

非集計行動モデルとその実用性*

Disaggregate Behavioral Model and Its Practicability

屋 井 鉄 雄**

By Tetsuo Yai

は じ め に

非集計行動モデルが新しい交通需要予測モデルとして広く受け入れられ、開発当初より数多くの研究が積み重ねられるに至った背景には、近年の交通計画自体の多様化と従来の需要予測方法による対応の限界と言った問題に加え、交通行動の解明に対して効用理論の発展に伴うより科学的な接近が可能となった点を挙げられる。

確率効用理論という経済学上の確固たる基盤を有し、個々人の選択行動を直接反映しうる有効な手法であるという点が注目され、次のような利点が強調された。すなわち、モデル構築には少ないサンプルで済み、数多くの政策変数を導入でき、その結果、予測作業の軽減ときめ細かな政策評価への対応が実現できるといった点である。このような認識のもとで、開発当時は従来の四段階推定法の総ての段階を非集計行動モデルで置き替えることによって、より精度の高い予測が行えると考えられた。

しかし、その後の研究により、かならずしも総てに適用可能とは言えないことが明らかとなった。機関分担への適用性の高さは多くの研究で確認されて

いるが、発生や分布段階については、それを疑問視する意見も多い。実際、良好なモデルが得られたとの報告は見当たらず、開発当初に想定された、四段階推定法と同等な適用方法を志向する研究も鳴りを潜めた状況にある。従来の集計型モデルでは十分な対応が期待できない様々な対象や、きめ細かな政策等への適用は、交通手段選択を中心に依然として進められ、大きな成果を得ており、そのような場面での有効性は広く認められてきたと言えよう。しかし、先に述べた発生、分布段階での不十分さは、非集計行動モデルによる総合的な交通需要予測を実現する上での最大の問題となっている。

また、非集計行動モデルの理論的長所と言える、個々人の行動の反映という点についても、否定的な見解が一部で示され、特に非集計化することと行動を表現するというを同義に用いた、開発当初の用語の混同が指摘されている。

これらの示唆するところは、非集計行動モデルを適切な対象に的確な方法で適用することの必要性であり、また無条件に総て良しと楽観的に見なした開発当時に対する幾つかの反省でもある。このような現実的視点に立って研究を進める動きは、研究開始時期の若干遅れた我が国にあっては、当初より少なからず認められ、特に近年の非集計行動モデルワー

* キーワード：交通需要予測、非集計行動モデル

**正会員 工博 京都大学助手 工学部土木工学科
(〒606/京都市左京区吉田本町)

クシヨップ及びその総括としての講習会の開催にそれらの成果が見られる。

ただし、我が国の場合、実用化を急ぐ傾向が強く、そのための研究が先行し、先に述べた行動的か否かといった基礎的課題の検討は根付いてはいない状況にあった。しかし、振り返って非集計行動モデルが開発当初に授けられた、様々な方法論上の利点を真に満たすモデル方法論を、開発・実用化することの意義は計り知れず、近年認識されている限定された非集計行動モデルに留まることなく、開発研究を進め、実用化と基礎的モデル開発との両者を成立させた研究の進展が望まれる。

本研究では、このような考えに立ち、今後の研究方向に対して1つの指針を与えることを最終的な目標に掲げ、行動モデルと称される様々なモデルの体系的な整理と、実用化のための研究の現状とを示した上で、非集計行動モデルにより総合的な需要予測を可能とするために必要な、分布交通量推計に対する新たな方法論の提案を行う。

すなわち、1.において非集計行動モデルの概要を説明した後、2.で非集計行動モデルを広義にとらえた上で、モデルの体系的整理を試み、3.において実用化のための研究の現状を概括する。そして、4.において、非集計行動モデルを用いて分布交通量を推計するための、新たな方法論を提案する。

1. 非集計行動モデルの概要

非集計行動モデルの理論的基盤が確率効用理論にあることは既に述べたが、これは以下のように説明できる。

すなわち、トリップを行う個人(n)が、効用の最大となる選択肢を選ぶ(効用最大化行動)と考える。その際、効用は確定的に決まらず、確率変動すると考える(確率効用)。これは、同一の選択肢であっても、効用が変化しうることを意味しており、選択行動自体が確率的に変動することとなる。

確率効用理論では、この効用(U_{in})を確定的に定まる部分(確定項： V_{in})と確率変動する部分(確

率項： ϵ_{in})との和で表わし、

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

と記述する。そして、(1-1)のもとで、選択肢 i を選ぶ確率(P_{in})を、

$$P_{in} = \text{Prob}[U_{in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n, j \neq i] \quad (1-2)$$

によって表現する。 C_n は個人 n の選択肢集合である。上式は、選択肢 i の効用が他の総ての選択肢の効用よりも大きな確率が、 i を選ぶ確率(選択確率)であることを意味する。

(1-2)において、 U_{in} を構成する ϵ_{in} に適切な分布を仮定した上で、密度関数の積分計算を行えば、非集計行動モデルの導出が行える。 ϵ_{in} を選択肢相互に独立なガンベル分布(Gumbel Distribution)

$$\text{Prob}[\epsilon_{in} \leq \epsilon] = e^{-e^{-(\epsilon + \alpha_{in})}} \dots\dots (1-3)$$

とおけば、ロジットモデル(Logit Model)、

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in} - \alpha_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{jn} - \alpha_{jn}}} \dots\dots\dots (1-4)$$

が得られ、また正規分布とすればプロビットモデル(Probit Model)が得られる。

モデルのパラメータ推定に際しては、 α_{in} を個人ごとには変わらない定数項と考えた上で、 V_{in} を一般に加法的効用関数で表わす。

$$V_{in} = \sum_k \theta_k X_{ink} \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

上式で、 θ_k はパラメータ、 X_{ink} は選択肢 i の k 番目の特性を表わす。 θ_k の推定は、最尤法を用いることにより、

$$L = \sum_n \sum_{i \in C_n} \delta_{in} \ln P(i|X_n, \hat{\theta}) \quad \dots\dots (1-6)$$

$$P(i|X_n, \hat{\theta}) = P_{in}$$

なる対数尤度の最大化により行える。(1-6)の δ_{in} は選択実績を表わし、 i を選択しているときのみ1、他では0となる。

しかし、以上で求めるモデルは、個々人の効用及

び選択確率を表わすにすぎず、需要予測のためには集計化して集団のシェアとする必要がある。ここで母集団における特性値の分布 $f(X)$ が得られていれば、

$$S_i = \int_x P(i|X, \hat{\theta}) f(X) dX \dots\dots\dots (1-7)$$

によって集計シェア S_i を求められるが、一般に $f(X)$ が未知であるため、何らかの近似計算が要求される。これが所謂集計問題と言われ、基本的には5種類の対処方法(簡便法、分類法、数え上げ法、積分法、モーメント法)が提案されており¹⁾、これにより集計シェアの算出が行え、需要予測が可能となる。

2. 個人行動モデルの発展

(1) 個人行動モデルの開発の経緯

非集計行動モデルを前章に従って定義すれば、確率効用理論に基づき効用最大化行動を表現したものとなるが、本章ではこれをより広く捉え、ある種の行動仮説に基づき個々人の離散的な選択を表現するものとする。このように広義に捉えたモデルを、個人行動モデルと称し、ここで体系的な整理を試みる。

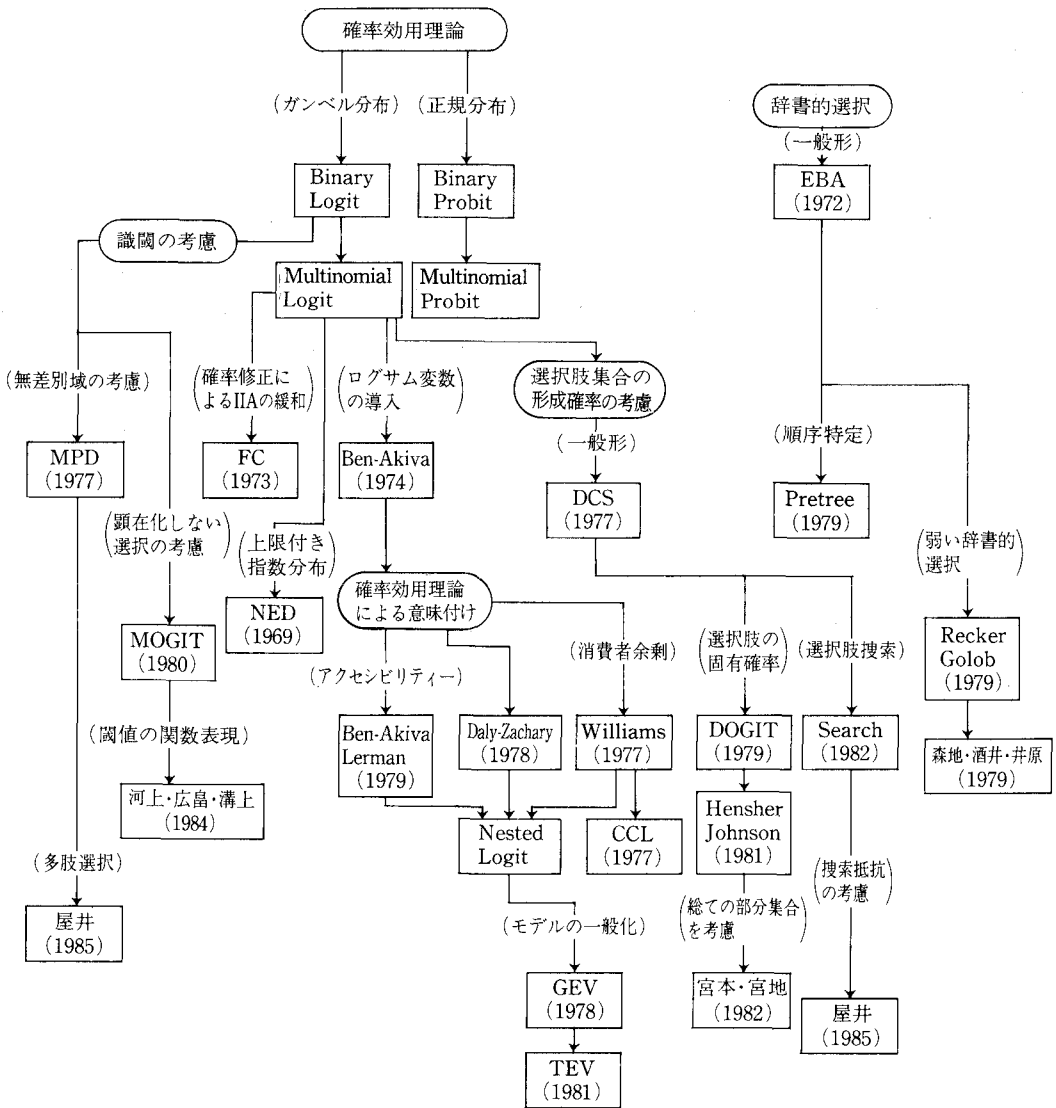
個々人の行動が効用の大小より定まると考えること自体は合理的であるが、効用最大化の仮説において切り捨てられた様々な代替的行動仮説を内在するモデルもまた、現象を記述する上で有用である点は論をまたない。このような視点に立つとき、個人行動モデルの開発が、4つの大まかな流れで進められてきたと解釈することが出来る。第1は、MNL (Multinomial Logit) モデルから TEV (Tree Extreme Value) モデルに至る、確率効用理論としての展開が最も進んだ流れである。第2は、選択における判断基準である効用に識閾 (Threshold) が存在すると仮定し、これを明示的に取り込んだモデル開発の流れである。第3は、選択肢の集合自体を決定する過程を行動モデルに内包したものであり、第4は、EBA (Elimination By Aspects) モデルより派

生した辞書的 (Lexicographic) 選択モデルのように、選択要因の同時的評価を前提としないモデル開発の流れである。これらに含まれない行動モデルをも対象に、筆者の知る範囲で開発経緯を図示したものが、図-1である。以下、順を追って概要を示す。

① 第1の流れは Mc Fadden²⁾ に始まり、非集計行動モデルの原形はここで確立された。Mc Fadden は確率効用理論より、MNL モデルと MNP (Multinomial Probit) モデルとの2種類を導出したが、もっぱら適用上の簡便さより前者が着目され、その後のモデル開発に係わる研究は、前者の有する IIA 特性 (無関係選択肢からの独立特性) に対処する方向で進んだ。これは、モデルが IIA 特性を満たす場合に、類似性の強い選択肢が部分的に含まれる状況 (所謂、赤バス-青バス問題) を、的確に表現し得ないためであり、例えば Mclynn³⁾ は MNL モデルの選択確率を、総ての選択肢の確率によって修正する FC (Fully Competitive) モデルを提案し、この問題に対処しようと試みた。しかし、修正の根拠を行動仮説に求められず、確率効用理論とも斉合するものでは無かった。

一方、Ben-Akiva⁴⁾ は目的地と交通手段との選択を段階的に表現する際、周辺確率に現われるログサム (LOGSUM) 変数に係数を乗ずるモデルを示した。係数の値により、同時選択と段階選択との両者を表現しうることが明らかとされたが、係数の持つ効用理論上の意味については、次の NL (Nested Logit) モデルの開発を待つこととなった。

NL モデルの一般形は、同時期に複数の研究によって、確率効用理論との関連で明らかとされている。NL モデルは、目的地と交通手段といった多次元の選択に限らず、同一種内の選択肢相互の類似性をもツリー構造として表現できる点に特色があり、その結果 IIA 特性の問題を理論的に解消することに成功した。Daly・Zachary⁵⁾ は確率効用理論との斉合に必要な5つの条件を示し、NL モデルが総てを満たすことを明らかにした。また、Williams⁶⁾ は確率効用理論より、NL モデルとそれを更に一般化した



図一 個人行動モデルの開発経緯

CCL (Cross Correlated Logit) モデルを提案した。CCL モデルは 2 次元の選択を NL モデルで表現する際の 2 通りのツリー構造を、同時に表現しうるものである。更に、Ben-Akiva・Lerman⁷⁾ は最大効用の期待値で表わされるアクセシビリティを MNL モデルに導入する形式より、NL モデルを示している。一方、Mc Fadden⁸⁾ は確率効用理論と斉合するモデルの一般形の例を示し、GEV (Generalized Extreme

Value) モデルと称した。これより導出されるモデルには、MNL モデル、NL モデルが含まれる。また、Mc Fadden⁹⁾ は NL モデルをより一般化し、任意のツリー構造を表現可能な TEV (Tree Extreme Value) モデルを開発した。TEV モデルも GEV モデルに含まれ、確率効用理論と斉合する。

以上は MNL モデルを出発点とし、特に IIA 特性に着目して、その問題解決を最大の動機に開発され

たモデルであり、FC モデルを除き総て確率効用理論と斉合する。

② 第2のモデル開発の流れは、効用に識閾が存在すると考えることによって、選択が無差別となる状況や選択が顕在化しない場合等を表現しようとするものである。

例えば、住み替え行動や新交通への転換行動に対し、効用の増加がある閾値を越える場合にだけ、選択が顕在化すると考え、BL (Binary Logit) モデルによって表現した例がある^{10), 11)}。この場合には、閾値を定数項として処理しているため、明示的に考慮したとは言えないが、効用最大化行動で前提とする個人の完全なる識別可能性を、二肢選択に限って緩和したモデルが Krishnan¹²⁾により開発されている。

Krishnan は BL モデルをもとに、選択肢間の効用差が閾値以下の場合には、無差別選択になると考え、その確率をも明示的に扱うことによって新たなモデルを開発し、MPD (Minimum Perceivable Difference) モデルと称した。MPD モデルでは、効用項に含まれる定数項とは別に閾値自体をも推定でき、確率効用理論とも斉合する。

一方、加藤・森杉・阿佐¹³⁾は、効用の値が総ての選択肢において負の場合には、選択が顕在化しないと考え、その確率をガンベル分布の仮定のもとで導出している。そして、顕在化する確率と MNL モデルより定まる確率との積によって選択確率を表現し、そのモデルを MOGIT モデルと称した。これは効用の閾値をゼロに固定したものと言え、確率効用理論とは斉合しないが、選択が顕在化しない場合を明示的に考慮している点に大きな意義がある。

また、河上・広島・溝上¹⁴⁾は、先に述べた転換行動を表わすために、閾値を定数項として扱う方法に加え、それがサービス変化以前の効用の関数になると仮定して、BL モデルを修正している。

更に、屋井¹⁵⁾は MPD モデル等で表わされる無差別選択の状況を多肢選択において表現しようとするモデルを提案している。そこでは、効用の最大値ですら

閾値を越えないような場合には、選択が無差別になると考え、その確率を導出した上で MNL モデルを基に新たなモデルを示している。

以上のモデルは、識閾の存在という新たな仮説を採用しており、導出されたモデルにおける確率効用理論との斉合性の有無は大きな問題とならない。

③ 第3の流れは、選択肢集合そのものに着目して、それが形成される確率を考慮した上で、選択確率を導出しようとするものである。Manski¹⁶⁾は総ての部分集合の組合せを対象に、それらが形成される確率と、集合が定まった条件下で選択肢を選ぶ確率との積によって表わされる同時確率を、総ての部分集合で加算することにより、全集合からの選択を表現できる点に着目した。この一般形は DCS (Distributed Choice Set) モデルと称されるが、具体的に定式化した例は少ない。Gaudry・Dagenais¹⁵⁾の提案した DOGIT モデルは、部分集合のうち、全集合と要素数が1つの集合との両者以外の形成される確率をゼロに固定したものであり、効用の大小によらない選択肢に固有な確率をも同時的に考慮できる点に特色がある。これに対し、Hensher・Johnson¹⁶⁾は選択肢集合の形成される確率も、効用の関数になると考えて、DOGIT モデルを修正している。また宮本・宮地¹⁷⁾は、選択肢集合の形成される確率の設定において、各選択肢が集合に含まれる確率が、他の選択肢と独立に定まると考え、総ての部分集合を対象とする DCS モデルを定式化している。

以上が DCS モデルの具体例であるが、Richardson¹⁸⁾は集合の形成と選択とを分離せずに、選択肢を順番に探索して行くモデルの開発を試みている。新たに選択肢を探索した結果得られる効用の期待値と、探索にかかわる費用とを比べ、後者が勝った時点で探索が打ち切れ、それまでに得た選択肢集合のうち、効用の最大なる選択肢が選ばれると考えるもので、サーチモデル (Search Model) と称した。選択が決定する時点で、始めて選択肢集合が定まる構造となっており、形式上シミュレーションモデル

の一種と言える。実用上の問題は数多く残されているが、選択に至る過程を動的に捉えている点に大きな特色がある。

一方、屋井²⁾はサーチモデルで考慮された選択肢の探索費用に着目し、選択肢を集合に含めることによる最小効用の期待値低下を、選択における抵抗値と考え、これを費用と見なした上で、選択がそれを効用から差し引いた値を評価して決まると考え、新たなモデルを提案している。

以上のモデルも第2の流れと同様に、狭義の非集計行動モデルの前提である確率効用理論とは、一般に斉合しない。

また、これらのモデルとは別に、利用可能な選択肢の限定に係わる研究が進められている。もっぱらモデルの適用上の課題として検討されているが、例えば Landau¹⁹⁾ ほかは Time Budget を考え、各人の行動パターンに照らして到達可能な選択肢に限定する方法を、目的地選択モデルを対象として提案している。

④ 第4の流れは、選択において複数の要因をかならずしも同時に評価してはいないと考える立場から、Tversky²⁰⁾ のEBAモデルを簡略化する方向で進められた研究である。EBAモデルでは、選択肢の属性に着目して選択肢を順次消去して行き、そのプロセスをただ一つの選択肢が残るまで続けると考える。消去順序は複数存在するが、これを特定すればツリー構造を表現できる。実際、Tversky・Sattath²¹⁾ は消去順位を特定することにより、EBAモデルを簡略化した Pretree (Preference Tree) モデルを提案している。Pretreeモデルは先験的に与えた選好ツリーを表現できる点で、先に示したTEVモデルと共通点が多い。

また、Foerster²²⁾ はEBAモデルに代表される辞書的選択を2つに大別し、最も重要な属性の大小だけで決まる強い辞書的選択と、属性の重要度の順に選択肢を評価して行き、属性の差が閾値を越えれば、その段階で選択が決まると考える弱い辞書的選択と

を示している。しかし、これらを具体化してモデルを提案した例は以外に少なく、Recker・Golob²³⁾、森地・酒井・井原²⁴⁾ 等があるにすぎない。前者は選択確率を用いずに、直接消去プロセスをモデル化したものであり、後者は二肢選択に限定して弱い辞書的選択行動を選択確率によって表現したものである。閾値を仮定する点で、第二の流れと共通するが、ここでは要因の段階的な評価を表現するために用いており、モデルの考え方は異なる。

以上に述べた4つの流れとは別に、次のようなモデルの開発も行われている。プロビットモデルは、Mc Fadden がMNLモデル同様、ランダム効用理論より導出したという点では、非集計行動モデルの基本形の1つであるが、モデル自体は完成されたものであり、もっぱら適用上の課題を解決するための研究が進められている。しかし選択肢数の多い場合への適用上の困難さはさほど軽減されておらず、この点が問題となり、近年のモデル開発がMNLモデルの改良を中心に進められてきたという経緯がある。また、Daganzo²⁵⁾ のNED (Negative Exponential Distribution) モデルは、効用のランダム項を上限付きの指数分布で表わすことより導出されるが、上限値により選択確率が大きく変化する性質を持つ。また、Sheffi²⁶⁾ は自動車台数の選択のように、序列化された行動を、BLモデルの積で表現している。

(2) モデルの適用性

以上にまとめたように、近年の行動モデル開発の多くは、MNLモデルの修正及び改良という点よりなされてきたと言える。そのうち、IIA特性に対処した第1の流れ以外は、確率効用理論の前提である経済人の仮定自体を見直したものと考えることができる。情報の不完全性や効用の不連続性、選択肢や要因の段階的評価、さらには習慣性や情報収集費用といった、狭義の非集計行動モデルでは対応し得ない行動仮説が、行動をよりの確に表現し、また現象をより正確に把握する上で重要となる点は言うに及ばない。しかし、近年の非集計行動モデルに関する研

究は、実用化をめざす点に重心があったため、もっぱら MNL モデル、NL モデルといった理論面の明快なモデルの適用を前提に進められてきた。モデルの性質が明らかな上に、適用上の扱い易さが主な理由と言えようが、この点については今一度考え直す余地がある。

すなわち、実用化を志向した非集計行動モデルと、行動をよりの確に表現するための個人行動モデルとを切り離して考え、前者の観点では理論的根拠が明らかで説得性の高いモデルを対象に、主として適用上の様々な課題が検討されることになるが、後者の視点では、様々な代替的行動仮説に基づくモデルの基礎的検討が中心となる。NL モデルの開発において、Ben-Akiva⁴⁾の提示した当初には、確率効用理論との斉合性が不明であった経緯もあり、後の研究で理論的精緻さが具わる例は少なくない。またモデルの適用上の扱い易さにしても、NL モデルが本来同時推定を基本としながらも、MNL モデルと同等な扱い易さを実現するために段階推定されている。したがって、同時推定を前提とする立場からは、NL モデルと他の様々なモデルとを区別し、後者を特に推定上の困難さより排除する必然性はあまりない。

以上を考慮するとき、現段階では理論的根拠が不十分であったり、推定が複雑であるといった理由でモデルの開発及び適用を十分に行わないことは、行動の把握や現象の記述を適切に進めて行く上で好ましくない。実際の現象が如何なる原理に基づいて生じるかを把握した上で、それに適合するモデルを選択することが重要と言えるが、そのような現況再現力の検証に留まらず、将来の変化に対しモデルが如何なる挙動を示すかを、前以って大まかに把握しておくことが、特に需要予測を前提とする際に要求されよう。従来より開発されてきたモデルには、この点のある程度把握しうるものも少なくない。

ただし、近年開発されたモデルの多くは、行動仮説上の特定の問題に対処したものである。これをより一般化し、個人・集団で変わりうる選択の原理を十分に反映するモデルを開発する意義は大きい。

3. 実用化のための研究の現状

非集計行動モデルを需要予測方法として実用化するための研究は、様々な検討課題に対して行われてきたが、特にモデルの適用対象領域の把握を目的とするものが多く、必要情報が整備されたとは言いがたい。しかし、断片的ながらも近年蓄積が進みつつあり、この点を本章では項目を絞って整理する。

(1) 調査の方法と規模

モデル構築のためのデータ収集方法には、家庭訪問調査により過去の行動を抽出する方法と、トリップの途上で直接アンケートする方法との2つがある。後者は選択肢別標本抽出法 (Choice-based Sampling²⁷⁾) と称され、特に発生頻度の少ない行動を抽出する場合等に有利な方法である。一般に無作為標本ではないが、この場合のモデルパラメータの推定問題は理論的に説明されている^{28), 29)}。

ただし、いずれの方法にせよ、如何なる程度のサンプルがあれば推定上十分であるかという、調査規模縮小の可能性は、非集計行動モデルの最大の利点と言われながらも、今だ一般性を有する結論を得ていない。これは、対象とする地域や行動の種別によるデータの違いや、モデルの選択肢数、変数などにより必要サンプル数が変わる可能性があり、またサンプル数評価に用いる指標次第で、十分とする根拠が変わる点に原因があるためであり、一般化が困難な課題の1つである。

しかし、幾つかの実証的研究の成果を通して、貴重な情報が得られており、サンプル規模決定に際しては有力な根拠となり得る。モデルで必要とするパラメータの統計的有意性から見て 300 ~ 500 サンプルとしたものや²⁷⁾、パラメータの安定性を直接評価して、280 ~ 350 サンプルとしたもの³⁰⁾、また仮想的データに対するシミュレーション分析を通して、800 ~ 1000 程度は必要としたもの³¹⁾ 等がある。

以上は二肢選択に対する検討であるが、これを目的地選択モデルのように選択肢数の多い場合に検討

した例がある³²⁾。選択肢数 41 に対し分析を加え、パラメータの安定性からは変数を限定する必要があるが、それと集計シエア及び交通量の推計精度等の点より、1000 サンプル程度で十分な推計が行える可能性を示している。

(2) データの作成方法

モデル構築に用いるデータのうち、交通サービスデータについては、従来よりアンケート調査に頼らずに、分析者側で適切に設定することが多い。この理由は、データの信頼性と将来予測における扱い易さの 2 点にあり、ネットワーク、メッシュ等による対処が基本となる。このとき、如何なる細かさでデータ作成を行う必要があるかについても、(1)と同様検討例は少なく、明確な結論は得られていない³³⁾。特にこの問題は、性格上研究成果とりにくい面があり、適用研究の多くが何らかの形式で対処しているにもかかわらず、報告例は少ない。交通サービスデータを分割して用いる場合や、トリップ長自体が短い場合等に、より細かな設定が必要となる点は明らかと言えよう。具体的な数値として、アクセス交通に対する 250 m メッシュ³⁴⁾、都市圏の非日常買物に対する 400 ～ 600 m³⁵⁾ メッシュ等がモデルパラメータの安定性より評価して妥当であると報告されており、データ作成時の 1 つの目安と言える。

(3) モデルの構築

変数同定、パラメータ推定に対する方法論は一般化されておらず、今だ多少の職人的技術を要求される状況にあるが、基本的には如何に多くの政策変数を取り込み、また個人差を表現してモデルの現況再現性を向上させるために、如何に適切な社会経済特性を導入できるかといった方向でなされている。近年の適用研究の蓄積は、もはや変数同定作業を大幅に軽減しうるほどの情報を提供しており、この点での整理が望まれる。

一方、パラメータ推定時の計算時間短縮を主たる目的として、Mc Fadden³⁾が提案した選択肢のサン

プリング方法については、実証的検討がなされ、選択肢集合を全体の 3 割程度まで削減した上で、パラメータ推定を行っても、統計的には有意な差のない値が得られることが確認されている³²⁾。したがって、計算費用、データ設定費用等のモデル構築に要するコストを、特に選択肢集合の大きな状況で削減しうる可能性は高い。

(4) モデルの移転可能性

非集計行動モデルの移転可能性(Transferability)が確認されれば、様々な点でモデルの利用可能性が広がるが、この問題に関する統一的な見解は今だに得られていない。しかし、近年実証的研究が精力的に進められた結果³⁶⁾、有用な知見が幾つか得られている。特に地域間移転可能性に対しては、モデルパラメータが地域間で統計的に有意な差を示す場合であっても、移転される側のサンプルを少数得られれば、それを用いてモデルを修正することにより、移転能力を大幅に向上させることが可能である。

したがって、モデル構築のためのサンプル数には不十分な場合でも、移転可能性を前提とすれば、他地域の信頼度の高いモデルパラメータを用いて、それを当該地域により適切に合うように修正した上で、予測作業が行えることになる。その際、修正に用いるサンプルが 50 票程度でも顕著な改善のなされること、交通手段選択モデルを例に報告されている³⁷⁾。

(5) 集計方法

非集計行動モデルの最大の課題とされる集計問題については、実証的研究を中心に数多くの検討が加えられ³⁸⁾、一応の成果を得ている。そのうち、集計方法の比較を試みた研究においては、分類法を最良と結論するものが多く、従来の研究からは、それを採用することが望ましいと言える。なお現実将来値として得られるデータが平均値程度であることを考えれば、集計精度に依らずとも、上の知見がある程度妥当であると言えよう。また、交通管理計画等の短期的予測を行う際には、数え上げ法を用いるこ

とも十分に考えられる。

一方、非集計行動モデルの集計誤差を検討した例も数多く見られるが、そもそも予測誤差が調査からデータ作成、モデル構築、集計、移転までの各段階で生じる誤差より構成されるため、これらを個別にまた総合的に評価した上で、始めて集計誤差の十分な把握が可能になる。従来の研究のうち、集計誤差が支配的との報告はなく、集計問題が非集計行動モデルの実用化を大きく左右するといった従来の見解は、かならずしも絶対的ではないと考えられる。ただし、実証的研究の総てが交通手段選択モデルを対象としており、非集計行動モデル全般に合てはまるほどには、研究が進められていない。

4. 集計方法論の新展開

(1) 非集計行動モデルに総量制約を導入する意義

従来より、非集計行動モデルを用いて分布交通量を推計する試みはなされていない。この理由の1つは、先にも述べたように、非集計目的地選択モデル自体の現況再現性がかならずしも良好でなく、これを改良することに研究の中心があったためと考えられる^{39),40)}。また、集計問題を論外とすると、目的地の選択確率さえ求められれば、それが取りも直さず分布交通量を推計できることを意味している。

しかし、分布交通量の推計段階における集計誤差の問題は、前章にも述べたように、現時点で解決されているとは言えず、特に目的地選択に絞って分析した例はない。OD表を推計しても、誤差が大きく、成果として提示するに至らなかった研究が、少なからず存在するといった邪推も、あながち誤りではないと思われる。

したがって、分布交通量推計の段階に対し、より精度の高い推計を可能とする集計方法論を開発することは、非集計目的地選択モデルの説明力を高める努力と同様、もしくはそれ以上に重要で意義があることと考える。

ところで、そもそも非集計行動モデルを用いて、

分布交通量を推計する動機を、如何なる点に求められるであろうか。これには少なくとも次の3点を挙げられよう。すなわち、①各トリップの発地をゾーンとは無関係に細かく押えることが出来るため、モデル構築段階で内内交通の問題を軽減できる。②非集計交通手段選択モデル等と組み合わせ、その段階と斉合するようにモデル構築を行うことにより、数多くの政策変数を取り込むことが出来る。③モデル構築に要するサンプル数が少なく済む。特に③については、ランダムサンプルに限らず、モデルに移転・拡大可能性が認められれば、一部の地域のデータで構築したモデルによって、全域のOD表を推計することも可能になる。

以上に示した利点を生かすためにも、新たな方法論を開発し、非集計行動モデルによる分布交通量の推計を実用化することは急務と考える。本章では、この問題に対して新たなアプローチを加える。それは、モデルの集計段階で総量制約を導入する方法である⁴¹⁾。

従来の非集計行動モデルの考え方は、発生頻度から目的地、交通手段、経路に至る総ての段階を、同時型もしくは段階型のモデルで構築した上で同時選択確率を求めれば、対象人口を与えることによって各段階の交通量を算出できるものである。しかしながら、目的地選択モデルの問題に加え、発生頻度選択モデルの適用性も不明確なままであり、モデル開発以来優れた成果はほとんど報告されていない。

このような研究状況を考えると、総ての段階に非集計行動モデルを適用するのではなく、分布・分担といった一部分に用いる方法を開発することが、より実用的であると言える。ただし、その場合には、他の異なる形体のモデルより得られる推計値と、非集計行動モデルを集計することによって求まる値との間に斉合性を確保する必要が生じる。本章で提案する方法論は、正にこのような状況を想定し、総量データが与えられた条件下で、それを反映するように非集計行動モデルを修正して、集計精度を高めるためのものであり、特に現況データに対しては、効

用関数の改良としての意味あいを強く持つ。

(2) 総効用最大化による分布交通量の集計予測法

本研究で開発する集計予測方法の基本的な考えは、与えられた種々の制約条件のもとで、母集団における効用を最大とするように、分布交通量を求めるものである。それを以下に説明する。

1. で示した確率効用を、ここでは次のように表現する。

$$U_{n|i} = V_{n|i} + \varepsilon_{n|i} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

上式で i, j はトリップの発地、着地を表わし、 n は個人を表わす。 $\varepsilon_{n|i}$ がガンベル分布に従うとき、(4-1) より求まる最大効用の期待値 $MU_{n|i}$ は、

$$MU_{n|i} = E(\max_{j \in D} U_{n|i}) = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{j \in D} e^{\lambda V_{n|i}} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

と計算できる。 $MU_{n|i}$ は利用者便益 (Consumers' Surplus)⁶⁾、満足関数 (Satisfaction Function)⁸⁾、アクセシビリティ (Accessibility)⁷⁾ などと称され、確率変動を考慮した効用の水準を表わす。

ここで、(4-2) をもとに、母集団における MU の算出を試みる。そのためには、集計作業が必要となるが、本研究では分類法を用いて集計を行う。分類法は、代表的な5種類の方法のうち、簡便法と数え上げ法とを特殊例に持つ一般性を有する方法であり、その有効性は前章に概説した。発地 i ごとに層 g を設定し、各層の効用水準を $MU_{g|i}$ とおけば、発地 i の集団の効用 MU_i は、

$$MU_i = t_i \sum_g w_{ig} \cdot MU_{g|i} \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

$$MU_{g|i} = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{j \in D} e^{\lambda V_{jg|i}} \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

によって表現できる。

w_{ig} は各層の構成比を表わし、 t_i は発生トリップ数を表わす。(4-3) は効用が加法的であることを意味しており、これを用いれば、母集団の効用を、

$$MU = \sum_{i \in D} MU_i \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

と表現できる。

ここで、 $MU_{g|i}$ の性質より、

$$\frac{\partial MU_{g|i}}{\partial V_{jg|i}} = P_{jg|i} = \frac{e^{\lambda V_{jg|i}}}{\sum_{j' \in D} e^{\lambda V_{j'g|i}}} \quad \dots\dots (4-6)$$

によって選択確率 $P_{jg|i}$ が算出できるが⁷⁾、上式がロジットモデルになるのは、効用の確率項をガンベル分布に従うと仮定したことによる。(4-6) 式を変形し、

$$\ln P_{jg|i} = \lambda V_{jg|i} - \ln \sum_{j' \in D} e^{\lambda V_{j'g|i}} \quad \dots\dots (4-7)$$

とした上で、 $P_{jg|i}$ を用いて両辺の期待値をとると、

$$\begin{aligned} \sum_{j \in D} P_{jg|i} \ln P_{jg|i} \\ = \sum_{j \in D} P_{jg|i} (\lambda V_{jg|i} - \ln \sum_{j' \in D} e^{\lambda V_{j'g|i}}) \\ = \lambda \sum_{j \in D} P_{jg|i} V_{jg|i} - \ln \sum_{j' \in D} e^{\lambda V_{j'g|i}} \end{aligned} \quad (4-8)$$

を得る。ここで(4-8)を(4-5)に代入すれば、

$$\begin{aligned} MU &= \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{j' \in D} e^{\lambda V_{j'g|i}} \\ &= \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} \left(-\frac{1}{\lambda} \sum_{j \in D} P_{jg|i} \ln P_{jg|i} \right. \\ &\quad \left. + \sum_{j \in D} P_{jg|i} V_{jg|i} \right) \quad \dots\dots\dots (4-9) \end{aligned}$$

を最終的に得る。

MU は個人の効用を積み上げることによって定まり、既にモデルのパラメータが推定されていれば、特性値の各層における平均値を代入することにより算出できる。これが先に述べた集計作業であるが、そこで実現される交通量の分布パターンは、かならずしも所与の値を反映しない。たとえば、発生交通量に加え集中交通量も既知なる場合に、非集計的地選択モデルより推計される分布交通量をもとに集中交通量を算出しても、それが所与の値と異なる。

このような例に代表される問題を合理的に解決し、交通量に関する斉合性を確保した上で、分布交通量自体の推計精度をも高めるために、本研究では、これを次のように考える。すなわち、集団の交通流動は、交通量に関して与えられた制約を満たすよう

に決まるが、その場合にも、個人の効用を積み上げることによって求まる MU が、最大となるように分布パターンが求まると考える。

(4-9) を用いて、次の最大化問題、

$$\max_{P_{jg|i}} MU = \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} \left(-\frac{1}{\lambda} \sum_{j \in D} P_{jg|i} \ln P_{jg|i} \right. \\ \left. + \sum_{j \in D} P_{jg|i} V_{jg|i} \right) \dots \dots \dots (4-10)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} P_{jg|i} = t_j, \quad \forall j \in D \quad (4-11)$$

を考える。(4-11) は集中量に関する制約であり、 t_j は所与の集中量である。(4-10) は新たな分布パターンを求めるために、 $P_{jg|i}$ がロジットモデルで表現できる前提を外した上で、 MU を $P_{jg|i}$ について最大化することを意味し、ラグランジュの未定乗数 r_j, η_{ig} を導入すると、

$$L(P, r, \eta) \\ = \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} \left(-\frac{1}{\lambda} \sum_{j \in D} P_{jg|i} \ln P_{jg|i} \right. \\ \left. + \sum_{j \in D} P_{jg|i} V_{jg|i} \right) + \sum_{j \in D} r_j (t_j - \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} P_{jg|i}) \\ + \sum_{i \in D} \sum_g \eta_{ig} \left(\sum_{j \in D} P_{jg|i} - 1 \right) \dots \dots (4-12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_{jg|i}} = t_i \cdot w_{ig} \left(-\frac{1}{\lambda} \ln P_{jg|i} - \frac{1}{\lambda} \right. \\ \left. + V_{jg|i} - r_j + \eta_{ig} \right) = 0 \quad (4-13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial r_j} = t_j - \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} P_{jg|i} = 0 \quad (4-14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \eta_{ig}} = \sum_{j \in D} P_{jg|i} - 1 = 0 \quad (4-15)$$

を得る。(4-13), (4-15) より直ちに、

$$P_{jg|i} = \frac{e^{\lambda(V_{jg|i} - r_j)}}{\sum_{j \in D} e^{\lambda(V_{jg|i} - r_j)}} \dots \dots \dots (4-16)$$

が得られる。ここで最大値における $MU, P_{jg|i}, r_j$ をそれぞれ、 $MU^*, P_{jg|i}^*, r_j^*$ とおけば、シャドウプライス r_j^* は、

$$\frac{\partial MU^*}{\partial t_j} = r_j^* \quad (4-17)$$

によって表現でき、所与の集中交通量 t_j の変化に対する、総効用の最大値 MU^* の変化を意味することがわかる。したがって、 r_j^* は限界効用の次元を持ち、(4-16) で示される新たな確率 $P_{jg|i}^*$ が、層ごとに定まる効用 $V_{jg|i}$ と、交通量データより定まり層及び発地に依らない限界効用 r_j^* との両者によって求まることになる。

r_j^* は、(4-14) より、

$$f_j(r) = \sum_{i \in D} t_i \cdot \sum_g w_{ig} \frac{e^{\lambda(V_{jg|i} - r_j)}}{\sum_{j \in D} e^{\lambda(V_{jg|i} - r_j)}} - t_j \quad (4-18)$$

とおき、 $f_j(r) = 0 \quad (\forall j \in D)$ を満たすように、逐次計算を用いて解けば良い⁴¹⁾。

この結果、 r_j^* が定まり、集中量制約下で総効用を最大とする $P_{jg|i}^*$ を求められ、

$$\hat{t}_{ij} = t_i \cdot \sum_g w_{ig} P_{jg|i}^* \quad (4-19)$$

によって、集中量制約を満たす分布交通量を得ることができる。

(3) 本方法の適用可能性

前節に提案した集計予測方法では、効用関数自体は比較的少数のサンプルより同定しうるが、それを用いてそのまま集計を行っても、行通現象を必ずしも的確に反映し得ない点に着目し、信頼性の高い集計データが得られている場合に、それを用いることによって、より精度の高い推計が可能になると考えた。行通の流動は、全体での総効用が最大となるように定まると見なし、それを制約条件下で最大化することより解が得られた。

したがって、特に現況の総量データ（発生、集中量等）が他の調査より精度高く求められている場合等に、モデルを改善する目的で本方法を用いることは、非常に有意義であると考え。また将来予測時には、モデル間の斉合性を確保するために有効な方

法と言える。

ところで、(4-10)は形式上、エントロピー最大化問題と一致するが、これは集計段階で効用関数 $V_{jg|i}$ を確定値としており、 MU の最大化を $P_{jg|i}$ によって行う必要から生じた結果である。エントロピー最大化と最大効用の期待値との等価性は、ロジットモデルに対し既に確認されているが⁴²⁾、本研究ではこの問題を恒等式の変形により、形式的に示したことになる。

本方法を実際のデータに適用した例は、森地・屋井・田村⁴¹⁾、森地・屋井・平井⁴³⁾で報告されており、都市圏規模のOD表を推計する場合にも、非常に良好な結果が得られている。具体的内容はこれらの論文にゆずるが、ここでは、本方法より求めるOD表が、既存の手法であるフレータ法と比べ如何に異なるかを簡単な例で示す。付表-1は非集計目的地選択モデルを集計し、OD表を推計する際に、本方法を適用したものである。一方、付表-2は本方法を適用することなく、非集計目的地選択モデルを集計して求めたOD表をもとに、フレータ法より推計したものである。両者とも観測値との相関係数は0.96と同等であるが、誤差については前者が若干少ない。この点より手法の優劣を論じることには大きな意味はないが、これらの検討を通して本方法の妥当性が検証できたと考える。

(4) 本方法の一般化について

(4-11)に示した制約条件については、データの信頼性に着目して定めることが重要であるが、例えば所要ゾーンよりも粗いゾーン間の分布交通量が得られている場合等、(4-11)のかわりに、

$$\sum_{i \in D_k} \sum_{j \in D_l} \sum_g t_{ig} \cdot w_{ig} P_{jg|i} = t_{kl} \cdots (4-20)$$

なる制約を導入すれば、結局、

$$P_{jg|i} = \frac{e^{\lambda(V_{jg|i} - \mu_{i(j)k})}}{\sum_{j' \in D} e^{\lambda(V_{j'g|i} - \mu_{i(j')k})}} \cdots \cdots (4-21)$$

を得、同様な方法により未定乗数 $\mu_{i(j)k}$ を定めた上で、

所要ゾーン間のOD表を推計できる⁴⁴⁾。上式で D_k 、 D_l はそれぞれ粗いゾーン k 、 l に含まれる所要ゾーンの集合を表わし、 $l(j)$ は j を含む粗いゾーンを意味する。例えば、国勢調査より得られる市町村間のOD表と、別途調査より得た少数の非集計データを用いて、より細かなOD表を推計する場合などが本例に相当する。また本方法を、これ以外の異なる対象、状況に適用できるように一般化することは、さほど困難ではないと考える³²⁾。

おわりに

本研究は、非集計行動モデルの今後の研究方向に対して、1つの指針を与えることを目標に掲げ、進められた。そのため、モデル開発と実用化のための研究とを、体系的に整理することから始めた。

近年のモデル開発の動向を、広義の非集計行動モデル、すなわち個人行動モデルとして捉えた上で、著者の開発によるモデルをも加えて体系的に表わした。その結果、当面の実用性を前提としたモデルの開発・適用に留まることなく、より現実的な仮説に基づき、行動をよりの確に反映するモデルの開発の必要性が指摘された。従来より認識される非集計という語意が、集団としての現象を構成する各要素の動きに着目することのみにあるとしても、サンプルの有効利用を計れる大きな意義を認められるが、これをより行動的なモデルに発展させる努力が重要と考える。

一方、非集計行動モデルの実用化については、現在正に研究が進行しており、総括するには若干時期尚早と言えようが、近年の精力的な研究成果の蓄積は、数多くの有益な情報を提供してくれた。特に本研究では、講習会以後の成果を中心に、断片的ながらも整理を試みており、サンプル数問題等に対する目安が定まりつつある状況をうかがえる。

また、非集計行動モデルの実用化を、交通手段選択に限らず分布交通量推計の段階にまで広げ、その適用領域を今一度拡大するため、本研究では、新たな方法論を提案し、それを前章にまとめた。別途収

集した集計データをモデル改良の目的で用いるため、従来の集計モデル等との関連も取りざたされようが、個人の行動をそのまま積み上げても、それが集団の行通の流れと差のある状況、すなわち合成の誤謬とも言える問題は、従来の集計誤差の問題とも異なり、適切に対処する必要がある。本研究で示した方法論は、この問題に対する1つのアプローチと言え、今後、改良を重ねることによって、個人の行動と集団の流動とのギャップを埋める方法論として精緻化していくことが可能と考える。

なお、東京工業大学工学部、森地 茂 助教授には、著者がこの研究を進める上で終始適切なご指導を頂きました。ここに記して深謝の意を表する次第であります。また、未熟な筆者に、このような研究発表の機会を与えて下さった、土木計画学研究委員会の諸先生に感謝致します。

【注1】 効用の最大値すら閾値を越えない確率を、

$$\begin{aligned} \text{Prob}[\max_{j \in C} U_j \leq U_T] \\ = \text{Prob}[V_T + \varepsilon_T \geq \max_{j \in C} (V_j + \varepsilon_j)] \end{aligned} \quad \text{..... (A-1)}$$

と定義する。ここで閾値 $U_T (= V_T + \varepsilon_T)$ もランダム項 ε_T により確率変動すると考えている。 ε_i 及び ε_T が、

$$\text{Prob}[\varepsilon_i \leq \varepsilon] = e^{-e^{-(\varepsilon + \alpha_i)}} \quad \text{..... (A-2)}$$

$$\text{Prob}[\varepsilon_T \leq \varepsilon] = e^{-e^{-(\varepsilon + \alpha_T)}} \quad \text{..... (A-3)}$$

なるガンベル分布に従うと仮定すれば、

$$\begin{aligned} \text{Prob}[\max_{j \in C} \varepsilon_j \leq \varepsilon] &= e^{-e^{-(\varepsilon + \alpha)}}, \\ \alpha &= \ln \sum_{j \in C} e^{-\alpha_j} \end{aligned} \quad \text{..... (A-4)}$$

となり、(A-1)は、

$$\begin{aligned} \text{Prob}[\max_{j \in C} U_j \leq U_T] &= \frac{e^{V_T - \alpha_T}}{e^{\alpha'} + e^{V_T - \alpha_T}}, \\ \alpha' &= \ln \sum_{j \in C} e^{V_j - \alpha_j} \end{aligned} \quad \text{..... (A-5)}$$

と求まる。上式の数定項 α_j を V_j に含め、 $\alpha_T = -\ln A$ (A は選択肢数) とおけば、

$$\text{Prob}[\max_{j \in C} U_j \leq U_T] = \frac{e^{V_T + \ln A}}{\sum_{j \in C} e^{V_j} + e^{V_T + \ln A}} \quad \text{..... (A-6)}$$

と書き換えられる。ここで、最大効用ですら閾値を越えない場合には選択が無差別となると考え、そのときの選択確率を、

$$P_R(i|C) = \frac{1}{A} \quad \text{..... (A-7)}$$

と表わし、一方それ以外では同時評価されると考え、

$$P_L(i|C) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C} e^{V_j}} \quad \text{..... (A-8)}$$

なるMNLモデルで表わす。このとき、選択肢 i を選ぶ確率は、

$$\begin{aligned} P(i|C) &= \text{Prob}[\max_{j \in C} U_j \leq U_T] \cdot P_R(i|C) \\ &+ \text{Prob}[\max_{j \in C} U_j \geq U_T] \cdot P_L(i|C) \end{aligned} \quad \text{..... (A-9)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{e^{V_T + \ln A}}{\sum_{j \in C} e^{V_j} + e^{V_T + \ln A}} \cdot \frac{1}{A} \\ &+ \frac{\sum_{j \in C} e^{V_j}}{\sum_{j \in C} e^{V_j} + e^{V_T + \ln A}} \cdot \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C} e^{V_j}} \\ &= \frac{e^{V_i} + e^{V_T}}{\sum_{j \in C} (e^{V_j} + e^{V_T})} \end{aligned} \quad \text{..... (A-10)}$$

と表わされる。

また無差別の場合にも選択に偏向性があると考え、

$$P_R(i|C) = S_i, \quad \sum_{j \in C} S_j = 1 \quad \text{..... (A-11)}$$

とおけば、 $P(i|C)$ は結局、

$$P(i|C) = \frac{e^{V_i} + S_i e^{V_T}}{\sum_{j \in C} e^{V_j} + e^{V_T}} \quad \text{..... (A-12)}$$

と求まる。ただし、このときは $\ln A$ を V_T に含めて

考えている。

..... (A-18)

【注2】 まず、効用の最小値の分布を考える。ランダム効用 U_j を、

$$U_j = V_j + \varepsilon_j, \quad \forall j \in C \quad \text{..... (A-13)}$$

で表わすとき、 ε_j は V_j のまわりに分布するので、最大効用を考える場合と同様に、最小効用についても定義できる。すなわち、最小効用が任意の値 z より大きい確率を、

$$\text{Prob}[\min_{j \in C} U_j \geq z] = \text{Prob}[U_j \geq z, \forall j \in C] \quad \text{..... (A-14)}$$

によって表わし、確率項 ε_j が選択肢間で相互に独立に、

$$\text{Prob}[\varepsilon_j \geq \varepsilon] = e^{-e^{\lambda \varepsilon + \beta_j}}, \quad \lambda > 0 \quad \text{..... (A-15)}$$

に従うと考える。なお、 ε_j がガンベル分布に従うと考えれば、(A-15)の確率は、

$$\begin{aligned} \text{Prob}[\varepsilon_j \geq \varepsilon] &= 1 - \text{Prob}[\varepsilon_j < \varepsilon] \\ &= 1 - e^{-e^{-(\lambda \varepsilon + \beta_j)}} \quad \text{..... (A-16)} \end{aligned}$$

と求まるが、後述する積分計算を容易にするため、(A-15)すなわち、ガンベル分布の軸対象を取ったもので当該分布を近似する。(A-15)のもとでは、

$$\begin{aligned} \text{Prob}[\min_j U_j \geq z] &= \prod_{j \in C} \text{Prob}[U_j \geq z] \\ &= e^{-e^{\lambda z + \beta}}, \quad \beta = \ln \sum_{j \in C} e^{-\lambda V_j + \beta_j} \quad \text{..... (A-17)} \end{aligned}$$

と求まり、したがって最小効用の期待値は、積分計算を行い、

$$\begin{aligned} E(\min_{j \in C} U_j) &= \int_{-\infty}^{\infty} z d \text{Prob}[\min_{j \in C} U_j \geq z] \\ &= - \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot e^{\lambda z + \beta} \cdot e^{-e^{\lambda z + \beta}} dz \\ &= - \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{j \in C} e^{-\lambda V_j + \beta_j} \end{aligned}$$

によって表わせる。(A-18)は、

$$V_j - \frac{\beta_j}{\lambda} > E(\min_{j \in C} U_j), \quad \forall j \in C \quad \text{..... (A-19)}$$

$$E(\min_{j \in C} U_j) \geq E(\min_{j \in C'} U_j), \quad C \subset C' \quad \text{..... (A-20)}$$

を満たし、選択肢を追加すれば最小効用の期待値が低下することを意味する。

ここで $C(\bar{i})$ を選択肢集合 C から要素 i を除いた集合とする。このとき、

$$\begin{aligned} R_i &= E(\min_{j \in C(\bar{i})} U_j) - E(\min_{j \in C} U_j) \\ &= \frac{1}{\lambda} [\ln \sum_{j \in C} e^{-\lambda V_j + \beta_j} - \ln \sum_{j \in C(\bar{i})} e^{-\lambda V_j + \beta_j}] \quad \text{..... (A-21)} \end{aligned}$$

は選択肢 i 以外の総ての要素が既に集合に加えられた条件下で、 i を加えたことによる最小効用の低下分を表わす。また言葉を変えれば、総てを集合に加えた状態で、もし i を加えていなければ、如何に最小効用の低下を防げたかを表わす。これを i を集合に加える際の抵抗値と考え、効用 V_i よりこれを差し引いた値で選択が決まると考える。

$$P(i|C) = \frac{e^{\lambda(V_i - \alpha R_i)}}{\sum_{j \in C} e^{\lambda(V_j - \alpha R_j)}}, \quad \alpha > 0 \quad \text{..... (A-22)}$$

上式で選択確率を定義すれば、結局、

$$P(i|C) = \frac{e^{\lambda V_i} (\sum_{j \in C(\bar{i})} e^{-\lambda V_j + \beta_j})^\alpha}{\sum_{j \in C} e^{\lambda V_j} (\sum_{j' \in C(\bar{j})} e^{-\lambda V_{j'} + \beta_{j'}})^\alpha} \quad \text{..... (A-23)}$$

と求まり、更に $\alpha = 1$ の場合を考えれば、

$$P(i|C) = \frac{\sum_{j \in C(\bar{i})} e^{\lambda V_i - \lambda V_j + \beta_j}}{\sum_{j \in C} \sum_{j' \in C(\bar{j})} e^{\lambda V_j - \lambda V_{j'} + \beta_{j'}}} \quad \text{..... (A-24)}$$

を得る。

付表-1 本研究の方法により推計したOD表

$\begin{smallmatrix} D \\ O \end{smallmatrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	t_i
1	968	216	279	219	74	332	54	117	32	112	14	2,415
2	1,502	1,458	618	207	143	1,133	253	289	66	189	21	5,879
3	1,955	758	1,347	494	199	941	213	973	160	495	45	7,580
4	1,404	299	564	850	269	752	120	350	112	664	59	5,443
5	805	259	287	385	842	1,193	101	191	63	314	78	4,518
6	1,170	643	422	307	463	4,140	239	305	106	285	40	8,120
7	1,338	910	666	326	188	1,397	1,478	493	115	307	39	7,257
8	1,437	610	1,201	448	212	989	256	1,520	365	670	60	7,767
9	813	281	494	272	124	559	118	726	1,416	860	88	5,750
10	1,445	455	782	1,040	389	1,071	202	735	370	3,590	299	10,378
11	327	81	116	161	151	280	38	85	61	318	443	2,059
t_j	13,163	5,970	6,776	4,709	3,052	12,786	3,072	5,782	2,865	7,803	1,188	67,166

付表-2 フレータ法により推計したOD表

$\begin{smallmatrix} D \\ O \end{smallmatrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	t_i
1	963	215	279	219	74	334	54	118	32	112	14	2,415
2	1,501	1,459	616	207	143	1,140	255	289	62	186	20	5,879
3	1,951	756	1,348	498	200	944	214	976	154	495	44	7,580
4	1,401	300	568	849	268	755	120	353	108	661	60	5,443
5	813	260	289	385	849	1,186	101	190	59	308	78	4,518
6	1,175	644	424	308	462	4,143	236	305	101	281	40	8,120
7	1,348	914	668	325	188	1,389	1,483	491	110	302	39	7,257
8	1,442	614	1,198	450	212	997	256	1,523	350	666	60	7,767
9	789	273	484	269	120	556	114	718	1,473	865	88	5,750
10	1,450	455	785	1,035	386	1,067	201	735	358	3,608	300	10,378
11	330	80	117	162	150	275	38	84	58	318	447	2,059
t_j	13,163	5,970	6,776	4,709	3,052	12,786	3,072	5,782	2,865	7,803	1,188	67,166

参 考 文 献

- 1) Koppelman, F.S. : Guidelines for Aggregate Travel Prediction Using Disaggregate Choice Models, Transportation Research Record 610, pp.19-24, 1976.
- 2) Mc Fadden, D. : Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In Frontiers in Econometrics, ed. P. Zarembka, Academic Press, pp.105-142, 1974.
- 3) Mc Lynn, J. : Disaggregate Mode Choice Models of Fully Competitive Type, DTM Report, 1973.
- 4) Ben-Akiva, M.E. : Structure of Passenger Travel Demand Models, Transportation Research Record 526, pp.26-42, 1974.
- 5) Daly, A.J. & S. Zachary. : Improved Multiple Choice Models. In Determinants of Travel Choice, ed. D.A. Hensher and Q. Dalvi, A Saxson House Report, pp.335-357, 1978.
- 6) Williams, H.C.W.L. : On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit, Environment and Planning

- A. Vol. 9, pp. 285-344, 1977.
- 7) Ben-Akiva, M.E. & S.R. Lerman. : Disaggregate Travel and Mobility-Choice Models and Measures of Accessibility. In Behavioural Travel Modelling, ed. D.R. Stopher, Croom London, pp. 279-318, 1979.
- 8) Mc Fadden, D. : Modelling the Choice of Residential Location. In Spatial Interaction Theory and Planning Models, ed. A. Karlqvist et al., North-Holland, Amsterdam, 1978.
- 9) Mc Fadden, D. : Econometric Models of Probabilistic Choice. In Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications, ed. C.F. Manski and D. Mc Fadden, The MIT Press, pp. 198-272, 1981.
- 10) 河上省吾・広島康裕・溝上章志：意識データに基づく交通機関の転換率モデル構築の試み，土木学会・土木計画学研究，論文集Ⅰ， pp. 11-18, 1984.
- 11) 宮本和明：立地選択モデル — 非集計行動モデルの土地利用モデルへの応用 — ，土木学会土木計画学講習会テキスト15， pp. 161-174, 1984.
- 12) Krishnan, K.S. : Incorporating Thresholds of Indifference in Probabilistic Choice Models, Management Science, Vol. 23, No. 11, pp. 1124-1233, 1977.
- 13) 加藤 晃・森村壽芳・阿佐真一：Mogit Model による住宅立地行動の一考察；第36回土木学会年講，第4部門， pp. 373-374, 1981.
- 14) Manski, C.F. : The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision 8, pp. 229-254, 1977.
- 15) Gaudry, M.J.I. & M.G. Dagenais. : The Dogit Model, Transportation Research, Vol.13B, pp.105-112, 1979.
- 16) Hensher, D.A. & L.W. Johnson. : Applied Discrete-Choice Modelling, A Halsted Press Books, 1981.
- 17) 宮本和明・宮地淳夫：非集計型住宅タイプ選好モデル，都市計画学会，学術研究発表論文集，第17号, pp.139-144, 1982.
- 18) Richardson, A. : Search Models and Choice Set Generation, Transportation Research, Vol. 16 A, pp. 403-420, 1982.
- 19) Landau, U., J.N. Prashker & Alrern. : Evaluation of Activity Constrained Choice Sets to Shopping Destination Choice Modelling, Transportation Research, Vol. 16 A, pp. 199-208, 1982.
- 20) Tversky, A. : Elimination by Aspects ; A Theory of Choice, Psychological Review 79(4), pp.281-299, 1972.
- 21) Tversky, A & S. Sattath. : Preference Trees, Psychological Review 86, pp. 542-573, 1977.
- 22) Foerster, J.F. : Mode Choice Decision Process Models ; A Comparison of Compensatory and Non-Compensatory Structures, Transportation Research, Vol. 13 A, pp. 17-28, 1979.
- 23) Recker, W.W. & T.F. Golob. : A non-Compensatory Model of Transportation Behavior Based on Sequential Consideration of Attributes, Transportation Research, Vol. 13B, pp. 269-280, 1979.
- 24) 森地 茂・酒井通雄・井原勝美：大都市圏における交通機関選択分析，土木計画学研究発表会講演集Ⅰ， pp. 58-65, 1979.
- 25) Daganzo, C. : Multinomial Probit ; The Theory and It's Application to Demand Forecasting, Academic Press, 1979.
- 26) Sheffi, Y. : Estimating Choice Probabilities among Nested Alternatives, Transportation Research, Vol. 13B, pp. 189-206, 1979.
- 27) 森地 茂・屋井鉄雄：非日常交通への非集計行動モデルと選択枝別標本抽出法の適用性，土木学会論文報告集，第342号， pp. 161-170, 1984.
- 28) Manski, C.F. & S.R. Lerman. : The Estimation of Choice Probabilities from Choice Based Samples, Econometrica, Vol. 45, No. 8, pp. 1977-1988, 1977.
- 29) Manski, C.F. & D. Mc Fadden. : Alternative Estimators and Sample Designs for Discrete Choice Analysis. In Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications, ed. C. F. Manski and Mc Fadden, The MIT Press, pp. 2-50, 1981.
- 30) 太田勝敏：非集計行動モデルの交通計画への適用に関する研究(Ⅱ)，東京大学工学部，太田研究室，1981.
- 31) 桐越 信・塚本直幸：シミュレーションデータによる非集計ロジットモデルの誤差解析，土木計画学研究発表会講演集5， pp. 450-461, 1983.
- 32) 屋井鉄雄：非集計行動モデルによる交通需要予測手法，東京工業大学工学博士論文，1985.
- 33) 山形耕一：非集計モデルのための調査とデータ作成，土木学会土木計画学講習会テキスト15， pp. 67-103, 1984.
- 34) 原田 昇：鉄道経路選択モデルにおける集計レベルに関する分析，第38回土木学会年講，第4部門， pp. 39-

- 40, 1983.
- 35) 森地 茂・屋井鉄雄・田村 亨：非集計行動モデルの構築に要する交通サービスデータの精度に関する検討，日本都市計画学会，日本都市計画学会学術研究論文集 20, pp. 271-276, 1985.
- 36) 屋井鉄雄：非集計行動モデルの移転可能性に関する研究の経緯，東京工業大学土木工学科研究報告，No.32, 1984.
- 37) 森地 茂・屋井鉄雄・田村 亨：非集計交通手段選択モデルの地域間移転可能性，土木学会論文集，第 359 号／Ⅳ-3, pp. 107～115, 1985.
- 38) 森地 茂：非集計行動モデルによる予測，土木学会，土木計画学講習会テキスト15, pp. 121-147, 1984.
- 39) 森地 茂・屋井鉄雄・藤井 卓・竹内研一：買回品の買物行動における商業地選択分析，土木学会，土木計画学研究，論文集Ⅰ，pp. 27-34, 1984.
- 40) Morichi, S., Ishida, H. and T. Yai.: Comparison of Various Utility Functions for Behavioural Travel Demand Model, World Conference on Transport Research 83, Vol. 1, pp. 159-173, 1983.
- 41) 森地 茂・屋井鉄雄・田村 亨：非集計行動モデルによる OD 交通量推計方法，土木学会，土木計画学研究，論文集 2, pp. 45-52, 1985.
- 42) 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，土木学会，土木計画学研究，論文集Ⅰ，pp. 99-106, 1984.
- 43) 森地 茂・屋井鉄雄・平井節生：非集計行動モデルによる都市圏 OD 表の推計，第40回土木学会年講，pp. 399-400, 1985.
- 44) 屋井鉄雄・森地 茂：交通量データを用いた非集計行動モデルの改良方法，第40回土木学会年講，pp. 397-398, 1985.

(昭和59年度土木学会論文奨励賞受賞)