

新 制

工

889

京大附図

ランダム効用理論による
交通便益の定義とその計測に関する研究

平成4年5月

大 野 栄 治

C988

ランダム効用理論による

交通便益の定義とその計測に関する研究

平成4年5月

大野 栄治

序

現在、わが国の社会構造はモータリゼーションによって支えられており、交通施設整備等の公共事業は地域社会の発展の重要な役割を担っている。しかし、地域社会の発展は人々の立地需要を増大させ、市場メカニズムを通じて地価高騰を招き、ひいては公共事業において慢性的な財源不足を生み出し、その結果、新たな事業の実現が困難になっている場合がしばしばある。このような社会問題は、外部経済効果に伴う資産価値上昇分（開発利益）を事業者に還元することによって解決されるものと考えられる。

このような開発利益還元方策を具体化させるためには当該事業による開発利益の受益者、受益地域、受益規模を特定する必要がある。そこで、本研究では、それらを推定するための交通便益計測モデルをランダム効用理論および多地域一般均衡理論に基づいて構築した。この種の研究は厚生経済学の分野において蓄積されてきたが、これまでの便益の定義およびその計測モデルのほとんどが確定効用に基づいていたため、経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動が考慮されていなかった。したがって、それらを考慮したランダム効用理論によるアプローチは新しい試みである。また、本モデルより、経済主体間の交通便益の発生→帰着構造を明示し、交通プロジェクトの社会的効率性・公平性の判定および費用負担問題を考える上で重要な示唆を与えるような帰着便益連関表を誘導した。さらに、交通プロジェクトの社会的純便益が交通市場の情報（交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみより近似的に計測できることを示したため、迅速かつ効率的に交通便益計測を行うことができるようになった。

本研究の成果が、今後の交通プロジェクト評価手法ならびに開発利益還元手法の開発の一助となれば幸いである。

平成4年5月

大野 栄治

目 次

第1章 序 論	1
1-1 本研究の目的と概要	1
1-2 便益計測に関する既往の研究	4
1-3 本論文の構成	7
参考文献（第1章）	10
第2章 交通プロジェクト効果分析のための社会経済モデル	13
2-1 緒 言	13
2-2 社会経済モデルのフレームワーク	15
2-2-1 社会経済の仮定	15
2-2-2 フレームワーク	15
2-3 社会経済モデルにおける各部門の行動モデル	18
2-3-1 世帯の行動モデル	18
2-3-2 私企業の行動モデル	22
2-3-3 不在地主の行動モデル	26
2-3-4 交通企業の行動モデル	27
2-3-5 政府の行動モデル	28
2-4 市場均衡条件	29
2-5 交通プロジェクトの効果	30
2-6 結 言	31
2-補 地代を内生化した立地モデル	33
2-補-1 既往の研究	33
2-補-2 立地モデル	34
2-補-3 不動点問題	35
参考文献（第2章）	40

第3章 ランダム効用理論による交通便益定義	43
3-1 緒言	43
3-2 都市モデルと立地均衡	46
3-2-1 都市モデルの仮定	46
3-2-2 立地均衡の定義	47
3-3 平均効用を用いた交通便益定義1	50
3-4 平均効用を用いた交通便益定義2	52
3-5 中間効用を用いた交通便益定義	53
3-6 最大期待効用を用いた交通便益定義	55
3-7 各定義の比較検討	56
3-8 結言	65
参考文献(第3章)	66
第4章 ランダム効用理論による交通便益計測モデル	67
4-1 緒言	67
4-2 交通プロジェクトの効果	69
4-3 交通プロジェクトによる便益	70
4-3-1 世帯の便益	70
4-3-2 不在地主の便益	72
4-3-3 社会的純便益	73
4-4 交通プロジェクトの帰着便益連関表	75
4-5 交通便益のショートカット計測モデル	82
4-5-1 社会的純便益のショートカット型	82
4-5-2 Taylor展開の2次近似型	83
4-5-3 Taylor展開の3次近似型	86
4-5-4 各近似型の比較検討	89
4-6 結言	90
参考文献(第4章)	91

第5章 交通プロジェクトの便益計測例	93
5-1 緒言	93
5-2 対象地域とプロジェクト	94
5-2-1 対象地域の設定	94
5-2-2 プロジェクトの概要	96
5-3 社会経済モデルの運用方法	97
5-3-1 運用手順	97
5-3-2 業務立地モデル	101
5-3-3 住宅立地モデル	106
5-3-4 交通モデル	111
5-4 社会経済モデルの推定	112
5-4-1 業務立地モデルの推定	112
5-4-2 住宅立地モデルの推定	113
5-4-3 交通モデルの推定	114
5-5 社会経済モデルの予測精度	119
5-6 帰着便益連関表の作成	120
5-7 結言	123
参考文献(第5章)	124
第6章 結論	125

第 1 章 序 論

1 - 1 本研究の目的と概要

大都市圏を中心とする地価高騰は、社会基盤整備等の公共事業において慢性的な財源不足を生み出し、事業の実現を困難にしている。このような「現代の社会問題」は外部経済効果に伴う便益（特に資産価値上昇に伴う開発利益）を事業者還元することによって解決されるものと考えられ、この問題に対して開発利益還元方策の適用が期待される [伊東(1987), Hayashi(1989), 芝原(1991)]。ここで、開発利益還元方策を具体化させるためには、

- ① 開発利益の概念（→何を開発利益とするのか）
- ② 〃 発生時点
- ③ 〃 受益者，受益地域，受益規模

等を明確に捉える必要があるが、現在、これに十分対応できる技術（モデル）が完成していないため、一部の事業（下水道事業，土地区画整理事業等）を除き、効果的な開発利益還元システムは確立されていない。そこで、本研究では、現在の日本社会において急務とされる交通施設整備のプロジェクトを取り上げ、そして上記③の問題に焦点を当て、交通プロジェクトに対する開発利益の受益者，受益地域，受益規模の特定化ができるような交通便益計測モデルを構築することを目的とする。なお、上記①の問題については、交通プロジェクト有無による社会経済状態（具体的には経済主体の効用）の差を貨幣換算したものとし、上記②の問題については、交通施設完成後に発生した利益に限定する。また、このような便益計測モデルの完成により、従来の費用便益分析では扱えなかったプロジェクトの社会的公平性の評価も可能になる [従来では社会的効率性の評価のみであった]。

本研究の目的を達成するためには、モデル構築に際し、

- ① 交通プロジェクトの直接効果のみならず波及効果をも分析できるように、交通便益計測モデルは多地域一般均衡理論のフレームで構築された社会経済モデルと整合していること

②厚生経済学の分野で便益計測手法として確立されている等価的偏差の概念を応用できるように、社会経済モデルおよびこれと整合した交通便益計測モデルは効用理論に基づいていること

③経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動を反映できるように、社会経済モデルおよびこれと整合した交通便益計測モデルはランダム効用理論に基づいていること

の3項目を考慮する必要がある。特に項目③については、モデルの実用性という観点において考慮すべき問題であると考えられるが、経済学の分野で確立されている便益の定義およびその計測モデルのほとんどが確定効用に基づき、このような経済主体行動のランダム性を考慮していない。そこで、本研究では、[ランダム効用理論および多地域一般均衡理論に基づく社会経済モデルの構築] → [等価的偏差の概念のランダム効用への適用による便益定義の提案] → [便益計測モデルの構築] の手順でランダム効用理論による交通便益計測モデルを構築する。さらに、本モデルより、経済主体間の交通便益の発生→帰着構造を明示し、交通プロジェクトの社会的効率性・公平性の判定および費用負担問題を考える上で重要な示唆を与えるような帰着便益連関表を誘導する。

本研究では、交通プロジェクトによる便益（効果）の計測方法を議論するが、それに先立って効果の発生過程および種類について言及しておく。まず、交通プロジェクトが実施されると、交通市場のサービスレベルが変化し、これによって利用者（世帯，企業，地主）の利潤および効用，さらに各種需給量が変化する。そして、各市場における需給バランスが崩れ、これに伴って各経済主体の利潤および効用が再び変化し、やがて各市場において新たな均衡状態に移る。このとき、企業利潤は雇用者および株主に配分されるため、その変化は世帯（および地主）の効用の変化に帰着する。したがって、交通プロジェクトの効果は、図1.1.1に示すような社会経済フレームを通じて、社会を構成する個人（世帯および地主）の効用の増加という形で帰着する〔森杉(1989)〕。本研究では、このメカニズムのモデル化によって交通便益計測モデルを構築する。

一方、交通プロジェクトによる効果は、他の公共プロジェクトと同様に、

- ・事業効果…事業期間中に発生する効果
- ・施設効果…施設完了後に発生する効果

からなるが、本研究では後者を対象とする。さらに施設効果は、

- ・ 直接効果…直接当該市場（ここでは交通市場）に及ぶ効果
- ・ 波及効果…市場メカニズムを経由して他の市場に及ぶ効果（貨幣的的外部効果とも呼ばれる）
- ・ 外部効果…市場メカニズムを経由しないで他の市場に及ぶ効果（技術的外部効果とも呼ばれる）

に分類される。

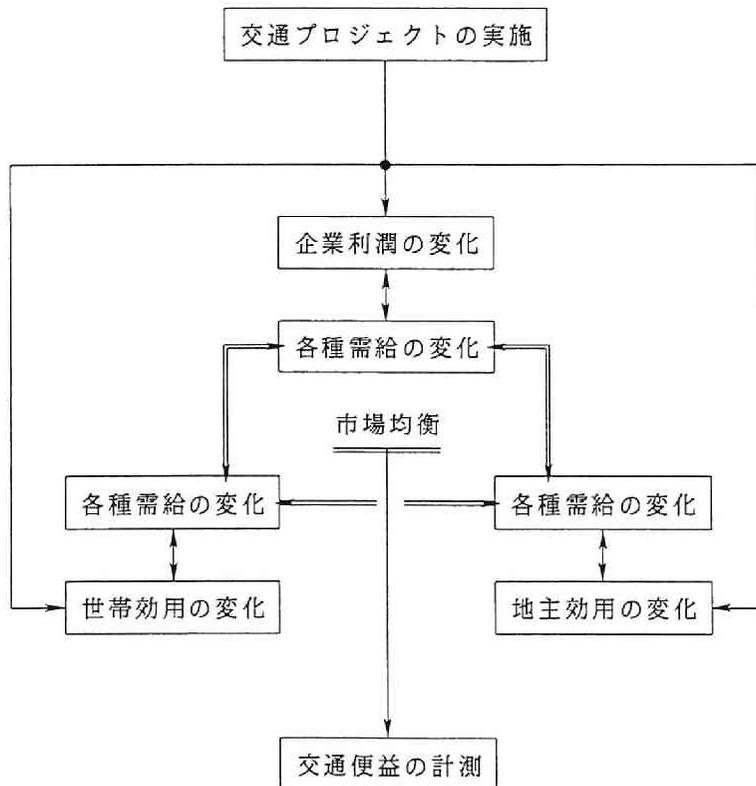


図1.1.1 社会経済フレーム

1 - 2 便益計測に関する既往の研究

便益計測に関する研究は厚生経済学の分野において蓄積され、その歴史は19世紀に始まる。Ricardo(1829)がイギリスで穀物条例の効果を分析するために経済的レントの概念を導入したのが始まりで、続いてDupuit(1844)がフランスで架橋の効果を分析するために消費者余剰の概念を導入した [Just, Hueth and Schmitz (1982)]。経済的レントとは、その供給が完全に非弾力的である要素に対する収益のことであり、また消費者余剰とは、総消費者効用と総市場価格とのギャップのことである。そして、プロジェクトによって消費者余剰（および生産者余剰）が変化すると、それらの変化分がプロジェクトの社会的便益であるとした。これらの概念は、Marshall(1930)によってさらに展開され、その後の厚生経済学研究の基礎を形成した。ここで、Marshall等の研究内容は「旧」厚生経済学に分類され、「新」厚生経済学とは区別された。旧厚生経済学の特徴は、社会的便益を計測する際に部分均衡分析手法が用いられており、他の市場の効果は無視されていることにある。

新厚生経済学の学者達は、このような旧厚生経済学の原理をいくつかの観点から批判した。例えば、Samuelson(1942)は、「消費者余剰が効用に対する唯一の貨幣尺度ではないため、旧厚生経済学における厚生尺度（消費者余剰）は適当ではない」と批判した。Pareto(1896)は、「社会の厚生が向上したと判断できるのは、何人かの効用が良くなり、どの人の効用も悪くならないときである。旧厚生経済学における社会的便益は、このことをチェックできないため、プロジェクト実施の判断基準として適当ではない」と説いた。このとき提案された判断基準はPareto基準として知られている。また、Kaldor(1939)とHicks(1939)は、「すべての厚生向上は財あるいは所得の再分配による厚生向上に置き換えることができる」と述べ、新たな補償基準を導入した。これに基づき、Hicks(1943)は、「厚生向上の代替的統一尺度は支払意思額で解釈される」と説いた。このような評価理論は、等価的偏差 EV (Equivalent Variation) あるいは補償的偏差 CV (Compensating Variation) の概念に発展した。 EV とは、経済的変化がある場合の効用レベルを維持するという条件で、その変化を諦めるための受取必要額のことであり、また CV とは、経済的変化がない場合の効用レベルを維持するという条件で、

その変化を得るための支払意思額のことである。したがって、E VおよびC Vは所得の単位であり、どのような状況（個人，市場等）でも唯一の貨幣尺度であるため、消費者余剰に対するSamuelsonの批判を受けない。

このような厚生経済学における便益計測手法の発展を引き継いで、Small and Rosen(1981), 佐々木(1984), 安藤(1984), Kanemoto and Mera(1985), Piggott and Whalley(1985), Morisugi(1986), 吉田・森杉(1986), 森杉・林山・小島(1986), Echenique(1987)は一般均衡分析手法を用いたプロジェクト評価手法を提案した。この分析手法は、市場均衡条件の変化による個人の効用の変化分に対してE VあるいはC Vの概念を適用することによりプロジェクト便益を計測する方法であるが、この理論を実際のプロジェクト評価に適用する際には、効用関数および生産関数を知ることや一般均衡式（通常は非線形連立方程式）を解くといった困難さがある。

便益計測に対する他のアプローチとしては、例えば肥田野・中村・荒津・長沢(1986)による資産価値法、宮城・渡部・加藤(1983), 宮城・加藤(1984), 林・土井(1988), 林・土井・奥田(1989)による共役双対法がある。資産価値法は、プロジェクトによる効果が帰着する資産価値に着目し、その変化分により便益を計測するという方法であるが、これが可能となる条件として、当該地域がsmall-openであることを必要とする。また、共役双対法は、市場均衡条件を解とするような数理最適化問題に置き換えて便益を定義・計測しようとする方法であるが、線形効用関数を用いることが多いために、Roy's Identity [Varian(1984)] を用いて導き出される種々の需要関数が理論的に妥当な性質を有するとは限らない[すなわち、価格について線形である間接効用関数は、価格の影響を受けない需要関数を与える]。

本研究で構築する便益計測モデルは、上述の一般均衡分析手法のモデルに分類されるが、ショートカット法を採用しているところに特徴がある。ショートカット法とは、あるプロジェクトの総便益を計測する際に1市場の情報のみを必要とする方法であり、例えば交通プロジェクトの便益計測においては、その効果が直接現われる交通市場から得られる情報（すなわち交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみを知ればよく、他の市場の情報や人々の効用関数を知る必要がない。これより、本モデルは従来的一般均衡分析手法が抱える「運用の困難さ」を

解決している。

しかし、Boadway(1975), Lesourne(1975), Wheaton(1977)は、Alonsoタイプの monocentric-closed都市モデルを用いて次のことを示した。すなわち、小規模な交通改善の場合には、社会的純便益を $[\Sigma(\text{世帯の効用関数}) / (\text{所得に関する限界効用})]$ で定義することにより間接便益がキャンセルされ、また、その社会的便益を $[(\text{初期交通量}) \times (\text{単位トリップ当りの交通費用節約})]$ で計測できることを示した。また、Kanemoto and Mera(1985)は、たとえ大規模な交通改善の場合でも、社会的純便益がMD(Marshall-Dupuit)で定義されるならば社会的便益は交通需要関数だけの消費者余剰で計測され、EVやCVで定義される場合はその限りではないことを示した。明らかに、Kanemoto and Meraの理論の問題点は社会的純便益の定義にある。まず、その定義はMDの積分経路依存性に悩まされ、さらに費用便益分析の最終目的といわれているKaldor-Hicksの補償基準と一致しない。本研究では、Gorman型効用関数にEVの定義を適用することにより、ショートカット法が一般規模の交通改善による便益を計測するのに適していることを示す。

一方、Pines and Weiss(1982), 佐々木(1984)は、Wheatonの手法を交通費用変化以外の交通改善の評価には適用できないことを示した。あるプロジェクトが交通費用だけでなく交通時間をも減少させるならば、時間節約もまた交通需要を変化させるので、プロジェクトによる便益は $[(\text{初期交通量}) \times (\text{単位トリップ当りの交通費用節約})]$ には等しくならない。また、貝山(1988)は、Alonso-Wheatonモデルを2都市モデルに拡張し、都市間に人口移動がある場合には社会的便益が直接便益のみで計測できるとは限らないことを示した。しかし、本研究では、前述のようなショートカット法の利便性を考慮し、交通市場の情報のみを必要とする便益計測モデルを提案する。本モデルは多地域一般均衡理論の枠組みで構築されるので、これによって計測される便益にはすべての波及効果が含まれている。

本研究のもう一つの特徴は、上述の(総)便益計測モデルを展開することによって地域別・部門別・項目別帰着便益の項を導き出し、各項を一覧表にまとめ、帰着便益連関表として提案しているところにある。この帰着便益連関表を用いることにより、便益の発生→帰着構造が一目でわかり、開発利益の受益者、受益地域、受益規模の特定化が容易になる。

1-3 本論文の構成

本論文は序論（第1章）と結論（第6章）を除く4章で構成され（図1.3.1）、各章の概要は以下のとおりである。

第2章では、交通プロジェクトによる社会経済の変化を捉えるために、社会経済モデルを構築する。本モデルの特徴は、交通プロジェクトの直接効果および波及効果を捉えることができるように、社会経済活動（世帯、私企業、不在地主、交通企業、政府の各活動）を多地域一般均衡理論のフレームで捉えていること、また厚生経済学の分野で便益計測手法として確立されている等価的偏差の概念を応用できるように、消費者行動を効用理論に基づいて捉えていることにある。特に世帯と私企業の行動については、主体者の価値観の多様性や不完全情報下での行動を考慮して、ランダム効用理論に基づいてモデル化する。また、社会経済モデル（土地利用モデル）の開発に関する最近のテーマとしてモデルの動学化が注目されているが、本研究では社会経済モデルに基づいて便益計測モデルを構築する関係上、複雑なモデル構造および難解な式展開を避けるため、ここではモデルの動学化を諦める。

交通プロジェクトによる直接・波及・外部効果は、1-1で述べたように、図1.1.1に示すような社会経済フレームを通じて利用者である個人（世帯および不在地主）の効用の増加という形で帰着する。そこで、第3章では、個人の効用（ランダム効用）の変化に基づいて交通プロジェクトによる便益を計測するために、新たにランダム効用理論による交通便益定義を提案する。本定義は交通プロジェクトによる社会経済変化予測と便益計測を統合的に行うための準備であり、したがって、本定義に用いる効用関数は社会経済モデル（第2章）に用いた効用関数そのものである。一方、交通便益の基本的な考え方は、前述したように厚生経済学の分野で確立された等価的偏差の概念に基づいている。

第4章では、社会経済モデル（第2章）および交通便益定義（第3章）に基づいて交通便益計測モデルを構築する。本モデルへの入力データは交通プロジェクトによる効果が直接現われる交通市場から得られる情報のみであるため、本モデルは交通便益のショートカット計測を可能にする。同時に、本モデルを展開し、交通プロジェクトによる地域別・部門別・項目別の帰着便益（すなわちプロジェ

クト便益の波及構造)を明示できるような帰着便益連関表を構築する。本表は、当該プロジェクトの社会的効率性・公平性の判定、プロジェクト財源を確保するための開発利益還元方法の検討、等に有用である。

第5章では、本研究で展開した理論のケース・スタディとして、ここで構築した便益計測モデルを岐阜環状線建設プロジェクトの便益計測に適用し、本モデルの実用性ならびに当該プロジェクトの妥当性を検討する。また、当該プロジェクトに関する帰着便益連関表(第2章)を作成し、プロジェクト費用負担のあり方等について考察する。

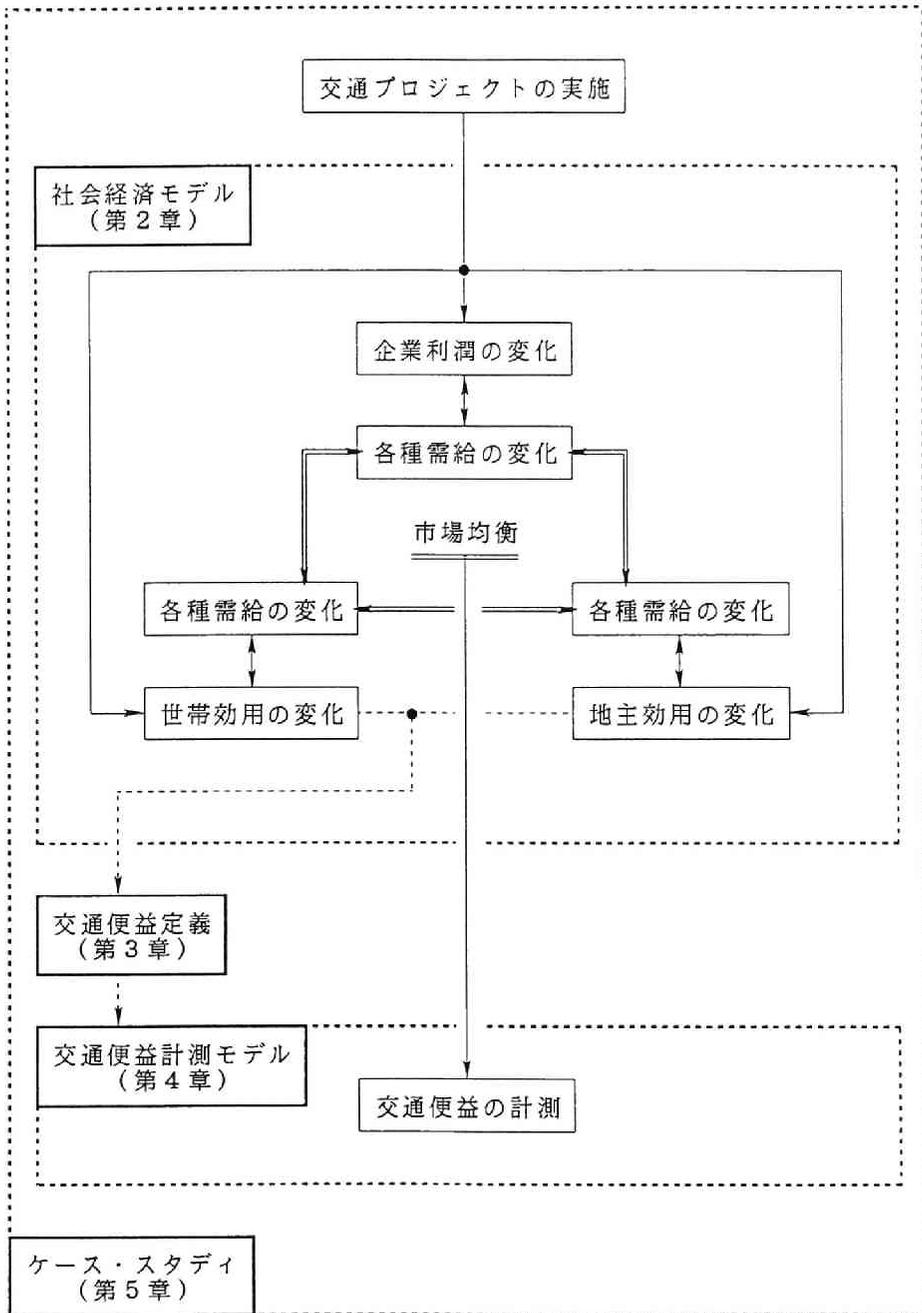


図1.3.1 本論文の構成

参考文献（第1章）

<和文>

- 安藤朝夫：交通施設整備と費用負担の社会的効率性：線形都市における解析例，
土木計画学研究論文集，No.1，pp.147-154，1984.
- 林 良嗣・土井健司：交通改善に伴う通勤者の便益の土地への帰着モデル，土木
計画学研究論文集，No.6，pp.45-52，1988.
- 林 良嗣・土井健司・奥田隆明：外部経済効果を考慮した都市交通改善がもたら
す開発利益の帰着分析モデル，土木学会論文集，No.407/IV-11，pp.67-76，
1989.
- 肥田野登・中村英夫・荒津有紀・長沢一秀：資産価値に基づいた都市近郊鉄道の
整備効果の計測，土木学会論文集，No.365/IV-4，pp.135-144，1986.
- 伊東 誠：都市内鉄軌道整備の為の新たな財源確保方策に関する研究，土木計画
学研究論文集，No.5，pp.163-170，1987.
- 貝山道博：都市間人口移動と都市交通体系の変化の評価－Alonso-Wheatonモデル
の複数都市モデルへの拡張－，The Economic Studies Quarterly，Vol.39，
No.2，pp.174-185，1988.
- 宮城俊彦・加藤晃：ランダム効用理論を基礎とした交通統合モデル，土木計画学
研究論文集，No.1，pp.99-106，1984.
- 宮城俊彦・渡部正樹・加藤 晃：土地利用－交通統合モデルへの確率選択理論の
応用，日本都市計画学会学術研究発表会論文集，No.18，pp.247-252，1983.
- 森杉壽芳・林山泰久・小島信二：交通プロジェクトにおける時間便益評価－簡便
手法の実用化と精度の検討－，土木計画学研究論文集，No.4，pp.149-156，
1986.
- 森杉壽芳：交通の便益と道路，交通工学，Vol.24，No.4，pp.3-6，1989.
- 佐々木公明：都市交通体系の変化の評価について，地域学研究，Vol.14，
pp.127-138，1984.
- 芝原靖典：公共事業にかかわる土地問題の社会システム論的研究，京都大学工学
博士学位論文，1991.
- 吉田哲生・森杉壽芳：等価的変差による交通施設の外部財評価方法に関する研究

，土木計画学研究論文集，No.3，pp.73-80，1986.

< 英文 >

- Boadway,R.W. : Cost-benefit rules in general equilibrium, *The Review of Economic Studies*, pp.361-373, 1975.
- Dupuit,J. : On the Measurement of the Utility of Public Works, *Annals des Ponts et Chaussees*, Second Series, Vol.8, 1844.
- Echenique,M. : The Practice of Modelling in Developing Countries, *Advances in Urban Systems Modelling*, Edited by Hutchinson,B. and Batty,M., North-Holland, pp.275-297, 1987.
- Hayashi,Y. : Issues in Financing Urban Rail Transit Projects and Value Captures, *Transportation Research A*, Vol.23A, No.1, pp.35-44, 1989.
- Hicks,J.R. : The Foundations of Welfare Economics, *The Economic Journal*, Vol.49, No.196, pp.696-712, 1939.
- Hicks,J.R. : The Four Consumer's Surpluses, *Review of Economic Studies*, Vol.XI, No.1, pp.31-41, 1943.
- Just,R.E., Hueth,D.L. and Schmitz,A. : *Applied Welfare Economics and Public Policy*, Prentice-Hall, 1982.
- Kaldor,N. : Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility, *The Economic Journal*, Vol.49, No.195, pp.549-552, 1939.
- Kanemoto,Y. and Mera,K. : General equilibrium analysis of the benefits of large transportation improvements, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.15, No.3, pp.343-363, 1985.
- Lesourne,J. : *Cost Benefit Analysis and Economic Theory*, North-Holland, 1975.
- Marshall,A. : *Principles of Economics*, London, McMillian Press, 1930.
- Morisugi,H. : A Basic Definition of Transport Benefits - Advocating Equivalent Variation -, *Proceedings of the World Conference on*

- Transport Research, Humburg, pp.1143-1157, 1986.
- Pareto,V. : Cours d'Economie Politique, Vol.2, Lausanne, 1896.
- Piggott,J. and Whalley,J. : New Developments in Applied General
Equilibrium Analysis, Cambridge University Press, 1985.
- Pines,D. and Weiss,Y. : Land improvement projects and values: an
appendum, Journal of Urban Economics, Vol.11, pp.199-204, 1982.
- Ricardo,D. : The Principles of Political and Taxation, London, McMillian
Press, 1829.
- Samuelson,P.A. : Constancy of the Marginal Utility of Income, Studies in
Mathematical Economics and Econometrics in Memory of Henry Schultz,
Edited by Lange,O. et al., University of Chicago Press, 1942.
- Small,K.A. and Rosen,H.S. : Applied welfare economics with discrete
choice models, Econometrica, Vol.49, pp.105-129, 1981.
- Varian,H.R. : Microeconomic Analysis, Norton and Company, 1984.
- Wheaton,W.C. : Residential decentralization, land rents, and the
benefits of urban transportation investment, American Economic
Review, Vol.67, No.2, pp.136-143, 1977.

第2章 交通プロジェクト効果分析 のための社会経済モデル

2-1 緒言

交通プロジェクトによる交通条件の向上は、それ自体（すなわち直接効果）にとどまらず、生産性の向上、所得の増大等の波及効果、また代替ルート of 混雑緩和、大気汚染等の外部効果をもたらす。本研究では、このような直接・波及・外部効果のすべてを捉えて交通プロジェクトによる便益とし、その計測モデルを構築する。本研究で構築する便益計測モデルは、このように直接便益のみならず波及便益をも計測可能な構造であることに加えて、経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動を考慮した構造であることも必要な条件としているので、以下の項目を考慮した社会経済モデルと整合させればよい。

- ①交通プロジェクトの直接効果のみならず間接効果（波及効果）をも分析できるように、社会経済活動を多地域一般均衡理論のフレームで捉えている。
- ②厚生経済学の分野で便益計測手法として確立されている等価的偏差の概念を応用できるように、消費者行動を効用理論に基づいて捉えている。
- ③特定の消費者行動（世帯と私企業の行動）については、経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動を考慮して、ランダム効用理論に基づいて捉えている。

そこで、本章では便益計測モデルを構築するための準備段階として、上記3項目を考慮した社会経済モデルを構築する。

Smith(1776), Von Thunen(1826), Marshall(1946)等の先駆者によって都市およびその機能に関する研究が展開されてきたが、体系的理論としての都市経済学の歴史が始まったのは、Wingo(1961)の土地市場モデル, Niedercorn(1963)の人口推計モデル, Alonso(1964)の付け値理論のあたりからであるといわれている[青山(1984), Mills and Nijkamp(1987)]。その後、都市経済学はMills(1967), Muth(1969), Beckmann(1969)と発展して新都市経済学と称されるようになり、1970年代に入って急速に発展した。この発展過程における理論研究の大部分は住宅立地

および業務立地を中心とした社会経済モデルを扱っているが〔後述のレビュー文献を参照〕、これはその背景に1940年代から1950年代にかけてのアメリカにおける急激な自動車普及があったためであると考えられる。すなわち、図2.1.1に示すような図式により、自動車普及が社会経済モデル開発の1要因であることが説明されるであろう。現在までに、社会経済モデル開発に対して様々なアプローチが行われ、またこの多様なモデルの開発に対して数多くのレビューが行われてきた〔例えば、Batty(1967), Kilbridge(1969), 吉川(1978), 林・宮本(1978), Foot(1981), 青山(1984), 宮本・中村・清水(1984)〕。最近では、ISGLUTI(International Study Group on Land-use/Transport Interaction)が日欧米のモデルの比較研究を行っている〔Webster, Bly and Paulley(1988)〕。

近年では、計画者・技術者によって交通施設整備等の社会経済へのインパクト分析をより正確に、かつ多様に行うことが要求されるようになり、モデルの精緻化が必要とされている。なお、モデル開発の試みの1つとして、地代を内生変数とし、多地域一般均衡分析のフレームで構築した住宅立地モデルを2-補に紹介しておく〔森杉・大野・松浦(1988)〕。

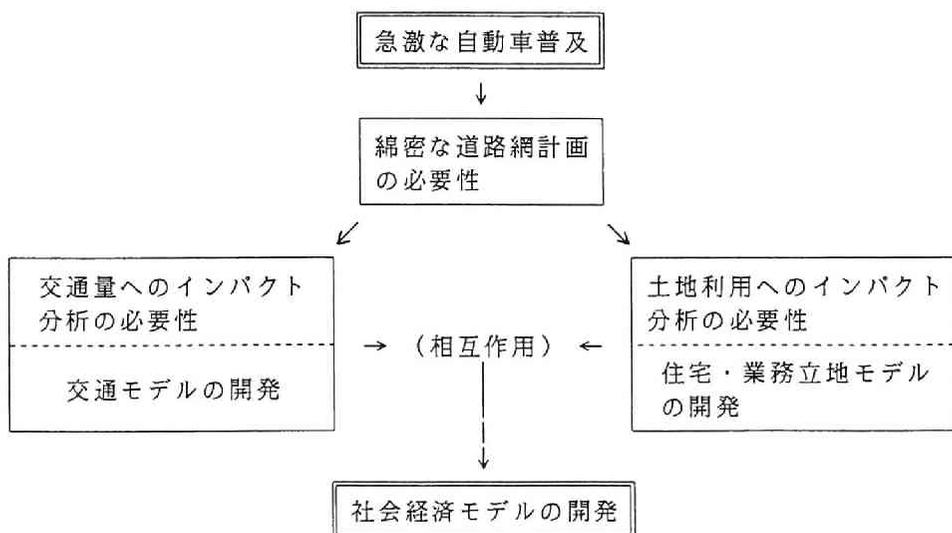


図2.1.1 自動車普及と社会経済モデル開発の因果関係

2-2 社会経済モデルのフレームワーク

2-2-1 社会経済の仮定

後の理論展開が複雑になるのを避け、簡単な社会経済モデルを構築するために次のような仮定をおく。

- ①社会は、いくつかのゾーンに分割されている。なお、ゾーン内は均一空間であるものとする。
- ②各ゾーンの土地利用は任意である。すなわち、居住用および業務用の土地利用が混在しているものとする。
- ③社会には、世帯、私企業、不在地主、交通企業、政府の5部門が存在しているものとする。
- ④社会には、土地市場、労働市場、合成財市場の3市場が存在しているものとする。
- ⑤世帯および私企業が土地サービスを必要するときは、不在地主から土地を賃借する。すなわち、土地の使用については賃貸借契約のみとし、売買契約は考えないものとする。
- ⑥社会は長期的均衡状態にあるものとする。

ここで、上記⑤の仮定は、土地便益と交通便益の単位を統一し、便益をフローで捉えるために設けられた仮定である。

上記の諸仮定により社会経済モデルは簡略化され、簡略化モデルでは設定外の条件について分析できない。しかし、交通価格以外の価格が市場均衡で決まる限りにおいては、社会における部門数や市場数が増加しても、そのような社会経済モデルより導かれる便益計測モデルの基本構造〔交通市場の情報（交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみを必要とする構造〕は変化しない。

2-2-2 フレームワーク

本章で構築する社会経済モデルのフレームワークは、図2.2.1に示すとおりである。まず、2-2-1で述べたように、社会は5部門（世帯、私企業、不在地主、交通企業、政府）と3市場（土地市場、労働市場、合成財市場）で構成される。また、各部門は次のように行動するものと仮定する。

- ①世帯は、時間制約および所得制約の下での効用最大化行動を原則とする。この立地選択行動（住み替え行動）は、ランダム効用理論に基づき、確率的に捉えられるものとする。また、1世帯=1就業者とする。
- ②私企業は、生産技術制約の下での利潤最大化行動を原則とする。この立地選択行動もまた、世帯と同様に、ランダム効用理論に基づき、確率的に捉えられるものとする。
- ③不在地主は、所得制約および土地供給制約の下での効用最大化行動を原則とする。ここで、現実には世帯が地主であったり、私企業が地主であったりする場合もあるが、社会経済モデルの簡単化のため、それらの地主的性格を不在地主として仮想的に独立させている。なお、この立地選択は確定されているものとする。
- ④交通企業は、交通利用者からの収入をもとに交通プロジェクトへの投資行動を原則とする。
- ⑤政府は、各部門からの税収をもとに交通企業への補助行動を原則とする。

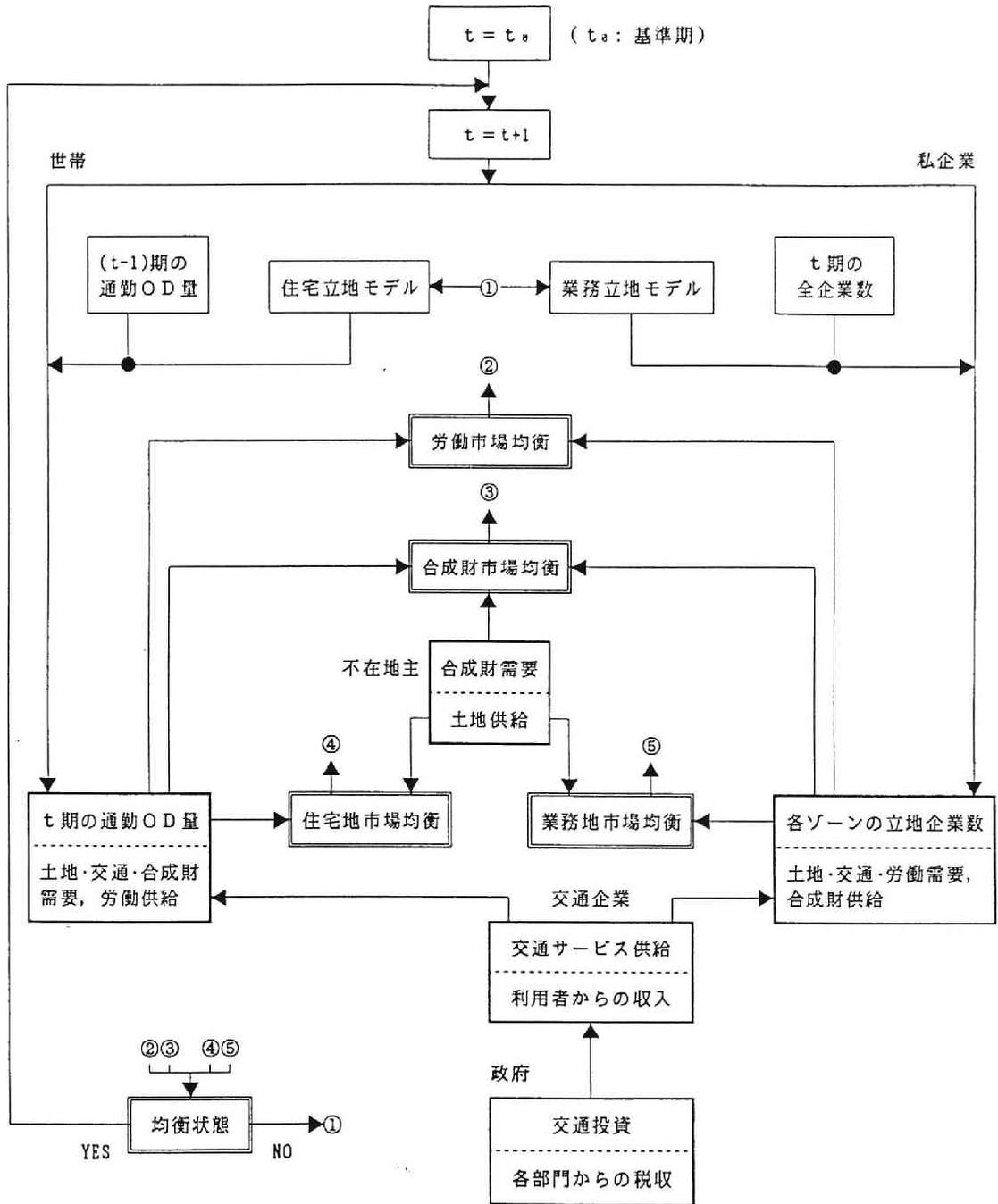


図2.2.1 社会経済モデルのフレームワーク

2-3 社会経済モデルにおける各部門の行動モデル

2-3-1 世帯の行動モデル

すべての世帯は都市圏内の任意のゾーンに居住あるいは勤務するものとし、また世帯の住宅立地行動は図2.3.1に示すように3段階で行われるものと仮定する。本研究では、各段階の有効的な定式化のため、普通の意志決定構造とは逆の順序で以下のように定式化する。

第1段階では、居住地を選択したという条件の下で敷地面積や各種需給量を決定する。モデルの簡単化のため、世帯の立地効用は、土地サービス a_{jh} 、余暇時間 s_{jh} 、自由交通サービス x_{jh}^{0D} 、通勤交通サービス χ_{jh} 、合成財 z_{jh} の各消費水準、および社会経済水準 SE_j によって表されるものと仮定する。ここで、労働時間 l_{jh} は効用関数に含まないこととする [Becker(1965), Bruzelius(1979)]。これは、このことが時間価値を賃金率で計測することに対する十分条件であること、時間価値の計測例において賃金率にほぼ等しいという報告があること [太田・杉山ほか(1988)]、またこれにより後の式展開が簡単になることによる。そして、世帯は時間制約および所得制約の下で、 a_{jh} 、 s_{jh} 、 x_{jh}^{0D} 、 z_{jh} および労働時間 l_{jh} をコントロールして立地効用 U_{jh} を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$\max_{a_{jh}, l_{jh}, s_{jh}, x_{jh}^{0D}, \chi_{jh}, z_{jh}} U_{jh} [a_{jh}, s_{jh}, x_{jh}^{0D}, \chi_{jh}, z_{jh}; SE_j] \quad (2.3.1.a)$$

$$s. t. \quad l_{jh} + s_{jh} + \sum_o \sum_D t^{oD} x_{jh}^{oD} + t^{jh} \chi_{jh} = T \quad (2.3.1.b)$$

$$r_j a_{jh} + \sum_o \sum_D p^{oD} x_{jh}^{oD} + p_z z_{jh} \\ = w_h l_{jh} + y_h - g \quad (2.3.1.c)$$

ただし、

g : 世帯に課される一括固定税

p^{oD} : ゾーン oD 間の交通費用 (人の移動)

p_z : 合成財価格

r_j : ゾーン j の住宅地代

t^{oD} : ゾーン oD 間の交通時間

- T : 総利用可能時間
 w_h : ゾーンhの賃金率
 y_h : ゾーンhに勤務する世帯の資産所得
j : 居住地ゾーン
h : 勤務地ゾーン

現実には式(2.3.1.a)の目的関数(効用関数)の中に世帯のライフステージにおける条件(例えば、世帯主の年齢、家族の年齢、家族構成等)が含まれるであろうが、ここで構築するモデルは国勢調査時期を想定した比較的短期の2期モデルであるので、そのような条件の影響を無視する。2期モデルとは、(t-1)期の立地量を与件としてt期の立地量を予測するモデルのことである[2-補を参照]。一方、式(2.3.1.b)は各世帯の時間制約であり、式(2.3.1.c)は各世帯の所得制約である。ここで、通勤費用は私企業によって支払われる場合が多いので、式(2.3.1.c)に通勤費用を計上しない。式(2.3.1.a)~式(2.3.1.c)を解くと、 a_{jh} , s_{jh} , x_{jh} , χ_{jh} , z_{jh} の各需要関数と、 l_{jh} の供給関数を得ることができる。

$$a_{jh} = a_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.2.a)$$

$$l_{jh} = l_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.2.b)$$

$$s_{jh} = s_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.2.c)$$

$$x_{jh}^{00} = x_{jh}^{00} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.2.d)$$

$$\chi_{jh} = \chi_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (\equiv 2 \text{ トリップ/日}) \quad (2.3.2.e)$$

$$z_{jh} = z_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.2.f)$$

ただし、

$$q_h = \{q_h^{00}\} \equiv \{p^{00} + w_h t^{00}\} \quad (2.3.2.g)$$

$$r = \{r_j\} \quad (2.3.2.h)$$

$$t^h = \{t^{jh}\} \quad (2.3.2.i)$$

$$\Omega_h \equiv w_h T + y_h - g \quad (2.3.2.j)$$

式(2.3.1.e)において、就業者が通勤行動として居住地-勤務地間を1日1往復するものと仮定し、 $\chi_{jh} \equiv 2$ トリップ/日とする。式(2.3.1.g)中の q_h^{00} は一般化交

通費用（人の移動）、また式(2.3.2.h)中の Ω_h は一般化可処分所得と呼ばれるものである。なお、式(2.3.2.g)～式(2.3.2.i)中の q_h , r , t^h はベクトルである。式(2.3.1.a)に式(2.3.2.a)～式(2.3.2.h)を代入すると、最大効用レベルを示す間接効用関数を得る。

$$V_{jh} = V_{jh} [p_z, q_h, r, w_h t^h, \Omega_h] \quad (2.3.3)$$

第2段階では、住み替えを決意した世帯が任意の居住地を選択する。ここでは、世帯は都市圏内の居住地の中から各ゾーンの住み替え効用に従って1つ選ぶと仮定する。世帯の住み替え効用は、次式で与える。

$$V_{j,i,h} \equiv V_{j,i,h} [V_{ih}, V_{jh}] \quad (2.3.4.a)$$

$$\equiv v_{j,i,h} [p_z, q_h, r_i, r_j, w_h t^{ih}, w_h t^{jh}] + v [p_z] \Omega_h \quad (2.3.4.b)$$

ただし、

$V_{j,i,h}$: 居住地*i*・勤務地*h*の世帯が居住地*j*に住み替える場合（B）の効用

式(2.3.4.a)中の効用関数 V_{ih} および V_{jh} は、第1段階での世帯の間接効用関数であり、式(2.3.3)で定義される。また、式(2.3.4.b)に示すように、すべての世帯の間接効用関数をGorman型で定義する[Varian(1984)]。これは、このことが後述の便益計測モデル（第4章）において式(4.3.7)を誘導するための十分条件であること、所得階層が異なる世帯の効用関数の集計が容易であること（したがって立地予測に関する集計モデルの構築が容易であること）、所得レベルが異なる都市間の比較においてはそれぞれのモデルの推定パラメータに所得レベルの影響が含まれると考えられることによる。ここで、式(2.3.4.b)中の関数 $v_{j,i,h}[\cdot]$ は代替案ごとに異なるが、関数 $v[\cdot]$ は所得に関する限界効用であり、すべての代替案に対して同一である。したがって、関数 $V_{j,i,h}$ は所得について準線型である。

世帯の立地効用がランダム変数（誤差項）をもち、そのランダム変数が独立か

つ同一のGumbel分布に従うと仮定すると、Logitモデルによって表される選択確率が得られる。

$$P_{j,i,h} = \frac{\exp \omega_2 V_{j,i,h}}{\sum_k \exp \omega_2 V_{k,i,h}} \quad (2.3.5)$$

ただし、

$P_{j,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が居住地 j に住み替える場合 (B) の
確率 ($\sum_j P_{j,i,h} = 1$)

ω_2 : 誤差項の分散パラメータ

第3段階では、居住地 i ・勤務地 h の世帯が住み替えるか否かを決定する。ここで、世帯は住み替えるか否かの2つの代替案からそれらの効用に従って1つ選ぶと仮定する。2つの代替案の効用関数は次式で与える。

$$V_{A,i,h} \equiv V_{A,i,h} [V_{i,i,h}, \delta_i] \quad (2.3.6.a)$$

$$V_{B,i,h} \equiv V_{B,i,h} [V_{1,i,h}, \dots, V_{k,i,h}, \dots], \quad (k \neq i) \quad (2.3.6.b)$$

ただし、

δ_i : 居住地 i での住み替えに関する閾値

$V_{A,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が住み替えない場合 (A) の効用

$V_{B,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が住み替える場合 (B) の効用

式(2.3.6.a)中の効用関数 $V_{i,i,h}$ および式(2.3.6.b)中の効用関数 $V_{k,i,h}$ は、式(2.3.4.b)で定義される。ここで、これらの効用にランダム変数(誤差項)が加法的に加わり、その変数が独立かつ同一のGumbel分布に従うと仮定すると、Logitモデルによって表される選択確率が得られる。

$$P_{A,i,h} = \frac{\exp \omega_1 V_{A,i,h}}{\exp \omega_1 V_{A,i,h} + \exp \omega_1 V_{B,i,h}} \quad (2.3.7.a)$$

$$P_{B,i,h} = 1 - P_{A,i,h} \quad (2.3.7.b)$$

ただし、

- $P_{A,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が住み替えない場合 (A) の確率
- $P_{B,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が住み替える場合 (B) の確率
- ω_1 : 誤差項の分散パラメータ

したがって、世帯の住宅立地行動は次のようなNested Logitモデルで表される。

$$P_{j,i,h} = \begin{cases} P_{j,i,h} P_{B,i,h} & : (j \neq i) \\ P_{A,i,h} & : (j = i) \end{cases} \quad (2.3.8)$$

ただし、

- $P_{j,i,h}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯が居住地 j に住宅立地する確率

2-3-2 私企業の行動モデル

私企業の業務立地行動は、図2.3.2に示すように、2段階で行なわれるものとする。第1段階では、業務地を選択したという条件の下で敷地面積や各種需給量を決定する。このとき、私企業は選択した業務地での利潤を最大にするように行動するものと仮定する。私企業の利潤は、土地サービス A_h 、労働 L_h 、業務流通サービス X_h^{OD} の各需要水準、および合成財 Z_h の供給水準によって表される。そして、私企業は生産技術制約の下で、 A_h 、 L_h 、 X_h^{OD} 、 Z_h をコントロールして利潤を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$\max_{A_h, L_h, X_h, Z_h} p_z Z_h - \{ R_h A_h + \sum_o \sum_D p^{OD} X_h^{OD} + \sum_j 2 p^{jh} N_{jh} / M_h + w_h L_h + G \} \quad (2.3.9.a)$$

$$s. t. \quad Z_h = Z_h [A_h, (L_h - \sum_o \sum_D t^{OD} X_h^{OD}), X_h^{OD}] \quad (2.3.9.b)$$

ただし、

- G : 私企業に課される一括固定税
- M_h : 業務地 h に立地する私企業の数
- N_{jh} : 居住地 j から業務地 (勤務地) h に通勤する労働者の数
- p^{OD} : ゾーン OD 間の交通費用 (物の移動)
- R_h : ゾーン h の業務地代

式(2.3.9.b)は、土地サービス、労働時間より交通時間を差し引いた分、交通サービスの各量が私企業の生産活動に必要なことを意味する。式(2.3.9.a), 式(2.3.9.b)を解くと、 A_h , L_h , X_h^{00} の各需要関数と、 Z_h の供給関数を得ることができる。

$$A_h = A_h [p_z, q_h', R_h, G] \quad (2.3.10.a)$$

$$L_h = L_h [p_z, q_h', R_h, G] \quad (2.3.10.b)$$

$$X_h^{00} = X_h^{00} [p_z, q_h', R_h, G] \quad (2.3.10.c)$$

$$Z_h = Z_h [p_z, q_h', R_h, G] \quad (2.3.10.d)$$

ただし、

$$q_h' = \{q_h'^{00}\} = \{p'^{00} + w_j t^{00}\} \quad (2.3.10.e)$$

ここで、式(2.3.10.e)中の $q_h'^{00}$ は、一般化交通費用(物の移動)を表している。式(2.3.9.a)に、式(2.3.10.a)~式(2.3.10.d)を代入すると、私企業の利潤関数 Π_h (最大利潤)が得られる。

$$\Pi_h = \Pi_h [q_h'^{00}, R_h, G, p_z] \quad (2.3.11)$$

第2段階では、私企業は都市圏内の業務地の中から各ゾーンでの最大利潤に従って1つ選ぶと仮定する。ここでまた、この最大利潤にランダム変数(誤差項)が加法的に加わり、その変数が独立かつ同一のGumbel分布に従うと仮定すると、Logitモデルによって表される選択確率が得られる。

$$P_h = \frac{\exp \theta \Pi_k}{\sum_k \exp \theta \Pi_k} \quad (2.3.12)$$

ただし、

P_h : 私企業が業務地ゾーン h に業務立地する確率

θ : 誤差項の分散パラメータ

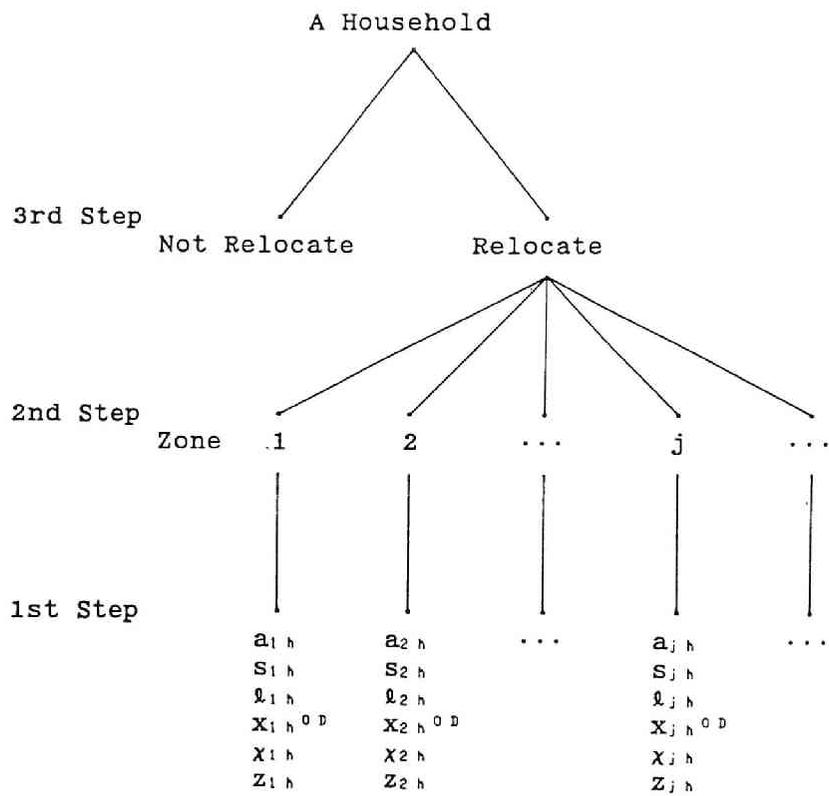


図2.3.1 世帯の住宅立地行動

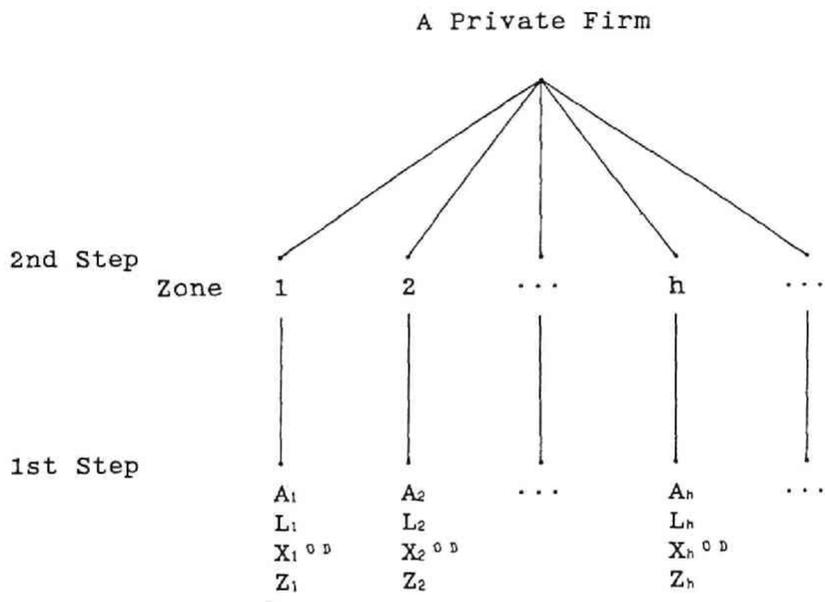


図2.3.2 私企業の業務立地行動

2-3-3 不在地主の行動モデル

一般的に、不在地主は、土地を持っているがその場所に住んでいない世帯として定義され、その行動は2-3-1で定式化した世帯行動と同様に定式化できるであろう。しかし、このとき不在地主は都市圏内に複数の立地場所をもつことになるため、この定式化は社会経済モデルを複雑にする。本研究では、1つのゾーンに1つの不在地主が存在し、その効用 U'_h を最大にするように行動するものと仮定する。不在地主の効用は、住宅地 k_h 、業務地 K_h の各供給水準、および合成財 z'_h の消費水準によって表される。そして、不在地主は、所得制約および土地供給制約の下で、 k_h 、 K_h 、 z'_h をコントロールして効用 U'_h を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$\max_{k_h, K_h, z'_h} U'_h [k_h, K_h, z'_h] \quad (2.3.13.a)$$

$$s. t. \quad p_z z'_h \leq r_h k_h + R_h K_h + y'_h - g' \quad (2.3.13.b)$$

$$k_h + K_h \leq \bar{K}_h \quad (2.3.13.c)$$

ただし、

g' : 不在地主に課される一括固定税

\bar{K}_h : ゾーンhの可住地面積

y'_h : ゾーンhの不在地主の資産所得

式(2.3.13.b)は所得制約であり、式(2.3.13.c)は土地供給制約である。式(2.3.13.a)～式(2.3.13.c)を解くと、 k_h 、 K_h の各供給関数と、 z'_h の需要関数が得られる。

$$k_h = k_h [\bar{K}_h, p_z, r_h, R_h, \Omega'_h] \quad (2.3.14.a)$$

$$K_h = K_h [\bar{K}_h, p_z, r_h, R_h, \Omega'_h] \quad (2.3.14.b)$$

$$z'_h = z'_h [\bar{K}_h, p_z, r_h, R_h, \Omega'_h] \quad (2.3.14.c)$$

ただし、

$$\Omega'_h = y'_h - g' \quad (2.3.14.d)$$

式(2.3.13.a)に式(2.3.14.a)～式(2.3.14.c)を代入すると、最大効用水準を示す間接効用関数を得る。

$$V'_h = V'_h [\bar{K}_h, p_z, r_h, R_h, \Omega'_h] \quad (2.3.15.a)$$

$$\equiv v'_h [\bar{K}_h, p_z, r_h, R_h] + v [p_z] \Omega'_h \quad (2.3.15.b)$$

式(2.3.15.b)は、不在地主の効用関数をGorman型で仮定することを示している。なお、後の理論展開の簡単化のため、所得の限界効用は世帯と同じ関数 $v[\cdot]$ で与えている。

2-3-4 交通企業の行動モデル

交通企業は、交通需要を満たすために交通改善の費用を負担し、その利用者から収入を得る。ここで、その収支が赤字のときには政府より補助金が支給され、黒字のときには政府によって税金が徴収されると仮定する。この収支バランスを次のように定式化する。

$$\begin{aligned} & \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D p^{oD} x_{jh}^{oD} N_{jh} \\ & + \sum_h \sum_o \sum_D p^{oD} X_h^{oD} M_h + \sum_j \sum_h 2 p^{jh} N_{jh} = C + I + S L \end{aligned} \quad (2.3.16.a)$$

ただし、

$$M_h = P_h M \quad (2.3.16.b)$$

$$N_{jh} = \sum_i P_{j,ih} N_{ih} \quad (2.3.16.c)$$

また、

C : 交通サービスの運営費用

I : 交通サービスへの投資額

M : 総私企業数

N : 総労働者数

S L : 交通企業の余剰（正值）あるいは損失（負値）

2-3-5 政府の行動モデル

政府は、世帯からの税収 ($\sum_j \sum_h g N_{jh}$)、私企業からの税収 ($\sum_h G M_h$)、不在地主からの税収 ($\sum_h g'$)、交通企業からの税収 ($S L$)を得る。なお、交通企業の $S L$ が負値である場合には、政府はその分を補填する。この収支バランスを次のように定式化する。

$$\sum_j \sum_h g N_{jh} + \sum_h G M_h + \sum_h g' + S L = 0 \quad (2.3.17.a)$$

ただし、

$$g = \alpha G = \beta g' \quad (2.3.17.b)$$

式(2.3.17.b)中の α および β は、社会の各部門の税負担の比率を表すパラメータであり、政策的に定義される。

2-4 市場均衡条件

本研究における社会経済モデルは多地域一般均衡理論のフレームで構築され、次のような3市場（土地市場，労働市場，合成財市場）の均衡条件，私企業の利潤配分条件，交通企業の収支条件，政府の収支条件が考慮される。

$$\text{住宅地} : \sum_h a_{jh} N_{jh} = k_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2.4.1.a)$$

$$\text{業務地} : A_h M_h = K_h \quad (h = 1, \dots, n) \quad (2.4.1.b)$$

$$\text{労働} : L_h M_h = \sum_j \ell_{jh} N_{jh} \quad (h = 1, \dots, n) \quad (2.4.1.c)$$

$$\text{合成財} : \sum_h Z_h M_h = \sum_j \sum_h z_{jh} N_{jh} + \sum_h z'_h + C + I \\ (h = 1, \dots, n) \quad (2.4.1.d)$$

$$\text{利潤} : \Pi_h M_h = \sum_j y_h N_{jh} + y'_h \quad (h = 1, \dots, n) \quad (2.4.1.e)$$

$$\text{交通} : \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D p^{oo} x_{jh}^{oo} N_{jh} \\ \sum_h \sum_o \sum_D p'^{oo} X_h^{oo} M_h + \sum_j \sum_h 2 p^{jh} N_{jh} \\ = C + I + S L \quad (2.4.1.f)$$

$$\text{税} : \sum_j \sum_h g N_{jh} + \sum_h G M_h + \sum_h g' + S L = 0 \quad (2.4.1.g)$$

ただし、

$$g = \alpha G = \beta g' \quad (2.4.1.h)$$

$$y_h = \gamma y'_h \quad (2.4.1.i)$$

ここで、土地の用途は原則として政策的に決定されるため、短期の土地市場均衡条件は用途別に捉えるべきであると考え、式(2.4.1.a)の住宅地市場均衡条件と式(2.4.1.b)の業務地市場均衡条件を独立に与えた。また、上式中のnは都市圏内のゾーン数を表す。式(2.4.1.i)中の γ は世帯と不在地主への利潤配分の比率を表すパラメータであり、式(2.4.1.h)中の α および β と同様に政策的に定義される。

式(2.4.1.a)～式(2.4.1.g)中の未知数は p_z 、 r_j 、 R_h 、 $S L$ 、 w_h 、 y_h 、その数は $(4n+2)$ である。これに対し恒等式の数 $(4n+3)$ であるので、Walrasの法則より1つの式が不要になる[Varian(1984)]。したがって、上記市場均衡条件式が唯一解をもつと仮定しても一般性を失わない。

2-5 交通プロジェクトの効果

交通プロジェクトの効果は、本章で扱ったような社会経済フレームを通じ、社会経済を構成する個人の効用の増大として捉えることができる。それは以下のようにして説明される。

交通プロジェクトは、直接的に利用者の利便性（交通条件）を高める。通勤・通学・私用・帰宅目的で利用する個人（世帯）にとっては住環境が向上し、その結果として効用が増大する。

業務目的で利用する私企業にとっては、生産性が向上する。このとき、企業間に価格競争がある場合には物価が低下し、一方、そのような競争が激しくない場合には直接的に企業利潤および雇用所得が増大する。物価の低下および雇用所得の増大は、そのまま個人の効用の増大となる。企業利潤は投資、内部保留等を通じて株主に配当されるので、その増大は個人の効用の増大をもたらす。また、交通条件の向上による企業立地の進行（特に、沿道等へのショッピングセンターの立地）も買物の便の向上につながるので、個人の効用の増大をもたらす。このように、業務交通における交通条件の向上は、市場メカニズムを通じて間接的に個人の効用の増大をもたらす。

個人（世帯）や私企業の立地に対する供給者としての地主（不在地主）は、交通条件の向上による立地需要の増大を受けて、市場メカニズムを通じて土地価格を上昇させる。これは、直接的に個人の効用の減少および企業の生産性の低下をもたらす。さらに後者は上述のメカニズムにより個人の効用の減少をもたらす。また、地主が利用者である場合には、個人と同様に、利用者としての地主（すなわち個人）の効用が増大する。

政府および交通企業については、以下のように捉えることができる。まず、政府は法律に基づき一定の歳入の下で公共の福祉（すなわち、社会を構成する個人の福祉＝効用）を増大させることを追求しているものとみなす。このとき、交通条件の向上は、政府活動における交通環境の向上だけではなく、生産性の向上と所得の増大により税収の増大をもたらすので、政府による公共サービスがさらに向上し、その結果として個人の効用が増大する。なお、交通企業については、公企業の場合には政府の一部門として捉え、また私企業である場合には上述の私企

業の一つとして捉えて交通条件の向上による効果を考えることができる。

また、交通条件の向上に伴う当該道路上の交通量の増大と代替ルート of 混雑緩和は、沿道の騒音・振動・大気汚染等の環境水準を変化させる。このような自然環境の変化は、交通条件の変化そのものによる影響と同様に、市場メカニズムを通じて直接的・間接的に個人の効用の変化をもたらす。

以上より、交通条件の向上は社会経済を構成する個人の効用の増大として捉えることができる。したがって、本研究では交通プロジェクトによる便益の源泉を利用者（世帯および不在地主）の効用の上昇分として捉え、本章で構築した社会経済モデルに基づいて便益計測モデルを以下の章で構築する。

2-6 結 言

本章では、交通便益計測モデルの基礎となる社会経済モデルを構築した。モデル構築に際しては、交通プロジェクトの直接効果のみならず波及効果をも分析できるようにするために多地域一般均衡理論に基づき、便益計測手法として確立されている等価的偏差の概念を応用できるようにするために消費者行動に対して効用理論を適用し、特定の消費者行動（世帯と私企業の行動）に対してはランダム性を含んだ現実的な行動を表現するためにランダム効用理論を用いた。このような社会経済モデルを構築し、さらに本モデルと整合した交通便益計測モデルを構築することにより、経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動を考慮し、交通プロジェクトの直接便益のみならず波及便益をも計測できるようになる。

社会は5部門（世帯、私企業、不在地主、交通企業、政府）と3市場（土地市場、労働市場、合成財市場）で構成されるものと仮定し、次の行動原理

- ・ 世 帯：時間制約および所得制約の下での効用最大化行動を原則とする。なお、立地選択行動はランダム効用理論に基づく。
- ・ 私 企 業：生産技術制約の下での利潤最大化行動を原則とする。なお、立地選択行動はランダム効用理論に基づく。
- ・ 不在地主：所得制約および土地供給制約の下での効用最大化行動を原則とする。

なお、立地選択は確定されている。

- ・交通企業：交通利用者からの収入をもとに交通プロジェクトへの投資行動を原則とする。

- ・政府：各部門からの税収をもとに交通企業への補助行動を原則とする。
ならびに3市場の均衡条件，私企業の利潤配分条件，交通企業の収支条件，政府の収支条件に基づいて社会経済活動をモデル化した。

ここで構築した社会経済モデルに対して次のような課題が残されている。すなわち、社会経済モデルは全体としては静的であるため、社会経済変化を分析する際にはプロジェクトによる新たな均衡状態への移行が瞬時になされてしまうが、現実には物価上昇，資産価値上昇等はプロジェクトの実施から任意のタイムラグをおいて経年的に発生するものであると考えられるので、モデル構築に際しては時間軸を考慮して動学化を図る必要がある。また、本研究のプロジェクト便益計測が with and without 分析に基づいていることから[第4章を参照]、モデルの動学化は便益の動的計測につながるものと考えられる。

2-補 地代を内生化した立地モデル

2-補-1 既往の研究

土地利用形成のメカニズムは、土地市場における需要者の行動と供給者の行動によって説明され、地価（あるいは地代）はその需給バランスによって決まるものである。従来、世界各国でそのモデル化（すなわち土地利用モデルの構築）が行われ、いくつかの地域に適用されてきた。その中で、需要者の行動基準が明確なものは少なくないが、供給者の行動を緻密にモデル化したものはほとんど見当たらない。その理由として、需要者の行動は効用理論に基づきミクロレベルで定式化することができるが、供給者の行動は不明な点が多いために、その定式化において簡略化せざるを得ない部分が残されているという点が挙げられる。しかし、それ以前に供給者を特定化することが難しいという問題がある。

これまでに大都市圏の土地利用と交通の総合計画を目的として種々の実用モデルが開発されてきたが、それらの中でMEP [Geraldes, Echenique and Williams(1978)], CALUTAS [中村・林・宮本(1983)], OSAKA [天野・阿部(1985)], 安藤(1986), 吉川・小林・文(1986)等のモデルは地価を内生化している。これらのモデルはミクロ経済学およびランダム効用理論に基づいて構築されており、立地主体者の行動基準が明確化されているが、地価決定のメカニズムにおいて現実の土地市場を正確に反映しているとは言いがたい部分があると思われる。すなわち、MEPモデルでは市場均衡の概念を導入しているが供給量が固定であり、CALUTAS, OSAKA, 安藤, 吉川・小林・文のモデルでは市場均衡の概念がなく、需要者行動に基づく付け値理論で地価が決定され、立地行動と地価決定が同時ではなく、立地行動の結果として地価が決まるというプロセスをとっている。地価を内生化した土地利用モデルとしては、このほかにArnott and MacKinnon(1977), Fujita and Kashiwadani(1988)等のモデルがあるが、これらの2つのモデルは一点集中型の都市を想定して構築したモデルであり、モデルの中の立地変数が都心からの距離のみで与えられているといった制約がある。

土地利用の市場均衡をモデル化したものには、Anas(1982), 青山・大橋・近藤(1985)等のモデルがある。Anasのモデルは、主体者（需要者および供給者）の行動が非集計選択モデルで構築されているが、供給者の行動において既存の住宅を

貸すか否かの二者択一行動のモデル化に焦点が当てられており、土地の部分的供給や空地の存在といった状況への対処に問題があるものと思われる。一方、青山・大橋・近藤のモデルは、効用最大化仮説により需要者の行動が、利潤最大化仮説により供給者の行動がそれぞれモデル化されているが、世帯の住み替え行動が考慮されていない。

このように、従来の土地利用モデルが抱える問題点は、土地市場において主体者の行動を定式化した後、需給のバランスを定式化する際に生じているが、その原因は需給のバランスを土地面積の単位で捉えようとしたところにあるものと思われる。ここでは、それを人口の単位で捉えるために、人口の単位で捉えた需要関数（2-3-1で構築した世帯の行動モデル）と土地需給の均衡条件から導かれた地代関数（人口が説明変数として組み込まれている関数）の連立方程式体系でモデルを構築する。

2-補-2 立地モデル

土地市場における均衡条件は、土地面積の単位で捉えると次式で与えられる。

$$N_j a_j [r_j] = k_j \quad (2.補.1)$$

ただし、

N_j : ゾーン j の立地需要量（就業者数）

a_j : ゾーン j の各就業者の土地需要量

k_j : ゾーン j の土地供給量

式(2.補.1)の土地需要量 a_j は世帯の効用最大化行動の結果として得られたものである。このときの間接効用関数を式(2.3.4.b)の $V_{j,i,h}$ ($\equiv V_{j,i,h}$ と再定義) で与えると、 a_j は Roy's Identity より地代 r_j の関数であることが示される。ここで、式(2.補.1)を r_j について解くと、地代関数 $r_j[\cdot]$ が得られる。

$$r_j = r_j [N_j/k_j] \quad (2.補.2)$$

一方、人口の単位で捉えた立地需要量 N_j は、2-3-1で構築した世帯の行動モデル

を用いることにより、次式で与えられる。

$$N_j = \sum_h N_{jh} \quad (2.補.3.a)$$

$$= \sum_h \sum_i N_{ih} P_{j,ih} \quad (2.補.3.b)$$

ただし、

N_{jh} : 住み替え後のゾーン j h 間の通勤 OD 量

N_{ih} : 住み替え前のゾーン i h 間の通勤 OD 量

$P_{j,ih}$: 居住地 i ・勤務地 h の就業者がゾーン j に立地する確率

式(2.補.3.b)の立地確率 $P_{j,ih}$ は式(2.3.8)のNested Logitモデルで表され、立地効用 $V_{j,ih}$ の関数である。また、立地効用 $V_{j,ih}$ は地代 r_j を変数として含む関数である。したがって、式(2.補.3.a)の N_j (および N_{jh}) は、地代 r_j であることが示される。本研究では、式(2.補.2)と式(2.補.3.b)で形成される連立方程式 (内生変数: N_{jh} および r_j) により立地モデルを構成する。

2-補-3 不動点問題

本節で述べた立地モデルより、 t 期の立地需要量 (通勤 OD 量) は $(t-1)$ 期の通勤 OD 量から求めることができる。まず、便宜上、以下の仮定をおく。

- (1) 対象地域を閉じた地域と考え、外部地域との人口の流出入はない。
- (2) 世帯の分離・統合はない。
- (3) 就業者の勤務地は変わらない。

このとき、勤務地における従業者数 E_h は、次のように定義される。

$$E_h \equiv \sum_i N_{ih}^{(t-1)} \equiv \sum_j N_{jh}^{(t)} \quad (2.補.4)$$

一方、 t 期の通勤 OD 量は、本モデルより次式で与えられる。

$$N_{jh}^{(t)} = \sum_i P_{j,ih} N_{ih}^{(t-1)} \quad (2.補.5)$$

式(2.補.5)における立地確率 $P_{j,ih}$ は立地効用 $V_{j,ih}$ の関数、立地効用 $V_{j,ih}$ は

地代 r_j の関数、地代 r_j は立地需要量 $N_{jh}^{(t)}$ の関数である。

$$P_{j,ih} = P_{j,ih} [V_{j,ih}, \dots, V_{j,ih}, \dots] \quad (2.補.6.a)$$

$$V_{j,ih} = V_{j,ih} [r_i, \dots, r_j, \dots] \quad (2.補.6.b)$$

$$r_j = r_j [N_{j1}^{(t)}, \dots, N_{jh}^{(t)}, \dots] \quad (2.補.6.c)$$

その結果、式(2.補.5)は次のような不動点問題を形成していることがわかる。

$$N_{jh}^{(t)} = N_{jh} [N_{j1}^{(t)}, \dots, N_{jh}^{(t)}, \dots] \quad (2.補.7)$$

したがって、式(2.補.7)より t 期の通勤 OD 量が求まり、同時に式(2.補.6.c)より地代が求まる。式(2.補.7)のような不動点問題で表される立地モデルの例として、隣人効果を考慮した住宅立地モデルがある [Miyao(1978), (1981)]。

ここで、式(2.補.7)で示される不動点問題の解の存在および唯一性は、以下のようにして証明される。

【解の存在について】 _____

就業者の立地効用 $V_{j,ih}$ は、次式で定義される立地需要量 $N_{jh}^{(t)}$ に対して連続である。

$$0 \leq N_{jh}^{(t)} \leq \sum_h E_h \quad (2.補.8)$$

また、立地確率 $P_{j,ih}$ は立地効用 $V_{j,ih}$ に対して連続であり、次のような性質がある。

$$P_{j,ih} \geq 0, \quad \sum_j P_{j,ih} = 1 \quad (2.補.9)$$

その結果、式(2.補.5)の右辺は立地需要量 $N_{jh}^{(t)}$ に対して連続である。したがって、Brouwerの不動点定理より、

$$N_{jh}^{(t)} = N_{jh} [N_{j_1}^{(t-1)}, \dots, N_{j_n}^{(t-1)}, \dots] \quad (2.補.10)$$

となる不動点 $N_{jh}^{(t)}$ が存在する。【証明終】

【解の唯一性について】

式(2.補.5)より、次のような関数 f_{jh} およびベクトル F を定義する。

$$f_{jh} \equiv N_{jh}^{(t)} - \sum_i P_{j,ih} N_{ih}^{(t-1)} \quad (j, h = 1, \dots, n) \quad (2.補.11.a)$$

$$F \equiv (f_{11}, \dots, f_{n1}, f_{12}, \dots, f_{n2}, \dots, f_{1n}, \dots, f_{nn}) \quad (2.補.11.b)$$

ここで、式(2.補.7)において不動点 $N_{jh}^{(t)}$ を求めることは、式(2.補.11.b)において $F [N_{jh}^{(t)}] = 0$ となる $N_{jh}^{(t)}$ を求めることと等価である。それゆえ、その解が唯一に決まることを示せばよい。

これまでの議論より、ベクトル F は立地需要量 $N_{jh}^{(t)}$ に対して微分可能であることがわかる。そのとき、ベクトル F の Jacobian 行列が正の対角要素をもつ主対角行列であるならば、 $F [N_{jh}^{(t)}] = 0$ の解が唯一に決まることが、Gale and Nikaido(1965)によって証明されている。その十分条件を以下に示す。

まず、立地確率 $P_{j,ih}$ には次のような性質がある。

性質 1)

$$\frac{\partial P_{j,ih}}{\partial V_{k,ih}} \leq 0 \quad (k \neq j) \quad (2.補.12.a)$$

性質 2)

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{j,ih}}{\partial V_{j,ih}} &= - \sum_k \frac{\partial P_{k,ih}}{\partial V_{j,ih}} \quad (k \neq j) \\ &= - \sum_k \left| \frac{\partial P_{k,ih}}{\partial V_{j,ih}} \right| \geq 0 \end{aligned} \quad (2.補.12.b)$$

ベクトル F の Jacobian 行列 $J [N_{jh}^{(t)}]$ は次のように表される。

$$J [N_{jh}^{(t)}] = I - \begin{vmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \vdots & A_{hg} & \vdots \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{vmatrix} \quad (2.補.13.a)$$

$$A_{hg} = \begin{vmatrix} \cdots \cdots \cdots \\ \cdot & \sum_i \frac{\partial P_{j,ih}}{\partial V_{k,ih}} \cdot \frac{\partial V_{k,ih}}{\partial N_{kg}^{(t)}} N_{ih}^{(t-1)} & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdots \cdots \cdots \end{vmatrix} \quad (2.補.13.b)$$

:(j, h = 1, \dots, n), (k, g = 1, \dots, n)

そして、Jacobian行列Jが正の対角要素をもつ主対角行列であるための十分条件は、立地効用V_{j,ih}の外部性の大きさ $\partial V_{j,ig} / \partial N_{jh}^{(t)}$: (g ≠ h)が次式を満足するように十分に小さいということである。

$$\sum_i \sum_g \frac{\partial P_{j,ig}}{\partial V_{j,ig}} \left| \frac{\partial V_{j,ig}}{\partial N_{jh}^{(t)}} \right| N_{ig}^{(t-1)} < \frac{1}{2} \quad (2.補.14)$$

このことは次のようにして証明できる。まず、式(2.補.12.b)および式(2.補.14)より次の関係式が導かれる。

$$\begin{aligned} 1 &> \sum_i \sum_g \sum_k \left| \frac{\partial P_{k,ig}}{\partial V_{j,ig}} \right| \left| \frac{\partial V_{j,ig}}{\partial N_{jg}^{(t)}} \right| N_{ig}^{(t-1)} \quad : (g \neq h) \\ &+ \sum_i \sum_k \left| \frac{\partial P_{k,ih}}{\partial V_{j,ih}} \right| \left| \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial N_{jh}^{(t)}} \right| N_{ih}^{(t-1)} \quad : (k \neq j) \\ &+ \sum_i \frac{\partial P_{j,ih}}{\partial V_{j,ih}} \left| \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial N_{jh}^{(t)}} \right| N_{ih}^{(t-1)} \quad (2.補.15) \end{aligned}$$

その結果、式(2.補.14)が成立する場合には、次のようにJacobian行列Jの対角要素が正となる。

$$\begin{aligned}
[\text{対角要素}] &\geq 1 - \sum_i \frac{\partial P_{j,i,h}}{\partial V_{j,i,h}} \left| \frac{\partial V_{j,i,h}}{\partial N_{j,h}(t)} \right| N_{j,h}(t-1) \\
&> 0
\end{aligned}
\tag{2.補.16}$$

このとき、式(2.補.7)で示される不動点問題の解は唯一に決まる。【証明終】

参考文献（第2章）

<和文>

- 天野光三・阿部宏史：広域都市圏を対象とした活動立地モデルに関する研究，土木計画学研究論文集，No.2，pp.165-172，1985.
- 安藤朝夫：都市圏土地利用モデルのための活動立地のモデル化について，地域学研究，Vol.17，pp.33-53，1986.
- 青山吉隆：土地利用モデルの歴史と概念，土木学会論文集，第347号/IV-1，pp.19-28，1984.
- 青山吉隆・大橋健一・近藤光男：地方都市圏における市街化過程のマクロ均衡モデル，土木計画学研究論文集，No.2，pp.173-180，1985.
- 林良嗣・宮本和明：既存土地利用モデルの概観，都市計画，No.104，pp.40-47，1978.
- 宮本和明・中村英夫・清水英範：土地利用交通モデルの比較研究，土木計画学研究講演集，No.6，pp.133-140，1984.
- 森杉壽芳・大野栄治・松浦郁雄：地価を内生化した住宅立地モデル，地域学研究，Vol.18，pp.205-225，1988.
- 中村英夫・林良嗣・宮本和明：広域都市圏土地利用交通分析システム，土木学会論文報告集，No.335，pp.141-153，1983.
- 太田勝敏・杉山武彦ほか：時間価値の理論とその計測手法の研究，日交研シリーズ，A-123，1988.
- 吉川和広：地域計画の手順と方法，森北出版，1978.
- 吉川和広・小林潔司・文世一：土地利用モデルを用いた大都市周辺地域整備計画に関する研究，土木計画学研究論文集，No.3，pp.129-136，1986.

<英文>

- Alonso,W.：Location and Land Use, Cambridge, Harvard University Press, 1964.
- Anas,A.：Residential Location Markets and Urban Transportation: Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete

- Choice Models, New York, Academic Press, 1982.
- Arnott, R.J. and MacKinnon, J.G. : The Effects of the Property Tax - A General Equilibrium Analysis, Journal of Urban Economics, Vol.4, No.4, 1977.
- Batty, M. : Urban Modelling, Cambridge, Cambridge University Press, 1967.
- Becker, G. : A Theory of the Allocation of Time, The Economic Journal, Vol.75, pp.493-517, 1965.
- Beckmann, M.J. : On the Distribution of Urban Rent and Residential Density, Journal of Economic Theory, No.1, 1969.
- Bruzelius, N. : The Value of Travel Time, Groom Helm, 1979.
- Foot, D. : Operational Urban Models, London, Methuen, 1981.
- Fujita, M. and Kashiwadani, M. : Testing the Efficiency of Urban Spatial Growth - A Case Study of Tokyo, Journal of Urban Economics, Forthcoming.
- Gale, D. and Nikaido, H. : The Jacobian Matrix and Global Univalence of Mappings, Mathematical Annalen, No.159, pp.81-93, 1965.
- Geraldes, P., Echenique, M and Williams, I.N. : A Spatial Economic Model for Bilbao, Proceedings of the PTRC Summer Annual Meeting, Stream F, pp.75-94, 1978.
- Kilbridge, M.D., O'Block, R.P. and Teiplitz, P.V. : A Conceptual Framework for Urban Planning Models, Management Science, No.15, 1969.
- Marshall, A. : Principles of Economics, London, Macmillan & Co., 1946.
- Mills, E.S. : An Aggregate Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area, American Economic Review, Vol.57, No.2, 1967.
- Mills, E.S. and Nijkamp, P. : Advances in Urban Economics, Handbook of Regional and Urban Economics, Vol.2, Edited by Mills, E.S., North-Holland, Elsevier Science Publishers B.V., pp.703-714, 1987.
- Miyao, T. : A Probabilistic Model of Location Choice with Neighborhood Effects, Journal of Economic Theory, No.19, pp.347-358, 1978.
- Miyao, T. : Dynamic Analysis of the Urban Economy, New York, Academic

- Press, 1981.
- Muth,R.F. : Cities and Housing, Chicago Press, 1969.
- Niedercorn,J. : An Econometric Model of Metropolitan Employment and
Population Growth, Rand Corporation, 1963.
- Smith,A : The Wealth of Nations, London, J.M.Dent & Sons, 1776.
- Varian,H.R. : Microeconomic Analysis, Norton and Company, 1984.
- Von Thunen and Johann,H. : Der isolierte Staat in Beziehung auf
Nationalökonomie und Landwirtschaft, Stuttgart, Gustav Fischer,
1826.
- Webster,F.V., Bly,P.H. and Paulley,N.J. : Urban Land-use and Transport
Interaction, Avebury, 1988.
- Wingo,L. : Transportation and Urban Land, Washinton D.C., Resources for
the Future Inc., 1961.

第3章 ランダム効用理論による 交通便益定義

3-1 緒言

便益定義に関する研究は、厚生経済学の分野において数多く蓄積され、消費者余剰 [例えば、Harberger(1971)]、等価的偏差E V (Equivalent Variation)あるいは補償的偏差C V (Compensating Variation) [例えば、McKenzie(1983), 森杉(1989)] などによる評価理論が提案されてきた。これらの理論にはそれぞれ長所・短所があるが、それらの多くが「確定」効用理論に基づくものであるため、消費者行動のランダム性を考慮した(ランダム効用理論に基づく)モデル構築に際して不都合が生じる [森杉・大野・宮城(1991)]。すなわち、都市経済学では、住宅立地が均衡している場合にはすべての世帯の効用レベルが等しくなるといわれているが [Fujita(1989)]、ランダム効用においてはランダム誤差によりその状態が保証されないし、また同様の理由により、プロジェクトによって生じる各世帯の効用レベルの変化分が同一であるとは限らない。なお、本研究で取り上げる交通プロジェクトのように住み替えを伴う場合には、確定効用を仮定しても各世帯の効用変化分が住み替えパターンによって異なるという問題が生じる [節末の注を参照]。本章では、このような世帯行動のランダム性を考慮して便益計測モデルを構築するために、ランダム効用にに基づくプロジェクト便益の定義を4つ提案し、それらの理論的妥当性について比較検討する。

本課題に関する先駆的研究として、Bishop and Herberlein(B&H)(1979)および Hanemann(1984)による研究がある。B&Hは猟師のガチョウ猟許可証に対する購入および売却の選択行動を集計的にLogitモデルで分析し、価値意識法により許可証の平均余剰を推定した。これに対して、Hanemannは個々の猟師の選択行動に着目し、Logitモデルを用いて個々の支払意志額(あるいは売却意志額)を分析し、許可証の等価補償価値を求めた。Hanemannは其中で許可証に対する便益の定義をいくつか提案し、それらをランダム効用理論と等価補償価値の概念の両立という観点から比較検討した。

さて、都市における交通施設改善等のプロジェクトが実施されると、交通市場のサービスレベルが変化し、これによって各経済主体の効用、さらに各種需給量も変化する。そして、各市場における需給バランスが崩れ、これに伴って各経済主体の効用が再び変化し、やがて各市場において新たな均衡状態に移る。この結果として、プロジェクトによる効果はこのような社会経済メカニズムを通じて経済主体効用の増加という形で帰着する。このように、本研究ではプロジェクトの便益を経済主体の効用（ランダム効用）の変化から計測しようとする背景があるので、本課題に対するHanemannの研究の応用が期待される。しかし、Hanemannの分析対象には1つのプロジェクトに対して唯一の確定効用レベルが存在するだけであるが、ここでは複数存在する（すなわち、都市内の地域によって当該プロジェクトに対する世帯の確定効用レベルが異なる）ので、彼の研究をそのままの形で応用することはできない。本章では、都市空間に分布する世帯の効用（ランダム効用）レベルの把握方法に焦点を当て、プロジェクトによる効用レベルの変化分に対して等価的偏差EVの概念を適用した便益の定義式を提案する。

注) 例えば、居住地1と居住地2からなる地域における交通改善による世帯の住み替え便益を考えるとわかりやすい(図3.1.1)。図3.1.1において、居住地1から居住地2に住み替えた世帯(図中： $a_1 \rightarrow b_2$)の便益は EV_1 で定義され、居住地2で住み替えない世帯(図中： $a_2 \rightarrow b_2$)の便益は EV_2 で定義されるが、必ずしも $EV_1 = EV_2$ であるとは限らない。これは、図中に示される等効用曲面 V が y 軸に沿って平衡移動するとは限らないからである。ただし、 $V = V[p, r, y]$: 効用関数、 p : 交通費用、 r : 地代、 y : 所得、 a および b : プロジェクト無および有の場合、1および2: 居住地1および2。

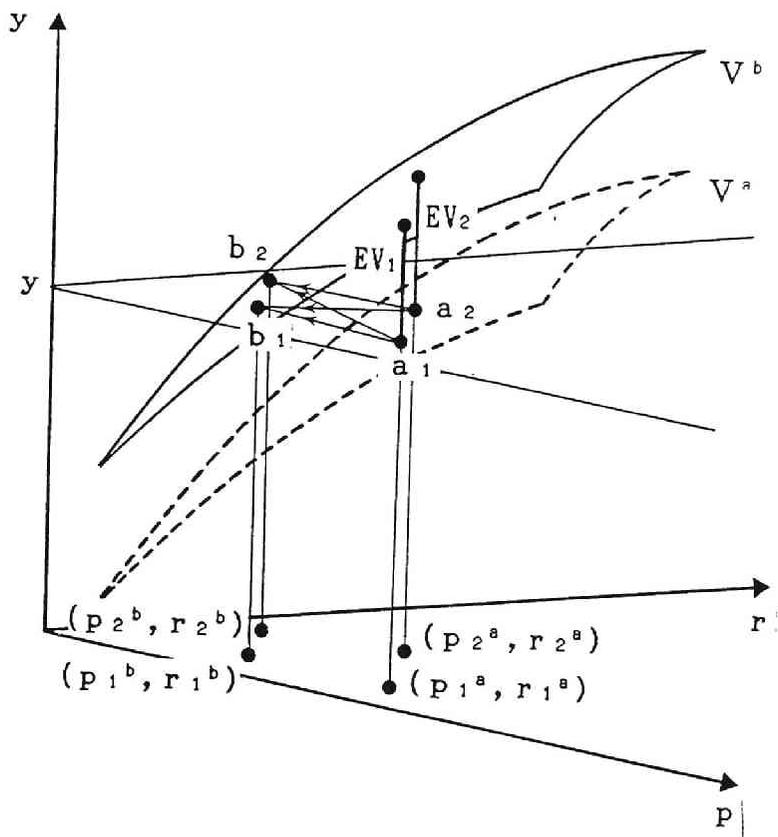


図3.1.1 住み替えパターンによって異なる便益

3-2 都市モデルと立地均衡

3-2-1 都市モデルの仮定

図3.2.1に示すように、2つの都市で構成される簡単な都市モデルを考え、以下の仮定をおく。

- (1)それぞれの都市空間は、均一である。
- (2)交通費用は、各都市内で均一である。
- (3)それぞれの都市の中心に業務地区CBD(Central Business District)がある。
- (4)すべての世帯は、居住している都市のCBDへ通勤する。したがって、住み替える場合には移住した都市のCBDに通勤する。
- (5)すべての世帯は、各都市のどの場所に立地しても等しい収入を得ることができるとする。
- (6)世帯の住み替え費用はゼロである。
- (7)2つの都市の総人口は一定である。

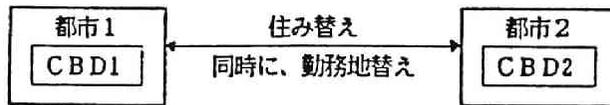


図3.2.1 都市モデル

3-2-2 立地均衡の定義

すべての世帯の立地効用はランダム効用 U で定義され、その効用に対して以下の仮定をおく。

$$(1) U_j = V_j + \varepsilon_j \quad (\text{ランダム効用関数})$$

$$(2) V_j = v_j + v \Omega \quad (\text{Gorman型効用関数})$$

$$(3) \varepsilon_j \sim G(0, \pi^2 / (6\theta^2)) \quad (\text{独立かつ同一のGumbel分布})$$

ただし、 U_j ：都市 j の立地効用、 V_j ： U_j の確定項、 ε_j ： U_j の確率項、 v_j ：都市 j により値が変化する関数、 v ：都市 j により値が変化しない関数、 Ω ：一般化可処分所得。なお、効用 V_j (U_j の確定項)は、一般化交通費用（交通サービスレベル） q_j 、世帯数 N_j 、一般化可処分所得 Ω の関数 $V_j[q_j, N_j, \Omega]$ で表されるものと仮定する。

ここで、世帯が効用最大化行動原理に従って立地するならば、都市モデルの仮定(7) ($N_1 + N_2 = N$) および上記の諸仮定より、次のような立地均衡条件が与えられる。

$$N_1 : N_2 = \exp \theta V_1 : \exp \theta V_2 \quad (3.2.1.a)$$

すなわち、

$$N_j = P_j N \quad (3.2.1.b)$$

$$P_j = \frac{\exp \theta V_j}{\exp \theta V_1 + \exp \theta V_2} \quad (3.2.1.c)$$

さて、都市1において交通プロジェクトが実施されると交通サービスレベルが $q_1^a \rightarrow q_1^b$ と変化し、その結果として効用レベルが $V_1^a \rightarrow V_1^b$ と変化する。効用 U_j にランダム誤差が含まれない場合、都市の立地均衡およびその変化は図3.2.2のように表現される。図中の右上添字aおよびbは、それぞれプロジェクト無および有の場合を表す。このとき、効用レベルの変化分 $V_1^b - V_1^a (= V_2^b - V_2^a)$ を貨幣タームに換算したものがプロジェクト便益であり、この換算方法として等価的偏差 EV あるいは補償的偏差 CV の概念に基づく方法がよく用いられる。こ

れについては、CVよりもEVの方が便益の定義として望ましいという議論がある〔例えば、森杉(1989), 太田(1989)〕。しかし、本研究では世帯行動のランダム性を考慮してモデル化しようとしているので、このときの立地均衡は式(3.2.1.a)より図3.2.3のように表現される。したがって、プロジェクトが実施されると効用の変化に伴って人口が $N_1^a \rightarrow N_1^b$ および $N_2^a \rightarrow N_2^b$ と変化し、それがさらに効用の変化をもたらす。このとき、プロジェクト無および有の場合の立地均衡は次式で与えられる。

$$N_1^a : N_2^a = \exp \theta V_1^a : \exp \theta V_2^a \quad (3.2.2.a)$$

$$N_1^b : N_2^b = \exp \theta V_1^b : \exp \theta V_2^b \quad (3.2.2.b)$$

$$N_1^a + N_2^a = N_1^b + N_2^b = N \quad (3.2.2.c)$$

また、交通プロジェクトによる効用の変化は、次のように表現される。

$$\{V_1^a + \varepsilon_1, V_2^a + \varepsilon_2\} \rightarrow \{V_1^b + \varepsilon_1, V_2^b + \varepsilon_2\} \quad (3.2.3)$$

この変化分を貨幣タームに換算したものをプロジェクト便益として定義し、その際の換算方法を以下に検討する。

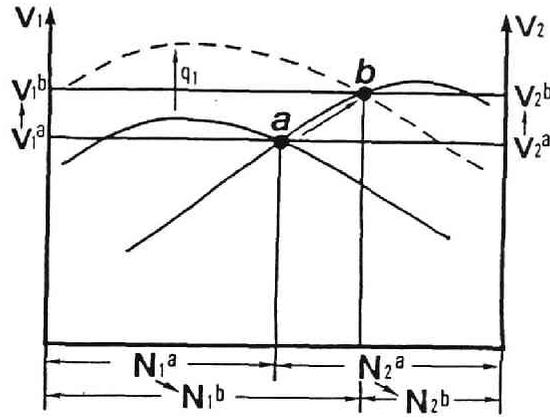


図3.2.2 確定効用における立地均衡

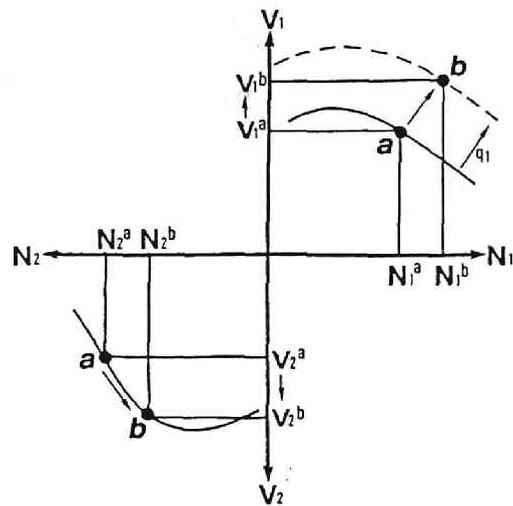


図3.2.3 ランダム効用における立地均衡

3-3 平均効用を用いた交通便益定義1

各世帯の期待効用（ランダム効用の期待値）の算術平均値を世帯の平均効用Mと定義し、次式で与える。

$$M[V] \equiv \frac{\sum_{n_1=1}^{N_1} E[U_1] + \sum_{n_2=1}^{N_2} E[U_2]}{N} \quad (3.3.1.a)$$

$$= \frac{N_1 V_1 + N_2 V_2}{N} \quad (3.3.1.b)$$

$$= v \Omega + \sum_k P_k v_k \quad (3.3.1.c)$$

式(3.3.1.a)→式(3.3.1.c)の誘導過程において、立地均衡の仮定(1)~(3)および式(3.2.1.b)を適用した。そして、式(3.3.1.c)に等価的偏差EVの概念を適用してプロジェクト便益EV_nを定義する。EV_nは、プロジェクト有の場合の効用を維持するという条件の下でプロジェクトをあきらめるために必要な補償金額として次式で定義される。

$$M[V^b] = v^a (\Omega^a + EV_n) + \sum_k P_k^a v_k^a \quad (3.3.2.a)$$

$$= v^a EV_n + M[V^a] \quad (3.3.2.b)$$

式(3.3.2.b)より、便益EV_nは次式で与えられる。

$$EV_n = \frac{M[V^b] - M[V^a]}{v^a} \quad (3.3.3.a)$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \left\{ \frac{\partial M[V]}{\partial V} \right\} dV \quad (3.3.3.b)$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V} dV \quad (3.3.3.c)$$

式(3.3.3.c)中の偏微分は、次式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V} dV &= \frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_1} dV_1 + \frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_2} dV_2 \\ &+ \dots + \frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_{k'}} dV_{k'} + \dots \quad (3.3.4.a) \end{aligned}$$

ここで、

$$\frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_1} dV_1 = P_1 dV_1 + \theta P_1 (V_1 - \sum_k P_k V_k) dV_1 \quad (3.3.4.b)$$

$$\frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_2} dV_2 = P_2 dV_2 + \theta P_2 (V_2 - \sum_k P_k V_k) dV_2 \quad (3.3.4.c)$$

$$\frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V_{k'}} dV_{k'} = P_{k'} dV_{k'} + \theta P_{k'} (V_{k'} - \sum_k P_k V_k) dV_{k'} \quad (3.3.4.d)$$

したがって、式(3.3.4.a)は次のように変形される。

$$\frac{\partial (\sum_k P_k V_k)}{\partial V} dV = \sum_k \{ P_k + \theta P_k (V_k - \sum_k P_k V_k) \} dV_k \quad (3.3.5)$$

式(3.3.5)を式(3.3.3.c)に代入すると、EV_nは次式のようなになる。

$$EV_n = \frac{1}{V^n} \int_{a \rightarrow b} \sum_k \{ P_k + \theta P_k (V_k - \sum_k P_k V_k) \} dV_k \quad (3.3.6)$$

3-4 平均効用を用いた交通便益定義2

プロジェクト無の立地状態で、式(3.3.1.b)で定義した平均効用を用いてプロジェクト便益 EV_{H^*} を定義する。ここでは、交通プロジェクトがあっても立地状態を固定するという仮定をおき、そのため都市1の世帯と都市2の世帯の間では補償金額が必ずしも一致するとは限らない。このような状況において、都市 K のプロジェクト便益 EV_K は次式で定義される。

$$\frac{\sum_K N_{K^a} V_{K^b}}{N} = \frac{\sum_K N_{K^a} \{V_{K^a} + v^a (\Omega^a + EV_K)\}}{N} \quad (3.4.1.a)$$

↓

$$\sum_K P_{K^a} V_{K^b} = \sum_K P_{K^a} \{v^a EV_K + V_{K^a}\} \quad (3.4.1.b)$$

↓

$$\sum_K P_{K^a} EV_K = \frac{\sum_K P_{K^a} \{V_{K^b} - V_{K^a}\}}{v^a} \equiv EV_{H^*} \quad (3.4.1.c)$$

本研究では、式(3.4.1.c)で表されるプロジェクト便益の期待値を平均効用を用いた便益定義2に基づくプロジェクト便益 EV_{H^*} とする。

3-5 中間効用を用いた交通便益定義

各世帯の効用の算術平均値 C は、次式で与えられる。

$$C[V] \equiv \frac{\sum_{n1=1}^{N1} U_1 + \sum_{n2=1}^{N2} U_2}{N} \quad (3.5.1.a)$$

$$= \frac{N_1 V_1 + N_2 V_2 + \sum_{n=1}^N \varepsilon_n}{N} \quad (3.5.1.c)$$

$$= v \Omega + \sum_k P_k v_k + \varepsilon \quad (3.5.1.d)$$

$$= M[V] + \varepsilon \quad (3.5.1.e)$$

ここで、「交通プロジェクト」という代替案1と「交通プロジェクトに代わる補償金 EV_c 」という代替案2の2つの代替案を考える。各々の効用は次式で与えられる。

$$[\text{代替案1の効用}] = M[V^b] + \varepsilon^b \quad (3.5.2.a)$$

$$[\text{代替案2の効用}] = v^a (\Omega^a + EV_c) + \sum_k P_k^a v_k^a + \varepsilon^a \quad (3.5.2.b)$$

$$= v^a EV_c + M[V^a] + \varepsilon^a \quad (3.5.2.c)$$

世帯が代替案1と代替案2を選択する確率が等しいとき、すなわち、

$$\text{Prob.} [M[V^b] + \varepsilon^b \geq M[V^a] + v^a EV_c + \varepsilon^a] = 0.5 \quad (3.5.3.a)$$

↓

$$\frac{\exp \theta M[V^b]}{\exp \theta M[V^b] + \exp \theta (v^a EV_c + M[V^a])} = 0.5 \quad (3.5.4.b)$$

であるとき、プロジェクトと補償金が等価になる。これより、式(3.5.4.b)を解いて得られる EV_c をプロジェクト便益として定義する。

$$EV_c = \frac{M[V^b] - M[V^a]}{v^a} \quad (3.5.5)$$

式(3.5.5)で表される EV_c は平均効用を用いた便益定義1と同値の定義となり、式(3.3.6)と同じ形になる。

$$EV_c = EV_n$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \sum_k \{ P_k + \theta P_k (V_k - \sum_k P_k \cdot V_k) \} dV_k \quad (3.5.5)$$

3-6 最大期待効用を用いた交通便益定義

ランダム効用理論において、都市1および都市2における立地効用レベルは個々の世帯に対して同一ではないが、各世帯はより高い効用レベルを達成できる都市への立地を選択する。このとき、立地選択において達成される効用レベルの期待値は最大期待効用と呼ばれ、またそれを与える関数は満足度関数 [Daganzo(1979)] と呼ばれ、次式で与えられる。

$$S[V] \equiv \frac{1}{\theta} \ln [\exp \theta V_1 + \exp \theta V_2] \quad (3.6.1.a)$$

$$= v \Omega + \frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp \theta v_k \quad (3.6.1.b)$$

式(3.6.1.b)に等価的偏差EVの概念を適用してプロジェクト便益EVsを定義する。この定義は次式で表される。

$$S[V^b] = v^a (\Omega^a + EV_s) + \frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp \theta v_k^a \quad (3.6.2.a)$$

$$= v^a EV_s + S[V^a] \quad (3.6.2.b)$$

式(3.6.2.b)より、便益EVsは次式で与えられる。

$$EV_s = \frac{S[V^b] - S[V^a]}{v^a} \quad (3.6.3.a)$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \left\{ \frac{\partial S[V]}{\partial V} \right\} dV \quad (3.6.3.b)$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \sum_k P_k dV_k \quad (3.6.3.c)$$

3-7 各定義の比較検討

3-3~3-6で提案した各便益定義の理論的妥当性を検討するにあたり、まず、式(3.3.1.a)で示される平均効用Mと式(3.6.1.a)で示される最大期待効用Sを図解する(図3.7.1)。図3.7.1の曲線で示される部分が満足度関数の V_1 および V_2 の無差別曲線であり、この無差別曲線は原点に対して凸であることが証明されている[宮城・加藤(1984)]。ここで、任意の効用(V_1, V_2)に対し、その点を通過する満足度関数の無差別曲線上の点の最大期待効用レベルは同じであり、その大きさを V_1 軸上に示したものが図中のSである。また、満足度関数の無差別曲線上の点(V_1, V_2)における接線と直線 $V_1 = V_2$ (座標系中の45°線)の交点を V_1 軸上に投影した大きさMが効用(V_1, V_2)に対する平均効用である。これらのことは、以下のようにして導かれる。

式(3.6.1.a)を変形すると、次式が得られる。

$$S[V] = V_1 + \frac{1}{\theta} \ln \frac{1}{P_1} \quad (3.7.1)$$

ここで、式(3.7.1)の右辺第2項は必ず正值であるため、 V_1 軸上でのSの位置は無差別曲線との交点よりも右側である。一方、効用(V_1, V_2)の最大期待効用の大きさは、同一の無差別曲線上にある効用(V^*, V^*)の最大期待効用の大きさと同じ値であり、その値は次の連立方程式を解くことによって得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} S[V] = \frac{1}{\theta} \ln [\exp \theta V_1 + \exp \theta V_2] \end{array} \right. \quad (3.7.2.a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_2 = V^* \end{array} \right. \quad (3.7.2.b)$$

↓

$$S[V] = V^* + \frac{1}{\theta} \ln 2 \quad (3.7.2.c)$$

無差別曲線上の点(V_1, V_2)における接線の方程式は、次式で与えられる。

$$P_1 \nabla_1 + P_2 \nabla_2 = P_1 V_1 + P_2 V_2 \quad (3.7.3)$$

ここで、 (∇_1, ∇_2) は $V_1 - V_2$ 座標系の任意の点を表し、 $\nabla_1 = \nabla_2 (=M)$ のとき、式(3.7.3)は平均効用 M を与える。したがって、無差別曲線上の点 (V_1, V_2) における接線と座標系中の 45° 線の交点を V_1 軸上に投影した位置が、効用 (V_1, V_2) に対する平均効用 M の大きさである。なお、無差別曲線の接線と 45° 線の位置関係より、 $S \geq M$ であることが明かである。

次に、交通プロジェクトによる効用レベルの変化を図解する(図3.7.2~図3.7.4)。以下、議論の簡単化のために、交通プロジェクトが実施される都市1の効用 V_1 のみが変化する(すなわち $dV_2 = 0$) と仮定する。平均効用を用いた便益定義1における平均効用レベルあるいは中間効用レベルの変化分は、図3.7.2中の V_1 軸上の $\Delta M 1$ ($V_1 > V_2$ のとき) および $\Delta M 1'$ ($V_1 < V_2$ のとき) で表される。ここで、 $dV_1 (=V_1^b - V_1^a) > 0$ かつ $dV_2 (=V_2^b - V_2^a) = 0$ のとき、

$$\left| -\frac{P_1^a}{P_2^a} \right| < \left| -\frac{P_1^b}{P_2^b} \right|, \text{ および, } (V_1^a \rightarrow \text{大}) \rightarrow (dV_1 \rightarrow \text{小})$$

という関係が図3.7.2より読み取れる。これらの背景、および無差別曲線の接線と 45° 線の位置関係より、任意のプロジェクトに対して $\Delta M 1' \leq \Delta M 1$ であることも図より読み取れる。したがって、この便益定義によると、もともと効用レベルの低いところでプロジェクトを実施するよりも高いところで実施する方が、投資効率がよいという結果が得られる。

平均効用を用いた便益定義2における平均効用レベルの変化分は、図3.7.3中の V_1 軸上に示す $\Delta M 2$ ($V_1 > V_2$ のとき) および $\Delta M 2'$ ($V_1 < V_2$ のとき) で表される。この便益定義と先の便益定義を比較すると、無差別曲線の接線と 45° 線の位置関係より、任意のプロジェクトに対して、

$$V_1 > V_2 \text{ のとき, } \Delta M 1 \geq \Delta M 2$$

$$V_1 < V_2 \text{ のとき, } \Delta M 1 \leq \Delta M 2$$

であることが図3.7.2と図3.7.3の比較より読み取れる。

また、図3.7.4中の V_1 軸上に示す ΔS が最大期待効用レベルの変化分である。この便益定義によると、任意のプロジェクトに対して唯一の ΔS が決まることが図より読み取ることができ、無差別曲線上の点 (V_1, V_2) の位置によって効用の変化分が異なるという前述の2つの定義式とは性質が大きく異なる。ここで、

$$V_1 > V_2 \text{ のとき, } \Delta M 2 \leq \Delta S \leq \Delta M 1$$

$$V_1 < V_2 \text{ のとき, } \Delta M 1 \leq \Delta M 2 \leq \Delta S$$

であることが図3.7.2～図3.7.4の比較より読み取れる。

図3.7.2～図3.7.4より、各便益定義における効用レベルの変化分の大きさを知ることができるが、それ以上の検討（すなわち各々の理論的妥当性に関する検討）は難しい。そこで、各定義式を展開してそれらを図解することにより、各定義式の意味および特性の把握を試みる。まず、便益 EV_n （あるいは EV_c ）は以下のように展開される。

$$EV_n = \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \Sigma_k \{ P_k + \theta P_k (V_k - \Sigma_k \cdot P_k \cdot V_k) \} d V_k \quad (3.7.4.a)$$

$$= \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \Sigma_k P_k d V_k + \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \Sigma_k \theta P_k (V_k - \Sigma_k \cdot P_k \cdot V_k) d V_k \quad (3.7.4.b)$$

$$[\text{第1項}] = \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \{ P_1 (d V_1 - d V_2) + d V_2 \} \quad (3.7.4.c)$$

$$[\text{第2項}] = \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} \{ \theta P_1 P_2 (V_1 - V_2) (d V_1 - d V_2) \} \quad (3.7.4.d)$$

ここで、 $V_1 - V_2 \rightarrow X$, $d V_1 - d V_2 \rightarrow d X$ とおくと、式(3.7.4.c)および式(3.7.4.d)はさらに以下のように展開される。

$$[\text{第1項}] = \frac{1}{v^a} \left\{ \int_{a \rightarrow b} P_1 dX + \frac{V_2^b - V_2^a}{v^a} \right. \quad (3.7.5.a)$$

$$[\text{第2項}] = \frac{1}{v^a} \left\{ \int_{a \rightarrow b} \theta \frac{\exp \theta X}{\exp \theta X + 1} \cdot \frac{1}{\exp \theta X + 1} X dX \right. \quad (3.7.5.b)$$

$$= \frac{1}{v^a} (P_2^a X^a - P_2^b X^b) + \frac{1}{v^a} \left\{ \int_{a \rightarrow b} P_2 dX \right. \quad (3.7.5.c)$$

$$= \frac{1}{v^a} (P_1^b X^b - P_1^a X^a) - \frac{1}{v^a} \left\{ \int_{a \rightarrow b} P_1 dX \right. \quad (3.7.5.d)$$

式(3.7.5.a)および式(3.7.5.d)より、便益 EV_n （あるいは EV_c ）は次式で与えられる。

$$EV_n = EV_c = \frac{1}{v^a} (P_1^b X^b - P_1^a X^a) + \frac{V_2^b - V_2^a}{v^a} \quad (3.7.6)$$

便益 EV_s は、式(3.7.4.b)の第1項で表されるので、式(3.7.5.a)より次式で与えられる。

$$EV_s = \frac{1}{v^a} \left\{ \int_{a \rightarrow b} P_1 dX + \frac{V_2^b - V_2^a}{v^a} \right. \quad (3.7.7)$$

便益 EV_n は、式(3.4.1.c)より次式で与えられる。

$$EV_n = \frac{1}{v^a} P_1^a dX + \frac{V_2^b - V_2^a}{v^a} \quad (3.7.8)$$

ここで、式(3.7.6)～式(3.7.8)の第2項および $1/v^a$ （ v ：所得の限界効用）は

共通であり、これらを省略すると各便益定義において共通に便益計測軸が変形することになる。なお、前者の省略は軸の原点の移動を意味し、後者（効用レベルの変化分を貨幣タームに換算する係数）の省略は軸の尺度の変化を意味する。また、 EV_n 、 $EV_{n'}$ 、 EV_c 、 EV_s は都市における任意の1世帯の便益を表しており、都市全体のプロジェクト便益はそれらをN倍したものである。したがって、式(3.7.6)～式(3.7.8)に対して、 $P_1 \rightarrow N_1$ と置換した式が都市全体の便益を表す。これらのことを念頭におき、式(3.7.6)～式(3.7.8)の第2項および $1/v^0$ を無視して $N \times EV_n$ （あるいは $N \times EV_c$ ）、 $N \times EV_{n'}$ 、 $N \times EV_s$ を図解する（図3.7.5）。

各便益定義に基づくプロジェクト便益は、図3.7.5中の斜線部(A),(B),(C)の組合せで示される。 $N \times EV_n$ （あるいは $N \times EV_c$ ）は(A)+(B)+(C)の部分、 $N \times EV_{n'}$ は(C)の部分、 $N \times EV_s$ は(B)+(C)の部分で示される。なお、この図解は $V_1 > V_2$ のときである。 $V_1 < V_2$ のときには、(A)の部分のみが負値で計上されるが、このことは図3.7.6を用いた図解により理解できる。

図3.7.6では、 $N = n'$ の位置にいる世帯は効用差 X' のときに都市2から都市1へ（あるいはその逆方向へ）住み替えることを表している。図3.7.6中の(i)の部分は、その世帯が都市2から都市1へ住み替えたときに両都市の地域格差（効用差）から実質的に生じる効用の変化分を表しており、したがって、 $V_1 < V_2$ のときには負値となる。また、(ii)の部分は、 $X = X'$ のときに都市1の住民となった世帯の効用（効用差）が変化した分（ $X^0 \rightarrow X^1$ ）を表している。これらより、図3.7.6中の(A),(B),(C)の各部分の面積は次のように解釈できる。

- (A)の部分…交通プロジェクトによって都市2から都市1へ住み替えた世帯について、両都市の地域格差から実質的に生じる効用の変化分（すなわち、交通プロジェクトがなくても、住み替えることによって生じる効用の変化分）。
- (B)の部分…交通プロジェクトによって都市2から都市1へ住み替えた世帯について、住み替えた直後からの効用の変化分。
- (C)の部分…都市1に住み続けている世帯の効用の変化分。

以上の解釈より、まず、(C)の部分で表される $N \times EV_{n'}$ は住み替えた世帯の便益

を計上していないということで過小評価であることがわかる。また、(A)の部分を含む $N \times EV_H$ (あるいは $N \times EV_C$) については、以下の理由により、プロジェクト便益を適切に表現していないものと考えられる。本研究では世帯の効用をランダム効用で仮定しているが、個々の世帯が意思決定する瞬間の効用は常に確定的であり、例えば、図3.7.6において $N = n^*$ の位置にいる世帯の選択関数は $X = X^*$ のところで都市2への立地から都市1への立地にジャンプしているはずである。その世帯が今まさに住み替えようとしているときに知覚する2都市間の効用レベルの差はゼロであるとみなすことができ、図3.7.6中に示す(i)の部分はプロジェクトに依存するものではなく両都市の地域格差から生じるものであると考えられる。したがって、(A)の部分はプロジェクト便益として計上する必要はないものと判断することで、(B)+(C)の部分で表される $N \times EV_S$ がプロジェクト便益として妥当であるといえる。

効用のランダム性が最大するとき ($\theta \rightarrow 0$)、最小のとき ($\theta \rightarrow \infty$)、また1都市のとき、各便益定義に基づくプロジェクト便益NEVは一致し、次式で表される。

< $\theta \rightarrow 0$ のとき >

$$NEV = \frac{1}{v^a} \cdot \frac{\sum_k (V_k^b - V_k^a)}{m} \quad (3.7.9.a)$$

< $\theta \rightarrow \infty$ のとき >

$$NEV = \frac{1}{v^a} (V_j^b - V_j^a) \quad (3.7.9.b)$$

< 1都市のとき >

$$NEV = \frac{1}{v^a} (V_1^b - V_1^a) \quad (3.7.9.c)$$

ただし、 m : 都市の数, j : 最大効用が得られる都市。

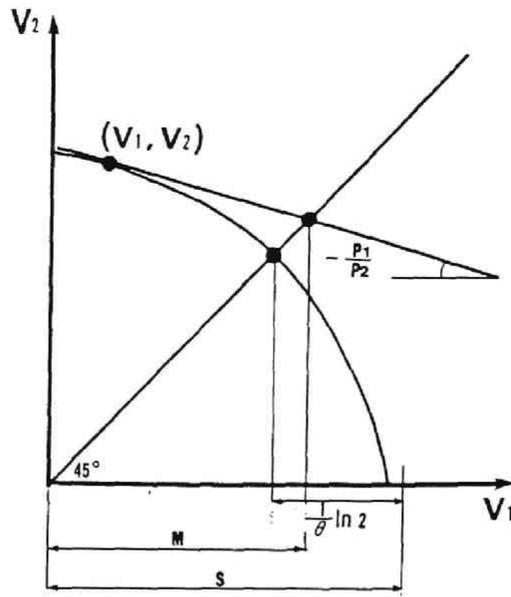


図3.7.1 平均効用と最大期待効用

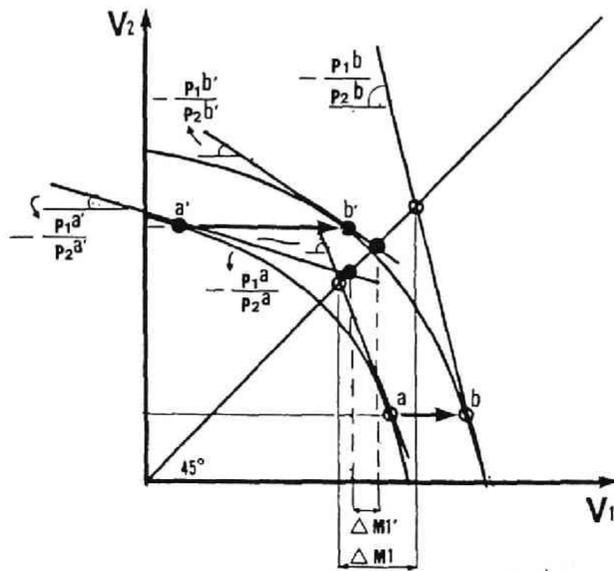


図3.7.2 平均効用1の変化分

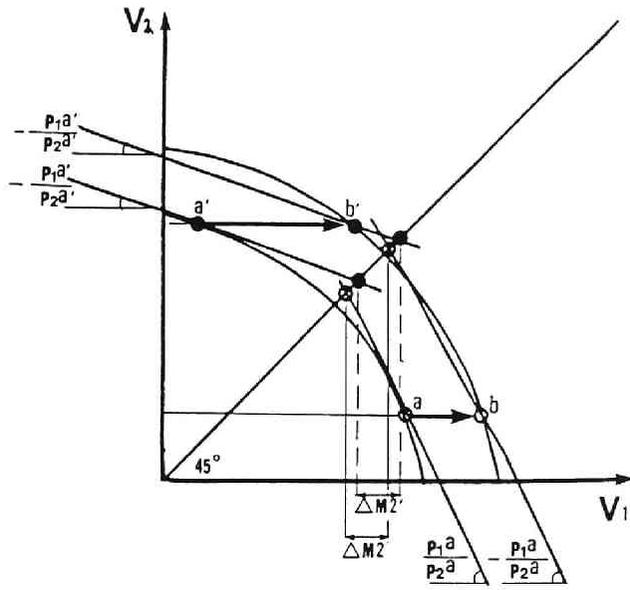


図3.7.3 平均効用2の変化分

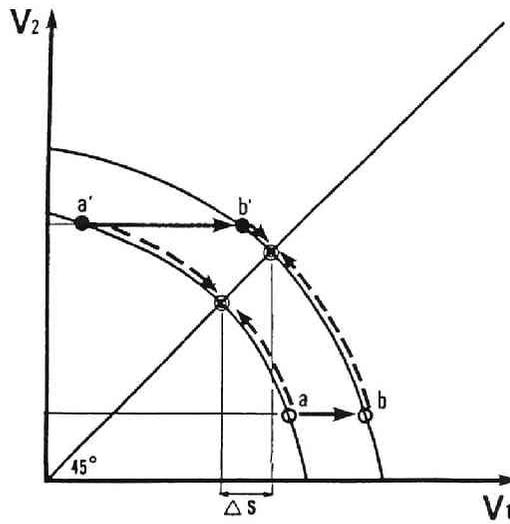


図3.7.4 最大期待効用の変化分

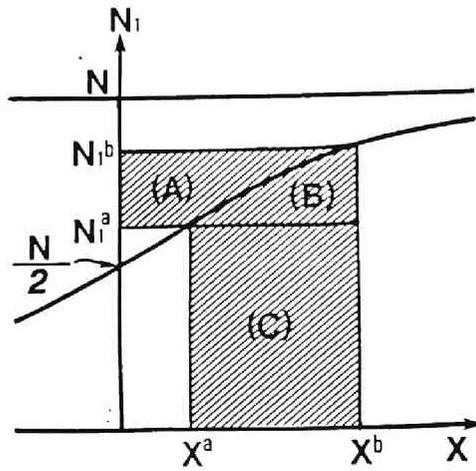


図3.7.5 プロジェクト便益

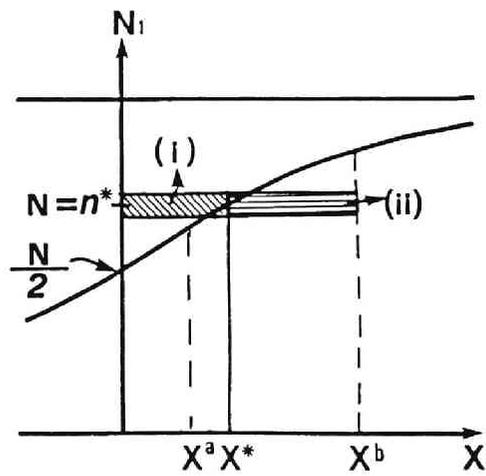


図3.7.6 住み替え世帯の便益

3-8 結 言

本章では、交通プロジェクトによる便益を地域分割された都市空間における立地主体の効用の変化から計測するための準備段階として、ランダム効用理論のフレームワークで便益定義を4種類（平均効用を用いた交通便益定義1，同2，中間効用を用いた交通便益定義，最大期待効用を用いた交通便益定義）提案し、これらの理論的妥当性について比較検討した。これについて、世帯効用をランダム効用で仮定しても「個々の世帯」の立地行動が確定的であること等を考慮し、その結果、最大期待効用を用いた交通便益定義が交通プロジェクトによる便益として適切であることを示した。

本研究の理論展開において簡単化のために2都市モデルに7つの仮定をおいたが、特に仮定(6)：[世帯の住み替え費用はゼロである]および仮定(7)：[2つの都市の総人口は一定である]の2仮定は非現実的であるため、本理論を一般的に拡張する際にはこれらによる影響について検討する必要がある。仮定(6)が成立しない場合、世帯の住み替え行動にブレーキがかかり、住み替え量が減少する。しかし、住み替え費用を所得に組み込み、前述の便益定義に従って交通便益を定義すると、当該費用の有無に関係なく同じ交通便益計測モデルが誘導されることが示される。

一方、仮定(7)が成立しない場合、すなわち都市圏内外の交流（人口の流出入）がある場合には、式(3.2.1.a)の立地均衡条件式の不成立より、本理論が成立しなくなる。このとき、式(3.2.1.a)の条件式に先立ち、都市圏内の交通サービスレベルを説明変数とした総人口供給関数、および総人口と交通サービスレベルを説明変数とした均衡効用レベル関数（総人口需要関数の逆関数）を設定することにより、この問題に対処できるものと考えられる。したがって、これらの仮定は本理論を本質的に覆すものではないといえる。

参考文献（第3章）

<和文>

- 宮城俊彦・加藤晃：ランダム効用理論を基礎とした交通統合モデル，土木計画学研究論文集，No.1，pp.99-106，1984.
- 森杉壽芳：プロジェクト評価に関する最近の話題，土木計画学研究論文集，No.7，pp.1-33，1989.
- 森杉壽芳・大野栄治・宮城俊彦：住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル，土木学会論文集，第425号/IV-14，pp.117-125，1991.
- 太田和博：消費者余剰理論の再検討－等価的変差の一意性，序数性，計測可能性－，日交研シリーズ，A-133，1989.

<英文>

- Bishop,R.C. and T.A.Herberlein：Measuring Values of Extra-Market Goods: Are Indirect Measures Biased?, American Journal of Agricultural Economics, No.61, pp.926-930, 1979.
- Daganzo,C.：Multinomial Probit: The Theory and Its Applications to Demand Forecasting, Academic Press, 1979.
- Fujita,M.：Urban Economic Theory: Land Use and City Size, Cambridge University Press, 1989.
- Hanemann,W.M.：Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses, American Journal of Agricultural Economics, No.66, pp.332-341, 1984.
- Harberger,A.C.：Three Basic Postulates for Applied Welfare Economics: An Interpretative Essay, Journal of Economic Literature, No.9, pp.785-797, 1971.
- McKenzie,G.W.：Measuring Economic Welfare: New Methods, Cambridge University Press, 1983.

第4章 ランダム効用理論による 交通便益計測モデル

4-1 緒言

本章では、交通プロジェクトの便益計測に対するショートカット法を提案する。このショートカット法とは、あるプロジェクトの総便益を計測する際に1市場の情報のみを必要とする方法であり、したがってプロジェクト評価において大変便利な便益計測手法である。交通プロジェクトの便益計測においては、その効果が直接現われる交通市場から得られる情報（すなわち交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみを知ればよく、他の市場の情報や人々の効用関数を知る必要がない。

これまでの便益計測に関する研究において、Boadway(1975)、Lesourne(1975)、Wheaton(1977)は、Alonsoタイプのmonocentric-closed都市モデルを用いて次のことを示した。すなわち、小規模な交通改善の場合には、社会的純便益を

$$\Sigma (\text{世帯の効用関数}) / (\text{所得に関する限界効用})$$

で定義することにより間接便益がキャンセルされ、また、その社会的便益を

$$(\text{初期交通量}) \times (\text{単位トリップ当りの交通費用節約})$$

で計測できることを示した。また、Kanemoto and Mera(1985)は、たとえ大規模な交通改善の場合でも、社会的純便益がMD(Marshall-Dupuit)で定義されるならば社会的便益は交通需要関数だけの消費者余剰で計測され、EV(Equivalent Variation)やCV(Compensating Variation)で定義される場合はその限りではないことを示した。明らかに、Kanemoto and Meraの理論の問題点は社会的純便益の定義にある。まず、その定義はMDの積分経路依存性に悩まされ、さらに費用便益分析の最終目的といわれているKaldor-Hicksの補償基準と一致しない。本章では、Gorman型効用関数にEVの定義を適用することにより、ショートカット法が一般規模の交通改善による便益を計測するのに適していることを示す。

一方、Pines and Weiss(1982)、佐々木(1984)は、Wheatonの手法を交通費用変化以外の交通改善の評価には適用できないことを示した。もしあるプロジェクト

が交通費用だけでなく交通時間をも減少させるならば、時間節約もまた交通需要を変化させるので、プロジェクトによる便益は

$$\text{(初期交通量)} \times \text{(単位トリップ当りの交通費用節約)}$$

には等しくならない。また、貝山(1988)は、Alonso-Wheatonモデルを2都市モデルに拡張し、都市間に人口移動がある場合には社会的便益が直接便益のみで計測できるとは限らないことを示した。しかし、本研究では、前述のようなショートカット法の利便性を考慮し、交通市場の情報(交通サービスレベルや交通需要量の変化)のみを必要とする便益計測モデルを提案する。なお、本モデルは多地域一般均衡理論の枠組みで構築されるので、本モデルによって計測される便益にはすべての波及効果が含まれている。

同時に、本章では、ショートカット公式の誘導過程において便益の発生→転移→帰着項目を整理し、それを一覧表(帰着便益連関表)にまとめる。この連関表は部門別項目別の帰着便益を明確に示しており、プロジェクトの社会的効率性や公平性の判定に用いることができる。

4-2 交通プロジェクトの効果

本研究で取り上げる交通プロジェクトの内容は、交通費用 p^{00} , p'^{00} , 交通時間 t^{00} などの交通サービスレベルの改善とする。そして、交通プロジェクトの効果は、第2章で扱ったような社会経済フレームを通じて、以下のようにして社会経済を構成する個人の効用の増大として捉えることができる。

交通プロジェクトは、直接的に利用者の利便性（交通条件）を高める。通勤・通学・私用・帰宅目的で利用する個人（世帯）にとっては住環境が向上し、その結果として効用が増大する。業務目的で利用する私企業にとっては生産性が向上し、さらに生産性の向上は市場メカニズムを通じて間接的に個人の効用の増大をもたらす。不在地主については、交通条件の向上による立地需要の増大を受けて、市場メカニズムを通じて土地価格を上昇させる。これは直接的に個人の効用の減少および企業の生産性の低下をもたらし、さらに後者は上述のように個人の効用の減少をもたらす。また、不在地主が利用者である場合には、個人と同様に、利用者としての地主（すなわち個人）の効用が増大する。政府については、政府活動における交通環境の向上だけではなく、生産性の向上と所得の増大により税収の増大をもたらすので、政府による公共サービスがさらに向上し、その結果として個人の効用が増大する。交通企業については、公企業の場合には政府の一部門として捉え、また私企業である場合には上述の私企業の一つとして捉えて交通条件の向上による効果を考えることができる。

したがって、本研究では、交通プロジェクトによる便益の源泉を利用者（世帯および不在地主）の効用の上昇分として捉え、第2章で構築した社会経済モデル、および第3章で定義した交通便益に基づいて便益計測モデルを構築する。

4-3 交通プロジェクトによる便益

4-3-1 世帯の便益

本研究では、等価的偏差EVの概念に基づいてプロジェクト便益を定義しているため、世帯の便益は世帯効用の変化に起因する。一方、世帯効用の変化は必ずしも交通サービスの変化だけに起因するものではなく、また世帯の住み替え行動は交通サービスに対する効用の変化のみならず各々のライフステージにおける効用関数の変化によっても生じる。ここでは、プロジェクト有（あるいは無）の立地状態を交通プロジェクトが実施される（あるいは実施されない）場合の住み替え行動の均衡状態とし、また交通プロジェクトによる世帯便益をプロジェクト有無における世帯効用レベルの差分を貨幣タームで評価したものとすることにより、便益計測をwith and without分析で行う。

第3章で述べたとおり、ランダム効用においてはプロジェクト有無における各世帯の確定効用の差分をそのまま貨幣換算することによって便益を定義することはできないので、世帯便益を最大期待効用の変化に基づいて定義する。ここで、居住地*i*・勤務地*h*の世帯の最大期待効用レベルを表す満足度関数 $S_{ih}[\cdot]$ は、式(2.3.6)より次式で与えられる。

$$S_{ih}[V] \equiv \frac{1}{\omega_i} \ln[\exp \omega_i V_{A,ih} + \exp \omega_i V_{B,ih}] \quad (4.3.1)$$

ただし、

V : 間接効用関数ベクトル

$V_{A,ih}$: 居住地*i*・勤務地*h*の世帯が住み替えない場合（A）の効用

$V_{B,ih}$: 居住地*i*・勤務地*h*の世帯が住み替える場合（B）の効用

ω_i : ランダム効用の誤差項の分散パラメータ

このとき、等価的偏差EVの概念に基づいて便益を定義すると、世帯便益は次式を満足する EV_{ih} の値で与えられる。

$$S_{ih}[V^b] = S_{ih}[p_z^a, q_h^a, r^a, w_h t^{ha}, \Omega_h^a + EV_{ih}] \quad (4.3.2)$$

式(4.3.2)の右上添字 a および b は、それぞれプロジェクト無および有の状態を示す。式(4.3.2)は従来の確定効用 V による定義ではなく、プロジェクト有の期待効用 $S_{ih}[V^0]$ を維持するという条件のもとでプロジェクトによる効用の変化を諦めるために世帯の必要と考える最小補償額 EV で便益を定義している。この期待効用は、実際に特定の世帯が特定の地域に立地していても立地していなくても一定の値をとる。このため、式(4.3.2)は、特定の地域の立地条件の向上はその地域に立地する世帯のみならず立地しない世帯にもその地域を利用可能にするという立地機会の拡大による便益の定義である。

式(2.3.4.b)を式(4.3.2)に適用して、 EV_{ih} について解く。ここで、住み替えない場合の効用 $V_{a,ih}$ は当該居住地の立地効用と住み替えに対する閾値 δ_i で与え、一方、住み替える場合の効用 $V_{b,ih}$ は住み替え代替え案から得られる最大期待効用で与え、それぞれ次のように定義しておく。

$$V_{a,ih} \equiv V_{i,ih} + \delta_i \quad (4.3.3.a)$$

$$V_{b,ih} \equiv \frac{1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 V_{k,ih}, \quad (k \neq i) \quad (4.3.3.b)$$

式(4.3.3.a)～式(4.3.3.b)を式(4.3.1)に代入して、

$$S_{ih}[V] \equiv \frac{1}{\omega_1} \ln [\exp \omega_1 (V_{i,ih} + \delta_i) + \exp \frac{\omega_1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 V_{k,ih}] \quad (4.3.4)$$

式(2.3.4.b)を式(4.3.4)に代入して、

$$S_{ih}[V] = \frac{1}{\omega_1} \ln [\exp \omega_1 (v_{i,ih} + v \Omega_h + \delta_i) + \exp \frac{\omega_1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 (v_{k,ih} + v \Omega_h)] \quad (4.3.5.a)$$

$$= v \Omega_h + \frac{1}{\omega_1} \ln[\exp \omega_1 (v_{i,h} + \delta_i)] + \exp \frac{\omega_1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 v_{k,i,h} \quad (4.3.5.b)$$

式(4.3.2)の定義式を式(4.3.5.b)に適用して、

$$S_{i,h}[V^0] = v^0 (\Omega_h^0 + EV_{i,h}) + \frac{1}{\omega_1} \ln[\exp \omega_1 (v_{i,h}^0 + \delta_i)] + \exp \frac{\omega_1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 v_{k,i,h}^0 \quad (4.3.6.a)$$

$$= v^0 EV_{i,h} + S_{i,h}[V^0] \quad (4.3.6.b)$$

式(4.3.6.b)を $EV_{i,h}$ について解くと、

$$EV_{i,h} = \frac{S_{i,h}[V^0] - S_{i,h}[V^0]}{v^0} \quad (4.3.7)$$

したがって、世帯便益の合計REVは次のようになる。

$$REV = \sum_i \sum_h EV_{i,h} N_{i,h} \quad (4.3.8)$$

式(4.3.8)によって計測される便益REVは、交通プロジェクトによる世帯効用の上昇分を貨幣タームで評価したものである。

4-3-2 不在地主の便益

不在地主便益についても、世帯便益と同様に、等価的偏差EVの概念に基づいて立地に関する効用の変化から計測する。このとき、不在地主の立地行動は確定的、かつ、その効用関数は世帯の効用関数と異なってランダム変数を含まないものと仮定しているため、不在地主便益は教科書通りに次式を満足する $EV'_{i,h}$ で与え

られる。

$$\begin{aligned} V'_h [\bar{K}_h, p_z^b, r_{h^b}, R_{h^b}, \Omega'_{h^b}] \\ = V'_h [\bar{K}_h, p_z^a, r_{h^a}, R_{h^a}, \Omega'_{h^a} + EV'_h] \end{aligned} \quad (4.3.9)$$

式(4.3.9)の右上添字 a および b は、それぞれプロジェクト無および有の状態を示す。ここで、式(4.3.9)を EV'_h について解く。

まず、式(2.3.15.b)を式(4.3.9)に代入して、

$$V'_{h^b} = v'_{h^a} + v^a (\Omega'_{h^a} + EV'_h) \quad (4.3.10.a)$$

$$= v^a EV'_h + V'_{h^a} \quad (4.3.10.b)$$

式(4.3.10.b)を EV'_h について解くと、

$$EV'_h = \frac{V'_{h^b} - V'_{h^a}}{v^a} \quad (4.3.11)$$

したがって、不在地主便益の合計LEVは次のようになる。

$$LEV = \sum_h EV'_h \quad (4.3.12)$$

式(4.3.12)によって計測される便益LEVは、交通プロジェクトによる不在地主効用の上昇分を貨幣タームで評価したものである。

4-3-3 社会的純便益

交通プロジェクトによる社会的純便益SNBの源泉を世帯効用と不在地主効用の上昇分と仮定しているので、SNBは式(4.3.8)のREVと式(4.3.12)のLEVの合計で与えられる。

$$SNB = REV + LEV \quad (4.3.13.a)$$

$$= \sum_h N_{i,h} \frac{S_{i,h}[V^b] - S_{i,h}[V^a]}{v^a} + \sum_h \frac{V'_{i,h^b} - V'_{i,h^a}}{v^a} \quad (4.3.13.b)$$

ここで、式(4.3.13.b)で定義した便益を計測する方法は2つある。第1は式(4.3.13.b)をそのまま用いる方法であり、第2は式(4.3.13.b)を消費者余剰の形に展開して用いる方法である。

第1の方法は関数 v の特定化に依存する。Small and Rosen(1981)は、 v が一定の値のときにLogitモデルより推定される効用関数を用いて、式(4.3.13.b)が推定可能であることを示している。また、林・土井(1988)(1989)は、式(4.3.13.b)において $v^a = 1$ とし、効用関数を地代に関する線形関数にしている。さらに、資産価値法では、全ての便益が地主に帰着するという仮定に基づくので、世帯便益はゼロとなり、式(4.3.13.b)の第1項をゼロと最初から仮定していることになる。このように、第1の方法は、Gorman型の中でさらに効用関数をいかに特定化するかが問題となる。このとき効用関数として最小限満足していなければならない性質がある。それはRoy's Identity [Varian(1984)]として知られているものであり、間接効用関数と需要関数との間に成立する関係式である。この関係式は、間接効用関数から導かれた種々の需要行動が実際の行動に一致しているか否かの検討をする際に役立つ。しかし、通常なされているような立地条件に関する線形の効用関数を仮定すると、その効用関数にRoy's Identityを適用して得られる交通需要量や土地需要量は現実から大きく乖離してしまう。また、そのような性質をもつ効用関数形を仮定しても、交通サービス(たとえば時間距離)と地代のように、重共線性が発生し易い要因があるため、係数の推定値も不安定となる。したがって、便益計測値の信頼性を落とすことになる。

以上の問題点を解決するためには、効用関数を直接推定するのではなく、居住、交通、土地需要という実際の行動結果から便益を計測する理論とその方法を開発する必要がある。この方向の計測理論が本研究の提案する方法である。

4-4 交通プロジェクトの帰着便益連関表

式(4.3.13.b)で定義した便益を世帯および不在地主の行動の関数で表現する。まず、式(4.3.13.b)の第1項は、 $(\partial S / \partial V) = P$ なる関係より、次のように変形できる。

$$REV = \sum_h N_{ih} \frac{1}{V^a} \int_{a \rightarrow b} \sum_j \frac{\partial S_{ih}[V]}{\partial V_{j,ih}} dV_{j,ih} \quad (4.4.1.a)$$

$$= \sum_h N_{ih} \frac{1}{V^a} \int_{a \rightarrow b} \sum_j P_{j,ih}[V] dV_{j,ih} \quad (4.4.1.b)$$

式(4.4.1)の積分記号は状態 a から状態 b への効用関数 $V_{j,ih}$ に関する線積分を示す。また、 $dV_{j,ih}$ は世帯効用の変化分であり、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} dV_{j,ih} &= \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial p_z} dp_z + \sum_o \sum_D \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial q_h^{oD}} dq_h^{oD} \\ &+ \sum_k \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial r_k} dr_k + \sum_k \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial (w_h t^{kh})} d(w_h t^{kh}) \\ &+ \frac{\partial V_{j,ih}}{\partial \Omega_h} d\Omega_h \end{aligned} \quad (4.4.2)$$

式(4.4.2)に Roy's Identity を適用すると世帯便益 REV は次のようになる。

$$REV = \sum_h N_{ih} \int_{a \rightarrow b} \Psi \sum_j P_{j,ih}[V] (-z_{jh} dp_z - \sum_o \sum_D x_{jh}^{oD} dq_h^{oD} - a_{jh} dr_j - 2 d(w_h t^{jh}) + d\Omega_h) \quad (4.4.3.a)$$

$$\Psi = \frac{V}{V^a} \quad (4.4.3.b)$$

式(4.4.3.a)の線積分 \int の中は、居住地 i ・勤務地 h の世帯便益が住み替え確率で

重み付けされた住み替え後（プロジェクト有無の両場合）の交通需要および住宅地需要に関する余剰で計測できることを示している。また、式(4.4.3.a)の誘導に際し、市場均衡値 $w_h t^{jh}$ および r_j はそれぞれゾーン j と立地競合するゾーン k における市場均衡値 $w_h t^{kh}$ および r_k の関数として与えられることから、次の関係式を適用した。

$$d r_j = \sum_k \frac{\partial r_j}{\partial r_k} d r_k \quad (4.4.4.a)$$

$$d(w_h t^{jh}) = \sum_k \frac{\partial(w_h t^{jh})}{\partial(w_h t^{kh})} d(w_h t^{kh}) \quad (4.4.4.b)$$

ここで、式(4.4.3.a)中の $d q_h^{00}$ を改めて $d q_h^{00} \equiv d p^{00} + w_h d t^{00}$ と再定義する。また、同じ勤務地 h の世帯であっても所得 Ω_h は異なるが、Gorman型効用関数を仮定しているためにその集計化は簡単であり、式(2.3.4.b)の Ω_h を h に関するグループ全体の所得に置き換えた効用関数を用いればよい。これと同じ意味であるが、式(2.3.4.b)の Ω_h に対しそのグループの平均値を用いて、これに世帯数 N_{jh} を乗じてよい。このとき、式(4.4.3.a)の世帯便益REVは、次式で表現できる。

$$REV = \int_{a \rightarrow b} \left\{ \Psi \sum_j \sum_h N_{jh} [V] (-z_{jh} d p_z - \sum_o \sum_o x_{jh}^{oo} d q_h^{00} - a_{jh} d r_j + l_{jh} d w_h - 2 w_h d t^{jh} + d y_h - d g) \right. \quad (4.4.5)$$

一方、式(4.3.13.b)の第2項は、次のように変形できる。

$$LEV = \sum_h \frac{1}{v^a} \int_{a \rightarrow b} d V'_h \quad (4.4.6)$$

式(4.4.6)の $d V'_h$ は不在地主の効用の変化分であり、次式で与えられる。

$$dV'_h = \frac{\partial V'_h}{\partial p_z} dp_z + \frac{\partial V'_h}{\partial r_h} dr_h + \frac{\partial V'_h}{\partial R_h} dR_h + \frac{\partial V'_h}{\partial \Omega'_h} d\Omega'_h \quad (4.4.7)$$

式(4.4.7)にRoy's Identityを適用すると不在地主便益LEVは次のようになる。

$$LEV = \int_{a \rightarrow b} \Psi \Sigma_h (-z'_h dp_z + k_h dr_h + K_h dR_h + dy'_h - dg') \quad (4.4.8)$$

したがって、式(4.4.5)および式(4.4.8)を式(4.3.13.a)に代入することにより、社会的純便益SNBは次のようになる。

$$\begin{aligned} SNB = \int_{a \rightarrow b} \Psi & (-\sum_j \Sigma_h N_{jh} z_{jh} dp_z - \sum_j \Sigma_h \Sigma_0 \Sigma_D N_{jh} x_{jh}^{00} dq_h^{00} \\ & - \sum_j \Sigma_h N_{jh} a_{jh} dr_j + \sum_j \Sigma_h N_{jh} l_{jh} dw_h \\ & - \sum_j \Sigma_h 2 N_{jh} w_h dt^{jh} + \sum_j \Sigma_h N_{jh} dy_h \\ & - \sum_j \Sigma_h N_{jh} dg - \Sigma_h z'_h dp_z + \Sigma_h k_h dr_h \\ & + \Sigma_h K_h dR_h + \Sigma_h dy'_h - \Sigma_h dg') \end{aligned} \quad (4.4.9)$$

ここで、式(2.3.9.a)に包絡線定理 [Varian(1984)] を適用し、すべての私企業について合計することにより次式が得られる。

$$\begin{aligned} \Sigma_h M_h d\Pi_h = \Sigma_h M_h & (Z_h dp_z - A_h dR_h - \Sigma_0 \Sigma_D X_h^{00} dp^{00} \\ & - L_h dw_h - dG) - \Sigma_h \sum_j 2 N_{jh} dp^{jh} \end{aligned} \quad (4.4.10)$$

式(2.4.1.c)~(2.4.1.e)より、式(4.4.10)は次のように変形される。

$$\Sigma_j \Sigma_h N_{jh} dy_h + \Sigma_h dy'_h + \sum_j \Sigma_h N_{jh} l_{jh} dw_h - \sum_j \Sigma_h N_{jh} z_{jh} dp_z$$

$$\begin{aligned}
& -\sum_h z^h d p_z \\
& = \sum_h M_h (-A_h d R_h - \sum_0 \sum_0 X_h^{00} d p^{00} - d G) - \sum_h \sum_j 2 N_{jh} d p^{jh} \\
& \quad + (C + I) d p_z \tag{4.4.11}
\end{aligned}$$

また、式(2.4.1.f)および式(2.4.1.g)より次式が得られる。

$$\begin{aligned}
& \sum_j \sum_h \sum_0 \sum_0 N_{jh} x_{jh}^{00} d p^{00} + \sum_h \sum_0 \sum_0 M_h X_h^{00} d p^{00} \\
& + \sum_j \sum_h 2 N_{jh} d p^{jh} - \Delta C - \Delta I - \Delta S L = 0 \tag{4.4.12.a}
\end{aligned}$$

$$\sum_j \sum_h N_{jh} d g + \sum_h M_h d G + \sum_h d g' + \Delta S L = 0 \tag{4.4.12.b}$$

式(4.4.12.a)および式(4.4.12.b)を式(4.4.11)に代入し、それを式(4.4.9)に代入することにより次式を得る。このとき、合成財価格 p_z を1と仮定し、 $d p_z = 0$ とする。

$$\begin{aligned}
SNB = & \left\{ \begin{array}{l} \underbrace{\Psi(-\sum_j \sum_h \sum_0 \sum_0 N_{jh} x_{jh}^{00} d q_h^{00} - \sum_j \sum_h 2 N_{jh} w_h d t^{jh})}_{\langle 1 \rangle} \\ \underbrace{-\sum_j \sum_h N_{jh} a_{jh} d r_j}_{\langle 2 \rangle} - \underbrace{\sum_j \sum_h N_{jh} d g}_{\langle 3 \rangle} \\ \underbrace{-\sum_h \sum_0 \sum_0 M_h X_h^{00} d p^{00} - \sum_j \sum_h 2 N_{jh} d p^{jh}}_{\langle 4 \rangle} - \underbrace{\sum_h M_h A_h d R_h}_{\langle 5 \rangle} \\ \underbrace{-\sum_h M_h d G}_{\langle 6 \rangle} + \underbrace{\sum_h k_h d r_h + \sum_h K_h d R_h}_{\langle 7 \rangle} - \underbrace{\sum_h d g'}_{\langle 8 \rangle} \\ \underbrace{+ \sum_j \sum_h \sum_0 \sum_0 N_{jh} x_{jh}^{00} d p^{00} + \sum_h \sum_0 \sum_0 M_h X_h^{00} d p^{00}}_{\langle 9 \rangle} \\ \underbrace{+ \sum_j \sum_h 2 N_{jh} d p^{jh}}_{\langle 9 \rangle \text{のつづき}} - \underbrace{\Delta C}_{\langle 10 \rangle} - \underbrace{\Delta I}_{\langle 11 \rangle} - \underbrace{\Delta S L}_{\langle 12 \rangle} \\ \underbrace{+ \Delta S L}_{\langle 13 \rangle} + \underbrace{\sum_j \sum_h N_{jh} d g + \sum_h M_h d G + \sum_h d g'}_{\langle 14 \rangle} \end{array} \right. \tag{4.4.13}
\end{aligned}$$

式(4.4.13)の意味を理解するために、任意の1項(<2>)を図示する(図4.4.1)。項<2>は図4.4.1中の斜線部に相当し、住宅地サービスの消費者余剰を意味する。ここで、図中のa-b間は直線で結ばれているように見えるが、この線形は住宅地代 r_i 以外の諸変数の変化にも依存する。しかし、ここでは便益計測式が式(4.4.1.b)および式(4.4.6)で与えられることにより計測値が積分経路に依存しないため、Kanemoto and Mera(1985)とは異なって積分経路依存の問題を避けることができる。

式(4.4.13)の項<1><2><3>, <4><5><6>, <7><8>, <9><10><11><12>, <13><14>はそれぞれ世帯, 私企業, 不在地主, 交通企業, 政府の帰着便益を表している。これらの帰着便益を一覧表に整理したものが表4.4.1に示す帰着便益連関表であり、この表により便益の発生→帰着構造が一目でわかる。表中の最下欄(縦の合計)は部門別(世帯, 私企業, 不在地主, 交通企業, 政府)の帰着便益を示し、最右欄(横の合計)は項目別(交通, 土地, 運賃収入, 運営費用, 投資, 補助, 税)の帰着便益を示す。ここで、交通企業および政府の帰着便益は、それぞれ式(4.4.12.a)および式(4.4.12.b)よりゼロである。また、土地, 補助, 税の項目の帰着便益は、各々収支関係によりゼロである。さらに、表4.4.1の総計は交通プロジェクトの社会的純便益SNBを示し、項<1><4><9><10><11>で表されることがわかる。これらの項は、交通市場から得られる情報ばかりである。

図4.4.1の帰着便益連関表を用いると、項目別帰着便益間の比較およびSNB値の大きさより交通プロジェクトの社会的効率性が、また部門別帰着便益間の比較よりその社会的公平性がそれぞれ検討できる。さらに、式(4.4.13)において地域に関する Σ をまとめることにより地域別帰着便益連関表を作成することもできるので、地域間の公平性の検討も可能である。ここで、効率性の検討については費用便益分析(経済分析)や収支分析(財務分析)を通じてその判定基準が確立されているが、公平性の判定基準についてはまだ確立されていない。後者の確立により、帰着便益の集中を是正する方策として例えば「集中部門への課税」のような開発利益還元方法を提案することも可能であるため、ここで提案する帰着便益連関表はプロジェクトの財源問題の検討にも貢献できるものと期待される。

表4.4.1 交通プロジェクトの帰着便益連関表

部門 項目	世 帯	私 企 業	不在地主	交通企業	政 府	合 計
交 通	<1>	<4>				<1>+<4>
土 地	<2>	<5>	<7>			0
運賃収入				<9>		<9>
運営費用				<10>		- Δ C
投 資				<11>		- Δ I
補 助				<12>	<13>	0
税	<3>	<6>	<8>		<14>	0
合 計	<1>+<2> +<3>	<4>+<5> +<6>	<7>+<8>	0	0	SNB

注) 表中の<・>は式(4.4.13)中の<・>を意味する。

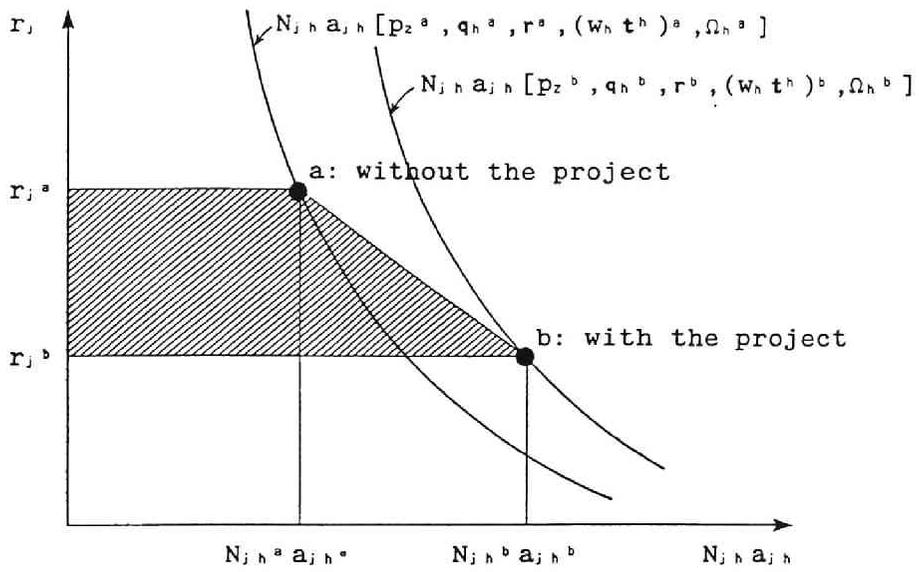


図4.4.1 住宅地サービスの消費者余剰

4-5 交通便益のショートカット計測モデル

4-5-1 社会的純便益のショートカット型

4-4の議論より、交通プロジェクトの社会的純便益SNBのショートカット型は次式で与えられる。

$$SNB = \int_{a \rightarrow b} \Psi \left\{ - \sum_j \sum_n \sum_o \sum_o N_{j,n} x_{j,n}^{oo} (d q_n^{oo} - d p^{oo}) - \sum_j \sum_n 2 N_{j,n} (d q_n^{jh} - d p^{jh}) - \Delta C - \Delta I \right\} \quad (4.5.1)$$

式(4.5.1)中の Ψ 以外の各変数は交通市場において観察し得るが、 Ψ を知るためには効用関数を特定化しなければならない。この点を避けるため、以下にMcKenzie (1983)の提案した方法を修正したTaylor展開による近似式を提案する [森杉・大野・宮城(1991)]。まず、プロジェクト無の状態 $\{q_n^{ooa}\}$ から有の状態 $\{q_n^{oob}\}$ までの任意の積分経路を $\{q_n^{oo}[\sigma] = p^{oo}[\sigma] + w_n t^{oo}[\sigma] \mid 0 \leq \sigma \leq 1\}$ で表す。このとき、次の関係式が成り立っているものとする。

$$\{q_n^{oo}[0]\} = \{q_n^{ooa}\} \quad (4.5.2.a)$$

$$\{q_n^{oo}[1]\} = \{q_n^{oob}\} \quad (4.5.2.b)$$

式(4.5.2.a)および式(4.5.2.b)を式(4.5.1)に適用すると、次式が得られる。

$$SNB = \int_0^1 \Psi \left[- \sum_j \sum_n \sum_o \sum_o N_{j,n} x_{j,n}^{oo} \left(\frac{d q_n^{oo}}{d \sigma} - \frac{d p^{oo}}{d \sigma} \right) - \sum_j \sum_n 2 N_{j,n} \left(\frac{d q_n^{jh}}{d \sigma} - \frac{d p^{jh}}{d \sigma} \right) - \Delta C - \Delta I \right] d \sigma \quad (4.5.3)$$

式(4.5.3)の値は積分経路に依存しないので、直線経路を設定する。これより、 σ の関数 $p^{oo}[\sigma]$ および $q_n^{oo}[\sigma]$ について次の近似式を適用する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d p^{00}[\sigma]}{d \sigma} \doteq p^{00b} - p^{00a} \equiv \Delta p^{00} \\ \frac{d q_{h^{00}}[\sigma]}{d \sigma} \doteq q_{h^{00b}} - q_{h^{00a}} \equiv \Delta q_{h^{00}} \end{array} \right. \quad (4.5.4.a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 p^{00}[\sigma]}{d \sigma^2} \doteq 0 \\ \frac{d^2 q_{h^{00}}[\sigma]}{d \sigma^2} \doteq 0 \end{array} \right. \quad (4.5.4.b)$$

式(4.5.4.a)を式(4.5.3)に適用することにより、次式が得られる。

$$\begin{aligned} \text{SNB} = \int_0^1 \Psi \{ & -\sum_j \sum_h \sum_o \sum_o N_{jh} x_{jh^{00}} (\Delta q_{h^{00}} - \Delta p^{00}) \\ & - \sum_j \sum_h 2 N_{jh} (\Delta q_{h^{jh}} - \Delta p^{jh}) - (\Delta C + \Delta I) \} d \sigma \quad (4.5.5) \end{aligned}$$

式(4.5.1)→式(4.5.5)の変形は、線積分が積分経路に依存しないという性質を利用した線積分→定積分の変形である。さらに、式(4.5.5)の定積分を展開するためには変数 Ψ 、 N_{jh} 、 $x_{jh^{00}}$ の σ に対する関数型を知る必要があるが、そのような煩雑さを避けるために以下でTaylor展開による近似を試みる。

4-5-2 Taylor展開の2次近似型

式(4.5.5)中の σ の関数 Ψ 、 $N_{jh} x_{jh^{00}}$ 、 N_{jh} をプロジェクト無しの状態のまわりでTaylor展開する。このとき、 $N_{jh} x_{jh^{00}}$ を同一世帯グループの交通需要関数と見なし、1変数として扱う。それぞれのTaylor展開の第2項までを示すと次のようになる。

$$\Psi \doteq \left[\Psi \right]_{\sigma=0} + \sigma \left[\frac{d \Psi}{d \sigma} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.6.a)$$

$$N_{jh} x_{jh^{00}} \doteq \left[N_{jh} x_{jh^{00}} \right]_{\sigma=0} + \sigma \left[\frac{d (N_{jh} x_{jh^{00}})}{d \sigma} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.6.b)$$

$$N_{j,h} \doteq \left[N_{j,h} \right]_{\sigma=0} + \sigma \left[\frac{d N_{j,h}}{d \sigma} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.6.c)$$

ここで、式(4.5.6.a)～式(4.5.6.c)の $d\Psi/d\sigma$ 、 $d(N_{j,h} x_{j,h}^{00})/d\sigma$ 、 $dN_{j,h}/d\sigma$ は、さらに以下のように展開される。まず、 $d\Psi/d\sigma$ は次のようになる。

$$\frac{d\Psi}{d\sigma} = \sum_o \sum_D \frac{\partial \Psi}{\partial q_{h^{00}}} \cdot \frac{d q_{h^{00}}}{d\sigma} \quad (4.5.7.a)$$

$$= -\Psi \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \frac{\partial x_{j,h}^{00}}{\partial \Omega_h} \Delta q_{h^{00}} \quad (4.5.7.b)$$

【証明】

支出関数 e_h は次式で定義される。

$$e_h = \frac{v_{j,i,h} + v \Omega_h - v_{j,i,h}^2}{v^2} \quad (4.5.7.c)$$

式(4.5.7.c)を Ω_h で偏微分して、

$$\frac{\partial e_h}{\partial \Omega_h} = \frac{v}{v^2} = \Psi \quad (4.5.7.d)$$

式(4.5.7.d)より $\Psi^2 = 1$ であることがわかる。本研究では理論展開の簡単化のために $q_{h^{00}}$ は関数 v (すなわち Ψ) に含まれていないが、ここでは一般性を保つために含まれるものとする。式(4.5.7.d)を $q_{h^{00}}$ で偏微分して、

$$\frac{\partial \Psi}{\partial q_{h^{00}}} = \frac{\partial}{\partial q_{h^{00}}} \left[\frac{\partial e_h}{\partial \Omega_h} \right] \quad (4.5.7.e)$$

$$= \frac{\partial}{\partial \Omega_h} \left[\frac{\partial e_h}{\partial q_{h^{00}}} \right] \dots\dots\dots \text{微分順序の交換 (4.5.7.f)}$$

$$= \frac{\partial}{\partial \Omega_h} \left[\frac{\partial e_h}{\partial \Omega_h} \cdot \frac{\partial \Omega_h}{\partial q_{h^{00}}} \right] \dots\dots\dots \text{連鎖微分 (4.5.7.g)}$$

$$= \frac{\partial}{\partial \Omega_h} \left[\frac{\partial e_h}{\partial \Omega_h} \cdot \frac{\partial V / \partial q_{h^{00}}}{\partial V / \partial \Omega_h} \right] \dots\dots\dots \text{連鎖微分 (4.5.7.h)}$$

$$= \frac{\partial}{\partial \Omega_h} \left[-\Psi \sum_j \sum_h x_{j,h}^{00} \right] \dots\dots \text{Roy's Identity (4.5.7.i)}$$

$$= - \Psi \sum_j \sum_h \frac{\partial x_{jh}^{0D}}{\partial \Omega_h} \dots \frac{\partial \Psi}{\partial \Omega_h} = 0 \quad (4.5.7.j)$$

【証明終】

また、 $d(N_{jh}x_{jh}^{0D})/d\sigma$ および $dN_{jh}/d\sigma$ は次のようになる。

$$\frac{d(N_{jh}x_{jh}^{0D})}{d\sigma} \doteq \frac{\partial(N_{jh}x_{jh}^{0D})}{\partial q_h^{0D}} \Delta q_h^{0D} \quad (4.5.8.a)$$

$$\frac{dN_{jh}}{d\sigma} \doteq \frac{\partial N_{jh}}{\partial q_h^{jh}} \Delta q_h^{jh} \quad (4.5.8.b)$$

上式において、任意OD間の交通需要に対する当該OD間以外の一般化交通費用の影響は当該OD間費用の影響に比べて無視できるほど小さい場合を想定している。式(4.5.7.b)，式(4.5.8.a)，式(4.5.8.b)および $\Psi^a = 1$ より、式(4.5.6.a)～式(4.5.6.c)は次のように変形される。

$$\Psi \doteq 1 - \sigma \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial x_{jh}^{0D}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta q_h^{0D} \quad (4.5.9.a)$$

$$N_{jh}x_{jh}^{0D} \doteq (N_{jh}x_{jh}^{0D})^a + \sigma \left[\frac{\partial(N_{jh}x_{jh}^{0D})}{\partial q_h^{0D}} \right]^a \Delta q_h^{0D} \quad (4.5.9.b)$$

$$N_{jh} \doteq N_{jh}^a + \sigma \left[\frac{\partial N_{jh}}{\partial q_h^{jh}} \right]^a \Delta q_h^{jh} \quad (4.5.9.c)$$

式(4.5.9.a)～式(4.5.9.c)を式(4.5.5)に適用すると、社会的純便益SNBに関するTaylor展開の2次近似型が得られる。

$$\begin{aligned} \text{SNB} = & - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D (N_{jh}x_{jh}^{0D})^a (\Delta q_h^{0D} - \Delta p^{0D}) \\ & - \sum_j \sum_h 2 N_{jh}^a (\Delta q_h^{jh} - \Delta p^{jh}) \\ & - (\Delta C + \Delta I) \\ & \dots \dots \dots \text{【以上、1次微係数】} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{2} \sum_j \sum_h \sum_o \sum_v \left[\frac{\partial (N_{jh} x_{jh}^{00})}{\partial q_h^{00}} \right]^a \Delta q_h^{00} (\Delta q_h^{00} - \Delta p^{00}) \\
& -\frac{1}{2} \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial N_{jh}}{\partial q_h^{jh}} \right]^a \Delta q_h^{jh} (\Delta q_h^{jh} - \Delta p^{jh}) \\
& +\frac{1}{2} \sum_j \sum_h \sum_o \sum_v \left[\frac{\partial x_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta q_h^{00} \\
& \times \{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_v (N_{jh} x_{jh}^{00})^a (\Delta q_h^{00} - \Delta p^{00}) \\
& \quad + \sum_j \sum_h 2 N_{jh}^a (\Delta q_h^{jh} - \Delta p^{jh}) \\
& \quad + (\Delta C + \Delta I) \}
\end{aligned}$$

----- 【以上、2次微係数】

$$\begin{aligned}
& +\frac{1}{4} \sum_j \sum_h \sum_o \sum_v \left[\frac{\partial x_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta q_h^{00} \\
& \times \{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_v \left[\frac{\partial (N_{jh} x_{jh}^{00})}{\partial q_h^{00}} \right]^a \Delta q_h^{00} (\Delta q_h^{00} - \Delta p^{00}) \\
& \quad + \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial N_{jh}}{\partial q_h^{jh}} \right]^a \Delta q_h^{jh} (\Delta q_h^{jh} - \Delta p^{jh}) \}
\end{aligned}$$

----- 【以上、3次微係数】

(4.5.10)

式(4.5.10)より、Taylor展開の2次近似型には3次までの微係数が含まれていることがわかる。ここで、式(4.5.10)の1次微係数のみを含む部分は、Boadway, Lesourne, Wheaton等が示した交通改善の社会的純便益=(初期交通量)×(単位トリップの交通費節約)に相当する。

4-5-3 Taylor展開の3次近似型

4-5-2と同様にして式(4.5.5)中の σ の関数 Ψ 、 $N_{jh} x_{jh}^{00}$ 、 N_{jh} をTaylor展開し、それぞれの第3項までを示すと次のようになる。

$$\Psi \doteq \{ \text{式(4.5.6.a)の右辺} \} + \frac{\sigma^2}{2} \left[\frac{d^2 \Psi}{d \sigma^2} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.11.a)$$

$$N_{jh} x_{jh}^{00} \doteq \{ \text{式(4.5.6.b)の右辺} \} + \frac{\sigma^2}{2} \left[\frac{d^2(N_{jh} x_{jh}^{00})}{d\sigma^2} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.11.b)$$

$$N_{jh} \doteq \{ \text{式(4.5.6.c)の右辺} \} + \frac{\sigma^2}{2} \left[\frac{d^2 N_{jh}}{d\sigma^2} \right]_{\sigma=0} \quad (4.5.11.c)$$

$d\Psi/d\sigma = \text{式(4.5.7.b)}$, $d(N_{jh} x_{jh}^{00})/d\sigma = \text{式(4.5.8.a)}$, $dN_{jh}/d\sigma = \text{式(4.5.8.b)}$, ならびに関数 $q_h^{00}[\sigma]$ の 2 階微分に関する条件式(4.5.4.b)を上式に適用すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} \Psi &\doteq \{ \text{式(4.5.9.a)の右辺} \} \\ &+ \frac{\sigma^2}{2} \left\{ \left(\sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial x_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta q_h^{00} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial^2 x_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h \partial q_h^{00}} \right]^a (\Delta q_h^{00})^2 \right\} \quad (4.5.12.a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{jh} x_{jh}^{00} &\doteq \{ \text{式(4.5.9.b)の右辺} \} \\ &+ \frac{\sigma^2}{2} \left[\frac{d^2(N_{jh} x_{jh}^{00})}{d q_h^{00 2}} \right]^a (\Delta q_h^{00})^2 \quad (4.5.12.b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{jh} &\doteq \{ \text{式(4.5.9.c)の右辺} \} \\ &+ \frac{\sigma^2}{2} \left[\frac{d^2 N_{jh}}{d q_h^{jh 2}} \right]^a (\Delta q_h^{jh})^2 \quad (4.5.12.c) \end{aligned}$$

式(4.5.12.a)において、式(4.5.8.a), 式(4.5.8.b)の誘導の際と同様に、交通需要に対する当該OD間以外の交通費用の影響は無視できるほど小さい場合を想定している。式(4.5.7.b), 式(4.5.8.a), 式(4.5.8.b)および $\Psi^a = 1$ より、式(4.5.6.a)~式(4.5.12.a)~式(4.5.12.c)を式(4.5.5)に適用すると、社会的純便益SNBに関するTaylor展開の3次近似型が得られる。

SNB = {式(4.5.10)の1次微係数のみを含む部分}

----- 【以上、1次微係数】

+ {式(4.5.10)の2次微係数のみを含む部分}

----- 【以上、2次微係数】

+ {式(4.5.10)の3次微係数のみを含む部分}

$$-\frac{1}{6} \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial^2 (N_{jh} \mathbf{x}_{jh}^{00})}{\partial \mathbf{q}_h^{002}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{00})^2 (\Delta \mathbf{q}_h^{00} - \Delta \mathbf{p}^{00})$$

$$-\frac{1}{6} \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial^2 N_{jh}}{\partial \mathbf{q}_h^{jh2}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{jh})^2 (\Delta \mathbf{q}_h^{jh} - \Delta \mathbf{p}^{jh})$$

$$+\frac{1}{6} \left\{ \left(\sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial \mathbf{x}_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta \mathbf{q}_h^{00} \right)^2 \right.$$

$$\left. - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial^2 \mathbf{x}_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h \partial \mathbf{q}_h^{00}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{00})^2 \right\}$$

$$\times \left\{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D (N_{jh} \mathbf{x}_{jh}^{00})^a (\Delta \mathbf{q}_h^{00} - \Delta \mathbf{p}^{00}) \right.$$

$$+ \sum_j \sum_h 2 N_{jh}^a (\Delta \mathbf{q}_h^{jh} - \Delta \mathbf{p}^{jh})$$

$$\left. + (\Delta C + \Delta I) \right\}$$

----- 【以上、3次微係数】

$$+\frac{1}{12} \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial \mathbf{x}_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta \mathbf{q}_h^{00}$$

$$\times \left\{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial^2 (N_{jh} \mathbf{x}_{jh}^{00})}{\partial \mathbf{q}_h^{002}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{00})^2 (\Delta \mathbf{q}_h^{00} - \Delta \mathbf{p}^{00}) \right.$$

$$+ \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial^2 N_{jh}}{\partial \mathbf{q}_h^{jh2}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{jh})^2 (\Delta \mathbf{q}_h^{jh} - \Delta \mathbf{p}^{jh})$$

$$+\frac{1}{12} \left\{ \left(\sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial \mathbf{x}_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta \mathbf{q}_h^{00} \right)^2 \right.$$

$$\left. - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial^2 \mathbf{x}_{jh}^{00}}{\partial \Omega_h \partial \mathbf{q}_h^{00}} \right]^a (\Delta \mathbf{q}_h^{00})^2 \right\}$$

$$\times \left\{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_D \left[\frac{\partial (N_{jh} \mathbf{x}_{jh}^{00})}{\partial \mathbf{q}_h^{00}} \right]^a \Delta \mathbf{q}_h^{00} (\Delta \mathbf{q}_h^{00} - \Delta \mathbf{p}^{00}) \right.$$

$$\left. + \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial N_{jh}}{\partial \mathbf{q}_h^{jh}} \right]^a \Delta \mathbf{q}_h^{jh} (\Delta \mathbf{q}_h^{jh} - \Delta \mathbf{p}^{jh}) \right\}$$

----- 【以上、4次微係数】

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{36} \left\{ \left(\sum_j \sum_h \sum_o \sum_o \left[\frac{\partial x_{jh^{00}}}{\partial \Omega_h} \right]^a \Delta q_{h^{00}} \right)^2 \right. \\
& \quad \left. - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_o \left[\frac{\partial^2 x_{jh^{00}}}{\partial \Omega_h \partial q_{h^{00}}} \right]^a (\Delta q_{h^{00}})^2 \right\} \\
& \times \left\{ \sum_j \sum_h \sum_o \sum_o \left[\frac{\partial^2 (N_{jh} x_{jh^{00}})}{\partial q_{h^{00}2}} \right]^a (\Delta q_{h^{00}})^2 (\Delta q_{h^{00}} - \Delta p^{00}) \right. \\
& \quad \left. + \sum_j \sum_h 2 \left[\frac{\partial^2 N_{jh}}{\partial q_{h^{jh}2}} \right]^a (\Delta q_{h^{jh}})^2 (\Delta q_{h^{jh}} - \Delta p^{jh}) \right\} \\
& \text{----- 【以上、5次微係数】} \\
& \hspace{20em} (4.5.13)
\end{aligned}$$

式(4.5.13)より、Taylor展開の3次近似型には2次近似型に加えて5次までの微係数が含まれていることがわかる。

4-5-4 各近似型の比較検討

以上の式展開より、Taylor展開の2次近似型には3次までの微係数が含まれ、3次近似型には5次までの微係数が含まれていることがわかった。しかし、森杉・林山・小島(1986)の数値計算例より、3次以上の微係数部分は全体のSNBに対して無視できるほど小さい値であることが推測されるため、Taylor展開の2次近似型と3次近似型はほぼ同値のSNBを与えるものと考えられる。

ここで、交通需要関数 $N_{jh} x_{jh^{00}}$ (自由交通)および $2 N_{jh}$ (通勤交通)が交通プロジェクトによる $q_{h^{00}}$ の変化区間において局部的に線型である場合には、式(4.5.13)は次のようになる。

$$\begin{aligned}
\text{SNB} = & - \sum_j \sum_h \sum_o \sum_o \{ (N_{jh} x_{jh^{00}})^a + (N_{jh} x_{jh^{00}})^b \} (\Delta q_{h^{00}} - \Delta p^{00}) \\
& - \sum_j \sum_h 2 \{ N_{jh^a} + N_{jh^b} \} (\Delta q_{h^{jh}} - \Delta p^{jh}) - (\Delta C + \Delta I) \\
& \text{----- 【以下、省略】} \\
& \hspace{20em} (4.5.14)
\end{aligned}$$

式(4.5.14)に示した部分は、上述の条件で式(4.5.10)の2次微係数を含む部分の

第2項までを変形してまとめたものであり、社会的純便益の消費者余剰型を表している。上述の数値計算例より、この消費者余剰型もまたSNBの近似値を与えるものと推測される。

4-6 結 言

本章で構築した交通便益計測モデルは、交通プロジェクトによる社会経済変化予測と便益計測を統合的に行うことを目的とし、一般均衡理論に基づいた社会経済モデル〔第2章で構築〕とランダム効用理論による交通便益定義〔第3章で提案〕に基づいている。したがって、一般均衡理論に基づいていることより、交通プロジェクトの直接効果のみならず波及効果をも含んだ形で便益を計測することができる。

本モデルに対してショートカット法を適用することより、交通プロジェクトの社会的純便益を計測する際には交通市場の情報（交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみが必要となり、迅速かつ効率的に便益計測を行うことができる。なお、モデル構築の過程で、便益のショートカット計測を証明するためにGorman型効用関数を仮定して理論展開したが、Gorman型以外の効用関数に対しても同様の結論が導かれるものと予想される。また、Taylor展開の2次近似型および3次近似型を誘導して消費者余剰型への近似度合を示したが、これらの近似型に含まれる3次以上の微係数部分は全体の便益に対して無視できるほど小さいことが数値計算例より推測されるので、それ以上の高次近似の必要性はないものと判断される。

一方、本モデルを展開し、交通プロジェクトによる地域別・部門別・項目別の帰着便益を一覧表（帰着便益連関表）にまとめた。本表の表示内容（地域別・部門別・項目別の帰着便益）より、交通プロジェクトの社会的効率性・公平性の判定が容易であり、同時に、交通プロジェクトの財源調達問題にかかわる開発利益還元システムの確立に対して重要な情報が得られる。

参考文献（第4章）

<和文>

- 林 良嗣・土井健司：交通改善に伴う通勤者の便益の土地への帰着モデル，土木計画学研究論文集，No.6，pp.45-52，1988.
- 林 良嗣・土井健司・奥田隆明：外部経済効果を考慮した都市交通改善がもたらす開発利益の帰着分析モデル，土木学会論文集，No.407/IV-11，pp.67-76，1989.
- 貝山道博：都市間人口移動と都市交通体系の変化の評価－Alonso-Wheatonモデルの複数都市モデルへの拡張－，The Economic Studies Quarterly，Vol.39，No.2，pp.174-185，1988.
- 森杉壽芳・林山泰久・小島信二：交通プロジェクトにおける時間便益評価－簡便手法の実用化と精度の検討－，土木計画学研究論文集，No.4，pp.149-156，1986.
- 森杉壽芳・大野栄治・宮城俊彦：住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル，土木学会論文集，第425号/IV-14，pp.117-125，1991.
- 佐々木公明：都市交通体系の変化の評価について，地域学研究，Vol.14，pp.127-138，1984.

<英文>

- Boadway,R.W.：Cost-benefit rules in general equilibrium, The Review of Economic Studies, pp.361-373, 1975.
- Kanemoto,Y. and Mera,K.：General equilibrium analysis of the benefits of large transportation improvements, Regional Science and Urban Economics, Vol.15, No.3, pp.343-363, 1985.
- Lesourne,J.：Cost Benefit Analysis and Economic Theory, North-Holland, 1975.
- McKenzie,G.W.：Measuring Economic Welfare: New Methods, Cambridge University Press, 1983.
- Pines,D. and Weiss,Y.：Land improvement projects and values: an

- appendum, Journal of Urban Economics, Vol.11, pp.199-204, 1982.
- Small,K.A. and Rosen,H.S. : Applied welfare economics with discrete choice models, Econometrica, Vol.49, pp.105-129, 1981.
- Varian,H.R. : Microeconomic Analysis, Norton and Company, 1984.
- Wheaton,W.C. : Residential decentralization, land rents, and the benefits of urban transportation investment, American Economic Review, Vol.67, No.2, pp.136-143, 1977.

第5章 交通プロジェクトの便益計測例

5-1 緒言

近年、大きな福祉効果を期待される交通プロジェクトであっても、大都市圏を中心とする地価高騰から生じた財源問題により、実現されないという場合がしばしばある。この問題は外部経済効果に伴う便益（特に、資産価値上昇に伴う開発利益）が事業者還元されていないことによって生じるものであり、この問題を解決するためには開発利益還元による財源確保が必要である〔伊東(1987), Haya shi(1989)〕。しかし、ヨーロッパではかなり以前より開発利益について法的に規定しているが、わが国では

- ① 開発利益の概念規定
- ② 〃 発生時点の特定化
- ③ 〃 受益者、受益地域、受益規模の特定化

等における技術上の問題より、一部事業（下水道事業、土地区画整理事業等）を除き、効果的な開発利益還元システムは確立されていない〔芝原(1991)〕。

上記①の問題は開発利益の定義に依存する。わが国では明確な定義が確立していないが、「社会資本投資の外部経済効果が、各個別投資がなされる地理的位置に依存しながら、ある限られた土地の住民、企業にしか及ぼさないことから起こる関連地価の上昇分」という定義が一般的であろう〔経済学大辞典(1980)〕。上記②の問題はどの時点（構想計画時、事業認定時、収用裁決時、あるいは事業完了時）における地価上昇分を指すのかということであり、昭和42年(1967)に改正された土地収用法では事業認定時の価格としている。しかし、現実には構想計画時から地価上昇する場合が少なくない。さて、本章では、特に上記③の問題の解決を目的とし、第4章で構築した便益計測モデルによる地域別・部門別・項目別帰着便益の計測手順および計測結果を示す。そこで、ケース・スタディとして任意の交通プロジェクトを取り上げ、ここで得られた帰着便益連関表に基づいて当該プロジェクトの社会的効率性・公平性および開発利益還元方策に関する検討を行う。

5-2 対象地域とプロジェクト

5-2-1 対象地域の設定

本章では、岐阜県南部に位置する岐阜都市圏（岐阜市周辺の32市町村）を対象にしてケース・スタディを行う。1989年現在、当該地域の総人口は1,264,403人、総世帯数は366,496戸、総面積は131,479haであり、このうち中心都市・岐阜市の人口は407,861人で、当該地域総人口の約1/3を占めている。なお、分析に際しては、当該地域を日常生活圏（日常買物行動の範囲）レベルで12ゾーンに分割しておく（図5.2.1、表5.2.1）。

表5.2.1 ゾーン分割表

ゾーン番号	市町村名
1	岐阜市
2	大垣市, 養老町, 垂井町
3	関市
4	美濃市
5	羽島市
6	美濃加茂市, 坂祝町, 富加町, 川辺町
7	各務原市
8	川島町, 岐南町, 笠松町, 柳津町
9	平田町, 輪之内町, 安八町, 墨俣町
10	神戸町, 揖斐川町, 大野町, 池田町
11	北方町, 本巣町, 穂積町, 巣南町, 真正町, 糸貫町
12	高富町, 武芸川町

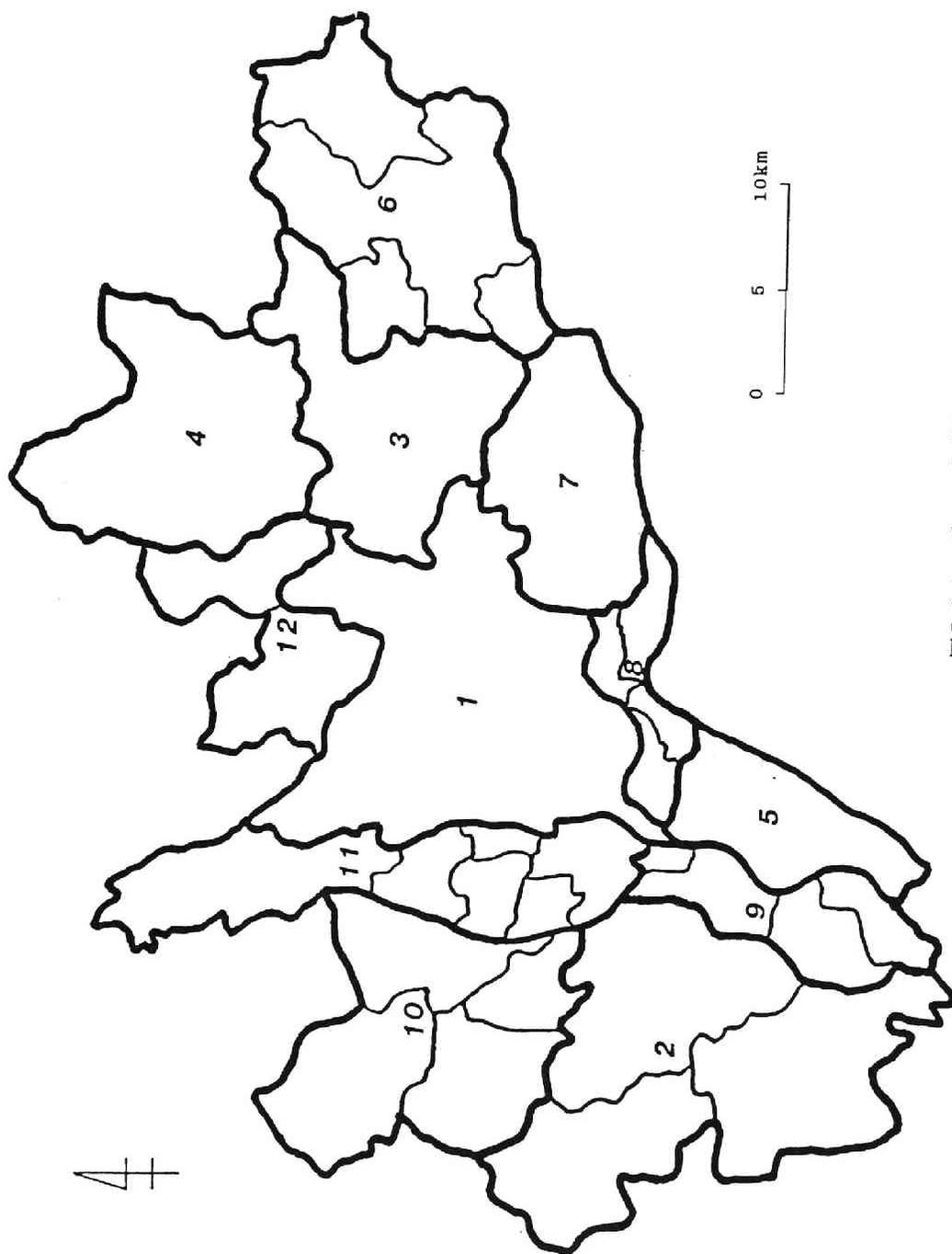


図5.2.1.1 ゾーン分割図

5-2-2 プロジェクトの概要

便益計測の対象とするプロジェクトは、岐阜環状線（都市内環状線：主要地方道）の建設プロジェクトである（図5.2.2）。全長25km，4車線（一部6車線），総建設費544億円（1985年現在価値）の岐阜環状線は1985年に供用開始し、段階的に建設が進み、2000年に全線完成予定である。なお、図5.2.2中の<・>は完成年を表し、<・>が記されていない道路は1980年までに完成している。この環状線建設により、岐阜市街地の通過交通量の減少、そして交通時間の短縮が期待される。

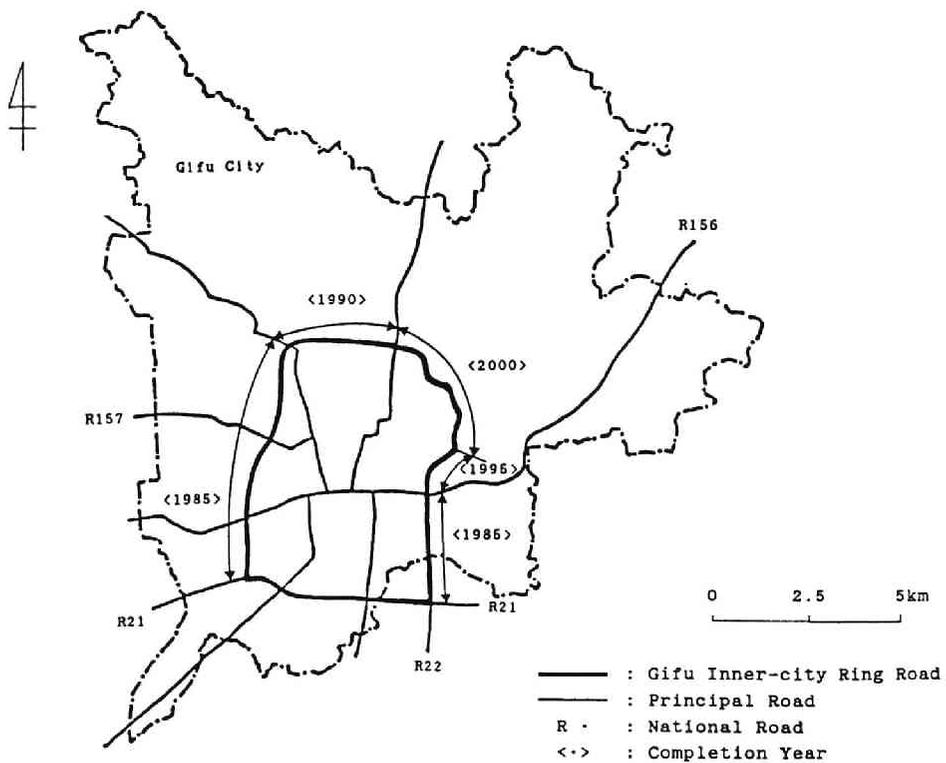


図5.2.2 岐阜環状線の概略図

5-3 社会経済モデルの運用方法

5-3-1 運用手順

本章では、第4章で構築した便益計測モデル（式(4.4.13)における消費者余剰型）を用いて交通プロジェクトの便益を計測する。その際、当該モデルへの入力データとしてプロジェクト有無の両場合の社会経済状態を知る必要があるが、これに対して便益計測モデルの誘導に用いた社会経済モデル〔第2章で構築〕を適用し、プロジェクトによる社会経済変化の予測とプロジェクト便益の計測を統一的行う。便益計測の段階を含めた社会経済モデルの運用手順（便益計測の手順）を図5.3.1に示す。なお、社会経済モデルの適用に際し、操作性を考慮してモデル構造を以下のように修正する。

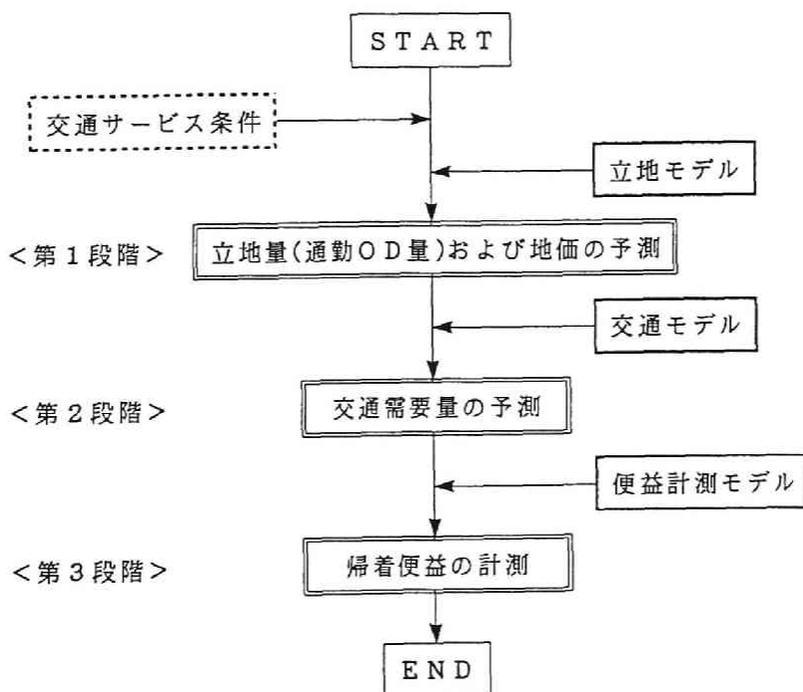


図5.3.1 便益計測の手順

便益計測の手順は大きく3段階に分かれている。前2段階では社会経済予測を行うが、市場均衡の「速さ」の違いにより2段階に分かれている。第1段階ではSlow-Equilibriumの立地均衡を扱い、交通サービスを与件として、立地モデルを用いて立地量（通勤OD量）と地価を予測する。第2段階ではFast-Equilibriumの交通均衡を扱い、交通サービスおよび立地量を与件として、交通モデルを用いて交通需要量を予測する。そして、第3段階では、税率（土地保有税率，燃料税率）を与件として、便益計測モデルを用いてプロジェクト便益を計測する。

このうち第1段階における通勤OD量の予測については、次のような3段階推定法を提案する（図5.3.2）。図5.3.2の解説に示す各ステップは、就業者の通勤パターンの変化を次のように3段階に分けて解釈したものである。

ステップ1）企業が各業務地の従業者数を決める。

ステップ2）就業者が企業の都合（転勤等）で仮想的に勤務地を替える。ただし、居住地固定とする。

ステップ3）就業者が住環境（通勤時間等）を考慮して居住地を替える。ただし、勤務地固定とする。

この解釈は、交通需要予測にしばしば用いられる4段階推定法のように、予測を容易、かつ安定的に行うための便宜的なものである。

以上の手順のうち、第1段階・ステップ1の業務立地モデル，同・ステップ3の住宅立地モデル，および第2段階の交通モデルについて、それぞれの内容を以下に述べる。

	勤務地		(a)ステップ°1-1
居住地	$N_{i_g}^{(t)}$	$Y_1^{(t)}$: $Y_j^{(t)}$:	
	$X_1^{(t)} \dots X_g^{(t)} \dots$	$Q^{(t)}$	

	勤務地		(b)ステップ°1-2
居住地	$N_{i_g}^{(t)}$	$Y_1^{(t)}$: $Y_j^{(t)}$:	
	$X_1^{(t+1)} \dots X_h^{(t+1)} \dots$	$Q^{(t+1)}$	

	勤務地		(c)ステップ°2-1
居住地	$N_{i_g}^{(t)}$	$Y_1^{(t+1)'}$: $Y_j^{(t+1)'}$:	
	$X_1^{(t+1)} \dots X_h^{(t+1)} \dots$	$Q^{(t+1)}$	

	勤務地		(d)ステップ°2-2
居住地	$N_{i_h}^{(t+1)'}$	$Y_1^{(t+1)'}$: $Y_j^{(t+1)'}$:	
	$X_1^{(t+1)} \dots X_h^{(t+1)} \dots$	$Q^{(t+1)}$	

	勤務地		(e)ステップ°3
居住地	$N_{j_h}^{(t+1)}$	$Y_1^{(t+1)}$: $Y_j^{(t+1)}$:	
	$X_1^{(t+1)} \dots X_h^{(t+1)} \dots$	$Q^{(t+1)}$	

図5.3.2
通勤OD量の予測手順

< 図5.3.2の解説 >

【通勤OD量の3段階推定法】

- ステップ1) 将来の各勤務地の従業者数（労働需要量）を業務立地モデルにより求め、現在の通勤OD表（図5.3.2(a)）に代入する。すなわち、図5.3.2(b)において斜線で囲んだ部分がそれである。
- ステップ2) 将来の従業者数を代入した現在の通勤OD表（図5.3.2(b)）に対し、労働需給バランスの観点から修正する。まず、各居住地の就業者数の合計が総労働者数に一致するようにその誤差を比例配分する（図5.3.2(c)）。次に、各居住地の就業者数（労働供給量）および各勤務地の従業者数（労働需要量）を固定して、通勤OD量を現在パターン法（フレーター法）によって修正する（図5.3.2(d)）。この通勤OD量の変化を就業者の仮想的な勤務地替え行動として捉える。
- ステップ3) フレーター法によって修正した通勤OD表（図5.3.2(d)）に住宅立地モデルを適用し、将来の通勤OD表（図5.3.2(e)）を求める。なお、この住み替えにおいて、各就業者の勤務地は変わらないものとする。以上の結果、地価、通勤費用等の立地条件が変化するので、それを次期の初期条件としてステップ1に戻る。
-

5-3-2 業務立地モデル

(1) 業務立地行動の定式化

第1段階・ステップ1で用いる業務立地モデルは、2-3-2で構築した私企業の行動モデルに基づくが、ここでは予測精度の向上を図るために事業所分布の予測を介さず直接従業者分布の予測ができるモデル構造に変更する。また、業種ごとの立地行動の類似性を考慮し、業種別にモデルを設定する。そこで、2-3-2で構築した2段階構造を修正し、従業者ベースで捉えた業務立地行動を次のように定式化する。

【レベル1（利潤最大化行動）の定式化】

私企業の生産関数を対数線形関数で仮定し、私企業が任意の業務地に立地した場合の利潤最大化行動を次のように定式化する。

$$\max_{Z_{kj}, A_{kj}, X_{kj}, L_{kj}} q_k Z_{kj} - \{R_j A_{kj} + p'_j X_{kj} + (2\rho_j / \lambda_{kj} + w_{kj}) L_{kj}\} \quad (5.3.1.a)$$

$$s.t. Z_{kj} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln A_{kj} + \alpha_2 \ln X_{kj} + \alpha_3 \ln [L_{kj} - t_j X_{kj}] \quad (5.3.1.b)$$

ただし、

Z_{kj} : 合成財生産量 [円]

A_{kj} : 業務地需要量 [m^2]

X_{kj} : 業務交通需要量 [トリップ°]

L_{kj} : 労働需要量 [分]

λ_{kj} : 一従業者の労働供給量 [分/人]

q_k : 合成財の価格 ($\equiv 1$)

R_j : 業務地地価 [円/ m^2]

p'_j : 交通費用 (物の輸送費用) [円/トリップ°]

ρ_j : 通勤費用 [円/トリップ°]

w_{kj} : 従業者の賃金率 [円/分]

t_j : 交通時間 [分/トリップ°]

$\alpha_0 \sim \alpha_3$: 未知のパラメータ

k, j : 業種 k , 業務地 j

ここで、式(5.3.1)の最適化問題を解いて導かれる交通需要関数が一般の交通モデルで用いられているような重力モデル型の関数形になるためには、まず業務交通需要量を X_{kj}^{00} のようにOD交通量の形で設定する必要があるが、そのときの効用関数の特定化が非常に難しい。逆に、効用関数の特定化ならびに重力モデルの誘導が可能であっても、この作業にどれほどの統計学的重要性があるのか疑問である。そこで、本研究では、業務立地モデルに組み込まれる業務交通需要量は上記のような単純形とし、交通需要予測に用いる交通モデルは重力モデル型で別途に特定化して推定する。なお、住宅立地モデルにおける自由交通需要量についても同様に扱う。

式(5.3.1)の最適化問題の解は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} Z_{kj}^* = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln \alpha_1 + \alpha_2 \ln \alpha_2 + \alpha_3 \ln \alpha_3 + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \ln q_k \\ & - \alpha_1 \ln R_j - \alpha_2 \ln [p'_{ij} + t_j (2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj})] \\ & - \alpha_3 \ln [2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj}] \end{aligned} \quad (5.3.2.a)$$

$$A_{kj}^* = \alpha_1 q_k / R_j \quad (5.3.2.b)$$

$$X_{kj}^* = \alpha_2 q_k / \{p'_{ij} + t_j (2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj})\} \quad (5.3.2.c)$$

$$\begin{aligned} L_{kj}^* = & \alpha_2 q_k t_j / \{p'_{ij} + t_j (2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj})\} \\ & + \alpha_3 q_k / (2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj}) \end{aligned} \quad (5.3.2.d)$$

式(5.3.2.a)～式(5.3.2.d)を式(5.3.1.a)に代入することにより、私企業の利潤関数が得られ、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Pi_{kj} = & \alpha_k q_k - \alpha_1 q_k \ln R_j - \alpha_2 q_k \ln [p'_{ij} + t_j (2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj})] \\ & - \alpha_3 q_k \ln [2\rho_j / \ell_{kj} + w_{kj}] \end{aligned} \quad (5.3.3.a)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \alpha_k = & \alpha_0 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 + \alpha_1 \ln \alpha_1 + \alpha_2 \ln \alpha_2 + \alpha_3 \ln \alpha_3 \\ & + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \ln q_k \end{aligned} \quad (5.3.3.b)$$

【レベル2（エントロピー最大化行動）の定式化】

2-3-2で構築した私企業の行動モデルは、事業所レベルの立地行動をモデル化し

たものである。しかし、一事業所の利潤や従業者数はその規模によって異なり、さらにその規模は業種に依存しないため、従業者分布を予測する際に事業所分布の予測を介すると、予測精度の低下が懸念される。ここでは、各ゾーンへの業務立地を従業者ベースで捉えるために、従業者分布が私企業グループのエントロピー最大化行動の結果として配分される利潤に比例するものと仮定し、その分布状態を次のように定式化する。

$$\max_{P_{kj}} S_k = \sum_j \left\{ P_{kj} \Pi_{kj} - \frac{1}{\omega} P_{kj} (\ln P_{kj} - 1) \right\} \quad (5.3.4.a)$$

$$\text{s.t. } \sum_j P_{kj} = 1 \quad (5.3.4.b)$$

ただし、

- S_k : 業務立地分布のエントロピー
- P_{kj} : 業務立地の分布確率
- ω : ランダム誤差の分散パラメータ
- k, j : 業種 k , 業務地 j

式(5.3.4)の最適化問題の解は、次式で与えられる。

$$P_{kj}^* = \frac{\exp \omega \Pi_{kj}}{\sum_i \exp \omega \Pi_{ki}} \quad (5.3.5.a)$$

$$S_k^* = \frac{1}{\omega} (\ln \sum_i \exp \omega \Pi_{ki} + 1) \quad (5.3.5.b)$$

一方、各ゾーンにおける労働需給バランスは、次式で表される。

$$N_{kj} \lambda_{kj} = P_{kj} L_{kj} \quad (5.3.6)$$

ただし、

- N_{kj} : 労働供給量 [人]
- λ_{kj} : 一従業者の労働供給量 [分/人]
- L_{kj} : 労働需要量 [分]

k, j : 業種 k , 業務地 j

ここで、従業者ベースで捉えた業務立地確率を次式で定義する。

$$Q_{kj} \equiv N_{kj} / N_k \quad (5.3.7)$$

ただし、

N_k : 業種 k の総従業者数

式(5.3.7)は、式(5.3.5.a)および式(5.3.6)より、次のように展開される。

$$Q_{kj} = \frac{\exp[\omega \Pi_{kj} + \ln[L_{kj}/l_{kj}]]}{\sum_i \exp[\omega \Pi_{ki} + \ln[L_{ki}/l_{ki}]]} \quad (5.3.8.a)$$

$$\equiv \frac{\exp \omega (\Pi_{kj} + \alpha_4 \ln[L_{kj}/l_{kj}])}{\sum_i \exp \omega (\Pi_{ki} + \alpha_4 \ln[L_{ki}/l_{ki}])} \quad (5.3.8.b)$$

ただし、

α_4 : 未知のパラメータ

(2) 土地市場均衡を考慮した業務立地モデル

一般に、土地需要者や土地供給者の行動は、いずれも独立に存在し得るものではなく、土地市場において相互に影響しながら顕在化するものである。そして、この両者の間を媒介するものは地価（あるいは地代）であると考えられる。本研究では、このような土地市場均衡を考慮した立地モデルとして、2-補で構築した立地モデルを適用し、地価を内生化した業務立地モデルを構築する。なお、データ収集上の問題で、土地の価格を地代ではなく、それが資本還元された地価で表すが、後の便益計測においては『地価×10%＝年間地代』として扱う。

各業務地の土地市場に出現する需要量 D_j は、立地企業の需要量とその他の社会経済活動の需要量の合計と考え、次式で与える。

$$D_j = \sum_k P_{kj} A_{kj} + \frac{\theta_1 + \theta_2 S E_j}{R_j} \quad (5.3.9)$$

ただし、

$S E_j$: 業務地 j の社会経済指標

θ_1, θ_2 : 未知のパラメータ

ここで、式(5.3.9)の右辺第2項の関数型については簡略表現してあり、この部分の土地需要量は社会経済指標に比例、地価に反比例するものと仮定している。

土地供給量 S_j は、次式のように各業務地の供給可能面積 K_j で与える。

$$S_j = K_j \quad (5.3.10)$$

ここで、土地市場均衡条件『 $D_j = S_j$ 』より、次式が得られる。

$$\sum_k P_{kj} A_{kj} + \frac{\theta_1 + \theta_2 S E_j}{R_j} = K_j \quad (5.3.11)$$

式(5.3.2.b)と式(5.3.6)を式(5.3.11)に適用すると、業務地地価関数が次のように誘導される。

$$R_j = \frac{\theta_1 + \theta_2 S E_j + \theta_3 N_{kj} l_{kj} / L_{kj}}{K_j} \quad (5.3.12)$$

ただし、

θ_3 : 未知のパラメータ

一方、従業者ベースで捉えた業務立地量は、式(5.3.7)より次式で与えられる。

$$N_{kj} = N_k Q_{kj} [R_j] \quad (5.3.13)$$

本研究では、式(5.3.12)と式(5.3.13)の連立方程式体系により、土地市場均衡を考慮した業務立地モデルとする。

5-3-3 住宅立地モデル

(1) 住宅立地行動の定式化

第1段階・ステップ3で用いる住宅立地モデルは、2-3-1で構築した世帯の行動モデルに基づく。ここで、2-3-1で記述した3段階構造について、以下のように具体的に定式化する。

【レベル1（効用最大化行動）の定式化】

世帯の効用関数を線形関数で仮定し、勤務地 h の世帯がゾーン j に居住した場合の効用最大化行動を次のように定式化する。

$$\begin{aligned} \max. \quad U_{jh} = & \alpha_1 \ln a_{jh} + \alpha_2 \ln s_{jh} + \alpha_3 \ln x_{jh} + \alpha_4 \ln \chi_{jh} & (5.3.14.a) \\ & + \alpha_5 \ln z_{jh} + \alpha_6 \ln S E_j \\ \text{a}_{jh}, \ell_{jh}, s_{jh}, & \\ x_{jh}, \chi_{jh}, z_{jh} & \end{aligned}$$

$$\text{s.t.} \quad r_j a_{jh} + p_j x_{jh} + p_z z_{jh} = y_h + w_h \ell_{jh} - g \quad (5.3.14.b)$$

$$s_{jh} + t_j x_{jh} + \tau_{jh} \chi_{jh} + \ell_{jh} = T \quad (5.3.14.c)$$

ただし、

U_{jh} : 住宅立地に関する効用

a_{jh} : 住宅地需要量 [m^2]

ℓ_{jh} : 労働供給量 [分]

s_{jh} : 余暇需要量 [分]

x_{jh} : 自由交通需要量 [トリップ°]

χ_{jh} : 通勤交通需要量 [トリップ°]

z_{jh} : 合成財需要量 [円]

$S E_j$: 社会経済指標

r_j : 住宅地地価 [円/ m^2]

p_j : 交通費用（人の輸送費用） [円/トリップ°]

p_z : 合成財の価格 ($\equiv 1$)

t_j : 交通時間 [分/トリップ°]

τ_{jh} : 通勤時間 [分/トリップ°]

y_h : 資産所得 [円]

w_h : 賃金率 [円/分]

g : 一括固定税 [円]

T : 総利用可能時間 [分]
 $\alpha_1 \sim \alpha_4$: 未知のパラメータ
h, j : 勤務地 h, 居住地 j

ここで、2-3-1で述べたように、労働時間 l_{jh} は効用関数に含まないこととする。
式(5.3.14)の最適化問題の解は、次式で与えられる。

$$a_{jh}^* = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \cdot \frac{y_h + w_h T - g}{r_j} \quad (5.3.15.a)$$

$$s_{jh}^* = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \cdot \frac{y_h + w_h T - g}{w_h} \quad (5.3.15.b)$$

$$x_{jh}^* = \frac{\alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \cdot \frac{y_h + w_h T - g}{p_j + w_h t_j} \quad (5.3.15.c)$$

$$\chi_{jh}^* = \frac{\alpha_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \cdot \frac{y_h + w_h T - g}{\tau_{jh}} \quad (5.3.15.d)$$

$$z_{jh}^* = \frac{\alpha_5}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \cdot \frac{y_h + w_h T - g}{p_z} \quad (5.3.15.e)$$

$$l_{jh}^* = T - \tau_{jh} \chi_{jh}^* - s_{jh}^* - t_j x_{jh}^* \quad (5.3.15.f)$$

ここで、第2章で述べたように、 $\chi_{jh} \equiv 2$ [トリップ/日]と定義する。また、式(5.3.15.a)~(5.3.15.e)の需要関数を式(5.3.14.a)に代入することにより、世帯の間接効用関数が得られ、次式で与えられる。

$$V_{jh} = \alpha_h - \alpha_1 \ln r_j - \alpha_2 \ln w_h - \alpha_3 \ln [p_j + w_h t_j] \\ - \alpha_4 \ln \tau_{jh} - \alpha_5 \ln p_z + \alpha_6 \ln S E_j \quad (5.3.16.a)$$

ただし、

$$\alpha_h = \alpha_1 \ln \alpha_1 + \alpha_2 \ln \alpha_2 + \alpha_3 \ln \alpha_3 + \alpha_4 \ln \alpha_4 + \alpha_5 \ln \alpha_5 \\ - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5) \ln [\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5] \\ + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5) \ln [y_h + w_h T - g] \quad (5.3.16.b)$$

【レベル2（住み替える場合の立地選択行動）の定式化】

世帯の住み替え便益を現住地*i*と住み替え代替案*j*の立地効用の差で与え、次のように定義する。

$$V_{j,i,hB} \equiv V_{j,h} - V_{i,h}, \quad (j \neq i) \quad (5.3.17)$$

ここで、式(5.3.16.a)の右辺第1項(α_1)、第3項($-\alpha_2 \ln w_h$)、および第6項($-\alpha_5 \ln p_i$)は、どの居住地についても同じ値であるため、式(5.3.17)において消去される。したがって、式(5.3.17)で住み替え便益を定義する限りにおいては、式(5.3.16.a)と次式は同値である。

$$V_{j,h} \equiv -\alpha_1 \ln r_j - \alpha_2 \ln [p_j + w_h t_j] - \alpha_3 \ln \tau_{j,h} + \alpha_4 \ln S E_j \quad (5.3.18)$$

そして、ランダム効用理論に従って、世帯の住み替える場合の立地選択行動を次のようにLogitモデルで確率的に表現する。

$$P_{j,i,hB} = \frac{\exp \omega_2 V_{j,i,hB}}{\sum_k \exp \omega_2 V_{k,i,hB}}, \quad (j \neq i) \quad (5.3.19)$$

ただし、

- $V_{j,i,hB}$: ゾーン*j*に住宅立地する場合の便益
- $P_{j,i,hB}$: ゾーン*j*に住宅立地する場合の確率
- ω_2 : 誤差項の分散パラメータ
- i, h, B : 居住地*i*, 勤務地*h*, 住み替える場合*B*

【レベル3（住み替え行動）の定式化】

住み替えない場合の効用は現住地の立地効用と住み替えに対する閾値で与え、一方、住み替える場合の効用は住み替え代替案集合から得られる最大期待効用で与え、それぞれ次のように定義する。

$$V_{h,i,h} \equiv V_{i,i,hB} + \delta \quad (5.3.20.a)$$

$$V_{B,ih} \equiv \frac{1}{\omega_2} \ln \sum_k \exp \omega_2 V_{k,ihB}, \quad (k \neq i) \quad (5.3.20.b)$$

ただし、

- $V_{A,ih}$: 住み替えない場合Aの効用
- $V_{B,ih}$: 住み替える場合Bの効用
- $V_{k,ihB}$: レベル2の住み替えに関する間接効用関数
- δ : 住み替えに対する閾値
- i, h : 居住地 i , 勤務地 h

そして、ランダム効用理論に従って、世帯の住み替え行動を次のようにLogitモデルで確率的に表現する。

$$P_{A,ih} = \frac{\exp \omega_1 V_{A,ih}}{\exp \omega_1 V_{A,ih} + \exp \omega_1 V_{B,ih}} \quad (5.3.21.a)$$

$$P_{B,ih} = 1 - P_{A,ih} \quad (5.3.21.b)$$

ただし、

- $P_{A,ih}$: 住み替えない場合Aの確率
- $P_{B,ih}$: 住み替える場合Bの確率
- ω_1 : 誤差項の分散パラメータ
- i, h : 居住地 i , 勤務地 h の世帯

したがって、式(5.3.19)および式(5.3.21)より、世帯の住宅立地行動は次のようにNested-Logitモデルで確率的に表現できる。

$$P_{j,ih} = \begin{cases} P_{j,ihB} P_{B,ih}, & (j \neq i) \\ P_{A,ih}, & (j = i) \end{cases} \quad (5.3.22)$$

ただし、

- $P_{j,ih}$: 居住地 i ・勤務地 h の世帯がゾーン j に住宅立地する確率

(2) 土地市場均衡を考慮した住宅立地モデル

業務立地モデルと同様に、土地市場均衡を考慮した住宅立地モデルを構築する。このとき、各居住地の土地市場に出現する需要量 D_j は立地世帯の需要量とその他の社会経済活動の需要量の合計で与え、一方、供給量 S_j は各居住地の供給可能面積 k_j で与えるならば、土地市場均衡条件 $D_j = S_j$ より、次式が得られる。

$$\sum_h \sum_i P_{j,ih} N_{ih} a_{jh} + \frac{\theta_1 + \theta_2 S E_j}{r_j} = k_j \quad (5.3.23)$$

式(5.3.23)に式(5.3.15.a)を代入すると、住宅地地価関数が次のように誘導される。

$$r_j = \frac{\theta_1 + \theta_2 S E_j + \theta_3 \sum_h (y_h + w_h T - g) N_{jh}}{k_j} \quad (5.3.24.a)$$

ただし、

$$N_{jh} = \sum_i N_{ih} P_{j,ih} [r_j] \quad (5.3.24.b)$$

また、

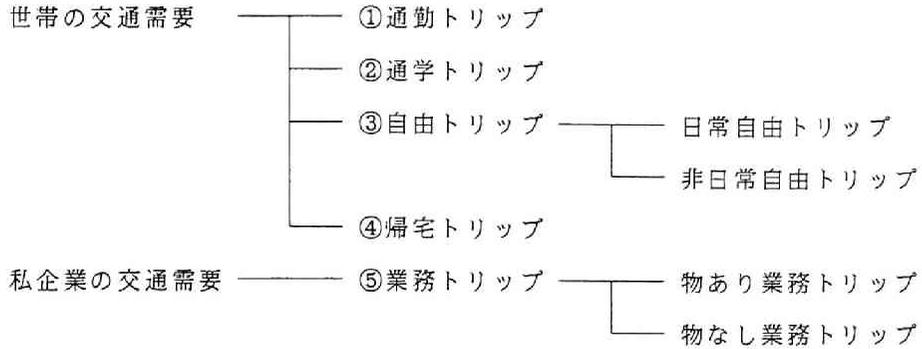
N_{ih} : 住み替え前の通勤OD量

N'_{jh} : 住み替え後の通勤OD量

本研究では、式(5.3.24.a)と式(5.3.24.b)の連立方程式体系により、土地市場を考慮した住宅立地モデルとする。

5-3-4 交通モデル

世帯と私企業の交通需要を次のように分類する。



以上の各トリップ目的交通需要に対し、次のような交通需要モデルを設定する。

$$XG_0 = \exp \alpha_0 \cdot Y1_0^{\alpha_1} \cdot Y2_0^{\alpha_2} \quad (5.3.25.a)$$

$$XA_0 = \exp \beta_0 \cdot Y1_0^{\beta_1} \cdot Y2_0^{\beta_2} \quad (5.3.25.b)$$

$$XD_{00} = \frac{\exp \gamma_0 \cdot (XG_0 \cdot XA_0)^{\gamma_1}}{t_{00}^{\gamma_2}} \quad (5.3.25.c)$$

ただし、

- XG_0 : ゾーンOの発生交通量 (交通需要量)
- XA_0 : ゾーンDの集中交通量 (")
- XD_{00} : ゾーンOD間の分布交通量 (")
- ($\sum_0 XD_{00} = XG_0$, $\sum_0 XD_{00} = XA_0$)
- t_{00} : ゾーンOD間の交通時間
- $Y1_0$: 各ゾーンの夜間人口
- $Y2_0$: 各ゾーンの第3次産業従業者数
- $\alpha_0 \sim \alpha_2$, $\beta_0 \sim \beta_2$, $\gamma_0 \sim \gamma_2$: 未知のパラメータ

5-4 社会経済モデルの推定

5-4-1 業務立地モデルの推定

(1) 総従業者数予測モデルの推定

5-3-2で述べた業務立地モデルを運用する際、各業種の総従業者数を外生変数として与える必要がある。この推定方法としてI/O分析による方法等が挙げられるが、ここで検討するプロジェクトが岐阜都市圏の総従業者数を大きく変化させるほどの規模であるとは思われないので、次のような簡単な時系列モデルを用いて予測することとした。

$$N_k = \alpha_0 + \alpha_1 T \quad (5.4.1)$$

ただし、

T : 予測年〔西暦年〕

α_0, α_1 : 未知のパラメータ

ここで、4回の国勢調査(1970~1985)のデータを用いて、式(5.4.1)の総従業者数予測モデルを推定した(表5.4.1)。推定結果より、農林水産業と鉱業において減少傾向がみられる。公務においても減少傾向がみられるが、推定パラメータの統計的信頼性が低い。なお、2000年以降は一定値とした。

(2) 業務立地モデルの推定

式(5.3.8.b)で与えられる業務立地モデルは式(5.3.2.d)の代入により非線形関数となり、モデルの推定作業が複雑になる。そこで、Taylor展開により線形関数に近似させた次のモデルを用いた。

$$N_{kj} = N_k \frac{\exp \omega (\Pi_{kj} + A)}{\sum_i \exp \omega (\Pi_{ki} + A)} \quad (5.4.2.a)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \Pi_{kj} = & \alpha_k - \alpha_1 \ln R_j - \alpha_2 \ln [p'_{ij} + t_{kj} (2 \rho_j / \lambda_{kj} + w_{kj})] \\ & - \alpha_3 \ln [2 \rho_j / \lambda_{kj} + w_{kj}] \end{aligned} \quad (5.4.2.b)$$

$$A = \alpha_4 \ln t_j + \alpha_5 B - \alpha_6 B^2 \quad (5.4.2.c)$$

$$B = \frac{p'_{kj} + t_j(2\rho_j/\lambda_{kj} + w_{vj})}{t_j(2\rho_j/\lambda_{kj} + w_{kj})} \quad (5.4.2.d)$$

また、

α_k : 都心（岐阜市）ダミー変数

$\alpha_1 \sim \alpha_6$: 未知のパラメータ

ここで、国勢調査(1985)等のデータを用いて、式(5.4.2)の業務立地モデルを推定した(表5.4.2)。推定結果より、農林水産業と鉱業を除くすべての業種において都心へ集中する傾向がみられる。ただし、この2業種のモデルの予測精度は特に低い。なお、式(5.4.2.b)の利潤関数 Π_{kj} は、式(5.3.3.a)において $q_k \equiv 1$ としたものである。

(3) 業務地地価関数の推定

地価の時系列予測に対する信頼性(精度)を上げるために、式(5.3.12)の業務地地価関数に物価変動等の総合的指標としての時間変数を組み込み、次のような地価関数を定義した。

$$R_j = \frac{(\theta_1 + \theta_1^t T) + (\theta_2 + \theta_2^t T) N_{kj} \lambda_{kj} / L_{kj}}{K_j} \quad (5.4.3)$$

ただし、

$\theta_1, \theta_2, \theta_1^t, \theta_2^t$: 未知のパラメータ

ここで、14年間の公示地価(1975~1988)等のデータを用いて、式(5.4.3)の地価関数を推定した(表5.4.3)。

5-4-2 住宅立地モデルの推定

(1) 効用関数の推定

式(5.3.18)および式(5.3.20)で表される効用関数の推定結果は、表5.4.4.a~表5.4.4.bに示すとおりである。推定結果より、 $0 \leq 1/\omega_2 \leq 1$ であることがわかる

が、このことは5-3-1で構築した住み替え行動の意思決定ツリー構造が正しいことを示している。なお、住宅立地モデルの推定には住宅需要実態調査(1983)等のデータを用いた。

(2) 住宅地地価関数の推定

業務地地価関数と同様に、住宅地地価関数に物価変動等の総合的指標としての時間変数を組み込み、次のような地価関数を定義した。

$$r_j = \frac{(\theta_1 + \theta_1' T) + (\theta_2 + \theta_2' T) N_j}{k_j} \quad (5.4.4)$$

ただし、

$\theta_1, \theta_2, \theta_1', \theta_2'$: 未知のパラメータ

ここでも業務地地価関数と同様に、14年間の公示地価(1975~1988)等のデータを用いて、式(5.4.4)の地価関数を推定した(表5.4.5)。この推定結果は、パラメータ θ_1 と θ_1' の推定値に対する統計的信頼性が低かったため、これらを除いて再推定した結果である。

5-4-3 交通モデルの推定

式(5.3.25.a)~式(5.3.25.c)で表される交通モデルの推定結果は、表5.4.6.a~表5.4.6.cに示すとおりである。なお、交通モデルの推定には、第2回中京都市圏パーソントリップ調査(1981)等のデータを用いた。

表5.4.1 総従業者数予測モデルの推定結果

	農林 水産業	鉱業	建設業	製造業	電気ガス 水道業	運輸 通信業
α_0	3132800 (8.242)	19748 (2.009)	-1209700 (2.702)	-2585500 (1.778)	-29419 (1.639)	-420810 (2.766)
α_1	-1562.7 (8.140)	-9.6 (1.934)	634.9 (2.808)	1408.3 (1.917)	16.3 (1.798)	225.7 (2.931)
相関係数	0.970	0.578	0.775	0.572	0.528	0.792

	卸売 小売業	金融 保険業	不動産業	サービス 業	公務
α_0	-3587400 (2.584)	-739870 (42.30)	-67248 (6.464)	-5062200 (15.51)	37101 (0.527)
α_1	1874.6 (2.673)	381.1 (43.14)	35.1 (6.681)	2603.5 (15.80)	-11.4 (0.321)
相関係数	0.754	0.999	0.956	0.992	0.814

注) ()内の数値はt値

表5.4.3

業務地地価関数の推定結果

θ_1	-47606 (6.161)
θ_1^t	24.188 (6.198)
θ_2	-9.498×10^{-2} (3.763)
θ_2^t	4.849×10^{-5} (3.804)
相関係数	0.825

注) ()内の数値はt値

表5.4.5

住宅地地価関数の推定結果

θ_1	_____
θ_1^t	_____
θ_2	-23301 (13.35)
θ_2^t	11.82 (13.41)
相関係数	0.834

注) ()内の数値はt値

表5.4.2 業務立地モデルの推定結果

	農林 水産業	鉱業	建設業	製造業	電気ガス 水道業	運輸 通信業
α_k	-93.019 (2.806)	-140.62 (2.653)	164.25 (4.620)	121.94 (2.809)	13.646 (2.123)	88.164 (2.922)
α_1	0.76108 (3.592)	1.4245 (2.698)	1.1486 (7.634)	1.1990 (6.945)	2.2888 (2.990)	1.9223 (9.723)
α_2	134.92 (2.821)	341.30 (2.683)	159.63 (4.631)	108.25 (2.778)	207.35 (2.153)	140.87 (2.944)
α_3	138.95 (2.982)	327.62 (2.651)	159.54 (4.753)	106.49 (2.805)	208.86 (2.234)	137.93 (2.967)
α_4	133.35 (2.759)	348.96 (2.715)	159.76 (4.586)	109.10 (2.770)	209.20 (2.152)	142.50 (2.948)
α_5	189.08 (2.796)	468.90 (2.638)	223.71 (4.601)	154.89 (2.811)	285.36 (2.123)	195.44 (2.923)
α_6	64.683 (2.775)	156.10 (2.574)	76.525 (4.586)	53.971 (2.842)	97.104 (2.118)	66.145 (2.901)
相関係数	0.374	0.212	0.676	0.563	0.497	0.701

	卸売 小売業	金融 保険業	不動産業	サービ ス業	公務
α_k	127.84 (3.180)	117.14 (2.696)	139.42 (1.490)	69.772 (4.404)	25.228 (7.168)
α_1	1.8515 (12.638)	2.8470 (9.457)	2.2510 (8.690)	1.4124 (9.625)	1.1870 (10.004)
α_2	103.73 (3.166)	200.46 (2.683)	97.180 (1.514)	155.60 (4.402)	192.15 (7.168)
α_3	103.76 (3.248)	197.28 (2.720)	91.075 (1.461)	153.57 (4.471)	189.16 (7.241)
α_4	103.99 (3.141)	202.38 (2.682)	99.807 (1.539)	157.51 (4.382)	193.67 (7.148)
α_5	147.74 (3.181)	281.52 (2.700)	132.97 (1.484)	217.02 (4.393)	270.71 (7.142)
α_6	51.327 (3.201)	95.710 (2.692)	44.719 (1.464)	73.844 (4.382)	93.051 (7.126)
相関係数	0.793	0.663	0.650	0.738	0.795

注) ()内の数値はt値

表5.4.4.a 効用関数の推定結果（レベル2）

	説明変数	
α_1	\ln [住宅地地価[円/m ²]]	0.514 (3.149)
α_2	\ln [交通費用+賃金率*交通時間[円]]	0.734 (2.074)
α_3	\ln [通勤交通時間[分]]	2.730 (2.485)
$\alpha_{4(1)}$	\ln [世帯数[戸]]	1.316 (2.122)
$\alpha_{4(2)}$	\ln [サービス業の事業所数[個]]	1.554 (2.673)
相関係数		0.924

注) ()内の数値はt値

表5.4.4.b 効用関数の推定結果（レベル3）

	説明変数	
δ	1.0	5.306 (6.329)
$1/\omega_2$	\ln [$\sum_k \exp \omega V_{k,118}$]]	0.514 (2.237)
相関係数		0.942

注) ()内の数値はt値

表5.4.6.a 交通モデルの推定結果（発生交通量）

	通勤トリップ°	通学トリップ°	自由トリップ°	帰宅トリップ°	業務トリップ°
α_0	-1.732 (4.465)	-1.432 (5.242)	-0.969 (1.389)	0.556 (1.300)	0.969 (1.723)
α_1	1.063 (11.33)	0.966 (14.61)	0.669 (3.963)	0.599 (5.785)	0.348 (2.555)
α_2	0.019 (0.255)	-0.041 (0.779)	0.377 (2.837)	0.392 (4.799)	0.555 (5.177)
相関係数	0.991	0.995	0.976	0.990	0.982

注) ()内の数値はt値

表5.4.6.b 交通モデルの推定結果（集中交通量）

	通勤トリップ°	通学トリップ°	自由トリップ°	帰宅トリップ°	業務トリップ°
β_0	-1.091 (1.551)	-0.230 (0.480)	-0.695 (0.843)	-0.079 (0.258)	0.702 (1.075)
β_1	0.595 (3.495)	0.581 (5.021)	0.434 (2.173)	0.932 (12.62)	0.367 (2.325)
β_2	0.439 (3.276)	0.358 (3.920)	0.621 (3.952)	0.078 (1.349)	0.559 (4.492)
相関係数	0.976	0.986	0.971	0.994	0.976

注) ()内の数値はt値

表5.4.6.c 交通モデルの推定結果（分布交通量）

	通勤トリップ°	通学トリップ°	自由トリップ°	帰宅トリップ°	業務トリップ°
γ_0	-9.357 (20.84)	-11.30 (16.79)	-9.375 (16.19)	-10.95 (33.35)	-7.605 (18.06)
γ_1	1.088 (32.35)	1.189 (25.19)	1.012 (25.60)	1.023 (50.34)	0.939 (32.05)
γ_2	0.481 (8.978)	0.712 (8.061)	0.509 (8.667)	0.168 (5.608)	0.479 (9.578)
相関係数	0.934	0.902	0.897	0.969	0.939

注) ()内の数値はt値

5-5 社会経済モデルの予測精度

このケース・スタディでは、5年間を1期として、1990年から2030年（岐阜環状線全線開通後30年）まで毎期のプロジェクト有無両場合の社会経済状態を予測する。本節ではこれに先立ち、5-4で推定した社会経済モデルの予測精度を検討する（表5.5.1）。

表5.5.1に示した1985年の実測値と予測値の相関係数より、鉱業の従業者数と住宅地地価の予測において信頼性が低いが、全体的には十分な予測精度であることがわかる。なお、1985年の社会経済状態（通勤OD量、地価等）の予測には1980年の社会経済状態がもとになっている。また、従業者数は業務立地モデルから業種別に求められるが、就業者数は住宅立地モデルから求められるので業種別に分けられない。

表5.5.1 社会経済モデルの予測精度

	相関係数		相関係数	
従業者数		就業者数	0.995	
農林水産業	0.821	通勤OD量	1.000	
鉱業	0.704	ゾーン内通勤を除く	0.987	
建設業	0.969	地 価		
製造業	0.888		業務地	0.901
電気ガス水道業	0.973		住宅地	0.739
運輸通信業	0.941	注) 相関係数とは1985年の実測値と 予測値の相関係数		
卸売小売業	0.985			
金融保険業	0.983			
不動産業	0.994			
サービス業	0.966			
公務	0.978			

5-6 帰着便益連関表の作成

岐阜環状線建設のプロジェクトライフを全線開通後30年間と仮定し、第4章で構築した便益計測モデルを用いて、部分的供用開始の1985年からプロジェクトライフ終了の2030年までの間に発生する便益を計測し、その結果を1985年現在価値換算（社会的割引率5%）して帰着便益連関表にまとめる（表5.6.1）。なお、岐阜環状線は主要地方道（通行料不要）であるため、第4章で作成した帰着便益連関表（表4.4.1）は表5.6.1のように単純化される。また、この便益計測は with and without 分析に基づいているため、ここでプロジェクト無の状態を1985年の交通サービスレベルで定義する。そして、5-4で推定した社会経済モデルによりプロジェクト有無両場合の社会経済状態を予測し、この値を便益計測モデルの入力データとする。

表5.6.1より、当該プロジェクトの社会的純便益は18億円、費用便益比は1.03であることがわかる。この数値は当該プロジェクトが社会的効率性の基準を一応クリアしていることを示しているが、非常にクリティカルな状況であるため、さらにリスク分析の実施が必要となり、その結果が重要な判断材料になるであろう。各部門の帰着便益のシェアについては、世帯が8.2%（4.6/56.2）、私企業が3.7%（2.1/56.2）、不在地主が71.5%（40.2/56.2）という具合に、部門間に大きな差がみられる。また、世帯便益の79.8%（23.7/29.7）と私企業便益の87.5%（23.2/26.5）が不在地主便益に移転するが、不在地主は帰着便益の14.3%（6.7/46.9）を固定資産税として還元するにすぎない。したがって、社会的公平性の観点より、当該プロジェクトは開発利益還元等の財源政策と併せて実施すべきであろう。

一方、当該プロジェクトによる帰着便益を地域別・部門別にまとめたものが、図5.6.1である。まず、世帯便益についてみると、1, 8, 12の3ゾーンのみにおいて正の便益が帰着している。これは、当該プロジェクトの主な効果が岐阜市に対する南北方向の交通時間の短縮であることによるものと考えられる。プロジェクトが実施された岐阜市に着目すると、住宅地における不在地主便益のシェアが31.1%（6.8/21.9）であり、全体的にみた場合の71.5%（40.2/56.2）に比べて低いことがわかる。これは、岐阜市が比較的 closed city であることを示している。ここで、プロジェクトによる便益の地価への帰着割合は都市のsmall-open度に依存

し、都市が完全にsmall-openである場合には便益はすべて地価に帰着するといわれている [Polinsky and Shavell(1976)] (small-openとは、プロジェクトによるインパクトを直接受ける地域がそうでない地域に比べて小規模(small)で、かつ地域間の人口移動が自由(open)であることを意味する)。しかし、現実の都市はsmall-openとlarge-closedの間にあるため、プロジェクトによる便益の一部が地価に帰属し、残りは利用者便益となる。

次に、私企業便益についてみると、世帯便益の場合とは全く異なり、ゾーン1を除くすべてのゾーンにおいて正の便益が帰着している。また、業務地における不在地主便益はゾーン1のみにおいて正である。プロジェクトが実施された岐阜市における不在地主便益のシェアは627.4%(126.1/20.1)であり、このことはプロジェクトによる業務地地価変動が敏感であることを示している。したがって、開発利益還元方策を考える際、業務地地価の還元割合を高く、住宅地地価の還元割合を低くするのが公平であるといえる。

表5.6.1 帰着便益連関表(部門別・項目別帰着便益)

部 門		世 帯	私企業	不在地主	政 府	合 計
項 目						
道路改善便益		29.7	26.5			56.2
土地資産便益		-23.7	-23.2	46.9		0.0
税 金	ガソリン税	-1.4	-1.2		9.3	0.0
	固定資産税			-6.7		
プロジェクト費用					-54.4	-54.4
合 計		4.6	2.1	40.2	-45.1	1.8

注) 表中の数値は1985年現在価値 [単位: 10億円]

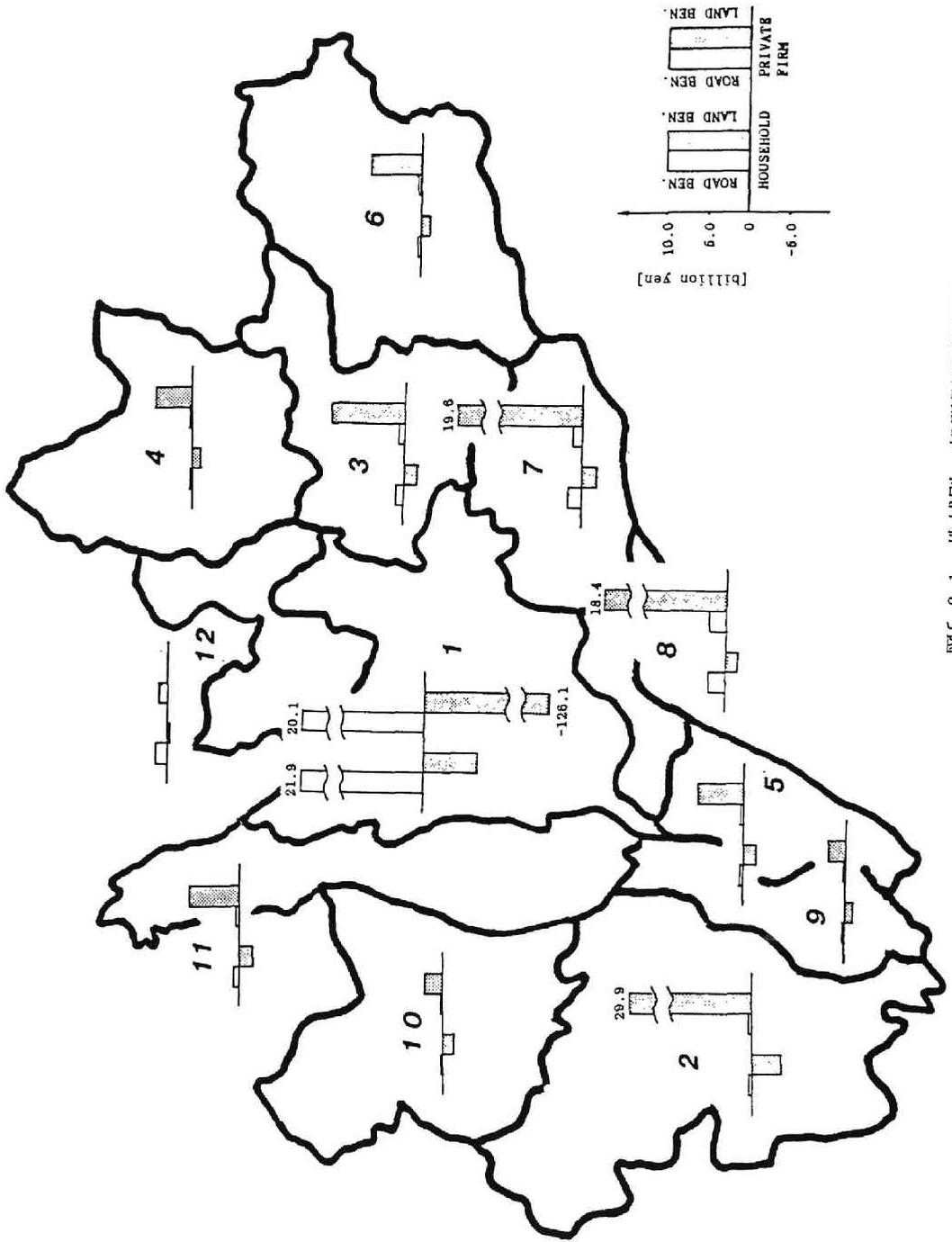


图5.6.1 地域別・部門別利益率

5-7 結 言

現在、わが国で効果的な開発利益還元システムが確立されていないことの原因として、開発利益の①概念規定の問題、②発生時点の特定化の問題、③受益者、受益地域、受益規模の特定化の問題、等が挙げられるが、本章では特に③の問題の解決を目的として、第4章で構築した交通便益計測モデルを用いて交通プロジェクトの地域別・部門別・項目別帰着便益の計測例を示した。

モデルの運用に際し、特に社会経済モデルについては、操作上の容易性という観点から理論モデル〔第2章で構築〕に対して修正を加えたが、予測精度の面で十分な成果を得た。しかし、住み替えODデータと通勤ODデータとの間に整合性が保たれていないというようなデータ整備上の問題を考慮すると、この予測精度が社会経済状態の長期予測に対してどれほどの信頼性を保証してくれるのか問題である。

本研究で構築した交通便益計測モデルの適用結果より、交通プロジェクトによる地域別・部門別・項目別の帰着便益を明示することができ、上記③の問題の解決に一步前進したことになる。しかし、地域・部門・項目の特定化は現在のところ分析者の判断に頼らざるを得ず、このことはプロジェクト評価基準の偏りにつながる恐れがあるため、これらの客観的な特定方法の確立が望まれる。

一方、ケース・スタディより、ここで取り上げた岐阜環状線建設プロジェクトによる便益の不在地主への帰着割合が他の部門（世帯、私企業、政府）のそれと比べて非常に大きいこと、また、当該プロジェクトによる業務地の地価変動が住宅地のそれよりも敏感であること等が明らかになった。このことより、社会的に公平な開発利益還元方策を考える際、不在地主の還元割合を全部門の中で最も高くすること、さらに、その内訳として住宅地地価よりも業務地地価の還元割合を高くすることが望まれる。

参考文献（第5章）

<和文>

伊東 誠：都市内鉄軌道整備の為の新たな財源確保方策に関する研究，土木計画学研究論文集，No.5，pp.163-170，1987.

熊谷尚夫・篠原三代平他：経済学大辞典，東洋経済新報社，1980.

芝原靖典：公共事業にかかわる土地問題の社会システム論的研究，京都大学工学博士学位論文，1991.

<英文>

Hayashi,Y. : Issues in Financing Urban Rail Transit Projects and Value Captures, Transportation Research A, Vol.23A, No.1, pp.35-44, 1989.

Polinsky,A.M. and Shavell,S. : Amenities and Property Values in a Model of an Urban Area, Journal of Public Economics, NO.5, pp.119-129, 1976.

第 6 章 結 論

社会基盤整備等の公共事業による開発利益の受益者、受益地域、受益規模を特定することは、財源調達問題にかかわる開発利益還元システムの確立に対して非常に有用である。本研究では、交通プロジェクトを例に、それら（開発利益の受益者、受益地域、受益規模）を特定できるような便益計測モデルを構築した。モデル構築に際しては、

- ① ランダム効用理論および多地域一般均衡理論に基づく社会経済モデルの構築
- ② 等価的偏差の概念のランダム効用への適用による便益定義の提案
- ③ ①の社会経済モデルと②の便益定義に基づく便益計測モデルの構築

の手順でランダム効用理論による交通便益計測モデルを構築した。ここで、経済学の分野では個人の効用に誤差を考慮した「ランダム効用」そのものを認めないという感があり、これまでの便益の定義およびその計測モデルのほとんどが確定効用に基づいているため、経済主体における価値観の多様性等を考慮したランダム効用理論による交通便益計測モデルの構築は新しい試みである。さらに、この交通便益計測モデルより、経済主体間の交通便益の発生→帰着構造を明示する帰着便益連関表を誘導した。

本研究の結論として得られた成果を以下にまとめる。

【第 2 章 交通プロジェクト効果分析のための社会経済モデル】

第 2 章では、交通便益計測モデルの基礎となる社会経済モデルを構築した。モデル構築に際しては、交通プロジェクトの直接効果のみならず波及効果をも分析できるようにするために多地域一般均衡理論に基づき、便益計測手法として確立されている等価的偏差の概念を応用できるようにするために消費者行動に対して効用理論を適用し、特定の消費者行動（世帯と私企業の行動）に対してはランダム性を含んだ現実的な行動を表現するためにランダム効用理論を用いた。このような社会経済モデルを構築し、さらに本モデルと整合した交通便益計測モデルを構築することにより、経済主体における価値観の多様性や不完全情報下での行動を考慮し、交通プロジェクトの直接便益のみならず波及便益をも計測できるよう

になる。

社会は5部門（世帯、私企業、不在地主、交通企業、政府）と3市場（土地市場、労働市場、合成財市場）で構成されるものと仮定し、次の行動原理

- ・世帯：時間制約および所得制約の下での効用最大化行動を原則とする。なお、立地選択行動はランダム効用理論に基づく。
 - ・私企業：生産技術制約の下での利潤最大化行動を原則とする。なお、立地選択行動はランダム効用理論に基づく。
 - ・不在地主：所得制約および土地供給制約の下での効用最大化行動を原則とする。なお、立地選択は確定されている。
 - ・交通企業：交通利用者からの収入をもとに交通プロジェクトへの投資行動を原則とする。
 - ・政府：各部門からの税収をもとに交通企業への補助行動を原則とする。
- ならびに3市場の均衡条件，私企業の利潤配分条件，交通企業の収支条件，政府の収支条件に基づいて社会経済活動をモデル化した。

ここで構築した社会経済モデルに対して次のような課題が残されている。すなわち、社会経済モデルは全体としては静的であるため、社会経済変化を分析する際にはプロジェクトによる新たな均衡状態への移行が瞬時になされてしまうが、現実には物価上昇、資産価値上昇等はプロジェクトの実施から任意のタイムラグをおいて経年的に発生するものであると考えられるので、モデル構築に際しては時間軸を考慮して動学化を図る必要がある。また、本研究のプロジェクト便益計測が with and without 分析に基づいていることから〔第4章を参照〕、モデルの動学化は便益の動的計測につながるものと考えられる。

【第3章 ランダム効用理論による交通便益定義】

第3章では、交通プロジェクトによる便益を地域分割された都市空間における立地主体の効用の変化から計測するための準備段階として、ランダム効用理論のフレームワークで便益定義を4種類（平均効用を用いた交通便益定義1，同2，中間効用を用いた交通便益定義，最大期待効用を用いた交通便益定義）提案し、これらの理論的妥当性について比較検討した。これについて、世帯効用をランダム効用で仮定しても「個々の世帯」の立地行動が確定的であること等を考慮し、

その結果、最大期待効用を用いた交通便益定義が交通プロジェクトによる便益として適切であることを示した。

本研究の理論展開において簡単化のために2都市モデルに7つの仮定をおいたが、特に仮定〔世帯の住み替え費用はゼロである〕および仮定〔2つの都市の総人口は一定である〕の2仮定は非現実的であるため、本理論を一般的に拡張する際にはこれらによる影響について検討する必要がある。仮定〔世帯の住み替え費用はゼロである〕が成立しない場合、世帯の住み替え行動にブレーキがかかり、住み替え量が減少する。しかし、住み替え費用を所得に組み込み、前述の便益定義に従って交通便益を定義すると、当該費用の有無に関係なく同じ交通便益計測モデルが誘導されることが示される。

一方、仮定〔2つの都市の総人口は一定である〕が成立しない場合、すなわち都市圏内外の交流（人口の流出入）がある場合には、立地均衡条件式の不成立より、本理論が成立しなくなる。このとき、立地均衡条件式に先立ち、都市圏内の交通サービスレベルを説明変数とした総人口供給関数、および総人口と交通サービスレベルを説明変数とした均衡効用レベル関数（総人口需要関数の逆関数）を設定することにより、この問題に対処できるものと考えられる。したがって、これらの仮定は本理論を本質的に覆すものではないといえる。

【第4章 ランダム効用理論による交通便益計測モデル】

第4章で構築した交通便益計測モデルは、交通プロジェクトによる社会経済変化予測と便益計測を統合的に行うことを目的とし、一般均衡理論に基づいた社会経済モデル〔第2章で構築〕とランダム効用理論による交通便益定義〔第3章で提案〕に基づいている。したがって、一般均衡理論に基づいていることより、交通プロジェクトの直接効果のみならず波及効果をも含んだ形で便益を計測することができる。

本モデルに対してショートカット法を適用することより、交通プロジェクトの社会的純便益を計測する際には交通市場の情報（交通サービスレベルや交通需要量の変化）のみが必要となり、迅速かつ効率的に便益計測を行うことができる。なお、モデル構築の過程で、便益のショートカット計測を証明するためにGorman型効用関数を仮定して理論展開したが、Gorman型以外の効用関数に対しても同様

の結論が導かれるものと予想される。また、Taylor展開の2次近似型および3次近似型を誘導して消費者余剰型への近似度合を示したが、これらの近似型に含まれる3次以上の微係数部分は全体の便益に対して無視できるほど小さいことが数値計算例より推測されるので、それ以上の高次近似の必要性はないものと判断される。

一方、本モデルを展開し、交通プロジェクトによる地域別・部門別・項目別の帰着便益を一覧表（帰着便益連関表）にまとめた。本表の表示内容（地域別・部門別・項目別の帰着便益）より、交通プロジェクトの社会的効率性・公平性の判定が容易であり、同時に、交通プロジェクトの財源調達問題にかかわる開発利益還元システムの確立に対して重要な情報が得られる。

【第5章 交通プロジェクトの便益計測例】

現在、わが国で効果的な開発利益還元システムが確立されていないことの原因として、開発利益の①概念規定の問題、②発生時点の特定化の問題、③受益者、受益地域、受益規模の特定化の問題、等が挙げられるが、第5章では特に③の問題の解決を目的として、第4章で構築した交通便益計測モデルを用いて交通プロジェクトの地域別・部門別・項目別帰着便益の計測例を示した。

モデルの運用に際し、特に社会経済モデルについては、操作上の容易性という観点から理論モデル〔第2章で構築〕に対して修正を加えたが、予測精度の面で十分な成果を得た。しかし、住み替えODデータと通勤ODデータとの間に整合性が保たれていないというようなデータ整備上の問題を考慮すると、この予測精度が社会経済状態の長期予測に対してどれほどの信頼性を保証してくれるのかの問題である。

本研究で構築した交通便益計測モデルの適用結果より、交通プロジェクトによる地域別・部門別・項目別の帰着便益を明示することができ、上記③の問題の解決に一步前進したことになる。しかし、地域・部門・項目の特定化は現在のところ分析者の判断に頼らざるを得ず、このことはプロジェクト評価基準の偏りにつながる恐れがあるため、これらの客観的な特定方法の確立が望まれる。

一方、ケース・スタディより、ここで取り上げた岐阜環状線建設プロジェクトによる便益の不在地主への帰着割合が他の部門（世帯、私企業、政府）のそれに

比べて非常に大きいこと、また、当該プロジェクトによる業務地の地価変動が住宅地のそれよりも敏感であること等が明らかになった。このことより、社会的に公平な開発利益還元方策を考える際、不在地主の還元割合を全部門の中で最も高くすること、さらに、その内訳として住宅地地価よりも業務地地価の還元割合を高くすることが望まれる。

1990年、わが国ではバブル経済の崩壊により大都市圏の地価上昇にブレーキがかかり始めたとはいうものの、実需要までは崩壊せず、土地には相変わらずの高値が付いている。したがって、社会基盤整備等の公共事業の財源不足問題は今後も続くことが予想され、この状況において開発利益還元方策の検討は依然として国土計画上の重要課題に位置づけられるであろう。本研究で構築した交通便益計測モデルは、特に「動的計測」という点において課題が残されているが、このような時代背景において財源調達問題にかかわる開発利益還元システムの確立に対して非常に有用であり、その結果、国民経済的には優良であっても財源問題で実行されないようなプロジェクトの実現に貢献するものと考えられる。

謝 辞

本論文を結ぶにあたり、本研究の遂行に際してご指導・ご協力を賜った方々に感謝の意を表したい。

岐阜大学工学部教授 森杉壽芳 先生，岐阜大学学長 加藤 晃 先生，岐阜大学工学部教授 宮城俊彦 先生には、著者の学生時代から今日に至るまで一貫してご指導を賜った。森杉先生には、本研究の基礎をなす経済理論から論文の書き方までご指導・ご鞭撻を賜り、先生なくして本論文の完成は有り得なかった。加藤先生には、重職に就かれた後も変わらず私生活までご助言を賜り、本論文の作成過程においても大きな心の支えとなった。宮城先生には、著者の卒業論文・修士論文よりご指導を賜り、本論文の作成に際しても独創的・先見的なコメントを賜った。そして、時として深夜に及ぶ森杉・宮城両先生との討論を通じて、研究者としての素養と姿勢を学ばせていただいた。ここに深甚なる感謝の意を表したい。

京都大学工学部教授 吉川和広 先生には、本論文の細部に至るまでの数多くのご教示のみならず、本論文の取りまとめに対して多大なご尽力を賜った。また、京都大学工学部教授 飯田恭敬 先生，京都大学防災研究所教授 岡田憲夫 先生にも、本論文に対して数多くの有益なご助言・ご示唆を賜った。ここに心より感謝の意を表したい。

名古屋大学工学部教授 河上省吾 先生を中心とする交通問題研究会の諸先生、ならびに京都大学経済学部教授 山田浩之 先生を中心とする日本交通政策研究会の諸先生には、研究会において数多くの貴重なコメントを賜った。また、岐阜大学工学部助教授 湯浅 晶 先生，同助教授 東海明宏 先生，同助教授 清水英範 先生，同助手 片田敏孝 先生には、研究室での討論を通じて数多くの有益なご助言を賜るとともに、著者の研究活動に多大なご協力を賜った。ここに深く感謝の意を表したい。

最後に、本研究のために貴重な資料のご提供を賜った建設省中部地方建設局道路部，岐阜県企画部，岐阜市都市計画部の各位、ならびに、資料収集や計算作業において惜しみないご協力を賜った岐阜大学工学部土木計画学研究室の学生諸君（現在OB）にも、厚く御礼申し上げる次第である。

