

小規模調査に基づく

簡略的交通需要推定方法

The Simplified Travel Demand Estimation Method Based on Small Sample Surveys

石田 東生^{*}、黒川 洸^{**}、中野 敦^{***}

By Haruo Ishida, Takeshi Kurokawa, Atushi Nakano

We propose the Simplified Travel Demand Estimation Model. This model, which is basically extension of the conventional 4 step model, is based on small sample surveys and full use of rich existing PT survey results. Adaptation of this model to Miyazaki City and Utsunomiya City shows that 1) the Simplified Travel Demand Estimation Model is adaptable to these cities with good estimation results, and that 2) three hundred households are enough to estimate trip generation rates, trip length and disaggregate mode choice models which are the key parts of whole estimation process.

1. はじめに

総合都市交通計画のための需要予測方法は、過去30年間に多くの研究及び実務への適用が行なわれ、交通行動実態把握のための家庭訪問調査（パーソントリップ調査）に基づく4段階推定法が標準的手法として確立され、制度化されている。一方、4段階推定法の問題点も数多く指摘されており、その中の最も重大なものの一つとして、現況交通量把握のための高い抽出率による家庭訪問調査への依存があげられる。調査の実施や膨大なデータの集計解析に多大の時間・費用・労力を要するためである。実際、わが国においては、予算等の制約によりおおむね人口30万人以上の都市圏にのみ適用されており、地

方中小都市においては様々の交通問題に対処するための情報が必ずしも十分でないという状況にある。

このような問題に対処するため、需要予測手法の簡略化、特に交通実態調査の簡略化に関する研究が多数なされている^{1), 2)}。調査の簡略化に関する研究は、次の4つのグループに大別できる。第一のものは、既存統計を全面的に活用しようとするものであり、国勢調査を都市交通計画の資料の一つとして位置付けている米国で多くの適用例が見られるが³⁾、わが国では通勤地の集計が市町村単位であるため交通計画のデータとしては不十分である。第二のものは、非集計行動モデルの活用である。非集計行動モデルの推定に必要なサンプル数の小ささに着目したもので、サンフランシスコでの交通計画への適用以来⁴⁾、米国では多くの適用例があるが、わが国で都市交通計画のための需要予測をすべて非集計行動モデルを用いて行った例はない。これは、機関分担以外への非集計行動モデルの適用性、特に目的地選択への適用性が十分には確認されていないことによる

* 工博 正会員 筑波大学講師 社会工学系
(〒305 茨城県つくば市天王台)

** 工博 正会員 筑波大学教授 社会工学系

*** 学修 正会員 (財)計量計画研究所

(〒162 新宿区市ヶ谷本村町2-9)

と思われる。目的地選択に関しては、わが国でも研究例があるが^{6), 7)}、いずれもゾーン分割が大きく実用的であるとは言えない。第三のものは、各種断面交通量の観測が比較的低費用でできることから、これらを用いて分布交通量を逆推定しようとするものである^{8), 9), 10)}。これらの方法は、一般に分布交通量の推定値の断面交通量の観測値による修正という形を取り、対象とする領域は分布交通量と配分交通量のみである。最後のグループは、これまでに数多くなされ蓄積されてきたパーソントリップ調査結果を活用し、交通需要予測モデルのパラメータ及び原単位のうち地域間で移転が可能なものについては、調査をせずに、他地域での既存調査結果を移転しようとするものである^{11), 12), 13)}。

筆者らのグループは、従来集計モデルであるがゆえにないとされてきた集計モデルの地域間移転性の検討とそれを応用した需要推定モデルの簡略化を、発生集中量推定モデルと分布交通量推定モデルについてすすめてきたが^{14), 15)}、本研究ではこれらと上述した各手法を適宜組み合わせ、小規模な補足調査のみで利用可能な簡略的交通需要推定法を提案し、実証分析によって、推定精度、適用に当たったの問題点及び小規模調査として必要なサンプル数の検討を行う。

2. 簡略的交通需要推定法

(1) 簡略的交通需要推定法の概要

本研究で提案する推定法（以下では簡略推定法と呼ぶ）は、図1に示す通りであり、4段階推定法を基本としたものである。これは、わが国ではパーソントリップ（PT）調査がこれまでにのべ47回実施されており、十分な実績とデータの蓄積を有していることからそれを活用し、また、これまでの簡略化に関する我々の研究成果を活用することの2点を考慮にいたしたことによる。なお、本研究では機関分担までを扱っており、配分については考えていない。断面交通量の観測結果と各種の交通量推定モデルを連動させて、分担交通量、分布交通量等の推定値を修正する方法を開発することが今後の最大の課題の一つとなろう。

以下、図1にしたがって、各段階の推定方法について説明する。

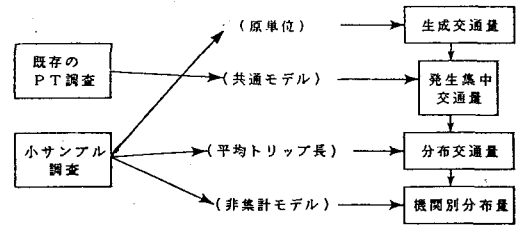


図1 簡略推定方法のフロー

(a) 発生集中交通量の推定方法

発生集中交通量の推定に用いられる人口指標を説明変数とする線形回帰モデルは、交通ゾーンを測定単位とする集計モデルであり、モデルパラメータがゾーニングの影響を受けるため、地域間移転性はないといわれていた。しかし、各都市圏でのPT調査結果を比較検討したところ、パラメータ推定値にはあまり差がなく、多くの都市圏データをプールして推定したモデルは各都市圏への適用性が高いことが判明した¹⁴⁾。ここでは、発生集中量推定モデルとして、この共通に推定したモデルを用いる。

なお、発生集中量の推定の際には、発生集中量の総計が別途推定した生成量に一致するように、各ゾーン毎の発生集中量を修正することによる精度の向上が期待できる。生成交通量は、実態調査から一人当たりの生成量の平均値（生成原単位）を求め、これに総人口を乗じて定めるといふ、従来と同じ方法で推定できる。生成原単位の推定は、標本から母平均を推定する問題と同じであり、このときの推定誤差率の95%信頼値 δ は次式で与えられる¹⁶⁾。

$$\delta = 1.96 \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \bigg/ \bar{X}$$

但し、 N ：母集団の大きさ、 n ：サンプルの大きさ、 σ ：母標準偏差、 $\bar{X}$ ：標本平均である。これに宇都宮都市圏のPT調査データから求めた一人当たりの生成量の平均、分散をあてはめ、相対誤差率を求めたものを表1に示す。業務目的以外では、500世帯の抽出で相対誤差率が、概ね10%以下となっており、業務目的では500世帯の抽出で相対誤差率15%を達成していることがわかる。

PT調査の抽出率は、都市圏の規模により差があ

るが、およそ3～10%程度となっている。これは分布交通量の推定などのように多数の未知量の推定に必要な抽出率であって、パラメータの数を限定すると、ここで示したように、必要抽出率は急激に減少する。

表1 生成原単位の推定相対誤差率

世帯数	通勤	通学	帰宅	私用	業務
100	0.169	0.204	0.0709	0.187	0.338
300	0.0978	0.118	0.0409	0.108	0.195
500	0.0758	0.0911	0.0317	0.0836	0.151
700	0.0640	0.0769	0.0268	0.0706	0.128
1000	0.0535	0.0643	0.0224	0.0590	0.107

(b) 分布交通量の推定

分布交通量の簡略推定には、ウィルソンのエントロピーモデルを用いる。これは、このモデルがグラビティモデルやオポチュニティモデル等に比して推定精度がよいこと¹⁷⁾、ただ一つのパラメータ(γ)を有しこの γ が定まると分布交通量が求まることによる。 γ は、都市圏全体の総移動費用(所要時間あるいは移動距離で計測できる)であるトータルコスト(TC)と一対一の関係を持つ¹⁸⁾。すなわち、TCから γ を一意に定めることができ、したがってなんらかの方法でTCを推定できると γ 、さらには分布交通量を推定することができる。ここでは、小規模調査から交通目的別に平均トリップ長を求め、これに生成交通量を乗じて、TCを求めるという方法によって、分布交通量を推定する。平均トリップ長の推定精度も、生成原単位と同様の考え方で求めることができる。

(c) 交通機関別分担量の推定

PT調査では、交通実態調査を用いて2機関間の分担率曲線を推定し、これを段階的に適用して交通機関別分担量を推定する方法が一般的であるが、ここでは数百程度の小サンプルで推定可能であり、わが国における適用事例も多数存在し、その適用性が確かな多肢選択の非集計機関選択モデルを用いる。

(2) 簡略推定法の適用性分析の方法

図1に示したように、簡略推定法は、既存PT調査から推定した共通モデルによる発生集中量の推定と、小規模調査からの生成原単位、平均トリップ長、非集計機関選択モデルの推定の二つに大別できる。

本来的には、小規模調査を実施すべきであるが、必要サンプル数についての検討も行うために、ここでは、PT調査の全データ(トリップマスターテープ)から世帯単位でサンプルをランダムに抽出し、これを小規模調査とみなしている。なお、抽出世帯数は生成原単位、トリップ長や非集計行動モデルの推定に必要な世帯数の検討結果から100, 300, 500, 700の4つを設定した。世帯数別に、それぞれ20回ずつの抽出とそれを用いての交通量推定を行ったが、これは、抽出サンプルの偏りによる推定精度の変動を把握し、またこの変動を抽出世帯数別に比較して簡略推定に必要なサンプル数について検討するためである(図2)。

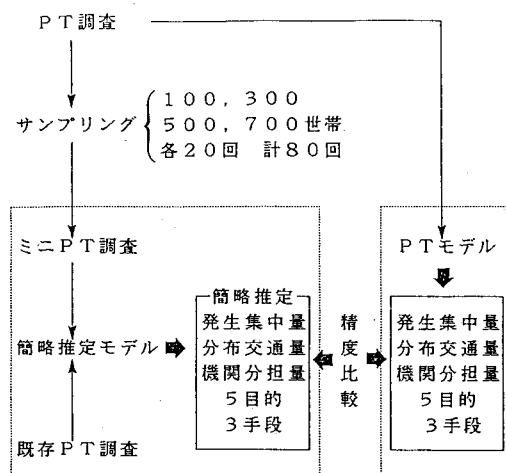


図2 適用性分析の方法

簡略推定法の精度は、簡略推定法により推定された交通量(簡略推定値)とPT調査で得られたトリップデータを拡大した交通量(PT実測値)との% RMS及び相関係数により検討している。この際、特に20回の簡略推定の% RMSと相関係数の平均値と最悪値に、それぞれ平均的な精度及び最悪の場合の精度の目安を与えるものとして着目している。

また、PT調査に基づく需要予測で実際に用いられた発生集中モデルや機関分担モデルを用いた推定結果(PTモデル推定値)のPT実測値による精度検討を行い、これと簡略推定法の推定精度とを比較している。ただし、分布交通量の予測は現在パターン法を用いた調査が多いため、これについては全ト

リップデータを用いてエントロピーモデルを推定し、これとの精度比較を行っている。

なお、推定精度の検討は、各段階の部分的精度検討と、その段階までのトータルの精度検討の2つを行っている。部分的精度検討は、例えば分布モデルの場合では、発生集中量にはPT実測交通量を用いて、簡略的分布量推定モデルだけの精度を検討しようとするものである。一方、トータルの推定精度とは、分布交通量までのすべての交通量（生成、発生・集中、分布）を簡略推定したときの精度である。

(3) 利用データの概要

実証分析は、表2に示す宇都宮と宮崎の両都市圏を対象として行った。この二つに限定したのは、主としてデータの入手可能性によるが、更に多くのPT調査実施都市圏への適用とPT調査非実施都市圏への適用とその前提となるPT調査以外のデータによる推定精度の検討手法の確立は今後の課題である。

両都市圏の概要ならびに交通の特性を表2、図3に示すが、宇都宮都市圏のゾーンの大きさは面積で見ると宮崎都市圏の約2倍、ゾーン当り人口では約3倍である。両都市圏とも、手段別構成では徒歩2輪が少ないこと、特に宮崎では鉄道、バスが少ないことが特徴としてあげられる。

3. 適用性分析1（発生集中交通量の推定）

(1) 生成交通量の推定

図4に500世帯抽出の場合の20回の抽出による生成原単位の最小値、平均値、最大値と全トリップデータを用いて推定した生成原単位を示す。いずれの目的、都市圏においても相対誤差15%以下で簡略推定されている。

(2) 発生集中交通量の推定

13の都市圏の実査結果を用いて推定された発生集中共通モデル（表3）を適用し、これを生成原単位の簡略推定値（500世帯抽出）によって修正したときの簡略推定値の%RMSを図5に示す。図には、PTモデル推定値の精度も示してあるが、簡略推定値の最悪値とPTモデル推定値の%RMSの差は、最大の場合でも20程度であり、簡略化による精度の低下は小さい。また、簡略推定値の%RMSの10～60という値は、PT調査で実際に推定されたモデルの精度に比べても遜色ないものである。

表2 対象都市圏の概要

	宇都宮都市圏	宮崎都市圏
調査年	昭和50年	昭和56年
対象区域	宇都宮市を中心とする4市8町1村	宮崎市を中心とする2市8町
人口	69万7千人	43万1千人
面積	1469km ²	1412km ²
ゾーン数	28	55
ゾーン平均人口	24898人	7268人
平均ゾーン面積	52.5km ²	25.7km ²

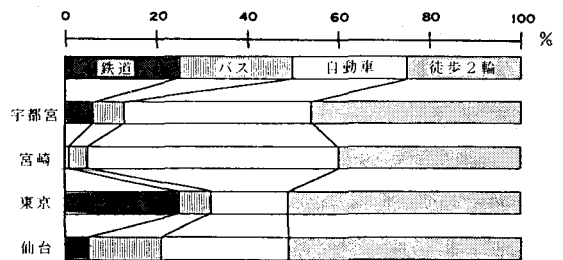


図3 対象都市圏の交通手段別トリップ構成比

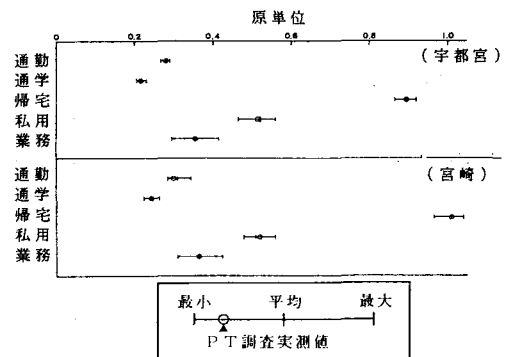


図4 生成原単位の推定結果

表3 発生集中量推定共通モデル

目的	説明変数	モデルのパラメータ
通勤発生	1. 夜間人口	$0.337X_1 - 124$
通勤集中	1. (2+3)次従業人口	$0.755X_1 - 140$
通学発生	1. 夜間人口	$0.222X_1 + 39.6$
通学集中	1. 通学地学生数	$0.922X_1 + 194$
帰宅発生	1. 昼間人口	$1.06X_1 - 1270$
帰宅集中	1. 夜間人口	$1.00X_1 - 331$
私用発生	1. 夜間人口 2. 従業人口	$0.317X_1 + 0.516X_2 - 831$
私用集中	1. 夜間人口 2. 3次従業人口	$0.211X_1 + 1.12X_2 - 515$
業務発生	1. 就業人口 2. 従業人口	$0.285X_1 + 0.633X_2 - 234$
業務集中	1. 従業人口	$0.814X_1 + 442$

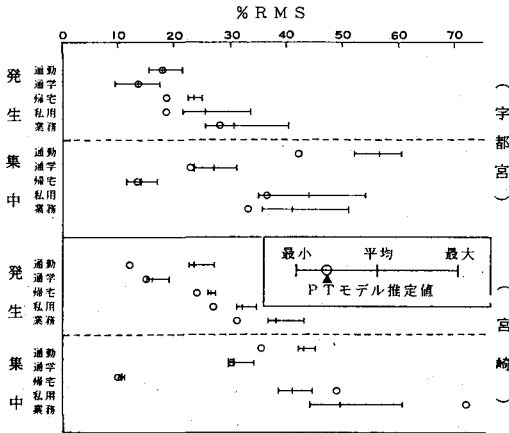


図5 発生集中交通量の推定結果

4. 適用性分析2 (分布交通量の推定)

(1) 平均トリップ長の推定

図6は、500世帯抽出の場合の推定結果を示すが、平均トリップ長も全ての目的、都市圏において非常に精度よく簡略推定されている。

(2) 分布交通量の推定

平均トリップ長の簡略推定値と、各ゾーン毎の発生集中交通量のPT実測値を用いて分布交通量を推定した結果の推定精度の分布を図7に示す。これが部分的推定精度を示すことはいうまでもない。なお、ゾーン間距離は測定の容易性を勘案して代表ノード間の道路距離で、内々距離はゾーン内可住地面積と等面積の円の半径で定義した。

推定精度は% RMSで150から250とあまりよいとはいえず、PT実測値が有する現況再現性とかなり差があるように思われる。しかし、PT調査の全トリップデータを用いて推定したエントロピーモデルによる推定値(PTモデル推定値)との差は小さく、推定精度の低さは主にエントロピーモデルの現況再現性によるものと思われる。

図8は、トータルの推定精度を示す。% RMSは160から400と小さいものであるとはいえない。この誤差は、発生集中量推定時の誤差(図5)にさらに大量の分布交通量の簡略推定の誤差(図7)が重ね合わされたものである。宇都宮都市圏での推定精度が、宮崎都市圏のそれよりも若干よいように思われる。

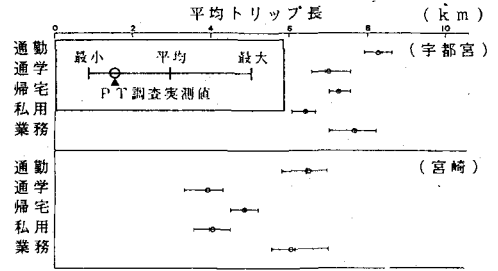


図6 平均トリップ長の推定結果

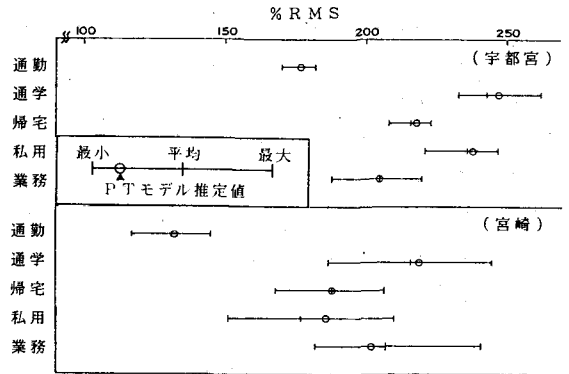


図7 分布交通量の推定結果 (部分的推定)

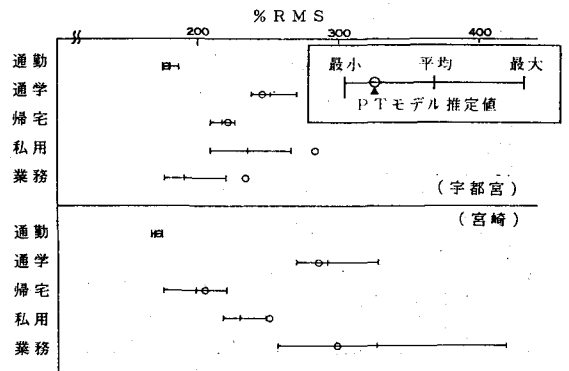


図8 分布交通量の推定結果 (トータル)

5. 適用性分析3 (交通機関別分担量の推定)

(1) 機関選択モデルの推定

表4に500世帯抽出時の非集計機関選択モデル(宇都宮都市圏)の推定結果の一例を示す。このモデルは、マストラ(鉄道+バス)、自動車、徒歩+

2輪の3枝の同時選択モデルであるが、業務目的についてはマストラの選択率が非常に小さいためこれを選択肢からはずし、2手段選択モデルとして推定している。説明変数の種類が少ないが、これは本研究で使ったデータがP T調査のトリップマスターテープであり、LOSの測定はゾーン単位にせざるを得ず、例えば徒歩時間、乗り換え回数などは正確には定義できなかったことによる。また、LOSの測定単位が粗いことによる影響は、モデルの適合度やパラメータの推定値にも表れていると考えられ^{19), 20)}、これが導入可能な説明変数の数の少なさとあいまって比較的低い尤度比やパラメータ推定値の安定性が図9に示すように必ずしもよくないことの原因となっていると思われる。このようにここでの分析は非集計行動モデルの利点を必ずしも100%活用したものとはなっていない。各トリップの出発地、目的地、乗り換え地点が特定できるいわゆる非集計行動データを用いての分析による精度向上の可能性についての検討も必要である。

表4 交通機関選択モデルのパラメータ推定例

	通勤	通学	帰宅	私用	業務
所要時間 (共通)			-0.0386 (-7.06)	0.0535 (-7.73)	
所要時間 (7117)	-0.0408 (-2.82)	-0.0401 (-1.12)			
所要時間 (自動車)	-0.0416 (-2.36)	-0.155 (-2.50)			
所要時間 (徒歩)	-0.0331 (-5.29)	-0.0475 (-3.75)			-0.0487 (-6.76)
隣接ゾーン (徒歩)	0.508 (1.79)	0.806 (1.31)	1.05 (6.76)	1.45 (7.86)	
隣接ゾーン (自動車)		-1.00 (-1.46)			
定数項 (7117)	0.452 (1.80)	-1.41 (-1.62)	-0.296 (-2.51)		
定数項 (自動車)		-0.975 (-0.966)			-0.604 (-1.77)
尤度比	0.0616	0.258	0.0876	0.112	0.146
シエ ア	M 26.5 C 57.7 W 15.8	38.3 7.8 53.9	23.4 41.1 35.5	20.0 49.6 30.4	92.3 7.7
標本数	336	128	499	365	312

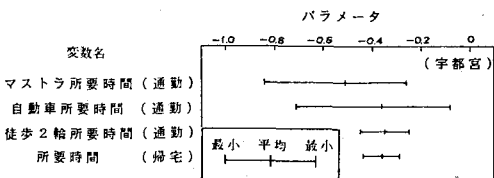


図9 交通機関選択モデルのパラメータの変動

(2) 交通機関別分担量の推定精度

(1)で推定した非集計モデルによる簡略推定法の適用性を検討するが、まず比較に使用するP Tモデルについて述べる。宇都宮、宮崎の両都市圏では交通機関別分担量の推定は、分担率曲線により行われているが、P T調査における交通機関の定義が非集計モデルに適用したそれと異なっていること、P T調査の報告書からは分担率曲線の関数形が明かでないことの2つの理由により、分担率曲線を全トリップデータを用いて設定した。ここで用いたものは、まず直線距離による徒歩・2輪と自動車・マストラの分担率曲線、次に所要時間比による自動車とマストラの分担率曲線という2段階のものである。

図10に500世帯抽出時の機関別分担量の簡略推定値の部分的推定精度を示す。シエアの小さい通学目的を除けば、自動車分担量の簡略推定値のP T

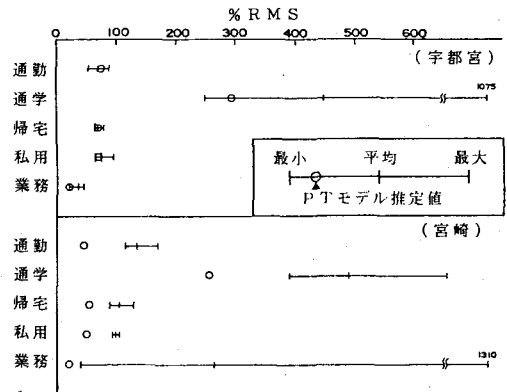


図10-1 交通機関別分担量の推定結果 (部分, 自動車)

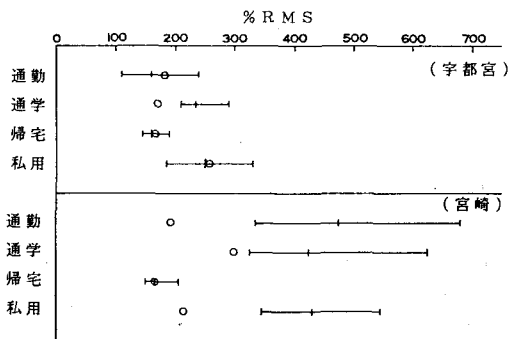


図10-2 交通機関別分担量の推定結果 (部分, マストラ)

調査実測値に対する%RMSは、PTモデル推定値の%RMSに比してそれほど大きくなく、また20回の抽出による変動も小さい。しかし、マストラ交通量の簡略推定の精度は、PTモデルに比べてかなり低下しており、その変動も大きい。マストラの分担率は、宇都宮都市圏、宮崎都市圏でそれぞれ13.1%、5.1%と非常に小さく、サンプル内シェアの偏りのために推定された非集計行動モデルがマストラの分担率を必ずしもうまく説明できないことによるとと思われる(表4)。サンプル利用を効率化するために選択肢別抽出法の適用を考えるべきかもしれない。

以上のように、機関分担量の推定はあまり良好ではないが、より細かい単位による高精度のデータの作成と、多様なきめ細かい変数の導入並びに選択肢別サンプリングによるサンプル効率の向上が推定精度の向上をもたらすことが期待でき、これを可能にするような交通実態調査を設計、実施しその効果を確認することが要請される。

6. 必要サンプル数の検討

図11は、発生交通量の簡略推定値の%RMSの最大値とPTモデル推定値の%RMSとの差が抽出世帯数の差によってどのように変化するかを示したものである。これは簡略化による誤差の増加が最悪の場合にどの程度であるかを抽出世帯数別に示すものと考えられる。

発生、分布ともに業務目的だけは、簡略化による誤差の増分が抽出世帯数の増加によって改善されているが、他の目的には抽出世帯数別の誤差増に差はほとんどない(図11、12)。このように業務目的においてのみ、大きな誤差が生じるケースがあるのは、業務目的の生成原単位の推定が必ずしも安定していないことによるとと思われる。

図13は、自動車分担量のトータルの推定精度の抽出世帯数による変化を示すが、100世帯から300世帯へ抽出世帯数が増加することによる簡略化による誤差の減少が大きいことがわかる。

以上のように、抽出世帯数を300以上に限定すれば、簡略化によるPTモデルからの誤差の増加を%RMSで数十以下に押さえることが可能であり、これは小規模調査として必要サンプル数に一応の目

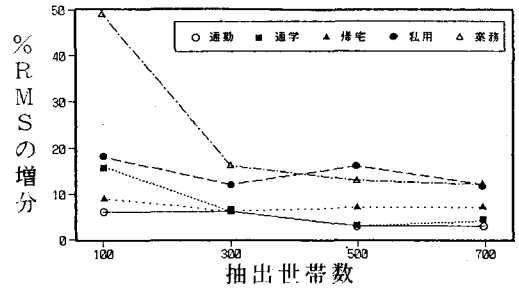


図11 発生交通量の抽出世帯数別推定精度

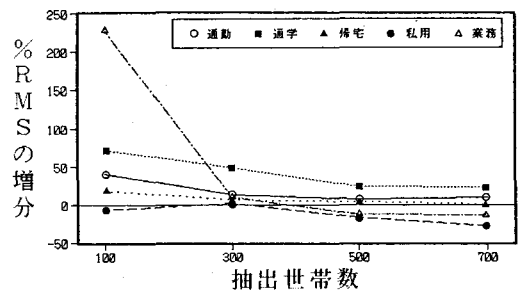


図12 分布交通量の抽出世帯数別推定精度

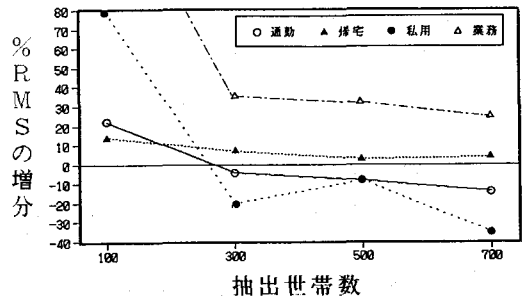


図13 自動車分担量の抽出世帯数別推定精度

安を与えると同時に、全トリップデータを使用しての推定精度にそれほど劣らない推定が簡略推定によっても可能であることを示すものである。

7. まとめと考察

以上の分析結果は次のようにまとめられる。

①発生集中交通量の簡略推定法として、既存のPT調査データから作成した共通モデルを用いてゾーン

別発生集中量を推定し、これに小規模調査から得た生成原単位による修正を施す方法を提案し、非常に高い精度の推定が可能であることを確認した。

②分布交通量に対しては、小規模調査により平均トリップ長を得て、エントロピーモデルにより推定する方法を提案した。推定精度自体は、それほど高いものであるとはいえないが、全トリップデータを用いての推定結果と遜色のないものであった。モデル自体の適用性に帰因する誤差が大である。

③交通機関別交通量の推定には、小規模調査を用いての非集計機関選択モデルの推定と、これを用いての分担量推定という方法を提案した。マストラ分担量は、マストラ選択率が対象都市圏で低いこともあって誤差は大きいものであったが、自動車交通量については、PT調査の予測モデルで推定しかつ現況値に一致させるような修正を加えない場合に近い精度での推定が可能であった。

④小規模調査のサンプル数として、300世帯以上がPTモデルによる推定に遜色ない精度を安定的に確保するために必要であることを明らかにした。

⑤以上のように、簡略推定法はPTモデルによる推定に見劣りしない程度の精度をもたらし、この意味では実用的かつ有用な方法である。しかし、特に分布交通量と機関別分担交通量の推定精度は必ずしも満足できるものではなく、さらなる改良が必要である。これらは今後の課題として次のように整理できる。

①分布、分担交通量の推定精度の向上には、機関選択モデルの説明変数の詳細化や非集計目的地選択モデルによる分布交通量推定、あるいは分析対象外としたが、断面交通量の観測値による分布交通量の推定など多種多様な方法が考えられる。これらの効果と適用可能性についての実証的検討。

②PT調査が困難な小都市で小規模調査を実施し、簡略推定法の推定精度並びに適用性についての実証分析を行うこと及びそのための精度評価方法の構築。

③宮崎都市圏と宇都宮都市圏では簡略推定法の精度に差があるように思われる。この差がいかなる理由によるものなのか、都市圏数を増加させて検討すべきである。

なお、本研究の計算には筑波大学計算機センターの

FACOM M780を使用し、研究経費には、筑波大学学内プロジェクト補助金と62年度科学研究費補助金(課題番号 62602016)を使用した。

参考文献

- 黒川洗, 浅野光行: 都市交通調査の簡略化に関する調査研究, 建設省建築研究所建築研究資料 No27, 1981.
- OECD道路研究委員会, 太田勝敏, 杉恵頼幸訳: 都市交通モデルの簡略化, 運輸経済研究センター, 1981.
- 土井正幸: 都市交通バックグランドUTPPの背景, 内容及び活用, 交通工学, Vol21, No3, pp23-35, 1986.
- Ruiter, E.R. and Ben-Akiva, M.E.: Disaggregate Travel Demand Models for the San Francisco Bay Area, TRR673, pp.121-136, 1978.
- 屋井鉄雄: 非集計行動モデルの実用化に関する研究状況, 吉川和宏編: 交通行動モデルの体系化と実用化のための総合的研究(昭和62年度科学研究費成果報告書), 1988.
- 森地茂, 屋井鉄雄, 田村享: 非集計行動モデルによるOD交通量推計方法, 土木計画学研究・論文集, 2, pp45-52, 1985
- 星野夏樹, 菅原操, 内山久雄: 非集計行動モデルの応用による分布交通量推計方法の研究, 第41回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp61-62, 1986
- 飯田恭敬, 高山純一: 発生交通量のみを变量としたリンク交通量による各種交通需要推計モデルの特性比較, 土木計画学研究・論文集, 3, pp.145-152, 1986.
- Ben-Akiva, M.E.: Methods to Combine Different Data Sources and Estimate Origin-Destination Matrices, in Gartner, N.H. and N.H.M. Wilson(eds); Transportation and Traffic Theory, Elsevier, 1987.
- O. Robillard, P.: Estimating the OD Matrix from Observed Link Volumes, Transportation Research, 9, pp.123-128, 1975.
- Sossolau, A.B.: Model-Related Use of Census Data for Transportation Planning, TRR981, pp.70-81, 1983.
- Teply, S.: Transportation Planning for Small Communities; Western Canadian Experience, TRR751, pp.49-56, 1979.
- 杉恵頼幸: 交通機関別分担モデルの移動可能性, 土木計画学研究発表会講演集, 2, pp81-86, 1980
- 黒川洗, 石田東生, 藤田繁人: エントロピーモデルのパラメータと都市の特性, 土木計画学研究・論文集, 4, 1986, pp213-220
- 石田東生: 発生集中量推定モデルの都市圏間比較と簡略推定法, 土木学会論文集, 第395号, 1988, pp57-64
- Henkel, R.E.: 統計的検定. 朝倉書店, 1982
- 安藤裕之: 目的別パーソントリップOD表への適合度からみた分布交通モデルの特性. 筑波大学社会工学類卒業研究論文, 1981
- Evans, S.P.: A Relationship Between the Gravity Model For Trip Distribution and the Transportation Problem in Linear Programming, Transportation Research Vol.7, 1973
- 森地茂, 屋井鉄雄, 田村享: 非集計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, 第20回日本都市計画学会学術研究論文集, pp271-276, 1985.
- 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回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp39-40, 1983.
- 栃木県他: 宇都宮都市圏パーソントリップ調査報告書
- 宮崎県他: 宮崎都市圏パーソントリップ調査報告書