

非集計行動モデルの研究の現状と課題

東京大学 正会員 太田勝敏
" 学生員 〇原田 昇

1. はじめに

交通需要分析は、交通計画や政策の決定に不可欠な要素であり、対象の規模、計画年次、改善の質等によって、需要分析に要求される内容と精度が異なっている。

長期の需要予測に関しては、1950年代後半より、トリップの発生、分布、模塊別分担、配分からなるいわゆる4段階法が体系化されている。しかし、その理論面および実用面の両者について問題が残されており(参考文献38,70)、4段階法の一部、あるいは全体を代替するような新しい交通需要予測の手法体系が研究開発され、多くの適用例が報告されるようになってきている。すなわち、従来のゾーン等の集団を単位とした分析に基づくモデルに対して、個人等の交通行動単位をベースとして、その行動メカニズムを表わすモデルによる需要推定方法がそれである。後者は、個人選択モデル(Individual Choice Model)あるいは非集計行動モデル(Disaggregate Behavioural Model)と呼ばれている。これに対して、従来のゾーン単位等によるモデルは、集計モデル(Aggregate Model)と呼ばれている。

非集計行動モデルは、交通行動を明示的にモデル化し、少数のデータで多くの政策変数を組み入れたモデルの作成が可能であることから、この10年米国を中心に研究開発が進んでいる。交通行動を叙述できるモデルであれば、新しい交通機関に対する需要推計や、ある場所で作成されたモデルが他の場所にも転用できる

可能性(Spatial Transferability)また、時間的な安定性が高く、将来予測にも適切(Temporal Transferability)であると考えられることから、集計モデルよりも応用性がある。

しかし、適用プロセスでの集計手順の違い(図1)からも明らかなように、集計モデルとは異なる特有の研究課題をかかえている。すなわち、個人の合理的選択行動の仮定に伴う理論的問題、個人の離散型選択(Discrete Choice)を直接モデル化することに伴うモデル推計手法上の問題、また、実用にあたっては、母集団を代表するサンプルの抽出方法、選択肢の設定方法、「集計」予測の方法、等の問題がある。

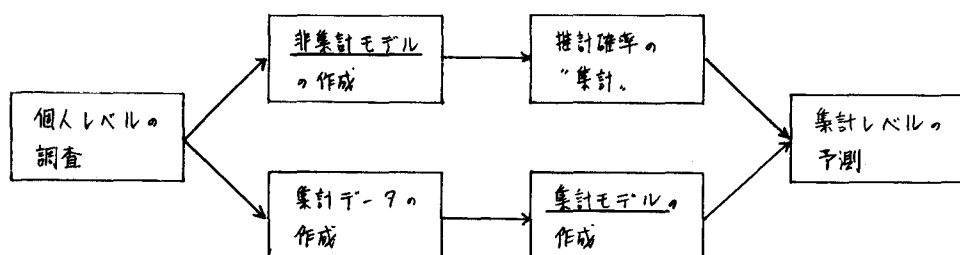
2. 非集計行動モデル研究の発展動向

2-1. 概説

非集計行動モデルは、有限個の選択肢から特定の選択肢を選ぶ、離散型選択を、合理的行動仮説のもとに直接分析するものである。したがって、離散型反応を示すすべての行動に適用可能である。交通においては、交通流を構成する個人の移動の、頻度、出発の時刻、目的地、交通手段、ならびにルートに関する選択は、する(=1)、しない(=0)という離散型選択であるが、一般には、個人の合理的選択過程の結果とみることもできる。

非集計行動モデルの理論に関しては、最も一般的なロジットモデルの前提条件であるIIA(Independence from Irrelevant Alternatives)特性に対して、その模

図1. 非集計モデルと集計モデルの適用プロセス(略図)



証方法(45)に続いてIIAの仮定を緩和した各種の改良ロジットモデルが提案されるに至っている。また、より適切な行動仮説に基づくモデルを求めて、①意識や態度(Attitude)が交通行動に与える影響の研究、②情報の不完全と行動の習慣性(52,53,55)、あるいは、③選択を規定する種々の制約に関する研究(43)、④世帯等のケルーフ間の相互作用や時間空間的制約を重視した人間-活動アプローチ(58)等の研究が進められている。このように、ロジットモデルには種々の理論的境界があるが、一方で操作性が高く実用的であることから、これらの批判は、モデルの操作性と精度に関連させて考える必要がある。

ロジットモデルを中心とした非集計行動モデルの適用例は、米国で最も盛んであるが、イギリス・オランダ・オーストラリア等でも進んでいる(56,70)。分析の対象とされる交通行動は、交通手段選択を始めとして、目的地、トリップ頻度、出発時刻、ルートを選択、さらに長期的な乗用車保有(61,64)、居住地選択(63)へと旅がりをみせ、非集計モデル体系により従来の4段階集計予測モデル体系を全面的に代替する試み(64)が試みられるに至っている(図2)。また、非集計行動モデルも適用する方法の改善と検証方法、およびその妥当性の境界についても研究が進んでおり、サンガルとネットワークデータの収集、モデルの定式化・キャリブレーション・検証、集計と政策予測、広域・コリドー・地区レベルの政策内容への具体的適用、といった交通計画プロセスの全ての局面について検討が加えられている(66)。

日本における研究事例も近年増えているが、表1に示す適用事例でも明らかなように、ほとんどが二者択一の交通手段選択を対象としており、多者択一の非集計モデルへの展開過程にあるといえる。

以下では、非集計行動モデルのうち最も一般的なロジットモデルを中心として、理論的背景と展開、ならびに、サンプリングや「集計」等の実用上の問題別の研究動向をまとめる。

2-2. ロジットモデルとその展開

(1) ロジットモデルの前提条件

ロジットモデルは、確率初用理論の一様であるランダム初用理論から得られるモデルのひとつである。

選択肢 j を選択することによって個人 i が得る効用を、 $U(X^i, S)$ (X : 選択肢の観測可能な特性、 S : 個人の社会经济属性) とし、個人 i は、

$$U(X^i, S) > U(X^j, S) \quad (1)$$

のとき、選択肢 j に対して選択肢 i を選ぶとする。ランダム初用理論は、 $U(X, S)$ は確率的に変動すると思われるもので、式(1)が確率で表わされる。 $U(X, S)$ のうち、確率的に変動する項を $E(X, S)$ 、変動しない項を $V(X, S)$ とし、その線型性を仮定すると、

$$U(X^i, S) = V(X^i, S) + E(X^i, S) \quad (2)$$

で、選択肢 i を選ぶ確率 P_i は、

$$\begin{aligned} P_i &= \text{Prob}\{U(X^i, S) > U(X^j, S), j \neq i, j=1, \dots, J_c\} \\ &= \text{Prob}\{E(X^i, S) - E(X^j, S) > V(X^j, S) - V(X^i, S), \\ &\quad j \neq i, j=1, \dots, J_c\} \end{aligned} \quad (3)$$

図2. MTC 交通需要モデルシステム (64)

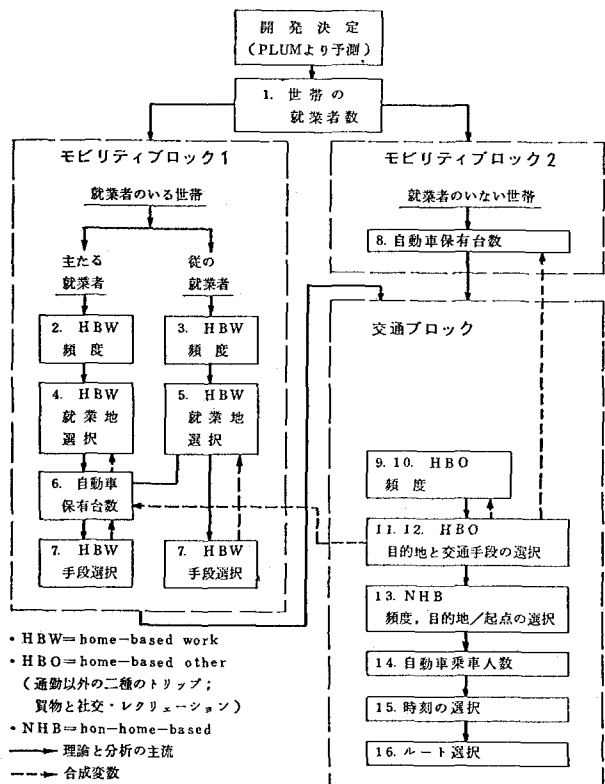


表1. わが国における非集計行動モデルの適用事例

	レベル	対象地域	内 容	トリップ目的	モデル ^{*)}	主調査 ^{**)}	年	文 献
1	都市間	東京～札幌	交通手段	全目的	BL	-	1981	内山久雄 (32)
2		東京～甲府・ 松本周辺	"	観光	BL	-	"	鈴木 勝他 (20)
3	都市圏	広島	頻度	全目的	線形	P.T.	1972	太田勝敏 (1)
4		東京	交通手段	通勤 業務	BL	"	1978	中川三朗 (2)
5		前橋・高崎	"	通勤	MNL	"	1979 1980	原田 昇 (18) 太田勝敏 (24)
6		中京	"	全目的 通勤	BL	"	1980	磯部友彦 (10) 河上省吾
7		広島	"	通勤	"	≒P.T.	1980 1981	杉恵 類等 (28) 加藤文教 (16) 門田博知
8		尾道・三原	"	"	MNL	-	1981 1981	杉恵 類等 (17) " (31)
9		東京都市圏 内の6地区	"	5トリップ タイプ	線形 BL	-	1976	折下 功 (30) 南宮 健
	市・地区	横浜市登津田	"	買物	線形 BL	-	1978 "	鈴木伸哉他(3) 原田 昇 (4) 太田勝敏
		新玉川線沿線	"	通勤・ 私用	BL・MNL BP	-	1978 " 1979 "	本多 均他(5) 土屋 謙他(6) 酒井通雄他(22) 鈴木 勝他(20)
12		仙台市	"	通勤・ 私用	MNL	-	1980	井原勝美他(23)
13		立川駅	アセス交通手段	全目的	線形 MNL	-	1980	岩本千樹 (9) 太田勝敏
14		桃花台沿線	交通手段	通勤・ 通学	BL	-	1980	向井伸治 (11) 花岡利幸
15		千葉市・小樽市	経路(有線道路・線路)	全目的	BL	-	1980	千葉博正他(12)
16		北九州市	"	"	BL	-	1980	太田勝敏 (13)
17		東京都世田谷区	経路(車・鉄道)	通勤	BL・BP	-	1979	鹿島 茂 (27)
18		東京都・成城地区・ 荏原地区・栗田	経路(一般道路・区間)	全目的	線形・BL	-	1979	松岡信彦他(25)
19		三鷹・調布地区	駅・アセス手段	全目的	BL MNL	-	1981 "	太田研究室 (37) 原田 昇 (29)

*) モデルは ; BL = Binary Logit, BP = Binary Probit, MNL = Multinomial Logit.

**) 主調査は ; P.T. = Person Trip Survey, " = その他.

但し, J_i : 個人 i の選択肢数
となる。式(3)より, 確率項 $E(X, S)$ の分布形によつて, 異なる関数が導かれることがわかる。

確率項 $E(X, S)$ は, 独立にワイブル分布すると仮定するとロジットモデルが得られる。ここで重要なのは, 確率項は選択肢について独立であり, 同一の分布であるとしていることである。

ワイブル分布 (ガンバル分布と呼ぶこともある) は,

$$\text{Prob}[E \leq \eta] = \exp[-\exp(-\eta)] \quad (\text{平均: } -\gamma(-0.577), \text{分散: } 1.645) \quad (4)$$

であり, これを式(3)に代入してロジットモデルが得られる。

$$P_i = e^{V_i} / \sum_j e^{V_j} \quad (\text{簡単のため } V_i = V(X_i, S) \text{ と示す}) \quad (5)$$

したがって,

$$P_i / P_j = e^{V_i} / e^{V_j} \quad (6)$$

となり, 選択確率比は, 第3の選択肢の有無によらず一定となる。この特性がIIAである。この特性は,

$P(i|J_i) / P(j|J_i)$ が J_i によらず一定であるところから, “選択確率比の文脈独立”とも呼ばれている(39)。

V_j についてパラメータ β_k と変数 X_{jk} の線形を仮定し,

$$V_j = \sum_k \beta_k X_{jk} \quad (7)$$

とすると, 結果的に, X_{jk} の P_i に対する交差弾性は,

$$E_{ij}^k = -\beta_k X_{jk} P_j \quad (8)$$

となり, i によらず β_k と X_{jk}, P_j によって決まることになる。

IIAは, 確率項が独立に同一の分布をすると仮定していることから派生したもので, 確率項の分布を独立でないもの, 例えば, 共分散行列が0でない正規分布にある場合には, 生じない。じつは, 確率項を正規分布すると仮定するとプロビットモデルが得られるのだが, パラメータ推定がロジットと比べてめんどろである。確率項が独立な正規分布でもその分散・共分散行列 Σ を $\frac{1}{3}I$ (I : 単位行列) とあると仮定して得られるモデルは, identity probit と呼ばれるモデルで, 確率項が独立で分散が $\frac{1}{3}$ であることにより, ロジットモデル(式(5))と近似する(47)。また, 確率項理論でも,

Tversky の EBA (Elimination by Aspect) モデルのように初用最大化(式(3))によらないモデルがある(73)。

(2)理論上の展開

ロジットモデルに代して, その適用領域を拡大するために, 段階型モデルにおける合成変数, 類似性の異

なる選択肢グループの処理, ならびに, 行動仮定の一般化をめぐる理論の開発が行われている。

段階型モデルは, 同時型モデルでは選択肢の数が多くなり得る場合に, それをいくつかのレベルに分けて, 第 n レベルの選択を第 $(n-1)$ レベルの選択結果に基づいて条件付選択として分析するものである(図3, 42)。したがって, 第 $(n-1)$ レベルの初用関数 V_{n-1} に第 n レベルの選択肢に対する評価をどう導入するのかが問題となる。最も初用の高いもので代表させる方法や, 選択確率による重みづけ平均等が検討されているが, Williams (74) により, 次式の「合成変数 (Composite Variable)」が適切であることが示された。

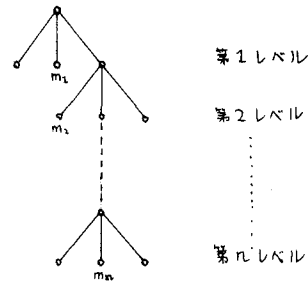
$$\Lambda = \ln \sum_{j \in A_{n-1}} \exp V_{mj}$$

この式は, 第 n レベルで選ばれる選択肢の初用 V_m ($= \max(V_{mj})$) の平均値 ($E[\bar{V}_m]$) になっている(48)。

また, LOGSUM とも呼ばれるこの合成変数は, 段階型モデルと同時型モデルが同一の結果を与えるための条件式からも導くことができる(64)。

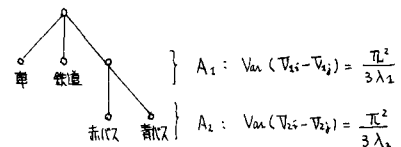
続いて, 選択肢の類似性を考慮するために提案された Nested (or Structured) logit (NL) モデル(47, 74)を紹介する。

図3. 段階型モデル



$$P(m_n) = P(m_n | m_{n-1}) \cdot P(m_{n-1} | m_{n-2}) \cdot \dots \cdot P(m_1)$$

図4. NLモデルの考え方



但し, A_1, A_2 は, 類似性の異なる選択肢グループ

このNLモデルは、選択肢の初用を完全に独立であると仮定するロジットモデルと、初用に分散—共分散行列で示される相関を仮定するプロビットモデルの中間に位置づけられるものであり、McFaddenが提案した一般形のGEV (General Extreme Value) モデルのうち、ロジットモデルに次いで実用的なモデルである。NLモデルは初用指数 V の係数 λ_i が、 $\text{Var}(V_i - V_j) = \pi^2/3\lambda_i^2$ の係数で、初用の分散の2乗に反比例することを利用してのものである。具体的には、選択肢を類似性の異なるグループ (A_i) と分け、類似性の強いグループを合成変数でまとめて分析する(図4)。特徴は、合成変数に初用の分散の大小を示す係数 λ_i/λ_j ($=\sigma$) がつくことであり、 $(0, 1]$ の値をとるべきであることが示されている。また、類似性の強い選択肢の推計確率に関しては、 $\sigma=1$ とするロジットモデルによる上限値と、初用最大の選択肢を代表させる Maximum Model による下限値の中間値をとること(46)から、より一般的なものであるとして注目されている。

次に、合理的選択行動モデルの伝統的仮定に対する批判研究を概説する。

行動モデルの伝統的仮定に対しては、多くの問題点が指摘されており、その代替仮定としてまとめられている(表2)。このような問題の重要性は、Jones や Heggie が Oxford 大学交通研究所を中心とする人間—活動アプローチ(58)、や、Hägerstrand が Lund 研究所を中心とする行動地理学者の諸報告(44)に示されている。

これらの代替的仮定に関する研究の状況は不十分である。習慣性に関しては、Hensher(55, 56)、Goodwin(52)等が、情報探索に関しては、Richardson(69)等が理論的フレームを示しているが、適用にいたっていない。また、初用関数の非連続性に関しては、要因にいき値(threshold)を設定し、行動に影響しうる限界を導入するモデルが提案されている。初用全体に無差別領域を導入したMPDモデル(Krishnan, 60)、要因の重要度による段階的評価と要因別のいき値に対数正規分布を仮定する段階的評価モデル(33)、要因別のいき値を設定し要因の重要度をモデルで決定するEBAモデル(73)等がある。選択肢別に要因とは無関係に選択される確率(=固有確率)を導入したDogitモデル(49)や、

初用が負の場合には選択が行われないと考えるMogitモデル(14)を含めて、適用による検証を進める必要がある。

最後に、提案された各種モデルの式形とロジットモデルとの関係と特徴を、表2にまとめた。

2-3. 実用上の諸問題

(1) サンプリング

非集計行動モデルのキャリアレーションにあたっては、個人の社会経済属性と交通サービス特性、そして交通行動についての観測値が必要である。このような個人データのサンプリングの目標は、選択実績と選択要因について母集団を代表する観測値をうることである。しかし、現実には、選択実績と選択要因の母集団同時分布を知るすべはなく、別の基準に沿ったランダム抽出によって近似することになる。非集計データ用のサンプリング手法としては、①ランダム抽出法、②属性による層別抽出法、③選択結果による層別抽出法が使われている(62)。選択結果による層別抽出法は、選択確率の小さい行動に関する抽出率を高くして、モデルのキャリアレーションにあたって、次の重みを加えて修正するものである(67)。

ランダム抽出法によるサンプルが観測された選択と行なう確率

選択結果による層別サンプルが観測された選択と行なう確率

分母は、選択実績の母集団分布であり、既存データ等より推計できることが多い。選択確率の小さい行動に関する抽出率を高めるのは、その行動に関する選択要因の変動を十分に代表するサンプルを確保するためである。

サンプル率、あるいはサンプル数の検討に関してはサンプルでの分布と母集団分布を比較するのが直接的である。しかし、選択実績と社会経済属性を内する母集団分布が既存データ等により推計できるのに対して、交通サービス変数の分布を推計することは困難である。これまでに、サンプル数の減少に対する推定パラメータの安定性による判断(17, 36, 38)が報告されているが、抽出サンプル内での比較があり、母集団から抽出サンプルを作成する場合のサンプル自体の変化も考慮していない限界がある。

この点に関しては、交通サービス変数の分布自体と研究する供給モデルの用途と、交通サービス変数の分

表2. 行動モデルに対するいくつかの代替仮定

伝統的仮定	代替仮定
1. 個人は自由な選択をする。	1. 行動に対して全体的かつ空間的制約がある。
2. 選択に影響する属性は連続的な(非)効用を生む。	2. (非)効用関数は、非連続であり、行動に対する厳しい制約(いき値)がある。
3. 個人は完全に排他的な選択肢から選択を行なう。すなわち、すべての関連事項について完全な知識をもつ。	3. 知識の欠如や不確実性が行動に影響するのが一般的である。
4. 選択に影響する属性は(非)効用の面で完全な代替性をもつ。	4. 短期的に、個人はくり返し選択をうる場合に、習慣性を示す。
5. 情報探索や学習のコストはゼロである。	5. 情報探索や学習には正のコストがかかる。情報収集の効用コストが期待される効用増加より大きいことがある。

出典: Hensher (56)

表3. ロジットモデルと各種の改良ロジットモデル

モデル名称 (参考文献(代目))	モデル式	特徴
Logit Model (McFadden, 48)	$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in J_d} e^{V_j}} = P(U_i > U_j, j \in J_d)$	確率効用理論の効用最大化の原理により離散型の選択を説明する。同様のプロビットモデルにくらべて、IIA特性をもつが、同時に、式形が単純で操作性が高い。
Fully competitive Model (Talvitie, 71)	$P_i = P_i (1 + \lambda U_i)$ $U_i = f(P_i) - \sum_j P_j f(P_j)$ P_i はロジットモデルである。	確率の総和=1. の条件をみたし、IIA特性をもたないモデル式も、ロジットモデルを基に求めたもの。λの意味が明確でない。
M.P.D Model (Krishnan, 60)	$P_1 = P(U_1 > U_2 + \delta) + \theta P(U_1 - U_2 \leq \delta)$ $P_2 = P(U_2 > U_1 + \delta) + (1-\theta) P(U_1 - U_2 \leq \delta)$	いき値δを用いて、二選択肢について無差別である臨界点にロジットを導入した。δ=0とみると、NLモデルと一致する。
Dogit Model (Gaudry, Degenis, 49)	$P_i = \frac{1}{1 + \sum_j \theta_j} \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}} + \frac{\theta_i}{1 + \sum_j \theta_j}$ 但し、 $\theta_i \geq 0$	選択肢に特有の非選好性(= $\frac{\theta_i}{1 + \sum_j \theta_j}$)を導入し、それ以外の部分をロジットを適用するもの。θ _i ≡0とみるとロジットモデルと一致する。
Mogit Model (森杉等, 14)	$P_i = P(U_i - W_i \geq U_j - W_j, U_i \geq W_i)$ $= \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}} [1 - \exp(-\sum_k \frac{V_k}{\lambda_k})]$	効用U _i をつけた値とし、価格W _i との差(立地金割)に着目し、この差が大きくなる非選好のときに選択するとしたもの。選択が選好化しない確率を求められる。
Nested Logit (NL) Model (Daly, Zachary, 47)	$P_i = \frac{e^{\lambda_i V_i}}{\sum_{j \in A_2} e^{\lambda_j V_j} + \exp(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \ln \sum_{k \in A_1} e^{\lambda_k V_k})}$ 但し、 $0 < \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \leq 1$	類似性の異なる選択肢グループ(A ₂)に応じてλ _i をかえるもの。λ _i と効用の分散の二乗とが反比例することも利用している。λ ₁ =λ ₂ のときロジットモデルと一致する。
G.E.V Model (McFadden, 67)	$P_i = e^{V_i} \frac{\partial G(\gamma_1, \dots, \gamma_J)}{\partial \gamma_i} / G(\gamma_1, \dots, \gamma_J)$ 但し、G(γ ₁ , ..., γ _J)は、特定の条件を満たし、 $\sum_i \gamma_i = 1$	効用最大化理論と整合性がある。ロジットモデルの一般形として提示された。 $G(\gamma_1, \dots, \gamma_J) = \sum_i \gamma_i$ とみるとロジットモデルと一致する。

布をランダムに取るためには何を基準としてサンプリングをすればよいのか、という議論が必要である。

(2) キャリブレーションデータの設定

個人の社会经济属性と選択結果については、通常個人単位にデータを収集するために、特に問題はない。問題は、個人レベルでの交通サービス特性のデータである。通常入手できるのは、選択結果に関する報告値あるいは、一日平均のゾーン内所要時間といった空間的・時間的に集計されたレベルでの客観値である。一方、非集計分析が欲しいのは、比較した選択肢すべてに関する特定時刻における特定地点間の交通サービス特性である。

変数を客観値に与える場合には、Talvitie and Dehyhani (1980) が主張するように、交通施設のサービスレベルと運用、ならびに交通量との関係を明らかにして、交通サービス変数の分布形を求めるサブモデルを作成する方法が適切であるが、この問題への関心は薄く、研究例もごくわずかである(66)。また、トリップ表に記入された報告値を用いるのは、選択した行動についても不安定であることから問題がある(59)。

また、CRA(46)、Hartgen(58)が示すような「客観値→主観値→効用→行動意図→実際の行動」というプロセスを考えると、客観値と主観値との関係を示すサブモデルが必要である。この関係に関しては、Fuzzy関数(5)や、実験計画法(15)の応用例がみられる。今後は選択した行動と選択しなかった行動との

評価構造の違い、情報量の違いを考慮する形のサブモデルを研究する必要がある。但し、客観値から主観値へと行動へといたるプロセスの、将来について9安定性は、非常に重大な問題を含んでいる。

比較した選択肢の設定に関しては、3種類の方法がある。

- ① 交通条件の類似したグループで利用実績があるものを利用可能とする。
- ② 非現実的な選択肢の推計確率は0に近くなると考え、すべて利用可能とする。
- ③ 利用可能性を判断する特定の基準を設定する。

手法①と②では、非現実的な選択肢の導入により現実的な選択肢間の選択を誤って推定する場合がある(24)。手法③は、選択に関する種々の制約条件を取り入れるもので、利用可能性をアンケートで設定する場合、距離等の物理的限界を設定する場合がある。手法③が選択行動の分析には適していると考えられる。しかし、アンケートで得られる利用可能性の判断には、習慣性、情報の不完全性、ならびに個人の主観的偏りによるものがあり(41)、選択行動として分析できない行動の存在を示唆している。

(3) 変数の選択

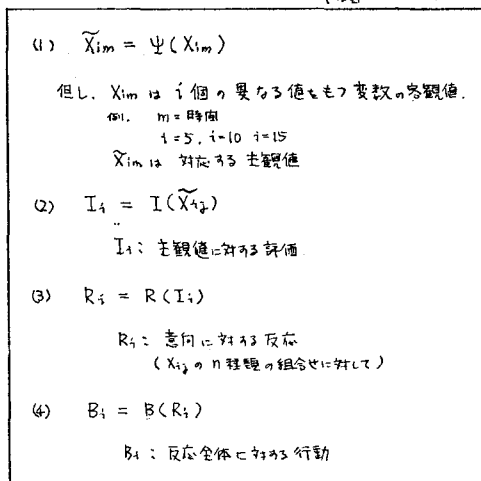
非集計行動モデルでは、変数の有変性をモデル導入前にあらかじめ判断するためには、利用可能な人々の中で選択した人と選択しなかった人との、変数の分布の違いをみる必要がある。平均値の差の推定や分散分析、ならびに相関係数による判断は、各選択肢が利用可能なサブサンプルにわけて行なうべきである。

変数は効用平均値に与える影響が選択肢全体に対して同じか異なるかにより、“共通変数(generic variable)”と“(選択肢)固有変数(alternative specific variable)”に分けられる。

固有変数では各選択肢別の変数の分布が重要であるのに対して、共通変数では、基準となる選択肢(base alternative)との変数の差の分布が重要である。

また、固有変数を使う理由は、交通行動において重要な変数すべてを必ずしも知らないこと、またこれらの変数を観測できないこと、などがあげられる。従って、できるだけ固有変数の数を減らし、共通変数に説明有ることが望ましい。しかし、現状では観測デー

図5. 意思決定プロセス (Hensher(56), P25) a)



夕の不足、あるいは実用上の配慮から固有変数が使われる場合が多いが、そのパラメータの安定性については注意が必要である。

(A) モデルの検定

非集計行動モデルは、離散型変数を従属変数とすることから、パラメータ推定は最尤推定法で行なう(37)。最尤推定法は、パラメータ θ の尤度関数 $L(\theta)$ を用いて以下の検定ができる。

χ^2 検定 ($\chi^2 = -2 \log \lambda$, $\lambda = L_0 / L(\theta)$)

尤検定 (情報行列 $\frac{\partial^2 L(\theta)}{\partial \theta_i \partial \theta_j}$ の逆行列が推定パラメータの分散・共分散行列に収束することを利用する)

また、回帰分析の決定係数に対応するものとして、

P^2 値 ($P^2 = 1 - 1/\lambda$)

さらに、推定結果が実績とどの位合致しているかを直接表現しようとする適中率などがある(48, 67)。

χ^2 値、 P^2 値については、尤度比入の基準とする L_0 は定数項によって実績シェアを再現する場合の尤度にあることが、実績シェアの異なるモデルの比較には適している。また、 χ^2 検定は、変数追加によるモデル精度向上の有定性検定に使うことができる。 P^2 値については、0と1の間の値をとるが、0.2~0.4でも適合性が高いとされる点に注意が必要である(48)。

モデルの転用や集計予測を考えると、選択肢や集計グループ別にみた精度に偏りが無いモデルが望ましく、上記の指標とこれらのグループ別に検討する必要がある。このような指標の算出や、異なる解法の選択を許すような柔軟な推定プログラム等の整備も重要である。

(5) 作業モデルの「集計」

非集計行動モデルの利点は、多くの政策変数を直接にモデルに入れうる点であるが、実際にある交通政策の結果を予測するためにはモデルを操作して交通市場における全体的反応を知る必要がある。このような場合、個人ごとの交通行動を知ることはなく、それらの個々の反応の集計として市場全体の反応あるいは、交通圏圏属の反応、特定ゾーンでの反応などのような特定の市場セグメント別の反応が必要とされる。二つように、非集

計行動モデルを用いて、対象とする市場セグメントの集計的行動をいかに予測するかを「集計問題(Aggregation Problem)」と呼ばれる問題である。

このような集計手法としては、表4に示すように多くの手法が提案されている。わが国においても、集計手法の比較が行なわれている(6, 26)が、どの手法がどの状況に適切かについては、結論が得られていない。

集計手法の決定が考慮すべき要因のひとつは、母集団における変数分布である。同質の市場セグメントに分類できれば、集計精度は向上するが、そのためには分類ごとに変数分布を設定する必要がある。また、集計レベルで利用できる変数が限られるために、非集計モデルで重要な考えられる変数を省略することもある。このため、できるだけ少数の分類でできるだけ同質の市場セグメントを得ることが大切となる。

今後は、作成モデルを基にシミュレーションで作成

表4. 非集計モデルによる集計手法(37)

手 法	内 容
1. 総あたり法 Enumeration Method	予測対象(集計単位)を構成する。全個人(母集団)について個別に非集計モデルを適用し、その選択確率を集計する。
2. サンプリング法 Sampling Method	母集団の一部をサンプリングして、その個人について非集計モデルを適用し、その選択確率の集計シェアより母集団のシェアを推定する。 ・ランダム抽出法、その他の抽出法により実サンプルを用いるもの。
2.1 実サンプル法 S.M. with real or survey samples	
2.2 合成サンプル法 S.M. with synthesized samples	・母集団の変数の分布形に適合するように合成した仮想サンプルを用いるもの。
3. 平均値法 Naive Method	母集団の平均値を非集計モデルに入れて、その選択確率を母集団のシェアとする。
4. モーメント法 Moments Method	非集計モデルをテラー展開により線形近似して、変数の分布のモーメント(通常は平均値、分散・共分散)を用いて、母集団の選択確率の平均値(シェア)を近似する。
5. 変数変換法 Change of Variable Method	変数の分布をとり扱いやすい理論分布で近似し、選択確率の分布を導出して、その平均値を求める。
6. 分類法 Classification Method	母集団をいくつかの同質のグループに分類し、各グループの選択確率を変数の平均値より推定する。全体のシェアはグループの選択確率の重みつき平均値より求める。 ・選択可能な選択肢の組み合わせより分類するもの。
6.1 選択肢セット分類法 C.M. by choice set	
6.2 変数値分類法 C.M. by Variable Values	・社会経済属性等の特定の変数(1ないし2以上)の値より同質のグループに分類するもの。
6.3 地域分類法 C.M. by geography	・ゾーン等の地域分類によるもの。
6.4 効用水準分類法 C.M. by utility scale	・各選択肢についての効用水準の組み合わせより分類するもの。

する仮想データと、大規模な調査による実証データの双方に因して、「集計」手法とサンプリング手法等とをあわせて検討する必要がある。

(6) 作成モデルの安定性

非集計行動モデルが作成された以外の場所にも転用できるのか、将来予測に対して適切であるのかは、集計モデルに対する利点として肯定的に論じられてきた(78)。

地域間転用可能性については、①モデルをそのまま適用する、②選択肢特定数値を操作して集計シェアが合うように修正する、③少数サンプルによるモデルを作成し、既存モデルのパラメータと合わせて、推定パラメータを求める(40)、などのレベルが考えられる。このうち、②と③は、外部データを利用した修正であり、修正して用いてもよい程度を判断する必要がある。このために、異なる地域で作成したモデルのパラメータの差に関する不確定や、差を説明するモデルの開発を行なう必要がある。

将来予測に関しては、BARTの建設前後のデータに関するMcFadden(65)の分析、新玉川線の開通前後のデータに関する鈴木他2名(8)の分析、があるが、いずれもサンプル内での予測であり、集計レベルでの予測力を扱っておらず、今後の課題である。

また、作成モデルのパラメータの安定性は、説明変数間の相関、選択肢の初用相関、ならびに、重要な要因の欠如等の種々の要因と関連しており、モデル

の転用に際しては、変数も限定する必要があるといえよう。

3. 今後の課題

最後に、非集計行動モデルを政策評価モデルとして発展させるための課題を考えてみよう。政策評価で欲しいのは集計レベルでの予測交通量であるが、前節で整理した課題のうち、集計予測に関しては、サンプルと母集団に対するデータ設定誤差が最も重要であると考えられる。

この課題を研究するためには、特定サンプル内での予測誤差をこえて、サンプリングから集計交通量予測のチェックにいたるフレームを設定する必要がある。その場合、実際の政策に関する事前・事後データを収集すること、事前・事後について集計レベルのチェックデータを揃えること、等の課題がある。

集計モデルの補完関係については、短期交通管理政策に関しては非集計行動モデルの適切性が認められているが、集計レベルでのデータ設定の問題から、長期の政策については結論されていない。また、短期交通管理政策についても、具体的な適用によってその適用領域を実証的に示してゆくことが、急務である。

既存の4段階法に対応する非集計行動モデル体系の確立に関しては、当面はPT調査を活用して4段階法の一部に非集計行動モデルを適用することを検討することが現実的であろう。

主要参考文献

和文版

土木学会年次学術講演会講演概要集

1. 太田勝敏, 「トリップ発生モデルの分析」, 第27回(72.10) P45-46
2. 中川三朗, 「都市交通計画における交通機関分担モデルについて」, 第33回(78.9) P83-84
3. 鈴木伸哉, 他2名, 「非集計モデルの適用性に関する研究—その1, ロジットモデルの適用例」, P85-86
4. 原田 昇, 太田勝敏, 「—その2, 若干の検討と拡張」, P87-88
5. 本多 均, 他2名, 「あいまいさを考慮した経路選択モデルについて」, P91-92
6. 土屋 謙, 他2名, 「経路選択における非集計モデルと集計モデルの推定精度について」, P93-94
7. 原田 昇, 太田勝敏, 「ロジットモデルに関する実証分析—Transferability testと集計モデルと比較」, P94回(77.10) P90-91
8. 鈴木 勝, 他2名, 「2時点の調査データを用いた交通機関選択モデルの誤差分析」, P96-97
9. 岩本千樹, 太田勝敏, 「非集計モデルによる鉄道駅へのアクセス交通手段選択の分析」, 第35回(80.9) P31-32
10. 磯部友彦, 河上清吉, 「集計型分担率モデルの予測精度の比較と偏ら属性を導入した非集計型分担率モデル」, P94-100
11. 向井伸治, 花岡利幸, 「初用曲線を用いた交通機関別分担モデルについて」, P105-106
12. 鈴木 勝, 他2名, 「価値観分布に基づく経路選択モデル構築に関する研究」, P109-110
13. 太田勝敏, 「非集計ロジットモデルによる高速道路ルート選択行動の分析」, P111-112
14. 阿佐真一, 他2名, 「MOGIT MODELによる住宅立地行動の一考察」, 第36回(81.10) P373-374
15. 沢田知宏, 他2名, 「初用観測数に基づく交通機関選択モデルの構築に関する研究」, P393-394
16. 加藤文毅, 他2名, 「住民意識を考慮に入れた交通機関分担率に関する基礎研究」, P395-396
17. 杉本親彦, 「非集計ロジットモデルによる若干の考察」, P399-400
18. 原田 昇, 太田勝敏, 「選択肢相互の類似性を考慮した非集計行動モデルとその適用」, P401-402

(主要参考文献(続き))

19. 宮城俊彦, 「双対均衡モデル—非集計機関選択モデルとBeckmannモデルの関係—」, " , P403-404
20. 鈴木 勝, 石田東生, 「都市内観光交通における非集計モデルスプリットモデル」, " , P405-406
21. 若本千樹, 太田勝敏, 「非集計モデルによる鉄道駅へのアクセス交通手段の分析」, " , P407-408

土木計画学研究発表会講演集

22. 酒井通雄, 他2名, 「大都市圏における交通機関選択分析」, 第1回('79.1) P58-65
23. 寺原勝美, 他2名, 「機関選択モデルによる運賃弾力性分析」, 第2回('80.1) P71-80
24. 原田 昇, 太田勝敏, 「非集計ロジットモデルによる交通手段選択の分析—多手段同時選択の場合—」, " , P173¹⁷⁴
25. 松岡信彦, 他3名, 「住区交通環境改善のための手段の提案と評価に関する研究」, 第3回('81.1) P59-62
26. 加藤文教, 内田博知, 「二項選択ロジットモデルによる集計線形に関する一考察」, P301-304

都市計画学会研究発表論文集

27. 鹿島 茂, 「経路選択モデルの作成法に関する研究」, 第14回('79.11), P107-192
28. 杉恵頼寧, 「非集計型ロジットモデルによる短期交通政策の評価」, 第15回('80.11) P367-372
29. 原田 昇, 「鉄道駅・アクセス手段選択行動の分析」, 第16回('81.11) P301-306

その他

30. 折下 功, 雨宮 健, 「A STUDY ON THE TRAVEL DEMAND BY MODE」, 日交研シリーズA-34('76.11)
31. 杉恵頼寧, 「非集計型ロジットモデルによる短期交通政策の評価」, 交通工学('81.6) P3-12
32. 内山又雄, 「地域間交通機関分担に関する研究」, 交通と統計No.6('81) P87
33. 蓮経センヤー, 「大都市圏における交通機関選択分析」, ('79)
34. " , 「機関選択モデルにおける運賃弾力性分析」, ('80)
35. 太田勝敏, 「非集計モデルに関する研究—市道道路利用経路選択問題の適用例—」, 東大工学部工, 新天下の研⁽¹⁷⁹⁾
36. " , 「非集計行動モデルの交通計画への適用に関する研究(Ⅱ)—交通行動に関する研究の動向(既内文版)—」, " , ('80)
37. 太田 研智, " , 「非集計行動モデルの概要と適用例」, " , ('81)
38. OECD道路研究委員会(太田勝敏, 杉恵頼寧等共訳), 「都市交通モデルの簡略化」, 蓮経センヤー('76)
39. 印東太郎, 「心理測定・学習理論」, 北北出版('77)

外国語文献

40. T. J. Atherton, M. Ben-Akiva, "Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Model", TRR 610, P12-18
41. T. J. Bates, "Sample Size and Grouping in the Estimation of Disaggregate Models - A simple case", Transportation('79'), P47-70
42. M. Ben-Akiva, "Structure of passenger travel demand models", TRR 526, P26-42
43. W. Brög, "Round Table 34: Psychological motivation determinants of user behaviour", ECMT
44. T. Carolein, D. Pates, N. Thwait, "Human Activity and Time Geography", '78, Edward Arnold Ltd.
45. Charles River Associates, "Disaggregate Travel Demand Models" Vol. I and II, '76
46. " , "On the Development of a theory of traveller attitude-behavior interrelationships", Vol I, II, III, '78
47. A. Daly, S. Zachary, "Improved Multiple Choice Models" in "Determinants of Travel Choice", edited by Hensher, Dalvi, '78, Saxon House
48. T.A. Domschich, D. McFadden, "Urban Travel Demand - A Behavioral Analysis", '75, North-Holland
49. M. Gaudry, M. Dagenais, "The Dogit Model", Transportation Research('79), P105-112
50. T. F. Golob, E. T. Conthry etc, "An Analysis of Consumer Preferences for a Public Transportation System", Transportation Research('72), P81-102
51. " , W.W. Recker, "An Attitudinal Model Choice Model", Transportation Research('76), P299-310
52. P. B. Goodwin, "Human Effort and the Value of Travel Time", J. of Transport Economics and Policy('76), P3-15
53. " , "Habit and Hysteresis in Mode Choice", Urban Studies('77), P95-98
54. I. G. Hoggie, P. H. Jones, "Defining Domains for Models of Travel Demand", Transportation('78), P119-126
55. D.A. Hensher, "Perception - Commuter Mode Choice - An Hypothesis", Urban Studies('75), P101-104
56. " , P.R. Stopher (ed.), "Behavioural Travel Modelling", '79, Groom Helm
57. J. Horowitz, "The Accuracy of the Multinomial logit model as an approximation to the multinomial probit model of travel demand", Trans. Res. (80-1)
58. P. M. Jones, "Travel as a manifestation of activity choice: Trip Generation Reinterpreted" in Urban Transport Planning (P. Bussell etc), '77, Alkass Press
59. " , etc, "Error and Uncertainty in Travel Surveys", Transportation('81), P105-
60. K.S. Krishnan, "Incorporating Thresholds of Indifference in Probabilistic Choice Models", Management Science('77), P1229-1233
61. C.A. Lave, K. Train, "A Disaggregate Model of Auto-Type Choice", Transportation Research('79-A) P1-9
62. S.R. Lerman, C.F. Manski, "Sample Design for Discrete Choice Analysis of Travel Behaviour: The State of Art", Trans. Res.('77-A)
63. S.R. Lerman, "Neighborhood Choice and Transportation Services", in the Economics of Neighborhood edited by D. Segal, '79, Academic Press
64. M.L. Mannheim, "Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Vol I, Basic Concepts", '79, MIT Press
65. D. McFadden, "The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Various Modes of Transportation", '76, Institute of Transportation Studies, Univ. of California
66. " , et al, "Overview and Summary: Urban Travel Demand Forecasting Project", '79
67. " , "Quantitative Methods for Analyzing Travel Behaviour of Individuals: Some Recent Developments", P279-318, in (TRB 55)
68. M.G. Richards, M. Ben-Akiva, "A Disaggregate Travel Demand Model", '75, Saxon House
69. A.J. Richardson, "Search Models and Choice Set Generation", International Conference on research and application of Disaggregate Travel Demand Models, '80, University of Leeds
70. B.D. Spear, "Applications of new travel demand forecasting techniques to Transportation Planning", '77, U.S. DOT
71. A. Tsalikis, "Mathematical Theory of Travel Demand" in "Behavioural Travel Demand Model", edited by, Stopher and Hoggie, '76, D.C. Heath and Co.
72. A. Tsalikis, Y. Delganni, "Models for Transportation Level of Service", Transportation Research('80-B), P87-99