

# トリップチェーン手法を用いた 都市交通需要推計プロセス

昭和 52 年 1 月

近 藤 勝 直

# トリップチェーン手法を用いた 都市交通需要推計プロセス

昭和 52 年 1 月

近 藤 勝 直

## 序

わが国に Home-interview 型式の交通調査に基づく交通計画手法（パーソントリップ法）が紹介されて久しいが、ここ10年間に全国の主要都市圏で P.T. 調査が実施されてきたのに伴ってその水準も高まり、交通生成、発生・集中、分布、交通機関分担、配分の各推計プロセスのかなりの部分が漸く完成の域に到達しようとするに至っている。

交通計画が転換期を迎えている現在、それを計量的に支える手法としての交通需要推計プロセスも独立ではあり得ない。このような時期には、従来あまり考察が払われて来なかったり、ややもすれば恣意的に無視されてきた領域が今度は主役として登場してくることになる。それは、これまでに蓄積されて来た伝統的な体系が崩壊するということではなく、新たに光明が与えられた領域なり考え方というものを中心にして伝統的な体系を再編成するというやり方で進化してゆく。そして時には一連のプロセスの中の或る部分は新しい知見に基づいて新陳代謝にみまわれる。トリップチェーン手法を用いた都市交通需要推計プロセスと題する本研究は必ずしもそのタイトルが示すようなテクニカルな意味に限定されない広い領域を取扱っている。配分プロセスを除く、交通生成から交通機関分担までの各プロセスについて著者がいままでの研究で得てきた知見を紹介すると同時に、都市における交通パターンをトリップチェーンという概念を通じて体系的に説明することを試みたものである。

本研究を遂行するにあたっては多数の人々から指導、協力、援助を賜った。まず終始御指導と御鞭達を賜った京都大学工学部佐佐木綱教授に対し深甚なる謝意を表したい。学部・大学院時代から現在に至るまで、常に同教授の国際的な視野と交通計画を社会交通計画として把えるという情熱的な立場に接し得たことは著者の最も大きな幸いの一つであった。また、討議や計算の遂行に関して御協力と御助力をいただいたミシガン大学土木工学科博士課程留学中の北村隆一氏、国土庁関田紳一氏、京都大学工学部助手竹内新一氏ならびに同大学院生上野義弘君、そして貴重な資料を提供頂いた京阪神都市圏 P.T. 調査委員会の方々に深く感謝したい。

最後に本論文の執筆にあたり暖かい激励を賜った京都大学名誉教授米谷栄二先生に心から感謝の意を表する次第である。

昭和52年1月

近 藤 勝 直

# 目 次

第 1 章	緒 論	1
1.1	産業社会における交通計画	1
1.2	本研究の交通計画に果す役割と意義	6
第 2 章	交通生成、発生ならびに分布交通量推計プロセス	11
2.1	概 説	11
2.2	産業機構と交通生成	11
2.3	交通需要推計のための土地利用モデル	26
2.4	分布交通量推計モデル再考：現在パターン法	38
2.5	分布交通量推計モデル再考：重力モデルとエントロピー法	50
2.6	結 語	63
第 3 章	トリップチェーンの記述と予測	68
3.1	概 説	68
3.2	トリップチェーン研究：回顧と展望	69
3.3	トリップパターンの分類と基礎的な諸概念	72
3.4	トリップチェーンの吸収マルコフ連鎖モデル	80
3.5	目的間遷移行列の定義とモデルの検証	92
3.6	目的間遷移行列の将来予測法	104
3.7	トリップチェーンの時空間における考え方	109
3.8	結 語	119
第 4 章	交通機関分担プロセス	124
4.1	概 説	124
4.2	制約下の交通機関選択	127
4.3	混合トリップにおける交通機関選択法	151
4.4	トリップチェーンにおける交通機関分担法	178
4.5	結 語	203
第 5 章	結 論	207

# 第1章 緒 論

## 1.1 産業社会における交通計画

道路は交通の動脈である。戦後の経済復興と高度成長に伴って急速にふえた自動車による物と人の動きに対応して、膨大な公共投資が道路整備に投じられた。しかし、激しくなる一方の自動車公害に対する告発や、石油ショック以後の経済の停滞と財政難から、道路投資は急速に落ち込み、道路政策は大きな曲り角に立っている。

戦後の道路整備は、昭和29年から始まった第1次道路整備5ヶ年計画を契機に本格化し、48年度まで一貫して自動車の増加による交通需要を満すために進められてきた。とくに第2次計画（33～37年度）から第6次計画（45～49年度）までは各計画とも当初予想を上回る経済成長と自動車交通需要の伸びのため、年次途中で計画を改定短縮し次々と投資額は上積みされてきた。道路整備は一般財源のほか、29年度に新設された揮発油税などの特定財源を強化して投入され、このため毎年の道路投資額は20年代はG.N.P.の1%以下だったものが30年代後半から年々伸び、47年度には2.7%までふえた。また44年度には新全綜に基づく60年度を目標とした長期計画が策定され、高速自動車道、都市間幹線道路など近代的な道路網体系が決定された。

京阪神都市圏では、37年に近畿地建を中心に関係府県が幹線道路網構想をまとめたが、その主なものは大阪府が45年の万国博関連整備事業として打ち出した10大放射3環状線であり、阪神高速道路公団の発足による阪神間の自動車道路網や数々の国道バイパスの建設計画として打ち出された。高度経済成長を背景に、また万国博という国家的事業を契機にしてこれら幹線道路網の整備は大幅に進んだ。しかし、その後急速に激化した自動車公害反対による用地買収難で工事は大きく遅れ、さらに48年末の石油ショックによる公共投資の抑制で計画のかんりの部分が未完成のまま残されることになった。近畿地建の投資額は47年度の396億円をピークに、48年度380億円、49年度366億円、50年度300億円と、年々落ちてきている。建設費の高騰や公害対策費を考えると実質の事業費は3割から4割の減少となっている。しかも今後の投資総額は実質的に大幅ダウンすることが明らかとなった現在、道路整備のあり方が根本的な転換を迫られていることは明らかであろう。増大する交通需要と環境優先社会のバランスをはかるべく交通計画を真剣に考える必要があるわけである。

従来の交通計画の大部分は交通需要の推計を行った後その需要を満足させるだけの供給をはかるという立場からなされてきた。交通需要を満足させるだけの交通施設が整備可能な段階においてはそれ以上の問題は生じてこなかったのであるが、需要を満たすことのできない制約要因が増

加してくればくるほど、どのような交通を優先させるべきなのか、どのような交通は犠牲にされるべきなのか、という価値観の問題が重要となってくる。需要が施設の供給能力を上廻るかぎりこのような問題を避けることができない。現在のように、道路用地の取得難、大気汚染、騒音、振動などの公害の発生、建設費の高騰などにより、交通施設の整備が益々困難となっていく時代においては、交通需要を満たしうるだけの施設を整備することは不可能である。従って、需要を減少させる方策を考慮する必要に迫られ、ある価値観にもとずいた需要改変的な交通計画が検討されるべきであろう。

これまでは交通需要を予測する場合、現在までの社会経済的発展が継続するものと仮定して、急激な構造変化は起らないという前提でなされてきた。そして予測された交通需要をまかなう交通施設の整備が可能ならば、必要な計画案として受け入れられてきた。いわば需要放任型の計画であったわけである。今後は、交通空間の利用に一定の秩序をつけて、ある種の需要は抑制させるか、需要の発生基盤である社会そのものの改変によって、需要の軽減をはかるための検討を行わなければならないものと思われる。

交通需要を改変していく方法として次の5つの立場が考えられる。<sup>1)</sup>

- ① 自然に任せる
- ② 技術革新
- ③ 交通管理
- ④ 土地利用の改変
- ⑤ 社会制度の改変

①のように現在のまま放置しておく方法は最も容易であるが、放置した状態での均衡が現状より良くなっていく可能性をもっていなければならない。自然淘汰の後、良い方向へと進んでいく保証があれば、短期的にマイナスがあろうとも実行しうる政策である。しかしながら現状のまま放置したときには、道路交通の渋滞はますます激化し、時間価値の低いトリップほど渋滞による時間損失に堪えること、余暇的なトリップほど業務交通よりも渋滞による経済損失が少いことなどのために、日常の都市活動にとって不要不急のトリップによって道路が占有される結果となるであろう。業務交通は自動車利用の極めて高いトリップであり、渋滞によってこれらの業務交通が合理化されることも期待できず、さらに物資の配達、救急活動などが阻害され、都市機能が衰弱してしまうことは明白であろう。放置政策は質の極めて低い安定点で均衡するのではなからうか。

放置する方法が得策でないとするれば、新しい技術革新によって問題の解決をはかるか、あるいは需要を抑制させるしかない。

②は自動車よりも低公害で、資源節約的で、一層便利な新交通システムを開発することによって交通問題の解決をはかる方法である。最も正攻法といえる解決法であるが、技術革新のためには、膨大な費用とかなり長期的開発期間を必要とするので、すぐに効果を期待することはできない。

③の方法は即効的な対症療法であり、自動車による空間利用を効率的に行わしめる交通管制システムの普及と逆に自動車の利用を抑えマストランシットの利用を促進させるための交通規制とを内容とするものである。

④はトリップの発生量そのものを減少させることは困難であると考え、土地利用を変更していくことによって交通処理のしやすい町造りを目指すもので、都市再開発、用途地域の改変、職住近接型、土地利用の立体化等環境悪化を防止するような土地利用計画を目標とする方法である。

⑤は上記いずれの方法も効果が薄いとして、トリップ発生数そのものを減少させる社会を指向するもので、トリップ発生が少ない産業構造や就業構造への誘導を中心課題とする。普通には交通計画の分野には入らない課題が多くなっていく。社会システムの優劣を、単に交通の面から評価することは危険であることは論をまたないが、交通の確保に重大な危機を迎えた際には、また交通規制が厳しく実施されていった暁には、いや応なしにこのような社会システムを選択しなければならないのであろう。交通依存度の少ない社会システムにも数多くの選択が許されるであろうから、社会システム交通依存との関係を研究していくことが重要となろう。

以上のように考えてみると、短期的な効果を期待しながら、長期的にもよりよい社会システムへ誘導していく方法が現実的なようである。すなわち、上記の③と⑤とを考慮した方法である。

交通管理の方法も多種多様あり、その中のどの方式を採用するかによって、交通の状況が変わりひいては都市活動に影響を与える。従って、どのような規制を与えれば、都市活動（企業活動、個人の日常活動を含めて）がどのように影響していくのかを知っていなければならない。そしてその結果、短期的に問題が生じたとしても長期的に都市救済と新しいビジョンの方向に沿ったものであれば、積極的に採用していくべきである。

現在の都市交通の状況を放置しておくことは許されるべきではない。低公害で、空間節約的、労働節約的かつエネルギー節約的な新交通システムが開発され、自動車にくらべ遜色のない便利なサービスを確保することができない以上、当面何らかの交通規制によって都市活動の麻痺を防ぎ、これらを背景として交通依存度の少ない社会もしくは都市システムへ変ぼうさせていく努力をしなければならない。

都市の交通空間は狭隘であり、早急な改善は望み薄であるから、何らかの価値観にもとづいて制限すべき交通と優先すべき交通とを決めていかなければならない。このとき都市に対するイメ

ージと日本全体の社会経済体制に対するビジョンとが大きな影響を与えることになる。このような価値観は住民により異なり、都市全体として完全なコンセンサスをうるということはほとんど不可能であるかも知れない。しかしながら、日本全体の社会経済システムは動かさなければならぬ。1つの都市に住む住民として都市へのビジョンを整理総合していく努力は尽さなければならない。

一般に、社会制度的なしくみや政策を評価する場合、しばしば福祉という概念が用いられる。福祉を高めるという要求が意味を持つのは、社会が無限の欲望と有限の資源とのあいだの緊張関係によって制約されているからであって、その限りではこの要求は避けることのできない発想である<sup>3)</sup>とされている。社会全体についての福祉という概念には、個人間の効用比較の問題がつきまとい、これが価値判断であるという理由から、経済学ではこの種の価値命題を放逐する方向がとられてきた。規範的な厚生経済学においてさえ福祉理念の構造を扱うことはタブー視され、効率原理にもとづく福祉の極大化のみがかりうじて分析の課題として残されたのである。しかし効率原理（便益最大化）といえども1つの価値命題であって、個人間の利益の対立や判断の相違を含まないという調和の仮定が、それを価値命題らしく見せないというにすぎない。（たとえば、初期的な所得や富の分配、ならびに自然的資質の賦与などを考慮に入れないという、パレート最適の効率性は明らかに価値観から独立ではない。）

社会科学の観点から福祉理念の構造を取りあげるとき、問題の所在を最抽象的かつ一般的に表明しているのは、次のようなケインズの言葉であろう。「人類の政治問題は3つのもの—経済的効率、社会的公正、個人的自由—を組み合わせる点にある」（1926）。これは言いかえると、まず、自由、効率、公正という抽象的・一般的概念を具体的な原理に翻訳し、これらの原理の組み合わせによっていろいろな社会制度やしくみを表現する。そして次に、社会的しくみの選択を支配する原理をどのようにして導き出し得るかを論理的又は実証的に考えることである。哲学者ロールズに依れば、政治的自由は他よりも優先されるべきものとして前提された上で、所得分配に関する効率と公正という2つの原理の組み合わせと社会的しくみの関係が詳しく論じられている。<sup>6)</sup> 我々の交通計画を所得分配という観点から論ずるとするのは現時点では尚早であるようにも思えるが、たとえば交通経済学における料金決定（プライシング）の問題などにおいては消費者余剰という概念が用いられており、しかもその最大化された消費者余剰についてはその分配論にまで言及されていないという片手落ちの現状は、近い将来に克服されるにしても、交通計画という広い分野にその問題が登場してくるのはそう遠くないことのように思われる。<sup>7)、8)</sup> 現に、交通プランの発表がその沿線の地価を高め、不労所得を得るといった所得分配上好ましくない現象は特殊日本的に従来から存在しているのである。交通路線の選定、運行頻度（容量）、料金（費用）の全てについて分配上の問題を避けて通ることはできなくなるであろう。また、幹線道



路沿いの住民にかかる道路公害は第2の搾取とも呼ばれているように、交通計画全般にわたって社会の在り方と密接に関わりあってきており、ひいては望ましい社会システムの設計にまで考慮を払う必要に迫られよう。その時、経済学における先駆的業績から得るところは少なくないものと思われる。

さて、ロールズのかかげる公正についての2つの原理は次のように定式化される。第1に「ある制度に属しているかその制度によって影響をうけている各人は、他人に対する同様の自由と両立する限り、最大限の自由をうける平等な権利を有する」。第2に「制度的構造によって定義され助長されるような不平等は、次のような条件が満たされていない限り、恣意的なものである。すなわち、その不平等は各人の利益につらなるものであり、かつ人が愛着を感じ、あるいは人に利得をもたらすような地位・職業はすべての人に開放されている。」この第2の原理は差別原理とか格差原理とか呼ばれているものであり、不平等はその不平等を伴った制度あるいは不平等を許している制度が、そこに属する全ての人の利益につらなると信ずる理由がある場合にのみ認められるというものである。ところで福祉の基準としてはよく用いられるパレート基準、すなわち少なくとも他の誰かをより貧しくすることなしには、誰一人をもより豊かにすることはできないというとき、その集団の福祉は最適であるという基準は、明らかに最良の分配を指定するものではなく、むしろ最適な、あるいは効率的な分配の系を示すものにすぎず、公正の概念としては不十分であることが容易にわかる。すなわち、最適であるような制度は多数考えられるからである。一旦、集団の1個人がそのすべてを所有するならば、その人をより貧しくしないような変化というものは存在せず、このような状態もパレート最適なのである。したがって、公正という観点からは全く異なった判断を下さねばならないような社会システムが、この基準に基づけば最適となりかねないのである。

第2の原理は次のようにも解釈される。すなわち、有利な者の期待の増大が全社会システムの営みの中である役割を果たすことによってのみ、最も不利な者の期待を向上させるならば、そしてまた向上させる場合にのみ、これらの差異は公正である、と。この差別原理は、先天的な才能・能力の分布がいかなるものであれ、そこから生ずる利益を、社会の最初の出発点から生ずる恣意的なハンディキャップをできるだけ少なくするための根源的協定を表明しているといえよう。誰であれ、生まれつき恵まれた人々は、不遇な状況の中で過してきた人々の福祉を高めるという条件下でのみ、幸運を享受するのである。先天的な利得者は、単により多くの天賦を持っているからといって利益を得てよいのではなく、その才能を育くみ、訓練し、より不幸な人々の地位向上に役立たせるために用いる費用を償うときにのみ利益を得てよいのである。才能や能力といった自然の宝くじによって得た幸運や社会における初期的地位からは、代償となる利益を与える

(受けとる) ことなくしては何人といえども利得 (損失) を得ることがないように、基礎的構造 (第1原理が満足されている政治的状态) を整備しようとするならば、この差別原理に自然に到達する。そして、この差別原理が完全に満たされるときに、基礎構造が効率原理 (パレート基準) からみても最適なものとなることに多大の注目を払うべきである。

上で紹介した所得分配に関するロールズの公正原理はただちに交通計画に実体化されうる性質のものではない。なんとすればその公正原理を経済制度に実体化する場合でさえ種々の装置を必要とするからである。しかし、我々は上の抽象的観念を、交通システムと社会システムの関係を考究してゆく途上で実体的な観念に翻訳する努力を序々に開始すべきであろう。都市交通計画というのは、都市交通を計画的に導く一連の行動の展開であって、計画者が各種の観点からみた目標を提示し、いかにしてこれらの目標を達成すべきかという方法論を展開してゆくプロセスである。一般的に言って、交通は派生需要であるけれども、交通の形態そのものを一定の理念をもって計画的に改変するところに、交通計画の真のあり方をみる。<sup>2)</sup> その意味では、佐佐木 (1974) の提起する『人間の価値』—各人が自由にして人間らしい仕事をし、社会のために生産的にまた文化的に何らかの寄与とし、その代償として自己の欲する経済的ないしは文化的創造物、つまり社会的価値の一部を享受することによって、社会人としての存在意識を確保することに生活を意味づけること (傍点筆者) — に基づいた社会計画の一環としての交通計画の提唱は、ロールズの公正原理の文脈に相通するものがあると同時に、今後の交通計画が、交通の発生基盤となっている社会経済システムや生活様式の変化と深く結びつく形で展開され、社会交通計画としての側面を強くもってくるであろうし、そこには推定精度による計画手法の選択と開発ではなくて、ある価値感に支えられた計画手法の展開が要請されるであろうことから、高く評価されなければならないし、その実体化を目指して我々は学問体系の再点検と再編成を早急に開始する必要がある。

## 1.2 本研究の交通計画に果す役割と意義

前節で論じてきたように、今後の交通計画が、交通の発生基盤となっている社会経済システムや生活様式の変化と深く結びつく形で展開され、社会交通計画としての側面を強くもってくるのであれば、それに対応できる交通需要推計法の開発がなされなければならない。それは何も新しい方法を開発するということではなく、従来からの伝統的な方法が存在するならば、それらを上の目的に沿うように再点検し、再編成を行なうことを意味している。すなわち、従来の方法が見落してきた領域や、ややもすれば恣意的に無視してきた領域に光明を与え、そしてそれにとどまらず、今度はそれを中心として再編成を試みることである。トリップチェーン手法を用いた都市交通需要推計プロセスと題する本研究は、必ずしもそのタイトルが示すようなテクニカルな意味

に限定されない広い範囲の問題をとり扱っている。すなわち、都市住民の1日は、活動（activity）と活動空間（activity space）の連続（sequence）によって形成されており、その連なりを模式化する方法をトリップチェーン手法と呼んでいるにすぎない。したがって活動と活動空間についての伝統的な把握法に対して改良を加えることも重要なテーマの1つとなっているのである。

都市における活動は「活動主体」、「活動の種類」、「活動空間」という3要素によって規定することができるであろう。「活動主体」とは、ここでは都市住民をさし、活動という観点から分類され、とくに交通需要予測においては「職種」に対応する。「活動の種類」は大きく2つに分けられる。1つは、経済機能的にみて生産<sup>5)</sup>に関係するもので、拘束的な活動<sup>6)</sup>という性格を持っている。具体的には勤務、業務、授業などである。もう1つは、経済機能的にみて消費<sup>7)</sup>にカテゴライズされるもので、自由裁量的な活動<sup>8)</sup>という性格をもつものである。具体的には娯楽・社交・買物などである。これらは、サラリーマンの必要経費の区分があいまいであると同様に、必ずしも明確に分類できるものではないが、人間の活動にはこういった2面性が存在するということである。

以上の2要素は都市の活動にとって本質的ではないが、都市の活動を「都市の活動」たらしめているのは、第3番目の「活動空間」なのである。すなわち、都市が一定の地理区画という容器の中に密度の高い都市活動を乞撰していること、そしてそれらの活動場を連結するパイプ又は通路としての公共交通空間が限定されており、これ以上の拡大を望むべくもないこと、さらにこの狭隘なる公共交通空間の使用頻度が時刻的に一様でなく、ピーク、オフピークといった非効率な利用をされていること。これらの4次元的な空間利用形態が都市の大きな特徴である。

このような都市における4次元的な空間利用構造を連続（sequence）という観点から体系づけること、すなわち、トリップチェーン手法を用いてその構造を表記しようとする試み（第3章）が本研究の骨格を形成しており、交通の発生基盤としての社会・経済システムはその前段（第2章）で取扱われている。そして最後（第4章）でトリップチェーンに着目する場合のあり得べき交通機関選択法（Modal Split）が論じられる、というように、トリップチェーン研究を中心として、それに関連する分野、ならびにそれを補完する分野を体系的に取扱っているのが本研究の構成の特色である。第2章にしても、第1章にしても、それ自体で一つのテーマとなり得るほどに重要な、かつ広い問題領域であるが、本研究ではトリップチェーン研究を主体とするという方針にかんがみ、精緻な突っ込みを欠いているものの、あり得べき方向を見定めるには十分な内容となっている。

以下、各章の概説を通じて本研究の構成を明らかにし、その意義を整理しておこう。第2章は

交通生成・発生ならびに分布交通量推計プロセスと題し、主に交通需要がいかにして生起し、それが土地利用の決定を経て、どのように空間的に分布するかという、いわゆるパーソントリップ手法の前半部をとり扱ったものである。交通生成に関しては、直接経済活動に係わる業務トリップ以外の各目的トリップに対しては従来の原単位法で十分であるが、業務トリップについてはそれが非常に不安定な方法であり、業務活動が経済活動に付随したものであるという点をもっと明示的にとり扱う必要のあることが強調される。そして、ここでは業務トリップを生成せしめる産業組織という点に着目して、その将来における構造変化を十分に反映させることのできる指標としての独占度又はその反対概念としての競争度というものを考え、それと交通生成との関係が論じられる。この研究はまだ開始したばかりであり、十分な将来の展望を行ない得ないが、ダイナミックな経済活動をその構造的特性に着目して、マクロ的に把握する足がかりを与えるという意味で、将来予測における意義は少なくないものと思われる。ついでトリップ発生量・吸引量を求める場合に必要の情報としての、交通主体の土地利用の決定法がローリーモデルを中心に回顧される。オリジナルなローリーモデルは、一点集中的でかつ、ゾーン間の interaction がかなり密接な場合の大都市圏に適用すべく開発されたところの、世帯ならびに従業者の配置モデルであるが、現実の大都市圏の構造が、職住分離、郊外化、ドーナツ化といった現象のため、オリジナルなモデルの要求する構造から乖離をきたしていることに注目し、その改良への指針が考察される。そして第2章の最後には、従来の分布交通量推計モデル諸法が、それらのモデル構造を中心に回顧され、殆んどどのモデルはいわゆるエントロピー法を理論的基礎として再解釈され得ることを示す。そして従来、エントロピー法がその理解における難解さのために敬遠されがちであったのであるが、本研究の結果、構造的には非常に簡単であることが明らかにされ、実用的な意義は一段と高められたものと確信する。そしてまた、ここで提案されるBF法(i)は、第3章ならびに第4章において非常に有益な武器として登場する。

第3章は本研究のメイン・チャプターであり、トリップチェーン研究に関する回顧から始まりその展望までを含めた総合的な研究となっている。トリップチェーン研究のための諸概念の整理を通じて、京阪神都市圏の実態が眺められ、そこからいくつかの重要な指針を得る。トリップチェーンのメカニズムを表わすモデルとして本研究では吸収マルコフ連鎖を用いている。マルコフ連鎖にアナロジーするためには、いくつかの要件を満足する必要があるが、ここではそれについても十分な説明を行った。そして、この章の後半部では従来の研究では課題として残されていた目的間遷移行列の定義法、予測法、時空間への拡張法の3点について理論が展開される。遷移行列の定義については、マルコフ連鎖としての論理的な一貫性を保つことと、将来における予測という観点とが対立し、理論に忠実なみかけの遷移行列と最尤推定の遷移行列という、2種類の定義

法が生まれることになる。しかし、いずれの方法によるにせよトータルの交通量は一定に保たれているので、後者は実用的な方法としての意義をもつことになる。そして最後にトリップチェーンを時刻を含めた時空間へ拡張する方法についての展望が述べられる。恐らく、時刻に関する要因は、トリップチェーンのパターンを大きく支配していると考えられるが、本研究では未だ十分なアプローチを用意していない。トリップチェーンにおける交通機関選択法については、第4章交通機関分担プロセスに節を設けて論じている。そこでは吸収マルコフ連鎖の利点を生かしてトリップエンドで分担を実行する方法を提案している。そして実はトリップエンドモデルもトリップインターチェンジモデルも、分布モデルと結合してその構造を理解するとき、非常に簡明なる関係にあることが明確にされる。すなわち、トリップインターチェンジモデルにおいて、トリップの両エンドならびにゾーン間というように分担させる局面を分解するとき(分解できるとき)実はトリップインターチェンジモデルとトリップエンドモデルは、同一形式の分布交通量モデルを採用する場合に限り等価な関係にあるのである。同時に第4章では、大都市においてはトリップエンドモデルが有効、かつ望ましいことが実証的に検討され結論づけられる。すなわち、代替交通手段保有しないものについては本来、交通機関選択という概念の設定が困難であるため、そういう人々については利用交通手段を先取りする、言い換えればトリップの発エンドで予め分担を実行させてしまおうというわけである。

結局、以上を総合して、本研究は①トリップチェーン研究(第3章)、②トリップチェーンのための補充的研究(第2章)、③トリップチェーンにおける交通機関選択に関する研究(第4章)というように構成されており、最終的にはトリップチェーンに着目して、都市内の交通機関別の分布交通量を組織的に算定する手法全般にわたってのこれまでの研究成果をまとめあげたものである。

## 第1章 参考文献

- 1) 佐佐木綱・豊島良三（1976）：『交通需要抑制と自動車総量規制』、土木学会関西支部講習会テキスト。
- 2) 佐佐木綱（1974）：「都市交通計画」、第1章、国民科学社刊。
- 3) 塩野谷祐一（1976）：『福祉理念の構造』、日本経済新聞・やさしい経済学シリーズ。
- 4) 青木昌彦（1973）：『福祉の政治経済学・試論』、「ラディカルエコノミクス」、第1章中央公論社刊。
- 5) ——（1973）：『都市経営と経済理論』、「現代都市政策Ⅳ・都市の経営」、岩波書店。
- 6) ジョン・ロールズ（1967）：『分配の公正』、「ラディカルエコノミクス」、第7章、中央公論社。
- 7) 斉藤峻彦（1974）：『交通問題への公共経済学的視角』、「交通学研究」、1974 研究年報。
- 8) ——（1975）：『「足の確保」政策をめぐる理論的課題』「運輸と経済」, Vol. 35. No 1。

## 第2章 交通生成・発生ならびに分布交通量推計プロセス

### 2.1 概 説

本章では、トリップチェイン研究に入る前の段階として、従来のパーソントリップ手法におけるトリップ生成、発生、分布の各推定プロセスについて、その概略をふりかえると同時に、新たな視点からそれらを再考することが試みられている。交通需要がいかんして生起し、それが土地利用の決定を経て、どのように空間的に分布するかという、いわゆるパーソントリップ手法の前半部をとり扱ったものである。

交通生成については、直接経済活動に係わる業務トリップ以外の各目的トリップに対しては従来の原単位法で十分であるが、業務トリップについては、それが非常に不安定な方法であり、業務活動が経済活動に付随したものであるという点をもっと明示的にとり扱う必要のあることが強調される。そしてここでは、業務トリップを生成せしめる産業組織という点に着目して、その将来における構造変化を十分反映させることのできる指標としての独占度または競争度というものを考え、それと交通生成との関係が論じられる。

ついでトリップ発生量・吸引量を求める場合に必要な情報としての土地利用の決定法が、ローリーモデルを中心に回顧される。オリジナルなローリーモデルは、一点集中的でかつ、ゾーン間の interaction がかなり密接な場合の大都市圏に適用すべく開発されたところの、世帯ならびに従業員の配置モデルであるが、現実の大都市圏の構造が、職住分離・郊外化・ドーナツ化といった現象のために、オリジナルなモデルの要求する構造から乖離をきたしていることに注目し、その改良への指針が考察される。

そして最後に、従来の分布交通量推計モデル諸法が、それらのモデル構造を中心に回顧され、殆んどどのモデルはエントロピー法を理論的基礎として再解釈され得ることを示す。そしてここで提案される現在パターン法的エントロピー法（BF法(i)）は、第3章、第4章で有効なツールとして再登場する。

### 2.2 産業機構と交通生成<sup>11),13)</sup>

#### 2.2.1 概 説

パーソントリップ手法の特徴の1つは、「トリップ生成」という概念の導入によって対象とする地域に住む人々によってなされる交通の総量を予め決定しておくこと、すなわち対象地域に住む人々を交通生成という観点からいくつかの職種 ( $s = 1, 2, \dots, S$ ) に分類し、それぞれの

職種についてトリップ目的別生成原単位  $g^s = (g_1^s, g_2^s, \dots, g_m^s, \dots, g_M^s)$  を推計し、他方で得られている職種別人口  $P_s$  ( $s = 1, 2, \dots, S$ ) とから

$$T_m = \sum_s g_m^s P_s \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

によって、トリップ目的  $m$  の総交通生成量  $T_m$  を算出しようとするのである。トリップ目的としては一般に「出勤」、「登校」、「日常的な買物」、「娯楽・社交を含む非日常的買物」、「業務」ならびに「帰社」などを考えればよい。また「帰宅」トリップについては次章第3章で詳しく論ずるが、トリップチェーンに関する1日完結性ならびに完全パターンを仮定すれば、帰宅トリップ数はベース（家庭）を出発する第1トリップ生成原単位に等しいことから、それ自身としてはことさら推計する必要はない。京都市（1970）におけるこれら原単位の値は表2・2・1、表2・2・2に示すようである。

表2・2・1 職種別・目的別トリップ生成原単位

(1970, 京都)

職 種	トリップ目的	出 勤	登 校	買 物	娯 楽	業 務	帰 社	計
1	事 務	0.9206	0.0156	0.1850	0.1552	0.2297	0.1339	1.6403
2	販 売	0.6736	0.0123	0.2271	0.1319	1.0251	0.2425	2.3127
3	技能・生産	0.7984	0.0164	0.1710	0.1383	0.3151	0.0813	1.5208
4	運輸・通信	0.8393	0.0082	0.1296	0.1830	0.5363	0.2031	1.8999
5	サービ	0.6838	0.0255	0.3177	0.1986	0.3088	0.0754	1.6100
6	保 安	0.7547	0.0	0.2142	0.1839	0.3786	0.1585	1.6900
7	農林漁	0.2041	0.00032	0.1263	0.2292	1.1387	0.0527	1.7545
8	技術・専門	0.7751	0.0119	0.1807	0.1854	0.4611	0.1313	1.7447
9	管 理	0.6781	0.0004	0.1749	0.1804	0.8642	0.2168	2.1151
10	学 生 (1)	0.0109	1.0252	0.1848	0.3137	0.0065	0.0427	1.5940
11	学 生 (2)	0.0	0.9715	0.0995	0.2352	0.0324	0.0591	1.3979
12	主 婦	0.0057	0.0	1.1078	0.3642	0.0042	0.0003	1.4822
13	無職・他	0.0388	0.0006	0.7867	0.5530	0.0396	0.0071	1.4258
	計	0.4325	0.2991	0.4045	0.2693	0.3033	0.0980	1.8069



表2・2・2 職種別・目的別第1トリップ生成原単位

(1970, 京都)

職 種 \ トリップ目的	出 勤	登 校	買 物	娛 楽	業 務	帰 社	計
1 事 務	0.9029	0.0073	0.0756	0.0550	0.0383	0.0065	1.0856
2 販 売	0.6455	0.0073	0.1504	0.0775	0.3130	0.0091	1.2034
3 技能・生産	0.7883	0.0067	0.1029	0.0793	0.3128	0.0186	1.1526
4 運輸・通信	0.8164	0.0068	0.0681	0.0919	0.1099	0.0130	1.1063
5 サービス	0.6651	0.0208	0.2353	0.1151	0.1414	0.0073	1.1504
6 保 安	0.7485	0.0	0.0799	0.1327	0.1249	0.0069	1.0928
7 農林漁鉱	0.2041	0.0	0.1024	0.1079	1.0369	0.0215	1.4731
8 技術・専門	0.9545	0.0058	0.0893	0.0927	0.1864	0.0119	1.1409
9 管 理	0.6466	0.0004	0.0917	0.1012	0.3345	0.0129	1.1895
10 学 生 (1)	0.0109	1.0152	0.0879	0.1255	0.0022	0.0077	1.2495
11 学 生 (2)	0.0	0.9690	0.0823	0.1785	0.0312	0.0390	1.3002
12 主 婦	0.0055	0.0	0.9985	0.2859	0.0024	0.0	1.2929
13 無職・他	0.0381	0.0006	0.7084	0.4380	0.0144	0.0	1.1996
計	0.4198	0.2909	0.3184	0.1727	0.1174	0.0146	1.3338

さて、上記6トリップ目的のうち前4者についての原単位の推計は、それらが個人の生活パターンや生活水準、家族構成などと密接な関連をもっていることから、個人属性とか世帯属性と関連づけて説明することが容易であるが、<sup>1),2)</sup> 後2者のトリップ目的についてはそうではない。それらは個人生活とは異なる局面で規定をうけているものと思われる。したがってその予測にあたっては、他の目的と同じような方法を用いることはリスクが大きい。なぜなら原単位法は技術革新、同一産業内での内部変動（企業規模分布等の変動）、あるいは産業構造の変動といったいわゆる構造変化に対応し得ないからである。業務活動は本来経済活動の派生需要であることを考えると、そのかなりの部分が産業構造・産業組織の活動水準に規定されているであろう。

本節では、業務交通の生成とこれらの構造的特性とがどのような関係にあるかについて考察をばらう。とくに次項2.2.2では企業規模と交通生成の関係を、第2.2.3項では独占・寡占経済下の交通生成を、第2.2.4項では市場パターンと交通生成について論じ、現行の経済活動が競争原理を基盤として展開されていることに着目し、競争度という概念を考えて、それと交通生成との関係をみる。そして最後には非価格競争に伴う交通の増分についても論じている。

2.2.2 企業規模と交通生成

本項では企業規模と業務トリップ生成原単位の関係について考察する。表 2・2・3 には京都市（1970）における産業別・企業規模別の業務トリップ生成原単位が示されている。有職者は大きく〈従業員〉とく自営・役員・管理職〉の2つに分類されそれぞれについて企業規模の分類が異なる。〈従業員〉は9人以下と10人以上の2つの場合に〈自営・役員・管理職〉は5人以下、6～9人、10人以上の3つの場合に限定されている。これはPT調査データを基にしたゆえにこれ以上の細分類が不可能であったからである。この表で注目すべきは、いわゆる都市型産業（urban industry）であるところの「卸・小売業」、「金融・保険・不動産業」、「運輸・通信業」、「電気・ガス・水道」の4業種においては図 2・2・1 に示すような顕著な傾向があらわれている。すなわち、都市型産業部門においては、従業員数という規模変数の増大につれて業務トリップ生成原単位は減少してゆくのである。ただし他の産業についてはこのような傾向はみ

表 2・2・3 産業別・企業規模別・生成原単位（京都、昭和45年）

産 業 (注)	サンプル数	人数	トリップ数	1人当りトリップ発生数	傾向
農林・水産業	1	105	106	1.01	
	2	30	26	0.87	
	3	197	247	1.25	
	4	4	5	1.25	
	5	5	12	2.40	
鉱 業	1	13	1	0.08	
	2	32	11	0.34	
	3	6	1	0.17	
	4	4	4	1.00	
	5	5	2	0.40	
建 設 業	1	305	256	0.84	
	2	472	292	0.62	
	3	211	258	1.22	
	4	67	105	1.57	
	5	133	204	1.53	
製 造 業	1	817	348	0.43	
	2	3,212	778	0.24	
	3	510	562	1.10	
	4	136	196	1.44	
	5	628	435	0.69	
卸・小売業	1	857	799	0.93	↑
	2	1,370	917	0.67	
	3	827	1,180	1.43	
	4	175	211	1.21	
	5	340	315	0.93	
金融・不動産	1	51	33	0.65	↑
	2	520	215	0.41	
	3	57	92	1.61	
	4	16	21	1.31	
	5	84	65	0.77	
運輸・通信業	1	50	58	1.16	↑
	2	838	338	0.40	
	3	40	54	1.35	
	4	9	10	1.11	
	5	91	62	0.68	
電気・ガス・水道	1	54	58	1.07	
	2	308	156	0.51	
	3	33	53	1.61	
	4	11	21	1.91	
	5	41	37	0.90	
サービス業	1	683	237	0.35	↑
	2	1,325	422	0.32	
	3	437	354	0.81	
	4	88	69	0.78	
	5	202	134	0.66	
公 務	1	62	13	0.21	
	2	1,407	404	0.29	
	3	17	7	0.41	
	4	19	3	0.16	
	5	189	91	0.48	

(注) 企業規模  
 〈従業員〉  
 1 …… 9人以下  
 2 …… 10人以上  
 〈自営・役員・管理職〉  
 3 …… 5人以下  
 4 …… 6人～9人  
 5 …… 10人以上

うけられない。この4つの産業部門は基幹産業部門とは異なり、その活動が種々の派生需要を基礎としているために主として都市域に立地しているような産業である。したがってその活動領域と市場は地域的である。これらの4部門以外の産業部門については、その活動領域が都市域に限定されないことや、その行動原理が地

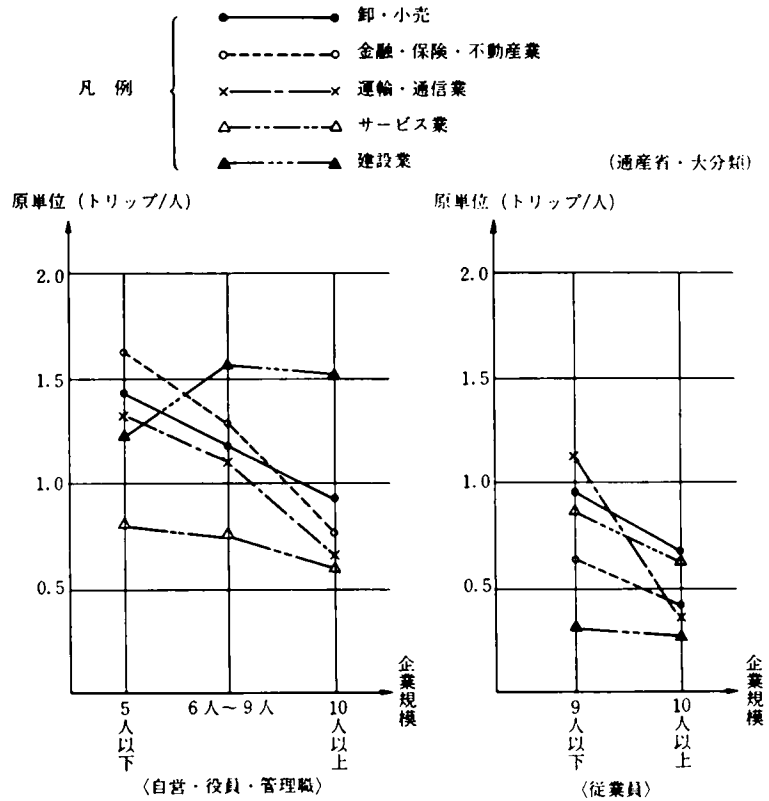


図2・2・1 産業別企業規模別業務交通生成原単位

域的にみて必ずしも経済合理的でないなど、その行動は必ずしも明確でない。たとえば基幹産業や大企業の支店などは地域の活動水準とは必ずしも対応しておらず、また公務についてみても経済合理性という次元ではとらえることができない。したがって上記4部門以外については、トリップ生成原単位と企業規模(従業員数)の間に明確な関係を推し測ることができない。しかるに都市型産業については上にみたとおり、かなり経済合理的な関係を抽出し得る可能性がある。したがって以後我々の関心はこれらの都市型産業にむけられることになる。

そこで我々は企業規模  $S_i$  に関するトリップ生成原単位  $r_i$  を次のように企業規模  $S_i$  の関数として表わしてみよう。

$$r_i = f(S_i) \dots\dots\dots (2 \cdot 1)$$

ここに  $S_i$  は第  $i$  番目の企業規模(従業員数)である。もし、この関数  $f$  を特定化することができれば、我々は第  $i$  規模に属する企業からの業務トリップ生成量を次式で算出できるであろう。

$$T_i = S_i r_i = S_i f(S_i)$$

もし  $i$  規模に属する企業数が  $n_i$  であれば、考えている産業からの全トリップ生成量は

$$T = \sum_i n_i T_i = \sum_i n_i S_i f(S_i) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 2)$$

として求めることができる。

我々の主たる関心はこの関数  $f$  を特定化することにあるので、以下生産関数の概念を導入して  $f$  の形状をしらべてみることにしよう。

一般に生産関数は次のように記述される。

$$Q = F(C, S) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 3)$$

ここに  $Q$  はアウトプット、 $C$  は資本、 $S$  は投下労働力（従業員数）である。そして  $Q$  はテクノロジー  $F$  のもとでインプット  $(C, S)$  に対応する最大産出量である。本研究での利便のためには  $F$  としてコブ＝ダグラス型の生産関数を想定してみよう。

$$Q = k C^a S^b \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 4)$$

ここに  $k, a, b$  はそれぞれパラメータである。ただし規模に関する  $\kappa$  収獲逡減の法則  $\kappa$  を仮定すれば、 $0 < a < 1, 0 < b < 1$  が要求される。ここでトリップ生成量  $T_i$  とアウトプット  $Q_i$  を関連づけるために次のような  $\kappa$  トリップ生産関数  $\kappa$  を用意しよう。

$$T_i = g(Q_i) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 5)$$

これは第  $i$  規模に属する企業のアウトプット  $Q_i$  に対応して  $T_i$  という業務トリップが生ずることを意味している。関数  $g$  はいまのところ未知である。しかしながら、トリップ生成に関する規模の経済性を仮定すれば次のように  $g$  を特定化することができる。

$$T_i = p Q_i^q \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 6)$$

ここに  $p, q$  はパラメータであり、 $q$  は  $0 < q < 1$  でなければならない。この特定化の根拠は次のような理由に求めることができよう。

- (i) 企業における運輸部門というものは、アウトプット量の増大とともにその輸送効率性を追求することが強いられ、効率的に組織化されるであろう。
- (ii) そして同時に、その輸送量の増大につれ運輸部門の切り離し、もしくは外注化が行なわれ、輸送業者が介在することになるであろう。
- (iii) また大企業にあってはその経済的優位性のために、その輸送は系列企業もしくは子会社によ

って担われることもある。

さて、このような準備のもとに(2.1)式と(2.6)式とより

$$S_i f(S_i) = p Q_i^q (\equiv T_i)$$

を得、さらにこれに式(2.4)を代入すると

$$\begin{aligned} S_i f(S_i) &= p Q_i^q \\ &= k p C_i^{a q} S_i^{b q} \\ &= K_i S_i^t \quad (K_i = k p C_i^{a q}, t = b q) \end{aligned}$$

となる。これより

$$f(S_i) = K_i S_i^{t-1} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

を導くことができる。この関数  $f$  は規模変数  $S_i$  に関する減少関数である。なんとなれば、 $0 < b, q < 1$  であるから  $-1 < t-1 < 0$ 。ここで我々は資本  $K_i$  に関する情報を全く持っていないので  $f$  と  $C_i$  との関係を吟味することができないが、テータがそろえば  $f$  と  $C_i$ 、 $C_i$  と  $S_i$  の関係についてさらに詳しい分析ができるものと思われる。しかしながら次のことには注意しておく必要がある。すなわち関数  $f$  が  $S_i$  に関して減少関数となったのは主として式(2.6)の仮定に依っているのである。もしも先述した理由(ii)、(iii)がかなり顕著であれば式(2.6)はその根拠が失われることになり、式(2.6)については別の特定化を考える必要が生じてくる。しかし当面の理論的分析のためには式(2.6)が基礎となる。

さて我々の次なる関心は式(2.1) trip rate  
もしくは式(2.7)で示される関数の  
両端における形状と、その両端への  
移行のプロセスにおける曲線変化を  
知ることである。(図2.2.2参照) 規  
模変数の左端は最小経営可能規模に  
対応し、右端は完全独占に対応して  
いる。最小経営可能規模は現状から  
得られた曲線  $f(S)$  より推して知る

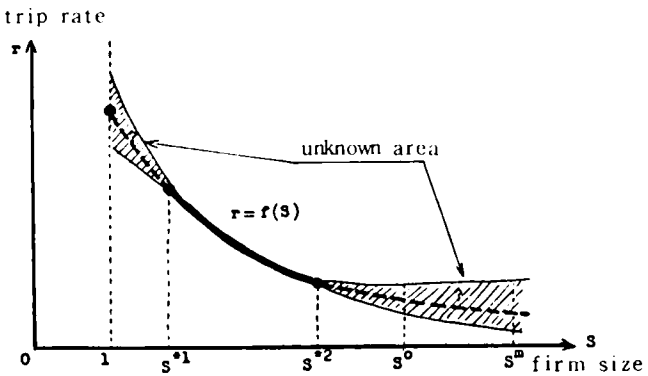


図2.2.2 Trip Rate Function

ことができようが、完全独占もしくは寡占経済下における  $f(S)$  はいかに変化するであろうか。  
図2.2.2において実線は規模に対応した原単位曲線を示しており、それは規模  $S^{*1}$ 、 $S^{*2}$  の間で  
定義されている。そして  $S^0$  は典型的な寡占企業の規模を、 $S^m$  は独占企業の規模を表わしてい  
る。破線は曲線  $f(S)$  の延長であるが、これが寡占下もしくは独占下の曲線になり得るかどうか

は定かではない。なんとすれば  $r = f(S)$  なる関数は、短期の生産関数から導かれたものであるからである。すなわち短期の生産関数とは次のような意味での「短期」において定義されるところの生産関数であるからである。<sup>5)</sup> すなわち、

- (a) 企業家がインプット量の水準を変更できないような短期間、
- (b) 生産関数がイノベーションによって影響をうけないような短期間、
- (c) 生産に必要な技術的プロセスが十分に完了しうるほどの長さの期間。

また、企業合併や集中の進行は当然市場に変化をもたらすので実際のところ、我々は斜線部分に該当する直線を定めることは困難である。市場メカニズムを考慮に入れるためには次項以降で説明するようなマクロなアプローチが必要となってくる。

しかし、もしも式(2.1)がトリップ生成と企業規模の関係を正確に反映しており、そして将来において他の条件にして等しいかぎり、我々は

現在交通量 > 寡占下の交通量 > 独占下の交通量

という大小関係を導くことができる。現在交通量を  $T_p$ 、寡占下の交通量を  $T_n$ 、独占下の交通量を  $T_m$  とするとき、それぞれ

$$T_p = \sum_i n_i S_i f(S_i) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 8)$$

$$T_n = \sum_j S_j^0 f(S_j^0) \quad S_j^0 : \text{寡占企業の規模} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 9)$$

$$T_m = S^m f(S^m) \quad S^m : \text{独占企業の規模} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 10)$$

として求められる。そして

$$\sum_i n_i S_i f(S_i) > (\sum_i n_i S_i) f(S^m) = S^m f(S^m)$$

より  $T_p > T_m$  を、

$$\sum_j S_j^0 f(S_j^0) > (\sum_j S_j^0) f(\max\{S_j^0\}) > S^m f(S^m)$$

より  $T_n > T_m$  を、

$$\begin{aligned} \sum_i n_i S_i f(S_i) &= \sum_{i \in j_1} n_i S_i f(S_i) + \sum_{i \in j_2} n_i S_i f(S_i) + \dots\dots\dots \\ &> S_{j_1}^0 f(S_{j_1}^0) + S_{j_2}^0 f(S_{j_2}^0) + \dots\dots\dots \\ &= \sum_j S_j^0 f(S_j^0) \end{aligned}$$

より  $T_p > T_n$  を、それぞれ導くことができる。上の証明では合併もしくは集中の進行により現在

より必ず大きい規模の企業が誕生するものと想定している。

### 2.2.3 独占・寡占経済下の交通生成

企業間競争は大きく2つにわけて、価格競争と非価格競争とを考慮することができる。以下本項と次項は前者の価格競争がその対象である。

普通、市場においては市場価格が下れば、その生産物の需要が大きくなる。このことは企業間競争の結果、価格が低下すれば需要が増え、このための輸送需要すなわち交通量が増加することを意味している。

図2・2・3に示すように、 $D-D$ 曲線はある商品の需要曲線、 $m_r$ は限界収入曲線、 $m_c$ は限界費用曲線を表わすものとする、独占価格はいわゆるクールノーの点 $Q$ において定まる。すなわち、限界費用と限界収入とが等しい点において、売上の極大利潤が実現せられ、 $X_0$ および $p$ がそれぞれ供給量と価格との均衡値となる。完全競争の場合には、個々の企業が供給量を変えても価格は変わらないから、付加的1単位の供給量か

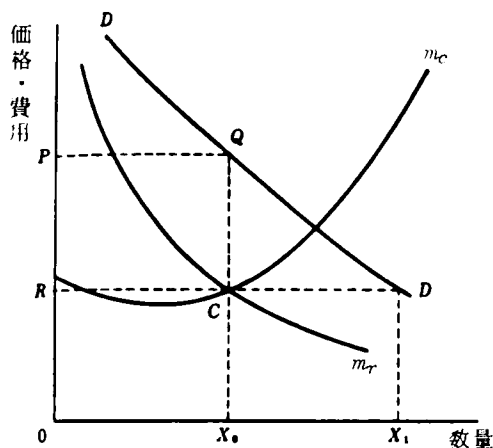


図2・2・3 独占価格の均衡点

もたらす売上高の増分すなわち企業の限界収入は価格に等しい。従って、完全競争の場合には価格＝限界費用という条件が成立する。図2・2・3における $C$ 点とその均衡点となる。このときの価格は $R$ であり、全体としての生産量は $X_1$ となる( $X_1 > X_0$ )。ここで大事なのは、完全独占の場合、生産量の調整すなわち供給量を減らすことによって独占利潤を享受しようとする事である。すなわち全体としての輸送需要は生産数量の調整分だけ減少されることになるのである。

完全競争下にあつては、各企業の直面する需要曲線は水平な直線であり、各企業は限界費用が市場価格に等しくなる産出量水準を選択して、利潤を最大にする。しかし、寡占または複占下では需要曲線を構成するにあたっていくつかの新しい問題が生じる。寡占企業がある措置をとったとき、その結果は競争相手の反応に依存する。一般に反応の型は不確定であるから、個々の企業に関する一般的な価格と販売量との関係は定義できない。したがって、その反応の型式の数だけ寡占の経済理論が存在することになる。

ある産業が寡占であるかそれとも完全競争であるかは次のようにして判断されよう。ある売手の販売量の決定が、他の売手の利潤に及ぼす影響、すなわち、 $\partial \pi_i / \partial q_j$ がほとんど無視し得る

のであれば、その産業は完全競争、または多くの売手からなる独占的競争の基本的な条件を満たしている。もし、 $\partial \pi_i / \partial q_i$ の大きさが認めうる程度のものであれば、その産業は複占もしくは寡占である。

寡占または複占の経済理論で用いられる代表的な「行動仮説の体系」は以下の6つである。<sup>5)</sup>

- (i) クールノーの解
- (ii) 共謀の解
- (iii) シュタッケルベルグの解
- (iv) マーケット・シェアの解
- (v) 屈折需要曲線
- (vi) ゲーム理論の解

このうち(iii)と(vi)は複占理論のみで寡占(3企業以上)には適用不可能とされている。

「クールノーの解」は、各企業が生産数量決定にあたって相手企業の生産量は変化しないという仮定のもとに利潤 $\pi$ を最大化することによって達成される均衡解である。

「共謀の解」は、複数の工場を持つ独占企業の行動様式と同じであり、産業全体の総利潤を最大化することによって得られる。

「シュタッケルベルグの解」は、「先導者」と「追随者」という2種類の行動様式を想定して均衡解を得ようとするものである。この場合、一方が先導者であり、他方が追随者であれば均衡解を得、また両者とも追随者であればクールノーの解が達成される。しかし、両者とも先導者であろうとすれば「シュタッケルベルグの不均衡」と呼ばれるように解は不定である。この場合の解は、他のケースと同じかまたは「共謀の解」しか残されていない。

「マーケットシェアの解」とは、各企業が長期的利益の維持をはかるために、自企業のシェアを維持するように生産数量の調節をはかるというものである。

「屈折需要曲線」は、もっと現実的であって、マーケットシェアの維持もしくは増大をはかるという行動様式である。

「ゲーム理論の解」は、いわゆる2人零和ゲームの解である。

先述したように本節では価格競争を対象としているが、価格競争に限定するかぎりわれわれの関心は寡占経済下における生産数量を知ることにある。以上の諸理論をいちいち詳細に検討するスペースはないが、市場構造の両極端に完全独占と、完全競争とを置くならば、ここで挙げた「共謀の解」は前者に近く「クールノーの解」は後者の側に位置していよう(「クールノーの解」の極限は完全競争の解に近づく)。

したがって、いずれの理論によるにせよ、寡占経済下における生産数量は、需要曲線を所与と



するかぎり、かつ価格競争のみに限定した場合、完全競争下における生産数量と独占下におけるそれとの中間に位置しているといえよう。

一般に産業の寡占化は、次のような3つの要件の一部あるいは全部を必要とするような産業に現出するといわれている。<sup>3)</sup>

- (i) その製品が巨大であるため、巨大な生産設備を必要とする——造船等
- (ii) 製品の大きさとは別に、生産のための巨大な生産装置（プラント）を必要とする——石油化学等
- (iii) 製品が非常に複雑で、かつ精密できわめて多くの製造部門を持つ生産組織を必要とする——自動車、家電等

このような産業において寡占が現出するのは、上記のような大規模設備、大規模組織の必要性ゆえに、それがいわゆる参入障壁となるからである。その産業に参入するための最小最適規模が大きく、そのため Bain のいう、①絶対資本必要額効果、②比率効果が働き、いわゆる Business Democracy が阻害されるのである。この2つの効果は、需要量  $X$ 、最小最適規模を  $z^*$  とするとき、

$$\text{最適企業数} = \text{需要量}(X) / \text{最小最適規模}(z^*)$$

として、 $X$  が小さく、かつ  $z^*$  が大きいとき、左辺の最適企業数が減少することによって説明される。

一方、寡占の成立過程には

- (i) 産業創立の初期から寡占市場を形成する場合、
- (ii) 最初は純粋競争的あるいは独占的競争市場（生産物差別化を伴った多数企業による競争市場）であったものが競争および合併により寡占市場を形成する場合、

そして経済外的要因、例えば

- (iii) 独禁法等による独占企業分割命令によって形成される場合（または、協調的寡占政策など）、

などがある。

この寡占市場形成の契機もしくは、その変遷過程は、われわれの交通需要予測と密接に関係しており、そのダイナミズム自体を交通需要予測モデルに内生化できるのか、または、それは経済体制選択の問題なのか、または経済変動モデルとして全く別個に取扱うべきなのか等々の問題をわれわれになげかける。

しかし、経済構造、経済指標が、交通需要予測の前提となっている以上、われわれは何らかのマクロ的な方法でこれらを把握する必要がある。次項ではそのための第一歩として、企業間競争

の計量化を試みる。

#### 2.2.4 企業間競争と交通生成

資本の集積・集中に基づく産業集中が全般的現象であるとはいえ、国内経済における市場のすべてが一様なパターンから成り立っているわけではない。市場構造は、参加する企業の生産集中度、集中形態、参入障壁の高さなどにおいて多様であり、複合的なものである。

第一に、いぜんとして多数の企業、しかも日本独特の中小零細企業から成り立ち、市場参入も完全といえるほどに自由な産業部門がある。第1次産業、第3次産業（たとえば、商業、サービス業）において、このようなものがなお多く残っている。ただし、現状はこの部門においても価格協定や参入制限などによって競争の抑制がはかられようとしている。

第二に、多くの企業からなるが多数の小規模企業群と少数の大企業からなっており、大企業による市場主導制が確立され、中小企業はただ補足的役割を果たすにすぎず、大企業間の競争のあり方が市場パターンを決め、その競争結果が市場全体を支配するもの。

第三に、少数大企業による生産集中度が高く寡占状態にあるというものの、その大企業間の生産規模格差が小さく、ときとしては価格競争を伴いながら、市場占拠をめぐる競争が激しい部門があげられる。自動車産業はその例であろう。

第四は寡占状態の中で集中度の企業間格差が目立ち、トップクラスの特定企業のリーダーシップが確立されていて、市場参入が制限されていて、市場のシェアをめぐる競争が著しく弱められているものである。

第五は民間部門においては少ないが、「完全独占」またはそれに近い状況にある部門である。以上を単純に整理してみると、

- A 自由競争部門（多数、参入自由）
  - A-1 自由競争（リーダーシップなし）
  - A-2 独占的競争（リーダーシップあり、地域的独占）
- B 寡占部門（少数）
  - B-1 競争的寡占（参入自由、協約なし）
  - B-2 協調的寡占（参入制限、協約あり）
- C 完全独占部門（1企業）

上記の分類は一応の目安であって、実際はもっとこみいって、単純な区分の機械的適用は避けるべきであろう。自由競争部門は国の経済の中核部門においては見られないし、完全独占も例外的なケースであるから、現実には寡占状態がほとんどであるかも知れない。

産業分類によって市場構造が異なるであろうから、参加企業数も異なり、競争度にも差異があるであろう。したがって、業務トリップ発生率と市場構造の比較を行ってみるのも無意味ではあるまい。

京都市におけるパーソントリップ調査によると、業種別従業員1人当たり業務トリップ発生数は表2・2・4に示すとおりである。

表2・2・4からわかるように、全業種平均1人当たり業務トリップ発生率0.60

表2・2・4 業種別業務トリップ発生量（京都市、1970）

業 種	人 数	トリップ数	1人当たりトリップ数	市場パターン
農 林・水 産	341	396	1.16	A
鉱 業	60	19	0.32	B
建 設 業	1,188	1,115	0.94	A
製 造 業	5,303	2,319	0.44	B, C
卸 売・小 売	3,569	3,422	0.96	A
金 融・不 動 産	728	426	0.59	A-2, B-2
運 輸・通 信	1,028	522	0.51	B-1, C
電 気・ガ ス・水 道	447	325	0.73	A, C
サ ー ビ ス 業	2,735	1,216	0.44	A
公 務	1,694	518	0.31	C
合 計	17,093	10,278	0.60	—

よりも多い業種は、農林、水産、建設、卸売、小売、電気、ガス、水道であり、そのいずれもが市場構造として自由競争型Aをもっている。例外はサービス業のみで、市場構造が競争型である割にはトリップ発生比率が小さい。サービス業は飲食、娯楽、旅館が中心であり、飲食業の場合の「出前」を除けば従業員の外出率の少ない「座商」がほとんどであろう。競争が従業員の外出を促すような種類のものではないためであろう。

次にわれわれに課せられた問題は、この市場パターンを何らかの尺度で計量化し、それと交通発生との関連を把握することである。

産業組織論の中心課題の一つに、産業集中の計測問題がある。そこでは産業集中の程度が集中度という指標でもって測られる。代表的な指標としては次のようなものがある。<sup>4)</sup>

- (i) 生産集中度
- (ii) Gini 係数
- (iii) ハーシューマン=ハーフィンダール指標  
(以下H指標)
- (iv) エントロピー指標

「生産集中度」とは、公正取引委員会が用いているもので、当該年間の生産の最も多い上位10企業の全国生産実績に占める割合としてとらえられている。

「Gini 係数」は企業規模分布の不平等度を測る尺度であって、横軸に従業員数割合を、縦軸

に事業数割合をとって描かれるローレンツ曲線に  $y = x^{\delta}$  をあてはめたときのべき数  $\delta$  をいう。

「 $H$  指標」は、 $H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2$  ( $S_i$  : 第  $i$  企業のシェア、 $n$  : 企業数) として表わされるもので、この指標は、産業の絶対的集中という構造的特性を集約してとらえるだけでなく、相対的集中をも一つの尺度の中で考慮しようとするものである。レンジは  $0 < H \leq 1$  であり、0 に近づくにつれ完全競争市場に近づき、 $H = 1$  は独占を示す。

一方、企業数が極めて多く、「競争的活動」の程度が大きくなればなるほど、任意に選ばれた買手が、どの企業から購入するかについての不確実性はより大きくなるが、このような場合によく用いられるのが「エントロピー指標」である。 $(H = - \sum_{i=1}^n S_i \log S_i, 0 \leq H \leq \log n)$

この集中度の裏返しとしては「競争度」なるものを考えることができよう。また、大胆に次のように考えること

もできる。精神物理学においては、「感覚量は物理量の対数に比例する」といわれているが、いま、企業数が  $N$  の場合の主観的競争度（これは一種の心理的競争感である）を  $\log N$  としてみよう。すると  $N$  個の企業の総和は  $N \log N$  となるであろう。以下、この主観的競争度、 $H$  指標、エントロピー指標と業務トリップ生成量との関係を調べてみよう。表 2・2・5 でこれらの対比がなされている。なお、本表では、パーソントリップ調査とのつきあわせならびに入手データの制約から各種指標の計算にあたっては、規模変数としては従業員数を用いている。

表 2・2・5 産業別競争度と交通生成量（京都、昭和 45 年）

産業	指標	$H$ 指標* ( $\times 10^{-3}$ )	エントロピー指標*	$N \log N^*$ ( $\times 10^5$ )	交通生成量** (トリップ)
建設業		26.3	1.94	2.69	33,851
製造業		10.0	2.70	23.82	81,076
卸・小売業		2.2	3.28	23.49	108,735
金融・不動産		21.3	2.04	2.64	41,779
運輸・通信		115.0	1.35	2.87	13,785
電気・ガス・水道		435.2	0.47	0.26	10,484
サービス業		8.2	2.71	11.69	39,881

\* (昭和 45 年：京都市事業所統計)

\*\* (昭和 44 年：京阪神都市圏 P T 調査)

先に説明したように、 $H$  指標は、その値の増大は集中度の増大を示し、エントロピー指標の増大は競争度の増大を示している。表 2・2・5 と表 2・2・4 を対比すれば明らかなように、市場パターンが競争的である産業(A)、「建設」、「卸・小売」、「金融・不動産」、「電気・ガス・水道」「サービス業」のうち、公共性の強い「電気・ガス・水道」を除いてエントロピー指標は高い値を示している。「製造業」においてこの値が高いのは、京都市の特殊性であり、在来の中小工業が多いことに依るものであろう。

先に説明したように、 $H$  指標は、その値の増大は集中度の増大を示し、エントロピー指標の増大は競争度の増大を示している。表 2・2・5 と表 2・2・4 を対比すれば明らかなように、市場パターンが競争的である産業(A)、「建設」、「卸・小売」、「金融・不動産」、「電気・ガス・水道」「サービス業」のうち、公共性の強い「電気・ガス・水道」を除いてエントロピー指標は高い値を示している。「製造業」においてこの値が高いのは、京都市の特殊性であり、在来の中小工業が多いことに依るものであろう。

$H$  指標については、エントロピー指標と逆の関係を示しているが、「電気・ガス・水道」にお

いて特に数値が大きいのは、市場パターンが、表 2・2・4 に示すように(C)に近いであろう。

また主観的競争度  $N \log N$  の値もエントロピー指標と同じようなパターンを示している。

なおこれらの3指標のうちエントロピー指標とハーフィンダール指標について表 2・2・5 を図化したのが図 2・2・4 (A)、(B)である。いずれも産業9（サービス業）を除き良好な関係を見ることができる。

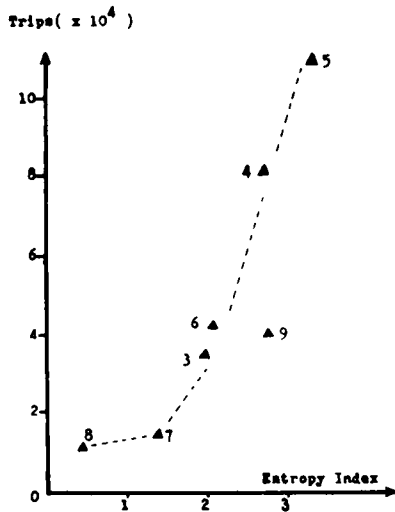


図 2・2・4-A Entropy Index and Trip Generation

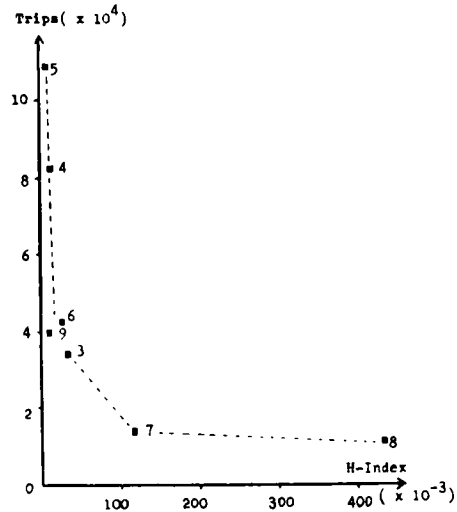


図 2・2・4-B Herfindahl Index and Trip Generation

### 2・2・5 非価格競争と交通生成

品質・デザイン競争、広告・宣伝競争、支払条件競争、サービス競争、技術開発競争など、価格競争以外の企業間競争の種類や形態はまことに多彩である。前項までは価格競争に焦点をあわせて交通発生との関連について考察してきたわけであるが、現行の市場がそのような価格競争のみでなく、本節で述べるような非価格競争をも内包した形で展開されていることにも注意を向ける必要がある。いわゆる完全競争は次のような諸前提が成立した場合の市場競争パターンである。

- (1) 同質商品を取引する売手の数が非常に多く、だれも価格の上に影響を及ぼし得ないこと。
- (2) どの売手・買手も、市場について完全な知識をもっていること。また顧客や供給源について完全な無差別が存在すること。
- (3) あらゆる生産要素の完全な可動性が存在すること。
- (4) 新企業が既存企業と同一費用でその産業に参入しうること (Business Democracy)。

しかるに、現行の競争市場は、この4条件から大きく乖離している。先述した寡占経済下の各

企業の行動様式の「共謀の解」以外はすべてし烈な競争を伴っている。非価格競争に伴う支出（例えば広告費、宣伝費）の増加は平均総費用を増大させるが、他面それは製品需要を増加し、競争的商品からの差別化を大きくすることによってその需要弾力性を低下させ、当該企業に対してより大きなマーク・アップの可能性を与える。このような非価格競争は、参入障壁を築くことによって寡占または独占を志向することの現われでもあるが、交通量の観点からみるとそれは消費者の選考をあやつり、製品需要を増加させ、したがってそれに伴う交通需要の増大を意味するだけでなく、例えば広告支出等の波及効果としての交通需要の増加にも大きく寄与しているのである。このマネーフローは産業関連表では「家計外消費」支出として計上されており、直接交通需要として顕在化する大きな部分である。

第2.2.2項で述べた企業規模増に伴う「運輸部門の外注化」ならびに本項で述べた上記の「家計外消費」支出の2つの問題は、交通の観点からは単に産業組織だけの問題ではなく、産業構造にまで発展する大きな問題である。

#### 2.2.5 おわりに

競争と独占の概念、ならびにそれらと交通発生との関連について幾多の問題点についてまとめてみたが、その計量的把握に関しては、前途ほど遠しの感がないでもない。しかしながら、実証的な面から競争市場を含む何種類かの業種に関して巨視的な考察を加えて、発生交通量との関係を求めることは、それほど無理ではないであろう。ただし、企業の成長による交通量の伸びと、企業間競争による交通量の増分とを分離することはきわめて困難のように思われる。しかし、産業大分類で見た場合でも競争度の高い業種ほど1人当たりトリップ発生量も大きく、今後の課題としては、産業分類を実証に耐え得る大きさにまで細かくして、その各々の特徴を把握することであろう。なんとなれば産業大分類は現実の競争市場を反映しているとは限らず、またその分類基準もわれわれとは違った観点からなされているものであるからである。

### 2.3 交通需要推計のための土地利用モデル<sup>16),17)</sup>

#### 2.3.1 概 説

パーソントリップ手法によって交通発生量ならびに集中量を求める場合、いわゆるトリップ生成法によって得られた総交通生成量をゾーンにふりわけける方法と、もう1つゾーン毎の活動水準などによって発生量なり集中量を直接に求める方法とがある。前者の方法では各ゾーンの活動水準の相対量が知れば十分であるから、相対的トリップ発生力ないしは相対的トリップ吸引力という概念を用いることになり、後者の方法では活動水準の絶対量そのものが必要とされる。しか

し、いずれの方法によるにせよ各ゾーンの活動水準というものが交通量推計に役立つように簡潔に予め推計されている必要がある。それらのうち主要なものは、昼間人口と夜間人口である。昼間人口は産業別従業者数、学生数などが中心となり、夜間人口としては世帯数や就業者数を代替的に用いることができる。本節ではこのような交通需要推計のための土地利用モデル(Transport-Related Land-Use Model)としてのLowry Model(Lowry, 1964)の適用可能性について検討を加える。

周知のようにLowryモデルというのは、各土地利用間における相互作用を量的に表わした関係式を用いて、原則的にはモデル対象地域外からの、あるいは外への人間の移動を認めない閉じた都市地域における各ゾーンの土地利用パターンを決めるために必要な世帯および従業者の分布を決定するモデルである。モデルの対象とする都市域内で何らかの目的をもって土地を利用するものを土地利用における活動主体と呼び、それは大きく3つに分類されている。

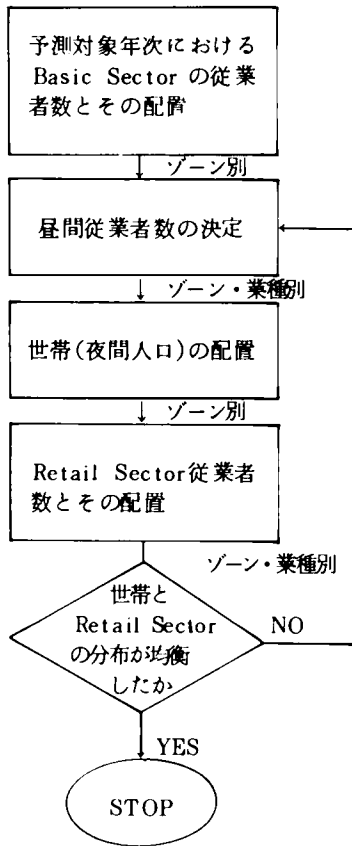
- 1) 基幹産業部門 (Basic Sector)
- 2) 地域産業部門 (Retail Sector)
- 3) 世帯部門 (Employment and/or Population)

1)の部門には工業、大手商社、中央行政庁の出先機関、大学などが含まれ、これらは対象都市域の社会的・経済的規模によって決まるものではなく、モデルには外生的に与えられる。2)の部門には商業、サービス業、地方行政府、小中学校等、地域の住民と深くかかわりあっているものが含まれる。これらは顧客を都市域内に持っているため、規模すなわち従業者数は都市域の経済状態に依存し、また立地する場所を選ぶについても住民のアクセスを考慮して決定されるべきものであり、これらはモデルに内生化されている。3)の部門はBasicならびにRetail Sectorに雇用された従業者によって営まれる世帯をさしている。

以上のような活動主体が都市域内に用地を求めて行動するのであるが、大前提としてク一方的相互作用の仮説を設けている。これはBasic Sectorの従業者数とその配置は、Retail Sectorの従業者と世帯の数とその配置に影響を与えるが、Retail Sectorと世帯部門はBasic Sectorに何ら影響を与えないということである。そして、都市域内の交通システム、土地利用規制等は与えられており、このモデルを将来推計に用いる場合には、これらは先決変数として与えておく必要がある。

モデルの概略的なフローは次頁に示すとおりである。

1つの都市域というのは地方的・国家的な社会・経済システムのサブシステムであると考えられ、そのようなトータルシステムにおいて決定された規模のBasic Sectorの従業者数ならびにその用地面積を、都市域をいくつか分割するゾーンに先験的に与える。このようにBasic



Sector が与えられると、その従業員の世帯が各職場の周辺に分布し、その産業の労働力を供給する。世帯部門が分布すれば、日常的な買物をうけおう店舗や公共施設、ならびに生活を維持する企業施設が必要となり、それら Retail Sector が世帯の分布に応じて各ゾーンに配分される。そしてまた Retail Sector に雇用された従業員もその職場の位置に応じて地域に分布することになる。この付加的な世帯の分布によって、それまでの世帯部門の分布の均衡が崩れるから、再度、世帯の分布と Retail Sector の分布が安定するまで繰り返し計算を行なうことになる。

Lowry モデルの特徴は次のとおりである。

- 1) 都市域における社会・経済現象を明確に整理された因果構造で組み立てている。したがってそのために、自給自足的な閉鎖的経済圏を想定している。
- 2) 静態的な均衡モデルである。
- 3) 土地利用に関する需要側の行動が中心となっている。
- 4) ある都市政策に基づいて配置される大規模な経済活動拠点が都市圏内部の住宅分布や商業立地にいかなる影響

を与えるかについては説得力のあるモデルとなっている。

- 5) 立地にあたっての各主体の優先順位は、その経済力を反映して Basic > Retail > 世帯という順になっている。

このモデルはもともとアメリカのメトロポリス（大都市圏）に適用すべく、開発されたところの土地利用主体の分布モデルであって、各ゾーン間に密接な相互作用（interaction）が存在する場合に用いられるべきものであるが、我国の場合、現実の大都市圏の中心部にあっては人口が減少し、他方ドーナツ化が進行するという現象のために、オリジナルな Lowry モデルの要求するような求心的な傾向からは乖離しつつあり、必ずしもオリジナルなモデルでは満足のできる説明ができるとは思われない。すなわち、オリジナルなモデルでは大都市圏の中心部は地理的にみて必然的にアクセシビリティが最大となるが、現実にはそれのみあう数の世帯が分布していないのである。したがって、これを説明するためにはモデルにセットされた制約条件でその余分をカットするしか方法がないわけである。しかしそうするとモデルの存在価値が失われてしまうので、何とかモデルの論理的長所を保存するためにアクセシビリティの構造を現実に合わせて作り直



す努力が必要であると思われる。

本研究では、このような我国の実情を反映できる改良ローリー・モデルを構築することを試みる。1つは郊外化する大都市圏へ適用するための改良、もう1つは現在開発途上にある地域へ適用するための簡素化である。前者としては、大阪府を対象としたケース・スタディ<sup>17)</sup>を通じて、後者としては滋賀県全县を対象としたケース・スタディ<sup>16)</sup>を通じて、すなわち両極端を攻めることによって、ローリーモデルを再考しようとするものである。そこで本節ではまず次項で開発途上地域へ適用するための簡素化されたモデルを通じて、Lowryモデルの基本的な性質について考察を加え、ついで大都市圏へ適用する場合に示唆されるいくつかの重要な項目を検討することにしてしよう。

### 2.3.2 開発途上地域へのLowryモデルの適用<sup>16)</sup>

先述したようにLowryモデルは米国のメトロポリスに適用すべく開発されたところの人口・産業別従業者の配置モデルであるが、現状においてはモデルの要求する構造と現実の大都市圏の構造とが大きく乖離してきている。すなわち大都市圏にあっては中心部での人口流出と周辺部でのドーナツ化現象がペアとなった形で進行し、モデルが要求する一点集中的なパターンに適合しなくなりつつある。しかるに、開発途上地域、とくに滋賀県にあっては県中央にオープンスペースとしての琵琶湖が存在し、一点集中的な土地利用パターンの現出を妨げる一方、琵琶湖を囲む環状的な交通体系の存在により、かえってLowryモデル的な土地利用構造が現出している可能性が高い。自然的・地理的な制約条件の枠内で自由な市場メカニズムが創出され機能していると想定でき、Lowryモデルの適用可能性が示唆される。

Lowryモデルを適用するにあたって考慮した滋賀県の特異性ならびに諸前提は以下のとおりである。

表 2・3・1 通勤OD表 (S.45 京阪神PT)

(イ) 閉鎖的経済圏の確保：滋賀県の湖南・湖西部には京阪神方面への大量の通勤者世帯が存在する。(表

O \ D	大津市	草津・守山	近八・能登川	PT圏外	発生計
大津市	39,035	2,664	72	14,706 (14,127)	56,477
草津・守山	5,478	27,282	406	10,347 (9,059)	43,523
近八・能登	1,786	2,523	8,796	5,063 (3,182)	18,168

( )内京阪神方面

2・3・1参照) これはもともと県内に居住しているものがその雇用を京阪神に求めたものと、京阪神の職場で雇用されたもののうち滋賀県に居住地を求めてやってきたものとの両者を含んでいるが、後者のウエイトが高まるにつれそのとり扱いが重要になってくる。モデルが要求する閉鎖的

経済圏を確保するために、これらの世帯は別途にとり扱い、あとで重ね併せる方法をとる。ただし Retail Sector の配置に関しては両者とも一般世帯に加算してとり扱うものとする。

(ロ) 農業世帯の取扱

表 2・3・2 兼業農家割合

い：当県では全世帯数に占める農家世帯数の割合は 37.9 % と高く農業県としての性格が強いが表 2・3・2 でも明らかのように、これらの農家の大半は兼業（一種、二種）農家であり、したがってこの傾向は今後とも崩れないであろうと想定し全農家を兼業農家としてとり扱う。すなわち、これら農業就業者数を下限値とするところの制約条件がモデルの体系に追加される。

	農家総数(A)	専業農家	兼業農家(B)	(B)/(A)
大津市	5,490	202	5,288	0.963
彦根市	6,580	413	6,167	0.937
長浜市	3,484	245	3,239	0.930
近江八幡市	4,468	274	4,194	0.939
八日市市	2,675	182	2,493	0.932
草津市	3,197	193	3,004	0.940
守山市	3,412	121	3,291	0.965
町村計	59,881	3,553	56,328	0.941

いであろうと想定し全農家を兼業農家としてとり扱う。すなわち、これら農業就業者数を下限値とするところの制約条件がモデルの体系に追加される。

(イ) ゾーン間距離：県中央に存在する琵琶湖はこれを交通路として利用できないために湖周に沿った環状的な交通体系が発達しており、この特徴を活かすためにモデルでは「時間距離」が用いられ、それは道路時間と鉄道時間の平均として定義している。

(ロ) 面積制約条件：当県は総体的に低密度地域であり、面積の制約は働かないと考えてよいので、ここではモデルから面積制約条件を外す。

(ハ) 産業分類：本研究では Basic Sector として製造業と建設業を、Retail Sector は第 1 グループ（卸・小売業）、第 2 グループ（金融・保険、不動産業、運輸・通信業、電気・ガス・水道業）、第 3 グループ（サービス業、公務）の 3 グループを考えた。各セクター、各グループにおいては地域的な性格をもつものと、地域的な性格を持たない比較的大規模なものとの混在しており、必ずしも Lowry が意図したような分類には厳密な意味で対応していないが、データの制約上分離できず仕方なく産業大分類を基準にして産業分類を行った。

(ニ) アクセシビリティ式の修正：Lowry の提案した世帯分布式は

$$N_j = s \cdot \sum_i E_i / T_{ij}$$

ここに  $N_j$  はゾーン  $j$  の世帯数、 $E_i$  はゾーン  $i$  の従業者数、 $T_{ij}$  はゾーン  $i$ 、 $j$  間の距離である。本研究ではこの形式がそのまま採用される。他にいくつかの形を想定してみたがテストの結果上の式が残ったのである。ここで問題はゾーン内々距離をいかに決定するかであるが本研究では以

下のようにして求めた。すなわち、アクセシビリティを分解し

$$N_j = s \left\{ \sum_{i \neq j} E_i / T_{ij} + \alpha E_j \right\} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 11)$$

におけるパラメータ  $s$ 、 $\alpha$  を最小自乗法によって求め

$$\alpha = 1 / T_{jj} \text{ (all } j \text{)}$$

なる意味を持たせようとする。したがってゾーン内々距離はどのゾーンについても同一であると仮定していることになる。(2・11)式より、 $N_j$  について実績値＝計算値となるように各  $T_{ij}$  を解析的に決定することもできるが恣意的にすぎるのでここでは採用しなかった。

一方、Retail Sector ( $k = 1, 2, 3$ ) のアクセシビリティについては、オリジナル式は

$$E_j^{(k)} = b^{(k)} \left[ c^{(k)} \sum_i N_i / T_{ij} + d^{(k)} E_j \right] \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 12)$$

となっている。ここに  $E_j^{(k)}$  は第  $k$  グループの従業者数、 $b^{(k)}$ 、 $c^{(k)}$ 、 $d^{(k)}$  はパラメータである。これについては種々の形を想定してみたが、 $N$ 、 $E^{(R)} (= E^{(1)} + E^{(2)} + E^{(3)})$ 、 $E (= E^{(B)} + E^{(R)})$  の3者間にかかりの相関関係が存在するために、いずれも精度が悪く、したがって最終的には次の形式が採用された。

$$E_j^{(k)} = b^{(k)} \cdot \sum_i E_i \beta_k / T_{ij} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 13)$$

ここに  $\beta_k$  は集積規模の効果を表わすところのべき数であって、それらの値は以下のようであった。

$$\beta_1 = 1.63 \quad \beta_2 = 1.92 \quad \beta_3 = 1.75$$

滋賀県の各ゾーンは自給自足性、すなわち各ゾーンはそれぞれそれ自体で閉鎖的な経済圏としての性格をもっているために世帯数、Retail Sector 従業者数、全従業者数の3者間に強い偏相関関係が存在し、オリジナルな形式ならびにそれを若干変更した形式では適合性がかなり悪い。

(2・13)式のように改良することにより重共線性を避け、かつ都市部における実績値と計算値の乖離を小さくすることが可能となった。

以上のように修正されたモデルを用いて滋賀県の昭和45年時点について計算を行った結果を表2・3・3に示す。表2・3・3は  $N_j / N$ 、 $E_j^{(1)} / E^{(1)}$ 、 $E_j^{(2)} / E^{(2)}$ 、 $E_j^{(3)} / E^{(3)}$  なる配分率についての計算値、実績値を示している。モデルの適合性は次のようにして検定した。 $Y$  を実績値、 $X$  を計算値として、

$$Y = aX + b$$

なる直線回帰の結果、相関係数は1に、パラメータ  $a$  は1に、 $b$  は0になれば完全に適合してい

	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
18	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
19	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
20	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
21	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
22	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
23	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
24	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
25	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
26	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
27	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
28	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 1. 大津市 (北)     | 15. 八日市市    |
| 2. " (中)       | 16. 彦根市     |
| 3. " (南)       | 17. 愛知郡     |
| 4. 草津市         | 18. 永源寺町    |
| 5. 栗東・石部町      | 19. 犬上郡     |
| 6. 信楽町         | 20. 近江・米原町  |
| 7. 甲西・水口町      | 21. 長浜市     |
| 8. 土山町         | 22. 伊吹・山梨町  |
| 9. 守山町         | 23. 東浅井郡    |
| 10. 野洲・中主町     | 24. 伊香郡     |
| 11. 竜王・蒲生町     | 25. 高島郡 (1) |
| 12. 日野町        | 26. " (2)   |
| 13. 近江八幡市      | 27. 志賀町     |
| 14. 安土・能登川・王滝荘 | 28. 甲賀・甲南町  |

\*\*\*\*\* : calculated value  
 ##### : observed value

表 2・3・3 (A) 世帯部門の計算値と実績値

	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
18	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
19	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
20	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
21	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
22	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
23	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
24	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
25	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
26	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
27	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
28	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

表 2・3・3 (B) 第 1 業種の計算値と実績値

	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
18	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
19	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
20	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
21	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
22	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
23	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
24	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
25	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
26	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
27	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
28	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 1. 大津市(北)      | 15. 八日市市    |
| 2. " (中)       | 16. 彦根市     |
| 3. " (南)       | 17. 愛知郡     |
| 4. 草津市         | 18. 永源寺町    |
| 5. 栗東・石部町      | 19. 犬上郡     |
| 6. 信楽町         | 20. 近江・米原町  |
| 7. 甲西・水口町      | 21. 長浜市     |
| 8. 土山町         | 22. 伊次・山東町  |
| 9. 守山町         | 23. 東浅井郡    |
| 10. 野洲・中主町     | 24. 伊香郡     |
| 11. 竜王・蒲生町     | 25. 高島郡 (1) |
| 12. 日野町        | 26. " (2)   |
| 13. 近江八幡市      | 27. 志賀町     |
| 14. 安土・能登川・王滝荘 | 28. 甲賀・甲南町  |

表 2・3・3(C) 第 2 業種の計算値と実績値

	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
18	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
19	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
20	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
21	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
22	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
23	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
24	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
25	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
26	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
27	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
28	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

表 2・3・3(D) 第 3 業種の計算値と実績値

ると考えるわけである。その結果は表 2・3・4 に示すとおりであるが、ほぼ満足しうるものと思われる。

表 2・3・4 モデルの適合性

	世帯	$k=1$	$k=2$	$k=3$
相関係数	0.8064	0.9156	0.8939	0.9082
$a$	0.9138	1.0252	0.9796	0.9476
$b$	0.0008	-0.0007	0.0007	0.0019
$\sigma_x$	0.0188	0.0317	0.0383	0.0343
$\sigma_y$	0.0214	0.0355	0.0419	0.0357

以下適用結果に関する考察のうち重要なものについていくつか列挙しておく、

(イ) 世帯数 ( $N$ )、従業者数 ( $E$ ) との間の相関関係が強く、土地利用という観点からは滋賀県は居住と職場の分化があまり進行

しておらず、したがってモデルの要求する構造にフィットしたと考えられること。交通体系整備の進行につれ県内の各ゾーン間の結びつきが強くなり、県全体が一体化してくれば、そして住居と職場に若干の分化が進行するようであれば、オリジナルなモデルの適合度がより高くなる。

(ロ) Retail Sector のアクセシビリティ式はオリジナルな構造を修正し、 $E_i$  に付したべき数  $\beta_k$  ( $k=1, 2, 3$ ) の導入により、都市部での高い実績値にみあう計算値をうる事が可能となった。パラメータの大きさから判断して、①卸・小売業の分布は大都市に集中することなく各地域に人口にみあうように分散されていること、②第2グループに含まれる業種は大都市の集積の効果と密接に関連して立地していること、③サービス業などの第3グループは第1グループと第2グループの中間的な性格を有していること、などが明らかになった。

(ハ) 業種毎の適合性については、第1グループの業種は規模の大きい都市部でよく適合し、中規模ゾーンで多小のパラツキが存在する。第2業種は全体的に適合性が悪く、この業種の把握の難しさを示している。第3業種については湖西部で軒並計算値が低い。これはとくにサービス業の立地がひとり県内のみの需要で成り立っていないことを意味している。すなわち京阪神方面からの需要を背景にしているのである。したがってそれと裏はらに彦根・長浜・守山等の湖東部では計算値は実績値を上まわっている。結局、地域の閉鎖性を確保することはかなり困難であり、それによって生じた乖離を埋めるためには、モデル計算後に調整するかもしくは、対象とする地域を広域化することによって開いた地域として取扱うことになる。

### 2.3.3 大都市圏への適用例<sup>17)</sup>に関する考察

本項では、大阪府を対象として行なわれた中村(1976)によるケーススタディを通じて、大都市圏に Lowry Model を適用する際の問題点について考えてみよう。適用にあたって準備された事項は以下のとおりである。

(1) 圏域の閉鎖性の確保に関しては、交通という観点からの閉鎖性を考える。すなわち、大阪府外から発生する総トリップのうち、その終点が大阪府内にあるものの割合は5.2%、また大阪府で発生するトリップのうち、終点が大阪府内にあるものの割合は95.8%となっており、したがって一応閉鎖性は確保されているものとみなしている。

(2) 産業分類は、Basic Sectorとして建設・製造業を、Retail Sectorは「卸・小売業」、「サービス業」、「金融・保険・不動産・運輸・通信・電気・ガス・水道業」の3グループに分けられている。

(3) ゾーン分割は市、町を中心に17個のゾーンとなっており、ゾーン中心は市町村役場所在地とし、ゾーン間距離は鉄道利用による時間距離を採用している。

(4) オリジナルなLowry Model が含んでいた3つの制約条件式（面積制約式、人口密度制約式、企業規模制約式）のうち、後2者についてはこれを設けない。

(5) 世帯配分式はオリジナルな形を若干修正し、次のように各ゾーン毎の開発可能面積( $A_j^H$ )を追加している。ここに $N_j$ は世帯数、

$$N_j = g \left( \sum_i E_i / d_{ij}^\gamma \right) (A_j^H)^\beta$$

$E_i$ は従業者数、 $d_{ij}$ は時間距離、( $g, \gamma, \beta$ )はそれぞれパラメータである。

(6) Retail Sectorについてもオリジナルな形を若干修正し、次のように変形している。ここに $E_j^k$ は第 $k$ グループの従業者数、

$$E_j^k = b^k \sum_i \frac{x^k N_i + y^k E_i}{d_{ij}^{\alpha_k}}$$

( $b^k, x^k, y^k, \alpha_k$ )はそれぞれパラメータである。

以下、適用結果を紹介しつつ、問題点を考えてみよう。

a. 圏域の閉鎖性については、モデルの意図するところから考えて、通勤トリップについて越境性をみるべきである。京阪神都市圏において通勤トリップの片方のエンドを大阪府内に持つものの数は、2,808,400人であり、このうち大阪府内々で生起しているものが、2,372,300人、府外からの流入分が357,800人、府外への流出分が78,300人という構成になっている。(1970年PT調査)府外への流出分は無視しうる(2.7%)にしても、府外からの流入分(12.7%)については、これを無視する根拠は乏しいものと思われる。したがって今後は、域外関係分について説得力のある補完的なモデルを準備する必要がある。伊藤(1973)による堺市への適用例<sup>18)</sup>で試みられたような、域外関係者について別のアクセシビリティ式を用いることも1つのやり方

であろう。

b. 世帯配分式、Retail Sector 従業者配分式における分母の距離にかかるべき数はそれぞれ残差平方和を最小にするように決定されたが、大体 2.0 前後の値を得ている。滋賀県の場合にはこれらの値が殆んど 1.0 であったことを考えてみると、ゾーン間の interaction の程度が強くなるにつれ、2.0 に近い値を得るという結果になっている。これは分布交通量におけるトリップ長分布の足の長さを示すパラメータの役割に対応していると考えることができる。

c. 世帯部門、Retail Sector ともモデル計算値と実績値の適合性はあまりよくない。(表 2・3・5 参照)これは前項、前々項でも若干ふれたが、モデルの要求する求心的な構造と、現実のパターンとが乖離していること、そしてその乖離を埋める役割を果すべき制約条件を設定しなかったことに依っている。本来、それらの制約条件は Lowry Model にとっては本質的なことからではない。肝要な点はアクセシビリティの概念なのである。したがって、この適用例で意識的に制約条件を外したことは、モデルの要求するパターンと現実のパターンの乖離がどのような形で現われるのか、またその乖離は何によって規定されるのか、等々の改良の為の指針を探るという目的にとっては意義は小さくない。まず世帯部門について、比較的適合しているのは〔1. 3. 4. 5. 6. 7. 9. 10. 13. 17〕の10ゾーン、計算値が実績値を上まわっているのは〔11. 12. 14. 15. 16〕、逆に下まわっているのは〔2. 8〕というゾーンであった。概して言えることは、比較的よく適合しているのは大阪市周辺のゾーンであること、適合していないのは大阪市部、池田・豊中・吹田市、泉南方面であること。言いかえると、人口密度がさほど高くもない平均的な地域でよく適合し、いわゆる人口急増地区とか都心部で乖離がはなはだしいのである。都心部では実績値<計算値、人口急増地区では実績値>計算値、という傾向をうかがい知ることができる。Retail Sector についても、ほぼ世帯部門と同様の傾向になっているが、ただ著しく異なる点は、都心部（とくに CBD）と人口急増地区における Retail Sector の高い実績値にみあう計算値が得られていないことである。とくに大阪市の CBD には異常に高い Retail Sector の集積がみられる。これは、そこに集積した Retail Sector は独り大阪府に限らず京阪神、ひいては関西の経済の中心であることに依るものであって、これは Closed な地域の需要からは本来説明できない現象なのである。また人口急増地区ではそれにみあう形で Retail Sector が立地しており、その高い実績値にみあう計算値を得ることができていない。

d. 結局、Lowry Model では世帯配置と Retail Sector 配置を同時決定するモデルとなっているが、まず世帯配置の適合度を高めることが先決であり、ついで Retail Sector を生活関連 Sector と産業関連 Sector に 2 分し、それぞれについて異なった配置パターンを決定する構造を発見することが大切であろう。また大阪のような大都市になると Retail Sector についても、そ



の需要が大阪のみを背景としておらず、より広域的な経済中心地としての役割を担っているという面の強く存在する業種については、これをBasicな性格をもつものとして取扱う必要にも迫られよう。

表 2・3・5 大阪府への適用結果

ゾーン	世帯配分率		Retail Sector 配分率					
	実績値	計算値	第1グループ		第2グループ		第3グループ	
			実績値	計算値	実績値	計算値	実績値	計算値
1	0.0094	0.0175	0.0044	0.0083	0.0027	0.0078	0.0027	0.0127
2	.0995	.0434	.0412	.0327	.0525	.0321	.0715	.0383
3	.0683	.0594	.0261	.0247	.0373	.0240	.0460	.0306
4	.0872	.0570	.0394	.0515	.0477	.0510	.0576	.0557
5	.0406	.0434	.0128	.0331	.0113	.0325	.0283	.0376
6	.1008	.0853	.0524	.0490	.0509	.0484	.0650	.0542
7	.0796	.0676	.0427	.0379	.0437	.0369	.0553	.0457
8	.1383	.0937	.0857	.0988	.0826	.0989	.0956	.0970
9	.0995	.0880	.0825	.1142	.0776	.1150	.0780	.1072
10	.0558	.0530	.0435	.0750	.0541	.0746	.0425	.0775
11	.0445	.0806	.0513	.1720	.0899	.1755	.0490	.1447
12	.0442	.0873	.4625	.1445	.4014	.1457	.3088	.1325
13	.0411	.0387	.0136	.0329	.0132	.0322	.0257	.0387
14	.0150	.0424	.0042	.0217	.0034	.0212	.0085	.0263
15	.0469	.0823	.0245	.0492	.0222	.0493	.0390	.0489
16	.0173	.0507	.0087	.0474	.0065	.0481	.0130	.0427
17	.0121	.0127	.0045	.0071	.0031	.0069	.0090	.0098
計	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

ゾーン番号	市・区・町・村名	ゾーン番号	市・区・町・村名
1	箕面市 能勢町 東能勢村	12	北区 東区 西区 天王寺区
2	池田市 豊中市 吹田市	13	藤井寺市 松原市 羽曳野市 富田林市
3	茨木市 高槻市 摂津市 島本町	14	河内長野市 狭山町 美原町 太子町
4	守口市 門真市 寝屋川市 大東市		河南町 千早赤坂村
5	枚方市 交野市 四条畷市	15	高石市 泉大津市 和泉市 岸和田市
6	東大阪市 八尾市 柏原市		忠岡町
7	堺市	16	貝塚市 泉佐野市 熊取町
8	阿部野区 住吉区 東住吉区 西成区	17	泉南市 阪南町 田尻町 岬町
9	都島区 東成区 生野区 旭区 城東区		
10	西淀川区 東淀川区		
11	福島区 此花区 港区 大正区		

## 2.4 分布交通量推計モデル再考：現在パターン法<sup>26)</sup>

### 2.4.1 概 要

本節ならびに次節2.5ではゾーン間分布交通量を推計するモデルとして従来からよく用いられている方法を再考・整理し、理論的背景のあいまいであった経験的なモデルについても、それらに理論的な根拠を与えることが可能であることを示す。

本節では、成長率を用いるところの現在パターン法を確率論的に再考し、従来から提案されているテトロイト法、平均成長率法ならびにフレータ法の各法について統一的な解釈を試みる。

従来の分布交通量推計モデルとは一般には、次の2つのサブモデルを連結したところのモデルを指している。

- (1) ゾーン間交通量の分布パターンを特定化するモデル
- (2) (1)で得られたゾーン間交通量について、それを着側について集計したものが所与の発生量に一致し、他方発側について集計したものが吸引量に一致するように分布パターンを修正するモデル

そして、(1)としては重力型式のモデルが、(2)としては既存の現在パターン法（成長率法）が修正モデルとして用いられている。そこで本節ではまず既存の現在パターン法の検討を中心に行ない、次節では重力型モデルを、これら修正モデルとの関連で再考し、統一的な解釈を試みる。そして次節の後半では、分布交通量予測における問題点についても言及する。

### 2.4.2 現在パターン法の確率論的解釈

分布交通量推計における現在パターン法とは、ゾーン間の抵抗概念（時間、距離、交通費用など）を用いずに、既知の値（現在OD表、将来OD表の周辺分布など）を用いて将来OD表を推計する手法総体を指す。しかし現在パターン法においてはゾーン間の抵抗または結びつきの度合を考慮に入れていないわけではない。現在のそれと同じであるという形で考慮しているのであるが、ただそれらの将来変化には対処できないというにすぎない。したがって、長期予測に際しても交通体系が不変とみなし得る場合には現在パターン法を用いても一向にさしつかえないことには注意しておく必要がある。

さて、現在パターン法とは塚原氏（1962）の言葉を借りれば

- (i) 将来OD表における各行、各列の和が与えられた値に一致する、という条件と
  - (ii) 将来OD表の元の構成が、現在OD表の元の構成に最も類似するという条件
- のもとで、将来OD表を埋めてゆく手法だということもできよう。<sup>19)</sup>すなわち、与えられた周辺分布を満足するODパターンは無数に存在するが、その中から現在OD表の示しているパターン

に最も類似するパターンを見つけることである。ベクトルと行列表示で示せば、

$$U = (U_1 \ U_2 \ \dots \ U_i \ \dots \ U_N) \quad : \quad \text{発生量ベクトル}$$

$$V = (V_1 \ V_2 \ \dots \ V_j \ \dots \ V_N) \quad : \quad \text{吸引量ベクトル}$$

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{NN} \end{pmatrix} \quad : \quad \text{分布パターン (ゾーン間遷移行列)}$$

これら発生量ベクトル $U$ 、吸引量ベクトル $V$ 、分布パターン $P$ の3者間には

$$U P = V$$

なる関係が成立し、ここで $U$ 、 $V$ を所与とするときに、この関係式を満足する分布パターン $P$ は無数に存在することになるが、その中で最も現在のパターンに近いものを求めようとするわけである。

この最も類似するパターンという抽象的な概念を確率的に規定してみよう。すれば、「将来OD表の $(i, j)$ 要素の先験確率は、現在の単位OD表 $P'_{ij}$ に等しい」と表現でき、このとき各 $(i, j)$ に $X_{ij}$ ずつ割当ててる場合の数に先験確率を考慮した同時確率は総交通量を $T$ として

$$S = \frac{T!}{\prod_{ij} X_{ij}!} \prod_{ij} (P'_{ij})^{X_{ij}} \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 14)$$

$$(T = \sum_{ij} X_{ij})$$

と記せる。ここに $P'_{ij}$ は現在の単位OD表であり、次のように定義される。

$$P'_{ij} = X'_{ij} / \sum_{ij} X'_{ij} \quad (X'_{ij} : \text{現在OD表})$$

$$= X'_{ij} / T' \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 15)$$

このとき確率的にみて最も生起し易いパターンは(2・14)式で示された同時確率 $S$ を最大にする $X_{ij}$ の組であるから、我々の問題は以下のように定式化される。

$$\text{Max.} \quad S = \frac{T!}{\prod_{ij} X_{ij}!} \prod_{ij} (P'_{ij})^{X_{ij}} \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 16)$$

$$\text{sub.to} \quad \sum_j X_{ij} = U_i, \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 16)$$

$$\sum_i X_{ij} = V_j, \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 17)$$

$S$ を最大にすることと  $\ln S$  を最大にすることは同値であるから、この問題は (2・16)、  
 (2・17) 式に対するラグランジュ乗数をそれぞれ  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )、 $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) とすると

Max.  $L$  ,

$$L = \sum_{ij} X_{ij} \ln p'_{ij} - \sum_{ij} (X_{ij} \ln X_{ij} - X_{ij}) \\ + \sum_i \alpha_i (\sum_j X_{ij} - U_i) + \sum_j \beta_j (\sum_i X_{ij} - V_j)$$

と書き直され、この問題の解は  $\partial L / \partial X_{ij} = 0$ 、 $\partial L / \partial \alpha_i = 0$ 、 $\partial L / \partial \beta_j = 0$  より

$$X_{ij} = p'_{ij} e^{\alpha_i + \beta_j} \dots\dots\dots (2 \cdot 18)$$

ただし、

$$\sum_j X_{ij} = U_i \dots\dots\dots (2 \cdot 19)$$

$$\sum_i X_{ij} = V_j \dots\dots\dots (2 \cdot 20)$$

と得られる。 $(\alpha_i, \beta_j)$  を求めるためには (2・18) 式で与えられた  $X_{ij}$  を (2・19)、(2・20) 式に代入し、それらを  $(\alpha_i, \beta_j)$  について解けばよい。ここで簡単の為に

$$\lambda_i = e^{\alpha_i} \quad , \quad \mu_j = e^{\beta_j} \\ (\lambda_i > 0 \quad , \quad \mu_j > 0)$$

と置けば (2・18)、(2・19)、(2・20) 式はそれぞれ、

$$X_{ij} = p'_{ij} \lambda_i \mu_j$$

$$\lambda_i (\sum_j \mu_j p'_{ij}) = U_i$$

$$\mu_j (\sum_i \lambda_i p'_{ij}) = V_j$$

となる。さらに (2・15) 式の関係より、 $p'_{ij} = X'_{ij} / T'$  を代入すると

$$X_{ij} = X'_{ij} (\lambda_i / T') \mu_j$$

$$(\lambda_i / T') (\sum_j \mu_j X'_{ij}) = U_i$$

$$\mu_j (\sum_i (\lambda_i / T') X'_{ij}) = V_j$$

となるので、ここで

$$\lambda_i^* = \lambda_i / T', \quad \mu_j^* = \mu_j$$

と置き直せば、我々の問題は次のように簡潔に記される。

$$X_{ij} = X'_{ij} \lambda_i^* \mu_j^* \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 21)$$

$$\lambda_i^* \left( \sum_j \mu_j^* X'_{ij} \right) = U_i, \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 22)$$

$$\mu_j^* \left( \sum_i \lambda_i^* X'_{ij} \right) = V_j, \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 23)$$

すなわち、将来のOD交通量  $X_{ij}$  は現在のOD交通量  $X'_{ij}$  と、バランシング・ファクター  $\lambda_i^*, \mu_j^*$  の積によって表わされる。そして、このバランシング・ファクター  $\lambda_i^*, \mu_j^*$  は (2.22), (2.23) の連立方程式より求めるのである。(2.22)、

(2.23) 式は  $\lambda^* = (\lambda_1^* \lambda_2^* \dots \lambda_N^*)$ 、 $\mu^* = (\mu_1^* \mu_2^* \dots \mu_N^*)$  についての非線型連立方程式であり代数的求解は困難であることから、計算は図 2.4.1 の手順によって行なう。

次に解  $(\lambda_i^*, \mu_j^*)$  の性質について調べてみよう。(2.22)、(2.23) 式を次のように変形する。

$$\lambda_i^* = U_i / \sum_j \mu_j^* X'_{ij} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 24)$$

$$\mu_j^* = V_j / \sum_i \lambda_i^* X'_{ij} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 25)$$

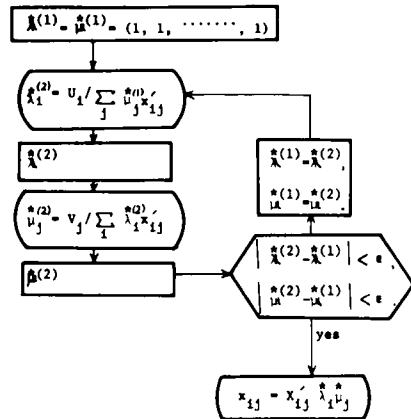


図 2.4.1 収束計算の手順

(2.24)、(2.25) 式で表わした連立方程式は、未知数  $2N$  個、方程式数  $2N$  本となっているのであるが、 $\sum_{ij} X_{ij} = \sum_{ij} X'_{ij} \lambda_i^* \mu_j^* = T$  という関係式があるために、独立な方程式の数は  $2N - 1$  本と減ぜられることになる。したがって (2.24)、(2.25) からは一意的な  $(\lambda_i^*, \mu_j^*)$  の組を決定することができない。しかし、 $X_{ij}$  の推定の為には  $(\lambda_i^*, \mu_j^*)$  の一意的な解は必要がなく、 $\lambda_i^* \mu_j^*$  という積の値さえ得られれば十分であることに注意しよう。いま (2.24), (2.25) 式を満足する任意の解を  $(\lambda_i^{**}, \mu_j^{**})$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) としよう。このとき  $\lambda_i^{**}$  を  $C$  倍したものを

$$\lambda_i^* = C \lambda_i^{**} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad C: \text{任意の定数} (\neq 0)$$

とおけば、(2.25) 式より

$$\begin{aligned} \mu_j^* &= V_j / \sum_i \lambda_i^* X_{ij}^* \\ &= V_j / C \sum_i \lambda_i^{**} X_{ij}^* \\ &= \mu_j^{**} / C \end{aligned}$$

となり、結局以下に示すように、積の値は解の組に依らずに、

$$\lambda_i^* \mu_j^* = (C \lambda_i^{**}) (\mu_j^{**} / C) = \lambda_i^{**} \mu_j^{**}$$

一定となっていることが分る。いいかえると、無数の解ベクトルの中のどの解ベクトルをとり出して来ようとも、2つのバランシング・ファクター $\lambda_i^*$ 、 $\mu_j^*$ の積は $(i, j)$ に固有なある一定値となっているのである。また、解ベクトルが無数に存在するという意味は、任意の解ベクトルを $\lambda^*$ 、 $\mu^*$ で表わすとき、他のすべての解ベクトルが $C \cdot \lambda^*$ 、 $\mu^* / C$ で表わされることをさしており、 $C$ の値が任意の定数 ( $\neq 0$ ) をとり得るという意味での $\infty$ 無数であったことが分る。

このモデルの体系は、実は竹本・石瀬(1972)両氏の提案する連立方程式モデル<sup>20)</sup>と全く同じなのである。しかし、両氏の論文では、(2・24)、(2・25)式に示される $2N$ 本の条件式のうち1本は他に従属しているとして、もう1本の条件式(それもかなり根拠の乏しい)を追加して求解を行なっている。確かに上述したように1次独立な条件式は $2N-1$ 本しかなく、 $(\lambda^*, \mu^*)$ の一意解を得るためには条件式を追加する必要はある。しかし先にもみたようにどのような解ベクトルをとり出して来ようとも、バランシング・ファクターの積 $\lambda_i^* \mu_j^*$ の値は $(i, j)$ に固有な一定値となっており、一意的な解ベクトルをわざわざ求める必要は全くないのである。連立方程式の解の一意性にこだわりすぎたために、その連立方程式がもっていた特殊な性質を見失っていたものと思われる。また、両氏のモデルはその理論的背景があいまいであったが、本法によって、両氏のモデルに理論的な意味づけが可能となった。

### 2.4.3 BF法と既存の現在パターン法

前項で紹介したバランシング・ファクター(BF)を用いる方法から類推される現在パターン法の新しい考え方は、将来交通量を $X_{ij}$ 、現在交通量を $X_{ij}^t$ 、そして $(i, j)$ 要素の成長率を $f_{ij}$ で表わすとき、この3者間には

$$X_{ij} = f_{ij} X_{ij}^t$$

なる関係が成立しており、この成長率 $f_{ij}$ が、 $i$ に固有な値と $j$ に固有な値とに分離可能であるとの前提のもとに $f_{ij}$ の形を特定化しようとするものである。 $f_{ij}$ の形としては基本的には次の3種類を考えることができる。

- (i)  $f_{ij} = \alpha_i \beta_j$
- (ii)  $f_{ij} = \alpha_i + \beta_j$
- (iii)  $f_{ij} = \alpha_i C_j + \beta_j d_i$  ( $C_j, d_i$  : 定数)

ここに  $\alpha_i, \beta_j$  は  $\sum_j X_{ij} = U_i, \sum_i X_{ij} = V_j$  なる  $2N$  本の条件式を満足するように決定される  
ところのbalancing・ファクター (BF) であり、以下、これら3法をBF法(i)、(ii)、(iii)と呼  
ぶことにする。またBF法(i)は先述したとおり理論的な背景を確率論に持つが、他の2法は理論  
的な根拠が存在しない。しかし、 $f_{ij}$  の性格からして、 $(\alpha_i, \beta_j)$  はそれぞれ発、着ゾーンにお  
ける成長要因に関係しているとみなすことができるので、経験的なレベルでの意味づけは不可能  
ではない。BF法(i)では相乗効果として、BF法(ii)、(iii)では相加的な効果として表わされてい  
るとみなすこともできる。

BF法(ii)、(iii)についても、BF法(i)で行なったと同様の考え方により、 $f_{ij}$  の値が解の組に依  
らない ( $i, j$ ) に固有な値となっていることを示しておこう。

BF法(ii)については

$$\sum_j (\alpha_i + \beta_j) X'_{ij} = U_i, \quad \sum_i (\alpha_i + \beta_j) X'_{ij} = V_j$$

を満足する任意の一組の解を  $(\overset{*}{\alpha}_i, \overset{*}{\beta}_j)$  とするとき

$$\alpha_i = \overset{*}{\alpha}_i + C, \quad \beta_j = \overset{*}{\beta}_j - C \quad (C : \text{任意の定数})$$

もまた、解となっており

$$\alpha_i + \beta_j = (\overset{*}{\alpha}_i + C) + (\overset{*}{\beta}_j - C) = \overset{*}{\alpha}_i + \overset{*}{\beta}_j$$

が成立している。

他方、BF法(iii)についても

$$\sum_j (\alpha_i C_j + \beta_j d_i) X'_{ij} = U_i, \\ \sum_i (\alpha_i C_j + \beta_j d_i) X'_{ij} = V_j$$

を満足する任意の一組の解を  $(\overset{*}{\alpha}_i, \overset{*}{\beta}_j)$  とするとき

$$\alpha_i = \overset{*}{\alpha}_i + \gamma \cdot d_i \\ \beta_j = \overset{*}{\beta}_j - \gamma \cdot C_j$$

もまた、解となっており

$$\alpha_i C_j + \beta_j d_i = (\overset{*}{\alpha}_i + \gamma \cdot d_i) C_j + (\overset{*}{\beta}_j - \gamma \cdot C_j) d_i \\ = \overset{*}{\alpha}_i C_j + \overset{*}{\beta}_j d_i$$

が成立している。

したがってBF法(i), (ii), (iii)のいずれの形式をとるにせよバランスング・ファクター ( $\alpha_i, \beta_j$ ) の一意解の求解の必要性はなく、成長率  $f_{ij}$  の値さえ得られればよいことが分る。

次にこれらBF法3法を、それぞれ周辺分布の成長率 ( $F_i, G_j$ ) と関連づけて定義し直してみよう。すなわち

$$\alpha_i = \alpha'_i F_i, \beta_j = \beta'_j G_j$$

とおき直すと、BF法(i)では

$$f_{ij} = \alpha_i \beta_j = (\alpha'_i \beta'_j) F_i G_j$$

BF法(ii)では

$$f_{ij} = \alpha_i + \beta_j = \alpha'_i F_i + \beta'_j G_j$$

BF法(iii)では、 $d_i = F_i, C_j = G_j$  とおくことにより

$$\begin{aligned} f_{ij} &= \alpha_i C_j + \beta_j d_i \\ &= (\alpha'_i F_i) G_j + (\beta'_j G_j) F_i \\ &= (\alpha'_i + \beta'_j) F_i G_j \end{aligned}$$

となり、それぞれの形式はテトロイト法、平均成長率法、フレーター法の第1近似式に類似していることが分る。そこで以下、これら既存の3法についていまま少し詳しく再考してみよう。

(1) テトロイト法

この方法は

$$X_{ij}^{(1)} = X'_{ij} F_i G_j / \gamma, \quad \gamma: \text{全域の成長率} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 26)$$

によって第1近似を求め、以下

$$F_i^{(1)} = U_i / \sum_j X_{ij}^{(1)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 27)$$

$$G_j^{(1)} = V_j / \sum_i X_{ij}^{(1)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 28)$$

で計算されるところの修正された新しい成長率  $F_i^{(1)}, G_j^{(1)}$  がともに1に等しくなるまで収束計算が実行される。 $\gamma$  は本質的には重要でないので省略して収束過程を書き下すと、 $n$  を最終収束ステップとして

$$\begin{aligned} X_{ij} &= X'_{ij} (F_i G_j) (F_i^{(1)} G_j^{(1)}) \dots\dots (F_i^{(n)} G_j^{(n)}) \\ &= X'_{ij} \prod_{k=0}^n F_i^{(k)} G_j^{(k)} = X'_{ij} \prod_{k=0}^n F_i^{(k)} \cdot \prod_{k=0}^n G_j^{(k)} \\ \text{ただし } F_i^{(0)} &= F_i, G_j^{(0)} = G_j \end{aligned}$$



と記せる。ここで、

$$\alpha_i = \prod_{k=0}^n F_i^{(k)}, \quad \beta_j = \prod_{k=0}^n G_j^{(k)}$$

とおけば、テトロイト法の形式は全くBF法(i)に一致する。

そこで $\gamma$ は省略して式(2.26)、(2.27)、(2.28)を再度眺めてみると、

$$X_{ij}^{(1)} = X'_{ij} F_i^{(0)} G_j^{(0)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 29)$$

$$\begin{aligned} F_i^{(1)} &= U_i / \sum_j X_{ij}^{(1)} \\ &= U_i / \sum_j X'_{ij} F_i^{(0)} G_j^{(0)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_j^{(1)} &= V_j / \sum_i X_{ij}^{(1)} \\ &= V_j / \sum_i X'_{ij} F_i^{(0)} G_j^{(0)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 31) \end{aligned}$$

となるが、(2.30)式、(2.31)式については

$$F_i^{(1)} F_i^{(0)} = U_i / \sum_j X'_{ij} G_j^{(0)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 32)$$

$$G_j^{(1)} G_j^{(0)} = V_j / \sum_i X'_{ij} F_i^{(0)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 33)$$

と変形され、テトロイト法の収束計算の意味は $F_i^{(1)}$ 、 $G_j^{(1)}$ がともに1になることであるから、これをBF法(i)の(2.24)、(2.25)式、すなわち、

$$\lambda_i^* = U_i / \sum_j \mu_j^* X'_{ij}$$

$$\mu_j^* = V_j / \sum_i \lambda_i^* X'_{ij}$$

と対応させてみると、BF法(i)のバランスング・ファクター $(\lambda_i^*, \mu_j^*)$ の決定法は収束計算に頼らねばならないから、結局テトロイト法はBF法(i)において初期値として $\lambda_i^{*(0)} = F_i$ 、 $\mu_j^{*(0)} = G_j$ を採用した場合に他ならないことが分る。ただし全域の成長率 $\gamma$ を用いる場合はそのかぎりではない。結局、テトロイト法はBF法(i)と同一形式、同一解を持つことになるので、テトロイト法の理論的背景はBF法(i)に求められることとなる。

(2) 平均成長率法

この方法は

$$X_{ij}^{(1)} = X'_{ij} \frac{F_i + G_j}{2} \dots\dots\dots (2 \cdot 34)$$

により第1近似を求め、以下デトロイト法と同じ収束計算を繰返す。1/2は本質的には不要であるから省略して計算過程を書き下すと

$$\begin{aligned} X_{ij} &= X'_{ij} (F_i^{(0)} + G_j^{(0)}) (F_i^{(1)} + G_j^{(1)}) \dots\dots\dots (F_i^{(n)} + G_j^{(n)}) \\ &= X'_{ij} \prod_{k=0}^n (F_i^{(k)} + G_j^{(k)}) \dots\dots\dots (2 \cdot 35) \end{aligned}$$

と記せる。ここでも同様にして

$$\begin{aligned} F_i^{(1)} &= U_i / \sum_j X_{ij}^{(1)} \\ &= U_i / \sum_j X'_{ij} (F_i^{(0)} + G_j^{(0)}) \\ G_j^{(1)} &= V_j / \sum_i X_{ij}^{(1)} \\ &= V_j / \sum_i X'_{ij} (F_i^{(0)} + G_j^{(0)}) \end{aligned}$$

を得、他方BF法(ii)では

$$\begin{aligned} 1 &= U_i / \sum_j X'_{ij} (\alpha_i + \beta_j) \\ 1 &= V_j / \sum_i X'_{ij} (\alpha_i + \beta_j) \end{aligned}$$

であることから、この場合は全く収束計算のプロセスが異なることが分る。BF法(ii)では $(\alpha_i, \beta_j)$ 自体の値が逐次修正されてゆくのに対し、平均成長率法では(2.35)式で示すように乗積の形で修正が進行してゆくのである。また、このちがいでよりBF法(ii)では必ずしも非負解を得る保証がないわけである。

### (3) フレーター法

この方法は

$$X_{ij}^{(1)} = X'_{ij} F_i^{(0)} G_j^{(0)} \frac{l_i^{(0)} + h_j^{(0)}}{2}$$

ここに、
$$l_i^{(0)} = \sum_j X'_{ij} / \sum_j X'_{ij} G_j^{(0)}$$

$$h_j^{(0)} = \sum_i X'_{ij} / \sum_i X'_{ij} F_i^{(0)}$$

によって第1近似を求め、以下、上記2法と同様の収束計算を行なうものである。 $F_i^{(n)}, G_j^{(n)}$ がともに1になったときには $l_i^{(n)}, h_j^{(n)}$ もともに1となるので $F_i^{(k)}, G_j^{(k)}$ についてのみ修正が逐次行なわれる。ここでも $1/2$ は本質的には重要でないから省略して計算過程を書き下すと、

$$\begin{aligned} X_{ij} &= X'_{ij} [ F_i^{(0)} G_j^{(0)} ( l_i^{(0)} + h_j^{(0)} ) ] \cdot [ F_i^{(1)} G_j^{(1)} ( l_i^{(1)} + h_j^{(1)} ) ] \cdot \\ &\quad \dots [ F_i^{(n)} G_j^{(n)} ( l_i^{(n)} + h_j^{(n)} ) ] \\ &= X'_{ij} \prod_{k=0}^n F_i^{(k)} G_j^{(k)} ( l_i^{(k)} + h_j^{(k)} ) \end{aligned}$$

となる。ここに、

$$\begin{aligned} F_i^{(1)} &= U_i / \sum_j X'_{ij} \\ &= U_i / \sum_j \{ X'_{ij} F_i^{(0)} G_j^{(0)} ( l_i^{(0)} + h_j^{(0)} ) \} \\ &= U_i / F_i^{(0)} \sum_j X'_{ij} G_j^{(0)} ( l_i^{(0)} + h_j^{(0)} ) \end{aligned}$$

したがって

$$F_i^{(1)} F_i^{(0)} = U_i / \sum_j X'_{ij} G_j^{(0)} ( l_i^{(0)} + h_j^{(0)} ) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 36)$$

同様にして

$$G_j^{(1)} G_j^{(0)} = V_j / \sum_i X'_{ij} F_i^{(0)} ( l_i^{(0)} + h_j^{(0)} ) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 37)$$

これら(2・36)、(2・37)式は、先述の(2・32)、(2・33)式に対応するものであり、フレーター法の基本的な構造はテトロイト法と殆んど同じである。ただ $l_i^{(0)} + h_j^{(0)}$ という項が付加されている点異なるだけである。この値は最終的には定数(=2)に近づくことから、フレーター法による解の値はテトロイト法によるものと殆んど差のないことが予想される。ただ $l_i + h_j$ の分だけ収束が早まっているものと思われる。このようにみて来ると形態上似ていたBF法(ii)は基本的にはBF法(i)に、フレーター法はテトロイト法に(したがってBF法(i)に)、それぞれ非常に似通っていることが判明した。

#### 2.4.4 BF法における非負解の存否について

BF法(i)では定義より非負解しか得られないことは自明であるが、他の2法については、バラ

ンシング・ファクターが和の形式で与えられているために、必ずしも全ての解が非負となることは保証されていない。そこで連立一次方程式が非負解を持つ条件について考えてみよう。双対定理におけるファーカスの補題 (Farkas' Lemma) に依れば、連立一次方程式

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = b_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 38)$$

において

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \Pi_i \leq 0 \quad (j=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 39)$$

を満たす  $\Pi_i$  に対して、つねに

$$\sum_i b_j \Pi_i \leq 0 \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 40)$$

とできるならば、連立方程式 (2・38) は非負解を持つ。

いま BF法(ii)について考えてみると、問題は

$$X_{ij} = X'_{ij} (\alpha_i + \beta_j)$$

$$\sum_j X'_{ij} (\alpha_i + \beta_j) = \alpha_i U_i + \sum_j X'_{ij} \beta_j = U_i$$

$$\sum_i X'_{ij} (\alpha_i + \beta_j) = \sum_i X'_{ij} \alpha_i + \beta_j V'_j = V_j$$

$$\left( \text{ここに } U_i = \sum_j X'_{ij}, V'_j = \sum_i X'_{ij} \right)$$

であるから、これを行列形式で書くと

$$\begin{pmatrix} U'_1 & & X'_{11} & X'_{12} & \dots & X'_{1n} \\ & U'_2 & X'_{21} & X'_{22} & \dots & X'_{2n} \\ & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & & U'_n & X'_{n1} & X'_{n2} & \dots & X'_{nn} \\ X'_{11} & X'_{21} & \dots & X'_{n1} & & V'_1 \\ X'_{12} & X'_{22} & \dots & X'_{n2} & & V'_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ X'_{1n} & X'_{2n} & \dots & X'_{nn} & & V'_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \\ V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{pmatrix}$$

のように対称行列である。したがって

$$\alpha_i U_i^t + \sum_j X'_{ij} \beta_j \leq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\beta_j V_j^t + \sum_i X'_{ij} \alpha_i \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

を満足する任意の解を  $(\alpha_i^*, \beta_j^*)$  で表わすと、 $(\alpha_i^*, \beta_j^*)$  について

$$\alpha_i^* U_i^t + \sum_j X'_{ij} \beta_j^* \leq 0 \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 41)$$

$$\beta_j^* V_j^t + \sum_i X'_{ij} \alpha_i^* \leq 0$$

が成立し、このような  $(\alpha_i^*, \beta_j^*)$  に関しての (2・40) 式に対応する式は以下のものである。

$$\sum_i \alpha_i^* U_i + \sum_j \beta_j^* V_j \leq 0 \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 42)$$

(2・41) 式を  $i, j$  について加えると

$$\sum_i \alpha_i^* U_i^t + \sum_j \beta_j^* V_j^t \leq 0 \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 43)$$

を得る。この式 (2・43) が成立するとき常に (4・42) 式が成立する条件は非負解存在の為の十分条件である。それは  $U_i = U_i^t F_i, V_j = V_j^t G_j$  を用いて (2・42) 式に代入すると

$$\begin{aligned} & \sum_i \alpha_i^* U_i + \sum_j \beta_j^* V_j \\ &= \sum_i \alpha_i^* U_i^t F_i + \sum_j \beta_j^* V_j^t G_j \end{aligned}$$

ゆえに

$$F_1 = F_2 = \dots\dots\dots = F_n = G_1 = G_2 = \dots\dots\dots = G_n$$

が求める条件である。これは周辺分布の成長率が全て均等であることを要請している。他方、B F法(III)についても同様な操作により次のような条件を導出することができる。 $(f_{ij} = \alpha_i G_j + \beta_j F_i)$  の場合)

$$U_i = C \cdot \sum_j G_j X'_{ij}$$

$$V_j = C \cdot \sum_i F_i X'_{ij} \quad (C : \text{定数})$$

これらはそれぞれ、将来の発生交通量は現在 O D 交通量に着側の成長率を乗じ、それを加えたものに比例し、将来の吸引交通量は現在 O D 交通量に発側の成長率を乗じ、それを加えたものに比

例する、という関係を要請している。これらの条件はいずれも非常に特異なケースであるが、この条件はあくまでも十分条件であって必要十分条件ではないことに注意しよう。(2.41)式を  $i, j$  について加え併せたことにより条件がきびしくなって行ったのである。従って、上で求めた条件は連立方程式が非負解をもつ数あるケースのうち1つのケースであることに注意しておく必要がある。また我々の目的にとっては  $f_{ij} = \alpha_i \beta_j$  ならびに  $f_{ij} = \alpha_i G_j + \beta_j F_i$  において  $f_{ij}$  が非負でありさえすればよいのであって個々の  $\alpha_i, \beta_j$  については必ずしも非負条件は満足されていなくても構わない。

## 2.5 分布交通量推計モデル再考：重力モデルとエントロピー法<sup>27)</sup>

### 2.5.1 概 要

本節では重力モデルとエントロピー法について、それらの予測精度という観点からではなくモデルの形式を重点に回顧し、それらに統一的な解釈を与えようとするものである。重力形式をもつ連立方程式モデルは実は重力モデルをBF法(ii)によって修正するモデルに一致することが明らかにされ、またエントロピー法と呼ばれている諸法についても、そのモデルの形式と修正方法を中心に再解釈が試みられる。とくに重要な点は「ゾーン間抵抗の概念」、「パラメータ決定法」、「修正方法」の3点であり、この3者の考え方がいかにによって異なるモデルも同一の形式を持ち得、また同一の解を持つことがウィルソン、佐佐木のエントロピー法、Voorhees型修正重力モデルについて詳しく論じられる。

### 2.5.2 重力モデルの構造

周知のように最も一般的な重力モデルは

$$X_{ij} = \alpha U_i V_j t_{ij}^{-\gamma} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 44)$$

の形式で表わされる。ここに  $U_i$  は発生交通量、 $V_j$  は吸引交通量、 $t_{ij}$  はゾーン間抵抗(所要時間など)である。 $t_{ij}$  にかかるパラメータ  $\gamma$  は現状のデータから最小自乗法などによって求められるものであり、将来においては所与とされる値である。またこれに類似したものとして

$$X_{ij} = \alpha U_i V_j e^{-\gamma t_{ij}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 45)$$

のような指数モデルもよく用いられるが

$$t_{ij}^{-\gamma} = e^{\log t_{ij}^{-\gamma}} = e^{-\gamma \log t_{ij}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 46)$$

という関係があることから、指数モデルといえども一般の重力形式のモデルと基本的にはかわらない。ただゾーン間抵抗の項を対数で表現するか否かの違いによるのである。 $t_{ij}$  を実際の所要時間とした場合、重力形式のモデルは  $\log t_{ij}$  をゾーン間抵抗とする指数モデルに変換されるのである。そしてまた、ときに (2.44) 式と (2.45) 式を組合わせたところの

$$X_{ij} = \alpha U_i V_j t_{ij}^{-\gamma_1} e^{-\gamma_2 t_{ij}}$$

なる形式のモデルが存在するが (2.46) 式の関係を用いると

$$\begin{aligned} X_{ij} &= \alpha U_i V_j (e^{-\gamma_1 \log t_{ij}}) (e^{-\gamma_2 t_{ij}}) \\ &= \alpha U_i V_j \exp(-\gamma_1 \log t_{ij} - \gamma_2 t_{ij}) \end{aligned}$$

のように変形され、指数モデルの形式は備えているものの、実は余り明確な意味を持っていないことが分る。

ところで最も一般的な重力モデルは (2.44) 式で表現されるが、一般に (2.44) 式を  $j$  について加算したものは所与の  $U_i$  に一致せず、また  $i$  について加えたものは所与の  $V_j$  に一致しない。すなわち、

$$\sum_j X_{ij} = U_i, \quad \sum_i X_{ij} = V_j$$

という2重制約条件が満足されない。そこで従来の方法では

$$X_{ij}^{(1)} = \alpha U_i V_j t_{ij}^{-\gamma}$$

によって第1近似を求め、以下テロイト法、平均成長率法、フレーター法などを用いて周辺分布に合わせる修正計算が行なわれてきた。すなわち重力モデルと既存の現在パターン3法とを組合わせる方法が採用されてきたのである。ここで我々は前節で述べたBF法(i)、(ii)、(iii)を新たに修正ツールとして採用することができる。すなわち

$$X_{ij} = f_{ij} X_{ij}^{(1)}$$

$$\text{ただし (i) } f_{ij} = \alpha_i \beta_j$$

$$\text{(ii) } f_{ij} = \alpha_i + \beta_j$$

$$\text{(iii) } f_{ij} = \alpha_i C_j + \beta_j d_i$$

として

$$\sum_j X_{ij} = U_i, \quad \sum_i X_{ij} = V_j$$

という条件下で  $(\alpha_i, \beta_j)$  を決定すればよいのである。ところが実は、重力モデルをBF法(i)で

修正するモデルは Voorhees 型重力モデル、ならびに先験確率が重力形式である場合の佐佐木のエントロピー法<sup>25)</sup>に一致し、重力モデルをBF法(ii)で修正するモデルは河上の連立方程式モデル第2法<sup>21)</sup>に一致し、指数モデルをBF法(i)で修正するモデルはウィルソンのエントロピー法<sup>22)</sup>に一致し、さらに佐佐木のエントロピー法において先験確率が指数形式を持つ場合の解はウィルソンの解に一致すること、などが明らかになった。(ただしゾーン間抵抗にかかるパラメータが同じ値をとる場合に限定される。)以下、これらについて詳しく説明してゆこう。

### 2.5.3 連立方程式モデルについて

重力モデルの系譜に属する2つの連立方程式モデルが河上氏(1969)によって提案されている。<sup>21)</sup> その第1法は、OD交通量の増分

$$\Delta X_{ij} = X_{ij} - X'_{ij} \quad (X_{ij} : \text{将来交通量}, X'_{ij} : \text{現在交通量})$$

について

$$\Delta X_{ij} = (\alpha_j \cdot \Delta U_i + \beta_i \cdot \Delta V_j) t_{ij}^{-r}$$

という関係式を想定し、調整係数 $\alpha_j$ 、 $\beta_i$ は次の2n本の制約条件式より決定しようとするものである。

$$\sum_j X_{ij} = \sum_j [X'_{ij} + (\alpha_j \cdot \Delta U_i + \beta_i \cdot \Delta V_j) t_{ij}^{-r}] = U_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 47)$$

$$\sum_i X_{ij} = \sum_i [X'_{ij} + (\alpha_j \cdot \Delta U_i + \beta_i \cdot \Delta V_j) t_{ij}^{-r}] = V_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 48)$$

一方、第2法というのは次のように表わされている。

$$X_{ij} = (\alpha_j U_i + \beta_i V_j) t_{ij}^{-r} \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 49)$$

$$\sum_j (\alpha_j U_i + \beta_i V_j) t_{ij}^{-r} = U_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 50)$$

$$\sum_i (\alpha_j U_i + \beta_i V_j) t_{ij}^{-r} = V_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (2 \cdot 51)$$

ところで第1法の(2・47)、(2・48)式は次のように変形すれば



$$\begin{aligned}\sum_j (a_j \cdot \wedge U_i + \beta_i \cdot \Delta V_j) t_{ij}^{-r} &= U_i - \sum_j X'_{ij} \\ &= U_i - U'_i \\ &= \Delta U_i\end{aligned}$$

同様にして

$$\sum_i (a_j \cdot \Delta U_i + \beta_i \cdot \Delta V_j) t_{ij}^{-r} = \Delta V_j$$

となり、その形式は第2法と同じになることから、以下第2法についてのみ話を進めてゆこう。

第2法の条件式(2.50)、(2.51)のうち独立なものは $2n-1$ 本であるが(・・ $\sum_i U_i = \sum_j V_j$ )、ここで氏は $(a_j, \beta_i)$ の一意的な解を得るために、 $2n$ 番目の条件式の右辺の定数項 $V_n$  ( $j=n$ )をわずかに増減(±0.3%以内)させることによって独立な条件式が得られたとして連立一次方程式による求解を提唱している。しかし、実はこのような操作の必要は全くないのである。すなわち、いま(2.50)、(2.51)式を満足する任意の一組の解を $(a_j, \beta_i)$ とすると、次のようにして作られる $(a_j^*, \beta_i^*)$ もまた解となっているのである。

$$\begin{aligned}a_j^* &= a_j + c V_j \\ \beta_i^* &= \beta_i - c U_i \quad (c: \text{任意の定数})\end{aligned}$$

なぜならば

$$\begin{aligned}a_j^* U_i + \beta_i^* V_j &= (a_j + c V_j) U_i + (\beta_i - c U_i) V_j \\ &= a_j U_i + \beta_i V_j\end{aligned}$$

となっており、これはどんな解ベクトルをとり出して来ようとも $a_j U_i + \beta_i V_j$ の値が $i, j$ に固有な一定の値になっていることを示している。すなわちこれはBF法(10)で述べたと同様に、一意的な解を得る必要はなく、任意の一組の解さえ得れば十分であることを示している。したがって最終条件式に対する操作は不要となる。ここで(2.49)式において

$$a_j = a'_j V_j, \beta_i = \beta'_i U_i$$

なる $(a'_j, \beta'_i)$ を定義することができ、このとき(2.49)式は

$$\begin{aligned}X_{ij} &= (a_j U_i + \beta_i V_j) t_{ij}^{-r} \\ &= (a'_j U_i V_j + \beta'_i U_i V_j) t_{ij}^{-r} \\ &= (a'_j + \beta'_i) U_i V_j t_{ij}^{-r}\end{aligned}$$

と変形され、これすなわち最も一般的な重力モデルをBF法(ii)によって修正することを意味している。究極のところ河上氏による連立方程式モデル第2法は重力モデルをベースとして、修正方法としてはBF法(ii)に依っていたことが判明した。ゆえに求解は反復法で十分である。また、氏の第1法についても同様にして

$$\Delta X_{ij} = (\alpha_j^i + \beta_j^i) \Delta U_i \Delta V_j - \bar{r}_{ij}$$

と変形され、増分に関する重力モデルであることが分かる。非負解の存在条件は前節ならびに氏の論文に、負解の修正法は氏の論文に詳しいのでここでは省略する。

#### 2.5.4 ウィルソンのエントロピー法

英国リーズ大学のウィルソン教授は次のような方法によりOD交通量を求めることを提案している。<sup>21)</sup>

総交通量  $T$  を各ODペア  $(i, j)$  に  $X_{ij}$  ずつ割り当てる場合の数

$$S = T! / \prod_{ij} X_{ij}!$$

を条件

$$\sum_j X_{ij} = O_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 52)$$

$$\sum_i X_{ij} = D_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 53)$$

$$\sum_{ij} X_{ij} c_{ij} = C \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 54)$$

のもとで最大にする  $X_{ij}$  の組み合わせを求めること。ここに  $O_i$  は発生交通量、 $D_j$  は吸引交通量、 $c_{ij}$  は  $(i, j)$  間のトリップ費用、 $C$  は全域で費やされた総交通費用である。この問題はラグランジュの未定乗数法によって解かれ、いま (2・52)、(2・53)、(2・54) 式に対するラグランジュ乗数を  $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 、 $\beta_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 、 $\gamma$  とすると問題の解は

$$X_{ij} = e^{\alpha_i + \beta_j - \gamma c_{ij}}$$

と得られる。ただし、各々のパラメータは (2・52)、(2・53)、(2・54) 式を満足するように決定されるのであるが、 $\gamma$  については将来における総交通費用  $C$  が未知なため (これは分布の結果として得られるものであるから)、現況データより解析的な方法 (後述) で求めることとし、この段階では所与とされている。したがって残る  $2n$  個の乗数  $\alpha_i$ 、 $\beta_j$  だけ求めればよい。そこで

$$A_i O_i = e^{\alpha_i}$$

$$B_j D_j = e^{\beta_j}$$

と置き直して

$$X_{ij} = (A_i B_j) O_i D_j e^{-rc_{ij}} \dots\dots\dots (2 \cdot 55)$$

という指数モデルの形式を持たせ、この $A_i, B_j$ を収束計算によって解くという方法を用いている。すなわち(2・55)式を(2・52)、(2・53)に代入し、

$$A_i = 1 / \sum_j B_j D_j e^{-rc_{ij}} \dots\dots\dots (2 \cdot 56)$$

$$B_j = 1 / \sum_i A_i O_i e^{-rc_{ij}}$$

によって $A_i, B_j$ を求めようとする。この方法はまさにBF法(i)と同じ原理であることから、( $A_i, B_j$ )の一意的な解は必要なく、何らかの初期値から出発して最初に収束した値をもって解としてよく、また $A_i B_j$ の積の値は解の組によらない( $i, j$ )に固有な値となっている。結局、ウィルソンの場合、問題の立て方は別として、指数モデルをBF法(i)で修正させることと同値であることが判明した。しかし、氏の功績はその問題の立て方(とくに式(2・54)で示した条件式)と、そこから指数モデルを導出した点にあると思われるので以下その点についてみてゆこう。

ウィルソンのモデルの特徴はつとめてその第3番目の制約条件式

$$\sum_{ij} X_{ij} c_{ij} = C$$

にある。これはいま対象としている全域において交通の為に支出された総額というものが各ODペア毎の交通費用の和に一致するという当り前のことを表現しているのであるが、これを制約条件式として追加するという意味は、 $C$ と $c_{ij}$ が所与であることから各 $X_{ij}$ はこの制約の領域内でのみ自由度を持って変わり得るということである。したがって、この式は将来においては $C$ が未知であるために、左から右への一方通行的な意味しか持ち得ない。ところが現状においては分布の結果としての総支出額 $C$ が得られていることから、現状の現論的なODパターンを求めるために右から左への意味を持たせることができる。その結果、現状のODパターンは理論的には指数モデルに従うことが要求されるわけである。しかし、将来においても総交通費用 $C$ が先験される、すなわち、その値は分らなくとも、そのような総交通費用一定の概念が成立し得ると考えるならば、制約条件式として追加することができる。(  $c_{ij}$  にかかる $r$ は現況値を用いるゆえ将来における $C$ はその値を知る必要がないから。) そう考えないとウィルソンのエントロピー法は予

測モデルとしては何ら理論的背景を持たないことになってしまうのである。第3番目の制約条件を欠いた場合のウィルソンの解は簡便法 ( $X_{ij} = U_i V_j / T$ ) に他ならないのである。したがってウィルソンの場合、ある虚構の上での指数モデルであるということが出来る。またウィルソンのモデルを現況説明モデルとして用いる場合には  $\sum_{ij} X_{ij} c_{ij} = C$  という式が、検証不可能な仮説であるために、その論理が成立する余地が若干残されている。

ところでウィルソンのモデルでは次の式

$$C^{OBS} = \sum_{ij} X_{ij}^{OBS} c_{ij} \quad (OBS: \text{観測値}) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 57)$$

が  $\gamma$  の決定に寄与すると考えられている。<sup>24)</sup> ここでウィルソンが用いた解析的な方法は、 $X_{ij}$  の理論的な形式を

$$X_{ij}^T = O_i D_j e^{-rc_{ij}} / \sum_j D_j e^{-rc_{ij}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 58)$$

で表わし、この  $X_{ij}^T$  を用いた総費用式を  $\gamma$  の関数として

$$c(\gamma) = \sum_{ij} X_{ij}^T c_{ij} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 59)$$

で表現する。そして最も望ましい  $\gamma$  の値は

$$c(\gamma) = C^{OBS} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 60)$$

を満足するものであるとしている。すなわち (2.59) 式で表わされる理論的な総費用  $c(\gamma)$  と観測値  $C^{OBS}$  とが一致するよう要請しているのである。したがって (2.60) 式は次のように  $\gamma$  に関するやや複雑な式になる。

$$\sum_{ij} \left( \frac{O_i D_j e^{-rc_{ij}}}{\sum_j D_j e^{-rc_{ij}}} \cdot c_{ij} \right) = C^{OBS}$$

これを  $\gamma$  について陽の形で解くことは期待し難いが、 $c(\gamma)$  という  $\gamma$  の関数は図 2.5.1 に示すように  $\gamma$  についての単調減少関数となり、したがって  $C = C^{OBS}$  という直線と交差する点  $K$  はユニークである。ゆえに解析的に  $\gamma$  の値を一意的に決定できるとしている。そしてこの  $\gamma$  を将来においても一定として用いるのである。ふつう、こういったパラメータは最小自乗法等の手法によって決定されることが多いが、ウィルソンの場合は総費用一定式をモデルの制約条件にもっているために、これを用いて決定するという体裁をとっているのである。

ここで将来における  $\gamma$  と総交通費用  $C^F$  との関係について考えてみよう。

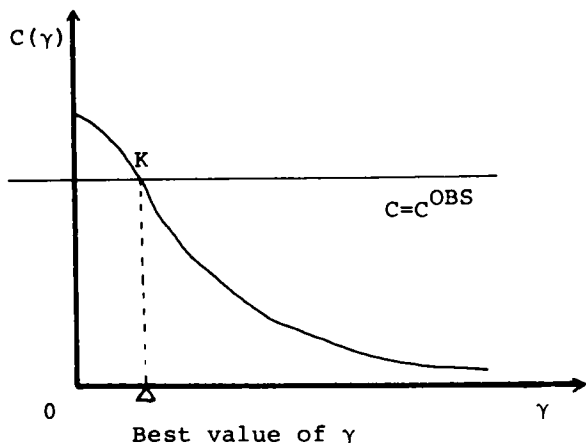


図2・5・1 C(γ) 曲線とユニークな解

$$C^F(\gamma) = \sum_{ij} \left( \frac{(\lambda O_i)(\lambda D_j) e^{-r c_{ij}}}{\sum_j (\lambda D_j) e^{-r c_{ij}}} \cdot c_{ij} \right) = \lambda \cdot C(\gamma)$$

となる。そして将来における結果としての総交通費用を  $C^F$  とするとき、

$$C^F(\gamma) = C^F$$

として

$$\lambda \cdot c(\gamma) = C^F$$

なる関係式より  $\gamma$  を決定するのである。しかし、この  $C^F$  は全く未知なる数であり、その値いかんによって  $\gamma$  の

値が変動する。

以上の関係が図

2・5・2に示さ

れている。

$r$ に関する理論

的な総費用曲線

は  $c(\gamma)$  であり、

それは現況に対

する曲線  $c(\gamma)$

問題を明確にする意味で次のようなケースを想定する。

(i)  $c_{ij}$  は将来においても変化しない。

(ii)  $O_i, D_j$  は一定の成長率  $\lambda (>1)$  を持っている。

将来における  $\gamma$  の決定法は現況で用いたと同様の方法を用いるものとすれば、総交通費用関数は(2・59)、(2・60)式より

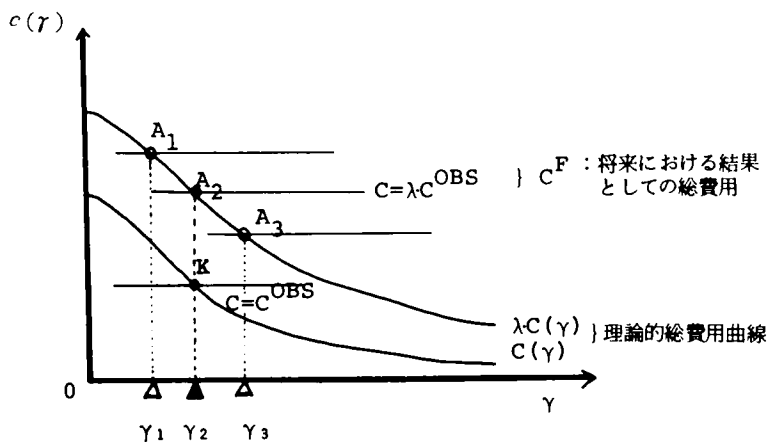


図2・5・2 将来における  $\gamma$  の値

を $\lambda$ 倍して上方にシフトさせたものである。もし将来における結果としての総交通費用 $C^F$ が現況値 $C^{OBS}$ の $\lambda$ 倍となっておれば、2つの曲線は点 $A_2$ で交わり、そのときの $\gamma$ の値は現況より決定された値に一致する。他方 $C^F > \lambda \cdot C^{OBS}$ であれば $\gamma = \gamma_1 < \gamma_2$ 、 $C^F < \lambda \cdot C^{OBS}$ であれば $\gamma = \gamma_3 > \gamma_2$ となる。逆に言えば将来における結果としての総交通費用 $C^F$ が偶然に現況値 $C^{OBS}$ の $\lambda$ 倍となっているときにのみ $\gamma = \gamma_2$ なる値を用いてもよいことになる。それ以外のケースについては $\gamma \neq \gamma_2$ なのである。 $C^F > \lambda \cdot C^{OBS}$ の場合は $c_{ij}$ の大きいODペアへの割当てが増し、 $C^F < \lambda \cdot C^{OBS}$ すなわち $\gamma > \gamma_2$ の場合には $c_{ij}$ の小さいODペアへの割当てが増加する。通勤トリップを例にとれば、前者は職住の遠隔化を、後者は職住近接の傾向を、それぞれ表わしていることになる。これはもし将来の社会が通勤費用節約型社会であれば $\gamma$ を大きく、逆に通勤費用はかかっても職住の遠隔化を指向するような社会であれば $\gamma$ を小さくする必要のあることを示している。以上のことから独りウィルソンのモデルだけでなく、他のモデルにも共通なのであるが、ただ総交通費用 $\gamma$ という概念を用いて図2.5.2のようにそれが明示的に議論できるという点で興味がある。

一方、費用制約条件式(2.54)において、 $c_{ij}$ の代わりに $\log c_{ij}$ を用いると、ウィルソンの問題の解は

$$\begin{aligned} X_{ij} &= (A_i B_j) O_i D_j e^{-\gamma \log c_{ij}} \\ &= (A_i B_j) O_i D_j c_{ij}^{-\gamma} \end{aligned}$$

となり重力モデルが導出できる。すなわち実際の交通費用は $c_{ij}$ なのであるが、それが知覚されるときには $\log c_{ij}$ に比例するとみなすのである。これは心理学などでよく言われているところの $\gamma$ 感覚量は物理量の対数に比例する $\gamma$ という関係に基礎を置くものである。これは極めて興味ある結果であって、人々は交通費用の対数をとったものを心理的な量として知覚して行動しているにもかかわらず、結果的には最も起り易いパターンとして物理量に関する重力型式が成立しているのである。

### 2.5.5 佐佐木のエントロピー法<sup>25)</sup>

いま $(i, j)$ 間の交通が行なわれる先験確率を $P'_{ij}$ とすれば

$$\sum_{ij} P'_{ij} = 1$$

という状態で $X_{ij}$ というOD交通量が得られる確率 $S$ は、

$$S = \frac{T!}{\prod_{ij} X_{ij}!} \prod_{ij} (P'_{ij})^{X_{ij}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 61)$$

$$(T = \sum_{ij} X_{ij})$$

で示される。そこで2つの制約条件式

$$\sum_j X_{ij} = U_i, \quad \sum_i X_{ij} = V_j \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 62)$$

のもとで、この確率  $S$  を最大とする  $X_{ij}$  を決定する方法が佐佐木のエントロピー法と呼ばれている。オリジナルなモデルでは先験確率として、

$$P'_{ij} = \alpha u_i v_j t_{ij}^{-r} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 63)$$

なる重力モデルが想定されている。ここに  $u_i, v_j$  はそれぞれ第  $i$  ゾーンの相対的発生力 ( $u_i = U_i / T$ )、第  $j$  ゾーンの相対的吸引力 ( $v_j = V_j / T$ ) である。さらに教授のモデルでは実数  $X_{ij}$  を用いるかわりに

$$X_{ij} = T u_i P_{ij} \quad \left( \sum_j P_{ij} = 1 \right) \\ \left( \sum_i u_i P_{ij} = v_j \right)$$

として定義されるところのゾーン間遷移確率  $P_{ij}$  を用いて OD 交通量を表わし、 $S$  を最大化する  $P_{ij}$  を求める形式を備えているのであるが、 $X_{ij}$  のまま用いても何ら本質的にかわりはない。そこで以下では  $X_{ij}$  を用いることにする。 $S$  を最大にする  $X_{ij}$  は、(2・62) 式に対応するラグランジュ乗数をそれぞれ  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )、 $\mu_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) とするとき前節で示したように

$$X_{ij} = P'_{ij} e^{\lambda_i + \mu_j}$$

と表わせる。これに (2・63) 式を代入すると

$$X_{ij} = (\alpha u_i v_j t_{ij}^{-r}) e^{\lambda_i + \mu_j} \\ = (\alpha u_i e^{\lambda_i}) (v_j e^{\mu_j}) t_{ij}^{-r} \\ = \frac{\alpha}{T^2} U_i V_j e^{\lambda_i} e^{\mu_j} t_{ij}^{-r}$$

ここで

$${}^* \lambda_i = \frac{\alpha}{T^2} e^{\lambda_i}$$

$${}^* \mu_j = e^{\mu_j}$$

とおけば

$$X_{ij} = ({}^* \lambda_i {}^* \mu_j) U_i V_j t_{ij}^{-\gamma} \dots\dots\dots (2 \cdot 64)$$

となり、佐佐木のエントロピー法の解は、重力モデルをBF法(I)で修正するモデルと同一となる。

さらに

$${}^{**} \lambda_i = {}^* \lambda_i U_i$$

$${}^{**} \mu_j = {}^* \mu_j V_j$$

としても一向にさしつかえないことから、この場合は

$$X_{ij} = {}^{**} \lambda_i {}^{**} \mu_j t_{ij}^{-\gamma} \dots\dots\dots (2 \cdot 65)$$

が成立する。すなわちこのことは、先験確率としてどのような形を想定するにせよ最終的に解の中に残ってくるのは  $t_{ij}^{-\gamma}$  という項だけであり、他の発生ゾーン  $i$ 、吸引ゾーン  $j$  に関する項はパラランシング・ファクターの中に含ませることができるのである。実際、先験確率として

$$P_{ij}^i = \alpha v_j t_{ij}^{-\gamma}$$

$$P_{ij}^j = \alpha t_{ij}^{-\gamma}$$

のような形を想定することができるが、いずれの場合にも、得られる解は最終的に(2・64)式のような形をもってゆくことができる。しかし注意しなければならないのは、先験確率式の形式は違え解が最終的に同一の形式を持つにせよ異なるのはべき数  $\gamma$  の値である。すなわち、べき数  $\gamma$  は現況データより最小自乗法などによって求めるのであるが、式の構造が異なるため  $\gamma$  の値も異なってくるということである。ゆえに先験確率としてどの式を採用するかは将来の単位OD表がどのようなパターンに近づくかで判断されなければならない。現況において最も適合度の高いものが将来に生起するという保証はないからである。前項で展開した  $\gamma$  に関する議論はここでも大変重要になってくる。2つのエントロピー法はその数学的優雅さもさることながら、トリップ長の分布パターンを表わすパラメータ  $\gamma$  に関する含蓄のある問題をはらんでいるのである。

佐佐木のエントロピー法の解は(2・64)式又は(2・65)式のいずれを採用してもかまわな



いが、従来ややもすればその使用に抵抗があったものの本項の考察により、最も一般的な重力モデルをベースとしてBF法(i)によって修正するという非常に簡単な構造であることが判明した。したがって非常に実用的となったのである。さらに、このモデルの解は実は Voorhees 型重力モデルに一致するのである。佐佐木のモデルの解として(2・65)式を採用するものとすれば

$$X_{ij} = \lambda_i \mu_j t_{ij}^{-r} \dots\dots\dots (2 \cdot 66)$$

$$\sum_j X_{ij} = \lambda_i \sum_j \mu_j t_{ij}^{-r} = U_i \dots\dots\dots (2 \cdot 67)$$

$$\sum_i X_{ij} = \mu_j \sum_i \lambda_i t_{ij}^{-r} = V_j \dots\dots\dots (2 \cdot 68)$$

であるから、 $\lambda_i$  を消去するために(2・67)式を(2・66)式に代入すれば

$$X_{ij} = U_i \frac{\mu_j t_{ij}^{-r}}{\sum_j \mu_j t_{ij}^{-r}} \dots\dots\dots (2 \cdot 69)$$

となり、ここで $\mu_j$ は $\sum_i X_{ij} = V_j$ を満足するように反復計算によって求めるのである。この形式は、Voorhees 型重力モデルにおいて距離関数を $t_{ij}^{-r}$ で与えた場合と全く同一である。このことは、河上氏によつても報告されているとおりで<sup>35)</sup>ある。

### 2.5.6 ま と め

ここで第2.4節、2.5節のまとめを行なっておく。両節を通じて再考され提案された分布交通量推計モデル各法が表2・5・1に整理されている。表の上段には既存の現在パターン諸法の解説と新たに提案されたバランスング・ファクタ法の特徴が整理されている。表の下段には、従来から提案されてきた重力モデル、連立方程式モデル、エントロピー法モデルが、その修正方法を中心に再考され整理された形式で掲げられている。この一覧表により各法の関係が一段と明瞭になりさらに従来ややもすれば敬遠されがちであったエントロピー法も形式的には非常に簡明であることから、実用上の壁はとりはられたものと思う。

表 2・5・1 分布、交通量推計モデル一覽

名 称	$X_{ij}$ の構造式	修正方法*	備 考
(1) テトロイト法	$X_{ij} = (F_i G_j / C) X'_{ij}$	反復計算	これら3法の第1近似の形式は、B F法(i)、(ii)、(iii)にそれぞれ類似しているが、収束計算を行なっているゆえに究極的には解は一致しない。しかし、確実に非負の $X_{ij}$ を得る。
(2) 平均成長率法	$X_{ij} = \frac{F_i + G_j}{2} X'_{ij}$	反復計算	
(3) フレーター法	$X_{ij} = F_i G_j \frac{h_i + h_j}{2} X'_{ij}$	反復計算	
(4) B F法 (proposed)	$X_{ij} = f_{ij} X'_{ij}$	$f_{ij}$ の値はそれぞれ一意的であるから2n本の連立方程式の任意の1組の解が得られればどんな方法でもよい。	B F法(i)は確実に $f_{ij}$ の非負値を得るが、(ii)、(iii)については必ずしもそうとは言えない。既存の現在パターン法に形式が類似していることから非負の $f_{ij}$ の存在が期待されるが、もし負になるようであれば、その方法は採用しない方がよい。
(5) 重力・指数モデル	$X_{ij} = \alpha U_i V_j t_{ij}^{-\tau}$ $X_{ij} = \alpha U_i V_j e^{-\tau t_{ij}}$	現在パターン各方法(上記6法など)を用いることができる。	これらは経験的なモデルであるが、モデルの構造式はエントロピー法(7)、(8)によって導出することができる。
(6) 河上の連立方程式モデル第2法	$X_{ij} = (\alpha_i + \beta_j) U_i V_j t_{ij}^{-\tau}$	B F法 (ii)	連立方程式モデルにする必要はなし。究極的には重力モデルのB F法(ii)による修正。
(7) ウィルソンのエントロピー法	$X_{ij} = (\alpha_i \beta_j) U_i V_j e^{-\tau c_{ij}}$	B F法 (i)	総費用一定という条件式の考え方が重要。 $\sum_{i,j} X_{ij} \log c_{ij} = C$ を採用すれば $X_{ij} = \alpha_i \beta_j U_i V_j c_{ij}$ を解としてもつ。
(8) 佐佐木のエントロピー法	$X_{ij} = (\alpha_i \beta_j) U_i V_j t_{ij}^{-\tau}$	B F法 (i)	微視状態の考え方が首肯でき、また先験確率式の想定が非常に重要である。ウィルソンにせよ佐佐木の方法にせよエントロピー最大化法である限り、修正方法は必然的にB F法(i)を伴なう。

\*  $\sum_j X_{ij} = U_i, \sum_i X_{ij} = V_j$  なる2n本の制約条件式に一致させる方法。

## 2.6 結 語

本章は交通生成・発生・分布交通量推計プロセスと題し、交通需要の生成から分布までの、いわゆるパーソントリップ手法の前半部をとり扱ったものである。とくに業務トリップの生成メカニズム、大都市圏の土地利用モデル、分布交通量推計モデルの3点に絞って新たな知見の紹介を行った。パーソントリップ手法にあっては、配分プロセスがほぼ完成の域に達し、かつ緒論でも述べたように今後の交通計画、ひいてはそれに計量的裏づけを与える手法としての交通需要推計法が社会経済システムと密接に関連した形で展開され得るためには、次章のトリップチェーン研究と並んで、かつまたそれを補完する役割を担っているパーソントリップ手法前半部に関する、より大胆なそして今後の方向に沿ったアプローチの進展が不可欠である。以下、各節で得られたファインディングスならびに有益な今後の指針などを中心に本章のまとめを行っておこう。

業務トリップの生成について：トリップ生成量の推定については従来から原単位法が採用されてきた。この方法は社会や経済システムが大巾な変動をしないという前提のもとに意味をもつものであり、出勤・登校・買物といった日常的かつ拘束的なトリップ目的について有効な方法であったといえる。しかし、業務トリップは直接に経済活動に係わるものであり、原単位という安定性を要求される方法では、経済構造の変化に対応できないことは自明であろう。そこで本研究では産業組織という点に着目して、種々の観点から、その構造的特性と業務トリップ生成との関係を調べた結果、次のようなことが明らかとなった。まず、都市型産業にあっては企業規模が増すにつれて業務トリップの原単位が濺減すること。市場パターンとの関係では、市場構造が競争的であるほど原単位が高いこと。最後に、市場の競争度という計量的指標でみると、それが高いほどトリップ数が増大していること、など。本研究は、まだ開始したばかりであり、十分な将来の展望を行ない得ないが、ダイナミックな経済活動をその構造的特性に着目してマクロ的に把握する足がかりを得たという意味で、将来予測における意義は小さくないものと思われる。

大都市圏の土地利用構造について：トリップ発生量・吸引量を求める場合に必要な情報としての土地利用の決定法がローリーモデルを例として回顧された。オリジナルなローリーモデルは、一点集中的でかつゾーン間の interaction がかなり密接な場合の大都市圏に適用すべく開発されたところの、世帯ならびに従業者の配置モデルであるが、現実の大都市圏の構造が、職住分離・郊外化・ドーナツ化といった現象のために、オリジナルなモデルの要求する構造から乖離をきたしていることに注目し、その改良への指針が考察された。重要なものをいくつか列挙すると、まず、対象圏域の閉鎖性をうまく確保させること、もしくはオープンモデルとしてとり扱うこと。大都市圏では Retail Sector は地域の需要のみで説明できない部分も存在するので、それを考慮に入れること。Retail Sector については生活関連グループと産業関連グループに分けることが

望ましいこと。世帯については、これはモデルの骨格となる部分であるから精度を高める工夫が要求されること、などである。とくに人口急増地区（ドーナツ部分）と流出の激しい都心(CBD)とをバランスよく適合させる工夫が望まれる。

分布交通量推計モデルについて：従来から個々ばらばらに提案されていた分布交通量モデル諸法を、それらの構造に焦点を合わせて回顧し、修正方法を中心に再考がなされた。現在パターン法として新たに提案されたbalancing・factor法の形式は、すべての考えられる分布モデルの修正方法の原型的な意味を持っていることが明らかにされ、従来ややもすればその使用が敬遠されていたエントロピー法も、本研究の結果、非常に実用的な体裁へと変身させることが可能となった。ここで提案されたBF法(i)（エントロピー法的現在パターン法）は後の第3章の目的間遷移行列の将来予測、ならびに第4章のトリップチェーンにおけるモーダルスプリットにおいて非常に重要な役割を果たすことになる。とくに第4章では、トリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルを連結するパイプ役としての重責を担うことになるのである。

## 第2章 参考文献

- 1) 京阪神都市圏PT調査委員会(1972): PT調査報告書、交通予測モデル編。
- 2) 佐佐木綱(1974): 「都市交通計画」、第4章交通生成、国民科学社刊。
- 3) 馬場正雄、新野幸次郎(1969): 「寡占の経済学」、日本経済新聞社刊。
- 4) 馬場正雄(1970): 「産業組織論における計量的研究・展望」、「季刊理論経済学」、Vol. XXI, No. 3.
- 5) ヘンダーソン・クォシト(1970): 「現代経済学: 価格分析の理論」、小宮隆太郎訳、創文社。
- 6) 小西唯雄(1972): 「産業組織政策と「競争の促進」」、経済セミナー No. 205、8月号日本評論社。
- 7) Hall, M., Tideman, N. (1967): 「Measures of Concentration」, Jour. of the Ame. Stat. Society, March.
- 8) Hart (1971): 「Entropy and Other Measures of Concentration」, Jour. of the Royal Stat. Society, Vol. 134, Part I.
- 9) 近畿地方建設局(1973): 「企業間競争が交通に及ぼす影響」。
- 10) 佐佐木綱(1975): 「競争と交通」, 「道路建設」331号。
- 11) 佐佐木綱、近藤勝直(1975): 「業務交通の生成に関する産業組織論的考察」, 「交通工学」, Vol. 10, No. 3.
- 12) 齋 恒三(1974): 「都市型産業の業務トリップ特性に関する考察」, 京都大学修士論文。
- 13) Kondo, K. (1976): 「Competition and Trip Generation」, Salford University Working Paper (unpublished)
- 14) Lowry, I. S. (1964): 「A Model of Metropolis」, RAND Corporation.
- 15) 関田紳一(1975): 「開発途上地域の土地利用形態に関する研究」, 京都大学修士論文。
- 16) 近藤・関田・磯貝(1975): 「開発途上地域へのローリーモデルの適用」, JSCE年次学術講演概要集IV。
- 17) 中村徳三(1976): 「ローリーモデルの大阪府への適用」, 京都大学研究生論文 (unpublished)
- 18) 伊藤容三(1973): 「ポテンシャルを用いた土地利用モデルに関する研究」, 京都大学

修士論文。

- 19) 塚原重利 (1962) :  $\phi$  MatrixのDistributionについての一考察 $\phi$ 、「運輸と経済」第22巻、第2号。
- 20) 竹本恒行、石瀬俊明 (1972) :  $\phi$ 行列演算によって将来交通量を推定する一手法 $\phi$ 、「交通工学」Vol. 7, No 1.
- 21) 河上省吾 (1969) :  $\phi$ 通勤・通学交通量分布の予測方法に関する研究 $\phi$ 、京都大学学位論文。
- 22) Wilson, A. G. (1967) :  $\phi$ A Statistical Theory of Spatial Distribution Models, $\phi$  Transpn Res., 1, No 3.
- 23) Wilson, A. G. (1969) :  $\phi$ The Use of Entropy Maximising Models in the Theory of Trip Distribution, Mode Split and Route Split, $\phi$  Jour. of Transport Economics and Policy, January.
- 24) Wilson, A. G., Kirkby, M. J. (1975) : MATHEMATICS FOR GEOGRAPHERS AND PLANNERS, CLARENDON PRESS, OXFORD, P. 98-p.100.
- 25) Sasaki, T. (1968) :  $\phi$ A Probabilistic Model For Trip Distribution, $\phi$  Proc. of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic Flow, held in Karlsruhe, Germany.
- 26) 近藤勝直 (1977) :  $\phi$ 分布交通量推計モデルの総点検(1)・現在パターン法 $\phi$ 、「交通工学」(forthcoming)。
- 27) 近藤勝直 (1977) :  $\phi$ 分布交通量推計モデルの総点検(2)・重力モデルとエントロピー法 $\phi$ 「交通工学」(forthcoming)。
- 28) Loubal, P. S., Potts, R. B. (1968) :  $\phi$ A Mathematical Model for Trip Distribution, $\phi$  Proc. of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic Flow, Germany.
- 29) Cochrane, R. A. (1975) :  $\phi$  A Possible Economic Basis for the Gravity Model $\phi$  , Jour. of Transport Economics and policy, Vol. IX, No 1. Jan.
- 30) Cochrane, R. A. (1976) :  $\phi$  A More General Forms of the Gravity Model $\phi$  , Traffic Eng. & Control, July.
- 31) Wilson, A. G. (1975) :  $\phi$  Some New Forms of Spatial Interaction Model : A Review $\phi$  , Transpn Res., Vol. 9, pp.167 - 179.
- 32) Hutchinson, B. G. (1974) : PRINCIPLES OF URBAN TRANSPORT

SYSTEMS PLANNING , SCRIPTA BOOK COMPANY, Washington, D. C.,  
Chap. 4.

- 33) ツルミュール, R (1964) 著: マトリクスの理論と応用、理工学海外名著シリーズ5、  
ブレイン図書、瀬川・高市邦訳。
- 34) 佐佐木綱 (1974) 著、都市交通計画、第7章OD分布交通量、国民科学社刊。
- 35) 河上省吾 (1975) . "OD交通量細分化のためのモデルと重力モデルの  
確率論的意義", 第12回日本道路会議一般論文集。

## 第3章 トリップチェーンの記述と予測

### 3.1 概 説

交通計画にあたって人間の行動パターンを把握しておくことは極めて重要である。都市圏の絶えざる膨張は都市に住む人々の行動領域を拡げ、さらに1日を単位としてみるならば、1日生活圏、1日行動圏というものは交通機関網の整備と相まって拡大する。また経済成長、技術革新に伴う所得の増加と余暇時間の増大は自由な、拘束されないトリップの増加を促すであろう。重要なことは、或る人間の基本的な行動パターンにおいて、このトリップの増分がいかなる形で追加されるかという点である。

たとえば、いま典型的な勤労者の行動パターンについて考えてみよう。彼の基本的な行動パターンは、「家」→「勤務先」→「家」という2つの施設と2つのトリップにより構成されている。所得増と自由時間増が彼をして1単位の買物トリップを行なわせしめるものとする。この追加的な買物トリップは彼の基本的な行動パターンのどの部分に付加されるのであろうか。それは自由時間の生じた時間帯と商店の営業時間帯などに強く依存しているであろう。この場合、図3・1・1

に示すような5種類のパターンを考えることができる。パターン〔A〕、〔B〕、〔C〕はそれぞれ基本パターンを崩さずに買物トリップが追加されているが、その代償として買物トリップの出発施設への帰着トリップが付随して生じている。したがって、この場合には結果的に2単位のトリップ増となっている。一方、パターン〔D〕、〔E〕においては基本的パターンに買物トリップが割込んだ格好になっており、基本パターンが崩されてしまっている。5つのうちの

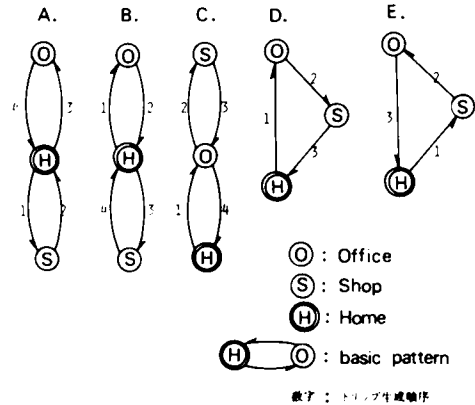


図3・1・1 トリップパターンの変化

どのパターンが生じるかは、自由時間の生じた時間帯（出勤前、昼休み、勤務終了後など）と商店の営業時間帯（地域別、業態別、品目別などごと異なる）に依存して決ってくるものと思われる。

このように、単に1単位の買物トリップの増分についてもその追加方法は種々想定できるのであるから、全人口、全トリップ目的について考えるときには、これらを体系的かつ合理的に把握することが是非とも必要になる。またどのパターンをとるかによって、OD表に計上される1単



位の買物トリップの場所は当然異なってくる。従来の方法にしたがえば、これらの明確な区別がないままに増分の1トリップを単に量として独立に取扱ってきたがゆえに、連鎖的なトリップパターンにおける位置づけが不明確となってしまうていた。帰宅・帰社トリップをも含めたトリップ生成、発生、吸引そして交通機関選択の各推計プロセスがトリップチェーン研究を通じて体系的に把握される必要があるわけである。

本章ではその体系的な方法としてトリップチェーンを吸収マルコフ連鎖にアナロジーする方法を紹介する。第3.4節から3.6節にかけてそれが詳しく述べられている。以下、節毎の要旨をまとめておく。

次節3.2では我国ならびに欧米諸国におけるトリップチェーン研究が回顧されると同時に今後の研究の展望を行っている。

第3.3節では「chain of trips」という概念の歴史の変遷について述べ、一方現実のデータについてトリップパターンの実態をながめてそれらを分類する。

第3.4節ではトリップチェーンを吸収マルコフ連鎖モデルとしてとり扱う方法と、各種の交通量の計算法を紹介すると同時に、マルコフ連鎖にアナロジーすることの是非についても論じている。

第3.5節ではデータから目的間遷移行列をどのように定義して算出するかについて2つの方法が提案され、それぞれについて比較検討がなされる。

第3.6節では目的間遷移行列の将来予測法について上記2法による解の求め方と、それらの内包する問題点について論じている。

第3.7節ではトリップチェーンを時空間という3次元空間で把握する方法について述べ、最近欧州で台頭してきたTIME/SPACE ANALYSIS についてその紹介を行なう。

第3.8節では本章全体の結語として、その総括と今後の問題点について述べている。

### 3.2 トリップチェーン研究の回顧と展望

ここ数年欧州ならびに我国においてトリップチェーンに対する関心が急速に高まりつつある。これは従来の方法がトリップを分断して把握してきたことへの反省に加え、「トリップの連鎖」が諸々の社会・経済現象を空間的に反映したものであるということに今さら注目されたことの結果であろう。人間活動の多様化と自由裁量時間の増大もまた、この無視されてきた研究領域 (neglected area) に光明を与える必要性を増大させている1要因である。

現在までのところ、このトリップチェーンにアプローチする立場は大きく次の3つに分類できると思われる。

- 〔A〕： 施設連関の姿をトリップチェーンに見出し、それを土地利用計画やショッピングセンター等の施設立地に役立たせようとする土地利用サイドの立場。
- 〔B〕： 家または家計の構成員が織りなす各種の行動様式の一つの結果をトリップチェーン、ならびに生活時間配分などに見出そうとする行動論的な立場、そして
- 〔C〕： 交通工学の立場からは、交通需要予測を念頭に置いたところのトリップチェーンの計量的把握ならびにシステムティックなモデルビルディングが要請されている。

本節ではすでに発表されているトリップチェーンに関する諸研究を回顧し、そしてその将来予測にあたっての技術的側面をも考慮に入れつつ、トリップチェーン研究について展望するものである。トリップチェーン研究はまだ若い研究分野であり、レビューに耐える理論的かつ実証的研究は実際のところ限られている。

筆者の知るかぎり我国では佐佐木（1969）がこの分野に開拓の第一歩を踏み出した。<sup>1)</sup> それは神戸市のデータをもとに職種別にトリップのパターン分類を行なったもので、明らかに吸収マルコフ連鎖理論を適用する準備としてのパイロットスタディとしての性格を持っている。そして以後のトリップチェーン研究のための概念的枠組を明確にする意味で、ベース（base）とサイクル（cycle）という2つの概念を定義している。それ以後2つの研究<sup>2),3)</sup>を経て、その成果が佐佐木（1971）によって体系的に整理され、交通機関選択モデル（自動車トリップ追跡）へと発展させられた。<sup>6)</sup> 一方、1971年からこのトリップチェーン研究に参加した筆者は一連の研究<sup>4),5),7)</sup>において吸収マルコフ連鎖理論をトリップチェーンに適用するにあたっての現実的な諸問題の解決と、その実証的な検討を行ってきた。また交通機関選択についても、トリップチェーンの特性を生かした方法について、佐佐木の方法<sup>6)</sup>を改良する試みを行ってきた。（以上の吸収マルコフ連鎖モデルは本章第4節、第5節、第6節そして第4章第4節で詳しく体系的に取扱われている。）

他方、この間にあってパーソントリップ調査が全国の主要都市圏（広島、京阪神、東京都市群、中京都市圏、札幌、北部九州）で実施され、それにともなってトリップチェーン研究の重要性がますます認識されるに至っている。加藤・宮城<sup>8),9)</sup>はトリップチェーンの行動時間特性に着目しそれをマルコフ再生理論を用いてとり扱う方法を提案している。小川・山形・渡部<sup>10)</sup>は札幌市のトリップチェーンの実態報告と、それを吸収マルコフ連鎖としてとり扱う際のトリップ目的間遷移行列の求め方についていくつかの方法を比較検討している。一方、松井・仲村<sup>11),12),14)</sup>は現在パターン法を用いて交通目的間移行列を推定する方法と発生・集中交通量の計算法について述べている。また筆者も交通目的間の遷移行列の定義ならびにその予測にあたっての問題点に体系的な説明を加えている。<sup>15)</sup> 他方やや趣きの異なるものとして、施設連関に着目して業務トリップ

のOD表を求める方法なども試みられている。<sup>13)</sup>

我国のトリップチェーン研究の傾向としては、先のはんちゆう〔C〕に属するものが殆んどである。ただ文献<sup>8).9).13)</sup>は、はんちゆう〔A〕と重複するものであり、使い方によってはマルコフ再生理論モデルはショッピング・センターの配置計画や駐車場利用台数の予測手法として拡張可能であろう。狭い空間に限定したものとしては佐佐木・松井（1968）による会場内の観客流動モデル<sup>16)</sup>がある。会場という「ミニ都市」の中での流動パターンは、都市という「大きな会場」内での流動パターンと一脈通じるものがあると思われる。しかし、将来における「時間」ならびに「時刻」に関する分布を知ることは容易ではない。なんとすれば、それはトリップの生成と非常に密接な関連を持っており、本来独立には決定できない性格を有しているからなのである。（この点については本章第7節に詳しい。）重要なことは流動パターンの時刻的正確さを追求することではなく、なぜ人々が次々と目的を変え、目的地を変え、かつまた交通手段を変えながら移動してゆくのかという点を包括的に説明することなのである。

次に、欧米諸国におけるトリップチェーン研究についてレビューしておこう。英国のRichardら（1973）は吸収マルコフ連鎖を用いて連結されたトリップ（linked trip）を記述する方法を提案している。<sup>17)</sup>しかし、システムティックな定式化がなされずじまいになっている。

Vidakovic（1971）は、トリップチェーンに早くから関心を持ちオランダで精力的な研究を行っている。この論文では、トリップチェーン特性（トリップ長、滞在時間、交通手段利用数）との関係についてアムステルダムでの調査結果を報告している。トリップチェーンに含まれるトリップ数が多くなればなるほど、滞在時間を含めたトリップ所要時間が逡減してゆき、かつ1トリップを構成するジャーニーの数も減少してゆく、という興味ある結果が得られている。彼もまた続く論文<sup>19)</sup>（1974）でトリップチェーンの数学モデルとして調和級数モデルが良く適合することをアムステルダムのデータをもとに主張している。しかし、そのモデルは交通計画にとってどれほどの意義があるかは疑わしい。

米国ではHortonらが土地利用関連の姿をトリップ目的の連関に見出し、OD表を作成する方法について述べているが、<sup>20).21)</sup>ここではまだトリップチェーンという概念は煮つまっていない。Gilbert（1972）はマルコフ再生理論モデルについて述べ、その適用可能性に検討を加えている。<sup>26)</sup>

最近英国ではトリップチェーンがにわかに脚光をあげてきている。Dawsら（1974）は、ロンドン郊外のWatfordで行なわれた1週間の買物行動調査データの集計結果を報告しており、<sup>22)</sup>そこではトリップチェーンが非常に重要なウェイトをもって分析されている。今後の英国のトリップチェーン研究は、恐らくこの調査データをもとに展開されるであろう。1日の行動を日記風

に調査した貴重なデータである。オクスフォード大学のJones (1975)とHensher (1975)は、それぞれ今迄の全世界のトリップチェーン研究の回顧と展望を行なっている。<sup>23),25)</sup> Jonesは地理学者で、彼の関心は主として土地利用にあり、土地利用の変更とトリップチェーンの関係を、Hensherは経済学者であり、彼の関心はタイムバジェットを持った個人の消費者行動論的なトリップ行動の解明を、それぞれ中心に説明を加えている。ややマイクロに偏したきらいはあるが一読の価値はある。

こうして従来の研究をふりかえてみると、トリップチェーンを計量的に把握してゆこうという努力はみうけられるものの、それについての体系だったモデルの展開がまだまだ十分になされておらず、かつ交通計画のための交通需要予測という観点からはほど遠いものさき見られる。先述した我々の交通工学の立場からは、交通需要予測を念頭においたところのトリップチェーンの計量的把握ならびにその体系的なモデルビルディングが要請されているわけであるが、その研究にあってはとりわけ次の3項目が、とくに重要な具備すべき要件であると思われる。

- (1) トリップの生成・発生・吸引・帰着構造を忠実に模倣・追跡できること。すなわちトリップチェーンの軌跡を再現できること。
- (2) 連鎖しているトリップは交通機関選択を大きく支配していると考えられるので、それをうまく表現できること。
- (3) 将来におけるトリップチェーンのパターン変化にも十分対応できること、など。

トリップチェーンを吸収マルコフ連鎖にアナロジーしたモデルは、この要件(1)、(2)を具備している。また要件(3)についても、将来のトリップ目的間遷移行列が合理的な方法で予測可能ならばという条件つきで許容される。本章では要件(1)、(3)を中心に説明し、要件(2)については第4章で再度詳しく論じている。

### 3.3 トリップパターンの分類と基礎的な諸概念

#### 3.3.1 chain of trips の概念

「人の動き」をパーソントリップとして把握する方法を一般にパーソントリップ法と呼ぶが、その把握の仕方として従来の方法は、それをトリップ数という量でのみ取扱い、視覚的というかその人の移動の軌跡までを含めて考えてゆこうとする試みは皆無といってよかった。たとえば、「出勤」→「娯楽」→「帰宅」というようなトライアングルな軌跡を持った個人の連続的なトリップは、従来の方法に従がうかぎり、その連鎖が各トリップエンドで分断されてしまい、各トリップが目的別のOD表に分散されて計上されるという具合であった。本来同一の個人による連続的なトリップがこのように分断されて計上されてしまうと、連鎖していた一連のトリップの持つ

ていた諸特性が捨象されてしまい、計上された1トリップは単に量としての意味しか持ち得なくなってしまう。この矛盾は交通機関選択においてとくに顕著にあらわれる。例えば、第1トリップを車で出発したがゆえに以後のトリップも車によって完遂した者に対して、その本人の意図と無関係な次元で交通手段選択を行なわせしめる、ということにもなりかねないのである。このような不合理な把握方法に抗して生まれてきたのが「chain of trips」という概念であり、前節で紹介した一連の諸研究へと連らなって来ているのである。この用語を最初に用いたのはスウェーデンのNordqvistであるが、<sup>27)</sup>後になって彼は「Trip chain」という用語に直している。<sup>33)</sup>もしtrip chainの中に2つのトリップが含まれておれば、それはtwo-link chainというふうに呼ばれている。

英国のJonesは欧米諸国で混乱している「トリップチェーン用語」を整理し、新たに「Multi-trip Journey」という用語を用いることが適切だという提案は、1975年10月にOxford大学で行なわれた「Multi-trip and Multi-purpose Journeys」と題するワークショップにおいてなされたもので、ほぼ参加者の同意を得たようである。また同時に、このワークショップでは各地のトリップチェーン研究の比較がなされた。<sup>28)</sup>(次項3.3.2参照)

Jonesの行なった用語比較を以下に示す。

AUTHORS	TERMINOLOGY			
PROPOSED BY JONES	MULTI-TRIP JOURNEY	TRIP	JOURNEY	
BUILDING RESEARCH STATION	MULTI-STAGE JOURNEY	TRIP, STAGE	JOURNEY	
CHARLES RIVER ASSOCIATES	MULTI-PURPOSE TRIP	TRIP	ROUND TRIP	
GILBERT ET AL	LINKED TRIP JOURNEY	TRIP	JOURNEY	
HEMMENS	MULTI-LEG JOURNEY	TRIP, LEG	JOURNEY	
HORTON, SCHULDINER	MULTI-PURPOSE TRIP	TRIP, STOP	TRIP	
NYSTEUEN	MULTI-PURPOSE TRIP	VISIT	TRIP	
VIDAKOVIC	TRIP CHAIN	TRIP	TRIP CHAIN	
WHEELER	MULTI-PURPOSE TRIP	SEGMENT	TRIP	

第1列目は命名者、第2列目は連鎖したトリップに対してつけられた固有の名称、第3列は従来のトリップに相当するもの、そして第4列は第2列の用語から形容詞を外したものをそれぞれ表わしている。このような用語のはんらんは恐らく、それらの研究目的のちがいを表現していると同時に、何の為にトリップチェーンを研究するのかという点のあいまいさにも起因しているものと思われる。

次にトリップチェーンを吸収マルコフ連鎖にアナロジーする為基本となる用語についてふれておこう。都市における人の1日のトリップ行動をみると、出張・旅行その他で他都市で宿泊する人を除き、再び必ず元の出発地点へ戻ってくる、いわゆる〆トリップの1日完結性〆を持っている。人によってはこのような完結したトリップ連鎖（これをサイクルと定義する）を1日のうち2つ以上行なう場合もある。たとえば、朝自宅を出て出勤し夕刻に帰宅し、その後また友人宅などを訪問し、その日のうちに帰宅するという場合などがそれにあたる。このような場合、サイクルの起点および終点になっている施設または場所をサイクルのベースと名づける。ベースにはふつう「自宅」、「勤務先」、「友人・知人宅」、「ホテル」および「交通ターミナル（鉄道駅や高速道路のインターチェンジなど）」を考慮することができる。ここで我々は、こういったベースを起終点とするサイクルを吸収マルコフ連鎖として記述するためにベースとして次のような積極的な定義を与える。すなわち、〆個人の1日の行動が始まる施設〆をベースと呼ぶ。したがって吸収マルコフ連鎖モデルでは、このように定義されたベースを起終点とするサイクルのみを取扱うことになる。しかし後にみるように、実は実数上こういったパターンが圧倒的に支配的なのである。

### 3.3.2 トリップパターンの分類と実態

本項では、昭和45年に京阪神都市圏で実施されたパーソントリップ調査結果<sup>29)</sup>をもとに各種のトリップパターンについて検討を加える。ここで用いるパーソントリップ（以下トリップと呼ぶ）は、〆5才以上の人が交通手段の如何を問わず2地点間をある目的をもって移動する過程〆をいう。ただし、目的が二義的でルート変更のないもの（例えばタバコを買うとか、ガソリンスタンドに立寄るなど）は主目的トリップに代表させており、それ自体としてはトリップとしては計上されず、トリップの1部分として取扱われている。また、同一建物内での移動は除かれている。そして調査対象人口は5才以上の全人口よりサンプリングされた。（3%抽出）一方、1日のうちの1トリップのトリップエンドが調査対象圏域内にあるものを「城内閉包トリップ」と名づけ、個人の1日の全トリップがホーム・ベースを起終点とするサイクルを形成しているとき、それを「完全トリップパターン」と呼ぶ。（図3・3・1参照）

京阪神都市圏PT調査の抽出サンプル数は、平日で317,206人であり、外出人口は277,248人となっている。これを夜間人間人口のベースにして拡大した結果、夜間人口は13,023,500人、外出人口は11,359,700人となり、トリップ数で見れば41,064,500人となる。

いまこのデータをトリップパターン別に見ることにする。表3・3・1はベース別交通目的別トリップ数を集計したものであり、表3・3・2はベース別交通目的別トリップ数をトリップパターン別に見たものである。なお、完全トリップパターンをとりあげてそのサイクル構造についてみたも

のが表 3・3・3 である。

まずベース別交通目的別トリップ数について見れば、自宅をベースにもつトリップを生起する人が 97.3 % と圧倒的に高くなっている。その他勤務先をベースにもつトリップを生起する人が 1.2 % おり、これらの人は夜勤又は勤務先に住み込んでいる人であると思われる。交通目的別 1 人当りのトリップ数でみ

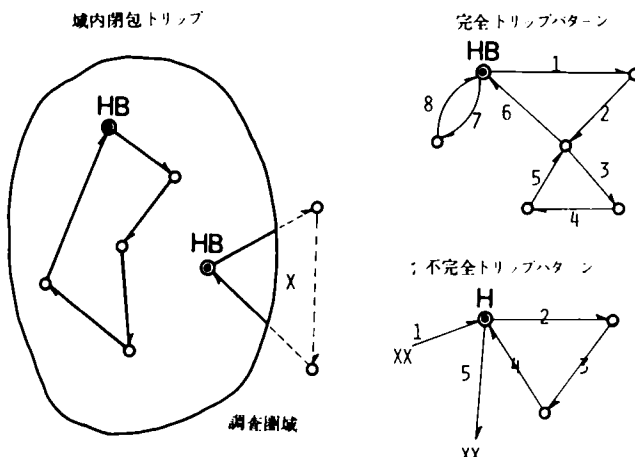


図 3・3・1 トリップパターンの例

れば、ベース別には異なった様相を示している。すなわち自宅ベースでは出勤や自由目的のそれが高いのに対して、自宅以外のベースでは総じて 1 人当たりトリップ数が大きい。

これをトリップパターン別に見ると、完全トリップパターンの個人が 95.6 % を占めており、不完全のトリップパターンはわずかに 4.4 % である。トリップ数でみると、前者が 94.8 %、後者が 5.2 % となっており、個人単位に比べトリップ数単位（原単位）は不完全トリップパターンの方が高くなっている。

完全トリップパターンというのは先に説明したように、自宅ベースでかつサイクルを形成しているものをいう。このパターンをとりあげ、平均のトリップ回数（トリップ数/人）、平均のサイクル数、サイクル当たり平均トリップ回数を見ることにする。（表 3・3・3）これによれば平均トリップ回数は 3.582（トリップ/人）となり、平均サイクル数は 1.533（サイクル/人）であり、外出した人の 2 人に 1 人は 2 サイクル以上している勘定になる。1 サイクル当たりの平均トリップ数は 2.336（トリップ/サイクル）となっており、3 つのサイクルをとり出してくれば、その 2 つはピストン型（2 トリップ）、残る 1 つがトライアングル型（3 トリップ）となっている勘定になる。

表 3・3・4 にはトリップ流動形態別の人数を示す。域内閉包個人とは、調査人口のうち 1 日のすべてのトリップエンドが対象圏域内で完結している人をさし、域内閉包トリップ個人とは、1 日のうち 1 トリップの両エンドが対象圏域内にある個人をさす。域内閉包個人でみると、その割合は 97.8 % と圧倒的である。域内閉包トリップでみても 97.2 % となっており、京阪神都市圏内で完結している割合が極めて高い。

京都市のデータ（1970）で完全トリップパターンについていまだ少し詳しくみてみよう。京阪

表 3・3・1 トリップパターン総括表 (平日)

(1970 京阪神)

トリップ ベース	完全トリップパターン			不完全トリップパターン					合 計
	自 宅	人 宅	計	自 宅	知 人 宅	勤 務 先	そ の 他	計	
外 出 人 口	10,862,575 (95.6)	7,771 (0.1)	10,870,346 (95.7)	194,147 (1.7)	44,576 (0.4)	131,612 (1.2)	119,067 (1.1)	489,402 (4.4)	11,359,748 (100.0)
ト リ ッ プ 数	38,914,426 (94.8)	42,462 (0.1)	38,956,888 (94.9)	776,820 (1.9)	177,180 (0.4)	591,916 (1.4)	561,746 (1.4)	2,107,662 (5.1)	41,064,550 (100.0)
外 出 人 口 あ た り 原 単 位	3.582	5.464	3.584	4.001	3.975	4.497	4.718	4.307	3.614

表 3・3・2 トリップ発生ベース別トリップ数集計

(1970 京阪神)

目的 ベース	人 口	出 勤	登 校	業 務	自 由	舟 宅	不 明	計	平均トリップ回数
自 宅	11,056,722	4,546,432 0.411	2,861,573 0.259	5,814,497 0.526	9,823,334 0.888	16,581,694 1.500	63,716 0.006	39,691,246 3.590	3.590
勤 務 先	131,612	34,756 0.264	1,223 0.009	371,251 2.821	48,014 0.365	134,866 1.025	1,806 0.014	591,916 4.497	4.497
通 学 先	325	0	0	406 1.249	213 0.655	472 1.452	1,011 3.111	2,102 6.468	6.468
知 人 宅	52,347	30,247 0.578	13,799 0.264	34,985 1.496	56,283 1.075	72,000 1.375	12,328 0.236	219,642 4.196	4.196
そ の 他	118,742	23,350 0.197	7,244 0.061	127,758 1.076	210,471 1.773	182,164 1.534	8,657 0.072	559,644 4.713	4.713
計	11,359,748	4,634,785 0.408	2,883,839 0.254	6,348,897 0.559	10,138,315 0.892	16,971,196 1.493	87,518 0.008	41,064,550 3.614	3.614



表3・3・3 完全トリップパターンのサイクル構造

(京阪神1970)

		ループあり	ループなし	計
完全トリップ パターン	勤務先ループ をもつ人	705,343	-	-
	通学先ループ をもつ人	60,488	-	-
	知人宅ループ をもつ人	57,448	-	-
	人 数	※ 822,937	10,039,638	10,862,575
ト リ ッ プ 数		6,070,309	32,844,117	38,914,426
サ イ ク ル 数		1,331,903	15,326,495	16,658,398
平均サイクル数 (サイクル/人)		1.618	1.527	1.533
平均サイクルあたりトリップ回数		4.558	2.143	2.336
平 均 ト リ ッ プ 回 数		7.376	3.271	3.582

- (注) 1. 完全トリップパターンのみ対象データとしている。  
 2. ループとはサイクルに含まれる閉路をさす。  
 3. ※印の人数は勤務先ループ、通学先ループ等をあわせてもつ人の場合に1人としており、勤務先ループをもつ人、通学先ループをもつ人等のそれぞれの欄には重複して数えている。そのため個々の合計は※印の人数にならない。

表3・3・4 トリップ流動形態別人数

(京阪神1970)

域 内 閉 包 個 人		域 内 閉 包 ト リ ッ プ 個 人	
域 内 閉 包 個 人	11,110,510人	域 内 閉 包 ト リ ッ プ 個 人	11,220,541人
トリップ数	39,844,388	トリップ数	40,327,847
域 外 流 出 人 ・ 他 個 人	249,236人	域 内 流 出 人 ・ 他 ト リ ッ プ 個 人	265,341人
トリップ数	1,120,154	トリップ数	736,703
全 人 口	11,359,750人	全 人 口	11,359,750人
外出人口	1,663,800人	外出人口	1,663,800人
トリップ数	41,064,542	トリップ数	41,064,542

- (注) 域内閉包トリップをもつ個人、域外流出人・他をもつ個人はダブルカウントのため合計人数があわない。

神都市圏PT調査データのうち、京都市にホームベースをもつもの31,464人について、サイクル数、1サイクル当りのトリップ数でクロス集計したものが表3・3・5に示されている。表の読み方として( $i, j$ )

表3・3・5 サイクル数別・トリップ数別人数

(1970京都)

要素は、サイクル数が $j$ 個で、その $j$ 個のサイクルに含まれるトリップの総数(帰宅トリップを含む)が $i$ 個であったような人の数を表わしている。列和にはサイクル数別の人数、行和にはトリップ数別の人数が得られている。

サイクル数 \ トリップ数	1	2	3	4	5	6	計
2	21,097						21,097
3	2,144						2,144
4	1,584	3,577					5,161
5	488	411					899
6	428	211	492				1,131
7	236	102	104				442
8	249	56	60	101			466
9	52	13	14	11			90
10	0	6	0	3	5		14
11	0	5	2	2	1		10
12	0	1	1	1	0	1	4
13以上	0	1	1	2	0	2	6
計	26,278	4,383	674	120	6	3	31,464

したがって、この表よりトリップパタ

ーンに関する各種の情報を得ることができる。いま、2トリップで構成されるサイクルをピストン型サイクル、3トリップで構成されるサイクルをトライアングル型サイクルと呼ぶとき、全サイクルに対するピストン型サイクルの割合は83.1%、トライアングル型サイクルについては7.6%、そして他が9.3%となっている。この比率が国際的にみてそう変らないことは表3・3・6を参照すれば分るであろう。この表は、欧米の各地域で実施された交通調査結果より得られたトリップチェーンに関する情報を集録したものであり、ピストン型サイクル(2-trip journey)の割合、ホームベーストリップの割合、家計サンプル数、トリップ生成原単位、徒歩トリップの割合、採用されたトリップの定義、対象人口、などが示されている。この表から次のような欧米の傾向を知ることができる。

1. 2-trip journey の割合はほぼ75%~85%
2. ホームベーストリップの割合は72%~97%
3. 生成原単位1.8~2.8 (トリップ/人)
4. 徒歩トリップの割合17%~43%
5. トリップの定義は短かい徒歩を除いたもの

6. 5才以上の調査対象人口、など。

表3・3・6 各地のトリップチェーン研究

(By I. G. Heggie)

Contributor and Study area	per cent of 2-trip journeys	per cent Home-based trips	No. of households in sample	Average no. of trip/ person/weekday	per cent Walk trips	Definition of trips adopted	Age groups included
<i>A. Daly (LGORU)</i>							
Huddersfield	Not known	88.4	2 150	~1.8	20	Minimum > 0.25 mile or 5 min.	12 years and over
Hebden Bridge	Not known	97	315	9.4 per week	~10	More than 1 mile	12 years and over
<i>Martin (Voorhees)</i>							
Sheffield (1974)	85	75+	319 (sub-sample)	1.8	not known	Minimum > 5 min. or > 0.25 mile	5 years and over
<i>Bruce et al (BRE)</i>							
Watford (1969)	75	79	1 672 persons (7 days)	4.05	not known	All except local movements in a shopping centre	15 years and over
<i>Havers (GLC)</i>							
GLTS (1971)	81	72	80 000		0	Vehicles only, except work trips	15 years and over
<i>Martin (Voorhees) Huddersfield (1974)</i>							
Huddersfield (1974)	Not known	88	2 500+			5 mins. 0.25 mile	5 years and over
<i>Vidakovic</i>							
Amsterdam, 3 samples (1968-74)	40-50	69-70	500, 500, 500	5.5	38-52	All movements between buildings	15 years and over
<i>Mitchell, Martin (TRRL) Reading (1962) Reading (1971)</i>							
Reading (1962)	Not known	85.5	3 848	2.3	39	All except very short walk	3 years and over
Reading (1971)	Not known	88	3 339	2.2	32.5	All except very short walk	3 years and over
Old Harlow (1974)	Not known	86	250	2.7	36	All except very short walk	5 years and over
Old Harlow (1975)	Not known	86	251	2.2	26	All except very short walk	5 years and over
Solihull (1974)	Not known	—	335	2.8	17	All except very short walk	5 years and over
Aylesford & Ditton (Maidstone)	Not known	88.6	301	2.7	33	All except very short walk	5 years and over
Carterton	Not known	87	305	2.2	29	All except very short walk	5 years and over
Letton Bush (1974)	Not known	84	247	2.8	43	All except very short walk	5 years and over
Letton Bush (1975)	Not known	90	260	2.8	34	All except very short walk	5 years and over

Vidakovicによるアムステルダムの事例が他と大きく異なっているのは、その採用されたトリップの定義の違いによるものである。

以上の結果、京阪神都市圏における行動パターンは欧米諸都市と比較してさほど異なった傾向を示していないことが分った。トリップの定義や調査対象人口にやや違いがあるもの的大勢としては同じ傾向にあり、国際的に共通の研究土壌をもっていることになるわけである。

さて、ここでPT調査データをもとにトリップパターンを眺めて結論的に以下の事柄がまとめられる。

1. 「自宅」をベースにもつトリップを生起する人が全体の97.3%を占めており、ホームベースのとり扱いが非常に重要になってくる。
2. 自宅をベースにもつ完全トリップパターンのトリップ行動を行なうものは、全体の95.6

- ％を示め、ほぼクトリップの一日完結性々が保証されている。
3. 域内閉包トリップは全トリップの97.2％を占めている。
  4. ピストン型サイクルは全体の83.1％、他が16.9％を占めており、トリップチェーン領域が無視できない。
  5. 以上を総合して、〔Home-based、域内閉包、完全トリップパターン〕を体系的に把握する方法が必要となり、かつ、1サイクル当りのトリップ数が増すにつれて、そのサイクル数が急減してゆくことから、吸収マルコフ連鎖等による数学的記述の可能性が示唆される。

### 3.4 トリップチェーンの吸収マルコフ連鎖モデル

#### 3.4.1 概要

吸収マルコフ連鎖ではふつう、発生吸収源と過渡状態とをわけてその遷移確率をつぎのように表現する。

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{cc} \text{吸 收 源} & \text{過 渡 状 態} \end{array} \\
 \begin{array}{c} \text{吸 收 源} \\ \text{過 渡 状 態} \end{array} & \left[ \begin{array}{cc|cc} I & & 0 & \\ \hline & & & \\ \hline R & & & Y \end{array} \right] = Q
 \end{array}$$

吸収源の数を $S$ 、過渡状態の数を $M$ とすると、 $I$ は $S \times S$ 単位行列、 $O$ は $S \times M$ の零行列、 $R$ は $M \times S$ 行列、 $Y$ は $M \times M$ 正方行列である。 $S=1$ ならば $O$ は行ベクトルに、 $R$ は列ベクトルになる。

$Q$ を $n$ 乗すると次式のようになり、※は $R$ の位置にくる行列を表わす。

$$Q^n = \left[ \begin{array}{cc|cc} I & & 0 & \\ \hline & & & \\ \hline ※ & & & Y^n \end{array} \right],$$

$$※ = (I + Y + Y^2 + \dots + Y^{n-1}) R$$

$Y^n$ は今考えている過程が過渡状態を出発して $n$ トリップしたとき、ある過渡状態にいる確率を示している。これを無限回まで遷移させたとき得られる次のような加算された行列

$$I + Y + Y^2 + \dots + Y^n + \dots = (I - Y)^{-1}$$

を吸収マルコフ連鎖の基本確率行列と呼んでいる。この $(I - Y)^{-1}$ の物理的意味は極めて重要であって、この $i-j$ 要素は、 $i$ から出発したものが吸収されてしまうまでに $j$ を何回通過する

かという回数の期待値を与えている。

そこでいま家庭をベースとする場合について考えてみると、吸収源には家庭が、過渡状態には帰宅目的以外の各トリップ目的が対応するので、この吸収マルコフ連鎖を無限回遷移させてゆくと、家庭から各目的で出発したトリップが再び家庭に帰ってくるまで各目的を何回行ってきたかを知ることができる。

目的間遷移確率  $(R, Y)$  が求められると、これに目的別のゾーン間遷移確率行列  $P^m (m=1, 2, \dots, M)$  を考慮することによって、ベースから出発したトリップを順次追って OD 表を作成することができる。

まず、目的別ゾーン別にベースから発生するトリップ数（トリップ発生数）を第1トリップ生成原単位から求め、これにゾーン間遷移行列を乗じて第1トリップの目的別・ゾーン別着トリップエンド数が得られる。次に、これに目的間遷移行列をかけあわせ第2トリップ目の目的別・ゾーン別発トリップエンド数が計算できる。こうしてベースから発生するトリップにゾーン間遷移行列、目的間遷移行列を交互に乗じてゆくことによって、再びベースに戻るまでのトリップの軌跡を追跡できることになる。もちろん、1回トリップが終了することに  $R$  の割合でベースに戻ってしまうので、トリップ数は各回毎に小さくなってゆく。

このようにしてできるトリップ断面ごとの OD 表を各目的別について合計したものが、あるベースについての目的別 OD 表となる。この手順を全てのベースについて行ない、それらを加算すれば最終的な OD 表が得られる。以上の追跡プロセスの概念が図 3.4.1 に示されている。

### 3.4.2 発生・吸引交通量の計算法

いまトリップ目的を  $a, b, c$  の3つと仮定し、ゾーン数を  $n (i, j = 1, 2, \dots, n)$  とすると、第  $i$  ゾーンの目的別第1トリップ発生数は  $A_i^a, A_i^b, A_i^c$  と記せる。これを目的別に次のようにベクトル表示しておく。

$$A^a = (A_1^a \ A_2^a \ \dots \ A_n^a)$$

$$A^b = (A_1^b \ A_2^b \ \dots \ A_n^b)$$

$$A^c = (A_1^c \ A_2^c \ \dots \ A_n^c)$$

このベクトルを要素としてもつ行列  $A$  を次のように定義する。

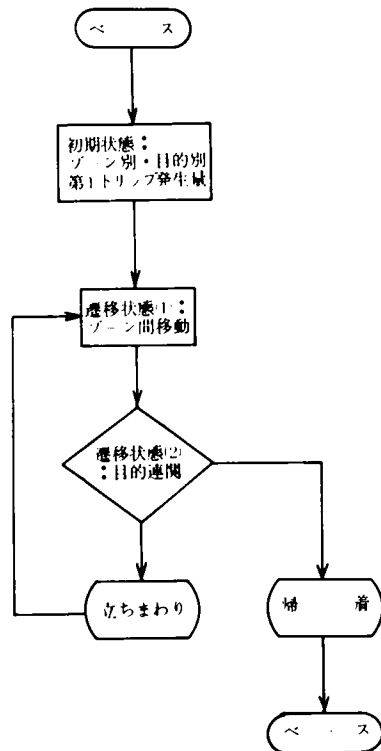


図 3.4.1 吸収マルコフ連鎖の概念図

$$A = \begin{pmatrix} A^a & & \\ & A^b & \\ & & A^c \end{pmatrix}$$

そして、同様に上記ベクトルを対角にならべた行列として

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} \tilde{A}^a & & \\ & \tilde{A}^b & \\ & & \tilde{A}^c \end{pmatrix}$$

$$\tilde{A}^a = \begin{pmatrix} A_1^a & & \\ & A_2^a & \\ & & \dots & \\ & & & A_n^a \end{pmatrix}, (b, c \text{ についても同様})$$

を定義しておく。

行列  $A$  にしたがって第1トリップをある目的で出発した人が第2トリップに移る場合、相手目的へ行く割合を次のような吸収マルコフ行列で表わす。添字0はベースを意味し、ここに行列の各行和はそれぞれ1であり、各要素は非負である。

$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline r_a & y_{aa} & y_{ab} & y_{ac} \\ r_b & y_{ba} & y_{bb} & y_{bc} \\ r_c & y_{ca} & y_{cb} & y_{cc} \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} I & O \\ \hline R & Y \end{bmatrix}$$

このとき、 $Y$  を目的間遷移行列と呼び、 $R$  を帰宅ベクトルと呼ぶ。この行列  $Y$  を以下のように dimension を拡大しそれを  $Y^*$  と書こう。

$$Y^* = \begin{bmatrix} y_{aa} & & & y_{ab} & & & y_{ac} & & & \\ & y_{aa} & & y_{ab} & & & y_{ac} & & & \\ & & & & & & & & & \\ \hline y_{ba} & & & y_{bb} & & & y_{bc} & & & \\ & y_{ba} & & y_{bb} & & & y_{bc} & & & \\ & & & & & & & & & \\ \hline y_{ca} & & & y_{cb} & & & y_{cc} & & & \\ & y_{ca} & & y_{cb} & & & y_{cc} & & & \\ & & & & & & & & & \end{bmatrix}$$

次に、トリップ目的別にゾーン間の遷移行列  $P^a, P^b, P^c$  (それぞれ  $n \times n$  正方行列) が与えられたと仮定しよう。この  $P$  はそれぞれ、そのトリップが何番目のトリップであっても、またどの

目的から遷移してきたトリップであってもその往目的が同じであれば常に等しいと仮定しておく。  
この $P$ を対角要素を持つ行列 $P$ を次のように定義する。

$$P = \begin{bmatrix} P^a & & \\ & P^b & \\ & & P^c \end{bmatrix}$$

さて、以上で所与のベクトルと行列が一通り定義されたので以下、これらを用いてトリップを追跡し、そこに成立している関係などを見てゆくことにしよう。

まず、トリップの着エンド側からみてゆくと、

第1トリップ後の着エンドは

$$V_1 = AP,$$

第2トリップ後の着エンドは

$$V_2 = AP(\overset{*}{Y}P),$$

.....

第 $n$ トリップ後の着エンド数は

$$V_n = AP(\overset{*}{Y}P)^{n-1}$$

$n \rightarrow \infty$ として、それを合計すると

$$\begin{aligned} V &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n + \dots \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n V_k \\ &= AP(I - \overset{*}{Y}P)^{-1} \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 1) \end{aligned}$$

を得る。

ここに $\overset{*}{Y}$ は $P$ に対してスカラーの意味しかもっていない。

ここでこれらの行列の形と、 $V$ の意味について考えてみよう。

第1トリップ目は

$$AP = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \begin{matrix} A \\ P \end{matrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boxed{a} & & \\ & \boxed{b} & \\ & & \boxed{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = V_1$$

$V_1$ は第1トリップ後の各ゾーンの到着トリップ数を要素とする3つのベクトルよりなる行列である。

第2トリップ目は、先ず

$$V_1 \overset{*}{Y} = \left( \begin{array}{c|c|c} a & & \\ \hline & b & \\ \hline & & c \end{array} \right) \left( \begin{array}{c|c|c} \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} & \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} & \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} c \\ \hline a \\ \hline b \end{array} & \begin{array}{c} c \\ \hline b \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} c \\ \hline a \\ \hline b \end{array} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c|c|c} \underline{a a} & \underline{a b} & \underline{a c} \\ \hline \underline{b a} & \underline{b b} & \underline{b c} \\ \hline \underline{c a} & \underline{c b} & \underline{c c} \end{array} \right)$$

これは第2トリップ目の立ちまわりも分離した目的別発生数で  $a b$  は  $a \rightarrow b$  への立ちまわりの発生数である。しかし、まだゾーン間を移動してはいない。目的だけが次のトリップを前にして組みかえられたわけである。

これに  $P$  がかけられると

$$V_1 \overset{*}{Y} P = \left( \begin{array}{c|c|c} \underline{a a} & \underline{a b} & \underline{a c} \\ \hline \underline{b a} & \underline{b b} & \underline{b c} \\ \hline \underline{c a} & \underline{c b} & \underline{c c} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c|c|c} \boxed{a} & & \\ \hline & \boxed{b} & \\ \hline & & \boxed{c} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c|c|c} \underline{a a} & \underline{a b} & \underline{a c} \\ \hline \underline{b a} & \underline{b b} & \underline{b c} \\ \hline \underline{c a} & \underline{c b} & \underline{c c} \end{array} \right) = V_2$$

となって、はじめてゾーン間を移動して、第2トリップ後の到着数となる。 $a b$  は  $a \rightarrow b$  へ目的を変更してゾーン間をトリップした後のゾーンの到着数を要素とするベクトルであって、 $V_2$  はこれら立ちまわりのトリップも分離した到着トリップエンドベクトルよりなる行列である。

第3トリップ目は先ず

$$V_2 \overset{*}{Y} = \left( \begin{array}{c|c|c} \underline{a a} & \underline{a b} & \underline{a c} \\ \hline \underline{b a} & \underline{b b} & \underline{b c} \\ \hline \underline{c a} & \underline{c b} & \underline{c c} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c|c|c} \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} & \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} & \begin{array}{c} a \\ \hline b \\ \hline c \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} b \\ \hline c \\ \hline a \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} c \\ \hline a \\ \hline b \end{array} & \begin{array}{c} c \\ \hline b \\ \hline a \end{array} & \begin{array}{c} c \\ \hline a \\ \hline b \end{array} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c|c|c} \underline{a \cdot a} & \underline{a \cdot b} & \underline{a \cdot c} \\ \hline \underline{b \cdot a} & \underline{b \cdot b} & \underline{b \cdot c} \\ \hline \underline{c \cdot a} & \underline{c \cdot b} & \underline{c \cdot c} \end{array} \right)$$

であって、第3トリップ目の発生ベクトルである。前と同様まだゾーン間を移動していない。 $\underline{a \cdot b}$ などは、第1トリップ目的が  $a$  で、第2トリップ目的は  $a, b, c$  のいずれかで、これから行なう第3トリップの目的が  $b$  である、ゾーン別発生数を要素とするベクトルである。すなわち、 $\underline{a \cdot b} = \underline{a a b} + \underline{a b b} + \underline{a c b}$  である。

これに  $P$  をかけて



$$W_2 \overset{*}{Y} P = \begin{pmatrix} \frac{a \cdot a}{b \cdot a} & \frac{a \cdot b}{b \cdot b} & \frac{a \cdot c}{b \cdot c} \\ \frac{b \cdot a}{c \cdot a} & \frac{b \cdot b}{c \cdot b} & \frac{b \cdot c}{c \cdot c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boxed{a} & & \\ & \boxed{b} & \\ & & \boxed{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a \cdot a}{b \cdot a} & \frac{a \cdot b}{b \cdot b} & \frac{a \cdot c}{b \cdot c} \\ \frac{b \cdot a}{c \cdot a} & \frac{b \cdot b}{c \cdot b} & \frac{b \cdot c}{c \cdot c} \end{pmatrix} = W_3$$

はゾーン間を移動した後の着エンドベクトルである。

以下同様にして第4トリップ目、第5トリップ目、……第nトリップ目が説明できる。

発トリップエンドについては、すでにふれたように、 $P$  をかける前の段階で得られており、それらは次のように書ける。

第1トリップの発エンドは

$$U_1 = A,$$

第2トリップの発エンドは、

$$U_2 = A P \overset{*}{Y},$$

第3トリップの発エンドは、

$$U_3 = A P \overset{*}{Y} P \overset{*}{Y},$$

.....

第nトリップの発エンド数は

$$\begin{aligned} U_n &= A (P \overset{*}{Y})^{n-1} \\ &= A P (\overset{*}{Y} P)^{n-2} \overset{*}{Y} \end{aligned}$$

となり、 $n \rightarrow \infty$  として、これらの合計は

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + \dots + U_n + \dots \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n U_k \\ &= A + A P (I - \overset{*}{Y} P)^{-1} \overset{*}{Y} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 2)$$

となっている。

以上のようにして、発エンドベクトル  $U$  と着エンドベクトル  $V$  は既知の  $A$ 、 $P$ 、 $\overset{*}{Y}$  を用いて、極めて簡単な形で記述されることが分った。

### 3.4.3 O D交通量の計算法

以上の説明は遷移行列  $P$  が所与のものとして、かつ同じ往目的には同じ  $P$  が用いられることを仮定していた。ここで我々は佐佐木<sup>34)</sup>によって提案された重力モデル的エントロピー法を用いて

$P$  を求めることについて述べる。重力モデル的エントロピー法にはゾーンの持つ目的別の相対的吸引力  $\nu$  と相対的発生力  $\mu$  とが必要であった。吸引力  $\nu = (\nu_1 \nu_2 \dots \nu_n)$  は立ちまわりトリップも含めたすべてのトリップのトリップエンドが各ゾーンにおいてもつ重みである。そしてそれは各ゾーンの土地利用形態によって決まってくるものである。したがって、この  $\nu$  は交通現象の起こる前の段階ですでに得られているものである。

しかし  $\mu$  は第1トリップの発生を除けば、そうではない。第1トリップの発生の重みは、ホームベースであればゾーンの夜間人口の重みそのものであろう。しかし第2トリップ以降については当然のことながら、第1トリップの着エンド数によって支配されてくるという性格を持っている。いま (3.1) 式を (3.2) 式に代入すれば次式を得る。

$$U = A + V Y^* \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

(3.3) 式の意味するところは、全部のゾーン別の発トリップエンド数は、第1トリップ発生数と第2トリップ以降の立ちまわりトリップ発エンド数の和であることを示している。この (3.3) 式より我々は  $\mu$  を計算することができる。このようにして求まってくる  $\mu$  は、全トリップ行程の最終和から求められるのであるから、全過程における平均的な相対的吸引力であるといえることができる。

(3.3) 式は  $M \times M$  なる行列形式をもっていることから、これらを列について加えあわせた列和について、次のように書くことができる。

$$\bar{U} = \bar{A} + \bar{V} Y^* \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに  $\bar{U}$ 、 $\bar{A}$ 、 $\bar{V}$  は  $U$ 、 $A$ 、 $V$  の列和を要素とするベクトルである。 $\bar{U}$  は総発エンドベクトル、 $\bar{V}$  は総着エンドベクトルとなっている。

いま、目的別第1トリップ総生成量を  $(T_1^0 T_2^0 \dots T_M^0)$  で表わせば、立ちまわりを含めた目的別総トリップ生成量は次のように記せる。

$$(T_1 T_2 \dots T_M) = (T_1^0 T_2^0 \dots T_M^0) (I - Y)^{-1} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

この  $(T_1 T_2 \dots T_M)$  が目的別の相対的吸引力  $\nu$  によって各ゾーンに分配されたものがベクトル  $\bar{V}$  に他ならない。というのは、今相対的吸引力ベクトル  $\nu$  は各トリップ段階で一様に作用するとの前提に立っているからである。したがって  $\bar{V}$  は以下のように書き直せる。

$$\bar{V} = (T_1 \nu_1, T_2 \nu_2, \dots, T_m \nu_m, \dots, T_M \nu_M) \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

ここに  $v_m$  はトリップ目的  $m$  についての相対的吸引力ベクトルである。したがって、一方

$$\bar{U} = (T_1 u_1, T_2 u_2, \dots, T_m u_m, \dots, T_M u_M) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 7)$$

であるから、(3.6)、(3.7)、(3.4)より相対的発生力ベクトル  $(u_1 u_2 \dots u_m \dots u_M)$  を計算することができる。ところが、このようにして求められた  $u = (u_1 u_2 \dots u_M)$  と、第1トリップ発エンド数  $\bar{A}$  から計算される  $u^1$  とは必ずしも一致していない。そこで両者に斉合性を持たせる為に次のように考える。

第1トリップの目的別生成量を

$$L = (L^1 L^2 \dots L^m \dots L^M)$$

とし、相対的トリップ発生力を次のように表わす。

$$U = \begin{bmatrix} u_1 & & & & \\ & u_2 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & u_m & \\ & & & & \dots \\ & & & & & u_M \end{bmatrix},$$

$$u_m = (u_1^m u_2^m \dots u_n^m),$$

$$\sum_{i=1}^n u_i^m = 1, \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

先と同様の考え方により、目的別・ゾーン別発エンド数は

$$U = L U + L U P (I - \bar{Y} P)^{-1} \bar{Y} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 8)$$

着エンド数は

$$\bar{V} = L U P (I - \bar{Y} P)^{-1} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 9)$$

したがって(3.8)、(3.9)より

$$U = L U + \bar{V} \bar{Y} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 10)$$

また、 $v$  は各ステップで一様であるとする

$$\bar{V} = L (I - Y)^{-1} v, \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 11)$$

$$V = \begin{pmatrix} v_1 & & & \\ & v_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & v_M \end{pmatrix} \quad v_m = (v_1^m \ v_2^m \ \dots \ v_n^m)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i^m = 1, \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

であるから、以上より

$$\bar{U} = L U + L (I - Y)^{-1} V \bar{Y}^* \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 12)$$

を得る。ゆえに(3・7)と(3・12)より、 $(T_1 \ T_2 \ \dots \ T_M)$ 、 $L$ 、 $Y$ 、 $\bar{Y}^*$ 、 $V$ が既知であることから、 $U$ を計算することができる。

このようにして $u = (u_1 \ u_2 \ \dots \ u_M)$ が得られるので、この $u$ と $v$ を用いてエントロピー法によりゾーン間遷移行列 $P$ を計算することができる。 $P$ が求めれば、(3・7)式のベクトルを対角要素に持つ行列 $\tilde{U}$

$$\tilde{U} = \begin{bmatrix} T_1 \tilde{u}_1 & & & \\ & T_2 \tilde{u}_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & T_m \tilde{u}_m & \dots & \\ & & & & & T_M \tilde{u}_M \end{bmatrix},$$

$$\tilde{u}_m = \begin{pmatrix} u_1^m & & & \\ & u_2^m & & \\ & & \dots & \\ & & & u_i^m & \dots & \\ & & & & & u_n^m \end{pmatrix}, \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

を作り、 $\tilde{U}P$ により目的別OD表を計算することができる。OD表を第1トリップから、順に追跡しつつ記述したい場合には、前節で定義した $\tilde{A}$ を用いてやればよい。

他方、帰宅トリップについては、毎回の遷移の後、着エンドから帰宅部分ベクトル $R$ によってベースへ戻るが、そのOD確率は、帰宅直前まで経てきた遷移行列の順を追った積を転置したものである。

第1トリップからの帰宅OD表は

$$H_1 = [ \tilde{A} P \bar{R}^* ]^t,$$

第2トリップからのそれは

$$H_2 = [ \tilde{A} P \bar{Y}^* P \bar{R}^* ]^t,$$

.....

第 $n$ トリップ目からのそれは

$$\mathbf{H}_n = \left[ \widetilde{\mathbf{A}} \mathbf{P} (\widetilde{\mathbf{Y}} \mathbf{P})^{n-1} \mathbf{R}^* \right]^t$$

となり、 $n \rightarrow \infty$ としてそれらを加えると、

$$\begin{aligned} \mathbf{H} &= \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 + \dots \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \mathbf{H}_k \\ &= \left[ \widetilde{\mathbf{A}} \mathbf{P} (I - \widetilde{\mathbf{Y}} \mathbf{P})^{-1} \mathbf{R}^* \right]^t \dots\dots\dots (3 \cdot 13) \end{aligned}$$

となる。ここに

$$\mathbf{R}^* = \left[ \begin{array}{ccc|ccc} \tau_1 & & & & & \\ & \tau_1 & & & & \\ & & \tau_1 & & & \\ \hline & & & \tau_M & & \\ & & & & \tau_M & \\ & & & & & \tau_M \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \widetilde{r}_1 \\ \widetilde{r}_2 \\ \dots \\ \widetilde{r}_m \\ \dots \\ \widetilde{r}_M \end{array} \right]$$

文献6)では $\mathbf{R}^*$ として

$$\mathbf{R}^{**} = \left[ \begin{array}{c} \widetilde{r}_1 \\ \widetilde{r}_2 \\ \vdots \\ \widetilde{r}_M \end{array} \right]$$

が用いられていたが、この $\mathbf{R}^{**}$ を用いると第1トリップ目的が最後まで保存され、 $\mathbf{H}$ は帰宅OD表の意味を持っていない。すなわち、(3・13)式における $\widetilde{\mathbf{A}} \mathbf{P} (I - \widetilde{\mathbf{Y}} \mathbf{P})^{-1}$ は、 $M n \times M n$ 行列で、その列には(最初のトリップ目的、第1トリップ発ゾーン)が、その行には(帰宅直前のトリップ目的、最終目的地)が並んでおり、本来必要な情報は、第1トリップ発ゾーンだけなのであるが、行列計算の関係上他の3情報も付随してくる。この $\widetilde{\mathbf{A}} \mathbf{P} (I - \widetilde{\mathbf{Y}} \mathbf{P})^{-1}$ に $\mathbf{R}^{**}$ を乗ざると、行列演算により(帰宅直前のトリップ目的、最終目的地)が消滅してしまうのである。そこで先に定義した $\mathbf{R}^*$ を用いれば、第1トリップ目的別・帰宅直前の目的別・帰宅直前OD表が得られる。

ここで、これまでに定式化された発生交通量、吸引交通量、OD交通量を一覧表にして表3・4・1に示しておく。

表 3・4・1 各推定量の一覧表

Trips Step	発生交通量	吸引交通量	OD交通量	帰宅OD交通量
	1	$A,$	$AP,$	$\tilde{A}P.$
2	$AP\dot{Y},$	$AP\dot{Y}P,$	$\tilde{A}P\dot{Y}\cdot P,$	$(\tilde{A}P\dot{R})^t.$
3	$AP\dot{Y}P\dot{Y},$	$AP\dot{Y}P\dot{Y}P,$	$\vdots$	$(\tilde{A}P\dot{Y}P\dot{R})^t.$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	$AP(\dot{Y}P)^{n-2}\dot{Y},$	$AP(\dot{Y}P)^{n-1}$	$\tilde{A}P(\dot{Y}P)^{n-1}\cdot P,$	$(\tilde{A}P(\dot{Y}P)^{n-1}\dot{R})^t.$
Totals $\sum_{n \rightarrow \infty}$	$A + AP(I - \dot{Y}P)^{-1}\dot{Y},$	$AP(I - \dot{Y}P)^{-1}$	$\tilde{A}P(I - \dot{Y}P)^{-1}\cdot P,$	$(\tilde{A}P(I - \dot{Y}P)^{-1}\dot{R})^t.$

### 3.4.4 吸収マルコフ連鎖モデルにおける諸仮定

トリップチェーンを吸収マルコフ連鎖モデルによって記述する場合に、我々は明示的又は暗黙裏に次のようなことを仮定してきている。

- (1) 目的間遷移行列は各時刻（ここでは遷移が行なわれる各段階）において一定である。すなわち、今考えているマルコフ過程は時間的に一様である。
- (2) 目的間遷移行列は対象とする人口のメンバーの各々について同一である。
- (3) トリップ目的  $i$  にいるものが、次の段階でトリップ目的  $j$  へ行く確率  $y_{ij}$  は、この個人がトリップ目的  $i$  に到達するまでに経てきた過去の履歴からは独立である。
- (4) 2つの状態間の遷移に要する時間（travel time between states）は一定であるか又は零である。
- (5) 各状態における滞在時間（duration of stay）は各状態について一定である。
- (6) ベース出発時刻は、全てのゾーン、全ての第1トリップ目的について同一である、など。

このうち(4)、(5)、(6)は、時間の要素に関係するものであるから、これは、時刻分布を導入することで解決し得る。したがって(1)、(2)、(3)が基本的に重要な仮定である。また(2)は、データを細分することによって、(1)、(3)のマルコフ過程が成立しておればさほど重要な仮定ではなくなる。

細分化された各グループ毎にマルコフチェーンを構成できるからである。しかし、それは後述するように、現況再現という目的にとっては有意義ではあっても、将来予測におけるはんぎつきを考えるとあまり好ましいとは言えない。ただし、細分化に耐える十分なデータの存在と、その将来予測の方法が納得ゆくものであればその限りではない。また各グループのもつ遷移行列を加重平均して、1つのマクロ的な遷移行列を定義する方法などもあり、つまるところ基本的に(1)と(3)がマルコフ連鎖の骨格を形づくっていることになる。(これらは次節で実証的に検討される。)

我々の交通需要予測という目的にとって、トリップチェーンを吸収マルコフ連鎖にアナロジーすることの利点は多いが、一方でその理論的ぜい弱性をもっている。本来アナロジーはあくまでもアナロジーであって、そのアナロジーが妥当であることを理論的に証明できるなら、それはアナロジーではなくなり、確固たる理論的背景をもったモデルと呼べるからである。しかし、それらのことからして少々言及しておくことは無意味ではあるまい。

集計されたトリップチェーンがマルコフ連鎖にアナロジーし得るとして、非集計的な個人について眺めた場合、その個人は確率的に種々の側面を持った期待値的人間としてとり扱われることになる。それらの個人を今度はミクロ的に眺めた場合、各個人は与えられた外的条件下で効用を最大化ならしめるように行動を行っているものと思われるが、そのような個人を集計した場合に Markov chain を形成しているということが理論的に説明できるであろうか。たとえば OD 分布については、各個人の効用最大化行動（もしくは損失最小化行動）を集計すれば重力型の構造に集約されることが一定の条件下で可能であることが明らかにされている。<sup>35),36),37)</sup> こういった方法・アプローチがトリップチェーンについて採用できるだろうか。

マルコフチェーンの特徴は「初期状態」と「遷移確率」によって規定されているところのランダムウォークにある。第 3.3 節でもみてきたように大半のトリップパターンはピストン型（1 サイクル、2 トリップ）であり、このパターンに属するものにとってはランダムウォークという様式は存在しない。毎日の定まった日課どおりに行動しているのである。確かに Home-based の 1 サイクル・2 トリップというのは交通行動の原型（プロトタイプ）であって、自宅から出発してある目的を遂行し、それが終了すれば自宅へ直行するというのは極めて自然なパターンである。そのプロトタイプに何らかの偶然的要素や計画的要素が作用するとき、そのプロトタイプに乱れが生じ、確定できないいくつかのパターンを生み出す。たとえば、主婦について言えば、あるショップに買物に行き、次に別のショップに立ち寄るという場合、考えうるのは商品に関する情報不足、衝動、友人との出会い etc といった家を出発する時には予測し得なかった事態に出くわし、それが次の行動パターンを支配する場合（偶然的要素）と、もう一つ、家を出る前に予め今日は何と何をどこで買うかという買物スケジュール（トリップスケジュール）をたてている場合（計

画的要素)とがある。前者は確率論的な解釈、後者は(意志)決定論的な解釈である。この2つの側面をデータから識別することは、意識調査をしないかぎり無理である。しかし、個人がいずれの要素によってその日の行動を行なったにせよ、トリップ目的の連鎖という局面で行動パターンを眺めた場合、たとえば通勤後の行動について考えてみると、「通勤→通勤」というパターンは職業を2つ以上持っている人にしか生起せず、大半の勤労者には関係がなく、また「通勤→観光」というのも特殊なパターンであり、一般にあるトリップ目的の次に来るトリップ目的の生起可能な種類は限られて来るし、とくに都市という均質な社会において勤労者の行なう行動の種類も、一週間を単位としてみればある一定の分布をもっているように思われる。それが各曜日(weekday)にどのように割当てられているかは個々人の状況によって異なるが、ある代表的なweekdayをとり出してみれば、そこにマクロ的に描かれている行動は、いろんな個々人の期待値であるという判断もなし得よう。すなわち、個々別々の各個人の各曜日の行動の集計と、代表的なweekdayのマクロな分布型とは一致しているだろうというわけである。そこに、個人を確率的に取扱い得る根拠が存在する。とくに、次節にみるようにトリップ目的が自由度を帯びるにしたがって一時的な制約から自由であり、かつ目的地も固定的でないようなトリップ、たとえば「買物」「業務」などその目的に続くトリップ目的への遷移確率の分布は、各ステップごとに眺めた場合、かなり定常であるということができ、確率的取扱いが便利なことを物語っている。

### 3.5 目的間遷移行列の定義とモデルの検証

#### 3.5.1 テータの考察

本項では前節3.4.4で仮定したところの目的間遷移行列の一様性についてデータを調べてみる。表3・5・1に第4ステップまでの遷移行列を示してある。考慮したトリップ目的は6つの非吸収目的(出勤、登校、日常的買物、非日常的買物、業務、帰社)ならびに帰宅である。これらのデータは1970年京阪神都市圏PT調査データのうち、京都市にトリップエンドを持つものを対象としている。この表を発目的別・ステップ別に図示したのが図3・5・1～図3・5・6である。このように図化することによりステップ毎の遷移過程相互の比較ができる。

図3・5・1には「出勤」からの遷移ベクトルが示されている。実線が第1ステップを、破線が第2ステップを、鎖線が第3ステップを、一点鎖線が第4ステップをそれぞれ表わしている。第4ステップがやや他と較べて例外的なパターンを示しているが、データの稀少性からあまり言及することができない。「日常的買物」ならびに「非日常的買物」への遷移確率にはあまり差がなく、勤労者にとって両者の区別がなされていないようである。「業務」への遷移が大きく、それはステップを追って上昇するようである。



表 3・5・1 ステップ別遷移行列

目的 目的	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.帰宅
1. 出 勤	0. 0. 0. 0.	0.00693 0. 0.01563 0.	0.05685 0.08734 0.10938 0.10000	0.03936 0.10044 0.06250 0.10000	0.15539 0.26201 0.20313 0.40000	0. 0. 0. 0.10000	0.74145 0.55022 0.60938 0.30000
2. 登 校	0.00148 0.00730 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0.02773 0.04380 0.03333 0.	0.05929 0.13139 0.03333 0.25000	0.00050 0. 0. 0.	0. 0.01460 0.03333 0.	0.91100 0.80292 0.90000 0.75000
3. 日常的買物	0.00331 0.00911 0.00522 0.	0.00232 0.00911 0.00522 0.	0.05004 0.08804 0.08355 0.08333	0.02066 0.07165 0.07311 0.12963	0.00276 0.02914 0.10444 0.12963	0.00033 0.20461 0.07572 0.21296	0.92058 0.58834 0.65274 0.44414
4. 非日常的買物	0.01256 0.00817 0.00523 0.00385	0.00587 0.00700 0.00174 0.	0.05854 0.07293 0.07840 0.04615	0.10634 0.20712 0.22996 0.25000	0.00749 0.00875 0.02439 0.04615	0.00142 0.08985 0.06098 0.08077	0.80778 0.60618 0.59930 0.57308
5. 業 務	0.03936 0.01330 0.00396 0.01258	0.00094 0.00117 0. 0.	0.01889 0.03482 0.05242 0.02264	0.01889 0.02230 0.01879 0.01384	0.19931 0.33920 0.40059 0.34969	0.01826 0.36346 0.25025 0.41509	0.70435 0.22574 0.27399 0.18616
6. 帰 社	0. 0. 0.00070 0.	0. 0. 0. 0.00314	0.03846 0.10294 0.05977 0.05660	0.00855 0.03824 0.05415 0.07233	0.09829 0.39706 0.23207 0.30503	0. 0. 0. 0.	0.85470 0.41176 0.65331 0.56289

(注) 1行目：第1ステップ  
 2行目：第2ステップ  
 3行目：第3ステップ  
 4行目：第4ステップ

図 3・5・2には「登校」からの遷移ベクトルが示されており、やや「非日常的買物」への遷移が大きいのが目立つ程度である。下校時に娯楽施設やスポーツ施設へゆくものと思われる。どのステップからも直接帰宅する者が圧倒的に多い。

図 3・5・3には「日常的買物」からの遷移ベクトルを示す。このパターンは今までの2つとは異なり、ステップ1がやや他と異なる形状をもっている。第1トリップで買物を行なったものは、ほとんど他所へ立寄らずに自宅へと直行しているのである。これは主として家庭の主婦による毎日の買物トリップであろうと推察される。次図 3・5・4の「非日常的買物」の場合の図の形状と全く違っていることには注目すべきである。

図 3・5・4には「非日常的買物」からの遷移ベクトルを示す。一見して気付くのは図 3・5・2の「登校」のパターンと非常によく似ていることである。また、第1ステップを除けば他の3つの

図3-5-1 「出勤」からの遷移ベクトル

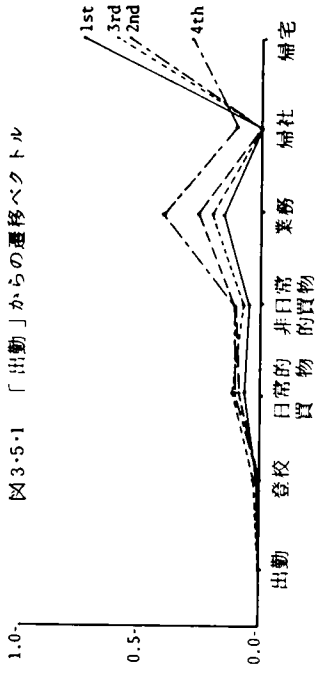


図3-5-4 「非日常的買物」からの遷移ベクトル

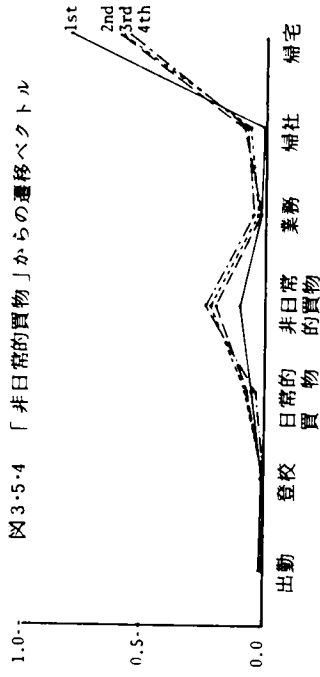


図3-5-2 「登校」からの遷移ベクトル

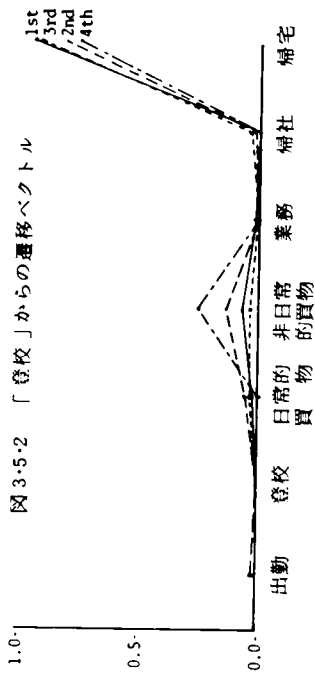


図3-5-5 「業務」からの遷移ベクトル

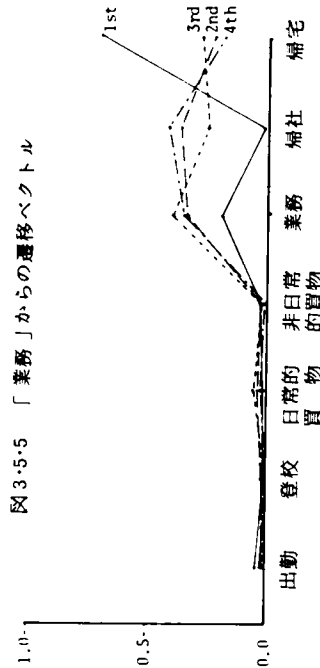


図3-5-3 「日常的買物」からの遷移ベクトル

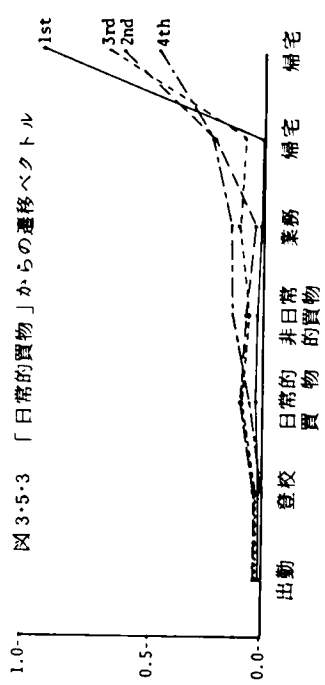
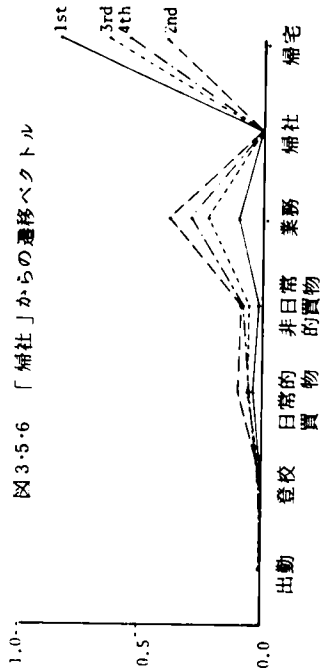


図3-5-6 「福祉」からの遷移ベクトル



ステップの形状は非常に類似しており、つまるところ第2ステップ以降ではパターンが定常となっていることが分かる。これは、先の「日常的買物」が文字通り主婦にとっての日常的買物であり、いわば主婦にとってはその日の必然的なトリップであったのに対して、この「非日常的買物」は娯楽やリクリエーションを含む非常に自由度の高い行為であることから、あいまい度が高まりその結果として一様なパターンになって現われたのだと判断することができる。また、それ自身への遷移が高く繰返しが特徴的である。

図3・5・5には「業務」からの遷移ベクトルが示されている。これも第1ステップを除けばほぼ定常なパターンが生起している。「業務」と「帰社」以外の目的へは殆んど遷移がない。また、「業務」→「業務」が帰宅確率を上まわるほど高く、一旦「業務」トリップで出たものは巡回的に「業務」トリップを行なう傾向のあることを示している。またよく見ると、第1ステップの形状は、図3・5・1の「出勤」の形状と非常に似通っており、自宅から発生する「業務」トリップは「出勤」と同じ性格を有していることが分かる。ただ勤務先が定常の勤務先か非定常の勤務先かだけの違いによるものであろうと思われる。第2ステップ以降でパターンが定常的になっているのは、先述したと同じ理由によるもので、「業務」という目的がランダムな性格を持っていることに依るものであり、またそれ自身への繰返しも多い。こうしてみると $y_{ii}$ という遷移確率がかなり高いようなトリップ目的 $i$ については、その確率的取扱いが容易であるように思われる。

図3・5・6には「帰社」目的からの遷移ベクトルを示す。パターンとしては図3・5・1の形状に似ており、業務目的や昼食を終えて帰社してから後の行動パターンと、朝出勤してから後の行動パターンとは差のないことを示していると言えよう。

### 3・5・2 目的間遷移行列の定義方法

第3.4節では、時刻的に一様でかつ全ての対象人口に対して同一の目的間遷移行列が存在すると仮定して、トリップチェーンの吸収マルコフ連鎖モデルを構築したわけであるが、本項では現実のデータからこの遷移行列をどのように定義し算出すればよいかについて考えてみよう。

前項でみてきたように、各ステップ毎の遷移行列は必ずしも一様であるとは言い難い。しかし確率的取扱いがそれで否定されたわけではない。各ステップ断面毎に眺めた場合は確かに遷移行列にばらつきは見うけられるものの、発目的を固定した場合の各ステップ別遷移ベクトルは、それぞれ固有の形状を持っていることが分かったことは大きな収穫であった。すなわち、全断面に共通な基本となるパターンを定めることができれば、そして全体としてみた時に量的な整合性が保証されているような一つの遷移行列を定めることができれば、それを用いてトリップチェーンを記述することができるであろう。ただし、そのようにして得られたステップ毎のトリップ数と

観測によるそれとは若干乖離することは避けられない。しかしそれは我々の目的にとってはさほど重要な問題ではない。トータルコントロールで目的別全生成トリップ数を押えておけば、ステップ毎の乖離分は最終的にステップを加算することによって解消されるからである。

では全体としてみたときに量的な整合性が保証されているような遷移行行列はいかにして定め得るか。それは本章第4節第3項で示した式(3・5)

$$(T_1 T_2 \cdots T_m \cdots T_M) = (T_1^0 T_2^0 \cdots T_m^0 \cdots T_M^0) (I - Y)^{-1}$$

が基本となる。すなわち目的別総トリップ生成量は、目的別第1トリップ生成量ベクトルに行列  $(I - Y)^{-1}$  を乗じることによって得られる。上の式を対象とする全人口で割って、原単位で表示しておこう。

$$g = f (I - Y)^{-1} \quad \cdots \cdots \cdots (3 \cdot 14)$$

ここに  $g = (g_1 g_2 \cdots g_m \cdots g_M)$  : 生成原単位

$f = (f_1 f_2 \cdots f_m \cdots f_M)$  : 第1トリップ生成原単位

(3・14)式において  $g$ 、 $f$  はベクトルで  $Y$  は行列であるから、この式から  $Y$  を一意的に決定することができない。そこで以下に述べるような2方法が提案される。

〔第1法〕

(3・14)式において、ベクトル  $f$  を対角要素に持つ行列  $F$  を定義するとき得られる左辺の行列を  $G$  としよう。そのとき

$$G = F (I - Y)^{-1} \quad \cdots \cdots \cdots (3 \cdot 15)$$

$$F = \begin{pmatrix} f_1 & & & \\ & f_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & f_M \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1M} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2M} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g_{M1} & g_{M2} & \cdots & g_{MM} \end{pmatrix}$$

$(I - Y)^{-1}$  の  $(i, j)$  要素は「第  $i$  目的でベースを出発したものが再びベースに吸収する迄に第  $j$  目的を訪れる回数の期待値」であるから、 $G$  の  $(i, j)$  要素  $g_{ij}$  は「トリップ目的  $i$  でベースを出発したものが再びベースに吸収される迄に行なった第  $j$  目的トリップ数の原単位」を表わしている。そして  $g_{ij}$  を  $i$  について加えた  $\sum_j g_{ij}$  は所与の原単位  $g_j$  に一致している。それは(3・14)式から明らかである。この(3・15)式に対応する行列  $F$  と  $G$  をデータより作成し次式によって  $Y$  を計算することができる。

$$Y = I - G^{-1} F \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 16)$$

この方法は、今考えている体系が吸収マルコフ過程であるという理論に非常に忠実な定義である。すなわち、一旦ベースを出発した者が最後にベースに吸収されるまで確実に連結性を保持されながら追跡されているからである。しかし、 $G$ と $F$ の与え方によっては、 $Y$ の要素の中に非負条件を満足しないものが現われる可能性を排除することができない。 $Y$ が非負行列となる条件は以下のとおりである。

$G^{-1}$ は、行列 $G$ が正則行列 ( $|G| \neq 0$ ) であるとき次のように求められる。

$$G^{-1} = \frac{1}{|G|} \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1M} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{M1} & G_{M2} & \dots & G_{MM} \end{bmatrix} = \{h_{ij}\}$$

ここに $G_{ij}$ は行列 $G$ の要素 $g_{ij}$ の余因数

このとき

$$\begin{aligned} Y &= I - G^{-1} F \\ &= \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 \end{bmatrix} - \frac{1}{|G|} \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1M} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{M1} & G_{M2} & \dots & G_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_M \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{M1} & h_{M2} & \dots & h_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_M \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3 \cdot 17) \\ &= \begin{bmatrix} 1 - h_{11} f_1 & -h_{12} f_2 & \dots & -h_{1M} f_M \\ -h_{21} f_1 & 1 - h_{22} f_2 & \dots & -h_{2M} f_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -h_{M1} f_1 & -h_{M2} f_2 & \dots & 1 - h_{MM} f_M \end{bmatrix} \end{aligned}$$

となるから非負条件は

対角要素について  $1 - h_{ii} f_i \geq 0$  ,

非対角要素について  $-h_{ij} f_j \geq 0$  . ( $i \neq j$ )

となるが $f = (f_1 f_2 \dots f_M)$ は全て非負であるから上の条件は

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq h_{ii} \leq 1 / f_i, \quad (i = 1, 2, \dots, M) \\ h_{ij} \leq 0 \quad . \quad (j \neq i) \quad (i, j = 1, 2, \dots, M) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 18)$$

と書き直される。

結局  $F$  の要素と  $G^{-1}$  の要素がこの (3・18) 式の関係満足しておれば、この  $F$  と  $G^{-1}$  を使って求めた  $Y$  は非負行列となる。

〔第2法〕

いま  $x_{ij}^{(k)}$  を、第  $k$  ステップにおいてトリップ目的  $i$  からトリップ目的  $j$  へ遷移した人数としよう。(  $i = 1, 2, \dots, M$  ), (  $j = 1, 2, \dots, M$  , ならびに「帰宅」) このとき、次式で遷移確率を定義する。

$$y_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} x_{ij}^{(k)}}{\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{M+1} x_{ij}^{(k)}} \dots\dots\dots (3 \cdot 19)$$

すなわち各断面の遷移実数を加えあわせたところの全断面の遷移実数から遷移確率を定義するのである。これはまた、各断面の遷移行列を加重平均したものである。全断面の連関表を

$$X = \begin{bmatrix} \sum_k x_{11}^{(k)} & \sum_k x_{12}^{(k)} & \dots & \sum_k x_{1M}^{(k)} & , & \sum_k x_{1,M+1}^{(k)} \\ \sum_k x_{21}^{(k)} & \sum_k x_{22}^{(k)} & \dots & \sum_k x_{2M}^{(k)} & , & \sum_k x_{2,M+1}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \sum_k x_{M1}^{(k)} & \sum_k x_{M2}^{(k)} & \dots & \sum_k x_{MM}^{(k)} & , & \sum_k x_{M,M+1}^{(k)} \end{bmatrix}$$

とすると、これを全人口で除し、原単位で表わしたものを

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1M} & , & r_1 \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2M} & , & r_2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{M1} & l_{M2} & \dots & l_{MM} & , & r_M \end{bmatrix}$$

で表わすとすれば (3・19) 式は次のようになる。

$$y_{ij} = l_{ij} / \sum_{j=1}^M l_{ij} + r_i \dots\dots\dots (3 \cdot 20)$$

ここに  $l_{ij}$  は ( $i \rightarrow j$ ) というトリップ目的連関を行なう原単位で、 $r_i$  はトリップ目的  $i$  から帰宅する原単位であるから、着側からみると

$$\sum_{j=1}^M l_{ij} + r_i = g_i \quad (i = 1, 2, \dots, M) \dots\dots\dots (3 \cdot 21)$$

となっていなければならない。ゆえに (3・20) 式は次のようになる。



ここで (3・25) の両辺にそれぞれ左から  $A^{-1}$  を乗ずると

$$A^{-1} f^t = g^t$$

さらに両辺の転置をとると

$$\text{右辺} = (g^t)' = g$$

$$\text{左辺} = (A^{-1} f^t)'$$

$$= f(A^{-1})'$$

$$= f(A^t)^{-1}$$

$$= f(I - Y)^{-1}$$

$$\left( \begin{array}{l} \because A = I - Y^t \text{ ゆえ} \\ A^t = (I - Y^t)' = I - Y \end{array} \right)$$

結局

$$g = f(I - Y)^{-1} \dots\dots\dots (3 \cdot 26)$$

が成立する。(証了)

要するに本法の定義による  $Y$  は、上の関係式を満足する多くの  $Y$  の中の一つであったことが分る。ところで、このようにして求められた遷移行列  $Y$  は最尤推定値であることを示しておこう。

いま  $x_{ij}^{(t)}$  をステップ  $t$  における連関実数、 $y_{ij}$  を遷移確率するとき、尤度関数は過程が定常であるとして、次のように記せる。

$$\prod_{t=1}^T \prod_{ij} y_{ij} x_{ij}^{(t)} = \prod_{ij} y_{ij} x_{ij}$$

$$\text{ここに } x_{ij} = \sum_{t=1}^T x_{ij}^{(t)}$$

これを

$$y_{ij} \geq 0, \sum_j y_{ij} = 1$$

の制約条件下で  $y_{ij}$  について最大化するとき次の解を得る。

$$\hat{y}_{ij} = x_{ij} / \hat{x}_i \dots\dots\dots (3 \cdot 27)$$

$$\text{ここに } \hat{x}_i = \sum_j x_{ij}$$

この定義式は先の (3・19) 式に他ならない。ゆえに (3・19) 式で定義される  $Y = \{ y_{ij} \}$  は最尤推定値である。(証了)



### 3・5・3 モデルの検証

本項では前項3・5・2で定義した目的間遷移確率行列の値を、1970年に京阪神都市圏で実施されたパーソントリップ調査データのうち京都市分について求めてみた。表3・5・2、表3・5・3にはそれぞれ第1法による基本確率行列 $(I - Y)^{-1}$ 、第2法による $(I - \hat{Y})^{-1}$ が示されている。

前者は実際のデータか

ら構成された値であり、

後者は $Y$ の最尤推定値 $\hat{Y}$ より $(I - \hat{Y})^{-1}$ と

して計算したものであ

る。はじめの4行4列

についてかなり似通っ

た値となっているが、

終りの2行2列すなわ

ち「業務目的」、「帰

社目的(帰学を含む)」

に関連する行と列がや

や乖離を生じているこ

とが分かる。この主な

たる原因は、第3・5・1

項でも考察したとおり

第1ステップの遷移(速関)

パターンと第2ステップ以降

のそれとがかなり違がう傾向

を示していることに起因する。

とくに「業務目的」からの遷

移パターン(図3・5・5)にお

いてそれが顕著である。表

3・5・2、表3・5・3においてと

くに目立つのは「帰社」↔

「業務」、「帰社」↔「娯楽」

「出勤」→「帰社」、「買物」

表3・5・2 第1法による $(I - Y)^{-1}$

↗	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. 出勤	1.003	0.007	0.081	0.063	0.311	0.162
2. 登校	0.002	1.002	0.034	0.081	0.002	0.024
3. 買物	0.004	0.003	1.068	0.029	0.007	0.002
4. 娯楽	0.015	0.008	0.085	1.180	0.019	0.005
5. 業務	0.047	0.001	0.044	0.041	1.407	0.054
6. 帰社	0.007	0.000	0.024	0.007	0.075	1.032

表3・5・3 第2法による $(I - \hat{Y})^{-1}$

↗	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. 出勤	1.006	0.008	0.075	0.058	0.246	0.054
2. 登校	0.003	1.001	0.036	0.071	0.016	0.040
3. 買物	0.006	0.004	1.068	0.044	0.038	0.048
4. 娯楽	0.012	0.006	0.076	1.164	0.036	0.042
5. 業務	0.032	0.002	0.065	0.052	1.501	0.307
6. 帰社	0.008	0.002	0.069	0.066	0.329	1.071

表3・5・4 第1法による $(I - Y)^{-1}$

↗	1.	2.	3.	4.	5.
1. 出勤	1.003	0.007	0.081	0.063	0.472
2. 登校	0.002	1.002	0.034	0.081	0.026
3. 買物	0.004	0.003	1.068	0.029	0.009
4. 娯楽	0.015	0.008	0.085	1.180	0.024
5. 業務	0.042	0.001	0.042	0.037	1.422

表3・5・5 第2法による $(I - \hat{Y})^{-1}$

↗	1.	2.	3.	4.	5.
1. 出勤	1.006	0.008	0.076	0.059	0.301
2. 登校	0.004	1.001	0.036	0.070	0.071
3. 買物	0.007	0.004	1.068	0.044	0.103
4. 娯楽	0.013	0.006	0.077	1.165	0.092
5. 業務	0.030	0.002	0.071	0.058	1.803

→「帰社」など。これは「帰社」というトリップ目的を中心にして生じており、このトリップ目的の扱い方の難しさを示している。そこで、つぎに「帰社」も「業務」に含めて、トリップ目的を5つに整理した結果が表3・5・4、表3・5・5に示されている。このように整理してみると、さきほどのような大きな乖離はみられなくなる。わずかに「買物」→「業務」においてのみ10倍近い違いが表面化したにすぎない。これは第1法による定義が「買物トリップ」でベースを出発したものがベースに再び吸収される迄に重ねた「業務トリップ」の回数の期待値であることから、実数上このパターンは無視し得る（殆んどの人はずぐに帰宅してしまう）のに対して、第2法では全ステップの平均としてその要素を定義していることに起因している。

他方、表3・5・2、表3・5・3、表3・5・4、表3・5・5に対応した遷移行列がそれぞれ表3・5・6、表3・5・7、表3・5・8、表3・5・9に示されている。表3・5・7、表3・5・9の遷移行列はその定義からして当然非負行列であるが、表3・5・6、表3・5・8に関しては「出勤」→「出勤」というパターンの遷移確率として負値が現われた。再度表3・5・1（ステップ別遷移行列）を見ていただく。全ステップについて遷移確率が零となっているのは「出勤→出勤」、「登校→登校」、「帰社」→「帰社」の3連関であるが「帰社→帰社」、ならびに「登校→登校」は計算の結果正の確率が得られている。

式(3・18)の非負条件式でいうと $i=1$ すなわち出勤の場合の条件式のみが満足されなかったのである。これは出勤というトリップ目的が $\kappa$ 過渡状態 $\kappa$ という性格を持ち得ないことに起因する。

すなわち大部分の出勤トリップはベースからの第1トリップとして生起しており、第2トリップ以降のベース

に吸収されるまでの過

程では余り多く発生していなかったのである。これは登校トリップについても言えることなので

表3・5・6 第1法による $Y$

$\nearrow$	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. 出勤	-0.009	0.007	0.061	0.043	0.214	0.146
2. 登校	0.000	0.001	0.026	0.068	0.000	0.023
3. 買物	0.003	0.002	0.062	0.023	0.004	0.000
4. 娯楽	0.012	0.006	0.066	0.149	0.008	0.002
5. 業務	0.033	0.000	0.025	0.022	0.280	0.033
6. 帰社	0.005	0.000	0.019	0.033	0.050	0.027

表3・5・7 第2法による $Y$

$\nearrow$	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. 出勤	0.000	0.007	0.058	0.040	0.161	0.000
2. 登校	0.002	0.000	0.027	0.058	0.000	0.034
3. 買物	0.004	0.003	0.057	0.032	0.014	0.037
4. 娯楽	0.010	0.005	0.059	0.136	0.012	0.027
5. 業務	0.020	0.000	0.028	0.018	0.285	0.202
6. 帰社	0.000	0.000	0.048	0.045	0.217	0.000

あるが、ただ登校トリップの場合異なるのは勤務終了後夜学や職業学校に通うものが実数としてかなり存在するために「登校→登校」という遷移確率が負となることが避けられたのである。

表 3・5・8 第1法によるY

↗	1.	2.	3.	4.	5.
1. 出勤	-0.012	0.007	0.060	0.041	0.335
2. 登校	0.000	0.001	0.026	0.068	0.017
3. 買物	0.003	0.002	0.062	0.023	0.004
4. 娯楽	0.012	0.006	0.066	0.149	0.010
5. 業務	0.030	0.000	0.024	0.020	0.287

ただ現況において確かに「出勤→出勤」確率は非負ではないが将来においてはどう変化するか今のところ未知である。もし将来において余暇時間増、時差出勤、商店の営業時間変更等といった時刻々に関係するファク

表 3・5・9 第2法によるY

↗	1.	2.	3.	4.	5.
1. 出勤	0.000	0.007	0.058	0.040	0.162
2. 登校	0.002	0.000	0.027	0.058	0.035
3. 買物	0.004	0.003	0.058	0.032	0.051
4. 娯楽	0.010	0.005	0.059	0.137	0.039
5. 業務	0.016	0.000	0.034	0.026	0.439

ターが変化することにより、出勤トリップは必ずしもベースからの第1トリップにおいて圧倒的に生起するというパターンはやや緩和されるかもしれないのである。したがって現況値は負であっても、将来においては非負となる公算が大きい。

また、第1法の定義から求めた遷移行列を非負たらしめるためには次のように考えることもできる。すなわち、図 3・5・1～図 3・5・6 をみても明らかなおり第1ステップのパターンと第2ステップ以降のそれとがかなり異っており、かつ第2ステップ以降についてはほぼパターンが一様となっていることから、第1ステップの遷移行列と、第2ステップ以降に共通な遷移行列とをそれぞれ定義するのである。前者を  $Y_1$ 、後者を  $Y_2$  で表わすとき、生成原単位ベクトル  $f$  と  $g$  を用いてこれら4者の関係は次のように記せる。

$$f [I + Y_1 (I - Y_2)^{-1}] = g$$

$I$  : 単位行列

現況データより  $Y_1$  を得て、上式より  $Y_2$  を計算することができる。(ただし  $f$  と  $g$  はそれぞれ行列表現しておく必要がある。) 一般にピストン型(1サイクル、2トリップ)を持つ人々の行動パターンは、他の類型に属する人々のパターンとはかなり異なっており、実際的な見地からは分離して扱った方がよい場合がある。交通機関選択などはそのようなケースに属する。

### 3.6 目的間遷移行列の将来予測法

吸収マルコフ連鎖モデルを用いて将来のトリップチェーンを記述してゆこうとする際、従来の方法<sup>6)</sup>においては目的連関表すなわち目的間遷移確率行列は将来において所与（PT調査によって得られた現況値と同じ）と仮定されていた。しかし生活スタイルの変化、技術革新（交通システム、通信技術）、商店の営業時間変更といったところの、本来交通需要予測にとっては与件とされていた項目が変化することにでもなれば、トリップチェーンのパターンが大巾に変化することは想像に難くない。したがってその場合には連関表自体を直接に推計することが必要となる。

以上をまとめて、将来の目的連関表は

- (I) 短期予測においては現況の連関表で代替させる。
- (II) 中期予測においては直接に何らかの合理的な方法で推計を行なう。(本節の主題)
- (III) 長期予測ならびに生活スタイル、交通システム、通信技術、商店の営業時間等が現状より著しく変更される場合には、もはや上記2法では対処できないので、ミクロな分析を通じて何らかの行動の規範とでもいったものを導出することにより、将来の方向を見定めるということになろう。(次節3.7で紹介するTIME/SPACE ANALYSISはその一つの試みである。)

#### 3.6.1 目的連関表の予測〔第1法〕

ここで述べる予測の方法は前節3.5.2で定義された〔第1法〕に準ずるものである。すなわち

$$G = F(I - Y)^{-1}$$

$$F = \begin{pmatrix} f_1 & & & \\ & f_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & f_M \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1M} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{M1} & g_{M2} & \cdots & g_{MM} \end{pmatrix}$$

とし、

$$Y = I - G^{-1}F$$

によって $Y$ を推計する方法をいう。将来において所与となる $f = (f_1 \ f_2 \ \cdots \ f_M)$ 、 $g = (g_1 \ g_2 \ \cdots \ g_M)$ を得て、行列 $G$ の要素を求めることが主眼となる。行列 $G$ については列和 $\sum_i g_{ij}$ は所与の $g_j$ に一致するから既知であるが、行和 $\sum_j g_{ij} (= h_i)$ については全く未知の値である。

					計
	$g_{11}$	$g_{12}$	.....	$g_{1M}$	$h_1$
	$g_{21}$	$g_{22}$	.....	$g_{2M}$	$h_2$
			.....	$g_{ij}$	$h_i$
	$g_{M1}$	$g_{M2}$	.....	$g_{MM}$	$h_M$
計	$g_1$	$g_2$	.....	$g_j$	$g_M$
					$T$

そこで我々はこの行列 $G$ を、OD交通量推計における現在パターン法を用いて推計しようとするわけであるが、第2章で紹介した方法のうち、確率論的意味が明確なBF法(i)を採用することにする。

ただし、この場合列和に関する条件式だけで解く場合(1重制約のケース)と、他方、行和を何らかの方法で求めて条件式として追加する場合(2重制約のケース)の2方法を考えることができる。

前者の場合は、

$$g_{ij} = \alpha_i g_{ij}^A \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 27)$$

ここに $\alpha_i$ はバランシング・ファクター、 $g_{ij}^A$ は現況値。

として、列和条件式

$$\sum_i g_{ij} = \sum_i \alpha_i g_{ij}^A = g_j \quad (j = 1, 2, \dots, M) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 28)$$

なる連立方程式を解いて $\alpha = (\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_M)$ を定めればよい。

後者の場合には $h = (h_1 h_2 \dots h_M)$ を定める必要がある。その説明に入るまえに、原単位ならびにサイクルに関する概念をふりかえっておく必要がある。

職種 $s$  ( $s=1, 2, \dots, S$ )に属する1人の平均的な個人はトリップ目的別の生成原単位ベクトル

$$g^s = (g_1^s g_2^s \dots g_m^s \dots g_M^s)$$

と、第1トリップ生成原単位ベクトル

$$f^s = (f_1^s f_2^s \dots f_m^s \dots f_M^s)$$

ならびに、帰宅トリップ原単位 $r^s$ をもっているとしよう。ここに $g_m^s$ は $f_m^s$ を含んでいることから

$$g_m^s \geq f_m^s \quad (m = 1, 2, \dots, M)$$

でなければならない。そして、いま考えているトリップチェーンの体系が全て完全パターンであるとするならば

$$r^s = \sum_m f_m^s \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 29)$$

が成立しており、これは同時に平均サイクル数に等しい。すなわち、第1トリップ生成原単位の目的合計はベースを出発する回数であると同時に、ベースへ帰着する回数であり、そしてまたそれはその個人が行なったサイクル数に等しい。また、1サイクル当りの平均トリップ数（帰着を除く）は職種毎に

$$t^s = \sum_m g_m^s / \sum_m f_m^s \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 30)$$

として求められる。そして、いま  $C_i$  を第1トリップが目的  $i$  であったようなサイクル内で生じた平均トリップ数であるとしよう。すなわち  $(I - Y)^{-1}$  という行列の第  $i$  行和と同じ意味である。したがって、この値はどの職種についても、第1トリップ目的が同じであれば理論的には同じであるとしてよいことから職種のサフィックス  $s$  はつかない。

したがって、 $f_m^s C_m$  は第1トリップが目的  $m$  であるような全てのサイクル内で生じたトリップ総数を表わしている。ゆえに、これを  $m$  について合計すれば普通の原単位の総和に等しい。すなわち

$$\sum_m f_m^s C_m = \sum_m g_m^s \quad (s = 1, 2, \dots, S) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 31)$$

が成立するはずである。ゆえに  $S$  ( $S > M$ ) 種類の職種を  $M$  種に統合すれば、(3.31) 式で表わされた体系は未知数  $C_m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) に関する  $M$  本の連立方程式となるので、それを解けば  $C_m$  を決定することができる。 $C = (C_1 C_2 C_m \dots C_M)$  が求められれば次式によって  $h = (h_1 h_2 \dots h_m \dots h_M)$  を決定することができる。

$$h_m = f_m C_m \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 32)$$

このようにして行列  $G$  の周辺分布が定められるので以下BF法(i)と全く同じ要領で  $G = \{ g_{ij} \}$  を推計すればよい。すなわち

$$g_{ij} = \alpha_i \beta_j g_{ij}^A \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 33)$$

$$\sum_i (\alpha_i \beta_j) g_{ij}^A = g_j \quad (j = 1, 2, \dots, M)$$

$$\sum_j (\alpha_i \beta_j) g_{ij}^A = h_i \quad (i = 1, 2, \dots, M)$$

ここに  $(\alpha_i \beta_j)$  はバランシング・ファクター、 $g_{ij}^A$  は現況の行列  $G$  の  $i-j$  要素である。

を満足するように  $(\alpha_i \beta_j)$  を決定すればよい。

### 3.6.2 目的連関表の予測〔第2法〕

前節3.5.2項の〔第2法〕に対応するもので(3・20)式により遷移行列を計算する方法である。このためには行列 $L$

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1M} & r_1 \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2M} & r_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ l_{M1} & l_{M2} & \cdots & l_{MM} & r_M \end{bmatrix}$$

の将来値を推計することになる。行列 $L$ には次のような性質がある。将来の原単位 $g = (g_1 \ g_2 \ \cdots \ g_M)$ 、 $f = (f_1 \ f_2 \ \cdots \ f_M)$ を所与とすれば

		計
〔A〕	$l_{11} \quad l_{12} \quad \cdots \quad l_{1M} \quad , \quad r_1$	$g_1$
	$l_{21} \quad l_{22} \quad \cdots \quad l_{2M} \quad , \quad r_2$	$g_2$
	$\vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots$	$\vdots$
	$l_{M1} \quad l_{M2} \quad \cdots \quad l_{MM} \quad , \quad r_M$	$g_M$
計	$(g_1 - f_1), (g_2 - f_2), \cdots, (g_M - f_M), R$	$\sum_m g_m$

$$\text{ここに } \sum_m f_m = \sum_m r_m = R(\text{given})$$

$g$ を所与とし、 $f$ を未知とすれば

〔B〕	$f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_M \quad , \quad 0$	$R$
	$l_{11} \quad l_{12} \quad \cdots \quad l_{1M} \quad , \quad r_1$	$g_1$
	$l_{21} \quad l_{22} \quad \cdots \quad l_{2M} \quad , \quad r_2$	$g_2$
	$\vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots$	$\vdots$
	$l_{M1} \quad l_{M2} \quad \cdots \quad l_{MM} \quad , \quad r_M$	$g_m$
	$g_1 \quad g_2 \quad \cdots \quad g_M \quad , \quad R$	$\sum_m g_m + R$

を得る。ゆえに $f = (f_1 \ f_2 \ \cdots \ f_M)$ を既知とするか否かで〔A〕法、〔B〕法を使いわけて、それぞれについて現在パターン法(BF法)を適用して行列の要素を求めることになる。この〔B〕のケースについては現在パターン法(ファーンズ法)で推計する方法が松井(1976)によって提案されている。<sup>14)</sup>

### 3.6.3 予測における問題点

先にもみてきたとおり第1トリップ生成原単位ベクトル  $f$ 、生成原単位ベクトル  $g$ 、ならびに目的間遷移行列  $Y$  の3者間には次のような基本的な関係が存在する。

$$f ( I - Y )^{-1} = g \quad \dots\dots\dots ( 3 \cdot 34 )$$

これら3者は密接に関連し合っているので、各々別途に推計して構わないという性質のものではない。たとえば  $g \geq f$  という関係や、考えている体系が吸収マルコフ連鎖であるときは  $Y$  は非負行列とならねばならない、など。そこで本項では  $f$ 、 $g$  を推計するにあたって留意すべき事柄について考察してみよう。 $Y$  の非負条件については前節 3.5 で詳しいので、ここでは  $f$  と  $g$  の間の関係について考えてみる。

$Y_1$ 、 $f_1$ 、 $g_1$  を現況値、 $Y_2$ 、 $f_2$ 、 $g_2$  を将来値とする。そして現況においては

$$f_1 ( I - Y_1 )^{-1} = g_1 , Y_1 : \text{非負行列} \quad \dots\dots\dots ( 3 \cdot 35 )$$

将来においては

$$f_2 ( I - Y_2 )^{-1} = g_2 \quad \dots\dots\dots ( 3 \cdot 36 )$$

が成立しているとする。現況においては観測値より  $f_1$  と  $g_1$  を得て  $Y_1$  を決定することが主眼とされたが、将来においては必ずしもそうではない。すなわち、2つのやり方がある。1つは  $f_2$  と  $g_2$  を推計して  $Y_2$  を算出する方法、もう1つは  $Y_2$  を与件として、 $f_2$  または  $g_2$  のいずれか一方を推計し、他方を (3.36) 式より算出するというやり方である。前者は将来の連関パターンを与件とできない場合、後者は連関パターンを与件とできる場合である。後者の場合、具体的には短期予測において  $Y_2 = Y_1$  とし、 $g_2$  のみを別途推計すれば  $f_2$  は (3.36) 式より算出できる。したがって  $g_2 \geq g_1$  の場合には

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_2 - f_1 = g_2 ( I - Y_1 ) - g_1 ( I - Y_1 ) \\ &= ( g_2 - g_1 ) ( I - Y_1 ) \end{aligned}$$

だけ家からの外出回数が増す。そして恐らくこの増分の大部分は特定のピストン型トリップの増加として現われるであろう。この場合、結果として家からの外出回数が増すのであるから、1日の生活時間構成においてかなりの時間的余裕が背景になければならないことになる。もしそのような時間的余裕がない場合には増分のトリップ  $g_2 - g_1$  はサイクル内で消化されねばならず、連関パターンの変更を通じてサイクル内に吸収されることになる。こういった場合は  $f_2 = f_1$  というように外出回数を現況値に固定しておき



$$f_1 (I - Y_2)^{-1} = g_2 \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 37)$$

より $Y_2$ を算出することになる。(算出法は先の第1法や第2法を採用すればよい。)こうして求められた $Y_2$ は、増分 $g_2 - g_1$ が全て現況と同じ数のサイクル内に内包される場合の遷移行列となっている。また、この場合は先のケースに較べて1サイクル内でのトリップ数が増すことになるのでトリップチェーンの扱いが極めて重要になってくる。現実には、将来のパターンは恐らく上に述べた2つのケースの中間として生起してくるものと思われるが、先のケースはトリップパターンの定型化の方向を代表するものであり、この場合、帰宅トリップ数は $\Delta f$ だけ増加するのに対し、後のケースでは外出回数(=帰宅トリップ数)は不変であり、1サイクル内でのトリップ数が増すことから、より確率的なトリップパターン行動がフィットするような構造が生起してくる。したがって将来予測においては、まず将来のトリップパターンと生活時間構成がどのような方向に向かうかという見当をつけた上で交通生成を考えることが非常に大切になってくるのである。

### 3.7 トリップチェーンの時空間における考え方

#### 3.7.1 概 要

前節までに我々はトリップチェーンについて、それを都市空間という平面で記述する方法について述べてきたわけであるが、現実のトリップチェーンはこの都市平面に時間軸を導入したところの時空間において生じていることに注目しよう。

トリップチェーンを時空間で把握する方法として現在までに考えられているのは次の2つである。

- (1) マルコフ再生理論を用いる方法
- (2) TIME/SPACE ANALYSIS

前者の方法は、前節までに紹介した都市平面における定常なマルコフ連鎖モデルに時刻分布を導入しようとするものであり、後者のTIME/SPACE ANALYSISというのは、とくに欧州において最近台頭してきたものであり、時間軸において各種のactivityへの時間配分を問題にしようとするミクロな分析方法である。<sup>23),24),38)</sup>

本節ではこの2つの方法を中心に時空間におけるトリップチェーンの扱い方を考えてゆこうとするが、その前に何故トリップチェーンを時空間に拡大して考えてゆくことが必要であるかについて言及しておかねばならない。

パーソントリップ手法によって交通需要推計をする場合、トータルの交通生成量はトリップ目

的別生成原単位と職種別人口を得て予め決定されており、ついでそこにトリップ目的の連関モデルを導入することにより1日の行動を平面的に追跡できることが前節までで明らかにされた。そしてそれは時刻を捨象した場合の1日の交通量の分布パターンを求めるのに有効であった。交通計画において必要とされる情報はその交通計画の水準に依存しているのものであって、1日交通量を対象とするレベルでの交通計画にとっては今までの情報で十分であるが、さらにミクロなレベルでの交通計画はさらに細かい情報を必要とし、時刻別又は時間帯別の交通パターンを必要とする場合もある。交通施設の容量計画にとってはピーク時の交通量を必要とし、さらに都市内諸活動にある種の時間帯制限(又は推奨)を設けるときの波及効果は恐らく交通パターンに多大の影響を及ぼすであろうことから、その政策評価にとって交通パターンと時刻との関係を把握しておくことが是非とも必要となる。前者に関する情報はトリップの時刻分布や、各種の交通施設での滞留時間分布が中心となり、それは伝統的な方法で推計することが可能である。しかし、後者の場合、恐らく社会制度の変更として位置づけられるであろう各種の時間帯規制や時刻に関する調整を含んでいることから、その交通パターンに及ぼす影響は計り知れない。それらのうち主要なものは

- (i) 勤務時間の短縮(一方での余暇時間増)
- (ii) 時差出勤、時差退社
- (iii) 商店等の営業時間帯の変更(地域別、業態別)
- (iv) 週休2日制度

などである。(i)については、勤務時間が短縮されることにより、必要な業務活動を短縮された時間帯で消化する必要上、業務活動(トリップ)の密度が高まる可能性がある反面、業務活動の合理化・システム化を促すという側面も現われるであろう。そして勤労者の個人的側面としてはそれは余暇時間増となって現われるので、自由裁量トリップの生成機会が増大することになる。(ii)については、トリップの時刻分布の形状がやや変わるだけであり、交通パターンにはそれほど影響しないであろう。(iii)については、商店従業者への影響も無視できないが、商店への顧客の買物交通が大きな影響をうける。とくに百貨店・スーパー・娯楽施設などの営業時間帯の変更は基本的な生活パターンの変更にまで波及するであろう。もし営業時間が短縮されるとなると買物客の特定の時間帯への集中を呼ぶことになるであろう。(iv)については、週末の余暇時間が増加することにより、平日の余暇時間の過し方に影響を及ぼすことが予想される。すなわち、従来ウィークデイに組まれていたある種の余暇活動がウィークエンドに設定される場合など。

このように時間・時刻に関する社会制度の変更は交通に多大の影響を与える。しかしトリッ

プの絶対量は恐らくトリップメーカーの内的必要性に由来するものであってさほど影響をうけないであろう。最も影響をうけるのはトリップチェーンである。したがって上記のような制度の変更がある場合には、将来予測法としてのマルコフ連鎖モデルが適当であるか否かは今のところ定かでない。短期予測ならびに時刻に加えられる変更が微量であるかぎりにはマルコフ連鎖モデルは依然として有効である。そしてその変更が自由裁量行動を促すようなものであればあるほどマルコフ連鎖モデルは活きてくる。しかし、他方その変更が自由裁量の余地をせばめるようなものであれば交通パターンは画一化の傾向を示すことになり、マルコフ連鎖モデルの有効性が薄れる。そしてその際にはTIME/SPACE ANALYSISのようなマイクロな方法を用いて、トリップメーカーの行動規範にまで遡行してみることによってマクロ化の方向を模索することになるであろう。

### 3.7.2 マルコフ再生理論を用いる方法

マルコフ再生理論を用いて時空間でのトリップチェーンを記述する試みがGilbert(1972)らによってなされている。我国でも、佐佐木・松井(1968)、加藤・宮城(1974、1975)らによってゾーン間移動の連関をマルコフ再生理論又はセミマルコフ過程によって表わすことが試みられている。しかし、これらの研究においては「トリップ目的の連関」と「ゾーン間移動におけるゾーンの連関」とが分離されていない。すなわち、滞在時間分布はゾーンにのみ依存することと、隠れマルコフ連鎖(Inbedded Markov Chain)はゾーン間のSimple Markov Chainであること、などが仮定されている。しかし実際問題としては滞在時間の分布はゾーンの性格よりもそのゾーンでの活動の種類により強く依存していると考えられるので、ここでは次のように問題を考え直すことにする。

- (I) 隠れマルコフ連鎖としてはトリップ目的に関する吸収マルコフ連鎖と、ゾーン間移動に関するSimple Markov Chainの2つを結合したものを考える。
- (II) 滞在時間(sojourn time)分布は、現在の活動と次に行なう活動にのみ依存する。
- (III) トリップ時間は、そのトリップの出発地における活動時間に含めるものとする。
- (IV) トリップ目的とトリップ目的地での活動とは同義とする。たとえば「出勤」という状態は本来トリップ目的の名称であるが、ここでは特にことわらない限り出勤先での「勤務活動」と同義であることにしておく。

いま $F_{mn}(t)$ を活動 $m$ に入ってから次に活動 $n$ に推移するという条件のもとでの、活動 $m$ における滞在時間が $t$ 以下であるという条件付確率分布とする。

$$F_{mn}(t) = P\{T_{k+1} - T_k \leq t \mid X_k = m, X_{k+1} = n\}$$

ここに  $X_k$  は  $k$  番目の活動を、 $T_k$  は  $k$  番目の活動状態に入った時刻を示す。いま活動の種類は  $M$  種とし、それらは帰宅（≡在宅）を除く非吸収的なトリップ目的（活動）であるとしておく。この  $F_{mn}(t)$  は次のような性質をもつ。

$$\left. \begin{aligned} F_{mn}(t) &= 0 & (t \leq 0) \\ 0 \leq F_{mn}(t) &\leq 1 & (t \geq 0) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} F_{mn}(t) &= 1 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} (m = 1, 2, \dots, M) \\ (n = 1, 2, \dots, M, M+1) \\ M+1: \text{帰宅} \end{array}$$

そして  $F_{mn}(t)$  の確率密度を  $f_{mn}(t)$  とする。

$$f_{mn}(t) = \frac{d}{dt} F_{mn}(t)$$

また、トリップ目的間遷移行列を

$$Y = \{ y_{mn} \}, (m, n = 1, 2, \dots, M)$$

で表わすとき、目的  $m$  に入ってから  $t$  時間後に目的  $n$  へ推移するという条件付確率分布は

$$Q_{mn}(t) = y_{mn} F_{mn}(t) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 38)$$

で与えられる。ただし

$$Q_{mn}(0) = 0, \quad \sum_n Q_{mn}(\infty) = \sum_n y_{mn}$$

この  $Q_{mn}(t)$  を要素とする行列  $Q(t) = \{ Q_{mn}(t) \}$  はセミマルコフ行列と呼ばれ

$$\begin{aligned} \bar{Q}(t) &= \{ Q_{mn}(t) \} \\ &= Y \otimes F(t) \end{aligned}$$

で表わす。ここに  $F(t) = \{ F_{mn}(t) \}$  で、演算記号  $\otimes$  は対応する要素とおしの積を意味する。ここでこの行列  $Q(t)$  の各要素  $Q_{mn}(t)$  をゾーンの個数  $N$  だけ次元を拡大し対角にならべた行列を

$$\bar{Q}(t) = \left[ \begin{array}{ccc|ccc|ccc} Q_{11} & & & Q_{12} & & & \dots & & Q_{1M} \\ & \dots & & & \dots & & & & & \dots \\ & & Q_{11} & & & Q_{12} & & & & Q_{1M} \\ \hline Q_{21} & & & Q_{22} & & & \dots & & Q_{2M} \\ & \dots & & & \dots & & & & & \dots \\ & & Q_{21} & & & Q_{22} & & & & Q_{2M} \\ \vdots & & & \vdots & & & \ddots & & & \vdots \\ \hline Q_{M1} & & & Q_{M2} & & & \dots & & Q_{MM} \\ & \dots & & & \dots & & & & & \dots \\ & & Q_{M1} & & & Q_{M2} & & & & Q_{MM} \end{array} \right]$$

で表わし、これに目的別ゾーン間推移行列

$$P = \begin{pmatrix} P^1 & & & \\ & P^2 & & \\ & & \dots & \\ & & & P^M \end{pmatrix}, \quad P^m = \{ p_{ij}^m \}, \quad \sum_j p_{ij}^m = 1$$

$$(m = 1, 2, \dots, M)$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, N)$$

を乗じたものを

$$\overset{*}{Q}(t) = \bar{Q}(t) \cdot P \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 39)$$

で定義する。この行列は  $(M \times N)$  行  $(M \times N)$  列となっており、その要素  $y_{mn} F_{mn}(t) p_{ij}^n$  は目的  $m$  でゾーン  $i$  にいるものが  $t$  時間後に目的  $n$  でゾーン  $j$  に推移するという条件付確率分布を表わしている。

つぎに、時刻  $t=0$  において、活動  $m$ 、ゾーン  $i$  にいたものが  $(0, t)$  間に活動  $n$ 、ゾーン  $j$  を訪れる回数の期待値を  $R_{ij}^{mn}(t)$  で表わせば、この  $R_{ij}^{mn}(t)$  を要素とする行列

$$R(t) = \{ R_{ij}^{mn}(t) \} = [ I - \overset{*}{Q}(t) ]^{-1} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 40)$$

をマルコフ再生行列という。

他方、活動  $m$  から次に活動  $n$  に移る人の平均滞在時間は

$$\tau_{mn} = \int_0^\infty t f_{mn}(t) dt \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 41)$$

であり、単なる活動  $m$  での平均滞在時間は

$$\tau_m = \sum_n y_{mn} \tau_{mn} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 42)$$

また、活動  $m$  での全ての人の滞在時間の分布関数は

$$H_m(t) = \sum_n Q_{mn}(t) = \sum_n y_{mn} F_{mn}(t) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 43)$$

であるから

$$\begin{aligned} \tau_m &= \sum_n \{ y_{mn} \int_0^\infty t \cdot dF_{mn}(t) \} \\ &= \int_0^\infty t \cdot dH_m(t) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 44) \end{aligned}$$

とも書ける。

いま、時刻  $t$  までにトリップ目的  $m$  でゾーン  $i$  を出発する累積交通量を  $A_i^m(t)$  とし、それを

次のような行列で表わす。

$$A(t) = \begin{pmatrix} A^1(t) & & & \\ & A^2(t) & & \\ & & \dots & \\ & & & A^M(t) \end{pmatrix},$$

$$A^m(t) = (A_1^m(t), A_2^m(t), \dots, A_i^m(t), \dots, A_N^m(t))$$

$$(m=1, 2, \dots, M)$$

このとき時間  $(0, t)$  における各ゾーンへの到着量は

$$V(t) = A(t) \cdot P + \int_0^t V(t-x) \bar{Q}(x) dx \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 45)$$

ここに

$$V(t) = \begin{pmatrix} V^1(t) & & & \\ & V^2(t) & & \\ & & \dots & \\ & & & V^M(t) \end{pmatrix},$$

$$V^m(t) = (V_1^m(t), V_2^m(t), \dots, V_j^m(t), \dots, V_N^m(t)),$$

$V_j^m(t)$  : 時間  $(0, t)$  にゾーン  $j$  へトリップ目的  $m$  で到着したトリップ数  
 $(j=1, 2, \dots, N)$

式 (3・45) において右辺第 1 項はベースを出発する第 1 トリップの着エンド数を、第 2 項は時刻  $(t-x)$  までに到着した交通量のうち  $x$  時間後に次のゾーンへ推移したトリップの着エンド数を表わしている。先述したとおりトリップの所要時分はその発エンドでの滞在時間に含まれていることから、ここではトリップは瞬時に完遂されるものとみなしている。

式 (3・45) は

$$V(t) = A(t) \cdot P + \left[ \int_0^t V(t-x) \bar{Q}(x) dx \right] P$$

$$= [A(t) + \int_0^t V(t-x) \bar{Q}(x) dx] P$$

$$= U(t) \cdot P$$

と書き直せる。ここに  $U(t)$  は時刻  $(t)$  までの累積発生量である。

さらに式 (3・45) は、たたみ込みを使って

$$V(t) = A(t) \cdot P + V * \bar{Q}(t)$$

と書け、さらに両辺のラプラス変換をとると

$$V(s) = A(s)P + V(s)Q^*(s)$$

となり、これより

$$\begin{aligned} V(s) &= A(s)P [I - Q^*(s)]^{-1} \\ &= A(s)PR(s) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 46)$$

を得る。ここに  $R(s) = [I - Q^*(s)]^{-1}$  は次の定理による。

[定理]<sup>39)</sup>(by Cinlar)

いま  $F$  をある分布関数とし、 $F^{(n)}$  を  $F$  の  $n$ -fold convolution ( $n$ 重たたみ込み) とする。そして  $R = \sum_{n=1}^{\infty} F^{(n)}$  と表わす。 $F$  と  $R$  のラプラス変換を

$$F_s = \int_0^{\infty} e^{-st} F(dt), \quad R_s = \int_0^{\infty} e^{-st} R(dt), \quad s \geq 0$$

とするとき、 $F^{(n)}$  のラプラス変換は  $(F_s)^n$  となり、また

$$R_s = (1 - F_s)^{-1}, \quad F_s = 1 - 1/R_s, \quad s > 0$$

が成立する。(証明略)

同様にして発生量は

$$\begin{aligned} U(t) &= A(t) + \int_0^t V(t-x)Q(x)dx \\ &= A(t) + V * Q(t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 47)$$

であるから

$$\begin{aligned} U(s) &= A(s) + V(s)Q(s) \\ &= A(s) + A(s)PR(s)Q(s) \\ &= A(s) [I + PR(s)Q(s)] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 48)$$

となる。OD表は、この  $U(t)$  を対角にならべた行列を  $\bar{U}(t)$  で表わすとき

$$I(t) = \bar{U}(t)P \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 49)$$

すなわち

$$I(s) = \bar{U}(s)P \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 50)$$

で与えられる。(3.46)、(3.48)、(3.50) 式より  $V(t)$ 、 $U(t)$ 、 $I(t)$  を得るには、それぞれ逆変換をとればよい。また1日交通量を求めるには式(3.45)、(3.47)、(3.49)の3式に

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t), \quad \bar{Y}^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \bar{Q}(t)$$

を代入すると

$$\begin{aligned} V &= AP (I - \bar{Y}^* P)^{-1} \\ U &= A + V \bar{Y}^* = A + AP (I - \bar{Y}^* P)^{-1} \bar{Y}^* \\ T &= \bar{U} P \end{aligned}$$

となり、これらはそれぞれ本章第4節で紹介した吸収マルコフ連鎖モデルによる定式化に一致する。

### 3・7・3 TIME/SPACE ANALYSIS

人間の活動と交通行動をTIME（時間軸）とSPACE（都市空間）とからなる3次元空間において分析する方法であり、その基本となる考え方が図3・7・1に示されている。縦軸は時刻を、横軸

の平面は都市平面を表わしている。いま活動（activity）1,2,3はそれぞれ固定された時間帯において定義されている。例えば1として勤務、2として学校における講義、3として買物など、と考えてみればよい。朝、自宅を出たAさんは出勤トリップ（斜線部）で会社に向かい、そして勤務（縦線）終了後、元の出発点である自宅へと帰宅する。またAさんは勤務中に近くの得意先に業務で出かけたのかもしれない。一方、学生であるBさんは放課後、町へ買物に出かけている。破線で示されているのは、Aさんが帰宅したのちにBさんに電話をかけていることを示している。このように都市に住む全ての人々について、1日の行動をこの図のように3次元

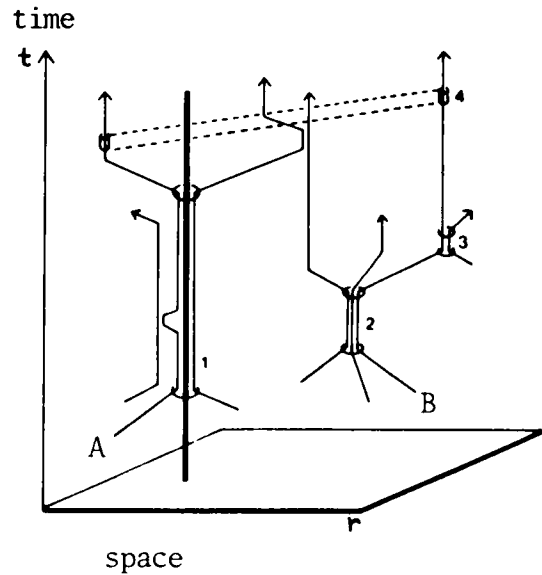


図3・7・1 time and space

元的パターン化して表現することができる。また図に示された1つのバンドは1つの施設あるいはあるゾーンの同種の施設の集合などと考えることができる。この図を立面面に投影したものが図3・7・2(a), (b), (c)である。いま速度 $v$ なる交通手段を利用して交通する人の行動可能領域は



(a)図のような点 $P_1$ を頂点とする円錐形で表わすことができる。速度 $v$ が大きくなるほど円錐形の体積、すなわち行動可能領域が増大する。今、図(b)において座標 $P_1(r_1, t_1)$ にいるものが、次に座標 $P_2(r_2, t_2)$ に移動することが予め規定されている場合、この人の時間 $t_2 - t_1$ における行動可能領域は上からの円錐体と下からの円錐体の重なる部分として表わすことができる。この界面は楕円である。すなわち $(P'_1, P'_2)$ 点を焦点として、その2点からの距離の和が一定となる点の軌跡となっている。その楕円上に存在する地点は、時間 $t_2 - t_1$ 内に速度 $v$ なる交通手段を利用して到達し得る最遠点となっている。(図3・7・3参照) もし、この時空間領域がある種の活動を遂行するに十分な大きさを持っている場合に、この人は(c)図のように1つの活動を挿入することができる。たとえば退社時刻と、夜会パーティに招かれている時刻との間に十分な余裕がある場合、彼はプレゼントを買いにゆく時間的ゆとりが生ずるという場合などである。ただし、この新たな活動に要する時間を一定とし、それを線分で表わすとき(b)図の平行四辺形の中にこの線分がお

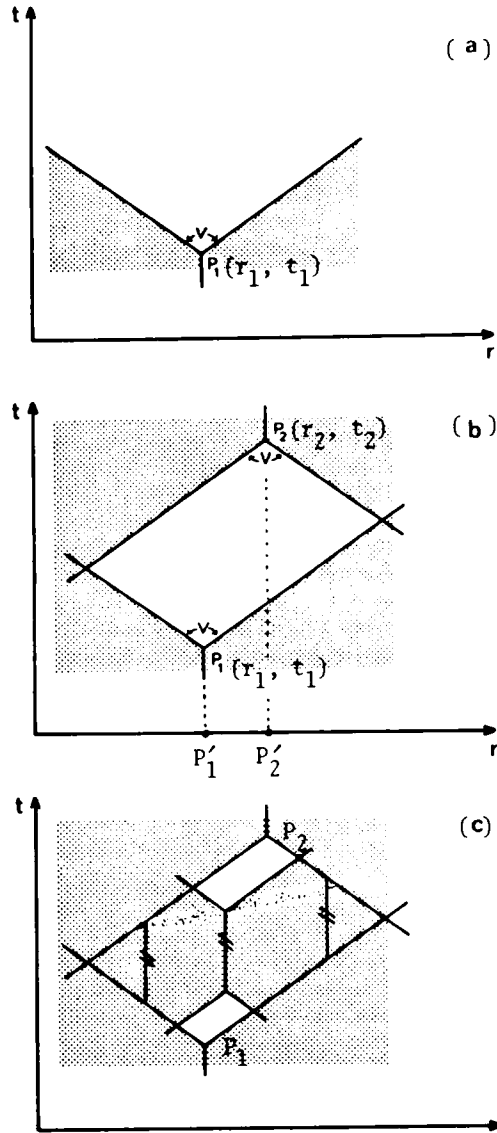
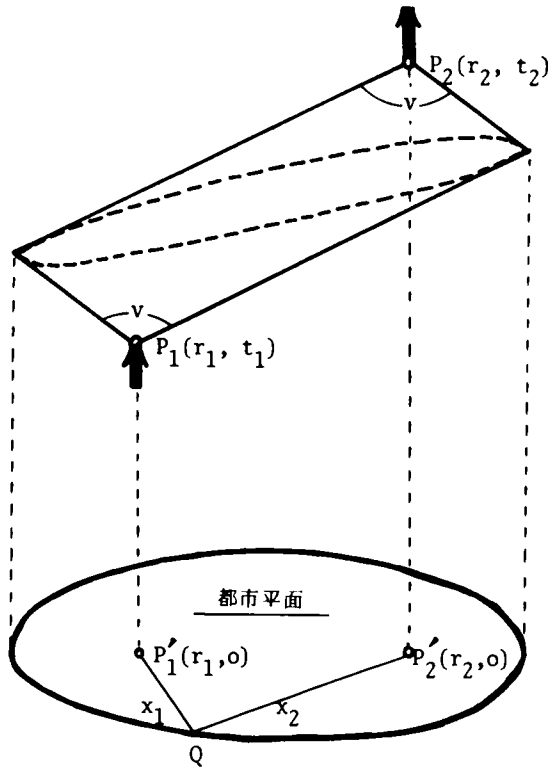


図3・7・2 行動可能領域

さまるような地点しか選択できない。したがって最遠点の図形もせばめられる。(図3・7・3参照)

TIME/SPACE ANALYSIS とは以上のような枠組のもとで、各人の行動パターンを決定しようとするマイクロな手法総体を指す。Jones (1976)によれば次のような3つの方法が試みられている。

- (1) Gaming Model
- (2) Linear Programming Model
- (3) Activity Decision Trade-off Model



Remarks :  $x_1 + x_2 = (t_2 - t_1)v = \text{Const.}$

或る活動(所要時間  $S$ )を追加する場合、上の楕円は

$$x_1 + x_2 = (t_2 - t_1 - S)v$$

とせられる。

図 3・7・3 都市平面での到達可能領域

(1)の方法は、世帯の構成メンバー各々について、共通行動や世帯保有の車を誰が利用するかといった世帯における協調、競合の状況をゲームにみ立てて、地理的ならびに組織的な制約のもとでの各プレイヤーの行動をモデル化しようとする方法である。(2)の方法は、各種の制約下で、個人は1日の総旅行時間を最小にするトリップチェーンを決定する、というモデルである。(3)の方法は、先述した図(c)のように、2つの固定された時刻、地点  $\{P_1(r_1, t_1), P_2(r_2, t_2)\}$  のもとで、この個人は可処分時間  $t_2 - t_1$  をどのように使うかを、コスト・ベネフィット流の方法で決定しようとするマイクロモデルであって、トリップ生成原単位と関係づけて問題が設定される。

上記3法はいずれもマイクロモデルであり、規範的な行動パターンを求めるには説得力はあっても、都市構

成員全体についての aggregation の問題ならびに将来予測という問題には有効ではない。確かに図 3・7・1～図 3・7・3 で示されたトリップチェーンの時空間でのパターン化は簡潔で説明力をもっているが、実際に提案されているモデルの利用価値は低い。すなわち図 3・7・1 に示された3次元のパターンは、

- (i) space 上の点は「土地利用」ならびに「施設分布」を与えていること。
- (ii) space 上の点を結ぶ線分は「OD分布」であること。
- (iii) time-space における斜線の傾きは「交通手段」の種類に対応していること。
- (iv) time-space における縦方向の線分は「活動時間」を与えていること。

という4項目を成分としていることが一目瞭然であり、したがって上記4項目のどれか一つに変

更を加えたとき、そして他の条件にして等しいかぎり、その与える影響を視覚的に把えることができる。しかし、それはあくまでも説明用のツールであってモデルではない。そして提案されている各モデルも今のところ非現実的な理論モデルである。都市活動を time-space という3次元で、しかもその活動の生起条件、活動時間についてまで決定しようというのはいわば都市社会全体のモデルを作ることと同義なのであって、モデルビルディングの目的を明確化をまずはかるべきであり、その目的にしたがったサブモデルを連動させてゆくべきであろう。

### 3.8 結 語

本章はトリップチェーンの記述と予測と題し、トリップチェーンにおける交通機関分担プロセス（第4章第4節）を除くすべての領域をとり扱ったものである。第2節では交通需要予測という観点から従来のトリップチェーン研究が回顧され、吸収マルコフ連鎖モデル以外については交通需要予測に資することが困難であることが述べられた。そして今後の展望として、(1)トリップチェーンのシステムティックな追跡、(2)モーダルスプリット、(3)将来のパターン変化、という3点に留意して分析が展開されるべきであると結論している。（本研究はまさにこの3点に留意した研究を中心に構成されている。）

第3節では、京阪神都市圏P.T.調査（1970）とオクスフォード大学のHeggie氏がまとめた欧米諸国のトリップチェーン研究調査とを具体的な事例として、トリップチェーンの実態の紹介とその分析にあたっての種々の概念規定を中心に説明を加えた。ベースとサイクルという概念を導入することによってトリップチェーンの実態から帰結し得ることは、Home-based・域内閉包・完全トリップパターンというclosedなトリップチェーンが実数上圧倒的であることから、これをうまく体系的に記述するモデルが必要なこと。かつ1サイクル当りのトリップ数が増すにつれてそのサイクル数が遞減してゆくことから、吸収マルコフ連鎖等による数学的記述の可能性が示唆されること、などである。

第4節は吸収マルコフ連鎖理論によってトリップチェーンを記述するモデルを中心に構成されており、第2項では発生・吸引交通量の算定法、第3項ではOD交通量の算定法が、そして第4項では吸収マルコフ連鎖モデルを適用する場合に仮定しているいくつかのことからについての解説がなされている。そこでは主にトリップチェーンを確率論的にとり扱うことの是非を中心に論じ、目的間遷移行列の定常性については第5節でデータを基に考察している。さらに第5節と第6節では、目的間遷移行列に2通りの定義方法が存在することを示し、それらの比較検討が詳細になされている。第1法は「みかけの遷移行列」、第2法は「最大推定の遷移行列」と呼んでいるが、予測という観点からは第2法の方がすぐれていることが明らかにされる。すなわち、第2

法は必ず非負の確率を得ることができること、予測方法が第1法に較べて簡易なこと、を主な理由としている。さらに予測においては短期・中期・長期という期間の長さによって異なる方法が用いられるべきであるということに注意をはらう必要があるとしている。

第7節では、トリップチェーンを時空間において把握する試みが2つ述べられている。これは今後の課題と思われるので、ここでは紹介にとどめておいた。

### 第3章 参 考 文 献

- 1) 佐佐木綱 (1967) : \*トリップパターンの一分類法\*、「交通工学」 Vol. 4, No. 1.
- 2) 佐佐木綱、岡本利章 (1971) : \*パーソントリップ手法の解析と適用\*、第10回日本道路会議、特定課題論文集。
- 3) 京都都市圏交通計画調査報告書 (1970)
- 4) 近藤勝直 (1970) : \*都市内の交通機関別OD交通量の推定\*、京都大学修士論文。
- 5) 佐佐木・近藤 (1972) : \*連鎖トリップにおけるモーダルスプリット\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 6) SASAKI, T. (1971) : \*Estimation of Person Trip Patterns Through Markov chains\*、Proc. of the 5 th International Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by G.F. Newell, Berkley Calif.
- 7) KONDO, K. (1974) : \*Estimation of Person Trip Patterns and Modal Split\*、Proc. of the 6 th Intl. Symp. on Transpn. and Traffic Theory, Ed. by D.J. Buckley, Sydney, Australia.
- 8) 加藤・宮城 (1974) : \*マルコフ再生理論による都市交通モデルについて\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 9) ————— (1975) : \*岐阜市における行動時間特性\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 10) 小川・山形・渡部 (1975) : \*札幌市におけるトリップチェーンの分析\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 11) 松井・仲村 (1975) : \*交通目的連関行列を用いた発生集中交通量の予測モデル\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 12) ————— (1975) : \*交通目的連関行列の将来予測に関する一考察\*、JSCE全国大会概要 (IV)。
- 13) 杉山 (1975) : \*都市における施設の立地と業務トリップとの関連性\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 14) 松井寛 (1976) : \*交通目的連関行列を用いた発生集中交通量の推定法\*、「交通工学」 Vol. 11, No. 1.
- 15) 近藤 (1976) : \*トリップチェーンの記述と予測\*、JSCE全国大会概要集 (IV)。
- 16) 佐佐木綱、松井寛 (1968) : \*会場内の観客流動モデル\*、Proc. of JSCE, No. 159.

- 17) Richard, E., Wigan, M.R. (1973) : ♪ Markov Models for the Analysis of Linked Trips over Multimodal Journeys, ♪ TRRL Working Draft.
- 18) Vidakovic, V.S. (1971) : ♪ A Study of Journey Series: an integrated interpretation of the transportation Process, ♪ Proc. of the 5 th Intl. Sympo-on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by G.F. Newell, Berkley Calif.
- 19) ——— (1974) : ♪ A Harmonic Series Model of the Trip Chain, ♪ Proc. of the 6 th Intl. Sympo. on Transpn. and Traffic Theory, Ed. by D.J. Buckley, Sydney Australia.
- 20) Horton, F.E., Schuldiner, P.W. (1967) : ♪ The Analysis of Land-use Linkages, ♪ HRR No 165.
- 21) ———, Wagner, W.E. (1969) : ♪ A Markovian Analysis of Urban Travel Behavior: Pattern Response by Socioeconomic-Occupational Groups, ♪ HRR No 283.
- 22) Daws, L. F., McCulloch, M. (1974) : ♪ Shopping Activity Patterns : a travel diary study of Watford, ♪ Building Research Establishment Current Paper CP31/74, Building Research Station
- 23) Jones, P.M. (1975) : ♪ The Analysis and Modelling of Multi-trip Journeys, ♪ Oxford University TSU Working Paper No 6.
- 24) ——— (1976) : ♪ Travel as a manifestation of activity choice: Trip generation re-interpreted, ♪ Oxford Univ. (unpublished)
- 25) Hensher, D.A. (1975) : ♪ Multi-trip and Multi-purpose Journeys: Some Suggestions, ♪ Oxford Univ. TSU Working paper No 15.
- 26) Gilbert, G., Peterson, G.L. and Schofer, J.L. (1972) : ♪ Markov Renewal Model of Linked Trip Travel Behaviour, ♪ Proc. of ASCE, TE691-704.
- 27) オーバーガード (1968) : ♪ 都市運輸計画における交通量推定 ♪、関西鉄道協会・都市交通研究所訳。
- 28) Heggie, I.G. (1976) : ♪ Multi-trip and Multi-purpose Journeys, ♪ Traffic Engineering and Control, April.
- 29) 京阪神都市圏 P T 調査報告書、「トリップ生成の解析」 (1974)。

- 30) Garbrecht, D. (1973) : ◊ Describing Pedestrian and Car Trips by Transition Matrices, ◊ Traffic Quarterly, pp. 89-109.
- 31) Wilson, A.G., Kirkby, M.J. (1975) : ◊ MATHEMATICS FOR GEOGRAPHERS AND PLANNERS, ◊ CLARENDON PRESS OXFORD.
- 32) 佐佐木綱 (1974) : 「都市交通計画」、国民科学社。
- 33) Bexelius, S, Nimmerfjord, G, Nordqvist, S and Read, E (1969) : ◊ Studies in Traffic Generetics, ◊ National Swedish Building Research, Document No 2.
- 34) Sasaki, T. (1968) : ◊ A Probabilistic Model of Trip Distribution, ◊ Proc. of the 4 th Intl. Sympo. on the Theory of Traffic Flow, Karlsruhe, Germany.
- 35) 井上博司 (1974) : ◊ 分布交通量推計に関する一考察◊、土木学会全国大会概要集(Ⅳ)。
- 36) Cochrane, R.B. (1975) : ◊ A Possible Economic Basis of the Gravity Model, ◊ Jour. of Transport Economics and Policy, Vol. IX, No 1. Jan.
- 37) Wilson, A.G. (1967) : ◊ A Statistical Theory of Spatial Distribution Models, ◊ Transpn. Res., 1, No 3.
- 38) Hagerstrand, T (1973) : ◊ The Impact of Transport on the Quality of Life, ◊ Introductory Reports No 1., Fifth Intl. Sympo. on Theory and Practice in Transport Economics, Athens, 22-25 Oct., 1973.
- 39) Cinlar, E. (1975) : ◊ INTRODUCTION TO STOCHASTIC PROCESSES, ◊ Prentice-Hall, Inc.

## 第4章 交通機関分担プロセス

### 4.1 概 説

パーソントリップ手法は別名5段階推計法とも呼ばれ、従来の4段階推定法（発生・集中交通量推計、分布交通量推計、配分交通量推計、評価）において配分交通量推計プロセス以前に交通機関分担プロセスが追加されたものである。パーソントリップ手法の特徴は、

- (1) 人間を単位として交通量をとり扱うこと、すなわちトリップ生成原単位という比較的安定した値を用いることにより総交通量をある値に押えることができる。従来の方法ではトリップの発生量と経済指標とがダイレクトに結びつけられていたがゆえに経済指標の変動を大きく受けるという側面があったが、上のように考えることによって過大な交通投資を避けることが可能となった。
- (2) 交通機関分担のプロセスを導入したことにより、交通機関相互にバランスのとれた交通体系のあり方を検討することが可能となった。従来は交通機関毎に別個に需要推計がなされていたのであるが、人間を単位として交通量が1本化され、しかるのちに各交通機関に配分するのであるから、交通時間、交通費用、ネットワークのあり方などに検討を加えることができる。すなわち総合的な交通体系形成の為の基本的な手法として意義づけられること。

とまとめられよう。ところがこの交通機関分担のプロセスは他の4つのプロセスに比して、その構造すなわち交通機関選択のメカニズムが複雑かつ多岐にわたることから、アプローチの方法も数多く存在し、まだ支配的な方法が存在せず、それがこの分野をチャレンジャブルなものとしている。

交通機関分担プロセスは、先の4段階推計フローのどの位置で実行するかによって

- (i) 全域モデル
- (ii) Pre-distribution モデル (Trip-End Model)
- (iii) Post-distribution モデル (Trip-Interchange Model)

にわけることができる。(i)の全域モデルとはトリップを発生させる前、すなわちトリップ生成の段階で分担を行なわせしめるもので、モード $k$ の分担率を次のように定義するやり方である。

$$\eta_k = T_k / T, \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 1)$$

ここに $\eta_k$ ：モード $k$ の分担率、 $T_k$ ：モード $k$ による交通生成量、 $T (= \sum_k T_k)$ ：全域の交通生成量、 $K$ ：モード数。



(ii)のPre-distributionモデルは、別名 Trip-End Modelと呼ばれ、トリップを分布させる前、すなわち発生・集中の段階で分担させようとするやり方である。いま第  $k$  モードについて、トリップの発エンドにおける分担率ベクトルを

$$\lambda_k = (\lambda_1^k \lambda_2^k \dots \lambda_i^k \dots \lambda_N^k)$$

トリップの着エンドにおける分担率ベクトルを

$$\mu_k = (\mu_1^k \mu_2^k \dots \mu_j^k \dots \mu_N^k)$$

で表わす。各ゾーンの発生量を  $(U_1 U_2 \dots U_i \dots U_N)$ 、集中量を  $(V_1 V_2 \dots V_j \dots V_N)$  とするとき、第  $k$  モードによる発生量は

$$U^k = (U_1 \lambda_1^k, U_2 \lambda_2^k \dots U_i \lambda_i^k \dots U_N \lambda_N^k)$$

第  $k$  モードによる集中量は

$$V^k = (V_1 \mu_1^k, V_2 \mu_2^k \dots V_j \mu_j^k \dots V_N \mu_N^k)$$

で表わされる。ここに  $\sum_i U_i = \sum_j V_j$ 。このとき第  $k$  モードトリップに特有なゾーン間遷移行列を

$$P^k = \{ p_{ij}^k \}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, N)$$

$$\sum_j p_{ij}^k = 1$$

とすれば

$$U^k P^k = V^k \quad \dots \dots \dots (4 \cdot 2)$$

が成立する。この(4.2)式で表わされる条件のもとに、ベクトル  $\lambda_k, \mu_k$ , 行列  $P^k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) を決定しようとする方法がトリップエンドモデルと呼ばれるものである。

(iii)のPost-distributionモデルは、別名 Trip-Interchange Modelとも呼ばれ、分布交通量を得た後にゾーンペア毎に分担を行なわせしめる方法である。すなわち  $X_{ij}$  を  $(i, j)$  間OD交通量、 $X_{ij}^k$  を第  $k$  モードによる  $(i, j)$  間交通量、 $\gamma_{ij}^k$  を第  $k$  モード分担率とするとき、

$$X_{ij}^k = \gamma_{ij}^k X_{ij}$$

によって  $X_{ij}^k$  を求めようとする。

(i)の全城モデルはゾーンの性格とかゾーンペアの状態とかいった都市内のマイクロな状況を反映させることができないが、都市全域の交通体系とか都市規模といった都市に関するマクロな変量を織り込むことができ、都市比較を行なう場合などに有効である。

(ii)のPre-distributionモデルでは、ゾーンペア毎の各種交通機関の競合状態を直接に反映させることはできないが、トリップエンドでのゾーン特性(密度、ネットワーク)ならびにトリップメーカーに課せられたinstitutionalな制約条件(勤務先ならびに世帯における制約条件)などをモデルに反映させることができる。

(ii)の Post-distribution モデルでは、ゾーン間に多種存在する交通機関相互の競合状態をモデルに陽に組み込むことができるため、各種の交通政策や交通サービス改善の効果を計量的に知ることができ、総合的な交通体系の構成に益するところが大きい。

しかし以上(i)、(ii)、(iii)のいずれの方法を採用するかは、それぞれのスタディの目的によって当然異なってくるのであるが、都市全体で議論する時には(i)が、トリップエンドにおける決定要因の比重が高い時には(ii)が、都市間トリップとか、代替交通手段との比較の上で交通機関選択を行っている人 (choice rider) については(iii)が、それぞれ有効な方法となる。

以上は推計プロセスとの関連でみた分類であったが、交通機関選択モデルはさらにいくつかの観点から分類される。たとえば、

- a. 代表交通手段選択モデル
- b. Mixed Mode モデル
- c. モード選択モデル
- d. 機能選択モデル
- e. ミクロ・モデル (normative analysis)
- f. マクロ・モデル (positive analysis)
- g. トリップチェーン・モデル
- h. 単一トリップ・モデル

などが重要な分類である。

a. の代表交通手段選択モデルとは従来から採用されてきた方法であり、1トリップを構成する複数の交通手段 (ジャーニー) の中から何らかの基準をもって代表となる交通手段を定義し、それをもって複数のジャーニーを代表させるというやり方である。b. のMixed Modeモデルというのは、1トリップを構成する複数の交通手段 (ジャーニー) を明示的に取扱う方法であり、それらを総称してMixed Modal SplitまたはMixed Mode Choiceと呼ばれている。この方法は最近とくに重要になり、従来ややもすれば見落されたり無視されてきた端末やフィーダーサービスの交通手段の選択問題に光明を与えるものである。本章第3節ではこのMixed Modal Splitの各種の方法について紹介と検討を行なう。

c. のモード選択モデルというのは、鉄道とか自動車とかいうように実在の交通手段を対象とした交通機関選択モデルを指す。この方法では、例えば将来新種の交通システムが導入された場合にはその需要予測を行なうことができない。それに対しd. の機能選択モデルというのは実在のモードをその機能 (速度、料金 etc.) という点で抽象してしまい、その抽象された機能 (abstract mode) について選択モデルを構築しようとするものであり、モード選択モデルの欠

点を補うことができる。

e. のマイクロモデルというのは交通機関選択を個人毎の選択問題として定式化しようとするもので、いわば規範的なアプローチといえるのに対し、d. のマクロモデルというのは個人ではなく、集計量に関するモデルであるので実証性という点で交通計画にとっては好ましいといえる。

g. のトリップチェイン・モデルというのは、従来の交通機関分担法がh. でというような単一のトリップを対象としていたのに対し、本来の交通行動は1日でもみた場合連鎖的なパターンをもっていることに着目し、トリップの連鎖を考慮に入れて交通機関選択を行わせようという新しい試みであり、本章第4節で詳しく論じられる。

本章では都市内ならびに都市圏におけるトリップを対象とする交通機関分担法を中心に解説を加え、都市／都市圏にあつてはトリップエンドモデル／トリップチェインモデル／Mixed Modeモデルが有効であることが結論される。

## 4.2 制約下の交通機関選択

### 4.2.1 概 説

交通機関分担プロセスの近来的傾向として、ODペア間の交通機関の競合状況と交通機関選択とを結びつける形でのモデル、すなわちトリップインターチェンジ・モデルが一般的に多く用いられている。このモデルの特徴は、交通機関の競合状態がモデルに陽の形で明示的に組み込まれているため、交通体系の変化に伴う各交通機関の利用率の変化、あるいは様々な交通政策の及ぼす影響を計量的に把握できるという点に求められる。従来このようなモデルでは、トリップにあたってトリップメーカーに対して各交通手段の利用に関して「選択の自由性」(freedom of choice)を仮定することが多く、選択者は全く自由かつ合理的に交通手段の選択を行なうものとみなされてきた。しかし、私的交通手段としての乗用車の利用可能性、業務トリップにおける車利用実態、さらに競合・代替交通手段に関して個人の有する情報の不正確さなどを考えてみるとこの前提は必ずしも満足されているとは言い難い。したがって「選択の自由性」を前提とするモデルによって将来予測を行なう場合には、その予測精度における信憑性が問題になると同時に、新種交通手段の導入あるいは各種交通政策の及ぼす効果、といった点においてその予測値がバイアスを持つことは避けられない。とくに新種交通手段の導入といった現況の枠組からはみ出すような事態に対しては、その転換交通量は過小評価になる恐れも存在する。

こういったことから、我々は機関分担の解析ならびにそのモデル構築にあたって、「選択の自由性」という仮定をはずし、トリップ発生時の「制約」に着目する必要がある。考えるべき最も

重要な「制約」は以下の3制約であろう。

1. 交通ネットワークならびに交通施設容量等、トリップの発エンド、着エンドにおける空間的（密度的）制約 — spatial restraints.
2. 世帯、勤務先等の社会・経済的組織において固有に課せられた制約 — institutional restraints.
3. 主として個人属性に含まれるもので、荷物がある場合、子供連れの母親といった物理的な制約 — individual restraints.

これら3つの制約は互いに独立しているというわけではなく、むしろ現実的には3者が複雑に絡みあっており、分離して抽出することは難しい。個人属性といっても、その個人が組織の一員として活動する場合には組織的な制約の方が上位に置かれねばならないだろう。

上の枠組は、個人、個人の所属集団、それらを連結する空間を管理する交通行政当局、という3者の枠組でもある。交通行政当局は上記制約のうち2.ならびに3.についてはこれを管理することができない。交通当局がコントロールできるのは1.で示される制約要因を緩和し、新種交通手段の導入や既存の交通施設の整備・拡充、ならびに運賃体系の改変によって「選択の自由性」の領域を少しでも増大させることに限定される。しかも、こういった拡大された「選択の自由性」をもつトリップメーカーは2.ならびに3.の制約をうけない層であることに注意する必要がある。逆に言えば「選択の自由性」を保証されている層のみが1.の領域に対応しているとも考えることができる。

そこで我々のモーダルスプリットの方針は、1.で示された空間的制約、2.で示された組織的制約、3.で示された個人的な制約条件によって交通機関選択が拘束を受けたものを先取りし、しかる後に残った層をもって合理的選択をなし得る層と定義する。この後者の層をトリップインターチェンジ・モデルの対象とするのである。

#### 4.2.2 制約からみたトリップの分類

本項では昭和49年に大阪市で実施された調査<sup>3)</sup>をベースにして、<sup>3)</sup>々制約々に着目したトリップの分類を試みている。この調査は出勤トリップと業務トリップのみを対象としたものである。

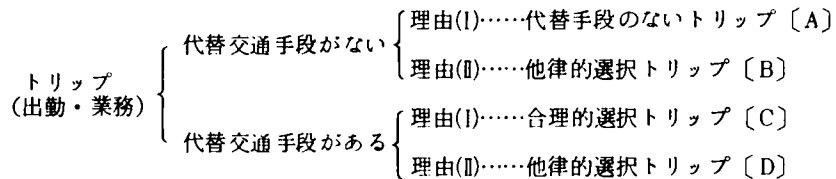
交通機関選択時の諸制約に着目しトリップ（もしくはトリップ主体）を次のような3つのグループに分類する。

- (i) 代替手段のないトリップ
- (ii) 他律的選択トリップ
- (iii) 合理的選択トリップ

(i)は、トリップに当って利用した交通手段以外に他の交通手段が存在しない部分を指し、主としてマストラシットのネットワークの制約をうけ、かつ車利用が不可能な部分からなっている。(ii)は、トリップ特性、勤務組織あるいは世帯内の諸関係から利用交通手段が他律的に決定されている部分を指す。(iii)は、従来のモデルで扱われてきた部分であり、トリップ主体はOD間の諸交通機関の特性をよく把握した上で、最適な交通手段もしくはルートを選択していると考えられることができる。

これらのうち、(i)、(ii)については利用手段がマストラのネットワーク、トリップ特性、主体属性等により、他の交通機関との競合状況に関係なく予め決定されていると考えられるわけである。したがって、交通機関分担予測のプロセスにおいては、これら各グループの構成比率の予測が主要な問題となる。

本分析における上記3グループの分類基準は以下のとおりである。出勤トリップについては通常用いられる交通手段に対する代替交通手段を、業務トリップについては調査日の交通手段に対して本来とりたかった交通手段を尋ねており、一方、選択理由については他律的理由(II)と合理的理由(I)の範ちゆうを設定していることから、これらの組合せに従って以下のように分類された。



調査項目に対する回答は図4・2・1，図4・2・2のようなフローに従って回答することが要求されている。選択理由は表4・2・1に詳しい。

表4・2・1 選択理由分類

I	01	早くいけるから	II	01	雨が降ったから
	02	安くいけるから		02	家族の他の者が車を使ったから
	03	座れるから		03	他の方法がよくわからないから
	04	タイヤが確実だから		04	他の方法を調べるのが面倒だから
	05	乗り換えが少ないから		05	同行者がいたから
	06	空いているから		06	免許がないから
	07	事故が少ないから		07	車をもっていないから
	08	行き先に駐車場がないから		08	荷物があったから
	09	駅まで行くのが便利だから		09	借りた車だから
	10	行き先での交通が便利だから		10	以後の行動に必要なから
	11	その他( )		11	前の行動が車であったから
			12	仕事での必要性から	
			13	会社が指定しているから	
			14	その他( )	

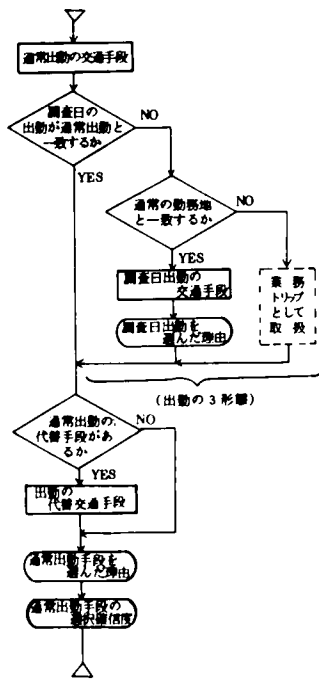


図 4・2・1 出勤トリップ調査事項

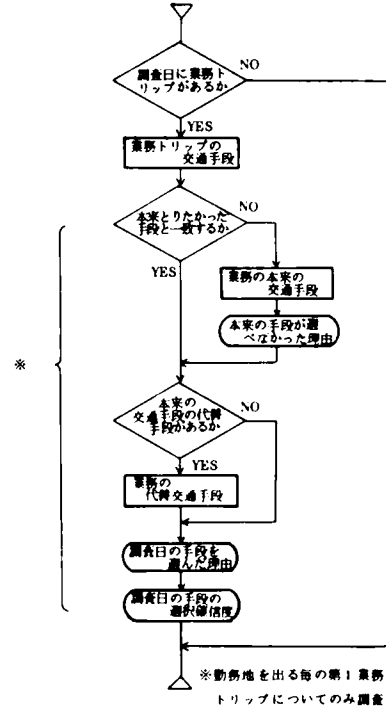


図 4・2・2 業務トリップ調査事項

理由(I)では交通機関の機能に関係する要因ならびに交通ネットワーク、交通施設に関係する要因が中心となっており、これらはいずれも個人またはその所属組織がコントロールできない要因でもある。他方、理由(II)には極めて個人的・組織的な理由が含まれている。

トリップ目的別の選択理由回答の実数は表 4・2・2 のようである。まずトリップ目的別にながめ

表 4・2・2 トリップの分類と実数

トリップ目的	トリップ分類	[A]	[B] + [D]	[C]
		代替手段のないトリップ	他律的選択トリップ	合理的選択トリップ
出勤 (2,158 トリップ)	(a)	734	143 + 22 = 165	1,259
	(b)	439	438 + 389 = 827	892
業務 (749 トリップ)	(a)	272	69 + 39 = 108	369
	(b)	160	181 + 225 = 406	183

注) (a)……選択理由(I)を優先させる場合、 (b)……選択理由(II)を優先させる場合

てみよう。出勤トリップについては、選択理由(I)を優先させる場合(a)と理由(II)を優先させる場合(b)とでは、後者の方が一様なパターンとなって現われていることに注意しよう。すなわち各トリップメーカーは代替手段の有無にかかわらず大なり小なり理由(II)というものに反応しているのである。これは本調査が選択理由の複数回答ならびに理由(I)、(II)の重複回答を許していることにも起因するのであるが、各人は何らかの制約下で交通手段選択を行ったことを意味し、その理由を優先させた場合は、各分類〔A〕、〔B〕、〔C〕、〔D〕毎の差がはっきりしなくなる。これに反して理由(I)を優先させた場合は、トリップ分類毎の差がはっきりと現われる。これは下段の業務トリップについても同様に言えることであり、各トリップメーカーは交通機関選択にあたって何らかの意味で制約を感じており、それが現われた結果だとみなすことができる。したがって理由(II)を優先してトリップメーカーを分類してもその差が明確にされない恐れがあるので、以下の分析はとくにことわらない限り理由(I)を優先させるケースについて実行される。

#### (1) 出勤トリップの分析

本項では大阪市に勤務地を持つ出勤トリップが分析の対象とされており、サンプルは2158トリップである。勤務地が大阪市内である関係上、車利用の通勤者はかなり少なく、したがって車利用に関する分析というよりも、大阪市を母都市とする京阪神都市圏における公共交通機関の利用パターンの分析が中心の課題となってくる。また、出勤という定常的トリップの分析にあたっては、偶発的条件に左右される調査日当日の手段ではなく、「通常的手段」もしくは「通常的手段に対する代替手段」がその対象とされている。

ここではまずはじめに、トリップメーカーの3層へのグルーピングがなされる。各層の人数は前掲表4・2・2に示されているが、この中から無作為に500人を抽出し、3グループへの帰属状況が数量化理論第Ⅱ類でもって判別分析された。外的基準は以下のとおりである。

(1) 代替手段のないトリップ（代替手段無し、選択理由Ⅰ）

(2) 他律的選択トリップ（選択理由Ⅱ）

(3) 合理的選択トリップ（代替手段有り、選択理由Ⅰ）

採用された説明要因とカテゴリー、ならびに分析より得られた各カテゴリーのレンジは表4・2・3に示すとおりである。レンジが最大の属性は「出発ゾーン」であり、以下「トリップ長」、「到着ゾーン」の順となっている。

出発ゾーンについては、大阪市と兵庫県（神戸市）に居住するものが第3層すなわち交通機関競争下での合理的選択層に傾いており、他の居住地のものは何らかの制約をうけていることが分る。着ゾーンについては、大阪市南部のものが制約をうけている。トリップ長については、所要時分が長くなるほど交通手段選択にあたって制約が強く存在するようである。また、職業につい

ては事務職、専門技術職の者は制約が少なく合理層に傾いている。

表4・2・3 出勤トリップの分類についての判別分析

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 年 令	① 30才以下	0.22333	0.	232
	② 31～40才		0.22333	142
	③ 41才以上		0.20614	126
2 性 別	① 男性	0.42093	0.	420
	② 女性		-0.42093	80
3 通勤定期券	① 有り	0.38319	0.	147
	② 無し		0.38319	353
4 運転免許	① 有り	0.16047	0.	228
	② 無し		0.16047	272
5 産 業	① 製造・卸・小売	0.40246	0.	238
	② 運輸・通信		0.26666	109
	③ 電・ガス・サービス		-0.13580	153
6 職 業	① 事務職	0.69186	0.	223
	② 販売・サービス		0.33630	55
	③ 専門・技術		-0.11806	75
	④ 管理的職業		0.27934	93
	⑤ 技能・運輸・保安		0.56380	54
7 部 下 人 数	① なし	0.36830	0.	336
	② 1～10人		-0.25909	102
	③ 11～20人		-0.33840	43
	④ 21人以上		0.02990	19
8 選択モード形態	① 車	0.60984	0.	14
	② 車+マストラ		-0.09713	16
	③ マストラ		0.51271	468
	④ 他		0.39321	2
9 発 ゾ ー ン	① 滋賀・京都	1.02085	0.	31
	② 大阪府下		0.75400	250
	③ 大阪市		-0.26685	74
	④ 兵庫		-0.16196	93
	⑤ 他		0.65309	52
10 着ゾーン(大阪市内を5分割)	① 中部	0.90883	0.	369
	② 南部		0.78244	54
	③ 東部		-0.12639	14
	④ 北部		0.25639	33
	⑤ 西部		-0.06928	30
11 トリップ長	① 0～20分	1.00000	0.	6
	② 21～40分		0.23778	91
	③ 41～60分		0.18570	212
	④ 61～80分		0.54438	133
	⑤ 81分以上		1.00000	58



また、選択モードについては「車のみ」ならびに「車+マストラ」が合理層に傾き、「マストラのみ」、「その他」が制約を受けていることが分る。後者は、トリップの発エンドでの交通体系整備が唯一のマストラシフトもしくは2輪車利用を強制している結果であると判断される。その他の属性もまず常識的な傾向を示している。

次に、選択理由(1)を回答したものについて、「代替手段有り」と「代替手段無し」を外的基準として、2群判別を行った。これは、代替手段の有無がいかなる要因によって規定されているかを知るために実行されたものである。すなわち先程の3群判別を、今度はグループ(1)とグループ(3)の2群判別で実行したものであり、採用された属性・カテゴリーは先程と同じである。分析結果は表4・2・4に示されているが、最大レンジは「選択モード」、以下「着ゾーン」、「発ゾーン」「職業」、「産業」の順となっている。傾向は先程とほぼ同様である。

以上、2つの分析によって明確になったことから、「選択モード」、「発着ゾーン」、「トリップ長」がグルーピングの主たる規定要因になっているということである。

#### (2) 業務トリップの分析

本項では、大阪市内に立地する事業所から発生する業務トリップが分析の対象とされており、サンプルは755トリップである。業務トリップの性格上、一旦事業所を出発するとトリップチェーンをなし1つのループを構成する場合も存在するが、そのような場合でも交通手段は事業所を出る第1番目の業務トリップの交通手段に従属する場合が多く、したがって本項ではそのような前提のもとに、事業所から発生する第1番目の業務トリップを分析の対象としている。

ここではまずはじめにトリップメーカーの3層へのグルーピングがなされる。各層の人数は前掲表4・2・2に示されているが、この中から無作意に500トリップを抽出し、3層への帰属状況が数量化理論Ⅱ類でもって判別分析された。外的基準は、(1)代替手段のないトリップ、(2)他律的選択トリップ、(3)合理的選択トリップの3層である。採用された説明要因、カテゴリー、分析結果は表4・2・5のとおりである。最大レンジは「職業」、以下「選択モード」、「部下人数」、「従業員1人当りの保有台数」、「性別」の順となっている。職業については「技能・運輸・保安職」を除けば制約は小さいようである。

選択モードについては、車利用者は合理的選択層に傾いておりこれは、車という手段を用いることが本人の自由裁量にゆだねられていることを示しているが、これは車利用を業務上の制約的な意味での利用であると考えずに、車利用が当然のごとく受けとられていることにあると考えられよう。

部下人数については、21人以上がずばぬけて合理層に傾いている。20人以下の部下を持つものは何らかの意味で手段選択にあたって制約を感じている。また従業員1人当りの車保有台数につ

いては、台数が大きくなると制約を感じているようである。

性別については、女性は圧倒的に制約をうけている。そのほか、年齢が増すにつれ制約に傾き

表 4・2・4 代替交通手段の有無についての判別分析 (出勤トリップ)

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 年 令	① 30才以下	0.19270	0.	240
	② 31~40才		0.19270	143
	③ 41才以上		0.09121	117
2 性 別	① 男性	0.47585	0.	414
	② 女性		-0.47585	86
3 通 勤 定 期 券	① 有り	0.26931	0.	148
	② 無し		0.26931	352
4 運 転 免 許	① 有り	0.04561	0.	231
	② 無し		0.04561	269
5 産 業	① 製造・卸・小売	0.49903	0.	263
	② 運輸・通信		0.29089	100
	③ 電・ガス・サービス		-0.20814	137
6 職 業	① 事務職	0.65024	0.	229
	② 販売・サービス		0.35416	57
	③ 専門・技術		-0.16180	78
	④ 管理的職業		0.08899	86
	⑤ 技能・運輸・保安		0.48844	50
7 部 下 人 数	① なし	0.29084	0.	339
	② 1~10人		-0.15356	103
	③ 11~20人		-0.24851	40
	④ 21人以上		0.04232	18
8 選 択 モ ー ド 形 態	① 車	1.00000	0.	13
	② 車+マストラ		0.44902	15
	③ マストラ		1.00000	470
	④ 他		0.83830	2
9 発 ゾ ー ン	① 滋賀・京都	0.75445	0.	33
	② 大阪府下		0.43309	246
	③ 大阪市		-0.30609	79
	④ 兵庫		-0.27136	95
	⑤ 他		0.44836	47
10 着ゾーン(大阪市内を5分割)	① 中部	0.92258	0.	373
	② 南部		0.82355	50
	③ 東部		-0.09903	15
	④ 北部		0.13511	32
	⑤ 西部		0.11401	30
11 トリップ長	① 0~20分	0.41251	0.	6
	② 21~40分		-0.19739	92
	③ 41~60分		-0.34249	217
	④ 61~80分		-0.13659	131
	⑤ 81分以上		0.07003	54

表4・2・5 業務トリップ分類についての判別分析

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 年 令	① 30才以下	0.48241	0.	246
	② 31～40才		-0.14040	163
	③ 41才以上		0.43201	91
2 性 別	① 男性	0.87362	0.	463
	② 女性		0.87362	37
3 通 勤 定 期 券	① 有り	0.20124	0.	465
	② 無し		0.20134	44
4 運 転 免 許	① 有り	0.10050	0.	285
	② 無し		0.10050	215
5 産 業	① 製造・卸・小売	0.24269	0.	369
	② 運輸・通信		0.24269	14
	③ 電・ガス・サービス		0.07678	117
6 職 業	① 事務職	1.16538	0.	126
	② 販売・サービス		-0.10548	200
	③ 専門・技術		-0.09804	61
	④ 管理的職業		-0.29816	83
	⑤ 技能・運輸・保安		0.86722	30
7 部 下 人 数	① なし	1.02169	0.	328
	② 1～10人		0.04663	132
	③ 11～20人		0.43087	25
	④ 21人以上		-0.59082	15
8 選 択 モ ー ド	① 車	1.08089	0.	133
	② 車+マストラ		0.71048	9
	③ マストラ		-0.08089	258
	④ 他		1.00000	100
9 従 業 員 1 人 当 り の 保 有 台 数	① 0.03台以下	0.88237	0.	282
	② 0.04～0.06台		-0.29214	66
	③ 0.07～0.09台		0.30284	51
	④ 0.10～0.12台		0.24251	37
	⑤ 0.13台以上		0.59024	64
10 業 務 目 的	① 打合・会議・集金	0.07826	0.	278
	② 販売・仕入れ・配達		0.05906	22
	③ 接待・作業・修理		-0.01920	61
	④ その他業務		0.05497	139
11 ト リ ッ プ 長	① 0～20分	0.38310	0.	240
	② 21～40分		0.21276	124
	③ 41～60分		-0.05287	61
	④ 61～80分		0.17012	36
	⑤ 81分以上		0.33023	39

残りの属性もほぼ常識的な傾向を示している。

次に、選択理由1を回答したものについて、代替の有無を外的基準にとって判別分析を行った結果が表4・2・6に示されている。

表4・2・6 代替交通手段の有無についての判別分析（業務トリップ）

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 年 令	① 30才以下	0.32901	0.	252
	② 31～40才		-0.18166	164
	③ 41才以上		0.14735	84
2 性 別	① 男性	0.72721	0.	461
	② 女性		0.72721	39
3 通勤定期券	① 有り	0.13475	0.	452
	② 無し		0.13475	48
4 運転免許	① 有り	0.04705	0.	295
	② 無し		-0.04705	205
5 産 業	① 製造・卸・小売	0.14850	0.	362
	② 運輸・通信		0.14850	12
	③ 電・ガス・サービス		0.06373	126
6 職 業	① 事務職	0.65536	0.	134
	② 販売・サービス		-0.10514	205
	③ 専門・技術		-0.19417	59
	④ 管理的職業		-0.16052	82
	⑤ 技能・運輸・保安		0.46118	20
7 部下人数	① なし	0.89164	0.	322
	② 1～10人		0.11980	137
	③ 11～20人		0.49896	24
	④ 21人以上		-0.39268	17
8 選択モード	① 車	1.00000	0.	124
	② 車+マストラ		0.82258	8
	③ マストラ		0.22763	277
	④ 他		1.00000	91
9 従業員1人当りの保有台数	① 0.03台以下	0.72797	0.	261
	② 0.04～0.06台		-0.13828	97
	③ 0.07～0.09台		0.17606	43
	④ 0.10～0.12台		0.40488	38
	⑤ 0.13台以上		0.58970	61
10 業務目的	① 打合・会議・集金	0.14824	0.	289
	② 販売・仕入・配達		-0.13886	19
	③ 接待・作業・修理		-0.05460	53
	④ その他業務		0.00938	139
11 トリップ長	① 0～20分	0.33476	0.	231
	② 21～40分		0.07620	127
	③ 41～60分		-0.02455	71
	④ 61～80分		0.05859	33
	⑤ 81分以上		0.31024	38

最大レンジは「選択モード」、以下「部下人数」、「従業員1人当りの保有台数」「性別」、「職業」の順となっており、傾向は先程とほぼ同様である。

以上、2つの分析によって明確になったことから、「部下人数」、「従業員1人当りの保有

台数」、「職業」といった事業所属性、個人属性がグルーピングの主たる規定要因になっているということである。

#### 4.2.3 他律的選択トリップの分析

##### (1) 出勤トリップの分析

出勤トリップにおける他律的な交通機関選択については、業務組織内での制約および家庭内での制約が交通機関を規定する主要な要因と考えることができる。本項では自動車保有世帯を対象として、出勤への自動車利用に加わる制約—自動車利用の自由度を上記の要因により説明することを試みている。

分析に用いた要因としては、年齢、職業、免許の有無、代替手段の有無、収入、居住地等の個人属性、世帯属性のほかに、本人（被調査者）の世帯内での相対的な地位を示すものとして、世帯主か否か、相対的な所得、血縁上の相対地位、業務組織内での地位を示すものとして、部下人数の全従業員に占める比率などを用いる。これらのうち相対的な所得（R）は（本人の所得）／（家計の全所得）により表した。また、血縁上の相対地位については、以下の形で、家族の血縁関係をモデル化することにより、これを指標化した。例えば、父、本人、妻、子供2人の計5人から成る家族の場合は一等親を直結することによりこの家族をグラフ化すると図4・2・3に示すものとなる。このグラフ上で、各人間の距離を求め、マトリクス表示したものが表4・2・7である。

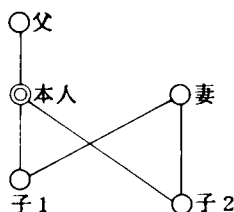


図4・2・3

表4・2・7

	父	本人	妻	子1	子2	$\Sigma$
父	*	1	3	2	2	8
本人	1	*	2	1	1	5
妻	3	2	*	1	1	7
子1	2	1	1	*	2	6
子2	2	1	1	2	*	5

このマトリクスの成分の各行についての和（ $L_i$ ）は各人の他の家族構成員全員との血縁上のつながりの強度を示す指標と考えることができる。本分析では、本人の血縁上の相対地位を

$$L^R = L_{\text{本人}} - \min(L_i)$$

により表わし、世帯内での相対地位を示す指標として用いている。

以上の要因を用い、世帯という一つの組織内での車利用に対して各人の持つプライオリティを説明することが本項の狙いである。手法としては、1ヶ月の車利用日数を外的基準として、林の

数量化理論Ⅰ類を適用した。(サンプル数 592、平均利用日数 5.412 日) 各要因のカテゴリー及び得られたレンジ、

得点を表 4・2・8 に示す。

自動車の利用日数を規定する要因としては、職業、年収、免許の保有等の個人属性が大きなものとして挙げられる。職業に関しては技能工・運輸が高い利用率を示し、サービス・販売が低いという結果となってくる。年収に関しては、年収が高まるほど利用日数が低下し、とくに年収 300 万以上で著しい。年収と年令との間には、正の相

表 4・2・8

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点
1 世帯主か否か	① 世帯主 ② 否	0.37538	0. -0.37538
2 免許の保有	① 保有 ② 非保有	3.19164	0. -3.19164
3 年令	① ~25才 ② 26~35才 ③ 36~45才 ④ 46才以上	2.58790	0. 0.70933 -0.09561 -1.87857
4 年収	① ~150万 ② 150~300 ③ 300万以上	4.21164	0. -1.82178 -4.21164
5 職業	① 専門技術 ② サービス・販売 ③ 技能工・運輸 ④ 管理	6.87011	0. -2.35442 4.51569 1.72719
6 代替手段	① 有 ② 無	2.64566	0. -2.64566
7 居住地	① 大阪市 ② 大阪府 ③ 他府県	1.96008	0. -0.70023 -1.96008
8 相対所得 ( $R$ )	① $R=1$ ② $R \geq 0.5$ ③ $0.5 > R$	3.60117	0. -2.03016 -3.60117
9 血縁上の地位 ( $L^R$ )	① $L^R=0$ ② $1 \leq L^R \leq 3$ ③ $4 \leq L^R$	0.45123	0. -0.45123 -0.13653
10 職場内地位 ( $W$ )	① $W < 0.01$ ② $0.01 \leq W < 0.1$ ③ $0.1 \leq W$	2.71432	10.50274 11.68624 8.79192

関があると考えられるが同様の関係が年令に関しても現われている。また居住地に関する得点から、職場への距離が近いほど自動車利用日数が高まることわかる。次に本項で分析の主眼としている世帯内、業務組織内地位を示す要因について見ると、世帯内地位では相対所得が血縁上の地位、世帯主であるか否かを凌ぎ、大きく作用することがわかる。レンジの大きさは、職業、年収に次いで3番目であり、免許の保有よりも大きなものとなっている。またとくに  $R=1$  で高い利用日数となることが示されている。このことは、車の利用を通して見る世帯内の位置関係が、血縁関係などの名目的なものよりも、収入という経済的な要素により大きく規定されるということであり、興味深い。また血縁上の地位に関しては、レンジは小さいが、地位が上昇するほど利

用日数が高まるという傾向が表われている。職場内での相対的地位については、中間層 ( $0.01 \leq R < 0.1$ ) において利用率が最も高く、上層 ( $R \geq 0.1$ ) で利用率が低いという結果となっている。なお、本分析のサンプルでは、年令と相対地位との相関は弱いものである。

以上の分析結果から、自動車の出勤への利用には、個人属性のみならず、世帯内・業務組織内の諸関係が一定の規定力を持っていることがある程度明らかにできたと考えられる。

## (2) 業務トリップの分析

業務トリップは、荷物の運搬を伴うことが多い、立廻り先が多い、トリップ範囲が多種多様である、恒常的なトリップが少ない、などの点で出勤トリップとは異なった特性を持っている。また、このような点から、既に示したように、他律的選択層の占める比率は高く、自動車利用率も高い。これらは、業務目的に内在する諸特性に依ると考えることができ、業務トリップの機関選択が、業務トリップを生み出すところの業務組織に規定されているということができよう。本項では、このような観点から、自動車利用率を業務組織の産業と規模、トリップ主体の職業と地位（部下人数）を要因として分析している。また、自動車利用のうち他律的な部分（選択理由(II)に反応している部分）についても同様の分析を行った。

分析の方法は、トリップを上記の要因別にクロス集計し、これから得られる自動車利用率及び他律的自動車利用率を外的基準とし、再び上記の要因を説明要因として林の数量化理論Ⅰ類を適用するというものである。説明要因、カテゴリー、レンジなどは表4・2・9に示されている。

まず自動車利用率の分析結果を見ると、アイテムとしては、地位及び職業が大きく作用することがわかる。地位については、この表からは傾向を明らかにとらえることはできないが、4～8人の部下を持つ中堅層及び部下無しで層で利用率が高くなっている。これとは別に地位として相対的な部下人数を用いて行なった分析では、 $R < 0.01$  において低く、 $0.01 \leq R < 0.1$  において最も高いという結果を得た。職業については、管理、販売、運輸において利用率が高く、保安、サービス、事務などで低いという結果となっている。また産業では、電力・ガス、建設で高く、製造、金融・不動産において低い。これは産業別の業務目的の性格によるものと考えられ、トリップ発生に関するより深い分析によりそのメカニズムが明らかにされよう。トリップ生成原単位と企業規模との間には逆の相関があることが第2章第2節の分析で明らかになったが、自動車利用率と企業規模との関係は、本分析からは明瞭なものを得ることができなかった。一方、上記の地位として相対的な部下人数を用いた分析では企業規模の増大に伴い利用率が低下する傾向が表われている。

続いて他律的自動車利用率について述べると、(表4・2・10参照) ここでは先の自動車利用率の場合とは逆に、地位のレンジが小さく、企業規模のレンジが大きくなっている。まずレンジが最

表 4・2・9

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 産 業	① 建設	0.16683	0.	22
	② 製造		-0.08089	60
	③ 卸・小売		-0.05860	38
	④ 金融・不動産		-0.06580	34
	⑤ 運輸・通信		-0.12474	14
	⑥ 電力・ガス		0.04209	14
	⑦ サービス		-0.02179	45
	⑧ 公務		-0.00008	9
2 規模（従業員数）	① 100人以下	0.03745	0.	65
	② 101～500		-0.03202	66
	③ 501～1000		-0.01122	44
	④ 1001～1500		0.00543	31
	⑤ 1501～		-0.00992	30
3 職 業	① 事務	0.32021	0.	58
	② 販売		0.09350	54
	③ サービス		-0.01177	8
	④ 専門・技術職		-0.00132	40
	⑤ 管理		0.28713	59
	⑥ 技能		0.01573	7
	⑦ 運輸・通信		0.06401	6
	⑧ 保安		-0.03308	4
4 地位（部下人数）	① 0人	0.42900	0.05302	97
	② 1		-0.00369	22
	③ 2～3		-0.03135	31
	④ 4～8		0.28396	44
	⑤ 9～15		-0.07673	17
	⑥ 16～		-0.14504	25

大である職業について見ると、運輸・通信、サービス、技能工などで他律的な利用が高くなっている。サービス、技能工などは自動車利用率そのものは低く現われていたことも考え合わせるなら、これらの職業従事者の自動車利用は硬直的である場合が多いと言えよう。一方、自動車利用率において高い販売、管理職については、これと逆のことが言え、自動車利用が弾力的であることが示されている。次に企業規模に関しては、規模が小さい程他律的な自動車利用の割合が高くなっている。産業に関しては、自動車利用率の場合とほぼ同様の傾向がある。なお地位として相対地位を用いた分析では、地位の上昇と他律の利用率とが比例するという結果を得た。

ここでの分析では、トリップ特性、ネットワーク特性に関する要因を一切捨象し、企業特性、個人属性のみから機関利用を説明することを試みた。不十分な点もあるが、産業・職業と自動車利用、規模と他律性などの点で興味ある結果が得られた。



表4・2・10

説明要因	カテゴリー	レンジ	得点	人数
1 産 業	① 建設	0.24092	0.	22
	② 製造		-0.13381	60
	③ 卸・小売		-0.24092	38
	④ 金融・不動産		-0.06202	34
	⑤ 運輸・通信		-0.19412	14
	⑥ 電力・ガス		-0.02071	14
	⑦ サービス		-0.19865	45
	⑧ 公務		-0.06323	9
2 規模(従業員数)	① 100人以下	0.25671	0.	65
	② 101~500		0.03304	66
	③ 501~1000		-0.07344	44
	④ 1001~1500		-0.15311	31
	⑤ 1501人以上		-0.22367	30
3 職 業	① 事務	0.38600	0.	58
	② 販売		-0.01625	54
	③ サービス		0.32526	8
	④ 専門・技術職		0.02148	40
	⑤ 管理		0.11388	59
	⑥ 技能		0.16770	7
	⑦ 運輸・通信		0.36975	6
	⑧ 保安		0.14356	4
4 地位(部下人数)	① 0人	0.08756	0.36750	97
	② 1		0.32823	22
	③ 2~3		0.37252	31
	④ 4~8		0.34116	44
	⑤ 9~15		0.41579	17
	⑥ 16人以上		0.36689	25

4.2.4 合理的選択トリップの分析

ここでは代替手段が存在し、かつ選択理由(1)に反応しているもの、すなわち、合理的選択トリップに対し Logit Model を適用しその分析を行なう。Logit Model というのは、たとえばいま A、B という2つの交通手段(母集団)を考えると、 $p$  を A が選択される確率、 $q = 1 - p$  を B が選択される確率とし、この確率  $p$  の関数として定義される Logit すなわち  $\log(p/1-p)$  を独立な諸変量  $X$  の一次結合で表わそうというものである。すなわち

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = Xb$$

$$Xb = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_N X_N$$

これから

$$p = \frac{e^{Xb}}{1 + e^{Xb}}$$

$$q = \frac{1}{1 + e^{Xb}}$$

が誘導される。確率  $p$  の定義域は  $(0, 1)$ 、Logit の定義域は  $(-\infty, \infty)$  である。詳しい導出過程は文献(3)、(4)にゆずるとして、一般にベクトル  $b$  は最尤推定法を用いて決定されることが多い。

$n(x)$  を  $X$  なる場合の人数、 $p(x)$  を  $q=1$  である確率、 $q(x)$  を  $q=0$  である確率とすると尤度関数は

$$L = \prod \{P(x)P(x)Q(x)q(x)\}^{n(x)}$$

で表わされる。ここに  $P(x)$  は与えられた  $X$  のもとで  $q=1$  なる確率、 $Q(x)$  は  $q=0$  なる確率である。この  $L$  を最大化することは対数  $\log L$  を最大化することと同値であるから

$$L^* = \log L = \sum \{n(x) p(x) \log P(x) + n(x) q(x) \log Q(x)\}$$

これを  $b$  に関し微分して零とおくことにより

$$\sum n(x) p(x) x = \sum n(x) P(x) x$$

なる  $N$  本の非線型連立方程式を得る。

これらの方程式はパラメータ  $b$  に関する非線型の方程式であって、解は陽に表わせない。したがって数値計算により尤度関数  $L^*$  の最大化を行い、 $L^*$  の最大値を与えるパラメータ  $b$  を最良の推定値とした。数値計算法としては、Variable Metric Method を用いた。

次に、ここでは上述の母集団の定義により、以下に示す二通りのモデルを考え、各々について計算を進めた。

#### i) 機能選択モデル

基準となる要因を定め（例えば総所要時間）代替機関との要因差の正負により 2 母集団のいずれに属するかを決める。

#### ii) モード選択モデル

自動車を用いたかトランシットを用いたかにより母集団のいずれに属するかが決定される。

##### (1) 出勤トリップの分析

分析の対象としたのは、代替手段が存在し、かつ、選択理由(i)に回答している部分である。このうち、自動車を保有している世帯で、機関選択のペア（通常手段と代替手段）として自動車とトランシットを挙げているものに対しては、ii) のモデルを適用した。また、前述の全サンプルに対して i) の機能選択モデルを適用している。その際基準となる要因として、a) 総所要時間、b) 端末（Origin 側）徒歩時間の二つを用いた。

以下にここで用いた要因、略号、単位を列挙する。

- |   |           |                       |     |
|---|-----------|-----------------------|-----|
| ① | 総所要時間差    | ( $\Delta T$ )        | 分   |
| ② | 総徒歩時間差    | ( $\Delta T_{walk}$ ) | 分   |
| ③ | アクセス徒歩時間差 | ( $\Delta T_{accw}$ ) | 分   |
| ④ | 乗り換え回数差   | ( $\Delta n$ )        | 回   |
| ⑤ | 総待時間差     | ( $\Delta T_{wait}$ ) | 分   |
| ⑥ | 費用差       | ( $\Delta Cost$ )     | 10円 |
| ⑦ | 総運転時間     | ( $T_{driv}$ )        | 10分 |

また、個人属性に関する要因としては、

- |   |      |       |                 |
|---|------|-------|-----------------|
| ⑧ | 年齢   | (Age) | 10才             |
| ⑨ | 年収   | (Inc) | カテゴリー化 (調査票と同一) |
| ⑩ | 性別   | (Sex) | 0:女性 1:男性       |
| ⑪ | 免許   | (Lic) | 0:非保有 1:保有      |
| ⑫ | 車の保有 | (Own) | 0: 〃 1: 〃       |

である。なおここで要因差 (略号で $\Delta$ の付されたもの) は、機能選択モデルの場合 (代替手段) - (通常手段)、モード選択モデルの場合は (トランシット) - (自動車) の形で差をとったものである。

最後に、観測値は機能選択モデルの場合、基準となる要因の差が正のとき (すなわち、早い方あるいはアクセス徒歩時間の短い方を利用しているとき) 1に、逆の場合は観測値を0としている。モード選択モデルは、自動車利用の場合1、それ以外のとき0である、以上に述べた方法および要因によるパラメーターの推定結果を、表4.2.11、表4.2.12に示す。以下結果の解釈を簡単に行う。

まず、機能選択モデルのうち、 $\Delta T$ を基準要因としたものについて見ていく。 $\Delta T_{accw}$ 、 $\Delta n$ 、 $\Delta T_{wait}$ の係数はすべて正であり、機関選択にこれらの要因が正の方向で作用する結果となっている。また、 $\Delta T_{walk}$ と $\Delta T_{accw}$ の係数を比較すると後者が約3倍であり、他の時間的要素に比べて、待時間比重が大きいことがうかがわれる。乗り換え回数の係数が正であるということは、乗り換え回数が多くても総所要時間の短いルートがとられる確率は、小さいことを示している。次に個人属性については、年齢、収入共に係数は負で、年齢が高くあるいは所得が高くなるにつれて、時間以外の要素 (例えば快適性) により機関を選んでいると言うことができよう。次に、性別では男性の方が早い機関を選ぶ確率が高く、また免許保有者の方が時間に敏感と言うことができる。

次に、 $\Delta T_{accw}$ を基準要因とした場合には、 $\Delta T$ 、 $\Delta T_{accw}$ の係数は0に近く、 $\Delta n$ 、

表 4・2・11 Logit Model の係数 (出勤・モード選択モデル)

要因	$\Delta T$	$\Delta T_{walk}$	$\Delta T_{accw}$	$\Delta n$	$\Delta T_{wait}$	$T_{drive}$	$\Delta Cost$	Age	Inc.	Ses.	Lis.	Const.	M.C.C.
1	0.04410	-	-0.00541	-0.45785	-0.01479	-	-	-	-	-	-	0.00130	0.33785
2	0.01676	-	0.02582	-0.17643	0.02341	-0.29549	-	-	-	-	-	0.66044	0.39831
3	0.01979	-	0.02921	-0.17039	0.01311	-0.29549	0.38179	-	-	-	-	-0.64953	0.42902
4	0.01534	-	0.02746	-0.15034	0.02143	-0.31871	-	0.13872	-	-	-	0.26454	0.40954
5	0.01632	-	0.01635	-0.22607	0.03097	-0.34911	-	-	2.25946	-	-	-1.18565	0.45286
6	0.01537	-	0.02274	-0.19510	0.02437	-0.32973	-	-	-	-	0.93800	-0.01549	0.41435
7	0.01781	-	0.03575	-	-0.00119	-0.36039	0.37851	-	-	-	0.89911	-1.30756	0.43772
8	0.01298	-	0.03322	-	0.01095	-0.37542	-	0.12205	-	-	0.81134	-0.30829	0.41779
9	0.01497	-	0.02659	-	0.01418	-0.38205	-	-	2.66108	-	-0.56854	-1.10005	0.45219
10	0.01792	-	0.02865	-	-0.00508	-0.37740	0.30423	-	2.38170	-	-0.39950	-2.03666	0.46791

表 4・2・12 Logit Model の係数 (出勤・機能選択モデル)

No.	基準要因	$\Delta T$	$\Delta T_{walk}$	$\Delta T_{accw}$	$\Delta n$	$\Delta T_{wait}$	$\Delta T_{drive}$	$\Delta Cost$	Age	Inc.	Sex.	Lis.	Const.	M.C.C.
1	$\Delta T$	-	-	0.06915	0.14984	0.18343	-	-0.08607	-	-	-	-	1.09073	0.52102
2	"	-	-	0.06901	0.15545	0.18435	-	-0.08486	-0.08486	-	-	-	1.36294	0.52395
3	"	-	-	0.07020	0.17149	0.18537	-	-0.08524	-	-0.7632	-	-	1.32190	0.52576
4	"	-	-	0.06899	0.15250	0.18303	-	-0.08684	-	-	0.17489	-	0.96198	0.52039
5	"	-	-	0.06886	0.15250	0.18403	-	-0.08650	-	-	-	0.29776	0.98349	0.52345
6	"	-	-	0.06953	0.14406	0.18194	-	-0.08572	-	-	-	Own -0.21922	1.15807	0.52166
7	"	-	-	0.06876	0.15739	0.18482	-	-0.08724	-0.07578	-	-	-	1.23051	0.52589
8	"	-	-	0.06890	0.15239	0.18396	-	-0.08676	-	-	0.06373	0.27744	0.94256	0.52308
9	$\Delta T_{accw}$	0.03663	-	-	-0.39950	-0.06812	-	-0.09442	-	-	-	-	1.25772	0.36018
10	"	-0.03478	0.25243	-	-0.57241	-0.03809	-	-0.05868	-	-	-	-	1.57205	0.63800
11	"	0.03668	-	-	-0.39758	-0.06742	-	-0.09454	-0.03538	-	-	-	1.36944	0.36107
12	"	0.03704	-	-	-0.39629	-0.06895	-	-0.09462	-	0.03950	-	-	1.13245	0.35874
13	"	0.03682	-	-	-0.40481	-0.06762	-	-0.09351	-	-	-0.26841	-	1.36413	0.36824
14	"	0.03634	-	-	-0.39961	-0.06904	-	-0.09338	-	-	Own -0.17335	-	1.31219	0.36319
15	"	0.03677	-	-	-0.40099	-0.06787	-	-0.09392	-	-	-0.12922	-	1.35238	0.36181

$\Delta Taccw$ では負となっている。これから言えることは、アクセス徒歩が短い手段が選ばれる場合他の時間的要素はあまり影響なく、また、乗り換え回数が増えても端末徒歩時間の短い手段が選ばれるということであろう。年齢の係数は負であるが、 $\Delta T$ を基準とした場合より絶対値は小さい。

本調査の結果から、通勤の費用負担は、マストランシットに関してはほぼ会社負担と考えることができる。従って、機関選択に費用の与える影響がどのようなものか疑問となる。また、調査票において代替手段の料金として定期運賃が記入されている場合は極めて少ない。の二点を理由に、ここでは費用としては、自動車利用の場合は燃費（走行時間より推定）及びタクシー利用の場合は料金のみを考え、マストランシットの費用は無視している。結果はパラメータが負となり、この機能選択モデルでは料金が高くなっても早い機関が選ばれる方が多いことが示された。

次にモード選択モデルについて見ると、時間差に関する係数は小さく、時間差と自動車利用との間には強い関係が存在しないことが示されている。一方、運転時間の係数は負であり、運転時間が長くなるほど自動車利用率が低下することが示されている。また、年齢、収入の増加に伴い出勤への自動車利用率が高まるという結果となっている。さらに、性別の影響が、機能選択モデルに比べ大きくなっていることが注目されよう。

なお、モード選択モデルでは、個人属性を含まないケースでは、理論的には定数項は0でなければならない。この条件はモード選択モデルのケース1ではほぼ満たされている（Const = 0.0013）。機能選択モデルでは、これが大きな値となっているが、これは他の要因が全く等しい場合に総所要時間の短い、あるいはアクセス徒歩時間の短い交通手段を選ぶ確率を与えるものと言える。

## (2) 業務トリップの分析

出勤トリップと同様に Logit Model を適用した。新たに加えられた変数は、1サイクル内のトリップ数（Ntrip）である。また収入は用いられていない。

まず、機能選択モデル(表4・2・13)について見る。 $\Delta T$ を基準としたモデルでは $\Delta Taccw$ 、 $\Delta Twait$ についての係数は出勤の場合と同様の値となっている。ただ、 $\Delta n$ についての係数が負となっている点が異っている。これは、都市内での業務トリップでは、乗り換え回数が増えても早い手段をとる確率が高いことを示しているが、都市内では自動車利用の場合所要時間が相対的に大きいためではないかと考えられる。 $\Delta Taccw$ を基準とする場合も $\Delta n$ の係数は同様の傾向が現われている。年齢については、年齢の高い方が手段を選ぶ確率が高いことが、またアクセス徒歩の短い手段を選ぶ率が低くなることが示されているが、これは自動車利用率との関連で捉える必要があり、これから単純に年齢と機能選択の傾向を結びつけることはできない。性別・免許の保

表 4・2・13 Logit Model の係数 (業務・機能選択モデル)

No	基準要因	$\Delta T$	$\Delta T_{walk}$	$\Delta T_{accw}$	$\Delta n$	$\Delta T_{wait}$	$T_{drive}$	$\Delta Cost$	Age.	Inc.	Sex.	Lis.	Const.	M.C.C.
1	$\Delta T$	0.65318	-	0.03281	-0.91315	0.11622	-	-	-	-	-	-	0.8891	0.89182
2	"	-	-	0.15515	0.35419	0.21967	0.44037	-	-	-	-	-	0.50309	0.59681
3	"	-	0.08576	0.02040	-0.47831	0.15237	-	0.07266	-	-	-	-	0.25103	0.56625
4	"	-	0.08712	0.01727	-0.24210	0.14806	-	-	-	-	-	-	-0.01078	0.58108
5	"	-	0.08698	0.01875	-0.28789	0.15304	-	-	-	-	-0.94765	-	1.12917	0.58402
6	"	-	0.08666	0.01726	-0.25842	0.15233	-	0.10781	-	-	-	-0.01281	0.84217	0.58481
7	$\Delta T_{accw}$	0.01745	0.26513	-	-0.38777	0.01916	-	-	-	-	-	-	0.90236	0.76311
8	"	0.11271	-	-	0.39634	-0.10772	-0.81031	-	-	-	-	-	0.42742	0.57650
9	"	0.11401	-	-	0.39601	-0.10591	-0.80379	-0.02009	-	-	-	-	0.49247	0.57882
10	"	0.11296	-	-	0.40901	-0.10821	-0.80250	-	-	-	0.15424	-	0.27874	0.57643
11	"	0.11419	-	-	0.39756	-0.11016	-0.80117	-0.02352	-	-	0.12782	-	0.37962	0.57587

表 4・2・14 Logit Model (業務・モード選択モデル)

No	$\Delta T$	$\Delta T_{walk}$	$\Delta T_{accw}$	$\Delta n$	$\Delta T_{wait}$	$T_{drive}$	$\Delta Cost$	Age.	Inc.	Sex.	Lis.	Ntrip	Const	M.C.C
1	-0.00962	-	-0.00560	0.03211	-0.00717	0.00912	-	-	-	-	-	-	1.18088	0.05450
2	-0.01016	-	-0.00521	0.03932	-0.00510	-	-	-	-	-	-	-	1.19105	0.05460
3	-0.06376	-	0.00230	1.49921	-0.14556	-	-	-	-	-	-	-	0.78460	0.36926
4	-0.08217	-	0.00328	1.73072	-0.09537	-0.31405	-	-	-	-	-	-	1.23600	0.39976
5	-0.06099	-	0.00177	1.52266	-0.14896	-	-	-	-	-	-	0.12545	0.46126	0.37105
6	-0.06228	-	0.00427	1.50904	-0.14610	-	0.10359	-	-	-	-	-	0.42808	0.36807
7	-0.06263	-	0.00068	1.52056	-0.14711	-	-	-	0.34245	-	-	-	0.46059	0.37084
8	-0.06356	-	0.00268	1.45687	-0.14663	-	-	-	-	0.33998	-	-	0.59333	0.37276
9	-0.04742	-	-0.01609	-	-0.02574	-0.11565	-0.16647	-	-	-	-	0.02363	1.61524	0.29716
10	-0.04568	-	-0.01335	-	-0.02294	-0.12622	-	-	-0.05616	-	-	0.01122	1.15182	0.29274
11	-0.04452	-	-0.01757	-	-0.03311	-0.10264	-	-	-	0.37961	-	0.03698	0.78633	0.30332

有についても同様のことが言える。

モード選択モデル(表4・2・14)について、出勤の場合と同様に選択理由(1)に回答しているか否かを基準に対象者を選び出し、モデルを適用したところ、相関係数が0.05前後と全く適合しなかった(ケース1, 2)ため、この条件に加え選択理由に反応していないという条件を満たすものを抽出し分析を行った。

$\Delta T$ の係数はいずれのケースも負となっており、時間要素と自動車利用との間に逆の関係があることになるが、これは前述のように、都市内では自動車が必ずしも早い手段でないためであろう。 $\Delta n$ の係数は機能選択モデルとは逆に正で表われており、業務トリップにおいては乗換えの繁雑さがトランシット利用の大きな抵抗になっていると言えるだろう。年齢、性別についてはケースにより正負が一定しておらず傾向は知ることができない。免許については当然保有者の方が利用率が高く、また、サイクル内トリップ数が増大するにつれ自動車利用率が高まることが示されている。

最後に Logit Modelの適用結果に、出勤と業務トリップを比較しつつ考察を加える。出勤目的の場合、自動車が交通手段選択時に考慮される割合は低く、モード選択モデルはその点で適用範囲が狭められていると考えられる。ここではこのような機能選択モデルとモード選択モデルの比較もあわせて行いたい。

まず、機能選択モデルでは、出勤・業務双方で $\Delta n$ の符号及び定数項の値が異っている。 $\Delta n$ の係数に関しては、出勤が主として大阪市より放射状に延びるルートに沿って行われるのに対して、業務トリップは大阪市内々トリップが中心であるという点、および既に述べた様に業務トリップにおいて自動車利用率が高いという点が、このような符号の差異をもたらしたものと考えられる。したがってこれから直ちに両トリップの特性を導き出すことは危険であり、少なくともODペアを限定した上で、係数を求め比較するということが必要となろう。

定数項は、他要因に差がない場合、総所要時間の(あるいはアクセス徒歩時間の)短いトリップが選択される確率を与えるが出勤の場合この確率は高く(定数項は平均1.1程度、従って $p \approx 0.75$ )、業務では低く現われている。これは業務トリップにおいて時間に置かれるウエイトがより低いことを示しているとも考えられるが、業務トリップでは自動車利用率が高く、かつ自動車が遅い手段である場合が多いであろうことを考えるなら、これも一概に結論づけることはできないだろう。

機能選択モデルは、出勤の場合パラメーターは整合的であり、予測モデルとしても耐えうるものではないかと考えられる。特に基準要因として $\Delta T$ を採ったものが優れている。個人属性等を取り入れ要因を増やした場合でも、相関比から判定する限り説明力が向上しているとは考えられ

ず、予測モデルとしてはこれを含まないケースが良いであろう。業務トリップに関しても同様のことが言えよう。

次に、モード選択モデルでは、出勤の場合、 $\Delta n$  を含まないケースが整合的であると言える。予測に際して出勤の場合には車の保有を基準にトリップメーカーを二分することは容易と考えられるので、保有層に対してはモード選択モデルを、非保有層に対してはマストラ相互の機能選択モデルを適用することにより、精度の高い予測が可能と考えられる。一方業務トリップのモード選択モデルの場合、 $\Delta T$ 、 $\Delta T_{wait}$  の係数が負であり、このままでは予測モデルとして用いることはできない。さらに、サンプルの抽出に当り前述のより厳しい基準を用いざるを得なかったことを考えるなら、業務トリップの自動車利用の分析に当ってこのような「合理性」を前提としたモデルを適用することに無理があったのではないかと結論づけられる。機能選択モデルの場合、 $\Delta T$  を基準要因としたケースが整合的であり、予測モデルとしても適用しうると考えられる。しかし、業務トリップの場合には通勤と異なり選択時のヘアがマストラ／マストラ、自動車／マストラのいずれであるかを予測することが困難となる。本モデルでは、年齢、性別、免許の保有等の個人属性がとり入れられているが、機能モデルの性格上これが自動車利用率に対応するものとはならず、したがって個人属性の導入により上記の問題を回避することはできず自動車／マストラの競合を前提として機能モデルを適用した場合の結果には疑問が生じる。このような点を併わせ考えるなら業務トリップの交通手段選択についてはここで扱った競合的選択モデルは予測への適用が難しいものと言わざるを得ない。

#### 4.2.5 結 語

本研究は、都市における交通手段選択の特性の現状把握および需要予測のためのモデルを開発することを目的としている。

従来、交通手段の選択は利用者にとってきわめて合理的になされているとした現状分析がほとんどであったが、その推定労力の割には推定精度も高くない。この原因として、果たして利用者は日常合理的な判断にもとずいて行動しているのかどうかという点に疑問を生じたのである。たとえば雨天であるから、タクシーを利用したのであれば、これは雨という偶発要因によってタクシーの選択を行なったのであり、通常の場合の運賃とか時間とかいう説明要因ではその選択行動を説明できないわけである。今日は酒を飲むから自家用車を止めたという場合も、日常の合理的選択とはその選択要因が異なる。またトランスポーテーションブアーといわれる人達は交通手段の選択は困難であり、特定の交通手段の利用を余儀なくされる。一方、トランスポーテーションブアーでなくとも、会社などで地位により交通手段の選択が規制されている場合がある。たとえ



ば課長以上であればタクシーの利用が可能であるとか、一般事務員であれば、会社持ちの運賃の場合にはバス、地下鉄の利用に限定されるとかといったことである。

従って分析に当たっては、各種の制約から利用可能手段が先決されると思われる「制約的トリップ」と、複数交通手段の競合下における「合理的選択トリップ」とに分けて考察したわけである。制約的トリップには偶発的要因にもとづく交通手段の選択も含まれており、その選択が利用者本人にとって合理約であったとしても、その選択要因が偶発的なトリップは制約的トリップに含めている。

従ってモデルの設定に当たっては、制約的トリップの総量を全トリップの中から先取りし、利用者の属性にもとづいて利用手段を割り当て、一方、合理的選択トリップは従来のようにいくつかの説明要因による選択モデルを作成することとしている。

調査に当たっては、大阪市に勤務先をもつ事業所の人達を対象にし、トリップ特性、利用手段、代替手段の特性に加えて、手段選択理由についてもアンケートを行なった。分析の結果得られた結論として、

- 1) 何らかの制約下で交通手段の選択を行なうトリップ、あるいは代替交通手段をもたないトリップが半数に近い比率を占めており、これは交通手段選択モデルとして適用対象としがたいトリップであるから、制約トリップとして全体の中から別のカテゴリーとして分離する必要がある。
- 2) 複数の交通手段の競合下における合理的選択モデルは出勤トリップでは58%、業務トリップでは49%のトリップを説明しうるにすぎないが、制約トリップと分離して分析することによって、推定精度を高めることができる。
- 3) 業務トリップにおいては、代替交通手段のない場合も含めて制約的トリップの比重が高く(51%)、利用者の職種上の制約が大きく影響しており、自動車利用を他の交通手段に置き換えることの困難さを示している。
- 4) 出勤交通は業務トリップほど他律的制約をうけないが、それでも8%に達し、日常はんぶんくされる交通であるにもかかわらず、その合理的選択領域をかなり限定せざるをえないことがわかる。この場合も、自動車利用を余儀なくされる制約トリップがほとんどで、これが職種と深い関連をもっているようである。
- 5) 業務および出勤トリップにいずれにしても、他律的に制約をうけるトリップの割合は職種に大きく依存しているので、職種と関連させて制約トリップの比率を推定し、合理的選択モデルを適用する前に、先取りしておく必要がある。
- 6) 事業所規模が小さくなるほど他律的制約トリップとしての自動車利用が高くなる。

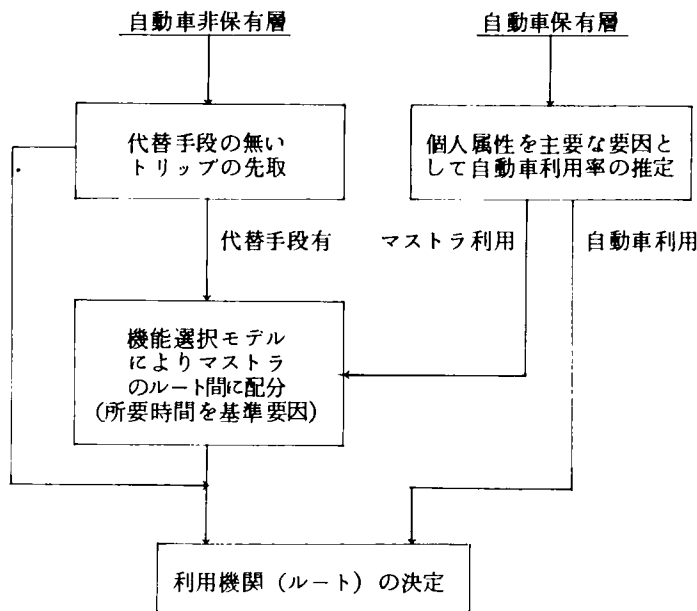
さらに、本研究では新交通機関という現在存在しない交通手段の需要を算出することのできるモデルを開発する意図から考えて、機能選択モデルとモード選択モデルとを提案している。機能選択モデルは各種交通機関のもつ機能をバラバラにして、各利用者はある機能に着目したとき、その機能のすぐれている交通手段を何%の割合で選択するかということを算定するモデルであり、モード選択モデルはいくつかの説明要因の組合せた結果として各交通手段（モード）をいくらの割合で選択するかというモデルである。

複数手段の競合下での交通手段選択に対し、本研究ではロジット・モデルを(a)機能選択モデル、(b)モード選択モデルとして用いた分析を行なった。出勤トリップについては、いずれの方法によっても整合的な結果が得られた。集計結果に示される様に総所要時間の短い手段が選ばれる確率は高く、また機能選択モデルにおいては基準要因として総所要時間差をとった場合、結果は最も整合的である。これらの点から、機能選択モデルとしては、総所要時間を基準要因とする場合が予測モデルとしても優れていると言えよう。モード選択モデルの場合、機能選択モデルよりも適合度は劣っている。この理由としては自動車利用に際しての制約（駐車の問題など）が作用すること、自動車とマストランシットの根本的な質的差異がモデルに十分に組み入れられていないこと、などを挙げることができる。

合理的選択トリップの分析において明らかとなった事項は次のとおりである。

- 7) 現在存在しない新交通手段の利用者推定には、モード選択モデルを採用するには問題があるので、機能選択モデルを採用すべきである。なぜなら、モード選択モデルは現存のモードに限定されるからである。
- 8) 業務トリップの交通手段選択は、他律的制約トリップを除いて分析しても十分な精度をうることはできず、交通手段の競合特性とは異なった次元で選択がなされている可能性がある。これまでと全然異なった角度からの接近法が要請されよう。
- 9) 前項の内容から、業務トリップの分析においてはODペアモデルがあまり有効ではないことが指適され、全域モデルないしはトリップエンドモデルが有効であろう。
- 10) 出勤トリップにおいては定常的な反響性が強く、偶発的な要因の作用する率も業務にくらべて低い。合理的選択モデルの適用が可能であろう。

予測モデルとして出勤トリップを考える場合、次図のようなフローチャートに従って算定を行なえばよいと思われる。



業務トリップの分析と将来推定法に関しては、抜本的な考察が必要であり、合理的選択モデルによるアプローチはきわめて重大な危機に直面していると云えよう。O Dペアについての考察よりも巨視的な、しかも別の要因—現在は不明な要因であるが—から見た検討が必要であろう。

### 4.3 混合トリップにおける交通機関選択

#### 4.3.1 概 説

従来の交通機関分担法では、1トリップ=1モード、すなわち1トリップに対して組合わされたいくつもの交通手段の中から何らかの方法で「代表交通手段」というものを定義し、それらの間での分担を説明するという方法が支配的であった。1トリップは一般には混合トリップ（複数のジャーニーよりなる1トリップ）として生起しているのであるが、代表モードをいくつかの競合経路について定義するところの「モード選択モデル」は、主として公共交通手段の代表格としてのマストラシットと、個別輸送手段としての乗用車との間に競合関係を想定するモデルである。一方、ある1つの経路について、それが有するところの機能（所要時間、費用など）に着目し、実在のモードを抽象してしまい、抽象されたモード（abstract mode）について分担関係を説明しようとするのが「機能選択モデル」と呼ばれるものである。モーダルスプリットの方法は大きく以上の2つに分類されるわけであるが、しかしいずれのモデルによっても混合トリップの

生起自体を解明することは困難である。前者においては、代表交通手段の端末における交通手段は付加的にしか取扱われておらず、また後者においても1本の経路としての機能という形で全体の中に閉じ込められているのである。確かに、後者のモデルにおいても競合ルートを何本か想定することにより、端末の交通手段についていくつかのケースを想定することは可能である。しかし、それとても条件付の選択問題である。決定論的に混合トリップの生起を説明し得るモデルは構成し得ない。

モーダルスプリット研究の歴史をふりかえると、「道路 vs 鉄道」という binary choice 問題から、multi-modal choice へと発展し、そして最近では代表交通手段の両端末におけるフィーダーサービスの問題が重要なテーマとなりつつある。自動車交通による弊害は鉄道等のマストランシット・公共交通機関への転換政策を促かし、また最近ではトランスポート・ブア（交通貧困層、交通弱者）の問題に象徴されるように、市民に対する公共交通サービスの密度の高い提供、いかにすれば一種のシビルミニマムとしての公共交通サービスの提供という方向も重要視され、同時に歩行者・自転車といった従来のモーダルスプリットではややもすれば無視されがちであった弱者的交通にも復権のきざしが見えはじめている。一方、都市/都市圏の膨張に伴う郊外鉄道沿線における Park + Ride、Kiss + Ride ならびに Pedal + Ride といった混合利用形態も見逃せなくなってきている。このような都市/都市圏における各種交通手段の多様な混合形態を包括的に説明し得るモーダルスプリット、すなわち Mixed Modal Split のモデルが、新種交通手段の導入に際しての需要予測ならびに混合トリップを前提とした総合交通体系を確立する上で必要となってきている。

本節では次項 4.3.2 で混合トリップの実態を概観し、そして 4.3.3 項では混合トリップモデルを構築する際の各方法を列挙し、それらに検討を加える。具体的には混合トリップの構造をいかなる形式で把握するかについて議論がなされる。そして 4.3.4 項ではマイクロなアプローチとしてクモータルミクス手法<sup>ク</sup>を、4.3.5 項ではマクロなアプローチとして電気回路モデルについて考察する。

#### 4.3.2 混合トリップの実態<sup>1),2)</sup>

本項では京阪神都市圏 P.T. 調査（1970）データから混合トリップの実態を眺め、トリップ目的・トリップ長などのトリップ特性との関係を明らかにする。P.T. 調査ベースの交通機関分類は次のとおりである。

1. 徒歩	5. 路線バス	9. 乗用車	13. 自転車
2. 国鉄	6. 貸切バス	10. 貨物車	14. その他
3. 地下鉄・私鉄	7. 自家用バス	11. ライトバン	
4. 市電	8. タクシー・ハイヤー	12. オートバイ・バイク	

地下鉄・私鉄が一項目となっているのは相互乗入れ運行が実施されていることによる。代表交通手段については輸送機能面やサンプルサイズからの検討の後、次のように分類されている。

1 鉄 道	国鉄・私鉄・地下鉄
2. バ ス	路線バス・貸切バス・市電
3. 自 家 用 車	乗用車・貨物車・自家用バス・ライトバン
4. タ ク シ ー	タクシー・ハイヤー
5. 徒歩・2輪車	徒歩・自転車・オートバイ・バイク

(1) トリップ目的とMixed Mode

表4・3・1はトリップ目的別・利用交通機関数別にトリップ数が集計されている。ここでいう利用交通機関数は、同一交通機関内での乗り換え、乗り換え徒歩、および末端徒歩は考慮していない

表4・3・1 目的別利用機関数別トリップ数  
 上段：トリップ数  
 下段：構成比(%)

利用機関数 \ 目的	出 勤	登 校	業 務 1	業 務 2	自 由 1	自 由 2	帰 宅	合 計
1	3,039,526 80.9	749,095 78.8	2,532,523 96.2	2,108,795 97.1	1,575,281 93.9	1,258,440 89.8	6,703,021 86.2	17,966,681 88.2
2	685,912 18.3	194,839 20.5	93,444 3.6	60,421 2.8	97,506 5.8	136,720 9.7	1,019,964 13.1	2,288,806 11.2
3	31,325 0.8	7,039 0.7	6,382 0.2	2,681 0.1	4,451 0.3	6,788 0.5	52,428 0.7	111,094 0.6
合 計	3,756,763 100.0	950,953 100.0	2,632,349 100.0	2,171,897 100.0	1,677,238 100.0	1,401,948 100.0	7,775,413 100.0	20,366,581 100.0

(注) 末端徒歩、乗換え徒歩は考慮せず、徒歩完結トリップ、4機関以上利用トリップを除いた利用機関数別の集計である。

い。まず目的合計でみると、1 機関利用トリップは全体の 93.9 % を占めており、代表交通手段を対象とした解析はかなり有効であることがうかがわれる。しかし、これをトリップ目的別に眺めてゆくと必ずしもそうとは言えなくなる。たとえば、出勤、登校といった日常的に反復される交通については 2 交通手段以上利用するものの割合は 20% 近くまで上昇する。他方、業務トリップにあっては 1 交通手段トリップが圧倒的であり、とくに巡回的な業務目的 2 では 97.1 % までにもなっている。これは業務トリップの大半が自動車を利用していること、ならびにそのトリップ長が短いことなどに起因しているのである。逆にトリップの足の長い出勤や登校では交通ネットワークの形態に左右され必然的に複数手段利用が多くなる。

### (2) 交通機関組合せパターン別トリップ数

表 4・3・2 には Mixed Mode トリップの組合せパターン別のトリップ数が集計されている。2 交通機関利用トリップの場合、鉄道と他の交通機関の組合せが圧倒的に多く、とくに鉄道+バスのパターンはその 72.9 % を占めている。3 交通機関利用トリップにおいては 99% 以上が鉄道を含んでいる。このことから Mixed Mode トリップとは実数上鉄道を中心とした混合トリップであると解釈してよい。この事実は次項以降で考察される Mixed Mode のモデル化に欠くことのできない基礎となる。

### (3) トリップ長と Mixed Mode

図 4・3・1 にはトリップ長ランク別に、全目的トリップについて利用交通機関数毎の割合が示されている。ここで用いられたトリップ長はゾーン間流動距離である。この図からも分るように 1

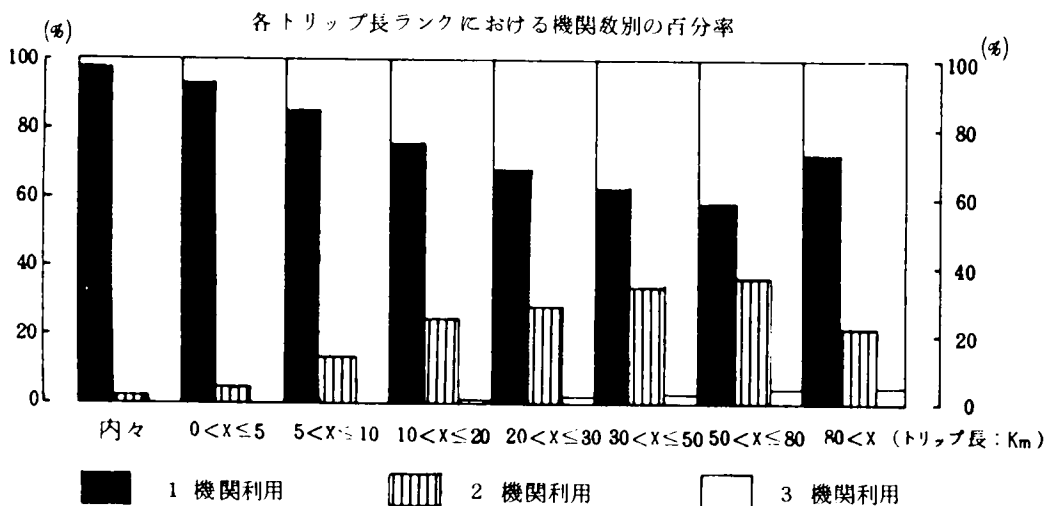


図 4・3・1 トリップ長別機関数別トリップ数構成 (目的合計)  
各トリップ長ランクにおける機関数別の百分率

表 4・3・2 利用機関数別機関組合せ順位

	1 機関利用			2 機関利用			3 機関利用		
	機関	トリップ数	構成比	機関	トリップ数	構成比	機関	トリップ数	構成比
1	鉄道	4,723,658	26.4	鉄道・バス	1,677,651	72.9	鉄道・バス・二輪車	44,354	39.2
2	乗用車	3,897,508	21.7	バス・二輪車	227,600	9.9	バス・乗用車	32,317	28.5
3	二輪車	3,416,198	19.0	乗用車	156,989	6.8	バス・タクシー	20,147	17.8
4	貨物車	3,089,309	17.2	バス・タクシー	152,319	6.6	バス・タクシー・乗用車	4,449	3.9
5	バス	2,216,463	12.3	バス・乗用車	20,085	0.9	乗用車・二輪車	2,848	2.5
6	タクシー	511,779	2.8	鉄道・貨物車	16,091	0.7	バス・タクシー	2,813	2.5
7	その他	111,756	0.6	バス・二輪車	13,677	0.6	バス・貨物車	2,696	2.4
8				バス・タクシー	11,074	0.5	バス・タクシー・その他	1,748	1.5
9				鉄道・その他	8,198	0.4	バス・タクシー・貨物車	442	0.4
10				乗用車・二輪車	4,657	0.2	バス・二輪車	441	0.4
11				貨物車	3,496	0.2	バス・タクシー・その他	191	0.2
12				バス・その他	2,854	0.1	バス・乗用車	165	0.1
13				バス・貨物車	2,291	0.1	鉄道・乗用車・貨物車	172	0.2
14				タクシー・乗用車	878	0.0	バス・タクシー・二輪車	113	0.1
15				バス・二輪車	705	0.0	バス・乗用車・その他	89	0.1
16				バス・貨物車	648	0.0	バス・二輪車	79	0.1
17				乗用車	599	0.0	乗用車・タクシー・その他	73	0.1
18				二輪車・その他	447	0.0	貨物車	64	0.1
19				タクシー	319	0.0	鉄道・乗用車	45	0.0
20				乗用車	200	0.0	バス・貨物車・二輪車	42	0.0
21				貨物車	65	0.0	その他の組合せ	0	0.0
計		17,966,681	100.0	計	2,300,843	100.0	計	113,288	100.0

(注) 1 機関利用については徒歩完結トリップを除く集計結果である。

交通機関利用の割合はトリップ長が増すほどに減少し、他方2交通機関利用の割合はトリップ長が増すにつれ増加するものの、50 Km～80 Kmあたりをピークとして次第に減少してゆく。これはある距離より長くなると、2つの交通手段で到達することがもはやネットワーク構造上不可能になり、3交通手段利用割合が増加することを示している。実際、図4・3・2をみても分るように、この50Km

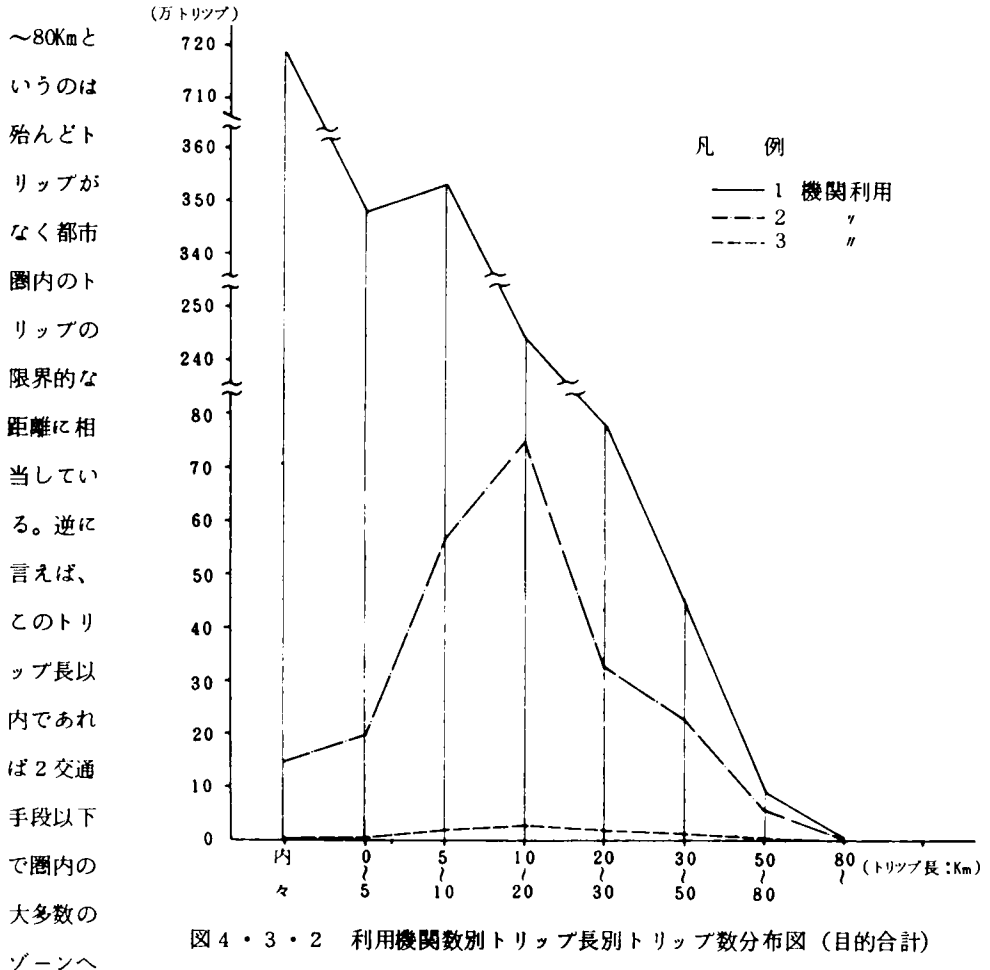




表4・3・3 1目的トリップ内における交通機関関連

上段：構成比(%)  
下段：トリップ数

先	後	鉄 道	バ ス	タクシ-	貨 物 車	乗 用 車	二 輪 車	合 計
鉄 道	—	73.3 952,591	—	9.2 119,919	0.5 6,908	6.4 83,151	10.6 137,262	100.0 1,299,831
バ ス	97.0 940,949	—	—	0.9 8,910	0.1 1,027	1.1 10,355	0.9 8,638	100.0 969,879
タクシ-	93.9 69,403	4.8 3,521	—	—	0.6 417	0.5 355	0.3 213	100.0 73,909
貨 物 車	74.7 12,407	11.2 1,858	—	1.6 271	—	2.2 365	10.2 1,700	100.0 16,601
乗 用 車	86.8 111,236	10.5 13,426	—	0.6 737	0.2 270	—	1.9 2,417	100.0 128,086
二 輪 車	92.3 145,822	4.8 7,605	—	0.3 492	1.2 1,837	1.4 2,240	—	100.0 157,996
合 計	48.4 1,279,817	37.0 979,001	—	4.9 130,329	0.4 10,459	3.6 96,466	5.7 150,230	100.0 2,646,302

(注) 本表は、2・3機関利用トリップに関する集計結果である。

もやはりバスが圧倒的であり、今度は先の場合よりもタクシーのウェイトが高くなっている。貨物車、乗用車という個人交通手段は当然ながら減少している。

鉄道を含まない連関のうち実数上無視できないのは乗用車、2輪車からバスへという連関ならびにバスからタクシー、乗用車、2輪車という連関である。トリップの中にはバスが鉄道の機能を代行しているものがあることを示している。恐らく鉄道ネットワークの存在しないエリアで発生しているものと思われる。

以上、示した結果を総括すると、交通機関分担解析は全目的トリップを対象とする場合は、代表交通手段を対象として解析してもさほど現実と遊離したことにはならないと考えられるが、さらにトリップ目的別に解析する場合にはそうとは言えなくなる。将来におけるトリップ目的毎の原単位の変化などを考え併せるなら、トリップ目的毎の解析が重要となり、とくに出勤、登校といった交通におけるMixed Modeの割合が20%にも達することには注目すべきである。業務交通などは今後とも代表交通手段という概念で解析しても一向に差しつかえないものと思われる。

Mixed Modeの諸形態の大半は鉄道を含むものであることから、鉄道を中心としたMixed Mode分析の重要性が示唆される。とくに都市圏にあっては母都市へ通ずる鉄道へのアクセス手段、ならびに着側での鉄道から目的地までのイグレス手段の取扱いが重要である。それらの末端交通手段によるジャーニーは、トリップの発エンドの都市ならびに着エンドの母都市にとってみれば都市内交通として立派に1トリップとしての性格を持っているのである。

### 4.3.3 混合トリップのモデル化に関する考察

本項では混合トリップを取扱うモデルとしてどのようなものが考えられるかについて概観する。アプローチの立場としては大きく分けて、マクロモデルとマイクロモデルとを考慮することができる。マクロモデルとは流れの量を決定するモデルであり、マイクロモデルとは個人の選択技を決定するモデルをさしている。本項でとりあげるのは以下に示す5手法であるが、このうち前3者はマクロモデルに、後2者はマイクロモデルに属する。

- (i) 遷移行列を用いる方法〔A〕
- (ii) 遷移行列を用いる方法〔B〕
- (iii) 電気回路にアナロジーする方法
- (iv) 効用理論を用いる方法
- (v) モーダルミクス手法

以下、これらについて順を追って説明してゆこう。

#### (i) 遷移行列を用いる方法〔A〕

前項でみてきたように現実の混合トリップとして生起するパターンは限られており、全モードについて全ゆる組み合わせパターンを考えつくす必要はないとことから、例えば図

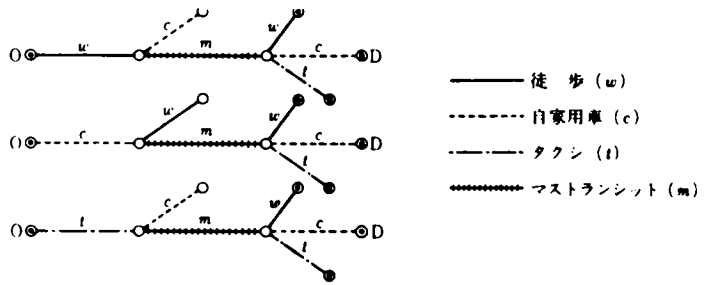


図4・3・3 混合トリップの代表的パターン

4・3・3のような考えられるパターンだけとり出して記述する方法が佐佐木（1974）によって提案されている。ここに示された12種類のパターンは次のような2つの遷移行列の積で表現される。

$$\begin{aligned}
 P_1 P_2 &= \begin{matrix} & w & c & m \\ \begin{matrix} w \\ c \\ t \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & P_{wc} & P_{wm} \\ P_{cw} & 0 & P_{cm} \\ 0 & P_{tc} & P_{tm} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{mw} & P_{mc} & P_{mt} \end{bmatrix} \end{matrix} \\
 &= \begin{bmatrix} P_{wc}, P_{wm}, P_{mw}, P_{wm}, P_{mc}, P_{wm}, P_{mt} \\ P_{cw}, P_{cm}, P_{mw}, P_{cm}, P_{mc}, P_{cm}, P_{mt} \\ P_{ct}, P_{tm}, P_{mw}, P_{tm}, P_{mc}, P_{tm}, P_{mt} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

下段の行列の各要素が12種類のパターンの混合トリップを示している。結局上段の行列中に現わ

れる9個の遷移確率を記録しておけば実用上十分と考えられる。上記以外の混合トリップについては無視するか、あるいはさらに行列を拡張してもよい。

混合トリップの最初のジャーニーの交通手段別発生量を

$$U = \begin{pmatrix} u_w & & 0 \\ & u_c & \\ 0 & & u_t \end{pmatrix}$$

で表わすと、上記12種類の混合トリップ数は  $U P_1 P_2$  によって与えられることになる。

(ii) 遷移行列を用いる方法 [B]

先の遷移行列を用いる方法[A]は、一般の場合について拡張することができ、発生量を  $L$ 、第1ジャーニーの分担率を

$$\lambda = (\lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_K), \quad K: \text{交通手段の数}$$

で表わすとき、混合トリップの全てのパターンは以下のように表わせる。

$$L \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & \lambda_K \end{pmatrix} P$$

ここに  $P$  は

$$P = P_1 P_2 \cdots P_S, \quad S: \text{考えられる連関ステップの最大数}$$

$$P_s: \text{第 } s \text{ ステップの遷移行列 } (s = 1, 2, \cdots, S)$$

もし、着エンド分担率(最終ジャーニーの分担率)が

$$\mu = (\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_K)$$

と得られておれば

$$L \lambda P = L \mu$$

が成立し、したがって

$$\lambda P = \mu \quad \cdots \cdots \cdots (4 \cdot 1)$$

なる関係式が成立している。

一方、 $P_1 = P_2 = \cdots = P_S$  ならば、この単純マルコフ過程には極限分布が存在し、それは

$$P^* = \begin{pmatrix} \omega_1 & \omega_2 & \cdots & \omega_K \\ \omega_1 & \omega_2 & \cdots & \omega_K \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \omega_1 & \omega_2 & \cdots & \omega_K \end{pmatrix}$$

と書くことができる。

このとき  $\overset{*}{P}$  が  $P$  を十分近似している ( $\overset{*}{P} \doteq P$ ) とみなすことができるならば

$$\lambda \overset{*}{P} = \mu \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 2)$$

なる関係式が成立し、 $\lambda$  と  $\mu$  を得て  $\overset{*}{P}$  を計算することができる。式 (4.2) は以下のような形をしており、

$$(\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_K) \begin{pmatrix} \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_K \\ \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_K \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_K \end{pmatrix} = (\mu_1 \mu_2 \dots \mu_K)$$

( $\sum \lambda_i$ )  $\omega_j = \mu_j$  において  $\sum \lambda_i = 1$  であるから

$$\omega_j = \mu_j \quad (j = 1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 3)$$

を得る。

この  $\lambda = (\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_K)$  と  $\omega = (\omega_1 \omega_2 \dots \omega_K)$  を得てモード連関のプロセスを記述することができるであろう。この方法はあくまでも連関プロセスが単純マルコフ過程であるという想定のもとに成立する方法ではあるものの、これによって連関プロセスの近似パターンを求めるところの実用的な方法であるといえよう。

一方、モード連関プロセスを吸収マルコフ過程とみなす場合には、次のような遷移行列を定義すればよい。

$$Q = \begin{bmatrix} r_1 & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1K} \\ r_2 & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_K & y_{K1} & y_{K2} & \dots & y_{KK} \end{bmatrix} = [R, Y]$$

ここに  $y_{ij}$  はモード  $i$  からモード  $j$  へ遷移する確率、 $r_i$  はモード  $i$  でもってトリップを終了する確率である。

第1ジャーニー数は

$$L^{(1)} = L \lambda \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 4)$$

第1ジャーニーでトリップを終了するものについては、

$${}^*R = \begin{pmatrix} r_1 & & & \\ & r_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & r_K \end{pmatrix}$$

なる行列を用いて

$$L^{(1)} {}^*R$$

となり、つづいて第2ジャーニーを行なうものは

$${}^*L = L \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_K \end{pmatrix}$$

を用いて、連関パターン毎に

$$L^{(2)} = {}^*LY \dots\dots\dots (4 \cdot 5)$$

と表わすことができる。第2ジャーニーでトリップを終了するものは

$$L^{(1)} Y {}^*R$$

のようにすれば連関パターン毎にその実数を得ることができる。

ひきつづき第3ジャーニーを行なうものは、

$$L^{(1)} Y Y = L^{(1)} Y^2 \dots\dots\dots (4 \cdot 6)$$

などと記せ、以下同様のプロセスを繰返せば任意のステップの連関パターンを記述することができるが、実際には第3ジャーニーぐらいまで追跡すれば十分であろう。実際的には第3ジャーニーで計算を打ち切り、そこでトリップを終了したものとみなせばよいのである。

(iii) 電気回路にアナロジーする方法

詳しくは本節第4.3.5項で紹介するが、ここではその基本的な考え方について説明しておこう。電気回路にアナロジーする場合には一般に、(1)路線を利用して乗客が流動するのは路線の両端にある種の圧力が存在するためであるとする。これを電圧と考える。(2)路線の乗客流動量を電流と考える。(3)路線のサービス水準(の悪さ)を抵抗と考える。そして最も大事なことは、電気回路においては、電流は「総電気エネルギー最小の原則」に従って流れている、ということである。しかしモーダルスプリットにおいては、この電気エネルギーに対応する概念が明確ではないので、この原則を確かめることは不可能であるが、路線間の需要量が均衡したものであるという観点に

立てば、その均衡点においては「電気エネルギー」に対応するものは最小となっていると解釈しておこう。

さて、図4・3・4のような*i-j*間の混合トリップをモデル化することを考えてみる。この場合、考え得る交通機関選択のケースは、(1)車のみでトリップを完遂する場合、(2)車+鉄道 (Park + Ride

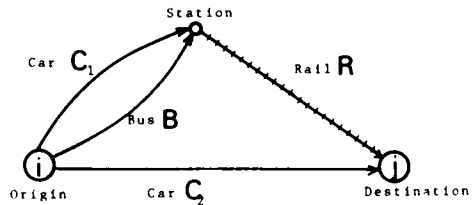


図4・3・4

又は Kiss + Ride)、(3)バス+鉄道、の3種類であるとしておく。

このネットワークを2端子リレー回路で表現する場合、我々は次のような2つのケースを考慮することができる。(図4・3・5(a),

(b)参照)。この2つの回路の論理関数をブール代数を用いて表現しよう。(X, Y)が並列の場合、論理関数は $H = X + Y$ 、(X, Y)が直列の場合論理関数は $H = X \cdot Y$  (論理積)となることを用いると、

(a)の場合の論理関数は

$$H_a = C_1 \cdot R + B \cdot R + C_2,$$

(b)の場合の論理関数は

$$\begin{aligned} H_b &= (C_1 + B) \cdot R + C_2 \\ &= C_1 \cdot R + B \cdot R + C_2 \end{aligned}$$

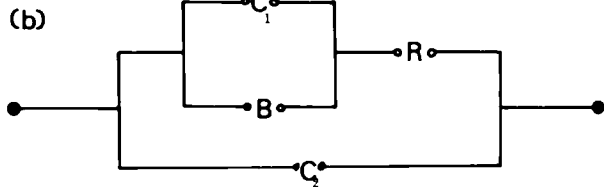
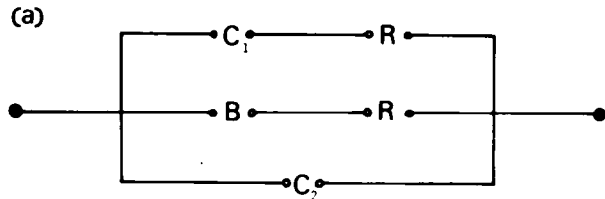


図4・3・5

となり、結局(a)と(b)の論理関数は等しい。すなわち、(a)のネットワークは論理的には(b)のネットワークに集約することができる。しかし、我々の問題にとって、たとえこの2つのネットワークが論理的に等価であるとしても、それらの物理的意味 (抵抗の概念) や競合関係は全く相違していることに注意しよう。

すなわち、(a)においては $(C_1 \cdot R, B \cdot R, C_2)$ の3者が互いに競合関係にあるのに対し、(b)においては $(C_1, B)$ の競合関係と、それを内包した $(C_1 \cdot R + B \cdot R, C_2)$ という競合関係の2つを含んでいるのである。

第4.3.5項ではこの点に着目して具体的にモデルの構造を組立て、そのちがいを検討を加える。

(IV) 効用理論を用いる方法

(i) ~ (iii) で紹介した3つの方法は流れの量を対象とするマクロな方法であった。ここで述べる方法、ならびに (V) で紹介する方法はいずれも、個人の選択行動の原点まで遡行して、何故混合トリップが選好され、またそれはどのような比率で生じるかという点に規範的(経済合理的)な説明を与えようとするものである。

一般に、交通機関選択問題を経済財選択問題として考える場合には次のような事柄に留意しなければならない。

- (1) 一般に経済財では、その購入にあたっての数量調整が可能である。いいかえると、経済財は連続変量であるのに対して、交通機関の場合は、いくつかの離散的なメニューの中からの1セットの選択であるという点が基本的に異なっている。
- (2) 一般に経済財は、購入することによって購買者の効用が高められるが、交通というものはドライブなどを除けば、本源需要からみて派生需要であり、本来、交通することによる損失が少ないほど望ましいという性格を持っていること。
- (3) (1)とも関連するが、 $\kappa$  選択の自由性を保証されていることが少ない。すなわち、ネットワークの制約や社会学的な要因に制約されて、選択は実際のところ限定されていること。
- (4) 交通手段の組合わせに順序が存在すること。すなわち、混合トリップにおいては、交通手段の性格やそのネットワークの位置などからして、ある一定の生成順序が存在すること、など。

ここでは効用理論を用いる方法について考えてみよう。効用理論を用いた消費者行動の理論的分析は一般に次の2つの法則をベースにしている。前者は十分条件、後者は必要条件でもある。

(1) 限界効用逓減の法則

いま、ある1つの財の購入量を  $x$  とするとき、効用関数が  $u = f(x)$  で定義され、この関数  $f$  は次の性質をもつ。

$$du/dx > 0, \quad d^2u/dx^2 < 0 \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 7)$$

(2) 限界効用均等の法則

いま、複数の財によって効用関数が定義されている。

$$u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

このとき各財を若干量ずつ消費することによって得られる満足、すなわち効用を最大にしようとするとき、次のような関係の成立が必要である。

$$\frac{f_1}{p_1} = \frac{f_2}{p_2} = \dots = \frac{f_i}{p_i} = \dots = \frac{f_n}{p_n} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 8)$$

ここに $f_i$ は第 $i$ 財の限界効用、 $p_i$ は第 $i$ 財1単位の価格である。そして予算制約式は $\sum p_i x_i = I$ であるとする。

したがって我々の問題は関数 $f$ をどのように定義するかにかかっている。いま次のような考え方をすれば経済学的法則に矛盾しない形で混合トリップの選択問題にアプローチできるであろう。

- (1) 交通することによる物理的損失(所要時間、疲労度など)でもって効用関数を定義する。  
( $T$ が大きくなるほど効用 $u$ は小さくなる。)

$$u = f(T)$$

ここに

$$T = \sum_{i=1}^K \{ t_i + \gamma \cdot t_i C_i \}$$

$t_i$  : 第 $i$ ジャーニーの所要時間

$C_i$  : 第 $i$ ジャーニーの単位時間当り消費カロリー

$t_i C_i$  : 第 $i$ ジャーニーで消費されたカロリー

$\gamma$  : カロリーを時間に換算する係数

$K$  : 今考えている混合トリップにおけるジャーニーの数

- (2) 上の関数 $f$ は次の条件を満足するように特定化されなければならない。

$$f' < 0, f'' > 0$$

たとえば $f$ として次のような形を想定してみる。

$$u = f(T) = 1/\sqrt{T}$$

$$= \frac{1}{\sum_{i=1}^K \{ t_i + \gamma t_i C_i \}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^K (1 + \gamma C_i) t_i}$$

この場合の限界効用均等の法則は、 $P_i$ を第 $i$ ジャーニーの単位時間利用当りの費用として

$$\frac{\partial u}{\partial t_i} / P_i = \frac{\partial u}{\partial t_j} / P_j \quad (i \neq j) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 9)$$

と表わせ、

$$\frac{\partial u}{\partial t_i} = - \frac{1 + \gamma C_i}{\{ \sum_i (1 + \gamma C_i) t_i \}^2}$$

であることから、(4.9)式は、整理した後



$$\frac{1 + \gamma C_i}{P_i} = \frac{1 + \gamma C_j}{P_j} \dots\dots\dots (4 \cdot 10)$$

となる。式(4・10)の具体的な意味は、両辺の分母分子にそれぞれ  $t_i, t_j$  を乗じて

$$\frac{t_i + \gamma t_i C_i}{P_i t_i} = \frac{t_j + \gamma t_j C_j}{P_j t_j}$$

とし、ここで

$H_i = t_i C_i$  : 第  $i$  ジャーニーでの消費カロリー

$q_i = P_i t_i$  : 第  $i$  ジャーニーの費用

とおけば

$$\frac{t_i + \gamma H_i}{q_i} = \frac{t_j + \gamma H_j}{q_j} \quad (i \neq j, j = 1, 2, \dots, K)$$

となり、各ジャーニーにおける単位費用当りの  $\gamma$  一般化された所要時間  $\gamma$  が均等であることを示している。

いま、たとえば  $K=2$  の場合について考えてみると

$$\frac{t_1 + \gamma H_1}{q_1} = \frac{t_2 + \gamma H_2}{q_2}$$

において  $(t_1, H_1, q_1), (t_2, H_2, q_2)$  は観測から得られた値で所与であるから、 $\gamma$  の値を計算によって求めることができる。

同様に  $K=3$  の場合についても

$$\frac{t_1 + \gamma H_1}{q_1} = \frac{t_2 + \gamma H_2}{q_2} = \frac{t_3 + \gamma H_3}{q_3} \dots\dots\dots (4 \cdot 11)$$

より、 $\gamma$  の値を算出することができる。しかし、このようにして求められた  $\gamma$  の値は、非負条件を必ずしも満足するとはいえないこと、ならびに  $K=3$  には上の恒等式から 2 種類の値を得ることができ、それは一般に等しくない。などの性質を持っている。それは、上で展開した理論解はあくまでも規範的なものであり、現実問題においては先に述べたような(1)~(4)の理由により、この理論解の示す混合パターンからの乖離を生じているためである。しかし我々は(4・11)式で示されるような規範的なパターンをもとにして、逆に何故現実の混合パターンが理論パターンと乖離しているのかという原因を探ることができよう。それは、所要時間、消費カロリー、費用という 3 つの概念の再検討を促すと同時に、まだ欠落しているファクター(分子に追加すべき)の探究へと発展してゆくであろう。また場合によっては、換算係数  $\gamma$  そのものについても各交通手段について一定であるという仮定をも再検討しなければならないかもしれない。

(V) モーダルミクス手法

ここに紹介するモーダルミクス手法は Goodwin(1974) によって提案されたもので、具体的には、ある個人が1ヶ月間に延100 Kmの移動を行なうとして、そのうち何Kmをバスによって移動し残りを車で移動するかというような、延移動距離に対する交通手段の割当て問題である。<sup>6)</sup> 考え方は、次のようなク一般化された総時間 $g$ を最小にするようにモードの配分率を決定しようとするものである。

$$g = t + \lambda^{-1} C \rightarrow \text{Min.}$$

ここに $t$ は所要時間、 $C$ はトリップ・コストで、 $\lambda$ は時間価値である。いま2つのモード $a$ 、 $b$ を考え、延移動距離 $D$ に対してモード $a$ 利用距離を $d_a$ 、モード $b$ 利用距離を $d_b$ とし、

$$P_a = d_a / D, \quad P_b = d_b / D = 1 - P_a$$

でもって配分率を定義する。このとき全所要時間 $t$ と全トリップコスト $C$ は次のように表わされる。

$$t = t_a P_a + t_b (1 - P_a)$$

$$C = C_a P_a + C_b (1 - P_a)$$

文献(6)では、この $(t_a, t_b)$ 、 $(C_a, C_b)$ の関数形を種々想定し、それらの検討を行っている。

上の問題の解は $dg / dP_a = 0$ より得られるが、所要時間 $t_a, t_b$ はそれぞれ、

$$t_a = f_1(d_a) = f_1(D, P_a)$$

$$t_b = h_1(d_b) = h_1(D, P_b)$$

さらにコスト関数は

$$C_a = f_2(d_a) = f_2(DP_a)$$

$$t_b = h_2(d_b) = h_2(DP_b)$$

となり、それぞれ配分率の関数となっていることがポイントであり、上の関数 $f_1, h_1, f_2, h_2$ をそれぞれ一次関数とすると、上の問題は $P_a$ に関する2次関数の最小化問題となるのである。結局、解は

$$P_a = \begin{cases} F & (0 \leq F \leq 1) \\ 0 & (0 \geq F) \\ 1 & (F \geq 1) \end{cases} \dots\dots\dots (4 \cdot 12)$$

ここに $F$ は2次関数の極大値を与える $P_a$ の値である。

本モデルは先の(IV)で述べた方法とやや異なる観点からのアプローチであり、同様に混合トリップの問題に使うことができる。本法を具体的な1トリップに応用する方法が次の第4.3.4項で紹介される。

#### 4.3.4 モーダルミクス手法<sup>7)</sup>

ここでは混合トリップの生起に関する分析を行うための基本的なモデルを提示する。

今、問題を簡単にするために交通機関は鉄道とバスの2種類とする。図4・3・6に示す鉄道ネットワーク（駅は無数にある）とバスネットワーク（無数に存在する）のも

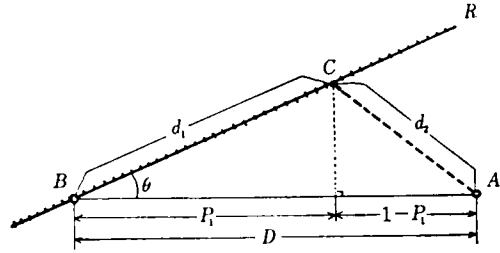


図4・3・6 基本モデルのためのネットワーク

とでA点よりB点へ移動するトリップメーカーの混合トリップを問題にする。

いま、鉄道ならびにバスはそれぞれ一般化された単位距離当りの所要時間 $T_1, T_2$ をもっている。

$$\begin{aligned} T_1 &= t_1 + \lambda^{-1} m_1 \\ T_2 &= t_2 + \lambda^{-1} m_2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 13)$$

ここに

- $t_1, t_2$  : 鉄道、バスの単位距離当りの所要時間
- $m_1, m_2$  : 鉄道、バスの単位距離当りの費用
- $\lambda$  : トリップメーカーの持つ時間価値

このとき、A点をバスで出発したトリップメーカーはC点で鉄道に乗り換えるものとする、

$$\begin{aligned} d_1 &= P_1 D / \cos \theta \\ d_2 &= D \sqrt{P_1^2 / \cos^2 \theta - 2 P_1 + 1} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 14)$$

ここに

- $D$  : A B間の直線距離
- $\theta$  :  $\angle ABR$
- $P_1$  : 直線距離 $D$ 上に占める鉄道利用距離 $d_1$ の相対距離（線分AB上での鉄道利用率）

A点からC点を経由してB点に達するまでの総時間 $G$ は

$$\begin{aligned} G &= T_1 d_1 + T_2 d_2 \\ &= T_1 P_1 D / \cos \theta + T_2 D \sqrt{P_1^2 / \cos^2 \theta - 2 P_1 + 1} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 15)$$

トリップメーカーは $G$ を最小にする地点Cでバスから鉄道へ乗継ぐものとする、その点は $dG / dP_1 = 0$ より求められる。

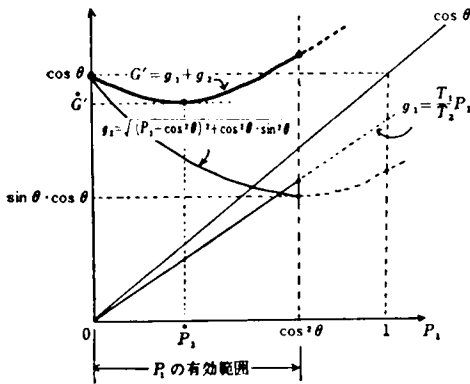
関数  $G$  は書き直すと以下のようなになる。

$$G = \frac{T_2 D}{\cos \theta} \left\{ \frac{T_1}{T_2} P_1 + \sqrt{(P_1 - \cos^2 \theta)^2 + \cos^2 \theta \cdot \sin^2 \theta} \right\} \dots\dots\dots (4 \cdot 16)$$

この  $G$  は、

$$T_1 / T_2 \leq \cos \theta \dots\dots\dots (4 \cdot 17)$$

なる条件下で、図 4・3・7 に示すように極小値を持つ。  $P_1$  の有効範囲は  $0 \leq P_1 \leq \cos^2 \theta$  であり、



極小値  $G^*$  を与える  $P_1^*$  の値は、

$$P_1^* = \cos^2 \theta \left( 1 - \tan \theta \sqrt{\frac{k}{1-k}} \right),$$

$$k = (T_1 / T_2)^2 \dots\dots\dots (4 \cdot 18)$$

図 4・3・7 に示す曲線  $G'$  より分るように、  $T_1 / T_2$  すなわち  $k$  の値が小さくなるほど  $P_1^*$  は  $\cos^2 \theta$  に近づく。また式 (4・18) より分るとおり、  $P_1^*$  は  $T_1, T_2, \theta$  の関数であり、  $A, B$  間距離  $D$  には関係しない。

一方、条件式 (4・17) が成立しないとき、すなわち  $T_2 / T_1 < 1 / \cos \theta$  の場合には  $P_1^* = 0$  で  $G$  は最小値となる。すなわち最適経路は  $A$  から  $B$  へ直接バスを利用することになる。

$P_1^*$  が式 (4・18) で与えられるとき、  $G = G(P_1)$  とすると

$$\begin{aligned} G^*(P_1) &= G(P_1^*) \\ &= DT_1 \left( \cos \theta - \sin \theta \sqrt{\frac{k}{1-k}} \right) + DT_2 \sin \theta \sqrt{\frac{k}{1-k}} \dots\dots\dots (4 \cdot 19) \end{aligned}$$

結局、

$$G^*(P_1) = \begin{cases} G(P_1^*) = (4 \cdot 19) \text{ 式} \dots\dots (T_1 / T_2 \leq \cos \theta) \\ G(0) = T_2 D \dots\dots\dots (T_1 / T_2 > \cos \theta) \end{cases} \dots\dots\dots (4 \cdot 20)$$

### 基本モデルの拡張 (1)

図 4・3・8 に示すような鉄道をはさむ 2 地点  $A, B$  間の混合トリップの生成問題は、いま  $O$  点を直線  $AB$  と鉄道との交点とすると、  $AO$  間、  $OB$  間の混合トリップを基本モデルによって求め、

それらを結合したものと同一である。それは次の定理を証明することによって裏づけられる。

〔定理〕 A B間の最適経路は必ずO点を經由する。

〔証明〕 今、最適混合経路がO点を含まない線分CDを經由して存在するものと仮定する。このとき  $\beta < \theta < \alpha$  が成立している。A C間に基本モデルを適用すると、その条件は  $T_2 / T_1 \geq 1 / \cos \alpha$  でなければならない。次にC B間においてはバス利用の条件から、 $T_2 / T_1 < 1 / \cos \beta$  が成立しているはずである。いま  $\sin \beta < \sin \theta < \sin \alpha$  であるから、

$$\cos \beta > \cos \theta > \cos \alpha$$

すなわち

$$1 / \cos \beta < 1 / \cos \theta < 1 / \cos \alpha$$

が成立していなければならない。しかるに先の2条件式はこの関係と矛盾している。よって、最適経路は必ずO点を經由する。C点がO点を含んでO点の左側にあるときのみ、 $\beta \geq \theta$  が保証され矛盾が解消する。

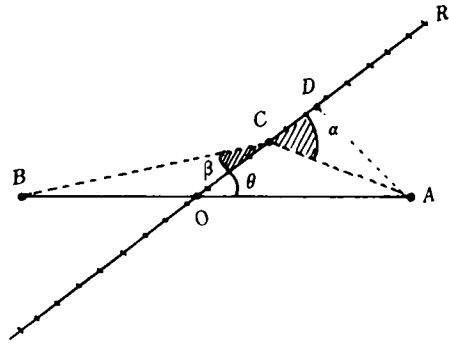


図4・3・8 拡張(1)の起終点

### 基本モデルの拡張 (2)

図4・3・9に示すように鉄道の同一側に起終点A、Bが存在する場合、最適混合経路はA B'間の最適混合経路に等しい。ここにB'はB点の対称点である。ただし最適経路はA B'間の最適混合経路と、A B間の直接バス利用経路との比較により総時間の小さい方が選ばれる。

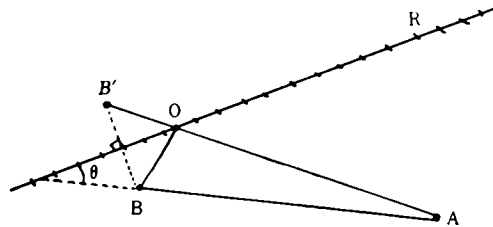


図4・3・9 拡張(2)起終点

### 基本モデルの拡張 (3)

ここでは一般化された総時間に、同じく一般化された固定時間を含む場合を考察する。たとえば乗継に要する時間、列車等の待ち時間など、利用距離とは独立な一般化された総時間が存在す

る場合である。

混合経路が選択されるとき、その時間関数は

$$G_M = G_0 + T_{10} + T_{20} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 21)$$

ここに、 $T_{10}$ 、 $T_{20}$  はそれぞれ鉄道、バスの一般化された固定時間であり、 $G_0$  は一般化された走行時間、すなわち、第(4・15)式に示したものに等しい。したがって、この場合の最適解は、 $T_{10}$ 、 $T_{20}$ が定数であることから、基本モデルの解に一致する。ただし $P_1 = 0$ はとり得ず関数 $G$ はその点で不連続となっている。

$P_1 = 0$ とは、すなわち、直接的バス利用を示しており、そのときの時間関数は、以下のようである。

$$G_2 = G_0 (P_1 = 0) + T_{20} = T_2 D + T_{20} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 22)$$

この関係を図4・3・10に示す。以上を整理すれば、表4・3・4のようになり、混合トリップが生起するのは $T_1 / T_2 \leq \cos \theta$ 、 $G_M^* \leq G_2$ の場合のみに限られることが分る。基本モデルにおける混合トリップの生起条件は起終点間距離 $D$ に無関係であったが、ここに示したように固定時間が存在する場合には、起終点間距離 $D$ は無関係でなくなる。バス利用に伴う固定時間は、このモデルでは万人に共通であるが、鉄道についての固定時間は、距離 $D$ の小さい人ほど大きなウェイトを占めることになり、したがってその分だけ基本モデルにくらべて混合トリップを行う人の数が制限されることになる。

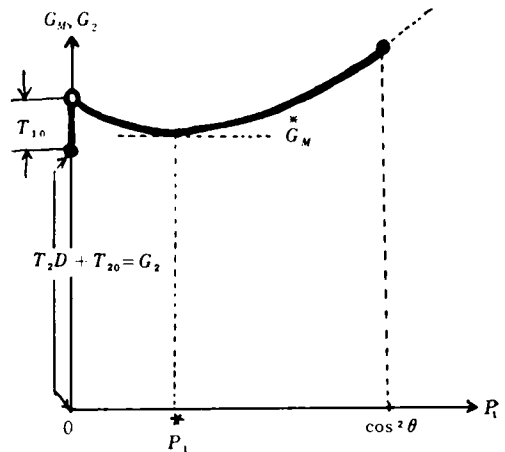


図4・3・10 固定時間を含む場合の総時間関数

表4・3・4 混合トリップの生起条件

条件	条件	$T_1 / T_2 \leq \cos \theta$	$T_1 / T_2 > \cos \theta$
$G_M^* \leq G_2$		最適混合経路が存在し、それが選択される。	最適混合経路が存在せず、 $P_1 = 0$ 以外の解はない。
$G_M^* > G_2$		最適混合経路は存在するが、それは選択されない。	同上

## 基本モデルの性質

基本モデルにおける混合トリップの生起条件は、

$$T_1/T_2 \leq \cos \theta$$

であり、これは距離  $D$  に関係しない。 $T_1/T_2 = \cos \theta$  を満足する  $\lambda$  を  $\lambda^*$  とすれば、式(4・13)より、

$$\lambda^* = \frac{m_1 - m_2 \cos \theta}{t_1 - t_2 \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 23)$$

表 4・3・5 混合トリップの生起条件

$A \geq 0$	$B \geq 0$	$\lambda \leq \lambda^*$ なる $\lambda$ については混合トリップ
	$B < 0$	全ての $\lambda$ について混合トリップはなし
$A < 0$	$B \geq 0$	全ての $\lambda$ について混合トリップ
	$B < 0$	$\lambda \geq \lambda^*$ なる $\lambda$ については混合トリップ

今、 $A = t_1 - t_2 \cos \theta$ 、 $B = -m_1 + m_2 \cos \theta$  とおけば、 $A$ 、 $B$  の正負にしたがって、 $\lambda$  と混合トリップの生起の有無の関係を表 4・3・5 のように分類できる。ただし  $\lambda > 0$  を仮定してある。最上段、 $A \geq 0$ 、 $B \geq 0$  のケースは、モード 1 の単位距離当りの時間がモード 2 のそれより大きく、かつ、コストはその逆の関係にある場合であるが、そのときは  $\lambda^*$  より小なる時間価値を持つ層は、混合トリップとしてモード 1 を利用することを示している。それに対し、最下段の  $A < 0$ 、 $B < 0$  なるケースは、最上段と全く逆のケースであり、今度は時間価値の大きい人ほど混合トリップとなる。それは、コストが少々高くついても時間の短い方の経路を選択するという行為のあらわれであると説明できる。一方、最上段のケースについては、少々時間がかかろうが安いコストの経路を選択するであろうことを示している。

次に、モード 2 の改良が式(4・18)に示した  $P_1^*$  にいかなる影響を及ぼすかを調べてみよう。

まず、混合トリップの生起条件に及ぼす影響は、 $\theta$  を一定として、例えば  $t_2$  が短縮された場合  $A$  の値が大きくなり、以下のような需要者の変化をもたらす。

$A \geq 0$ 、 $B \geq 0$  の場合

$\lambda^* \rightarrow$  小 混合トリップの減少

$A < 0$ 、 $B < 0$  の場合

$\lambda^* \rightarrow$  小 混合トリップの増加

今、単位距離当りの走行時間の小さい方のモードを優等モード、大きい方を劣等モードと名づけるとするならば、基本モデルに従って導出された上の考察は次のような帰結を伴っている。モード 1 が劣等モードであるかぎり、優等モードであるモード 2 の改良は混合トリップを増加させない。また逆に、モード 1 が優等モードであるとき、劣等モードであるモード 2 の改良は混合トリップを増加させる。

一方、 $t_2$  の短縮に伴う  $P_1^*$  の変化は、

$$\frac{\partial P_1^*}{\partial t_2} = \frac{\partial P_1^*}{\partial T_2} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t_2}$$

$$= \frac{k^2 \sin \theta \cdot \cos \theta}{(k^2 - 1)^{3/2} T_1} > 0, \quad k = T_2 / T_1 \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 24)$$

したがって、 $t_2$ が減少すれば $P_1^*$ は減少する。すなわち、モード2からモード1への乗継点が終点に近づくことを意味している。

### 混合トリップのパターン分類

混合トリップのうち2モードを利用する混合パターンは、表4・3・6に示すような組合せが存在する。このうち基本モデル

の対象とするのは対角線より上の部分についてである。対角線より下の部分については、図1に示す起終点A, BをB, Aとすることにより考察

表4・3・6 2モード混合パターン

	徒歩	自転車	バス	車・タクシー	鉄道
徒歩(W)	W	*	W & B	*	W & R
自転車(P)	*	P	P & B	*	P & R
バス(B)	*	*	B	*	B & R
車・タクシー(C)	*	*	C & B	C	C & R
鉄道(R)	*	*	*	*	R

可能であるから、ここでは省略する。また、3モードの混合パターンについても、「基本モデルの拡張(1), (2)」で取扱い得るのでここでは省略する。

さて表4・3・6に戻るが、対角線より下の部分について注意しなければならないのは、第4行第3列の乗用車→バスの組合せについてである。米国における乗用車→高速通勤バスのパターンがこれに属するが、それは高速通勤バスが高速道路を走るところの優等モードである場合にのみ我々は考察の対象としなければならないのであって、我々の基本モデルがバスネットワークの高密度な存在を仮定しており、その意味では生起可能なパターンではあるものの、現実的にはモデル上、車からバスへの乗継は絶対に生起しない。車が優等モードであればそれが最後まで利用されるし、バスが優等モードであればそれが最後まで利用されるからである。バスネットワークが鉄道のそれのように固定的でない以上、このモデルでは、同様な意味でW & B, P & Bも考察の対象外となる。

基本モデルで取扱ったのは、表4・3・6のある行についての代替関係であった。ここでは列毎の比較を主たる考察の対象とする。



まず次のような4つのパターンの比較を固定時間を含む場合について行う。

$$\begin{pmatrix} B, BR \\ C, CR \end{pmatrix}$$

$BR$ の生起条件は $T_B/T_R \geq 1/\cos \theta$ で、そのとき $G_{BR}^* = \text{Min } G_{BR}$ 、そして $G_B$ を直接バス利用時の総時間とする。

一方、 $CR$ の生起条件は $T_C/T_R \geq 1/\cos \theta$ 、そのとき $G_{CR}^* = \text{Min } G_{CR}$ 、そして $G_C$ を直接車利用による総時間とする。このとき、基本モデルの拡張(3)で考察した結果を用いて、表4・3・7

のように混合パターンの生起条件が分類される。表の各要素は、それぞれ $G$ の値の小さい方のパターンが選択されることを示している。

表4・3・7 混合パターンとその生起条件

	$T_C/T_R \geq 1/\cos \theta$	$T_C/T_R < 1/\cos \theta$
$T_B/T_R \geq 1/\cos \theta$	$\text{Min } [G_{BR}^*, G_{CR}^*]$ → (BR or CR)	$\text{Min } [G_{BR}^*, G_C]$ → (BR or C)
$T_B/T_R < 1/\cos \theta$	$\text{Min } [G_B, G_{CR}^*]$ → (B or CR)	$\text{Min } [G_B, G_C]$ → (B or C)

本研究は最近ようやく注目されつつあるMixed Modal Splitに向けて、混合トリップの取扱ひ方を中心に、簡単な経済学的モデルを用いて考察したものである。本稿で提示したモデルは図4・3・6に示したようなネットワークについてのモデルであるが、その基本モデルをベースとして容易に一般的なケースに拡張し得る(ただ、混合トリップの生起条件、ならびに各種混合パターンの相互比較を行う際の条件のケース分類が複雑になるのは避けられない)。基本モデルは、現在の都市/都市圏において典型的である求心的なトリップに対する分析ツールとして用意されたものであり、その意味で基本モデルに関する特質と限界を見極めておくことは今後の展開にとって有益であるはずである。仮定したネットワークはrigidであるけれども、本モデルから導かれた結論は以下のとおりである。

(i) 各トリップメーカーはすべて経済合理的行為者(ホモエコノミクス)であるとの仮定を設け、そのような理想的な条件下における選択行動原理を明確にすることができた。すなわち、固定時間を含むケースについて、混合トリップの生起条件が①起終点間距離 $D$ 、②起点と鉄道のなす角度 $\theta$ 、③各人の時間価値 $\lambda$ 、そして④交通手段の機能(時間コスト)の4者に依存しているという点がそれである。

(ii) 基本モデルにおいては、選択し得る鉄道駅が無数に存在するとの仮定を設けているが、もしトリップメーカーに最寄り駅を選択権がある(フィーダーサービスの整備度によっては離散的ではあるが)場合には、先にみてきたように、モード1が劣等モードであるかぎり優等モー

ドであるモード2の改良は混合トリップを増加させない。また逆に、モード1が優等モードであるモード2の改良は混合トリップを増加させる。そしてそのとき、モード1の相対距離 $P_1 (d_1 \cos \theta / D)$ は小さくなる。現実的には、終点Bにより近い方の駅が最寄り駅として選択されることを意味している。

(iii) 最後に2モード混合パターンの分類とパターン相互の生起条件を比較したが、それは、鉄道駅が無数に存在し、かつ、起点Aから終点Bへあらゆる手段で到達可能であるという仮定の為に若干複雑になっているが、もし最寄り駅が限定され、かつ1つの手段で終点への到達可能性が存在しない場合には、本稿で述べた問題は最寄り駅へのアクセス手段の選択問題に転化する。この場合には、坂下による方法<sup>8)</sup>と全く同じアプローチによって解くことができる。

#### 4.3.5 電気回路モデル<sup>10)</sup>

本項では第4.3.3項で示した論理的に等価な2つの回路について、それを電気抵抗をもつ回路と考へて、混合トリップをとり扱うモデルを構築する。

一般に、ある距離において2つの都市があり、幾本かの競合路線が存在する場合、これらの路線のうちの1つが所要時間の短縮、列車本数の増加といった輸送サービスの向上を図った場合には当然各路線の需要量は変化をきたし、(1)サービス向上を図った路線の輸送量は増加するが他の路線の輸送量は減少する。すなわち減少した輸送量はサービス向上を図った路線に転移したものと考えることができる。(2)各路線の輸送量の総和はサービス向上を図る前に較べて増加する。これは全路線を総合して見た場合の輸送サービス水準の向上による誘発需要量と考えることができる。このような考え方をもとに都市間交通に対する電気回路を用いたモーダルスプリットのモデルが足立(1969)によって提案されている。このモデルはトリップインターチェンジモデルに位置づけられるが、このような電気回路モデルを都市圏内交通に適用する場合には勿論都市間と同じような競合状態にあるODペアに対してでなければならないので、現実には都市圏内における衛星都市と母都市との間の交通などが主たる対象となるだろう。

先に示した図4.3.5(a)、(b)に対応する電気回路をそれぞれ図4.3.11(a)、(b)で表わす。ここに導入された直列抵抗 $R_2$ は足立(1969)によると、並列部分の合成抵抗が何らかの理由で零に近づく場合において、この直列抵抗が存在しないと輸送量が無限大に近づくことになるので、それを避ける効果をもっていること、ならびに抵抗 $R_2$ の存在によって、ある路線から他の路線への転換現象を説明することが可能となるという2つの役割を持っている。

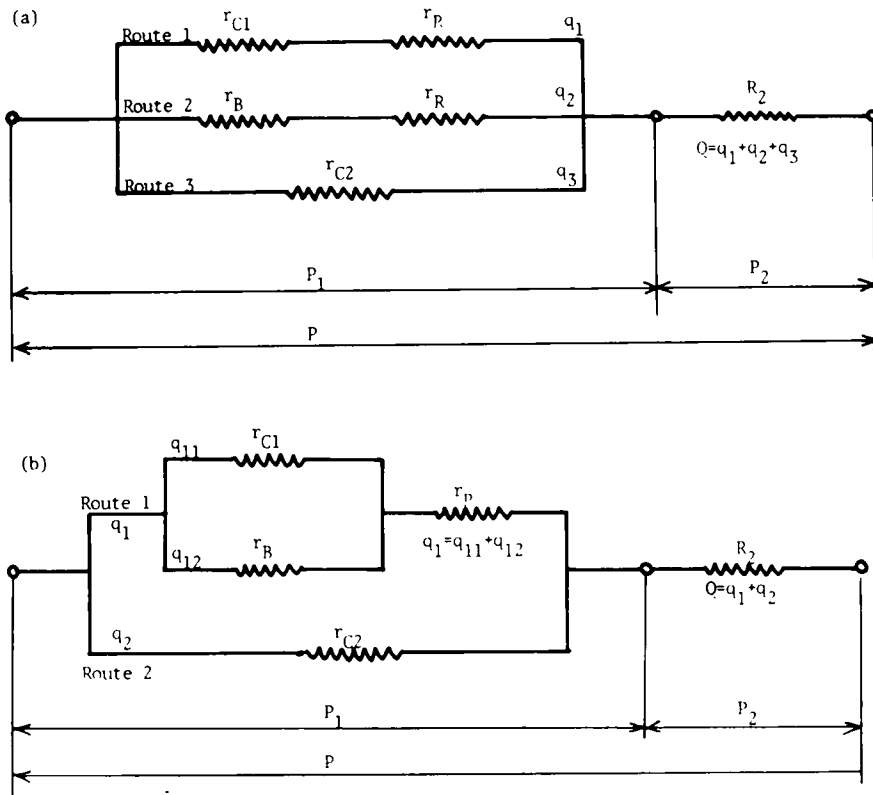


図 4・3・11

(1) ケース(a)について

図 4・3・11(a)において Route 1, 2, 3 のそれぞれの路線抵抗を  $r_1 (= r_{C1} + r_R)$ ,  $r_2 (= r_B + r_R)$ ,  $r_3 (= r_{C2})$  で表わすものとする、並列部分の合成抵抗  $R_1$  は次のようになる。

$$R_1 = 1 / (1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3)$$

いまこの両端にかかる圧力を  $P$  とすると

$$P = P_1 + P_2 \quad (P_1 : \text{並列部分の圧力}, P_2 : \text{直列部分の圧力})$$

$$P_1 = Q R_1 \quad (Q : \text{考えている回路の総フロー})$$

$$P_2 = Q R_2$$

であるから、

$$P = Q (R_1 + R_2) \quad \text{又は} \quad Q = P / (R_1 + R_2) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 25)$$

というオームの法則が成立している。

いま Route 1 の抵抗  $r_1$  が輸送サービス水準の向上などによって  $r_1$  に減少したとすると、総輸送量は

$$\begin{aligned}\Delta Q &= Q' - Q \\ &= P / (R'_1 + R_2) - P / (R_1 + R_2) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 26)\end{aligned}$$

$$\text{ここに } R'_1 = 1 / (1/r'_1 + 1/r_2 + 1/r_3)$$

$Q'$  : サービス水準変化後の総輸送量

だけ増加し、これは潜在している需要が誘発されて顕在化した分に相当するものと考えられる。並列部分にかかる電圧  $P_1$  は合成抵抗の変化によって減少し、その大きさは以下のものである。

$$\begin{aligned}\Delta P_1 &= P_1 - P'_1 \\ &= \Delta Q \cdot R_2 \quad (\text{式}(4 \cdot 26) \text{を代入}) \\ &= P R_2 \{ 1 / (R'_1 + R_2) - 1 / (R_1 + R_2) \}\end{aligned}$$

また各 Route の輸送量はそれぞれ

$$\begin{aligned}q'_1 &= P'_1 / r'_1 = (P_1 - \Delta P_1) / r'_1 \\ q'_2 &= P'_1 / r_2 = (P_1 - \Delta P_1) / r_2 \\ q'_3 &= P'_1 / r_3 = (P_1 - \Delta P_1) / r_3\end{aligned}$$

となり、Route 2,3 では輸送量が減少し、Route 1 においてはそれらの減少分、すなわち

$$\begin{aligned}\Delta q_2 + \Delta q_3 &= (q_2 - q'_2) + (q_3 - q'_3) \\ &= \Delta P_1 (1/r_2 + 1/r_3) \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 27)\end{aligned}$$

が転換交通量として、そして他方総輸送量の増分  $\Delta Q$  を誘発交通量として、合計で  $\Delta q_2 + \Delta q_3 + \Delta Q$  が新規の増分となってあらわれることになる。これは次のように考えれば導ける結論である。Route 1 の輸送量の増分  $\Delta q_1$  は

$$\begin{aligned}\Delta q_1 &= q'_1 - q_1 \\ &= (P_1 - \Delta P_1) / r'_1 - P_1 / r_1 \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 28)\end{aligned}$$

であり、他方  $\Delta Q$  は (4・16) 式より

$$\begin{aligned}\Delta Q &= (P_1 - \Delta P_1) (1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3) - P_1 (1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3) \\ &= P_1 (1/r'_1 - 1/r_1) - \Delta P_1 (1/r'_1 + 1/r_2 + 1/r_3)\end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned}\Delta q_2 + \Delta q_3 + \Delta Q &= \Delta P_1 (1/r_2 + 1/r_3) + P_1 (1/r'_1 - 1/r_1) \\ &\quad - \Delta P_1 (1/r'_1 + 1/r_2 + 1/r_3) \\ &= (P_1 - \Delta P_1) / r'_1 - P_1 / r_1\end{aligned}$$

となり、 $\Delta q_2 + \Delta q_3 + \Delta Q = \Delta q_1$  を誘導できる。

(2) ケース(b)について

ここでは図 4・3・11(b)のネットワークについて考えてみよう。Route 1,2の抵抗を  $r_1, r_2$  とし、Route 1内並列部分の合成抵抗を  $r_F$ 、Route 1,2の合成抵抗を  $R_1$  とすると

$$r_1 = r_F + r_R = 1 / (1/r_{C1} + 1/r_B) + r_R$$

$$r_2 = r_{C2}, \quad R_1 = 1 / (1/r_1 + 1/r_2)$$

いま Route 1の並列部分の抵抗  $r_B$  が  $r'_B$  に減少したものとしよう。すなわち鉄道 (R) へのライダーサービスとしてのバス (B) のサービス水準が改善されたものとする。このとき  $r_F$  は  $r'_F$  に、総輸送量は  $Q$  から  $Q'$  に変化したものとすると、

$$R'_1 = 1 / (1/r'_1 + 1/r_2),$$

$$Q' = P / (R'_1 + R_2),$$

$$\Delta Q = Q' - Q = p \{ 1 / (R'_1 + R_2) - 1 / (R_1 + R_2) \} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 29)$$

また、並列部の圧力  $P_1$  は

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= P_1 - P'_1 \\ &= (Q' - Q) R_2 \\ &= p R_2 \{ 1 / (R'_1 + R_2) - 1 / (R_1 + R_2) \} \end{aligned}$$

だけ変化する。各 Route の変化後の輸送量はそれぞれ

$$q'_1 = P'_1 / r'_1 = (P_1 - \Delta P_1) / r'_1$$

$$q'_2 = P'_1 / r_2 = (P_1 - \Delta P_1) / r_2$$

したがって

$$\Delta q_1 = q'_1 - q_1 = (P_1 - \Delta P_1) / r'_1 - P_1 / r_1,$$

$$\Delta q_2 = q'_2 - q_2 = P_1 / r_2 - (P_1 - \Delta P_1) / r_2 = \Delta P_1 / r_2.$$

他方 (4・29) 式より

$$\begin{aligned} \Delta Q &= (P_1 - \Delta P_1) / R'_1 - P_1 / R_1 \\ &= (P_1 - \Delta P_1) / (1/r'_1 + 1/r_2) - P_1 (1/r_1 + 1/r_2) \end{aligned}$$

であるから

$$\Delta Q + \Delta q_2 = (P_1 - \Delta P_1) / r'_1 - P_1 / r_1$$

となり  $\Delta Q + \Delta q_2 = \Delta q_1$  が成立する。すなわち Route 1の輸送量の増分は誘発交通量  $\Delta Q$  と転換交通量  $\Delta q_2$  の和として説明される。さらにこの増分  $\Delta q_1$  は Route 11 と 12 へ配分され、それぞれ増分を  $\Delta q_{11}, \Delta q_{12}$  ( $\Delta q_{11} + \Delta q_{12} = \Delta q_1$ ) とすると、

$$\begin{aligned}
\Delta q_{11} &= q'_{11} - q_{11} \\
&= q'_1 / (1 + r_{C1} / r'_B) - q_1 / (1 + r_{C1} / r_B) \\
&= (P_1 - \Delta P_1) / \{ r_R (1 + r_{C1} / r'_B) + r_{C1} \} \\
&\quad - P_1 / \{ r_R (1 + r_{C1} / r_B) + r_{C1} \} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 30)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta q_{12} &= q'_{12} - q_{12} \\
&= q'_1 / (1 + r'_B / r_{C1}) - q_1 / (1 + r_B / r_{C1}) \\
&= (P_1 - \Delta P_1) / \{ r_R (1 + r'_B / r_{C1}) + r'_B \} \\
&\quad - P_1 / \{ r_R (1 + r_B / r_{C1}) + r_B \} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 31)
\end{aligned}$$

と求めることができる。式(4・30)の $\Delta q_{11}$ に注目すると、

$$\begin{aligned}
\Delta q_{11} &= P_1 \left\{ \frac{1}{r_R (1 + r_{C1} / r'_B) + r_{C1}} - \frac{1}{r_R (1 + r_{C1} / r_B) + r_{C1}} \right\} \\
&\quad - \Delta P_1 / \{ r_R (1 + r_{C1} / r'_B) + r_{C1} \}
\end{aligned}$$

と変更され、右辺第1項は $r'_B < r_B$ であるから負となり、したがって $\Delta q_{11}$ は負であることがわかる。すなわちRoute 1に流れる総量は増加したのであるが、それは全てサービス水準の改善された方のRoute 12に流れているのである。したがってケース(b)においてもルートのサービス水準の改善と流量の間には妥当な関係が満足されている。

このようにケース(a)、(b)ともある特定の混合モードパターン<sup>12),15)</sup>のモデルとしてすぐれた性質を有している。両ケースとも抵抗が減少した場合に総需要が増大する。すなわち誘発交通量が生ずるしくみになっているが、これは並列部分の電圧が降下することによる効果があつて、現実的にはこの種の電位差に相当するものが抵抗の変化に対して非感応的であるとみなされる場合については、誘発交通量を考える必要はなく、したがって転換交通現象の説明モデルとして用いればよいものと思われる。残る課題は要因分析等を通じて抵抗を交通手段の機能要因を用いて表わすことである。そうすればフィーダーサービスとして何らかの新種交通手段が導入された場合の需要予測ならびに転換現象を容易に説明できるであろう。

#### 4.4 トリップチェーンにおける交通機関分担法<sup>12),15)</sup>

##### 4.4.1 概 説

本節では、第3章「トリップチェーンの記述と予測に関する研究」の統編としてトリップチェーンにおける交通機関分担法について述べるものである。第3章ではトリップチェーンを記述す

る方法として吸収マルコフ連鎖の理論を用いることが提唱され、それをうけてここではマルコフ連鎖の構造をもつトリップチェーンにおいて、その構造的利点を生かしつつ交通機関分担を行なわせしめる方法について考究する。恐らくトリップチェーンは交通機関選択を大きく支配しているであろう。たとえば、1サイクルに含まれるトリップ数が多ければ多いほど機動性に富む交通手段が選択される可能性が高いものと思われる。すなわち、トリップメーカーはベースを出発する前にその日のトリップスケジュールを見渡して、全過程を通じて最も合理的な交通手段の組み合わせというものをある程度イメージして交通手段選択を行っているものと思われる。

そこで本節では、次項4.4.2で数量化理論Ⅱ類を用いて第1トリップならびに第1ステップの目的連関における交通機関選択の要因分析を行ない、どのような要因がトリップチェーンにおけるモダルスプリットでとくに重要であるかを探ぐる。

また、トリップチェーンにおける交通機関分担の方法としては、(i)Post-distribution Modelと(ii)Pre-distribution Modelの2方法が存在するが、前者に属するものとしては佐佐木(1971)によって提案された変化率を用いる方法が、後者としては近藤(1972)による遷移行列を用いる方法などがあるが、4.4.3項ではこれら既存の方法を紹介し、それらの対比と問題点を整理する。そして4.4.4項では佐佐木の方法を改良したモデルを提案する。それはゾーン間(interchange)の特性を反映できるモデルである。

#### 4.4.2 交通機関選択の要因分析<sup>12)</sup>

本項では、(1)で第1トリップの交通機関選択要因を、(2)で「徒歩」を除く第1トリップについて、そして(3)で第2トリップの交通機関選択要因を、それぞれ数量化理論Ⅱ類を用いて解析する。なお、用いられたデータは1970年京都市のPT調査によるものであり、業務トリップを含むトリップチェーンはこれを除外している。(データ数2000)

##### (1) 第1トリップについて

PT調査では交通手段は13種類に分類されているが、これらを次のような3種類にグルーピングした。そして、これらは同時に外的基準でもある。

1. 自動車……自家用車・ライトバン・貨物車・自家用バス
2. マストラ…市電・市バス・鉄道・タクシー
3. 徒 歩……徒歩・二輪車・他

そして代表モードを次のような基準で定義した。

1. 徒歩で完結しておれば徒歩を
2. 第1ジャーニーが徒歩以外なら第1ジャーニーを

3. 第1ジャーニーが徒歩で、第2ジャーニーが徒歩以外ならば第2ジャーニーをもって代表交通手段とする。

説明要因は11個で、カテゴリーは以下のものである。

- 〔1〕性別……………①男性 ②女性
- 〔2〕年齢……………①5～19才 ②20～29才 ③30～39才 ④40～49才 ⑤50才以上
- 〔3〕職業……………①事務従業者 ②生産・販売従事者 ③技術者 ④管理職 ⑤生徒・学生  
⑥主婦・その他
- 〔4〕住居……………①持家 ②非持家
- 〔5〕車保有……………①保有世帯 ②非保有世帯
- 〔6〕家族人数……………①1人 ②2人 ③3人 ④4人 ⑤5人以上
- 〔7〕トリップ目的…①出勤 ②登校 ③私用
- 〔8〕トリップターン…①2トリップ ②3トリップ ③4トリップ以上
- 〔9〕出発ゾーンの…①0～2Km ②2～4Km ③4～6Km ④6Km以上  
都心からの距離
- 〔10〕到着ゾーンの…カテゴリーは〔9〕に同じ。  
都心からの距離 (都心には四条烏丸交差点を、ゾーンとしてはゾーン中心で代表させた。)
- 〔11〕トリップ長……………①0～3Km ②3～6Km ③6～9Km ④9Km以上 (所要時分より換算)

適用結果として、相対度数分布を図4.4.1に、カテゴリーの得点とレンジを表4.4.1に示す。相関比は $\eta = 0.8208$ と割合に高い。これは図4.4.1で分かるように第3グループ(徒歩)が他の2つのグループと完全に分離判別されたためである。また要因のレンジの大ききでみるとその順位は、

- (1) トリップ長
- (2) トリップパターン (1サイクル内のトリップ数)
- (3) 職業
- (4) 年齢
- (5) 性別

というように、トリップ長が断然大きい。数量化理論Ⅱ類では、各要因の判別に及ばず規定力は各要因のレンジ(得点の巾)で代用させることができるとされており、その意味では、徒歩か交通機関(自動車・マストラ)利用かという選択の際にはトリップ長が一番効くというわけである。次にレンジの大きいのはトリップパターン、すなわち1サイクル内のトリップ数(帰宅を含む)である。これは1サイクル内のトリップ数が多ければ多いほど、機動性のある交通機関が



表 4・4・1 分析結果

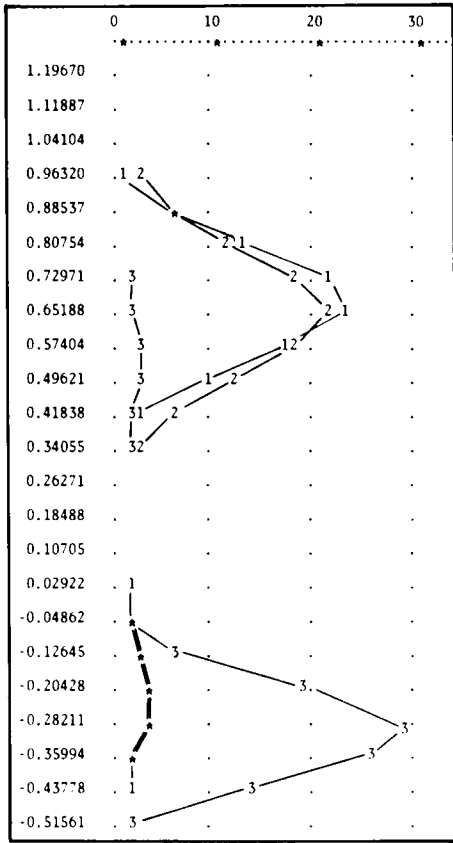


図 4・4・1 相対度数分布図

説明要因	レンジ	カテゴリー	得点	人数
1	0.09029	1	0.0	787
		2	0.09029	1,213
2	0.09999	1	0.0	614
		2	0.09999	457
		3	0.05468	336
		4	0.01493	248
		5	0.01068	345
3	0.12651	1	0.	162
		2	-0.02069	441
		3	-0.02779	98
		4	0.05470	81
		5	0.03925	621
		6	-0.07180	597
4	0.02378	1	0.	1,075
		2	-0.02378	925
5	0.06320	1	0.	745
		2	-0.06320	1,255
6	0.06989	1	0.	124
		2	0.04204	177
		3	-0.01737	313
		4	-0.01749	574
		5	-0.02786	812
7	0.06863	1	0.	591
		2	-0.06423	497
		3	-0.06863	912
8	0.25273	1	0.	1,843
		2	0.03150	128
		3	0.25273	29
9	0.04672	1	0.	508
		2	0.01643	619
		3	0.00250	709
		4	-0.03029	164
10	0.02625	1	0.	642
		2	-0.01744	609
		3	-0.02625	618
		4	-0.01599	131
11	1.00000	1	0.	1,283
		2	0.80991	277
		3	0.90284	196
		4	1.00000	244

選択されることを示している。以下、個人属性や世帯属性が並んでおり、ゾーンに関しては顕著な傾向を知ることができない。本分析では徒歩を含めたために、トリップ長が大きく作用し、その結果、徒歩はトリップ長のみである程度説明可能で、他の2手段とは分離して扱える可能性を

示唆しているともいえる。それで次に徒歩を除いて分析してみることにする。

(2) 第1トリップについて (徒歩を除く)

外的基準は、1.自動車 2.マストラである。(データ数 454) 説明要因は(1)に同じ。スコアに対

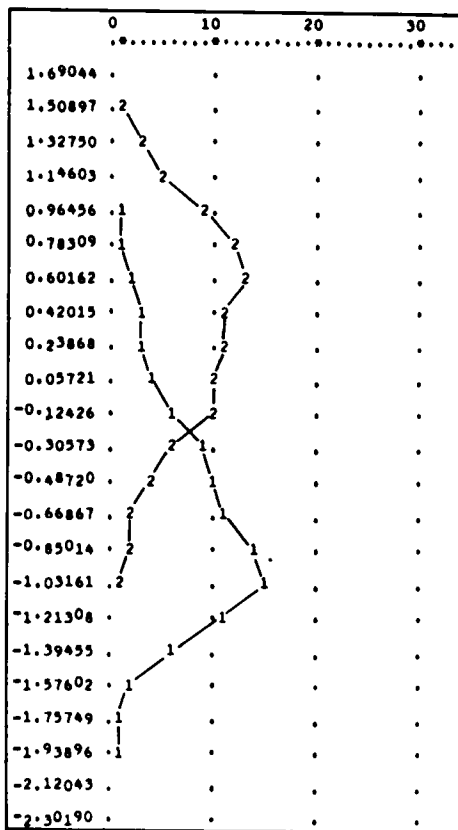


図 4・4・2 相対度数分布図

表 4・4・2 分析結果

説明要因	レンジ	カテゴリー	得点	人数
1	0.52113	1	0.0	209
		2	0.52113	245
2	0.36264	1	0.0	99
		2	-0.14084	158
		3	-0.27360	73
		4	-0.18081	58
		5	0.08905	66
3	0.76908	1	0.0	65
		2	-0.14534	149
		3	-0.04525	40
		4	-0.34509	35
		5	0.42399	105
		6	0.35664	60
4	0.09901	1	0.0	235
		2	-0.09901	219
5	1.00000	1	0.0	193
		2	1.00000	261
6	0.35520	1	0.0	34
		2	-0.15263	49
		3	-0.01868	62
		4	0.20257	128
		5	0.09832	181
7	0.30429	1	0.0	248
		2	-0.20044	91
		3	-0.30429	115
8	0.25012	1	0.0	403
		2	-0.03067	37
		3	-0.25012	14
9	0.21816	1	0.0	136
		2	-0.11693	226
		3	-0.01699	78
		4	0.10123	14
10	0.21964	1	0.0	183
		2	-0.21964	160
		3	-0.18775	85
		4	-0.13136	26
11	0.25602	1	0.0	62
		2	0.08799	162
		3	-0.16803	116
		4	0.08659	114

する度数分布を図4.4.2に、カテゴリーの得点高とレンジを表4.4.2に示す。相関比は $\eta = 0.6492$ と前回にくらべ低下したものの図4.4.2に明らかなように自動車グループとマストラグループが割合うまく判別されている。また、レンジの大小順位も前回のそれとは大巾に変更された。レンジの順位は大きいものから並べると

- |          |              |
|----------|--------------|
| (1) 車保有  | (6) トリップ目的   |
| (2) 職業   | (7) トリップ長    |
| (3) 性別   | (8) トリップパターン |
| (4) 年齢   | (9) 着ゾーン     |
| (5) 家族人数 | (10) 発ゾーン    |

となり、大勢において前回のそれが逆転しているようである。すなわち、トリップに関する空間的な特性要因が7位~10位にランクされ、個人・世帯属性が上位にランクされているのである。これは都市における自動車利用というものがマストラという状況とは無縁な水準で決定されることを示している。すなわち、車を保有し、車を必要とする人々が車を利用しているのであって、それが空間的な要因の規定力を低レベルに落す結果になったものと思われる。したがって都市内交通に対してはトリップエンドモデル適用の妥当性が得られると同時に、トリップインターチェンジモデルを適用する場合には、本章第2節で紹介したような層化の方法によることが好ましいと言えるであろう。

### (3) 第2トリップについて

ここでは、第1トリップで自動車を利用したもののみを対象として、彼らが第2トリップでいかなる交通手段(1.徒歩 2.自動車 3.マストラ)をとるかを外的基準とする。(データ数662)説明要因は、

- [1] 性別……………(1)と同じ
  - [2] 職業……………(1)と同じ
  - [3] 第1トリップで利用した車種……①家族または自分の車 ②勤務先の車 ③知人その他
  - [4] 第1トリップでの運転・同乗……①運転 ②同乗
  - [5] 第1トリップの目的……①出勤 ②登校 ③私用
  - [6] 第2トリップ目的……………①出勤 ②登校 ③私用 ④帰宅
  - [7] 第2トリップ発ゾーン (=第1トリップ着ゾーン)
  - [8] 第2トリップ着ゾーン
- } 都心からの距離 (1)と同じ
- [9] 第2トリップ長……………(1)と同じ

適用結果として、度数分布を図4.4.3に、得点を表4.4.3に示す。相関比は $\eta = 0.4984$ と低

表 4・4・3 分析結果

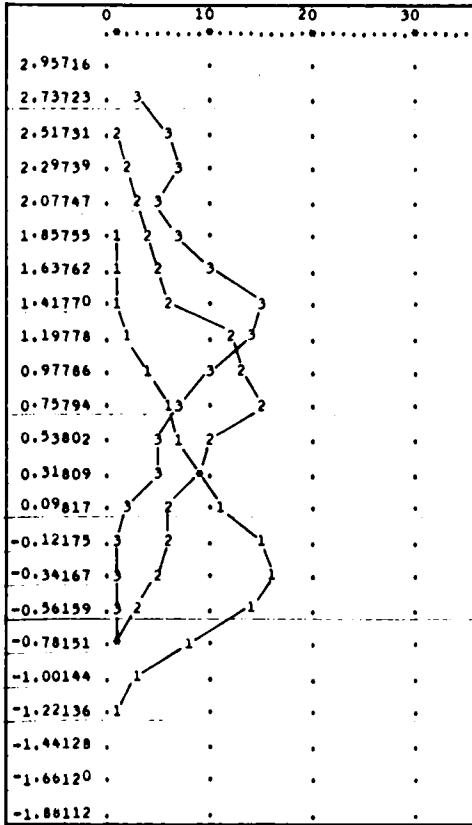


図 4・4・3 相対度数分布図

説明要因	レンジ	カテゴリー	得点	人数
1	0.33385	1	0.0	488
		2	0.33385	174
2	0.28754	1	0.0	68
		2	-0.19300	273
		3	-0.07183	72
		4	-0.08085	82
		5	-0.17889	101
		6	0.09454	66
3	0.81201	1	0.0	456
		2	-0.44218	139
		3	0.36983	67
4	0.71634	1	0.0	418
		2	0.71634	244
5	0.56069	1	0.0	409
		2	0.11156	82
		3	-0.44913	171
6	1.00000	1	0.0	3
		2	0.32043	2
		3	1.00000	69
		4	0.31115	588
7	0.42064	1	0.0	176
		2	-0.08142	207
		3	-0.33705	224
		4	-0.42064	55
8	0.22826	1	0.0	109
		2	-0.20827	170
		3	-0.10603	303
		4	-0.22826	80
9	0.91880	1	0.0	112
		2	-0.76683	155
		3	-0.91880	195
		4	-0.85124	200

いが、レンジの大小からはいくつかの重要なポイントが結論できる。レンジの大小順位は、

- (1) 第2目的
- (2) 第2トリップ長
- (3) 車種
- (4) 運転・同乗
- (5) 第1目的
- (6) 第2トリップ発ゾーン
- (7) 性別
- (8) 職業
- (9) 着ゾーン

となっており、個人属性は下位にランクされ、第2トリップに関するものと、第1トリップに関

するものが上位を占めている。とくに第2トリップで私用目的となるものは車から他のモードに転換 (change of mode) し、トリップ長は長くなるほど車が継続して利用される傾向を示している。車種に関して興味あることは、第1トリップで利用した車が勤務先所有の車である場合に、それが第2トリップでも継続して利用される傾向を示していることである。これは通勤手段として勤務先から貸与された車がマイカーと同じ性格を持っていることを示している。この事実は重大である。単に世帯保有率などで車の分担率を推定すれば過小評価する危険があることを示唆している。一方、第1トリップで運転したものは車を継続、同乗したものは転換の傾向を示す。第2トリップの発ゾーンは都心から離れるほど車が継続して利用される傾向がある。

以上(1)、(2)、(3)のそれぞれの分析から得られた重要な結論を列挙しておこう。

1. 第1トリップで徒歩が選択されるのは主としてトリップ長が短い場合であって、OD分布が与えられた場合、徒歩に対する分担率は先取りできるであろう。
2. 1サイクルに含まれるトリップ数が多くなればなるほど機動性に富む交通機関が選択される傾向が強い。
3. 第1トリップにおける「自動車V.S. マストラ」という観点では、個人属性・世帯属性が圧倒的に支配的な要因となっており、トリップに関する空間的要因の影響は少ない。これは本来「自動車V.S. マストラ」という競合機会を持ち得ない人々に対してまでもそのような状況を想定した為であると思われる。そのような場合には本章第2節で紹介したような層化による方法が有効であるかもしれない。
4. 第2トリップの分析からは、第2トリップというものの大半を帰宅トリップが占めていることから、実質は帰宅トリップの交通機関分担について考えたことになる。
5. 第1トリップで車を利用したものは全般的に車を継続して利用するが、第1トリップで車に同乗して来たものや、第2トリップ長が短い場合には他のモードに転換する傾向を示している。
6. 概して目的連関がchange of mode に一定の役割を果たしていることがうかがわれる。
7. 第2トリップ発ゾーン、第2トリップ着ゾーンはそれぞれ都心から離れるほど車が継続して利用されるという傾向もある。
8. 以上を総合して、トリップ長、個人・世帯属性、トリップ目的、ゾーン特性をうまく表現できる交通機関分担モデルが必要である。すなわちトリップエンドモデルの利点と、トリップインターチェンジモデルの利点の双方を兼ね備えたモデルが構築されることが望ましい。

4.4.3 トリップチェーンにおける交通機関分担モデル<sup>12),13),14)</sup>: 回顧

トリップチェーンにおける機関分担モデルは、筆者の知るかぎり佐佐木（1971）によって提案された変化率を用いる方法が恐らく世界でも最初の試みであろうと思われる。それは、吸収マルコフ連鎖によってトリップチェーンの軌跡を追跡すると同時に交通機関分担を実行させようというシステムティックな方法で、自動車トリップ

の追跡という点に絞ってモデルが提案されている。図4・4・4には、トリップチェーンを追跡しつつ交通機関分担を実行するという方法の概念図が示されている。すなわち、初期状態として第1トリップのゾーン別・目的別・モード別発生量を与えておき、以下ゾーン移動に関する遷移状態、目的の連関に関する遷移状態、モード連関に関する遷移状態を経て、第2トリップ（立ちまわりの場合）ならびに帰宅トリップ（帰着の場合）の分担率を決定しようというものである。佐佐木の提案したモデルは、パーソントリップのゾーン間遷移行行列 $P$ を得たのちにモーダルスプリットが実行されるという形式上からは、Post-distribution Modelに属する。図4・4・5(a)のようなトリップチェーンで説明すると、ベース $i$ から目的 $m$ で出発する第1トリップの発エンド auto 利用率を $\mu_i^m$ で表わしその利用率 $\mu_i^m$ は着ゾーンに無関係に一定とされており、したがって $i-j$ 間の auto 利用率は $\mu_j^m$ となる。 $i-j$ 間の遷移確率はパーソントリップと同じ $P_{ij}^m$  ( $\sum_j P_{ij}^m = 1$ )である。つぎに、目的の連関 $m \rightarrow m'$ に対応してひきおこされる auto 利用率の変化率 $\phi_{mm'}$ を次式で定義する。

$$\phi_{mm'} = \eta_j^{m'} / \eta_j^{m*} \dots\dots\dots (4 \cdot 32)$$

ここに $\eta_j^{m*}$ は目的 $m$ でゾーン $j$ に到着したものの auto 利用率、 $\eta_j^{m'}$ は目的 $m'$ でゾーン $j$ を出発するものの auto 利用率である。ところが $\phi_{mm'}$ は全ての $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ )について一定値となることは期待し難いので、第 $j$ ゾーンにおける固有な調整係数 $\psi_j$ を考え、それは $\phi_{mm'}$ とは独立であると考え。すなわち、

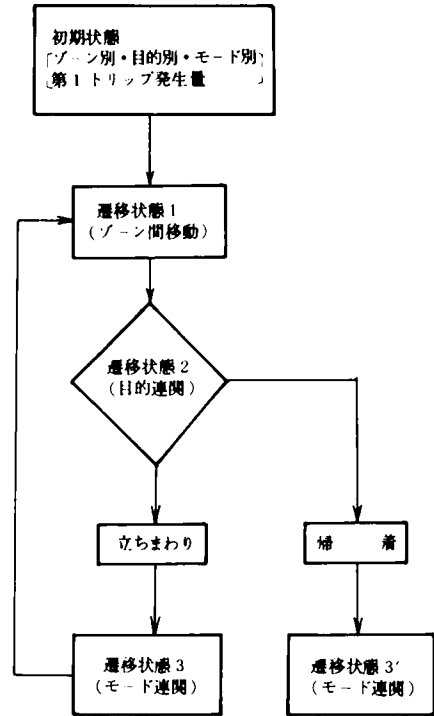


図4・4・4 トリップチェーンにおけるモーダルスプリットの概念図

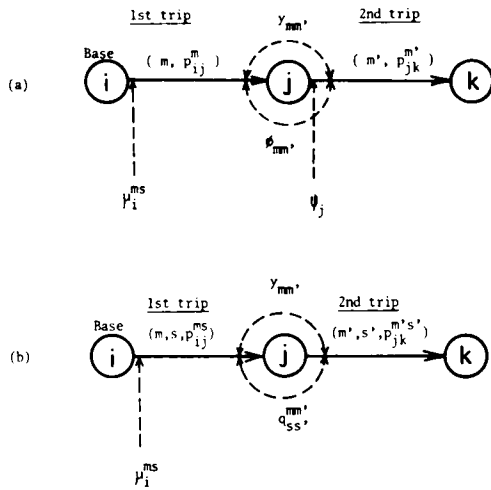


図4.4.5 トリップチェーンにおけるモーダルスプリット

$$\phi_{mm'} \psi_j = \eta_j^{m'} / \eta_j^{m*} \dots\dots (4.33)$$

となるような  $\phi_{mm'}$ ,  $\psi_j$  を定義する。このようにして、第2トリップの発エンド auto 利用率は次式で計算される。

$$\eta_j^{m'} = \eta_j^{m*} \phi_{mm'} \psi_j \dots\dots (4.34)$$

つまり、ゾーン  $j$  を経由して auto 利用率が変化するのは、目的連関によって規定される部分とゾーンに固有な、例えば駐車スペースとかいうような要因との相乗作用に依ると考えるのである。これら  $\phi$  と  $\psi$  は

データより同時に決定することができないので、量的斉合性を確保するために以下の順序で決定されてゆく必要がある。

- (i)  $Y = \{ y_{mm'} \}$  の決定
- (ii)  $\Phi = \{ \phi_{mm'} \}$  の決定
- (iii)  $\Psi = (\psi_1 \psi_2 \dots \psi_j \dots \psi_n)$  の決定

$Y$  は第3章で述べた目的間遷移行列、 $\Phi$  は目的連関に固有な（ここでは平均的な）auto 利用率の変化率の行列、ベクトル  $\psi$  はその  $\Phi$  から乖離を調整する役目を持っている。 $\Phi$  は主として、自動車利用の必要性などといった定性的な要因から決ってくるものであり、一方  $\psi$  はゾーンの物理的特性（駐車スペース、公共交通機関のサービス頻度）などから決ってくるものである。

このモデルで auto トリップを追跡するには、目的別ゾーン別第1トリップ発生量ベクトル  $A$ （第3章4.2節）に第1トリップ発エンド auto 利用率  $\mu_i^m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ) を作用させて auto トリップ発生量を得て、目的連関遷移ステップにおいては従来の  $\tilde{Y}^*$ （第3章4.2節）の代わりに

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & Y_{11} & \psi & \phi_{12} & Y_{12} & \psi & \dots & \phi_{1M} & Y_{1M} & \psi \\ \phi_{21} & Y_{21} & \psi & \phi_{22} & Y_{22} & \psi & \dots & \phi_{2M} & Y_{2M} & \psi \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{M1} & Y_{M1} & \psi & \phi_{M2} & Y_{M2} & \psi & \dots & \phi_{MM} & Y_{MM} & \psi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.35)$$

を用いればよい。ここに

$$Y_{ij} = \begin{pmatrix} y_{ij} & & & & \\ & y_{ij} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & y_{ij} & \\ & & & & y_{ij} \end{pmatrix}, \quad \Psi = \begin{pmatrix} \psi_1 & & & & \\ & \psi_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \psi_N & \end{pmatrix} \dots (4 \cdot 36)$$

である。勿論、 $\Phi$ と $\Psi$ は各ステップにおいては一様性が仮定されている。

一方、近藤（1972）によって提案された遷移行列を用いる方法は、佐佐木の方法が auto トリップのみを追跡するモデルであったのに対して、全てのモード連関を同時に記述しようとするものであり、佐佐木の方法をモードの個数だけ dimension を拡大したものと見える。しかし、モーダルスプリットの形式としては Pre-distribution モデルの体裁をとっており、モード別に ODパターンが異なるものとしている。図 4・4・5 (b)にその概略を示しているが、第1トリップの発エンド分担率は先と同様に、目的別ゾーン別に与えられる。ゾーン間移動については目的別交通機関別に ODパターン  $P^{ms} = \{ p_{ij}^{ms} \}$  ( $\sum_j P_{ij}^{ms} = 1$ ) を定義しているので、着ゾーン  $j$  については着エンド効果 (先の  $\psi_j$  に相当する効果) を考える必要がない。目的が  $m$  から  $m'$  に連関することに伴うモードの連関  $s \rightarrow s'$  は次のようなモード連関遷移行列

$$Q^{mm'} = \begin{pmatrix} q_{11}^{mm'} & q_{12}^{mm'} & \dots & q_{1S}^{mm'} \\ q_{21}^{mm'} & q_{22}^{mm'} & \dots & q_{2S}^{mm'} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{S1}^{mm'} & q_{S2}^{mm'} & \dots & q_{SS}^{mm'} \end{pmatrix}, \quad \sum_{s'} q_{ss'}^{mm'} = 1, \quad \dots (4 \cdot 37)$$

( $s = 1, 2, \dots, S$ )

を考える。ここは  $S$  は交通手段の数であり、行列  $Q^{mm'}$  の行和はそれぞれ 1 に等しい。行列  $Q^{mm'}$  は目的連関  $m \rightarrow m'$  に固有な定性的な要因から決ってくる遷移行列であり、目的連関の個数  $M(M+1)$  だけ定義される。この方法を用いてトリップチェーンを追跡するには、ゾーン間遷移行列は従来の  $P$  (第3章 4・2節) に代えて

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & & & & \\ & p_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & p^m & \\ & & & & p^M \end{pmatrix}, \quad P^m = \begin{pmatrix} p^{m1} & & & & \\ & p^{m2} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & p^{ms} & \\ & & & & p^{mS} \end{pmatrix}$$

( $m = 1, 2, \dots, M$ )

$$, \quad P^{ms} = \{ p_{ij}^{ms} \} \quad (s = 1, 2, \dots, S)$$

( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) \dots (4 \cdot 38)

を用い、目的連関ステップにおいては次のような  $\tilde{Y}^*$  を用いればよい。



$$\begin{aligned}
 {}^* Y &= \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1M} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{M1} & Y_{M2} & \cdots & Y_{MM} \end{bmatrix}, \quad Y_{mml} = \begin{bmatrix} \tilde{Y}_{mml}^{11} & \tilde{Y}_{mml}^{12} & \cdots & \tilde{Y}_{mml}^{1S} \\ \tilde{Y}_{mml}^{21} & \tilde{Y}_{mml}^{22} & \cdots & \tilde{Y}_{mml}^{2S} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Y}_{mml}^{S1} & \tilde{Y}_{mml}^{S2} & \cdots & \tilde{Y}_{mml}^{SS} \end{bmatrix} \\
 \tilde{Y}_{mml}^{ss'} &= \begin{bmatrix} q_{ss'}^{mml} & y_{mml} \\ & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & N & \\ & & & q_{ss'}^{mml} & y_{mml} \end{bmatrix} \cdots \cdots (4 \cdot 39)
 \end{aligned}$$

$P, Y$ とも dimensionはそれぞれ  $(M \times S \times N)^2$  の正方行列である。

この方法は、ゾーン間遷移行列を交通手段別に与えていること、ならびにモード関連遷移行列で与えていることにより、精度は先の方法に較べて高くなるが、将来予測にあたって推計すべき事項 ( $P, Q$ ) が多くなること、ならびにそれらの各ステップでの定常性に問題があることから現況再現以外の目的にとってはあまり有効ではない。その点佐佐木による方法の方が実用性という点では伸縮性に富んでいるものと思われるので、次項ではこのモデルを発展させる方向で考えてみよう。

#### 4・4・4 トリップチェーンにおける交通機関分担モデル<sup>15)</sup>: 提案

先の変化率を用いるモデルでは、第1トリップや第2トリップの発エンドのみに対して auto 利用率 ( $\mu, \phi, \psi$ ) を規定していたが、現実には着エンドの効果やゾーン間の特性をも考慮に入れた方が望ましいことはいうまでもない。そこでまず、以下ではトリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルの構造を少し掘り下げて考えてみることにし、そこから有益な指針を導出することにしよう。

もし  $(i, j)$  間における auto 利用率  $\rho_{ij}$  が、発エンドの auto 利用率  $\mu_i$ 、着エンドでの auto 利用率  $\lambda_j$ 、 $(i, j)$  間の調整の役目とゾーン間特性を表わすファクター (利用率ではない)  $\eta_{ij}$  で表わすものとする、 $\rho_{ij}$  は次のように定義できる。

$$\begin{aligned}
 \rho_{ij} &= f(\mu_i, \lambda_j, \eta_{ij}) \\
 &\equiv \mu_i \lambda_j \eta_{ij} \cdots \cdots (4 \cdot 40)
 \end{aligned}$$

もし、このような  $\mu_i, \lambda_j, \eta_{ij}$  を予め知ることができれば、我々はこれらをトリップチェーン追跡の過程で順次作用させることによって auto トリップを追跡することが可能となる。そこで以下では、これら  $\rho, \mu, \lambda, \eta$  の関係を、トリップエンドモデルとトリップインターチェンジ

モデルの構造を比較することにより明らかにしよう。

第  $i$  ゾーンの発生パーソン数を  $U_i$ 、第  $j$  ゾーンの集中パーソン数を  $V_j$ 、 $(i, j)$  間距離を  $t_{ij}$  とするとき、分布パターンが重力モデルに従うとき、 $(i, j)$  間交通量は次式で求められる。

$$X_{ij} = \delta_{ij} U_i V_j t_{ij}^{-\gamma} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 41)$$

$\gamma$  はパラメータ、 $\delta_{ij}$  は  $\sum_j X_{ij} = U_i$ 、 $\sum_i X_{ij} = V_j$  を満足させる係数である。いま  $\delta_{ij}$  をパラランシングファクター法(i)によって求めるものとすれば、 $\delta_{ij} = \alpha_i \beta_j$  として、OD交通量は

$$X_{ij} = \alpha_i \beta_j U_i V_j t_{ij}^{-\gamma} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 42)$$

と記せる。(パラランシングファクター法については第2章参照)

トリップインターチェンジモデルとは、この  $X_{ij}$  を得て、別途得られている  $(i, j)$  間 auto 利用率  $\rho_{ij}$  とから

$$X_{ij}^A = \rho_{ij} X_{ij} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 43)$$

によって  $(i, j)$  間 auto トリップ 数を求めようとする方法である。

他方、トリップエンドモデルというのは、パーソントリップの分布交通量を求める段階以前に、トリップエンドで分担を実行し、分布交通量は交通機関別に求めようとする方法である。auto トリップについて、分布パターンが重力モデルに従うものとする、 $(i, j)$  間 auto トリップ数は次式で表わされる。

$$X_{ij}^A = \alpha_i^A \beta_j^A U_i^A V_j^A t_{ij}^{-\gamma_A} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 44)$$

ここに  $U_i^A$ 、 $V_j^A$  はそれぞれ発生・集中 auto トリップ数、 $\gamma_A$  は auto トリップの場合のパラメータ、 $(\alpha_i^A \beta_j^A)$  は B F法(i)を用いる場合のパランシングファクターである。したがって  $\alpha_i^A \beta_j^A$  は  $\sum_j X_{ij}^A = U_i^A$ 、 $\sum_i X_{ij}^A = V_j^A$  を満足するように決定される。そして、 $U_i^A$ 、 $V_j^A$  は次のようにして求められている。

$$U_i^A = \mu_i U_i, \quad V_j^A = \lambda_j V_j \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 45)$$

ここに  $\mu_i$  は発エンド auto 利用率、 $\lambda_j$  は着エンド auto 利用率である。

(4・42)、(4・43)、(4・44)、(4・45)の各式から

$$\begin{aligned}
\rho_{ij} &= \frac{X_{ij}^A}{X_{ij}} \\
&= \frac{\alpha_i^A \beta_j^A U_i^A V_j^A t_{ij}^{-\gamma_A}}{\alpha_i \beta_j U_i V_j t_{ij}^{\gamma}} \\
&= \left( \frac{\alpha_i^A \beta_j^A}{\alpha_i \beta_j} \right) \mu_i \lambda_j t_{ij}^{\gamma - \gamma_A} \dots\dots\dots (4 \cdot 46)
\end{aligned}$$

ここで

$$\eta_{ij} = \left( \frac{\alpha_i^A \beta_j^A}{\alpha_i \beta_j} \right) t_{ij}^{\gamma - \gamma_A} \dots\dots\dots (4 \cdot 47)$$

と置けば、(4・46)式は

$$\rho_{ij} = \mu_i \lambda_j \eta_{ij} \dots\dots\dots (4 \cdot 48)$$

となり、(4・40)式で定義した関係式を導くことができる。すなわち、トリップインターチェンジモデルで用いられる(i, j)間 auto 利用率  $\rho_{ij}$  は、構造的には発エンド auto 利用率  $\mu_i$ 、着エンド auto 利用率  $\lambda_j$ 、そして(i, j)間の特性を表わすファクター  $\eta_{ij}$  の乗積形式であることが判明した。 $\eta_{ij}$  はゾーン間距離(トリップ長)の項と、バランシングファクターの項とより構成されている。

$\mu_i$ 、 $\lambda_j$  の推計は容易であるにしても、問題は  $\eta_{ij}$  をいかに推計するかにかかっている。(4・37)式において、べき数  $(\gamma - \gamma_A)$  は将来においては所与とされるから、問題はバランシングファクターの項にあることがわかる。現況を再現するという目的ならば、データより  $\rho_{ij}$ 、 $\mu_i$ 、 $\lambda_j$  を得て  $\eta_{ij}$  を計算することができるが、将来においてはOD表の周辺分布が変化することにより  $\eta_{ij}$  の値も変更をうけるので現況値をそのまま用いることができない。(4・47)式右辺の  $(\alpha_i^A \beta_j^A / \alpha_i \beta_j)$  の分母子についてそれぞれBF法(i)を適用することにより求められる。

このようにして  $\mu_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\eta_{ij}$  の値が得られれば、(4・48)式は完全なものとなる。また、以上では  $t_{ij}$  として同一の距離を用いたが、所要時間などを用いても上の文脈は変わらない。

結局(4・48)式に示した関係がトリップインターチェンジモデルとトリップエンドモデルを連結する役目を果たしている。トリップインターチェンジモデルとトリップエンドモデルは従来から全く別の方法であるかのように考えられてきたが、いままでにみえてきたように分布モデルとして重力モデルを採用し、修正方法としてBF法(i)を採用する場合にかぎり両者は等価とできる。したがって、パーソントリップに関するトリップチェーンを追跡しつつ、交通機関分担(ここでは auto 利用トリップ数の決定)を実行してゆくことと、交通機関別にトリップチェーンを追跡する

こととは全く同じなのである。ただ前者の方法では予めゾーン間の分担率を決定しておき、トリップチェーン追跡過程でトリップ分布が終了する度に分担を実行するという体裁をとるのに対し、後者の方法では各トリップの発エンド、着エンドで分担率を作用させることができる。すなわち分担率を作用させながらトリップチェーンを追跡できるという構造的明瞭さの点ですぐれている。また、この方法はトリップエンドの特性とゾーン間の特性（ここではモード別の所要時間比）の両者を含めることができる点で佐佐木の方法を前進させている。以上の比較が図4・4・6に示されている。図は、ベースをトリップ

目的 $m$ で出発し、ゾーン $j$ に到着後、つぎにトリップ目的 $m'$ でゾーン $k$ に向かうトリップチェーンを表わしている。図(a)はゾーン間遷移行列として $P = \{ P_{ij}^m \}$ 、すなわちパーソントリップの遷移

行列を用いる場合、図(b)は auto トリップに対しては $P^A = \{ P_{ij}^A \}$ を用いる場合を示している。両法ともトリップの発エンドで作用させる auto 利用率 $\mu_i^m$ 、ゾーン $j$ でのモード速関に作用させる変化率 $\phi_{mm'}$ 、 $\psi_j$ は同じである。異なるのは上図においてトリップの着エンド分担率 $\lambda_j^m$ とゾーン間ファクター $\eta_{ij}^m$ が導入されていることである。この2つが導入されたことによって図(a)の方法（Post-distribution Model）と図(b)の方法（Pre-distribution Model）は等価となっているのである。

さて、この結合された新しい方法によってトリップチェーンを追跡しつつ、auto トリップを記述するプロセスは以下のように表わされる。

第1トリップにおける auto 利用トリップ数は

$$\tilde{A} = \left[ \begin{array}{c} \tilde{A}^1 \\ \tilde{A}^2 \\ \vdots \\ \tilde{A}^m \\ \vdots \\ \tilde{A}^M \end{array} \right],$$

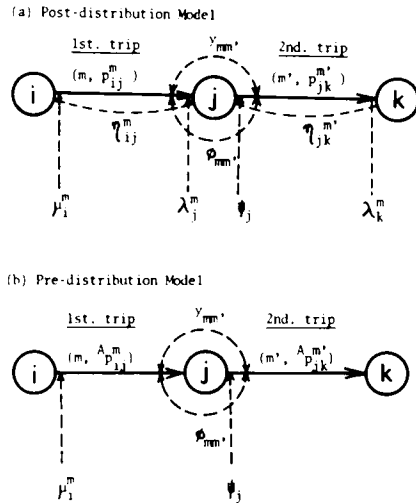


図4・4・6 トリップチェーンにおけるモーダルスプリット

$$\tilde{A}^m = (\mu_1^m A_1^m, \mu_2^m A_2^m, \dots, \mu_i^m A_i^m, \dots, \mu_N^m A_N^m \dots \dots \dots (4 \cdot 49)$$

で与えられ、目的・モード連関遷移行列は(4・35),(4・36)式と同じく

$$\tilde{Y} = \left[ \begin{array}{cccc} \phi_{11} Y_{11} \psi & , & \phi_{12} Y_{12} \psi & \dots & \phi_{1M} Y_{1M} \psi \\ \phi_{21} Y_{21} \psi & , & \phi_{22} Y_{22} \psi & \dots & \phi_{2M} Y_{2M} \psi \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{M1} Y_{M1} \psi & , & \phi_{M2} Y_{M2} \psi & \dots & \phi_{MM} Y_{MM} \psi \end{array} \right] ,$$

$$Y_{ij} = \begin{pmatrix} y_{ij} & & & & \\ & y_{ij} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & y_{ij} \end{pmatrix} , \quad \psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \vdots \\ \psi_j \\ \vdots \\ \psi_N \end{pmatrix} \dots \dots \dots (4 \cdot 50)$$

で表わされる。ここに  $\phi_{mm'}$  は先にも示したように、目的連関  $m \rightarrow m'$  に伴う auto 利用率の変化率であり、調整係数  $\psi_j$  を用いて

$$\phi_{mm'} \psi_j = \theta_j^{m'} / \theta_j^m \dots \dots \dots (4 \cdot 51)$$

と定義されている。ここに  $\theta_j^m$  は目的  $m$  でゾーン  $j$  へやってくるものの auto 利用率、 $\theta_j^{m'}$  は目的  $m'$  でゾーン  $j$  を出発するものの auto 利用率である。

一方、ゾーン間遷移行列は次のような変更をうける。

$$\tilde{P} = \left[ \begin{array}{c} \tilde{p}_1 \\ \vdots \\ \tilde{p}_2 \\ \vdots \\ \tilde{p}^m \\ \vdots \\ \tilde{p}^M \end{array} \right] ,$$

$$\tilde{p}^m = \left[ \begin{array}{cccc} p_{11}^m \eta_{11} \lambda_1^m & , & p_{12}^m \eta_{12} \lambda_2^m & \dots & p_{1N}^m \eta_{1N} \lambda_N^m \\ p_{21}^m \eta_{21} \lambda_1^m & , & p_{22}^m \eta_{22} \lambda_2^m & \dots & p_{2N}^m \eta_{2N} \lambda_N^m \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1}^m \eta_{N1} \lambda_1^m & , & p_{N2}^m \eta_{N2} \lambda_2^m & \dots & p_{NN}^m \eta_{NN} \lambda_N^m \end{array} \right] \dots \dots \dots (4 \cdot 52)$$

この  $\tilde{P}$  は実質的には auto トリップについての目的別ゾーン間遷移行列に他ならない。なんとなればパーソントリップのゾーン間遷移確率は(4・42)式より

$$p_{ij} = \alpha_i \beta_j V_j t_{ij}^{-1} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 53)$$

であり、auto トリップゾーン間遷移行列は(4・44)式より

$$p_{ij}^A = \alpha_i^A \beta_j^A V_j^A t_{ij}^{-1A}$$

であり、

$$p_{ij}^A = \alpha_i^A \beta_j^A (\lambda_j V_j) t_{ij}^{-1A} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 54)$$

ここで(4・47)式の関係を用いると

$$p_{ij}^A = p_{ij} \eta_{ij} \lambda_j \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 55)$$

を導くことができる。

さて、以上で準備された行列  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{Y}$ ,  $\tilde{P}$  を用いれば、auto トリップを第1トリップから帰着トリップまでトリップチェーンを追跡しながら、システムティックに記述することが可能となる。

第1トリップにおける発エンド auto 利用トリップ数は

$$U_1 = \tilde{A},$$

第2トリップのそれは

$$U_2 = \tilde{A} \tilde{P} \tilde{Y},$$

第3トリップについては

$$U_3 = \tilde{A} \tilde{P} \tilde{Y} \tilde{P} \tilde{Y},$$

以下、第  $k$  トリップについては

$$U_k = \tilde{A} (\tilde{P} \tilde{Y})^{k-1} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 56)$$

となる。他方、着エンドについての auto 利用トリップ数もそれぞれ

$$V_1 = \tilde{A} \tilde{P}$$

$$V_2 = \tilde{A} \tilde{P} \tilde{Y} \tilde{P}$$

$$V_3 = \tilde{A} \tilde{P} \tilde{Y} \tilde{P} \tilde{Y} \tilde{P}$$

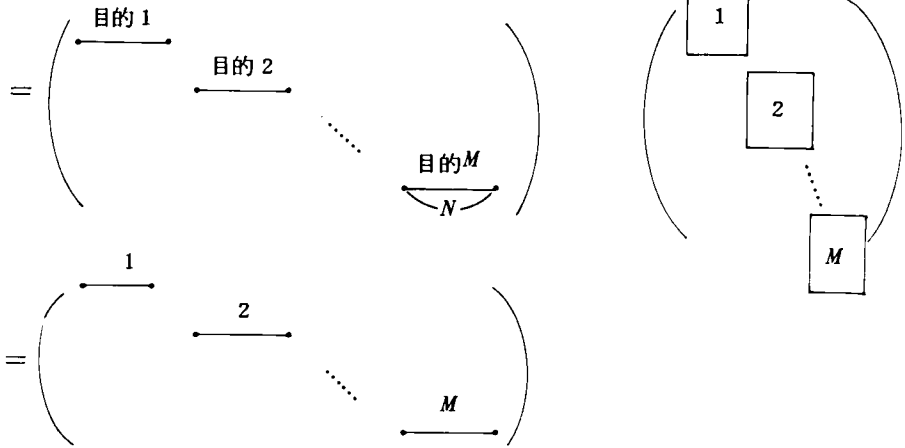
.....

$$V_k = \tilde{A} \tilde{P} (\tilde{Y} \tilde{P})^{k-1} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 57)$$

と書くことができる。

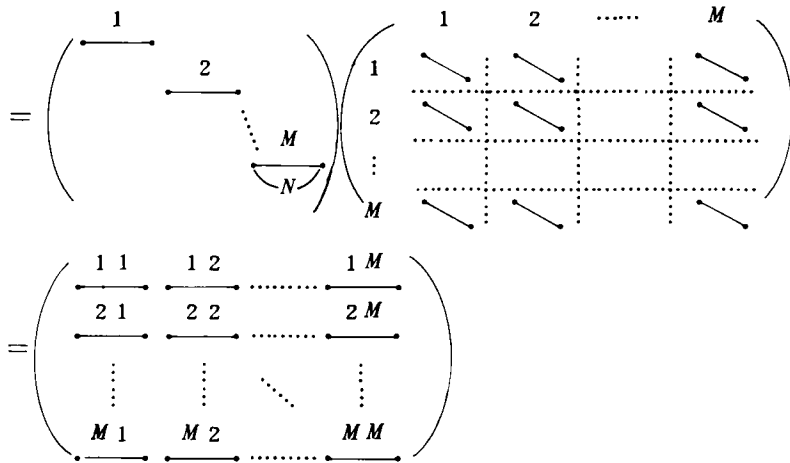
ここで、これらの行列の意味を考えてみよう。第1トリップの発エンドは自明であるから説明は省き、第1トリップの着エンド  $V_1$  について考えてみると、

$$V_1 = \tilde{A} \tilde{P}$$



のような形をしており、各ゾーンの auto トリップ 着エンド数を要素とする  $M$  個の行ベクトルより構成されている。第 2 トリップ の発エンド  $U_2$  については、

$$U_2 = \tilde{A} \tilde{P} \tilde{Y} = V_1 \tilde{Y}$$



のような形をしており、目的連関のパターン別にそれぞれ発エンド数の行ベクトルが正方形に配置されている。たとえば  $(m, m')$  の位置にあるベクトルの第  $i$  要素は、トリップ目的  $m$  でゾーン  $i$  にやってきたもののうち、次にトリップ目的  $m'$  で、かつ auto を利用して出発してゆくものの数を表わしている。このようにして第  $k$  トリップ まで追跡してゆくと、発エンド数は

$$U_k = \begin{pmatrix} \overline{1 \cdots 1} & \overline{1 \cdots 2} & \cdots & \overline{1 \cdots M} \\ \overline{2 \cdots 1} & \overline{2 \cdots 2} & \cdots & \overline{2 \cdots M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{M \cdots 1} & \overline{M \cdots 2} & \cdots & \overline{M \cdots M} \end{pmatrix}$$

着エンド数は

$$V_k = \begin{pmatrix} \overline{1 \cdots 1} & \overline{1 \cdots 2} & \cdots & \overline{1 \cdots M} \\ \overline{2 \cdots 1} & \overline{2 \cdots 2} & \cdots & \overline{2 \cdots M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{M \cdots 1} & \overline{M \cdots 2} & \cdots & \overline{M \cdots M} \end{pmatrix}$$

というような形をとる。たとえば  $U_k$  について言えば、 $(m \cdots m')$  の位置にあるベクトルの第  $i$  要素は、「ベースを出発する第1トリップの目的が  $m$  であったもののうち、第  $k$  トリップまでには吸収されることなくゾーン  $i$  にやってきて、つぎのトリップ ( $k$  番目) 目的が  $m'$  であるもののうち auto を利用する人の数」を表わしている。すなわち、ベースを出発する第1トリップ目的が保存されたままで追跡されてきたことを意味している。

また、(4.40)式で定義された行列  $\tilde{Y}$  の行和もしくは列和がすべて1以下であれば、次の2つの関係

$$\begin{aligned} U &= \sum_{k=1}^{\infty} U_k = \tilde{A}(I + \tilde{P}\tilde{Y} + \tilde{P}\tilde{Y}\tilde{P}\tilde{Y} + \cdots) \\ &= \tilde{A}(I - \tilde{P}\tilde{Y})^{-1} = \tilde{A} + \tilde{A}\tilde{P}(I - \tilde{Y}\tilde{P})^{-1}\tilde{Y} \cdots \cdots \cdots (4 \cdot 58) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \sum_{k=1}^{\infty} V_k = \tilde{A}\tilde{P}(I + \tilde{Y}\tilde{P} + \tilde{Y}\tilde{P}\tilde{Y}\tilde{P} + \cdots) \\ &= \tilde{A}\tilde{P}(I - \tilde{Y}\tilde{P})^{-1} \cdots \cdots \cdots (4 \cdot 59) \end{aligned}$$

が成立し、したがって

$$U = \tilde{A} + V\tilde{Y} \cdots \cdots \cdots (4 \cdot 60)$$

という関係が得られる。したがって全ステップを重ね合わせた auto OD表は  $U$  を対角化した行列を  $\bar{U}$  とするとき、 $\bar{U}\tilde{P}$  が得られることになる。

以上の計算では auto トリップに対するゾーン間遷移行列  $\tilde{P}$  は所与であると仮定してきたが実際には  $\tilde{P}$  を推計する必要がある。いま、目的別ゾーン別 auto トリップ総発生量ベクトルを  $\tilde{U}^*$ 、第1



トリップに対するそれを $\overset{*}{A}$ ,目的別ゾーン別 auto トリップ総集中量を $\overset{*}{V}$

$$\begin{aligned} \overset{*}{U} &= (\overset{*}{U}_1 \overset{*}{U}_2 \dots \overset{*}{U}_M), \overset{*}{U}_m = (\overset{*}{U}_1^m \overset{*}{U}_2^m \dots \overset{*}{U}_N^m) \\ \overset{*}{A} &= (\overset{*}{A}_1 \overset{*}{A}_2 \dots \overset{*}{A}_M), \overset{*}{A}_m = (\overset{*}{A}_1^m \overset{*}{A}_2^m \dots \overset{*}{A}_N^m) \\ \overset{*}{V} &= (\overset{*}{V}_1 \overset{*}{V}_2 \dots \overset{*}{V}_M), \overset{*}{V}_m = (\overset{*}{V}_1^m \overset{*}{V}_2^m \dots \overset{*}{V}_N^m) \end{aligned}$$

とするとき、先の(4.50)式に対応して次の関係が成立する。

$$\overset{*}{U} = \overset{*}{A} + \overset{*}{V} \tilde{Y} \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 61)$$

ここで $\overset{*}{V}$ は別途推計により所与とする。すなわちパーソントリップの目的ゾーン別着エンド数(所与)に乗ずる着エンド auto 利用率を所与とすれば我々は $\overset{*}{V}$ を求めることができるので、そこから auto トリップに対する各ゾーンの相対的吸引力 $\overset{*}{v} = (v_1 v_2 \dots v^m \dots v^M)$ を計算することができる。ただし $v^m = (v_1^m v_2^m \dots v_j^m \dots v_N^m)$ ,  $\sum_j v_j^m = 1$ 。一方、 $\tilde{P}$ をエントロピー法によって推計するためには相対的発生力 $\overset{*}{u} = (u^1 u^2 \dots u^m \dots u^M)$ を得ておく必要がある。ただし $u^m = (u_1^m u_2^m \dots u_i^m \dots u_N^m)$ ,  $\sum_i u_i^m = 1$ 。この $\overset{*}{u}$ は式(4.52)より次のようにして計算することができる。

目的別パーソントリップ総生成量を $(T_1 T_2 \dots T_m \dots T_M)$ , 第1トリップのそれを $(S_1 S_2 \dots S_m \dots S_M)$ とするとき(4.52)式は $(\overset{*}{u}^1 \overset{*}{u}^2 \dots \overset{*}{u}^M)$ なるベクトルを用いて

$$(T_1 \overset{*}{u}^1, T_2 \overset{*}{u}^2, \dots, T_M \overset{*}{u}^M) = (S_1 \overset{*}{u}^1, S_2 \overset{*}{u}^2, \dots, S_M \overset{*}{u}^M) + \overset{*}{V} \tilde{Y}$$

と書くことができる。したがってこれを

$$\{ (T_1 - S_1) \overset{*}{u}^1, (T_2 - S_2) \overset{*}{u}^2, \dots, (T_M - S_M) \overset{*}{u}^M \} = \overset{*}{V} \tilde{Y}$$

と変形することによりベクトル $\overset{*}{u}^m$ の値を計算することができる。このようにして $\overset{*}{u}^m$ が得られれば我々は次式によって $\overset{*}{u}^m$ を計算することができる。

$$\begin{aligned} u_i^m &= T_i \overset{*}{u}_i^m / \sum_i T_i \overset{*}{u}_i^m \quad \dots\dots\dots (4 \cdot 62) \\ \overset{*}{u}^m &= (u_1^m u_2^m \dots u_i^m \dots u_N^m), (m=1,2, \dots, M) \end{aligned}$$

この $\overset{*}{u}$ と $\overset{*}{v}$ を用いてエントロピー法によって $\tilde{P}$ を推計すればよいのである。

#### 4.4.5 京都市への適用

前項4.4.4で提案したモデルを京都市のトリップチェーンデータ(1970)に適用してみよう。ここで用いるデータは第3章で用いたのと同じデータであり、京都市にhome baseを持つものを対象としている。まず諸量の観測値をあげておこう。目的間遷移行列は最尤推定値(第3章、第3.5.3項)の方を用いて表4.4.4のようである。トリップ目的としては帰社を含む6目的として

いる。初期状態量として与えるゾーン別・目的別第1トリップ発生量は表4・4・5掲げている。ゾーン区分は域外⑦を含

めた7ゾーンである。

定義により域外からの第1トリップ発生量はない。

つぎに auto 利用率に関するものとして、まず第1トリップの目

的別・ゾーン別発エンド auto 利用率が表4・4・6に、第1トリップの着エンド auto 利用率が表4・4・7に、そして第2トリップの発エンド auto 利用率が表4・4・8にそれぞれ掲げられている。ここで第1トリップの発エンド auto 利用率と第2トリップの発エンド auto 利用率とを比較すると、ゾーン平均 auto 利用率でも、「出勤」の場合は2.1倍、「登校」で2.3倍、「買物」で2.5倍、「娯楽」で1.4倍、「業務」で1.3倍、「帰社」で2.7倍というように第2トリップ発エンド auto 利用率が極めて高くなっている。これは、トリップチェーンを重ねるものほど

表4・4・4 目的間遷移行列： $Y = \{ y_{ij} \}$

↗	1	2	3	4	5	6
1 出勤	0.	0.007	0.058	0.040	0.161	0.
2 登校	0.002	0.	0.027	0.058	0.001	0.034
3 買物	0.004	0.003	0.057	0.032	0.014	0.037
4 娯楽	0.010	0.005	0.059	0.136	0.012	0.027
5 業務	0.020	0.002	0.028	0.018	0.285	0.202
6 帰社	0.	0.001	0.048	0.045	0.217	0.

表4・4・5 ゾーン別・目的別第1トリップ発生量： $A$

目的 \ ゾーン	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	計
1 出勤	84,940	51,792	88,778	99,497	50,336	34,529	—	409,872
2 登校	68,204	38,961	61,940	58,986	36,388	26,660	—	291,139
3 買物	94,756	42,705	75,998	75,306	42,724	32,207	—	363,696
4 娯楽	46,464	26,598	34,887	35,022	20,636	18,060	—	181,667
5 業務	33,736	10,218	19,357	26,331	12,232	8,600	—	110,474
6 帰社	2,955	702	1,780	2,055	660	1,118	—	9,270

(①上・中・下京区、②左京区、③東山・伏見区、④南区・向日市、⑤右京区、⑥北区、⑦域外)

表4・4・6 目的別ゾーン別発エンド auto 利用率 (第1トリップ)

目的 \ ゾーン	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	平均
1 出勤	0.1591	0.2530	0.2685	0.2857	0.2412	0.2553	—	0.2436
2 登校	0.0421	0.0511	0.0487	0.0888	0.0665	0.0838	—	0.0610
3 買物	0.0320	0.0429	0.0408	0.0483	0.0350	0.0494	—	0.0403
4 娯楽	0.1601	0.1334	0.1386	0.1735	0.1620	0.1881	—	0.1576
5 業務	0.4231	0.4618	0.4712	0.4975	0.5576	0.5700	—	0.4749
6 帰社	0.1069	0.1667	0.1472	0.1713	0.3333	0.2308	—	0.1645

表 4・4・7 第1トリップ着エンド auto 利用率

目的 \ ゾーン	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	平均
1 出勤	0.2010	0.2629	0.2449	0.2995	0.2754	0.2608	0.2417	0.2436
2 登校	0.0376	0.0691	0.0549	0.0720	0.0616	0.0896	0.0940	0.0610
3 買物	0.0452	0.0483	0.0296	0.0385	0.0275	0.0403	0.2951	0.0403
4 娯楽	0.1293	0.1694	0.1147	0.1522	0.1293	0.1683	0.3892	0.1576
5 業務	0.4260	0.5022	0.4535	0.4747	0.5431	0.5043	0.5858	0.4749
6 帰宅	0.1377	0.1515	0.0811	0.1733	0.2308	0.2945	0.1826	0.1645

表 4・4・8 第2トリップ発エンド auto 利用率

目的 \ ゾーン	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	平均
1 出勤	0.4832	0.4770	0.6571	0.5078	0.6701	0.2190	0.5062	0.5112
2 登校	0.1420	0.0566	0.1013	0.3418	0.0	0.5244	0.0	0.1420
3 買物	0.0726	0.0991	0.0697	0.1089	0.0962	0.2375	0.1734	0.1020
4 娯楽	0.1721	0.2146	0.1738	0.3395	0.2810	0.3322	0.2569	0.2285
5 業務	0.5485	0.6276	0.6462	0.7847	0.7101	0.7066	0.4734	0.6074
6 帰宅	0.2686	0.7138	0.5167	0.4485	0.4253	0.5301	0.7500	0.4426

auto をよく利用する。また逆に言えば、autoを利用するものほどトリップチェーンを重ねる、という傾向を示している。このことは第4.4.2項でみてきた事実にも対応している。

目的連関に伴う auto 利用率の変化率は表4・4・9のようである。ここに\*印は undefined elementであり、その目的連関には該当する人々が存在しなかったことによる。また変化率が0.0000となっているところは目的連関後の利用率が零であったことを示している。この変化率行列 $\phi$ と先の目的間遷移行列 $Y$ との積 $Y \otimes \phi$ の値が表4・4・10に掲げられている。各行和はそれぞれ1以下となっているから先述した(4・48)式、(4・49)式の記述は可能となる。また目的別の総 auto トリップ生成量は次のようにして得ることができる。

目的別の第1トリップ auto 利用トリップ数を

$$a = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m \ \dots \ a_M)$$

とし、目的別の総 auto 利用トリップ数を

$$b = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_m \ \dots \ b_M)$$

とすると、 $b$ は次式で求めることができる。

$$b = a(I - Y \otimes \phi)^{-1} \dots \dots \dots (4 \cdot 63)$$

ここに $I$ は $(M \times M)$ の単位行列、 $Y \otimes \phi$ は先の表4・4・10で定義されている。(4・63)式の計

算を目的連関のステージ毎に追跡した結果が表4・4・11に示されている。第1行目はトリップ目的を、第2行目はベクトル $\alpha$ の値を、第3行目以下は各ステ

表4・4・9 auto 利用率の変化率行列： $\phi = \{ \phi_{ij} \}$

$\nearrow$	1 出勤	2 登校	3 買物	4 娯楽	5 業務	6 帰社
1 出勤	*	0.5020	0.3945	1.0236	2.4385	*
2 登校	0.0000	*	0.9185	3.5766	0.0000	7.1884
3 買物	4.7464	2.9454	1.5616	1.8257	7.6883	2.1725
4 娯楽	2.2808	0.8141	0.7381	1.5063	2.4134	2.5237
5 業務	1.1024	0.3749	0.6577	0.9190	1.1872	1.1000
6 帰社	*	1.0795	0.3531	0.7523	1.4195	*

表4・4・10  $Y \otimes \phi$  の値

$$Y \otimes \phi = \begin{pmatrix} y_{11} \phi_{11}, y_{12} \phi_{12}, \dots, y_{16} \phi_{16} \\ y_{21} \phi_{21}, y_{22} \phi_{22}, \dots, y_{26} \phi_{26} \\ \vdots \\ y_{61} \phi_{61}, y_{62} \phi_{62}, \dots, y_{66} \phi_{66} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0. & 0.0035 & 0.0228 & 0.0409 & 0.3925 & 0. \\ 0. & 0. & 0.0247 & 0.2074 & 0. & 0.2444 \\ 0.0018 & 0.0088 & 0.0890 & 0.0584 & 0.1076 & 0.0803 \\ 0.0228 & 0.0040 & 0.0435 & 0.2040 & 0.0289 & 0.0681 \\ 0.0220 & 0.0075 & 0.0069 & 0.0165 & 0.3383 & 0.2222 \\ 0. & 0.0011 & 0.0168 & 0.0337 & 0.3080 & 0. \end{bmatrix}$$

表4・4・11 Auto Trip Chain の追跡

Purpose	WORK	SCHOOL	SHOP	RECREATION	BUSINESS	R.T.O.*
Initial Condition	99,838	17,774	14,693	28,636	52,464	1,525
Stage of Transition						
1st.	1,833 (101,671)	988 (18,762) <sup>+</sup>	5,656 (20,349)	15,386 (44,022)	59,806 (112,270)	19,131 (20,656)
2nd.	1,676 (103,347)	586 (19,348)	1,959 (22,308)	5,075 (49,097)	27,060 (139,330)	6,659 (27,315)
3rd.	714 (104,061)	250 (19,598)	716 (23,024)	1,829 (50,926) <sup>+</sup>	11,588 (150,918)	2,818 (30,133)
4th.	297 (104,358)	104 (19,702)	280 (23,304)	709 (51,635)	4,943 (155,861) <sup>+</sup>	1,194 (31,327)
Total Estimated (E)	104,572	19,775	23,495	52,125	159,520	32,205
Total Observed (O)	104,658	18,581	25,487	49,924	155,372	39,825
(E) - (O)	-86	1,394	-1,992	2,201	4,148	-7,620

Remarks : \* ; R.T.O. means RETURN-TO-OFFICE.

+ ; Estimated number of auto trips is over Total Observed at this stage.

ージにおける新たな auto 利用トリップ数ならびにその累積トリップ数 (かっこ内) を示している。出勤 (WORK) から娯楽 (RECREATION) までは、ステージ毎に auto トリップ数が漸減してゆくのに対して、業務 (BUSINESS) と帰社 (R.T.O.) については、第1ステージで一旦増加し、第2ステージ以降漸次漸減してゆくという傾向をみせている。

この表は結局、先の(4.61)式を

$$b = \alpha (I - Y \otimes \phi)^{-1} \\ = \alpha + \alpha z + \alpha z^2 + \alpha z^3 + \dots \\ (\text{ここに } z = Y \otimes \phi)$$

のように分解し、右辺第5項まで追跡したものである。表の最後の方の行に示してあるのは、推計された $\hat{b}$  (Total Estimated)と観測された $\hat{b}$  (Total Observed)である。大胆なモデルであるにもかかわらずかなり良好な結果と見てよいだろう。トリップ目的別に誤差率すなわち  $(E - O) / O$ を計算してみると、出勤で-0.0008%、登校は0.075%、買物は-0.0782%、娯楽は0.0441%、業務は0.0267%、帰社は-0.1913%となっており、帰社で大きいのが目立つ。Yとしては最尤推定値を用いていることから、Yすなわち目的連関の方では量的整合性が保証されており、したがってこの乖離の原因はモード連関すなわち $\phi$  (auto利用率の変化率)の方にあることが分かる。この $\phi$ を各ステップで一様であると仮定しているために回を追って上昇してゆく実際のauto利用率を反映させることができず、過小評価になったものである。

一方、ゾーン効果( $\phi$ )を導入して目的別ゾーン別 auto トリップ発生・集中量を追跡した結果が表4.4.12に示されている。目的別Totalについてゾーン計でみた場合、それぞれの誤差率は出勤で0.0065%、登校で0.0017%、買物で0.0183%、娯楽で0.0794%、業務で0.1045%、帰社で-0.2544%となっており、登校・買物については先の場合より改善されているが、その他の目的については誤差率が大きくなってしまっている。しかし、この表で気付くことはゾーン計でこのような乖離があるにせよ、各ゾーン毎に発生量・集中量をみた場合かなり実情を反映しているとみなせることである。もしトータルのautoトリップ生成量を合わせることができれば、発生・集中交通量ならびにOD表についてもかなりの精度で現状を再現できるものと思われる。この場合のあり得べき方法は、第3章3.5節で紹介した2種類の目的間遷移行列の定義方法ならびにその予測方法にアナロジーすることである。すなわち前項4.4.4の末尾で定義した $\hat{U}^*$ 、 $\hat{A}^*$ を用いると(4.58)式に対応して、

$$\hat{U}^* = \hat{A}^* (I - \hat{P} \hat{Y})^{-1} \dots \dots \dots (4.64)$$

なる関係式を得る。 $\hat{A}^*$ を対角行列に直した場合に(4.64)式より得られる行列をデータより作成しておき、(4.64)式より $\hat{P} \hat{Y}$ を計算するのである。(第1法)  $\hat{P}$ はデータより別途得られているから $\hat{Y}$ を計算することは可能である。もし $\hat{Y}$ としても非負行列を得ることができなければ第3章で定義した第2法を用いるとよい。

表4・4・12 目的別・ゾーン別 auto トリップ  
発生・集中量の計算結果

項目		ゾーン	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	ゾーン計
出	第1 トリ ップ	発生量	13,511	13,104	23,841	28,423	12,144	8,815	0	99,838
		集中量	29,662 (29,447)	7,672 (7,706)	10,647 (10,556)	21,968 (22,243)	11,093 (11,041)	4,487 (4,340)	14,309 (14,505)	99,838 (99,838)
動	計	発生量	15,135 (15,293)	13,590 (13,552)	24,489 (24,577)	29,295 (29,325)	12,615 (12,442)	9,169 (9,013)	1,051 (456)	105,344 (104,658)
		集中量	31,266 (31,126)	8,037 (8,021)	11,253 (11,154)	22,994 (22,948)	11,622 (11,596)	4,706 (4,678)	15,466 (15,135)	105,344 (104,658)
登	第1 トリ ップ	発生量	2,870	1,989	3,019	5,240	2,420	2,236	0	17,774
		集中量	2,686 (2,696)	2,620 (2,636)	3,416 (3,365)	3,286 (3,477)	1,940 (1,920)	2,768 (2,661)	1,058 (1,019)	17,774 (17,774)
校	計	発生量	3,107 (3,105)	2,095 (2,108)	3,116 (3,058)	5,394 (5,568)	2,493 (2,420)	2,286 (2,279)	122 (43)	18,613 (18,581)
		集中量	2,837 (2,846)	2,745 (2,795)	3,659 (3,568)	3,385 (3,477)	2,003 (1,964)	2,867 (2,870)	1,117 (1,097)	18,613 (18,581)
買	第1 トリ ップ	発生量	3,035	1,833	3,104	3,634	1,496	1,591	0	14,693
		集中量	4,371 (4,850)	2,094 (1,928)	2,343 (2,186)	2,980 (2,693)	1,019 (1,079)	1,217 (1,257)	669 (700)	14,693 (14,693)
物	計	発生量	6,317 (5,441)	2,944 (2,993)	4,480 (4,215)	5,629 (5,440)	2,503 (2,408)	2,349 (2,811)	1,731 (2,179)	25,953 (25,487)
		集中量	7,747 (7,301)	3,446 (3,470)	3,610 (3,437)	5,079 (4,918)	1,727 (1,646)	1,983 (2,143)	2,361 (2,572)	25,953 (25,487)
娯	第1 トリ ップ	発生量	7,437	3,549	4,834	6,075	3,344	3,397	0	28,636
		集中量	7,714 (7,753)	3,825 (3,904)	3,524 (3,363)	4,070 (4,006)	2,385 (1,994)	2,315 (2,385)	4,803 (5,231)	28,636 (28,636)
楽	計	発生量	14,173 (13,741)	6,345 (5,987)	8,080 (6,808)	10,259 (9,664)	5,648 (5,290)	5,402 (5,514)	3,984 (2,920)	53,891 (49,924)
		集中量	14,405 (13,550)	6,748 (6,349)	6,328 (5,680)	6,999 (6,592)	4,172 (3,944)	4,056 (3,958)	11,183 (9,851)	53,891 (49,924)
業	第1 トリ ップ	発生量	14,274	4,719	9,122	12,627	6,820	4,902	0	52,464
		集中量	16,873 (16,994)	4,032 (3,713)	6,874 (6,600)	9,388 (10,138)	5,295 (5,165)	3,597 (3,367)	6,405 (6,487)	52,464 (52,464)
務	計	発生量	50,913 (49,407)	13,575 (11,821)	22,553 (21,464)	35,023 (28,693)	18,770 (17,071)	11,463 (10,495)	19,325 (16,422)	171,622 (155,372)
		集中量	52,123 (48,111)	12,122 (11,033)	19,756 (18,244)	27,975 (24,401)	15,562 (14,185)	10,185 (9,430)	33,899 (29,968)	171,622 (155,372)
帰	第1 トリ ップ	発生量	316	117	262	352	220	258	0	1,525
		集中量	540 (455)	90 (83)	184 (130)	348 (307)	192 (132)	125 (374)	46 (44)	1,525 (1,525)
社	計	発生量	14,195 (13,339)	4,218 (2,806)	6,267 (4,416)	8,280 (6,291)	4,590 (3,207)	3,657 (2,443)	8,751 (9,323)	49,958 (39,825)
		集中量	17,792 (13,973)	3,355 (2,581)	5,707 (4,391)	10,244 (8,082)	5,896 (4,666)	3,043 (2,314)	3,921 (3,818)	49,958 (39,825)

(注) ( )内：観測値

将来予測の場合には、上のようにして現況から得た $Y$ を基にして(4・50)式より将来に対応する $Y$ を計算する。そして(4・61)式より $\tilde{U}^*$ を計算し、将来のゾーン間遷移行列 $\tilde{P}$ をエントロピー法によって求める。この $\tilde{P}^*$ 、 $\tilde{Y}^*$ 、 $\tilde{A}^*$ を用いると(4・64)式より $\tilde{U}^*$ が計算されるが、この $\tilde{U}^*$ と(4・61)式より計算された $\tilde{U}^*$ とが一致することを示しておこう。

(4・64)式から得られる $\tilde{U}^*$ は

$$\tilde{U}^* = \tilde{A}^* (I - \tilde{P}^* \tilde{Y}^*)^{-1} \dots\dots\dots (4 \cdot 65)$$

であり、一方(4・61)式から得られる $\tilde{U}^*$ を $\tilde{U}^{**}$ とすると

$$\tilde{U}^{**} = \tilde{A}^* + \tilde{V}^* \tilde{Y}^* \dots\dots\dots (4 \cdot 66)$$

である。他方、行列 $\tilde{P}$ は $\tilde{U}^{**}$ と $\tilde{V}^*$ とより求めたのであるから

$$\tilde{U}^{**} \tilde{P} = \tilde{V}^* \dots\dots\dots (4 \cdot 67)$$

が成立している。(4・57)式を(4・66)式に代入すると

$$\tilde{U}^{**} = \tilde{A}^* + \tilde{U}^{**} \tilde{P} \tilde{Y}^*$$

を得、これより

$$\tilde{U}^{**} = \tilde{A}^* (I - \tilde{P} \tilde{Y}^*)^{-1} \dots\dots\dots (4 \cdot 68)$$

を得る。したがって(4・55)式と(4・68)式から

$$\tilde{U}^{**} = \tilde{U}^*$$

を導出することができる。(Q.E.D)

## 4.5 結 語

本章では都市および都市圏における交通機関分担プロセスのあり得べき方向について検討を加えた。都市における交通機関選択のメカニズムはトリップメーカーの多様性、複雑な交通ネットワーク、選択理由の多様性、活動の多様性、画一的でないトリップパターンなどが複雑に絡みあっていることから、パーソントリップ手法前半部のようなスマートなモデルビルディングが妨げられている。全ての situation を考慮することは到底無理であるから、そこである一つの観点

に立脚してモデルビルディングの試みがなされることになる。本章でとりあげた観点は、(1)トリップメーカーに課せられている諸制約に着目すること、(2)1つのトリップは一般に混合トリップとして生起していること、(3)トリップチェーンに着目すること、の3点である。そしてそれらが第2節、第3節、第4節でそれぞれ取扱われた。

第2節では、トリップメーカーが交通機関選択を行なう局面における3つの制約に着目して、トリップメーカーを分類することが試みられた。まず第1番目の制約は *spacial restraints* と呼べるもので、交通ネットワークや交通施設容量（駐車スペース）といったトリップの発・着エンドにおける空間（密度）的制約、第2番目の制約は *institutional restraints* と呼べるもので、世帯や事業所といった社会・経済的組織において個人が固有に課せられている制約である。第3番目には、主として個人属性にカテゴライズされるもので、トリップにあたっての荷物の有無、子供連れであるか否かといった *individual* な *restraints* を考えることができる。大阪市における調査によると、このような諸制約下で交通機関選択を行っているものは、出勤トリップで42%、業務トリップで51%の高率となっている。ということは、これらの人々についてはトリップを行う前のトリップ発エンドにおいてすでに利用する交通機関が決定されていることを示している。これらの比率は、制約的な選択理由Ⅱ（表4.2.2参照）を優先させた場合にはそれぞれ60%（出勤）、75%（業務）とはね上がり、トリップの発エンドで分担させることの妥当性を物語っている。したがって、モーダルスプリットにおいてはこれらの先決部分を取取りし、しかるのちに残った部分について競合的選択モデルを用いよというのが本節の主要な結語となる。そしてこのことは後に述べるように、トリップチェーンにおける分担法としてトリップエンドモデルを採用する根拠を与えることになる。

第3節では混合トリップを取扱うモデルがいくつか紹介された。遷移行列を用いる方法、電気回路にアナロジーする方法、効用理論を用いる方法、モーダルミクス手法などである。混合トリップの取扱いは今後ますます重要になるであろうことから、これらのいくつかの方法が実証的に検討され発展させられることが望まれる。とくにトリップチェーンとのシステムティックな連動が大きな課題であろう。

第4節ではトリップチェーンにおける交通機関分担法について、従来の研究のレビューと新たな知見の紹介が行なわれた。トリップチェーンにおける分担モデルは佐佐木（1971）による方法が草分け的存在であり、それを中心に回顧がなされた。ここでの新たな提案は氏のモデルに着エンド効果  $\lambda_i$  とゾーン間効果  $\eta_{ij}$  を導入することにあつた。トリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルの構造比較の結果、着エンド効果  $\lambda_j$  とゾーン間効果  $\eta_{ij}$  を導入するということは、モデルの構造上からいって、ゾーン間遷移確率を変形する。すなわち従来の方法ではパー



ソントリップについての遷移行列 $P$ を用いていたのに代えて、autoトリップについての遷移行列 $P^A$ を用いることと等価であることが判明したのである。したがって、トリップチェーンの分担モデルにおいては「ゾーン」に関する問題（発エンド分担率、着エンド効果、ゾーン間効果、ゾーン間遷移行列）は全て解明され、残された問題は目的連関に伴なう auto 利用率の変化率行列 $\Phi$ に集中されることとなった。目的間遷移行列 $Y$ と $\Phi$ とからなる行列 $Y \otimes \Phi$ は、実は auto 利用者に対する目的間遷移行列としての側面をも兼ね備えているのであって、したがってそれゆえに表 4・4・11、表 4・4・12 で示したように観測値と計算値に若干の乖離を生ぜしめることとなったのである。ただし、実際の推定作業においてはトータルコントロールのもとで過不足を解消することは可能である。

## 第4章 参考文献

- 1) 京阪神都市圏パーソントリップ調査委員会(1973): パースントリップ調査による交通現況分析(鉄道駅)報告書。
- 2) 同(1973): 交通機関分担の解析(№4)。
- 3) 近畿地方建設局(1974): 「交通機関選択に関する調査研究」
- 4) Watson, P. L.(1974): 「The Value of Time; Behavioral Models of Modal choice」, chap. 7, Lexington Books.
- 5) 佐佐木綱(1974): 「都市交通計画」、第2章、国民科学社。
- 6) Goodwin, P. B.(1974) : 「Travel By A Combination of Modes」, TRANSPORTATION & TRAFFIC THEORY, Ed. by D.J. Buckley, REED, Sydney.
- 7) 近藤勝直、宮崎辰夫(1975): 「モーダルミクス手法を用いた混合トリップの考察」, 「交通工学」Vol. 10, №5.
- 8) 坂下昇(1962)、 「交通量配分の微視的理論について」, 「高速道路と自動車」Vol. 5, №8.
- 9) 足立一夫(1969): 「競合路線における輸送需要の構造モデルについて」, 「経営科学」Vol. 12, №3.
- 10) 近藤・川端(1975): 「Mixed Modal Split(2)」, 土木学会関西支部学術講演会概要集。
- 11) 近藤・宮崎(1975): 「Mixed Modal Split(1)」, 同上。
- 12) 近藤勝直(1972): 「都市内交通機関別OD交通量の推定に関する研究」, 京都大学修士論文。
- 13) Sasaki, T. (1971) : 「Estimation of Person Trip Patterns Through Markov chains」, Proc. of the 5th Intl. Sympo. on Transpn. and Traffic Flow Theory, Berkeley.
- 14) 佐佐木綱(1974): 前掲5、第8章。
- 15) Kondo, K. (1974): 「Estimation of Person Trip Patterns and Modal Split」, Proc. of the 6th Intl. Sympo. on Transpn. and Traffic Theory, Sydney.

## 第5章 結 論

我が国に、Home Interview型式の交通調査に基づく交通計画手法（パーソントリップ手法）が紹介されて久しいが、この10年以内に全国の主要都市圏でP.T.調査が実施されて来たのに伴って、その水準も高まり、交通生成、交通発生・集中、分布、交通機関分担、配分の各推計プロセスのかなりの部分は漸く完成の域に到達しようとするに至っている。

本研究は、配分プロセスを除く全ての領域、すなわち交通生成から交通機関分担までの各プロセスについて、著者がいままでの研究で得てきた知見を紹介すると同時に、都市における交通パターンをトリップチェーンという観点から体系的に説明することを試みたものである。第2章では交通生成から分布までのプロセスを、第3章ではトリップチェーンの吸収マルコフ連鎖モデルを、第4章では交通機関分担のプロセスを、それぞれ対象としている。各章の総括は各章最終節の結語に詳しいが、ここではそれらを要約した形でふりかえると同時に全体的な総括と展望を行ない、本研究の結論としたい。

第2章は、交通需要の生成から分布までの、いわゆるパーソントリップ手法の前半部をとり扱ったものである。とくに業務トリップの生成メカニズム、大都市圏の土地利用モデル、分布交通量推計モデルの3点に絞って新たな知見の紹介を行った。パーソントリップ手法にあっては、配分プロセスがほぼ完成の域に達し、かつ緒論でも述べたように今後の交通計画、ひいてはそれに計量的裏づけを与える手法としての交通需要推計法が社会経済システムと密接に関連した形で展開され得るためには、トリップチェーン研究と並んで、かつまたそれを補完する役割を担っているパーソントリップ手法前半部に関する、より大胆なそして今後の方向に沿ったアプローチの進展が不可欠である。以下、各節で得られたファインディングスならびに有益な今後の指針などを中心に本章のまとめを行っておこう。

業務トリップの生成について：トリップ生成量の推定については従来から原単位法が採用されてきた。この方法は社会や経済システムが大巾な変動をしないという前提のもとに意味をもつものであり、出勤・登校・買物といった日常のかつ拘束的なトリップ目的について有効な方法であったといえる。しかし、業務トリップは直接に経済活動に係わるものであり、原単位という安定性を要求される方法では、経済構造の変化に対応できないことは自明であろう。そこで本研究では産業組織という点に着目して、種々の観点から、その構造的特性と業務トリップ生成との関係を調べた結果、次のようなことが明らかとなった。まず、都市型産業にあっては企業規模が増すにつれて業務トリップの原単位が逡減すること。市場パターンとの関係では、市場構造が競争的

であるほど原単位が高いこと。最後に、市場の競争度という計量的指標でみると、それが高いほどトリップ数が増大していること、など。本研究は、まだ開始したばかりであり、十分な将来の展望を行ない得ないが、ダイナミックな経済活動をその構造的な特性に着目してマクロ的に把握する足がかりを得たという意味で、将来予測における意義は小さくないものと思われる。

大都市圏の土地利用構造について：トリップ発生量・吸引量を求める場合に必要な情報としての土地利用の決定法がローリーモデルを例として回顧された。オリジナルなローリーモデルは、一点集中的でかつゾーン間の interaction がかなり密接な場合の大都市圏に適用すべく開発されたところの、世帯ならびに従業者の配置モデルであるが、現実の大都市圏の構造が、職住分離・郊外化・ドーナツ化といった現象のために、オリジナルなモデルの要求する構造から乖離をきたしていることに注目し、その改良への指針が考察された。重要なものをいくつか列挙すると、まず、対象圏域の閉鎖性をうまく確保させること、もしくはオープンモデルとしてとり扱うこと。大都市圏では Retail Sector は地域の需要のみで説明できない部分も存在するので、それを考慮に入れること。Retail Sector については生活関連グループと産業関連グループに分けることが望ましいこと。世帯については、これはモデルの骨格となる部分であるから精度を高める工夫が要求されること、などである。とくに人口急増地区（ドーナツ部分）と流出の激しい都心(CBD)とをバランスよく適合させる工夫が望まれる。

分布交通量推計モデルについて：従来から個々ばらばらに提案されていた分布交通量モデル諸法を、それらの構造に焦点を合わせて回顧し、修正方法を中心に再考がなされた。現在パターン法として新たに提案されたバランシング・ファクター法の形式は、すべての考えられる分布モデルの修正方法の原型的な意味を持っていることが明らかにされ、従来ややもすればその使用が敬遠されていたエントロピー法も、本研究の結果、非常に実用的な体裁へと変身させることが可能となった。ここで提案されたBF法(i)(エントロピー最大化による現在パターン法)は第3章の目的問題移行列の将来予測、ならびに第4章のトリップチェーンにおけるモーダルスプリットにおいて非常に重要な役割を果たすことになる。とくに第4章では、トリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルを連結するパイプ役としての重責を担うことになるのである。

第3章は、トリップチェーンの記述と予測と題し、トリップチェーンにおける交通機関分担プロセス（第4章第4節）を除くすべての領域をとり扱ったものである。第2節では交通需要予測という観点から従来のトリップチェーン研究が回顧され、吸収マルコフ連鎖モデル以外については交通需要予測に資することが困難であることが述べられた。そして今後の展望として、(1)トリップチェーンのシステマティックな追跡、(2)モーダルスプリット、(3)将来のパターン変化、という3点に留意して分析が展開されるべきであると結論している。第3節では、京阪神都市圏P.T.

調査(1970)とオクスフォード大学のHeggie氏がまとめた欧米諸国のトリップチェーン研究調査とを具体的な事例として、トリップチェーンの実態の紹介とその分析にあたっての種々の概念規定を中心に説明を加えた。ベースとサイクルという概念を導入することによってトリップチェーンの実態から帰結し得ることは、Home-based・城内閉包・完全トリップパターンというclosedなトリップチェーンが実数上圧倒的であることから、これをうまく体系的に記述するモデルが必要なこと。かつ1サイクル当りのトリップ数が増すにつれてそのサイクル数が逡減してゆくことから、吸収マルコフ連鎖等による数学的記述の可能性が示唆されること、などである。第4節は吸収マルコフ連鎖理論によってトリップチェーンを記述するモデルを中心に構成されており、第2項では発生・吸引交通量の算定法、第3項ではOD交通量の算定法が、そして第4項では吸収マルコフ連鎖モデルを適用する場合に仮定しているいくつかのことからについての解説がなされている。そこでは主にトリップチェーンを確率論的にとり扱うことの是非を中心に論じ、目的間遷移行列の定常性については第5節でデータを基に考察している。さらに第5節と第6節では、目的間遷移行列に2通りの定義方法が存在することを示し、それらの比較検討が詳細になされている。第1法は「みかけの遷移行列」、第2法は「最尤推定の遷移行列」と呼んでいるが、予測という観点からは第2法の方がすぐれていることが明らかにされる。すなわち、第2法は必ず非負の確率を得ることができること、予測方法が第1法に較べて簡易なこと、を主な理由としている。さらに予測においては短期・中期・長期という期間の長さによって異なる方法が用いられるべきであるということに注意をはらう必要があるとしている。第7節では、トリップチェーンを時空間において把握する試みが2つ述べられている。これは今後の課題と思われるので、ここでは紹介にとどめておいた。

第4章では、都市および都市圏における交通機関分担プロセスのあり得べき方向について検討を加えた。都市における交通機関選択のメカニズムはトリップメーカーの多様性、複雑な交通ネットワーク、選択理由の多様性、活動の多様性、画一的でないトリップパターンなどが複雑に絡みあっていることから、パーソントリップ手法前半部のようなスマートなモデルビルディングが妨げられている。全てのsituationを考慮することは到底無理であるから、そこである一つの観点に立脚してモデルビルディングの試みがなされることになる。本章でとりあげた観点は、(1)トリップメーカーに課せられている諸制約に着目すること、(2)1つのトリップは一般に混合トリップとして生起していること、(3)トリップチェーンに着目すること、の3点である。そしてそれらが第2節、第3節、第4節でそれぞれ取扱われた。

第2節ではトリップメーカーが交通機関選択を行なう局面における3つの制約に着目して、トリップメーカーを分類することが試みられた。まず第1番目の制約はspacial restraintsと呼

べるもので、交通ネットワークや交通施設容量（駐車スペース）といったトリップの発・着エンドにおける空間（密度）的制約、第2番目の制約は institutional restraints と呼べるもので世帯や事業所といった社会・経済的組織において個人が固有に課せられている制約である。第3番目には、主として個人属性にカテゴライズされるもので、トリップにあたっての荷物の有無、子供連れであるか否かといった individualな restraints を考えることができる。大阪市における調査によると、このような諸制約下で交通機関選択を行っているものは、出勤トリップで42%、業務トリップで51%の高率となっている。ということは、これらの人々については、トリップを行う前のトリップ発エンドにおいてすでに利用する交通機関が決定されていることを示している。これらの比率は、制約的な選択理由Ⅱ（表4・2・2参照）を優先させた場合にはそれぞれ60%（出勤）、75%（業務）とはね上がり、トリップの発エンドで分担させることの妥当性を物語っている。したがって、モーダルスプリットにおいてはこれらの先決部分を先取りし、しかるのちに残った部分について競合的選択モデルを用いようというのが本節の主要な結論となる。そしてこのことは後に述べるように、トリップチェーンにおける分担法としてトリップエンドモデルを採用する根拠を与えることになる。

第3節では、混合トリップを取扱うモデルがいくつか紹介された。遷移行列を用いる方法、電気回路にアナロジーする方法、効用理論を用いる方法、モーダルミクス手法などである。混合トリップの取扱いは今後ますます重要になるであろうことから、これらのいくつかの方法が実証的に検討され発展させられることが望まれる。とくにトリップチェーンとのシステムティックな連動が大きな課題であろう。

第4節ではトリップチェーンにおける交通機関分担法について、従来の研究のレビューと新たな知見の紹介が行なわれた。トリップチェーンにおける分担モデルは佐佐木（1971）による方法が草分け的存在であり、それを中心に回顧がなされた。ここでの新たな提案は氏のモデルに着エンド効果 $\lambda_i$ とゾーン間効果 $\eta_{ij}$ を導入することにあつた。重力モデル的エントロピー法を用いる場合のトリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルの構造比較の結果、着エンド効果 $\lambda_i$ とゾーン間効果 $\eta_{ij}$ を導入するということは、モデルの構造上からいって、ゾーン間遷移確率を変形する、すなわち従来の方法ではパーソントリップについての遷移行列 $P$ を用いていたのに代えて、autoトリップについての遷移行列 $P^A$ を用いることと等価であることが判明したのである。したがって、トリップチェーンの分担モデルにおいては「ゾーン」に関する問題（発エンド分担率、着エンド効果、ゾーン間効果、ゾーン間遷移行列）は全て解明され、残された問題は目的連関に伴う auto 利用率の変化率行列 $\phi$ に集中されることとなった。目的間遷移行列 $Y$ と $\phi$ とからなる行列 $Y \otimes \phi$ は、実は auto 利用者に対する目的間遷移行列としての側面をも兼ね備

えているのであって、したがってそれゆえに表4・4・11、表4・4・12で示したように観測値と計  
算値に若干の乖離を生ぜしめることとなったのである。ただし、実際の推定作業においてはトー  
タルコントロールのもとで過不足を解消することは可能である。

以下全体的なまとめを行ないつつ、今後の研究課題とそれらの展望を概説しておこう。第1章  
緒論でも述べたように今後の交通計画が、交通の発生基盤となっている社会経済システムや生活  
様式と深く結びつく形で展開され、社会交通計画としての側面を強く持ってくるのであれば、そ  
れに計量的裏づけを与える手法としての交通需要推計プロセスについても、今後の方向に沿った  
より大胆なアプローチの進展が不可欠である。それは何も新しい方法を開発するというものでは  
必ずしもなく、従来からの伝統的な方法が存在するならば、それらを上目的に沿うように再点  
検し、再編成を行なうことを意味している。パーソントリップ手法による交通需要推計プロセス  
の大枠は崩すことなく各々のプロセスの再点検とそれらプロセスの目的合理的な統合の方法を考  
え出すことである。本研究はこのような方針のもとに著者の行ってきた諸研究を統合したもの  
である。交通生成に関する新しいアプローチが第2章第2節で試みられたが、この分野は交通計  
画と経済学とのinterdisciplinaryな領域に属するもので、今後より一層のデータ収集による実証  
分析と理論分析が進められるべきであろう。私見では産業組織論・地域経済学との連繫がより一  
層必要になるものと思われる。ただし価格理論やフロー分析よりも、ストックの分析（職業構成  
・企業規模 etc.）の方に重点を置くべきであろう。一方、分布交通量推計モデルについては、本  
研究により既存諸法の構造的な性格がより一層明確な形で整理されたと思われ、ほぼ完成の域に到  
達したものと確信する。残る課題は予測年度や地域の特性に応じてどのモデルを採用するかにつ  
いての実証的検討であると思われる。また、従来ややもすれば理論的難解さの為にその使用が敬  
遠されがらであったエントロピー法も、本研究により非常に実用的な体裁へと変身させることが  
できたので実用上の意義は大きいと思われる。そして、最後のプロセスである交通機関選択につ  
いては一般理論を構築することが不可能であるという判断から、とくに都市域にあってはトリッ  
プエンドモデルが有効であることが結論される。精度上の問題は残るにしても、今後の交通計画  
の目的に沿った大胆なモデルが指向されることが望まれる。すなわち、先述したように各推計ブ  
ロセスの目的合理的な統合に供するような体裁が要求されるのである。ここで考えている各ブ  
ロセスの統合の方法は、本研究のメイン・テーマであるトリップチェーン手法、すなわち都市域の  
交通パターンを吸収マルコフ連鎖によって記述することである。第3章ではこの吸収マルコフ連  
鎖モデルによって、交通発生・集中ならびに分布交通量をシステムティックに算定する方法が述  
べられ、同時に将来の交通パターンを予測する方法についても言及がなされた。この枠組の中で

有機的に機能する交通機関分担のモデルは、吸収マルコフ連鎖の構造的利点から判断してトリップエンドモデルが最も有効なのである。