

非日常的交通への非集計行動モデルと 選択肢別標本抽出法の適用性

APPLICATION OF DISAGGREGATE TRAVEL DEMAND MODEL
AND CHOICE-BASED SAMPLING FOR INFREQUENT TRIPS

森 地 茂*・屋 井 鉄 雄**

By Shigeru MORICHI and Tetsuo YAI

1. はじめに

非集計行動モデルが新しい交通需要予測手法として登場して以来、研究の蓄積が進められており、適用領域の検討という点からは一応の成果が得られている。今や実用化の段階に至ったと考えられるが、そこで生じる問題点の検討はまだ十分とはいえない。また研究対象の多くは都市内交通であり、それ以外の研究はあまりない。

本研究ではこれらの点を踏まえ、観光交通というトリップ距離の長く非日常的な行動を対象に、非集計行動モデルの適用性の検討に加え、以下に示す3つの問題点を検討し各章にまとめた。すなわち、① 4. では非日常的な交通を扱う際に常に問題となる、サンプルの効率的な収集方法について、選択肢別標本抽出法 (Choice-based sampling) を対象に検討した。選択肢別標本抽出法は分析対象とする選択肢ごとに直接サンプルを収集する方法であるが、その適用方法や適用性については十分な研究結果が出されていない。ここでは、④ サンプルングとモデル推定方法、⑤ モデル推定に必要なサンプル数、の2点から検討した。② 5. ではモデルの移転可能性 (Transferability) について検討した。移転可能性とは、ある地域で作成したモデルの他地域への適用可能性のことである。非集計行動モデルは個人々の行動を反映したモデルであり、それが地域に依存しないと考え、従来より移転可能性は高いといわれてきた。その点について検討を加えた。③ 6. では、観光トリップにおける目的地と交通機関の選択について、次の3種類の構造を想定し、それらの適用結果を比較検討することにより、どの構造が適切かを明らかにすることを試みた。想定した構造とは、① 目的地を決定し、決めた目的地へ行く望ましい交通手段を決定する構造 (段階選択モデル)、② 各

目的地へ各交通手段で行くすべての組合せから1つを選ぶ構造 (同時選択モデル)、③ 各目的地への交通手段の効用をも選択要因として、目的地を選ぶ構造 (中間型モデル)、の3つである。

2. 調査データ

非集計行動モデル作成に要するデータは、多くの場合家庭訪問調査より得られるが、交通目的によってはそれが効率的でないことがある。都市間の観光トリップや買回り品の買物トリップなど発生頻度の少ない非日常的な交通行動のサンプルを家庭訪問調査から必要量得るには、大量の家庭を抽出するか、過去数か月間以上に行った交通行動を聞き出す必要がある。前者の場合は莫大な費用を要し、後者の場合はデータの信頼性に問題がある。

これに対し実際にトリップしている人間を直接抽出できれば、コストまた調査の容易さからも非常に効率的である。たとえば交通機関選択分析のデータを、鉄道利用者については駅や列車内で得、自動車利用者については駐車場や有料道路料金所で得る場合や、買物トリップの目的地選択分析のデータをショッピングセンターごとで得る方法がこれに相当する。この方法は選択肢別標本抽出法 (Choice-based sampling, 以下 C.B.S. とよぶ) とよばれ、一種の層別抽出法とみなせる。層別抽出法は一般に行動を決定する要因ごとに層を分割することを意味するが、C.B.S. は行動の際の選択肢ごとにサンプルングする方法である。

本研究で用いるデータは、表-1 に示す C.B.S. より得た。分析には表中の抽出条件に合うサンプル (鉄道利用者 644, 車利用者 632) を用いる。鉄道利用者については、条件の合うサンプル (約 1800) からランダムに 644 を抽出、自動車については条件に合う全サンプルを用い、両データ数をおよそ等しくした。

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 土木工学科

** 学生会員 工修 東京工業大学土木工学専攻博士課程学生

表-1 調査概要と使用サンプル

対象交通機関	鉄 道	自 動 車
調 査 時 期	昭和 55 年 5 月 20 日 (水)~23 日 (土)	
調 査 対 象	・中央本線下り特急, 急行乗客	・中央自動車道下り利用 自動車のうち乗用車
調 査 方 法	・中央本線特急, 急行列 車内で新宿発後に調査 票配布, 八王子付近で 回収	・中央自動車道, 大月, 勝沼, 河口湖, 各 IC で調査票配布郵送にて 回収
旅 客 数, 通 過 台 数*	21 085 人	24 167 台
回収数(回収率)	4 976 (23.6%)	2 320 (9.6%)
分析に用いる サンプル数	644 票	632 票
サンプルの 抽 出 条 件	・発地が1都3県 ・観光目的(帰宅トリップは除く)	・鉄道利用時には新宿か ら中央本線に乗車する と回答した者

* 同日行った実数調査より

3. 交通機関選択モデルの構築

(1) モデル式の導出と係数推定方法

非集計行動モデルは確率的効用理論に基づき定式化がなされる¹⁾。各個人が次に示す確率(選択確率)に従って代替案を選択すると考える。

$$P(i : C_t) = \text{Prob.}[U_{it} \geq U_{jt}, \forall j \in C_t] \dots (1)$$

ここで、 U_{it} : 個人 t にとっての代替案 i の効用

C_t : " 代替案集合

$P(i : C_t)$: 個人 t が C_t から i を選択する確率
効用 U_{it} は観測可能な確定的な項 V_{it} と確率的に変動する項 ε_{it} とに分離できると考える。

$$U_{it} = V_{it} + \varepsilon_{it} \dots (2)$$

したがって式 (1) は、

$$P(i : C_t) = \text{Prob.}[\varepsilon_{jt} - \varepsilon_{it} \leq V_{it} - V_{jt}, \forall j \in C_t] \dots (3)$$

と書き改められる。

ここで確率的変動項 ε_{it} に適当な分布形を当てはめることによりモデルを定式化できる。 ε_{it} の分布が個人ごと同一で、代替案ごとで相互に独立なガンベル (Gumbel) 分布、

$$\text{Prob.}[\varepsilon_i \leq \varepsilon] = \exp(-\exp(-\varepsilon - \alpha_i)) \dots (4)$$

に従うと考えると、ロジットモデル (Logit Model)、

$$P(i : C_t) = e^{V_{it} - \alpha_i} / \sum_{j \in C_t} e^{V_{jt} - \alpha_j} \dots (5)$$

が得られる。また ε_i に正規分布を仮定すればプロビットモデル (Probit Model) が得られる。

また効用の確定項の構造が個人間で異ならず、それが代替案 i の特性値 L_{it} と個人 t の社会経済特性 S_t との関数で表わせるならば、

$$V_{it} = V(L_{it}, S_t) \dots (6)$$

となる。さらに V に加法的効用関数を仮定すると、

$$V_{it} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{itk}, X_{it} = (L_{it}, S_t) \dots (7)$$

となり、式 (5) は、

$$P(i : C_t) = e^{\sum_{k=1}^K \theta_k X_{itk} - \alpha_i} / \sum_{j \in C_t} e^{\sum_{k=1}^K \theta_k X_{jtk} - \alpha_j} \dots (8)$$

と書き改められる。

一般に、モデルパラメーター θ の推定は、最尤推定法を用い、以下に示す対数尤度関数の最大化よりなされる。

$$L = \sum_{t=1}^{N_s} \sum_{i \in C_t} \ln P(i_t : C_t) \dots (9)$$

N_s はサンプル数、 i_t は個人 t の選択代替案を表わす。

(2) モデルの構築結果

以上のモデルは既知であるが、観光交通では適用例がない。本研究の第1の目的は観光交通の機関選択行動の分析にこのモデルを適用し、その適用性に関し知見を得ることである。

モデル構築(モデルの変数組の決定と係数の推定)に用いたサンプルは、実数調査の結果より推計した鉄道対自動車のシェア、0.3 対 0.7 に合うよう 1276 より再抽出した 900 である。シェアは、回収票内での各手段ごとの観光目的割合、および自動車観光目的内の同乗者数平均から、実数における人数比を計算して求めた。これが母集団を偏りなく表わすランダムサンプルであると考えられる。

モデル式にはロジットモデルを採用し、モデル変数組の決定は、非集計行動モデルが効用理論に基づく個人行動モデルであることに留意して行った。モデルの各係数の意味が明確となるよう高い相関をもつ変数の同時導入を避け、符号条件・ t 値等をチェックしつつ、尤度比・的中率が改善されるように変数を増加した。

係数推定結果の例を表-2に示す。モデルはいずれも説明力の高いもので、観光交通への適用性の高さが確かめられた。観光交通における交通機関モデルは従来適切なものがなく、実用的には距離帯別分担率曲線が用いられているのが現状である。ここで各種変数を導入した分担モデルが構築できたことはきわめて意義深い。

トリップの特性を示すダミー変数の有意性は高く、符号より判断すると、目的地が多く、日帰り同伴者が1~5人、さらに自動車を保有していることが鉄道利用の効用を下げることになる。これはわれわれの経験的知識と一致し納得できる。また、所要時間の1分の減少は鉄道利用時のイグレスコストの約13円の増加で打ち消され、これは4つのモデルでほとんど変化しない。またモデル4より、鉄道利用時アクセスコストについては、それが14.8円となり、いくぶんアクセスの評価が低い

表-2 観光交通への非集計行動モデルの適用結果

Model No.	1	2	3	4	
鉄道アクセス コスト(円) 鉄				-0.001 099 (1.57)	
鉄道イグレス コスト(円) 鉄	-0.001 245 (3.80)	-0.001 241 (3.79)	-0.001 142 (3.56)	-0.001 231 (3.76)	
自動車イグレス 時間(分) 車	-0.006 330 (4.30)				
高速からのイグ レス距離(km) 車		-0.011 22 (4.42)		-0.010 98 (4.30)	
自動車総走行 距離(km) 車			-0.009 134 (3.56)		
総所要時間(分) 共通	-0.015 95 (4.55)	-0.015 45 (4.37)	-0.015 58 (4.14)	-0.016 31 (4.52)	
目的地数2以上 ダミー 鉄	-1.161 (4.70)	-1.157 (4.68)	-1.123 (4.60)	-1.147 (4.63)	
日帰りダミー 鉄	-0.951 8 (3.08)	-0.934 7 (3.01)	-0.977 2 (3.14)	-0.922 7 (2.97)	
同伴者1~5人 ダミー 鉄	-2.479 (10.18)	-2.480 (10.16)	-2.492 (10.28)	2.489 (10.13)	
車保育ダミー 鉄	-3.760 (11.70)	-3.788 (11.72)	-3.754 (11.74)	-3.771 (11.73)	
定数項 鉄	4.558 (9.80)	4.524 (9.70)	3.628 (5.75)	4.779 (9.54)	
χ^2 値	571.6	572.8	565.7	575.4	
自由度調整済 尤度比	0.516	0.517	0.510	0.519	
機関別 的中率 (%)	鉄道	74.8	74.8	75.6	75.6
	自動車	94.4	94.4	94.1	94.1
全体の的中率	88.6	88.6	88.6	88.6	

サンプル数 900 (鉄: 270, 車: 630)
鉄: 鉄道固有変数, 車: 自動車固有変数
() 内は t 値

ことになる。またモデル1で所要時間と自動車イグレス時間の係数を比較すると、前者は後者の2.5倍である。これは旅行者の時間に対する全体的な評価が、イグレスという一部の評価より高いことを示し、観光交通のようにトリップの長い場合には納得できる結果である。

各モデル間での中率・尤度比に有意な差はないが、本研究ではモデル2を基本モデルとし、この変数組を以後の分析に用いる。

4. サンプリング方法と係数推定問題^{2),3)}

C.B.S. には調査方法の特殊性に依存するいくつかの検討課題がある。本研究ではこのうち次の3点について検討した。すなわち、① 代替的な係数推定方法の比較検討、② 係数推定時に必要となる $Q(i)$ (対象とする母集団における選択肢のマーケットシェア) 値の誤差が係数推定結果に与える影響の分析、③ 係数推定に最小限必要とされる各代替案ごとのサンプル数の決定問題、の3つである。

(1) 選択肢別抽出サンプルに対する係数推定方法⁴⁾

選択肢別抽出サンプル (以下 C.B. サンプルとよぶ) の尤度関数は無作為抽出の場合とは異なる。C.B.S. では選択肢 i ごとに層が構成される。ここで層の数を C 、各層からの抽出サンプル数を $N_i (i=1, \dots, C)$ とすると、尤度関数は、Lerman・Manski⁴⁾ によれば、

$$L^* = \sum_{i=1}^C \sum_{t=1}^{N_i} \frac{f(i, z_t)}{Q(i)} \cdot H(i) \dots\dots\dots (10)$$

で表わされる。ここで $f(i, z)$ は母集団における、選択肢 i と特性値 z との同時確率密度であり、

$$f(i, z) = P(i|z, \theta^*) \cdot P(z) \dots\dots\dots (11)$$

で表わされる。 $P(i|z, \theta^*)$ はロジットモデルのように、未知なパラメーターを有し特性 z をもつ個人の選択を表わす関数で、式 (5) の $P(i: C_i)$ と同じ意味をもつ。 θ^* はパラメーターの真値を、 $P(z)$ は母集団における特性値 z の周辺分布を、それぞれ表わす。母集団における選択肢 i のマーケットシェア $Q(i)$ は、

$$Q(i) = \int_z P(i|z, \theta^*) P(z) dz \dots\dots\dots (12)$$

で表わされる。また $H(i)$ は抽出サンプル内での選択肢 i のシェアである。式 (10) で $H(i)$ は (i, z_t) を含む層 i が選ばられる確率で、 $f(i, z_t)/Q(i)$ は層 i が選ばれたときに (i, z_t) が観測される割合を表わす条件付き尤度である。

式 (10) を対数尤度に変えようと、式 (13) になる。

$$L = \sum_{i=1}^C \sum_{t=1}^{N_i} \ln P(i|z_t, \theta^*) + \sum_{i=1}^C \sum_{t=1}^{N_i} \ln \frac{P(z_t) \cdot H(i)}{Q(i)} \dots\dots\dots (13)$$

式 (13) で、右辺2項の $Q(i)$ は式 (12) に示されるように θ の関数であるため、尤度関数の最大化において省略できない。この点が無作為抽出の場合と異なり係数推定を困難とする。収集可能な情報は $Q(i)$ 程度であり、 $P(z)$ を知ることはまずできない。 $Q(i)$ が既知ならば、(12) のもとで、 $\theta^* \cdot P(z)$ を同時に推定できるが、 $P(z)$ の設定等に問題がある。

これに対しいくつかの代替的な推定量が提案されている。それらは $P(z)$ を含まず推定上扱いやすい。代替推定量には、WESML (Weighted-ESML) 推定量や MM (Manski & McFadden) 推定量等がある。

① WESML 推定量は漸近正規性、一致性を有し、式 (14) より求まる。

$$WESML = \left(\hat{\theta} \max_{\hat{\theta}} \sum_{i=1}^C \sum_{t=1}^{N_i} \frac{Q(i)}{H(i)} \ln P(i|z_t, \hat{\theta}) \right) \dots\dots\dots (14)$$

一致性の証明や分散共分散行列については文献 5) に詳しい。

② MM 推定量は条件付き尤度を最大化することにより求まる。

$$MM = \left(\hat{\theta} \left| \max_{\hat{\theta}} \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{N_i} \left(\ln P(i|z, \hat{\theta}) \frac{H(i)}{Q(i)} - \ln \sum_{j=1}^C \ln P(j|z, \hat{\theta}) \frac{H(j)}{Q(j)} \right) \right. \right) \dots\dots\dots (15)$$

MM 推定量も漸近正規性、一致性を有する。また $P(i|z, \theta)$ が $(C-1)$ 個の定数項を含むロジットモデルであれば漸近有効となる⁶⁾。

③ また特別なケースとして、モデル式にロジットモデルを採用し、 $(C-1)$ 個の定数項を導入した場合には、式 (16) に示す推定量 (これを ESML 推定量とよぶ) が一致性を有する⁵⁾。

$$ESML = \left(\hat{\theta} \left| \max_{\hat{\theta}} \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{N_i} \ln P(i|z, \hat{\theta}) \right. \right) \dots (16)$$

このとき推定された定数項 $\beta_i (i=1, \dots, C-1)$ を、
 $\beta_i' = \beta_i + \ln \{Q(i)/H(i)\} + \ln \{H(C)/Q(C)\}$
 (17)

によって修正する必要がある。

(2) モデルの係数推定結果

以上の理論展開はなされているが、実際のデータに対する検討はほとんどない。本研究の第2の目的は、以上の理論を適用する場合の問題点を、実際のデータ上で検討することである。

まず第1に、4.(1) の3種類の代替推定量をロジット、プロビット両モデルに適用した結果を表-3に示す。

表中、全体的的中率は $\sum Q(i) \cdot PC(i)$ ($PC(i)$ は代替案 i 的的中率) により算出した。これは母集団に対する説明力指標である。本データでは、鉄道利用の Q (これを $Q(1)$ とする) は 0.3, また H (これを $H(1)$ とする) は約 0.5 (鉄道 644, 自動車 632) である。

推定結果のうち説明力が他に比べ著しく劣るものはない。MM 推定量の鉄道的中率が若干低い有意な差ではない。係数もモデルごとにみれば大差ない。ロジットとプロビットで係数が大きく異なるのは、プロビットで誤差の分布を $N(0, 1)$ としているためである。

全サンプルを用いた本節の分析ではモデル・推定量間でほとんど差のない結果が得られた。次節以降では、それをより細かく分析する。

(3) マーケットシェア $Q(i)$ の推計誤差の影響

C.B. サンプルによる係数の推定は、(14), (15), (17) に示したように $Q(i)$ の情報を必要とする。したがって、 $Q(i)$ の推計誤差が係数の推定結果に与える影響を把握しておく必要があるが、この

検討はなされていない。ESML 推定量では $Q(i)$ の差は定数項だけを変化させ、その結果的中率が変わる。しかし WESML, MM 両推定量ではすべての係数がひずんでしまう可能性がある。

本節ではロジット・プロビット両モデルで WESML 推定量を用いた場合の検討結果を示す。評価指標として、ここでは次に示す TV 値を用いた。

$$TV = \theta - \theta_{0.3} / \sigma_{0.3} \dots\dots\dots (18)$$

ここで、 $\theta_{0.3}, \sigma_{0.3}$ は $Q(1)$ が 0.3 のときの推定パラメーターとその標準偏差を表わし、 θ は $Q(1)$ を 0.1~0.9 まで段階的に変化させた場合の推定パラメーターである。したがって TV 値はパラメーターのひずみを表わす。

図-1 は縦軸に TV 値を取り、 $Q(1)$ の設定値ごとに

表-3 選択肢別抽出サンプルに対するモデル推定結果

Model Type	Logit Model		Probit Model		
	ESML	WESML	WESML	MM	
01 総所要時間(分) 共通	-0.015 69 (5.71)	-0.015 30 (4.91)	-0.008 003 (4.90)	-0.008 068 (5.71)	
02 鉄道イグレスコスト(円) 鉄	-0.001 375 (5.31)	-0.001 301 (5.13)	-0.000 722 7 (5.45)	-0.000 765 9 (5.57)	
03 高速からイグレス距離(km) 車	-0.011 65 (5.72)	-0.010 74 (4.98)	-0.006 315 (5.55)	-0.006 735 (6.21)	
04 目的地数2以上 鉄 ダミー	-1.211 (6.27)	-1.255 (6.12)	-0.653 4 (6.11)	-0.618 0 (6.12)	
05 日帰りダミー 鉄	-1.237 (4.89)	-1.223 (4.94)	-0.655 9 (4.93)	-0.653 5 (4.94)	
06 同僚者 1~5 人 鉄	-2.323 (11.86)	-2.340 (11.42)	-1.283 (11.53)	-1.263 (11.98)	
07 車保有ダミー 鉄	-3.805 (14.15)	-3.827 (13.71)	-2.125 (14.22)	-2.104 (14.87)	
08 定数項 鉄	4.514 (11.75)	4.584 (10.45)	2.463 (10.53)	2.405 (12.27)	
χ^2 値	1060.62	816.74	813.60	919.78	
自由度調整尤度比	0.527	0.521	0.519	0.517	
機 関 別 的 中 率 (%)	鉄 道	75.6	75.6	75.5	75.0
	自 動 車	94.8	94.6	94.8	94.8
全体での的中率(%)	89.0	88.9	89.0	88.9	

サンプル数 1276 (鉄: 644, 車: 632)
 鉄: 鉄道固有変数, 車: 自動車固有変数
 () 内は t 値

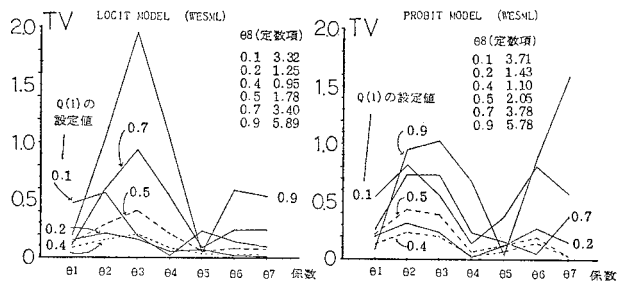


図-1 マーケットシェア $Q(1)$ の推計誤差と係数の変動

示したものである。図より設定値が0.3から遠ざかるに従いTV値が大きくなる関係が読み取れる。係数間に相関があるため個々の係数ごとに差を評価できないが、設定値が0.2, 0.4(推計誤差0.1)程度では全般にTV値が小さく、有意な差とは考えられない。しかし定数項については、この場合にも差が認められる。このような傾向はロジット、プロビットでさほど変わらない。誤差を0.1程度に抑えることは十分可能であり、定数項を除く係数のひずみない値を得るには、 $Q(i)$ に高い精度が要求されないことが判明した。またこのとき定数項については、 $Q(i)$ の真値が判明した時点で事後的な修正が可能である。

(4) サンプルサイズと推定量に関する検討

本研究で対象とする推定量の統計的性質は漸近理論に基づく。したがって実際に係数を推定する有限個のサンプルに対しては実証的な検討が必要となる。それにより各推定量の安定性を知り、推定に必要な選択肢ごとのサンプル数を把握できる。C.B.S.の推定量に対するこの種の研究は不十分で、複数個の変数を含む実用的なモデルに対してはなされていない。

本節の分析では全サンプル(1276)を母サンプルとし、そこから任意のサンプル数(N)とサンプル内の選択肢シェア(H(i))を満たすよう再抽出したものを対象とする。しかし約1300というサンプルサイズが十分大きく、かつ母集団を偏りなく表わすものとはいい切れない。そのことが本節の分析上の問題であることを付記しておく。

Nを300~1100, H(1)を0.1~0.9までそれぞれ段階的に変化させた各ケースごとに、サンプル抽出、モデル推定を50回繰り返して、パラメーターの平均値を求める。そしてそれに最も近いモデルを平均的モデルと称し、そのケースを代表させる。ケース間でパラメーターのばらつきを直接比較するためには十分な数の母サンプルを必要とする。サンプル数が十分でない、ばらつきが抽出率によって影響されるからである。しかしその場合にもパラメーター平均値のベクトルは変わらないと考え、平均的モデルの有意性によってケース間の比較を行うことにした。

また同一ケースで推定量間の比較を行う場合には、以下に示すMRMS(Mean of Route Mean Square)値などの、ばらつきを直接表わす値を用いた。

$$MRMS = \frac{1}{N_P - 1} \sum_{i=1}^{N_P} RMS_i \dots \dots \dots (19)$$

$$RMS = \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\theta_{ik} - \theta_{Mk})^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (20)$$

式(19), (20)でKはパラメーター数、 N_P はサンプル抽出回数を、 θ_{ik} はi番目の抽出サンプルによるk番

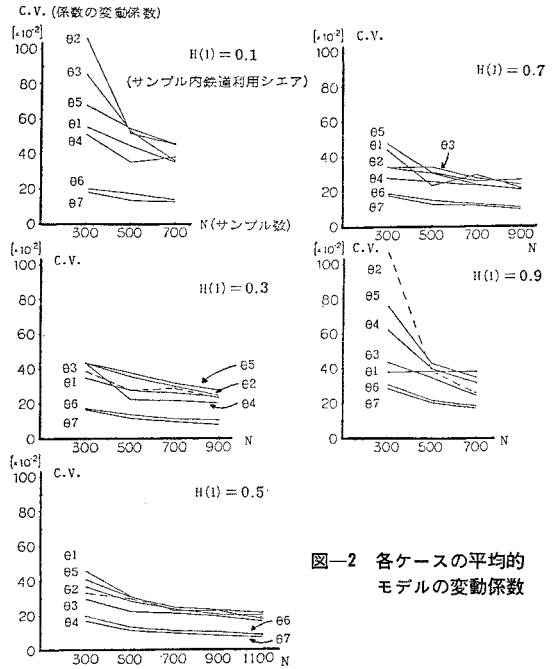


図-2 各ケースの平均的モデルの変動係数

目のパラメーター、 θ_{Mk} は平均的モデルのパラメーターをそれぞれ表わす。

なお、各ケースごとに算出した的中率・尤度比の平均値、平均的モデルの全サンプル(1276)における的中率などには、ほとんど差が認められず、これらの点から判断するとケース間に優劣のないことになる。しかしこのような比較では不十分と考え、より細かな分析を以下に行った。

a) サンプルサイズ

図-2は平均的モデルの各パラメーターの有意性を表わすCV値(=σ_k/|θ_k|, σ_kはFisher情報行列の逆行列の対角要素にマイナス1をかけ、平方根を取ったもの)を各ケースごとに示したものである。これらはロジットモデル・ESML推定量の場合である。H(1)が0.1や0.9のとき、CV値は他のH(1)と比べ全般に大きく、CVが0.51以下であれば統計的に5%有意であることを考慮すると、300サンプルでは不十分といえる。H(1)が0.3~0.7では各パラメーターともCV値は小さく有意であり、サンプル数の増加に伴うCVの減少はあまりなく、300サンプルでも有意な推定がなされている。

したがって本分析に用いたデータ、モデル変数組についていえば、選択肢ごと150サンプルずつ抽出しても有意な推定結果の得られる可能性の高いことが事後的に判明した。

b) 推定量間でのパラメーター安定性の比較

図-3はロジットモデルにおける推定量間でのMRMS

の差を図示したものである。全般に WESML のパラメータのばらつきが大きいことが読み取れるが、それはサンプル数が少なく、かつ $H(1)$ が極端に大きい場合に顕著である。逆にサンプル数

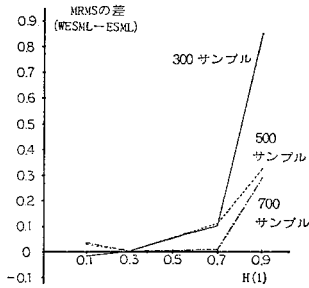


図-3 推定量と係数のばらつき

が700で $H(1)$ が0.7以下では両者でほとんど差は認められない。このことより $Q(i)$ と $H(i)$ との差の大きなデータに対しては WESML よりも ESML を用いた推定を採用することが望ましいと考えられる。

5. 交通機関選択モデルの移転可能性についての検討

非集計行動モデルの特色として、移転可能性が挙げられるが、この点についてどの程度移転可能性があるのか、またどのような移転方法が適切であるのかについては問題がある。ここではこの2点を組み合わせて検討を行った。

モデルを移転する状況には、空間的と時間的との2種類あるが、本研究で対象としたのは前者である。

(1) モデルの移転方法

モデルの他地域への移転方法は次の3つに大別される。

第1の方法はモデルに何の修正も加えずに、そのまま移転地域で用いる方法である。

第2の方法は、移転する地域のデータを用いて、モデル係数を修正する方法である。この方法には定数項だけを修正する方法とモデル係数をすべて修正する方法との2つがある。定数項だけを修正する方法は、時間価値等の係数トレードオフ比の地域差はないが、定数項は地域に依存する値であり移転できないとの考えに基づく。具体的な修正方法は移転地域で得られるデータの質により異なる。データが集計値である場合には、マーケットシェア (S_i) とモデルに導入されている変数の平均値 (\bar{X}_i) より、

$$S_i = e^{\sum_{j=1}^C \beta_j \bar{X}_{ij}} / \sum_{j=1}^C e^{\sum_{j=1}^C \beta_j \bar{X}_{ij}} \quad (i=1, \dots, C-1) \dots\dots\dots (21)$$

なる連立方程式を解くことにより、新たな定数項 β_i を求められる。式(21)で θ はすでに求められているモデル係数である。

また非集計データが得られている場合には、

$$P(i : C_t) = e^{\alpha \sum_{i=1}^C X_{it} + \beta_i} / \sum_{j \in C_t} e^{\alpha \sum_{i=1}^C X_{it} + \beta_j} \dots\dots\dots (22)$$

なるモデル式を考え、最尤法により α, β_i を推定できる。式(22)で α は移転地域における効用関数の新たな尺度を表わすが、これを1に固定して推定することも可能である。

モデル係数をすべて修正する方法には、Bayesian 修正法がある。これは移転地域で同一の変数組により係数を推定した後に、これと元のモデル係数との重み平均から新たなモデル係数を求める方法である⁷⁾。

また第3の方法は、行動を説明する要因自体は地域間で変わらないが、モデル係数は異なると考え、それを再推定する方法である。元のモデル係数を用いない点が第2の方法と異なり、モデル構造の移転と考えられる。

本研究では第2の方法のうち、① 非集計データによる定数項修正を伴うモデル係数の移転可能性と、第3の方法の、② モデル構造(モデル変数組)の移転可能性、との2つを検討した。第2の方法のうち、集計データによる定数項の修正はデータの制約から検討していない。また Bayesian 修正法は時間的な移転に対して有用な方法と考えられるが、地域間移転に対しては、元の地域と移転地域との両者でのモデル係数を用いることになるため、モデル構造の移転、モデル係数の移転といった基礎的な検討なくしては十分に分析できないと考え、本研究では扱っていない。

(2) 使用データ

本研究ではデータの制約から、3.(3) で用いたサンプルのうち、富士五湖・甲府・八ヶ岳のいずれかの地域を目的地としているサンプルを対象とし、これらに全地域のデータを加えた4種類のデータにより分析した。各地域のサンプル数と鉄道分担率は、富士五湖 284・0.07、甲府 204・0.39、八ヶ岳 205・0.31 である。

(3) 分析結果

3.(2) で用いた変数同定法により、各地域の基本モデルを決定した。これらを表-4に示す。モデルは各地域の交通条件等を反映し、全地域で作成した基本モデルとは異なる変数組となった。たとえば、全般に自動車の便がよく、一部を除き鉄道の不便な富士五湖地域では、鉄道の便の良否がモデルに大きく貢献している。また鉄道・自動車ともにイグレスの便がよい甲府地域では、交通サービス変数は十分有意とならず、トリップ特性・社会経済特性でほとんど説明されるモデルとなっている。

これらのモデルの他地域への移転可能性について、①、②の方法で検討した結果を表-5に示す。移転可

能性の評価には尤度比・的中率を用い、移転地域の基本モデル(表-4)と比較することにより検討した。①の方法による全地域・甲府・八ヶ岳の各モデルの移転結果

表-4 地域別基本モデルの推定結果

地域名		富士五湖	甲 府	八 ヶ 岳
変数名				
鉄道アクセスコスト(円)	鉄	-0.008 107 (2.35)		
鉄道アクセス時間(分)	鉄		-0.025 51 (1.22)	
自動車アクセス時間(分)	車		-0.018 56 (1.34)	
鉄道イグレスコスト(円)	鉄	-0.006 689 (2.45)		-0.002 056 (2.10)
総所要時間(分)	共通	-0.037 16 (1.58)		-0.021 27 (2.55)
目的地数2以上ダミー	鉄	-2.789 (2.65)	-1.414 (2.91)	-1.297 (2.21)
日帰りダミー	鉄	-1.602 (1.75)	-1.243 (2.60)	-1.205 (1.45)
同乗者1~5人ダミー	鉄	-3.348 (3.71)	-2.464 (5.29)	-3.182 (5.65)
車保有ダミー	鉄	-4.134 (4.68)	-3.427 (5.55)	-5.737 (4.72)
定 数 項	鉄	8.750 (3.84)	4.483 (5.98)	8.004 (5.07)
χ^2 値		84.0	135.4	142.2
自由度調整尤度比		0.569	0.479	0.543
機関別の中率(%)	鉄 道	65.0	78.5	78.1
	自 動 車	98.5	92.0	95.7
全体的中率		96.1	86.8	90.2
総サンプル数		284	204	205
鉄道サンプル数		20	79	64

鉄：鉄道固有変数、車：自動車固有変数
()内はt値

表-5 移転可能性の検討結果

適用方法	① 定数項の再推定			② 変数組の移転			
	富士五湖	甲 府	八ヶ岳	富士五湖	甲 府	八ヶ岳	
モ デ ル	全地域	0.460	0.474	0.538	0.512	0.475*	0.543*
	モデル	94.0%	86.8%	90.2%	95.1%	86.8%	90.7%
		40.0%	79.7%	80.0%	50.0%	77.2%	80.0%
モ デ ル	富士五湖	—	0.329	0.330	—	0.471*	0.544*
	モデル		79.9	82.9		86.8	91.2
			68.4	60.9		77.2	78.1
推 定	甲 府	0.432	—	0.521	0.504*	—	0.526
	モデル	94.0		90.2	94.7		89.3
		35.0		75.0	45.0		75.0
地 域	八ヶ岳	0.461	0.453	—	0.513	0.473*	—
	モデル	94.0	85.8		95.1	86.8	
		45.0	77.2		50.0	77.2	
		97.7	91.2		98.5	92.8	

数値は上から、自由度調整尤度比、全体での的中率、鉄道の中率、車の中率。

*印は、符号条件を満足しない係数のあることを示す。

は、各移転地域の基本モデルと比べ説明力(尤度比・的中率)の低下がなく、移転可能性は高いと判断できる。また②の方法では、全般に説明力の低下がなく、この点に関しては移転可能性は高いといえる。しかし、①の方法による富士五湖モデルの移転では説明力の低下がみられ、このとき②の方法でも係数の符号条件は満足されていない。富士五湖モデルは分担率の極端な偏りを反映したもので、それが移転可能性を低下させた原因と考えられる。

(4) 本章のまとめ

本章で明らかとなったことを以下にまとめる。

(i) 移転するモデルを推定したときのサンプルサイズと移転地域のサンプルサイズが同じだけ取れるならば、①の方法によるモデル移転の必要性は小さいが、その際でも用いる変数組がすでに決定しているならば、モデル構築は効率的になる。これはモデル変数組の移転である。このとき再推定した係数の符号条件が満足されない場合もあるが、これは移転地域のサンプル数不足等にも原因があり、モデルの移転可能性の問題とは性質がやや異なる。

(ii) 移転する地域で十分なサンプルが得られない場合には、小サンプルを用い定数項だけの再推定を行う方法を取り得る。本計算結果では富士五湖モデルの他地域への移転以外では、①の方法で十分な結果が得られている。

(iii) 本計算結果から直接結論付けられることではないが、また当然のことであるが、モデルの移転にあたっては、①モデルそのものの移転、②定数項のみの再推定、③変数組の移転の3つの方法を、取り得るサンプル数、移転したモデルの説明力および作業量の3つの視点から評価すべきである。

6. 同時選択モデルの適用性に関する検討

(1) 本分析のプロセス⁹⁾

ある種のトリップ目的のもとで、人はいくつかの選択要素(目的地・交通機関等)を同時に評価し選択している可能性がある。観光や買物のトリップなどが、これに相当する。本章では観光トリップにおける目的地と交通機関との同時選択モデルを構築し、その適用性を段階選択モデル・Nestedモデルとの比較において検討する。

同時選択モデルでは、代替案数の増加と変数導入形式の多様化とにより、変数同定作業が複雑になる。導入形式には、共通変数・代替案固有変数のほかに、目的地固有変数・交通機関固有変数がある。したがって、やみく

もに変数同定を試みても、比較すべき変数組・導入形式の多さにより適切なモデルを決定することが困難である。

このような点を考慮し、本分析では変数同定作業の簡略化のため、同時選択モデルの構築に先立ち、目的地選択モデル ($P(d : D)$) と交通機関選択モデル ($P(m : M_d)$) をそれぞれ構築した。

$$P(d : D) = e^{V_d} / \sum_{d' \in D} e^{V_{d'}} \dots (23)$$

$$P(m : M_d) = e^{V_m + V_{dm}} / \sum_{m' \in M_d} e^{V_{m'} + V_{dm'}} \dots (24)$$

式 (23), (24) で、 d, m は目的地および交通機関を、 D は目的地代替案の集合を、 M_d は d ごとの交通機関代替案の集合を表わす。 V_d, V_m はそれぞれ d と m だけにかかわる効用項を表わし、 V_{dm} は両者にかかわる項である。(23), (24) のモデルを構築することにより、 V_d, V_m, V_{dm} を構成する要因が抽出でき、同時選択モデルの説明変数が決定できる。同時選択モデルは、

$$P(d, m : DM) = e^{V_d + V_m + V_{dm}} / \sum_{d' \in D} \sum_{m' \in M_{d'}} e^{V_{d'} + V_{m'} + V_{d'm'}} \dots (25)$$

で表わされる。 DM は d, m の組合せによる集合である。

また次の中間型のモデルを構築し、選択の構造について検討した。

$$P(d : D) = e^{V_d + \alpha I_d} / \sum_{d' \in D} e^{V_{d'} + \alpha I_{d'}} \dots (26)$$

$$I_d = \ln \sum_{m' \in M_d} e^{V_{m'} + V_{dm'}} \dots (27)$$

I_d は LOGSUM 変数とよばれ、式 (26) は $\alpha=0$ のとき式 (23) に、また $\alpha=1$ のとき式 (25) より導かれる周辺確率にそれぞれ一致する。よって α の大小により目的地選択における交通機関選択要因の影響の度合を知ることができる。

(2) 適用データと係数推定方法

本分析では目的地代替案として、甲府周辺・山中湖周辺・清里周辺・蓼科周辺・松本周辺の5地域を扱う。こ

れらの地域は 5. (2) で扱った各地域とは同一でない。モデル構築に用いるサンプルの詳細を表-6に示す。

本分析のデータは交通機関に対する C.B.S. より得た

表-7 同時選択モデルの推定結果

効用項	変数名	変数の導入された代替案	パラメーター (t 値)
V_{dm}	総所要時間(分)	全代替案	-0.035 84 (4.76)
	鉄道イグレスコスト(円)	鉄 道	-0.002 594 (5.23)
	高速からのイグレス距離(km)	車	-0.002 060 (0.59)
V_d	登山・スキー 目的タミー	甲府周辺	-2.774 (4.46)
		山中湖周辺	-1.999 (3.35)
		清里周辺	-1.895 (3.74)
	テニス・ゴルフ・別荘 目的タミー	山中湖周辺	1.915 (4.71)
		清里周辺	0.9715 (2.44)
		蓼科周辺	2.860 (6.50)
	温泉・名所めぐり 目的タミー	甲府周辺	-0.522 6 (1.41)
		山中湖周辺	-2.327 (4.66)
		清里周辺	-2.102 (4.84)
		蓼科周辺	-1.078 (2.54)
	同伴者5人以上タミー	山中湖周辺	-0.851 6 (2.09)
	老人同伴タミー	甲府周辺	-1.136 (2.90)
山中湖周辺		-2.327 (4.66)	
清里周辺		-2.102 (4.84)	
蓼科周辺		-1.078 (2.54)	
定数項	甲府周辺	-4.461 (3.85)	
	山中湖周辺	-4.342 (3.74)	
	清里周辺	-2.356 (2.98)	
	蓼科周辺	-1.843 (3.35)	
	定数項	5.824 (8.59)	
V_m	目的地数2以上タミー	鉄 道	-2.100 (6.31)
	日帰りタミー	鉄 道	-1.148 (2.75)
	同伴者1~5人タミー	鉄 道	-2.445 (8.17)
	車保有タミー	鉄 道	-4.234 (8.17)
	定数項	鉄 道	5.824 (8.59)

表-6 代替案別サンプル数とマーケットシェア

サンプル	C.B. サンプル (使用サンプル)			ランダムサンプル (3. のサンプル)	
	鉄道利用 サンプル	車 利 用 サンプル	計 (%)	目的地の シェア	鉄道利用 シェア*
甲府周辺	118	58	176 (30.4)	27.4%	46.3%
山中湖周辺	19	99	118 (20.4)	26.9	7.4
清里周辺	49	50	99 (17.1)	17.9	29.6
蓼科周辺	43	44	87 (15.1)	15.8	29.1
松本周辺	87	11	98 (17.0)	11.5	81.7
5 目的地 計	316	262	578 (100.0)	100.0	—

* 各目的地内での鉄道利用率

χ^2 値 : 686.8
自由度調整尤度比 : 0.263

もので、同時選択モデルにおいても推定結果の修正が必要である。モデルに交通機関固有定数を導入し、係数推定後、式(28)の修正をする。交通機関固有定数とは、一対の d, m で定まる代替案のうち、特定の m を有する代替案に対し一率に導入される定数項である。

$$\beta_{m'} = \beta_m + \ln\{Q(m)/H(m)\} + \ln\{H(M)/Q(M)\}, m=1, \dots, M-1 \dots\dots\dots (28)$$

(3) モデル係数の推定結果

表一7に同時選択モデルの推定結果を示す。表中 V_d は目的地選択モデルより、 V_m, V_{dm} は機関選択モデルよりそれぞれ決定された変数組を表わす。モデルの尤度比・的中率は代替案数の多さを考慮すれば、必ずしも低い値ではない。トリップ特性に関する数多くの変数を導入することによって、この程度の説明力を有するモデルを作成できたことは有意義であると考えられる。高速からのイグレス距離の係数の有意性が低い理由は、変数値の設定が目的地単位でなされたことによると考えられる。

表一8は同時選択モデルと段階選択モデルとの的中率を比較したものである。段階選択モデルでは、式(23)と(24)とをかけ合わせるにより同時確率が求まる。これにより、式(25)の同時選択モデルとの比較が可能となる。表中上段は同時選択モデルを下段は段階選択モデルをそれぞれ表わす。全体での的中率は段階選択モデルが若干よく、代替案ごとでも、的中率の低い箇所が改善がみられる。

次に中間型モデルにより、目的地選択に対する交通機関の影響を表わす α 値を推定した。表一9において、 t 値より判断すると α は統計的にゼロと有意な差がない。また式(23)のモデルと比較しても、モデル説明力は改善されていない。この点より考えると、本データに

表一8 同時選択モデルと段階選択モデルの比較: $P(d, m)$

目的地 交通機関	甲府周辺	山 中 湖 周 辺	清里周辺	蓼科周辺	松本周辺
鉄 道	59.3	0.0	14.3	30.2	31.0
	57.6	26.3	14.3	20.9	34.5
自 動 車	58.6	83.8	0.0	6.8	0.0
	56.9	83.8	8.0	11.4	9.1

上段は同時モデル、下段は段階モデルの的中率(%)
全体での的中率: 42.8% (同時型), 44.5% (段階型)

表一9 中間型モデルと段階型モデルの比較: $P(d)$

評価指標	モデル	中間型モデル 式(26)	段階型モデル 式(23)
α 値		0.004 589 (0.93)	—
γ^2 値		328.8	328.0
自由度調整尤度比		0.173	0.173
全体での的中率(%)		47.0	47.4

関しては、目的地の選択に交通機関の要因が影響していないことになる。

(4) 本章のまとめ

本章で明らかとなったことを以下にまとめる。

(i) 目的地と交通機関との選択については、その組合せ構造が明確でなく、各種構造の比較検討が必要であると考えられる。

(ii) 本計算では、モデルの説明力、LOGSUM 変数の有意性より判断すると段階選択モデルが他の構造と比べいくぶん望ましいといえる。

(iii) 比較分析のために構築した目的地選択モデルおよび目的地・交通機関の同時選択モデルは、説明力のうえでは十分といえない。しかし、観光交通に対してこれまで作成されてきたモデルと比較すれば高い説明力を有しており、数多くのトリップ特性により説明されるモデルを作成できたことには大きな意味がある。

(iv) 本計算結果から、どの構造が適切であるかを判断することには問題が残る。その理由は、目的地選択モデルの説明力の不十分さにある。したがって選択の構造を適切に評価するためには、この点について追加的な研究が必要であると結論付けられる。

7. 本研究のまとめと今後の課題

本論文は非集計行動モデルの適用上きわめて重要な3つの検討課題を取り扱っている。それぞれについての本論文の成果は以下のとおりである。

(0) 観光トリップにおける交通機関選択行動に対し、非集計行動モデルが適用性の高いものであることを確認できた。従来、観光トリップの機関分担モデルには距離帯別分担率曲線が用いられていることを考えると、本研究で各種変数を導入した分担モデルが構築できたことはきわめて意義深い。

(1) 選択肢別抽出サンプルに対する推定問題を扱い、次のことを明らかにすることができた。

① ロジット (ESML, WESML), プロビット (W-ESML, MM) の4種のモデル構築結果は同一サンプルに対しては同程度の説明力を有する。

② 母集団におけるシェア $Q(i)$ の推計には、さほどの精度を必要とせず、鉄道の真のシェア 0.3 に対して、0.2~0.4 程度の範囲に推計値があれば、定数項を除く係数のひずみは問題とならないこと。

③ 推定に用いるサンプル数は選択肢ごと同数程度とすることが望ましく、その場合サンプル総数は300~500程度であれば有意なモデルの作れる可能性の高いこと。

④ 係数の安定性は、ロジットモデルについては全般

に WESML よりも ESML の方がよく、サンプル数が少なく、サンプルにおける選択肢のシェア $H(i)$ が $Q(i)$ と大きく異なる場合には、それが顕著であること。

(2) 交通機関選択モデルの移転可能性を扱い、本研究ではデータの制約から初期的な検討にとどまっているが、次のことが明らかとなった。

① 定数項の再推定による移転方法では、分担率が大きく異なる地域間の移転性が低いこと。

② またモデルの移転に際しては、各種方法を取り得るサンプル数、移転したモデルの説明力および作業量の3つの視点から評価すべきであること。

(3) 目的地と交通手段の選択に関し、3種類の組合せ構造を対象に検討し、次のことが明らかとなった。

① 計算結果から、どの構造が適切であるかを判断することには問題があるが、

② モデル適用上の問題点が明らかとなり、適用可能性に関する有用な知見が得られた。

また、本研究では残された検討も多く、それらをまとめると以下のとおりである。

(1) 選択肢別標本抽出法は、非集計行動モデルに適用する有用な調査方法であり、今後の研究の発展が期待される。当面の検討課題として、選択肢ごとのデータ精度やデータ特性の把握、得られたモデルを適用し得る範囲(居住地等)とその場合に必要とされるサンプルサイズに関するより一般的知見を得ること等がある。

(2) 移転可能性に関する検討では、各種トリップ目的ごとおよび選択要素(目的地や交通機関など)ごとに、どのような地域に移転可能であるかを把握することが重要である。またその場合にモデル係数の修正を行うので

あれば移転地域でどれほどのサンプルを取ることが必要とされるかを把握することも重要である。

(3) 同時選択モデルの推定に関しては、直接検討を加える以前に、特に目的地選択モデルを改良することが重要な課題と考えられる。この場合には、代替案の設定やモデル式の構造等に検討を加える必要がある。

最後に、本研究を行うにあたり有益な助言をいただいた筑波大学 石田東生講師に謝意を表します。

参考文献

- 1) McFadden, D. and T.A. Domencich : Urban Travel Demand, North-Holland, pp. 47~99, 1975.
- 2) 屋井鉄雄・森地 茂・石田東生 : チョイスベイストサンプルを用いた非集計交通機関選択モデル, 土木学会年講演 IV, pp. 379~380, 1982.
- 3) 森地 茂・屋井鉄雄・石田東生 : 非日常的交通行動への非集計モデルの適用, 第5回土木計画学研究発表会講演集, pp. 442~449, 1983.
- 4) Lerman, S.R. and C.F. Manski : Sample Design for Discrete Choice Analysis of Travel Behavior, Transpn Res., Vol. 13 A, pp. 29~44, 1979.
- 5) Manski, C.F. and S.R. Lerman : The Estimation of Choice Probabilities from Choice Based Samples, Econometrica, Vol. 45, No. 8, pp. 1977~1988, 1977.
- 6) Cosslett, S.R. : Efficient Estimation of Discrete Choice Models, Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications (Edited by C.F. Manski and D. McFadden), Chap. 2, pp. 51~111, MIT Press, 1981.
- 7) Atherton, T.J. and M.E. Ben-Akiva : Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Models, TRR 610, pp. 12~18, 1976.
- 8) Ben-Akiva, M.E. : Structure of Passenger Travel Demand Models, TRR 526, pp. 26~42, 1974.

(1983.6.16・受付)