

非集計型モデルを用いた都市内旅客交通需要の推計方法について

名古屋大学 正 河上省吾

名古屋大学 正 磯部友彦

1. はじめに

非集計交通需要モデルは、その使用目的と表現しうる現象の範囲が、集計モデルを代替できるモデル、集計モデルを補完するモデル、または集計モデルとは全く別個のモデル等、様々な位置づけが考えられているが、明確な結論は出ていない。本研究は、この位置づけを確認する手はじめとして集計モデル体系の一部を非集計モデルで置きかえた交通需要予測モデル体系を提案し、検討することを目的とする。

本研究の構成は、まず集計4段階モデルの各段階に相当する非集計モデルの考え方の特徴、問題と整理し、次に2つの連続した段階の非集計モデルについて検討する。続いて集計モデルと非集計モデルの組み合わせパターンを考え、実際に非集計モデルを用いて交通需要予測を行うときの方法について検討を加える。最後に、集計4段階モデルの一部を非集計モデルで置きかえたケーススタディを行い、集計4段階モデルとの比較を行う。

2. 各段階の非集計モデル

非集計の交通需要予測モデルは、集計4段階モデルと表-1に示すような対応をしている。本研究の目的である非集計モデルと集計モデルの比較及び非集計モデルと集計モデルとの組み合わせを考える上で、各段階の非集計モデルに基づく需要予測方法について検討する必要がある。

以下、各段階の非集計モデルの考察をMcFadden¹⁾やManheim²⁾の研究を参考にし、その適用性について検討する。

(2-1) 非集計発生モデル

非集計の発生モデルは、トリップ頻度の選択モデルとして扱われる。つまり、トリップ主体の社会経済的属性と交通目的、目的地までの交通条件から、トリップした場合の効用とトリップしない場合の効用とを比較して、トリップするかしないかを決定するモデルである。これは、目的地、交通手段、経路を考慮に入れ、トリップした場合という選択肢が設定できるので、集計型の発生モデルにおける短所である分布、分担、配分過程の結果をフィードバックできないという点を補える。

また、交通目的別にこのモデルの適用を考えると、通勤通学交通では、目的地が固定され、一週間のうちの発生量も一定であるのでこのような非集計発生モデルで表す必要はない。この行動理論に基づく発生モデルは、買物交通や特にレジャー交通において小さくさいものである。

(2-2) 非集計分布モデル

非集計の分布モデルは、複数の目的地間の選択問題としてモデル化可能である。集計分布モデルはOD間の距離抵抗と両トリップエンドのポテンシャルからOD交通量を求めるが、非集計の分布モデルは、トリップ主体は出発地から目的地までの距離抵抗(非効用)とそのトリップ主体が目的地へ行くことから得られる効用の和が最も大きい目的地を選ぶとしたモデルである。

目的地までの距離抵抗は、利用交通手段によって変化するもので、これを考慮するため複数の交通手段を統合した距離抵抗を用いるか、または目的地と交通手段の組み合わせを選択肢として設定することが考えられる。

発生モデルの場合と同様に交通目的が通勤通学交通の場合、1日とか1週間単位の短期の選択行動としては小

表1 集計モデルと非集計モデルの対応

非集計モデル	集計モデル
トリップ頻度選択モデル	発生モデル
目的地選択モデル	分布モデル
交通手段選択モデル	分担モデル
経路選択モデル	配分モデル

されしくなく、買物交通、レジャー交通の現象を表すのに適していると思われる。また、職場の選択、居住地の選択等の選択行動としては長期的なものには適した行動理論と考えられる。

(2-3) 非集計分担モデル

非集計の分担モデルは、トリップ主体があるODペア間をトリップするときに、そのODペア間の交通手段のうちでそのトリップ主体にとって最も効用が高い（非効用が低い）手段を選択するという理論によって成り立つ。つまり、トリップ主体の手段選択問題として扱われる。

同じ交通手段であって、どの経路を通るかによつて所要時間が変わり、それにより手段の効用が変わる場合もある。この場合は、後で説明するように経路毎に選択肢を設定する（手段・経路同時選択モデル）が、いくつかの経路の特性をまとめて手段の特性とすることが考えられる。

交通目的別に適用を考えると、通勤通学交通では他の交通目的より手段選択の習慣性が強いと思われるが、目的地選択の場合のような強い拘束力はない。よつて、どの交通目的においても複数の手段の中から利用手段を選ぶという手段選択行動を考えることが可能である。

(2-4) 非集計配分モデル

非集計の配分モデルは、トリップ主体が出発地を出て目的地に着くまで、どの経路を選んで通つて行くかをモデル化する。つまり、トリップ主体の経路選択問題として扱われる。トリップ主体は、OD間に存在する複数の経路（一部は同じ部分を含む場合あり）のうち最も効用が高い（この場合、費用が安い、所要時間が短い）経路を選ぶと考えている。

flow-dependentの場合、あるトリップ主体について考えてみると、自らの選択結果だけでなく、他のトリップ主体の選択の結果が経路の混雑を引き起こし、そのトリップ主体の所要時間に影響を及ぼす。つまり、自分ひとりだけのときは早く行けるので選択されるのが当然である経路が、他のトリップ主体も同じ経路を利用することにより混雑が生じ、その経路を利用する効用は下がり、これを利用することとやめる。そして混雑のない状況では効用が高くなつた経路が、混雑状態になつた場合、相対的に効用が高くなり、この経路を利用するようになる。しかし、個々のトリップ主体の経路の選択問題だけをモデル化した非集計配分モデルでは、この現象を十分に表しきれない。

このように容量に制限のある選択肢の選択問題をモデル化する場合には何らかの工夫が必要である。

3. 2つの連続した段階の非集計モデル

(3-1) 連続した非集計モデルの考え方

2. では、1つの段階を非集計モデルで構築した場合について考察したが、ここでは、2つの連続した段階を非集計モデルで構築する場合を考える。

非集計同時型モデルの構成法は2通りある。1つは、各々の段階の選択肢の組み合わせを1つの選択肢として、その中から効用

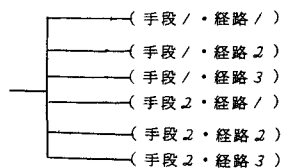


図1 交通手段と経路の同時選択

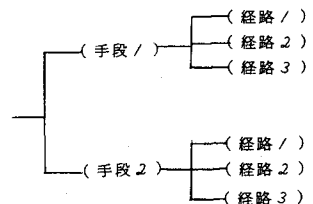


図2 交通手段と経路の段階選択

最大のもつて選ぶとするものである。つまり、2つの交通手段があり、各々の経路が3本ずつある場合は、 $2 \times 3 = 6$ の選択肢を設定し、その中から選択するものとする。（図-1）

もう1つは、nested logit modelの考え方のように、経路などの細かい選択肢をまとめておいて交通手段のように経路より粗い選択肢を設定する。（図-2）これにより、1度の選択時に考える選択肢の数は段階型と同じであるが、選択を考える時に、切り離して考えられない場合に有効であり、選択時にあつた、その交通条件等の情報が単

なる平均だけでなく実際の行動に基づいて統合されたものとなることが利点である。

この2つの方法を比較すると、前者はどちらの段階が先決事項かを考える必要はない。後者は、選択の段階の順序は、どちらかを先に決めるわけだが、先になつた段階では、選択決定の際の効用の比較は、後になつた段階の各々の選択肢の状況の期待値でも、ア行なわれるので、後になつた段階の選択肢の状況の変化は先になつた選択段階でも考慮できる。

次に具体的に連続した段階の二、三のモデルについて考察する。

(3-2) 分担・配分の連続モデル

分担と配分段階の連続モデルを考えてみる。まず、分担と配分段階の先決性について考える。手段選択の先決性が強いということは、経路の詳細な情報なしで手段を選択し、その後に経路を選択する傾向が強いことであり、一方、経路の選択の先決性が強いということは、手段を決定するよりも先に個々の経路についての詳細な情報からどの経路を選べば良いかを判断し、その結果として手段を選択するということである。

交通手段選択は、個人の属性（たとえば自動車保有）、交通施設条件（たとえば鉄道がない）に大きく影響を受ける。同一手段の経路選択は、自動車保有等の個人属性の影響は小さくなく、交通施設条件（混雑度、乗り換え回数等）に大きく影響を受ける。よ、交通手段選択の先決性が強いと思われる。

また、非集計配分モデルのもつ問題点はそのまます。つまり、経路の選択肢などのかなりの範囲まで設定するかとか、容量制約の影響を直接には表現できないという点である。

(3-3) 分布・分担の連続モデル

目的地を選択するときの距離抵抗は、どの手段を使うかによつて異なるはずである。分布と分担の連続モデルはこのことを表わそうとするモデルといえる。

分布段階と分担段階との先決性を考えてみると次のようになる。人はある目的を達成するために目的地へ行く。特に通勤通学の場合、目的地は特定の場所だが、買物・レジャー・文通の場合には常に特定の場所とは限らない。このように目的地選択の先決性は通勤通学交通で強いが、一方、手段選択の先決性は、大きな荷物を運ぶ必要のある買物交通やドライブ中心のレジャー交通等において、特に強いと思われる。

連続モデルを具体的に示すと、交通手段と目的地の組み合わせを選択肢にした場合（図-3）と、目的地選択後に手段選択を行うが、各手段の状況をまとめたものを目的地選択の際の情報とする場合（図-4）がある。

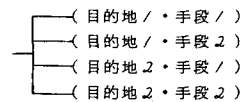


図3 目的地と交通手段の同時選択

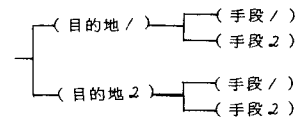


図4 目的地と交通手段の段階選択

(3-4) 発生・分布の連続モデル

発生段階と分布段階の連続モデルには(3-1)のように2通り考えられる。1つは、複数の目的地の選択肢に加えて、トリップしないという選択肢を加えたもので、各目的地へ行った場合の効用とどこへも行かない場合の効用を比較して行動を決定するモデルである。（図-5）もう1つは、nested logit modelの考え方のように、どこかの目的地へ行、たと想定して計算されるようなどこかへトリップした場合の効用の期待値と、どこへも行かない場合の効用を比較して行動を決定するモデルである。（図-6）

次に、発生段階と分布段階との先決性を考えてみる。通勤通学交通の場合、トリップ頻度、目的地の両方ともに固定である。よ、通勤通学交通について

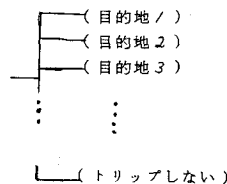


図5 目的地とトリップ頻度の同時選択

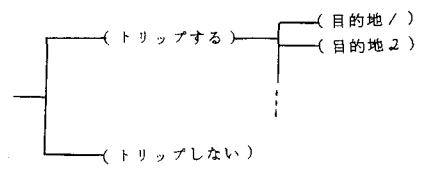


図6 目的地とトリップ頻度の段階選択

ては発生段階と分布段階の選択モデルは必要としない。1日単位の短期の買物・レジャー交通の場合、トリップ頻度、目的地のどちらの先決性が高いかは一概に言えない。

これらのことを考慮してモデルを作成する必要がある。

4. 集計モデルと非集計モデルの組み合わせ

いままで、様々な非集計モデルの考え方について考察してきたが、ここでは、集計4段階モデルの一部を非集計モデルで置きかえた需要予測モデルについて検討する。これを行うことにより、各非集計モデルを用いて集計モデルと同様のoutputを得るにはどうすべきかが検討でき、各非集計モデルの集計化方法を提案できる。集計モデルの非集計モデルへの置きかえのパターンは、表2に示すように15通り考えられる。この各パターンにおける予測作業の問題点を検討してみる。

表2 集計モデルと非集計モデルの組み合わせパターン

NO.	発生	分布	分担	配分
1	A	A	A	D
2	A	A	D	A
3	A	A	D	D
4	A	D	A	A
5	A	D	A	D
6	A	D	D	A
7	A	D	D	D
8	D	A	A	A
9	D	A	A	D
10	D	A	D	A
11	D	A	D	D
12	D	D	A	A
13	D	D	A	D
14	D	D	D	A
15	D	D	D	D

A: 集計モデル

D: 非集計モデル

パターン1, 2, 4, 8は各々非集計モデルに単独に置きかえたものである。パターン1の非集計モデルは、集計の発生・分布・分担モデルにより手段別の日交通量が得られた後の非集計配分モデルとして位置づけられる。つまり、各手段毎に経路選択比率を求めるモデルである。これはいわゆる確率配分モデルの考え方を利用できる。配分モデルを全トリップについて一律の比ではなく市場セグメント(社会経済的属性グループ)毎に経路の配分比を与えるものと解釈できる。ただし、容量制約をうまく考える必要がある。

パターン2は、集計型の発生・分布モデルにより日交通量が得られた後、これを手段別に分割する比率を非集計モデルに基づいて算出し、手段別の日表を作成し、配分計算を行う方法である。このためには、市場セグメント別の選択率をゾーンペアの分担率にすゝめなおす集計化の手順が必要である。

パターン4の非集計分布モデルは、ある出発地からの目的地選択モデルである。このモデルから日表を作成するには、市場セグメント毎に各出発地の目的地選択比率をマルコフ過程の考え方をを用いてゾーン間遷移確率行列を求める。次にこれを全ての市場セグメントについて集計化して日表の同時確率を求め、集計発生・集中モデルから得られた発生・集中交通量を分布交通量に変換する。

パターン8は、市場セグメント毎にトリップ頻度の選択比率を求め、市場セグメントの人口をかけた発生量を求める。ただしこの方法によるとホームベイストリップのみの発生量が求められる。

パターン3, 6, 12は、非集計モデルを2つの連続した段階に適用し、同時決定型モデルまたはnested型段階モデルとして適用されるべきものである。

パターン3は、集計分布モデルで得られた日交通量と(3-2)に示したモデルを用いて経路交通量に分割する手法である。

経路と手段の同時選択の場合、各選択肢に対する選択確率を求め、パターン1の非集計配分モデルと同様に、日交通量を直ちに経路交通量に分割させる。

nested型のモデル構成にすると日交通量はパターン2と同様な手法により手段別の日交通量に分割され、さらにパターン1と同様な手法により経路交通量が求められる。

パターン6は、集計発生モデルで得られた発生量を、(3-3)に示したモデルで手段別の日交通量に分割し、集計配分モデルで配分計算を行うものである。

目的地と手段の同時選択の場合、パターン4と同様な方法で各市場セグメント毎の手段別の日交通量の遷移確率を求めるためにマルコフ過程の考え方をを用いて、各目的地への選択確率の集計化を行い、手段別の日交通量を求め

る。

nested型のモデル構成にすると、パターン4と同じ方法によりOD交通量が求められる、次にパターン2と同様な方法で手段別OD交通量が求められる。

パターン12は(3-4)に示したように非集計モデルで分布交通量を求め、後は集計モデルで計算するものである。トリップ頻度(トリップする、しない)と目的地の組み合わせを選択肢とした場合、OD表の目的地の欄に「トリップしない」という項目を加えればパターン4と同様な方法でOD間の同時確率とトリップしない確率が求まる。

nested型のモデル構成にすると、まずパターン4と同様な方法でOD間の同時確率が求まり、これからトリップした場合に得られる効用の期待値とトリップしない場合の効用の比較からトリップ発生率が求まる。これから発生交通量と分布交通量が求まる。

他のパターンについて見ると、5は1と4、9は1と8、10は2と8、11は3と8、13は1と12の各パターンの組み合わせである。パターン7、14、15の3段階以上が連続して非集計の場合も考えられるが、これらは2段階連続の場合の延長であるので考察は省略する。

以上の考察から次のことが明らかになった。

(1)非集計発生モデルではホームベイストリップの発生量を把握できるが、ノンホームベイストリップは、その発生比率がわかっていても、基礎になる母集団が不明確なため発生量の推計が困難である。

(2)非集計分布モデルは、これを用いれば直ちにOD交通量が求まるわけではなく、マルコフ過程の考え方をを用いてOD表の同時確率を算出するために各出発地からの目的地選択比率を集計化する必要がある。

(3)集計配分モデルが経路の容量制約を考慮できるのに対し、非集計配分モデルは個人の選好のみを考慮しているため容量制約は考慮できない。多数のトリップ主体が同一の経路に集中する場合には選好の程度に応じて別の経路を使うことを表現できるような補正が必要である。

5. ケーススタディ

ここでは、非集計分担モデルを集計4段階モデルに組み込んだ予測手法による交通需要予測を名古屋市を例にとり行う。用いた需要予測方法は(表-2)のパターン2によった。その理由は次のことがあげられる。通勤通学交通の発生・分布交通量は短期的に見れば固定的であり、他の交通は可変的である。よってこのことを考慮してモデル化をしなければならぬ。しかし、このケーススタディで用いた集計型需要モデルは、分布・分担・配分過程を結合した一貫モデル⁽⁴⁾を基本とし、全目的交通量に対し各段階で用いられるゾーン間所要時間に整合性を持たせている。とくに、配分段階では交通目的別に分離することは難しい。また分担段階以外に具体的な非集計モデルが十分に開発されていない。よってこのケーススタディでは、どの交通目的に対しても可変的選択となる分担段階を非集計モデルに置きかえる方法について検討した。

まず分担率モデルの構築にあたり、説明要因は所要時間のみとした。これは、各段階で用いられるゾーン間所要時間に整合性を持たせるためと、全目的でゾーン間の交通を対象とし、ホームベイストリップ以外の交通も扱うので、トリップ主体の社会経済属性に関する指標の設定が難しいためにこれらの要因は用いなかった。つまり、非集計の手段選択モデルを所要時間のみの説明要因で作成し、これをゾーン間で平均値法により集計化し、これを分担率モデルとして使ったことになる。

分担率モデルの型式は、非集計ロジットモデルを用い、昭和46年中京PT調査の個人データ868サンプル(交通目的は種々混ざっている)を用いて、所要時間に対する係数を推定した。交通手段は自動車とバス・鉄道の公共交通機関の2つを考えた。利用交通手段の所要時間は各サンプルから得られるが、代替交通手段についてはゾーン間の平均所要時間を用いた。

表-3 にこの結果を示した。なおゾーン間の分担率を回帰分析して得た集計ロジットモデルの係数も示してある。この両者と比較すると係数値は統計的に有意な差はない。なお、非集計モデル作成のためのサンプルの抽出方法を上に用いた以外に7通り行い（サンプル数はいずれも約900）、これらにより係数値を算出した。その結果、所要時間に対する係数値は0.014～0.027となり集計モデルの係数値0.020の前後となった。各係数値間に有意な差があるかどうか検定したところ差はなかった。このことから、この係数値を求めるのに使用したトリップデータの数は、非集計モデルで約900トリップであるのに対し、集計モデルでは約75000トリップとなり、非集計モデルで同様の結果を得るのに極めて少数のサンプルで良いことがわかった。

表-3 の分担率式を一貫モデルに組み入れて、昭和46年のネットワーク需要推計を行った。その推計精度を示すと、表-4 のようになり、集計分担率を用いた場合と比べて有意な差はない。

以上のことから、非集計分担率モデルを他の段階の集計モデルと混合して用いることが可能であり、推計精度も集計モデルのみで予測した場合と同程度であることがわかった。また、この手法を用いれば分担率モデルの精度確保のためにPT調査のサンプルを多くとる必要がなくなることもわかった。

6. おわりに

本研究では、従来都市圏の交通需要予測に使われてきた集計4段階モデルに、非集計交通需要予測モデルを組み入れることを検討してきた。そして、本研究では分担段階への組み入れだけを具体的に示すことができた。

今後の残された課題をまとめると次のようになる。

(1) 分担段階以外の非集計モデルにおいて、ゾーン単位の予測に使用できるように、各モデルの推計結果の集計化方法を検討し、具体的な予測手順を考えることが必要である。

(2) McFadden や Manheim らは、表-1 にあげた以外にも非集計モデルとして、トリップ発生時刻、自動車保有、居住地、就業地の各選択モデルを提案している。このうち、トリップ発生時刻選択モデルは、従来の集計4段階モデルで十分に扱えなかった1日のうちの交通量の変化をも表現しうるモデルであるので、この具体的なモデルの提案ならびに交通計画への適用法を考えることが必要である。

(3) 非集計モデルの交通需要予測体系における位置づけ及び交通計画への適用における得失を明らかにする必要がある。

<参考文献>

- Domencich, McFadden; Urban Travel Demand, North-Holland, 1975
- Manheim; Fundamentals of Transportation Systems Analysis vol.1, The MIT Press, 1979
- Williams; On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, Environmental and Planning A 9, 1977
- 河上省吾, 住田公資; 分布・分担・配分過程を結合した交通量予測モデル, 土木学会論文報告集 第306号, 1981
- 河上省吾, 磯部彦彦, 野口宏一; パワアトラクトを考慮した最適交通網の決定について, 土木学会全国大会, 1981

表 3 非集計分担率モデルの係数推定結果

	非集計モデル	集計モデル
所要時間に対する係数 (a)	0.027	0.020
定数 (b)	0.32	0.22

$$P_i^c = 1 / \{ 1 + \exp(aX_i + b) \}$$

P_i^c : 自動車分担率

X_i : (マストラ所要時間) - (自動車所要時間)

表4 一貫モデルによる手段別交通量の推計精度

	非集計モデル	集計モデル
自動車交通量の 相関係数	0.89	0.88
マストラ交通量の 相関係数	0.88	0.89