Decomposition Algorithm for Shortest Paths in A Network, *Operations Research*, Vol. 16, pp. 91~102, 1968.
- 14) 林良嗣, 林由紀夫, 野口宏一; 階層的経路探索法を用いた大規模道路網配分計算の簡略化手法, 第37回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 395~396, 1982年10月
- 15) 河上省吾, 林良嗣, 林由紀夫, 野口宏一; 大規模道路網のための階層的経路探索法, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 218~219, 1982年2月
- 16) *C. F. Daganzo*; An Equilibrium Algorithm for The Spatial Aggregation Problem of Traffic Assignment, *Transpn. Res.*, Vol. 14, pp. 221~228,

1980.

- 17) *C. F. Daganzo*; Network Representation, Continuum Approximations and A Solution to The Spatial Aggregation Problem of Traffic Assignment, *Transpn. Res.*, Vol.14, pp.229 ~239, 1980.
- 18) 内山久雄, 梶田宜彦, 松本健二郎; 大規模ネットワークを対象とした交通量配分モデル, 第36回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.391~392, 1981年10月
- 19) 内山久雄, 林良嗣, 横谷博光, 大島邦彦; 大規模ネットワークにおける経路探索の簡略化手法に関する研究, 第4回土木計画学研究発表会講演集, pp.413~419, 1982年1月
- 20) 内山久雄, 梶田宜彦; 階層化手法によるネットワークアサイメント, 第37回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.393~394, 1982年10月
- 21) 枝村俊郎, 森津秀雄, 木下鴨男, 樋口和夫; 配分対象道路網作成の自動化, 第3回土木計画学研究発表会講演集, pp.341~348, 1981年1月
- 22) 黒川 洸, 浅野光行; 都市交通調査(パーソントリップ調査)の簡略化に関する調査・研究, 建築研究資料, No.27, 1981年
- 23) *M. L. Manheim*; Fundamentals of Transportation System Analysis, Vol.1, ; Basic Concept, The M. I. T. Press, pp.472~484.
- 24) *Y. Chan*; A Method to Simplify Network Representation in Transportation Planning, *Transpn. Res.*, Vol.10, pp.179 ~191, 1976.
- 25) *C. F. Daganzo*; On The Traffic Assignment Problem with Flow Dependent Cost - I, II, *Transpn. Res.*, Vol.11, pp.433~441, 1977.
- 26) *J. C. Tanner*, et al; A Strategic Model for Urban Transport Planning, Paper Presented at The Planning & Transport Research & Computation Symposium on 'Urban Traffic Models Research', Integrated Models Seminar, London, May, 1972
- 27) *G. F. Newell*; Traffic Flow on Transportation Networks, The M. I. T. Press Cambridge, Massachusetts and London
- 28) *N Litinas. and M. Ben - Akiva*; Simplified Transportation Policy Analysis Using Continuous Distributions, *Transpn. Res.*, Vol.16, pp.413 ~445, 1982
- 29) 前掲 2), 3)
- 30) 飯田恭敬, 高山純一, 安藤俊明; 交通量変動特性の解析について, 第35回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp.298~299, 1980年9月
- 31) 飯田恭敬, 高山純一, 井戸昭典; 交通量変動における分布形と平均値・分散の関係, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.204~205, 1981年2月
- 32) 飯田恭敬, 高山純一; 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路と自動車,

Vol. 24, No. 12, pp. 22~32, 1981年 12 月

- 3 3) 飯田恭敬, 中嶋益雄; 実測路上交通量モデルを用いたOD間パラメータの修正について, 第3回土木計画学研究発表会講演集, pp. 283 ~ 286, 1981年1月
- 3 4) 前掲 3 0) ~ 3 2)
- 3 5) 前掲 4), 5)
- 3 6) 金井一二, 飯田恭敬, 高山純一; 路上交通量によるOD交通量とOD別道路区間利用率の同時推計法, 第37回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 353 ~ 354, 1982年
- 3 7) 前掲 1), 6) ~ 8)
- 3 8) 土木学会, 「交通需要予測ハンドブック」, 技報堂, p. 106, 1981年 10 月
- 3 9) 飯田恭敬; 道路網交通流に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, 1972年3月
- 4 0) 土木学会, 「交通需要予測ハンドブック」, 技報堂, pp. 105 ~ 106, 1981年 10 月
- 4 1) Robert B. Dial; A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, Transpn. Res., Vol. 5, pp. 83 ~ 111, 1971.
- 4 2) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; ODマトリックス推計のためのネットワーク表示簡略化手法の改良について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 376 ~ 377, 1986年3月
- 4 3) 飯田恭敬, 高山純一, 金子信之; ネットワーク表示簡略化手法を用いた観測リンク交通量からのOD推計法, 土木計画学研究・講演集, No. 10, pp. 109 ~ 116, 1987年 11 月
- 4 4) 昭和49年度金沢都市圏パーソントリップ調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1975年3月
- 4 5) 昭和50年度金沢都市圏総合交通体系調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1976年3月
- 4 6) 昭和51年度金沢都市圏総合交通体系調査報告書, 建設省北陸地方建設局・石川県・金沢市, 1977年3月
- 4 7) 宮城俊彦, 小嶋幸則, 小川俊幸; 均衡確率配分法に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 312 ~ 313, 1985年3月
- 4 8) 宮城俊彦, 小川俊幸, 小嶋幸則; 均衡確率配分法に関する事例研究, 第40回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第IV部, pp. 503 ~ 504, 1985年9月
- 4 9) 宮城俊彦, 小川俊幸; 均衡確率配分モデルの岐阜市への適用結果について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 306 ~ 307, 1986年3月

第 8 章 結 論

8. 1 本研究の成果

合理的な交通施設計画や道路網運用計画を策定するためには、現実道路網に即した形で交通流動をできるだけ正確に把握することが必要である。しかし、従来一般に用いられて来た四段階推計法は広域的なパーソントリップ調査をベースとするため、調査や解析に膨大な費用と時間が必要であり、都市圏全体を対象とした巨視的な総合交通計画の立案には有効であるが、現実道路網を対象とした微視的な交通政策の策定には、費用および推計精度の面で対応が困難である。しかも、短期間に何度も OD 調査を実施することは、事実上不可能といえる。このようなことより、本研究ではリンクフロー観測値に基づく新しい観点に立った道路網交通需要分析モデルを提案し、従来より開発されているこの種の分析モデルとの総合比較を行った。リンクフロー観測値に基づく分析モデルは多種多様であり、そのモデル構造も異なるため、本研究ではモデル構造の異なる 5 タイプの分析モデルについて比較検討を行った。具体的には、モデルの実際適用において問題となるインプットデータの誤差の影響や推計計算に必要な計算時間の比較により、各分析モデルの有効性と適用限界を明らかにした。本研究で得られた成果を各章ごとにまとめると、以下のようになる。

第 2 章では、リンクフロー観測値に基づく従来の研究を分類整理し、研究の発展経緯を簡単にまとめた。その結果、たとえば対象ネットワーク規模で分類すると、(1) 局所的なネットワーク（単独あるいは数個の交差点や道路区間）を対象とする場合と、(2) 広域的なネットワーク（都市内あるいは都市間）を対象とする場合に分類できること、また、利用可能データの種類で分類すると、(1) 既存 OD 交通量データがある場合と、(2) 既存 OD 交通量データがない場合、あるいは経路選択に関する道路区間利用率が (1) 外生的に与えられる場合と、(2) モデル内の内生操作によって与える場合、のそれぞれ 2 つに分類できることが明らかとなった。さらに、モデルの定式化方法（モデル構造）で分類すると、(1) エントロピー最大化によるモデル、(2) 情報量最小化によるモデル、(3) 最尤法によるモデル、(4) 残差平方和最小化によるモデル、および上記以外の (5) その他のモデル定式化によるモデル、の 5 つに分類できることが明らかとなった。そこで、上記 5 つのモデルタイプごとに、従来の研究をまとめその特徴と本研究で提案する分析モデルの関係について記述した。

第 3 章では、エントロピー最大化によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、従来開発されてきた方法を整理するとともに、その改良方法の提案を行った。また、新しく OD 推移確率モデルを導入した発生エントロピーモデル（発生エントロピー法 L 型、発生エントロピー法 S 型）を提案し、それぞれのモデルの推計特性（適用性）をモデル計算を用いたミュレーションにより検討した。シミュレーション結果をまとめると、① Willumsen の提案した方法は調査洩れの影響を大きく受けるため、調査洩れが大きい場合には問題が残る。② 道路区間交通量に観測誤差 σ_X がなければ、できるだけ多くの

道路区間交通量を用いて推計を行った方が推計精度がよい。ただし、OD交通量がランダムに変動する場合にはOD交通量を未知変量とする改良Willumsen法を用いた方がよく、OD推移確率が安定して、発生交通量のみが変動する場合には発生交通量を未知変量とする発生エントロピー法L型を用いた方がよい。③ 道路区間利用率（Dial 確率配分法の配分パラメータ $E\theta$ ）の先決誤差の影響を検討したところ、OD交通量のランダム誤差 σ_T （ランダム変動）が大きい場合にはほとんどその影響はないといえるが、ランダム誤差が小さい場合には影響がみられ、特に改良Willumsen法でその影響が大きい傾向にある。したがって、そのような場合にはスクリーンライン交通量を制約条件とした方法（井上博司の方法、発生エントロピー法S型）を用いた方がよい。④ 発生エントロピー法L型は非常に少ない観測地点交通量からOD交通量を推計することができるという利点を持つが、その反面井上博司の方法、発生エントロピー法S型に比べてリンク選択位置の違いによる影響が大きいといえる。

第4章では、情報量最小化によりモデル定式化を行う分析モデルを取り上げ、従来開発されてきた道路区間交通量による方法（IMA法L型）と、その改良方法であるスクリーンライン交通量による方法（IMA法S型）の比較検討を行った。シミュレーション結果をまとめると、① IMA法L型もIMA法S型も調査洩れの影響を大きく受けるため、調査洩れが大きい場合には問題が残る。② 道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響は選択するリンク数（あるいは、スクリーンライン数）とOD調査におけるランダム誤差 σ_T の大小によって異なり、選択リンク数が少ない場合にはIMA法L型もIMA法S型もランダム誤差 σ_T の大小にはほとんど関係なく道路区間交通量の観測誤差 σ_X の影響は小さい。しかし、選択リンク数が多い場合にはランダム誤差 σ_T の大小によって σ_X の影響が異なり、ランダム誤差 σ_T が大きい場合にはIMA法L型もIMA法S型も σ_X の影響は小さいが、ランダム誤差 σ_T が小さい場合にはどちらの推計法も道路区間交通量の観測誤差 σ_X が大きくなるに従って、推計精度が悪化する傾向にある。③ 選択リンク数が少ない場合では調査洩れによる影響の方が大きく、ほとんど道路区間利用率（配分パラメータ $E\theta$ ）の先決誤差の影響は見られない。しかし、全リンクを用いた場合では、 $E\theta$ の影響はかなり大きく、ランダム誤差が小さい場合に特にその影響が大きい。④ IMA法L型とIMA法S型の計算時間（C.P.U. Time）の比較を行うと、IMA法L型の方がIMA法S型に比べて、選択リンク数が増加すると指数的に計算時間が増加する傾向にある。したがって、対象道路網が非常に大きい場合にはIMA法S型を用いた方がよいといえる。

第5章では、最尤法によりモデル定式化を行う3タイプの分析モデルを提案し、モデル計算によりその適用性を検討した。ただし、モデルの定式化にあたっては、現実の交通量観測データを分析し、その変動特性を利用している。

まず、交通量変動特性の分析結果をまとめると、① 曜日変動の卓越した交通量では、7日の周期性が明確に現れる。② 傾向変動が無視できれば、交通量変動はほぼ正規分布に従い、特に周期変動が大きくなければその適合性は高い。③ 平均値 μ と分散 σ^2 の間には、指数関係（ $\sigma^2 = \alpha(\mu)^\beta$ ）が成り立ち、パラメータ β はほぼ1.0以上である。④ 周期変動を補正すれば変動の大きさは約半分となり、周期変動を考慮することが推計精度向上に繋がるといえる。

また、シミュレーションを用いたモデル計算結果をまとめると、不規則変動のみを考慮する場合には、

① 井上の推計法1を用いてもOD推計法1を用いても、OD交通量の推計結果はまったく同じである。したがって、道路区間交通量観測時のOD交通量を推計するには、推計手順の簡単な井上の推計法1を用いた方が有利である。② 推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha (t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ α 、 β の影響はそれほど大きくない。③ 道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響はODデータの変動が小さい場合や通過交通量の比率が大きい通過ODパターンにおいて大きい。④ 選択経路が指定されていれば、経路選択率（OD別道路区間利用率）の推定誤差の影響はほとんどない。⑤ OD推計法1、制約条件付加法、フレーター法の推計精度を比較したところ、トリップエンド条件式を考慮した制約条件付加法が最も推計精度が良く、特にODデータの変動が大きい場合に有効であるといえる。

周期変動が大きい場合には、① OD相互の相関を考慮に入れたOD推計法2の方が、相関係数を考慮しない井上の推計法1（あるいはOD推計法1）に比べて推計精度は良い。特に、ODデータの母数が既知の場合には非常に推計精度が高く、OD変動の大きさ（相対誤差）の約8～9割を消去できる。推計に用いる母数を便宜的に既存OD交通量 t_{ij}^* で与えた場合でもそれほど精度の悪化は見られず、やはり変動の大きさ（相対誤差）の約7割を消去することが可能である。しかし、道路区間交通量の観測誤差が大きくなると、井上の推計法1の方が推計精度は良くなる傾向にある。② 道路区間交通量に観測誤差がある場合には非常に大きな影響を受けるため、観測人員の配置や観測地点の選定などに注意して、できるだけ観測誤差がないようにする必要がある。③ 選択経路が指定されていれば、経路選択確率の推定誤差の影響はほとんどないといえる。

傾向変動が大きい場合には、① 母数推計法3あるいは井上の推計法3を用いて推計を行えば、推計精度の悪化はほとんど見られず、傾向変動に対して十分対応が可能である。② 井上の推計法3は既存OD交通量データが得られない場合においても手軽にOD推計を行うことが可能であるが、OD分布パターンが距離に影響されないランダム型の場合には誤差が大きくなり適用困難である。③ 母数推計法3はどのようなOD分布パターンに対しても適用可能であるが、道路区間の観測リンク数が少ない場合（観測リンク数が半分以下の場合）に誤差が大きくなり、推計不能の場合が存在する。④ 道路区間利用率の推計誤差の影響を検討したところ、選択経路が大きく変化しない場合にはほとんど影響がない。⑤ 全体的傾向として、母数推計法3の方が井上の推計法3に比べて推計精度は優れているといえるが、道路区間交通量の観測誤差の影響は、母数推計法3の方が大きい。⑥ 道路区間交通量の観測誤差が大きいと考えられる場合（調査日の異なる交通量データを用いるときなど）には、各道路区間交通量の変動が互いに独立であるとして定式化した方がよいといえる。

第6章では、残差平方和最小化によりモデル定式化を行う2種類5タイプの分析モデルを取り上げ、それぞれのモデルの推計誤差特性を明らかにするとともに、第3章、第4章、第5章でそれぞれ検討を行ったエントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデル、並びに χ^2 値最小化モデルとの関係について検討を行い、モデル構造の類似性を示した。

発生交通量を未知変量とした残差平方和最小化モデルに対するシミュレーション結果をまとめると、① 道路区間モデルおよび結合モデル2では選択リンク数が多くなるほど推計精度が向上する傾向にあるが、発生交通量モデルでは必ずしもそうとは限らない。② 各分析モデルの推計精度のバラツキを比

較すると、発生交通量モデルが最も大きく、道路区間モデルが最も小さい傾向にある。③ 目的地選択確率（OD推移確率）のupdateの効果は道路区間モデルが最も大きく、次いで結合モデル2、発生交通量モデルの順となっている。また、その効果の大きさは選択リンク数が多いほど大きく、特にOD分布パターンが重力モデル的に変動する場合に顕著である。ただし、道路区間交通量に観測誤差がある場合には必ずしもupdateの効果があるとは限らない。④ 道路区間利用率（配分パラメータ $E\theta$ ）の先決誤差の影響はOD分布パターンにずれがなく、しかも道路区間交通量に観測誤差がない場合に大きく、観測誤差が大きくなればその傾向は小さくなる。また、道路区間モデル、発生交通量モデルにおいて、配分パラメータ $E\theta$ の先決誤差の影響が大きく、結合モデル2では前二者に比べて小さい傾向にある。⑤ 道路区間モデルはOD交通量を表わす分布モデルとしてどのようなモデル式を仮定するかによって推計特性が異なり、交通抵抗係数をゾーン間所要時間で与える重力モデルT型、修正重力モデルT型および介在機会型のモデルでは既存OD交通量のOD分布パターンにより推計精度が大きく左右されるが、交通抵抗係数を既存OD交通量で与える重力モデルS型、修正重力モデルS型およびOD推移確率型のモデルではOD分布パターンがどのような場合でも推計精度の差はほとんど見られず、乱数発生の違いによる推計精度のバラツキも小さい傾向にあるといえる。

また、 χ^2 値最小化モデル、エントロピー最大化モデル、情報量最小化モデル、最尤法モデルなど、他の分析モデルとのモデル構造比較を行ったシミュレーション結果をまとめると、① 既存OD調査時と推計時のトータル交通量に差がない場合には、トータル交通量の制約条件を導入しても、導入しなくてもほとんど推計精度に差は見られないが、トータル交通量に差がある場合にはかなり推計精度の差が大きく、トータル交通量の制約条件を導入しない *Willumsen* の方法、IMA法L型（ただし、選択リンク数が少ない場合）、OD χ^2 値最小化法1、最尤法（OD推計法1）の方がトータル交通量の制約条件を導入する改良 *Willumsen* 法、OD χ^2 値最小化法2に比べて相対的に推計精度が悪い傾向にある。② モデル構造の相違による推計精度の差を比較すると、トータル交通量に差がない場合には各分析モデルの推計精度はほとんど等しく、トータル交通量に差がある場合でも選択リンク数が少ない場合には、*Willumsen* の方法、IMA法L型、OD χ^2 値最小化法1、最尤法（OD推計法1）の各分析モデルの推計精度がほぼ等しいといえる。③ OD交通量を未知変量とする場合と発生交通量を未知変量とする場合の推計精度の比較を行うと、OD交通量がランダムに変動する場合には、OD残差平方和最小化法（OD交通量モデル）も発生交通量モデルもほぼ等しい推計精度であるが、OD交通量が重力モデルに従って変動する場合、あるいはOD推移確率が変化せず発生確率のみが変動する場合には、発生交通量モデルの方が推計精度が良い。しかし、モデル構造の異なる他の分析モデル（エントロピー最大化モデル、OD χ^2 値最小化モデル、etc）との推計精度を比較すると、OD交通量がランダムに変化する場合には、全観測地点の交通量データを用いた改良 *Willumsen* 法、IMA法L型、あるいはOD χ^2 値最小化法2の推計精度の方が発生交通量を未知変量とするいずれのモデルよりも推計精度が良い傾向にある。ただし、OD交通量が重力モデル的に変動する場合あるいはOD推移確率が変化せず発生交通量のみが変化する場合には、目的地選択確率（OD推移確率）の更新が可能である道路区間モデルが最も推計精度が良いといえる。④ 推計計算に必要な計算時間（C.P.U. Time）を比較すると、

モデル定式化が非線形最適化問題となるエントロピー最大化モデルあるいは情報量最小化モデルの方が、連立一次方程式の解法により解が求まる最尤法モデル、残差平方和最小化モデルに比べて計算時間が非常に長くなるため、実際の大規模道路網へ適用する場合には選択リンク数を制限する必要があるといえる。

第7章では、これらの分析モデルを実用化する場合に問題となる大規模道路網での効率的計算法について検討を行った。まず、これまでに行われてきた大規模道路網を対象とした研究を整理し、その問題を明らかにした。そして、新しくネットワーク分割計算による計算法とメッシュ分割配分法を用いた方法を提案し、その適用性を検討した。検討を行った分析モデルは道路区間交通量に関する残差平方和最小化モデルである。

まず、ネットワーク表示を簡略化（省略）して推計を行う場合、細街路利用交通を無視すると、細街路利用率の増大とともにOD交通量の推計精度は急速に悪化するが、サンプルOD交通量（あるいは既存OD交通量）の発生交通量パターンを用いて補正を行えば、推計精度をかなり向上させることができる。特に、細街路利用交通による誤差を発生、集中交通量で均等に分担させて補正を行えば、更に推計精度を向上させることが可能である。しかし、この方法を適用する場合の条件は、ODパターンに大幅な変化がないことであり、変化がある場合にはその変化を前もって推定し、推定されたODパターンを用いて推計を行う必要があるといえる。

また、この分析モデルを広範な対象地域に適用する場合、道路区間利用率が先決されていれば、対象地域内をいくつかのサブエリアに分割し、分割したサブエリアごとに推計計算を行うネットワーク分割計算法（道路網分割推計法、道路網集約化推計法）が非常に有効である。道路区間利用率が先決されていない場合には、配分計算とOD推計を同時に行う必要があるが、対象地域が広範になり道路網が大規模な場合には、メッシュ分割配分法を導入した道路区間モデルが有効である。

数値計算を用いたメッシュ分割配分法のシミュレーション結果をまとめると、① 簡略化ネットワーク、詳細ネットワーク、どちらのネットワークにおいてもかなり良好な配分結果を得ることができ、分割配分回数を多くすれば、簡略化による誤差を小さくすることができる。② 全域を対象とした分割配分法に比べて、計算時間の大幅な節約が可能である。③ 混雑率が小さい場合にはいずれの推計法においても配分精度が悪くなるので、確率配分法の導入などにより精度の向上を計る必要があるといえる。また、金沢都市圏を対象としたモデル計算結果より、① メッシュ分割配分法を取り入れれば、リンク交通量からのOD推計法においても、計算時間および計算機容量の節約が可能であり、メッシュ分割の大きさが小さい場合には、ダミーリンクを取り入れたメッシュ法Bを用いればよい。② メッシュ分割の大きさが大きい場合や傾向変動が大きい場合には、簡略リンクの所要時間を修正するメッシュ法Cを用いた方がよいといえる。

このように、各章において行った個々の分析モデルに対する適用性の検討結果と第6章において行った各分析モデルの比較検討結果を総合的に判断すると、OD交通量がランダムに変動する場合（OD調査におけるランダム誤差あるいは日々変動する不規則変動を考慮する場合）には、OD交通量を未知変量とした改良Willumsen法、IMA法L型、あるいはOD χ^2 値最小化法2を用いればよく、OD交

通量が重力モデル的に変動する場合、あるいはOD推移確率の変動が小さい場合には発生交通量を未知変量とした残差平方和最小化モデル（道路区間モデル）を用いて推計を行えばよいということが明らかとなった。また、道路区間交通量の観測誤差が大きい場合には、推計精度の安定している結合モデル2（道路区間交通量と発生交通量の総残差平方和最小化モデル）を用いればよいといえる。しかし、各分析モデルの実用化という点では、実際の大規模道路網への適用を通して検討を行うべき課題も少なくはない。

8. 2 今後の課題

大規模道路網を対象とした各分析モデルの適用性の検討については、一部第7章において行ったが、道路区間モデルを対象とした場合についてのみであり、他の分析モデルに対してはまだ不明な点が残る。今後の検討課題をまとめると、① エントロピー最大化あるいは情報量最小化による分析モデルは対象地域が大きくなっても理論的には問題はないが、非線形の連立方程式を解く必要があるため、道路網が大規模になり制約条件として取り入れる観測リンク数が多くなると、計算時間が長くなって解法が困難となる。したがって、そのような場合には道路網を分割し、ノードを集約してネットワーク表示を簡略化するなどの解法上の工夫が必要である。② 対象道路網が大規模になった場合、制約条件として取り入れる選択リンクを制限して推計を行うことも可能であるが、どの程度のリンク数を用いればよいのか、また観測リンク位置をどこにすればよいのか、という点が問題となる。本研究においても、一部それらの点についての検討を行ったが、まだ明確な方法が確立されていない。今後は大規模道路網を対象とした最適リンク数の決定方法およびリンク位置の選定方法などの開発が必要である。③ ネットワークが大規模になると、それにともない各ODペアの経路選択も複雑になり、スクリーンラインを回り込む交通量（スクリーンラインを2回以上通過する交通量）が増加する。本研究では、その影響についての検討は行わなかったが、今後はそれらの影響についても検討する必要がある。④ 選択経路が指定されていれば、道路区間利用率の推定誤差の影響はほとんどないといえるが、選択経路自体が変化する場合や道路の改良、新設などにより道路網が変化する場合の影響については検討を行っていない。そのような場合には変化した新しい道路網を対象に推計を行えばよいが、道路網が変化すれば当然選択経路も変化すると考えられるので、それらの影響について今後検討する必要がある。

また、本研究では一日のOD交通量の推計を目的に分析モデルの検討を行ってきたが、時間単位のOD交通量の推計も不可能ではないと考えられる。現在、各都市においては車両感知器の普及により時間単位の交通量データが得られるし、都市以外でも自動交通量観測システムの設置が進めば、時間単位の交通量データが得られるようになると考えられる。そうすれば、その交通量データを利用して時間OD交通量の推計を行えばよい。ただし、その場合問題となるのは、① 時間OD交通量の分布パターンをどのようにして設定するか、という点と、② 時間帯別の経路選択率（道路区間利用率）をどのようにして与えるか、という点である。前者については、既存OD交通量を発時刻別に集計し直して、それを利用するという方法が考えられるが、後者については発時刻別の道路区間利用率（リンク到着確率）を

推定する必要があるため、現状ではかなり困難といえる。この問題は時間OD交通量の配分問題とも深く関係しているので、今後この方面の研究開発が期待される。

以上本研究では、簡単なシミュレーションではあるが分析モデルの有効性と適用限界を明らかにした。今後は、既存のOD交通量データや道路区間交通量データの変動特性を詳しく分析するとともに、現実道路網への適用を通してその実用性を確かめる必要があるといえる。

謝 辞

本論文の作成にあたっては、多くの方々から貴重な御指導と御援助を賜った。

とりわけ、本研究をまとめるに際して論文内容とその構成など適切なる御指導と有益な御助言を賜った京都大学工学部教授 佐佐木 綱先生ならびに著者の研究生活の端緒を開き、また研究の遂行、論文内容とその構成に際して終始御指導、御鞭撻を賜った同教授 飯田恭敬先生に対して、まず深甚の謝意を表わしたい。

また、金沢大学工学部教授 小堀為雄先生、同助教授 川上光彦先生には、恵まれた環境の中で研究を行う機会を与えていただいた。さらに、研究を進めるにあたって暖かい励ましと多くの御助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

研究を進める過程においても、多くの方々から御指導と御協力をいただいた。まず、類似の研究を行っている岡山大学工学部助教授 井上博司先生、京都大学工学部助教授 井上矩之先生からは、数々の貴重なコメントをいただいた。また、交通量データの解析やモデル計算を行う上で、金沢大学工学部の大学院生、学部学生には本当に多くの御協力をいただいた。心より感謝したい。

最後に、本論文の計算は主に金沢大学情報処理センターならびに京都大学大型計算機センターを利用して行ったものであり、金沢大学情報処理センターの教職員の方々には、様々な面で御協力をいただいた。特に、金沢大学工学部講師 車古正樹先生には、論文清書システムの開発などいろいろ便宜をはかっていただいた。また、論文の清書には金沢大学大学院中島良光君の多大な御協力をいただいた。多くの方々の御協力と御助言に対して深く感謝いたします。

1988年 2月

高 山 純 一