

PG表に基づく発生交通のモデルについて

A Model of Trip Generation based on the Production-Generation table

河野 雅也 *・橋木 武 **

By Masaya KAWANO and Takeshi CHISHAKI

The production-generation table is introduced in order to examine a model of trip generation, taking into account the relationship between the trip production and the trip generation. The PG model, which specifies the pattern of the production-generation table, consists of three sub-models; the model of intrazonal generating rates, the model of discrimination of generating zones and the model of interzonal generating rates. The PG model is fully discussed applying to the Fukuoka metropolitan area.

1. はじめに

発生交通量の分析・予測に関する従来の典型的なモデルは、ゾーンごとの発生交通量を人口指標などのゾーン特性で説明する回帰モデル、および個人属性あるいは世帯属性を基本単位とする生成原単位モデルである。これらのモデルは、それぞれに特徴があり、多くの都市圏において実用に供されている。

ところで、発生交通モデルは、一般に4段階推定法の第1段階として位置付けられるが、実際には対象圏域から発生する総交通量に関する生成交通モデルのあとに検討されるのが普通である。したがって、本来的には発生交通モデルは、独立に議論されるのではなく、生成交通モデルとの関連性を十分に考慮しながら検討されるべきであると言える。

*正会員 工修 九州大学助手 工学部土木工学科

**正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

しかし、上述のモデルは、発生交通のみに着目したものであり、生成交通との関連が全く考慮されていないという問題点を抱えている。そこで、以前より著者らは、全域における生成交通を居住地ゾーンごとの生成交通（ゾーン生成交通と称する）に分解し、これらと発生交通との関連を考慮することにより、生成交通と発生交通とをより有機的に結合しようとする試みを提案してきた^{1),2)}。その基本的な考え方は、人の一日の交通行動を、ゾーン生成交通のベースである居住地ゾーン（生成ゾーン）および発生交通のベースである発生ゾーンとで捉え、分析するものである。すなわち、生成ゾーンと発生ゾーンの2つのベースで把握された交通行動の集計表であるPG表(Production-Generation table)を種々検討することにより、生成交通と発生交通との関連が明らかにでき、両者間で整合した需要予測が可能になると考えられる。本研究は、このような観点からPG表の分析に基づく発生交通モデルの作成につ

いて議論するもので、本モデルは生成交通との関連を考慮に入れたモデルであると言え、従来モデルの抱えている問題点に応えんとするものである。

2. PGモデルの考え方

(1) PG表とPGモデルの概念

本研究の基礎となるPG表を図-1に示す。図中において、Mは生成ゾーンの数、Nは発生ゾーンの数であり、 t_{mn} は、生成ゾーンをmとし、発生ゾーンをnとするトリップ数を表している。当然ながら、PG表の行および列に関する総和は、ゾーン生成交通量 P_m およびゾーン発生交通量 G_n に等しい。なお、ゾーン生成交通量 P_m は、ゾーン生成トリップ数分布モデル¹⁾より求まる。

発生 生成	1 ... n ... N	ゾーン 生成 交通量
1 ⋮ m ⋮ M	t_{mn}	P_m
ゾーン 発生 交通量	G_n	全域 生成 交通量

図-1 PG表

ところで、先の検討²⁾によれば、PG表の変動に關係している要因として生成トリップ数、個人属性、交通目的および社会経済特性が挙げられたが、このうち生成トリップ数の影響度は、その他の要因に比べ小さいから、ここでは除外することとする。したがって、PG表の分析に際しては、個人属性、交通目的および社会経済特性の3つの要因を考慮することになるが、交通目的は内生的な説明要因として考えることが困難なので、本研究では外生的に処理する。すなわち、交通目的別にPG表を検討することにする。

さて、本研究では、PG表のパターンを具体的に記述する数理的モデルをPGモデルと称するが、その概念について説明すれば、以下のとおりである。

PGモデルは、交通分布ODモデルと同様に2つの異なるゾーン間の分布パターンを求めるものであるが、ODモデルは、対象とするトリップがトリップチェーンを分解した個々のトリップであるから、発生ゾーンと集中ゾーンとの関係は対等とみなせる。

これに対し、PGモデルは、生成という概念を含むことから、生成ゾーンと発生ゾーンとが対等ではなく、発生ゾーンは生成ゾーンに依存すると考えられる。したがって、PGモデルを構築する際には、生成ゾーンを1つ固定し、そのゾーン生成交通量を關係する発生ゾーンに振り分けるといった観点に基づくことが望ましいと言える。このとき、生成ゾーンごとに概念を統一する意味で、発生ゾーンの分布パターンを発生ゾーンにおける発生確率分布として把握することが望ましいと言え、この考えに従えば、PGモデルは、

$$t_{mn} = P_m \cdot r_{mn}^j \quad (1)$$

と表現されることになる。ここに、添字j(j=1, ..., J; Jは交通目的数)は交通目的(表-1)、 r_{mn}^j は交通目的がjであるときに生成ゾーンmを固定した場合の発生ゾーンnの発生確率を表している。 r_{mn}^j は、その定義より、

$$\sum_{n=1}^N r_{mn}^j = 1 \quad (0 \leq r_{mn}^j \leq 1) \quad (2)$$

を満足しなければならない。

先にも触れたが、式(1)において P_m はPGモデルを考える段階では既知であるから、結局、PGモデルは、式(2)の制約条件の下で発生確率分布 r_{mn}^j を記述するモデルとなる。

表-1 交通目的

交通目的	内 容
1. 通勤	通勤先への出勤トリップ
2. 通学	通学先への通学トリップ
3. 業務1	販売・配達、作業・修理、打合せ・会議など
4. 業務2	農耕・漁業作業のためのトリップ
5. 私用1	買物、社交・娯楽、食事、レクリエーションなど
6. 私用2	私事・用務などのトリップ
7. 帰宅1	通勤、通学先からの帰宅トリップ
8. 帰宅2	帰宅1以外のすべての帰宅トリップ
9. 全目的	すべての交通目的

(2) 自ゾーン発生率モデルと他ゾーン発生率モデル

一般に交通分布ODモデルでは、OD表の対角要素である内々交通と、非対角要素であるゾーン間交通とに分けてモデル化がなされる。これは、内々交通の特殊性および内々交通とゾーン間交通との量的關係に起因するものであるが、同じことがPGモデルの場合にも言える。すなわち、 $m=n$ の場合は、ある交通発生主体の生成ゾーンと発生ゾーンが一致するケースであり、その人の居住しているゾーンから、ある交通目的で発生するという意味で、 r_{mn}^j を自ゾーン発生率と称する。これに対し、 $m \neq n$ のときは、自分の居住ゾーン以外から発生するケースで

あり, $r_{mn} (m \neq n)$ を他ゾーン発生率と呼ぶ。

北部九州圏PT調査³⁾に基づくデータ解析⁴⁾によれば, 福岡都市圏Bゾーン(市区町村レベル)における全目的の自ゾーン発生率は, 69% であり, 全発生交通量のうち約7割が自分の住んでいるゾーンから発生していることが分かる。また, 通勤や通学といったホームベースの交通目的では, ほぼ100%の自ゾーン発生率となっている。このように自ゾーン発生率は, 大きな数値を示すものであり, これと他ゾーン発生率を同一のモデルで処理するならば, 他ゾーン発生率に無視できない誤差を含むモデルしか得られない危険性がある。この危険性を回避し, より本質的なPGモデルを構築するためには, 自ゾーン発生率と他ゾーン発生率とに分けてPGモデルを検討すべきであると言える。そこで, 本研究では, 自ゾーン発生率を表現する自ゾーン発生率モデルと, 他ゾーン発生率を表現する他ゾーン発生率モデルを別個に検討し, それぞれが確定したあとで両モデルを結合して最終的なPGモデルを作成することにする。

自ゾーン発生率モデルと他ゾーン発生率モデルの結合方法には, 幾つかのものが考えられるが, ここでは, 自ゾーン発生率の数値的優位性を考慮し, まず自ゾーン発生率モデルを作成する。次に, 1から自ゾーン発生率を引いたもの, すなわち他ゾーン発生率の総和を他ゾーン発生率モデルで分けるといった方法を採用するところにする。自ゾーン発生率モデルを u_{mn} , 他ゾーン発生率モデルを v_{mn} と記号表示すれば, PGモデルは,

$$r_{mn} = \begin{cases} u_{mn} & (m=n) \\ (1-u_{mn}) v_{mn} & (m \neq n) \end{cases} \quad (3)$$

と表わされる。 u_{mn} および v_{mn} は, 確率であり, また, それぞれの定義より,

$$u_{mn} \in [0, 1] \\ v_{mn} \in [0, 1] \text{ かつ } \sum_{m=1}^N \sum_{n(m \neq m)} v_{mn} = 1 \quad (4)$$

ところで, 上述のごとく, PG表の変動に寄与する要因として交通目的, 社会経済特性および個人属性が考えられるが, これらのうち交通目的に関しては, 交通目的別にPGモデルを作成するから, 外生的に考慮されている。また, 社会経済特性は, ゾーン単位で得られる諸指標をモデルの説明変数として

直接的に考えることが可能である。そこで, 問題は個人属性をいかにしてモデルに組み込むかであるが, その方法には, 大きく3つのものが考えられる。まず, 第1の方法は, 個人属性を個人属性変数として表現し, 社会経済特性と同等に扱う方法である。たとえば, 性別を例にとると, 男女比=男性人口/女性人口という指標を新たに定義し, モデルの説明変数の1つに加えるというものである。第2の方法は, 考えている個人属性のカテゴリーごとにPGモデルを作成し, それらをカテゴリーの人口構成比などを重みとして総合化しようとするものである。そして, 第3の方法は, 既に著者らが提案した生成トリップ数分布モデル⁴⁾において用いたテーブル関数的な考え方をPGモデルに適用するものである。すなわち, 個人属性ごとのPG表を用意し, これらを, 第2法と同じくカテゴリー人口構成比などで重みづけした上で, 最終的なPG表を得ようとする方法である。3つの方法を比較すれば, 精度の点で第3法がすぐれているといえるが, 膨大なデータが必要であり, また, それゆえに実用性に劣るという問題点を抱えている。第2法も, ガテゴリー別にPGモデルを構築するので, 精度の良いモデルが期待できるが, その反面, キャリブレーションすべきモデルの数が増えることによる計算労力の増大, あるいは細かく対象を区切ることによるサンプル数の低下などといった欠点がある。また, 第2法, 第3法ともに複数個の個人属性を考慮する際に, それらの結合を図るという作業が必要になる。第1法は, 本来的にはカテゴリー化されて扱われるべき個人属性を1つの指標に置き直すから, 個人属性は間接的にしかPGモデルに組み込まれない。しかし, 個人属性のPG表の変動に寄与する度合いが,それほど大きくないことを考慮すれば, PGモデルへの個人属性の組み込まれ方が間接的であっても, さほど問題にはならないであろう。また, 第1法では, 作成すべきPGモデルの数が交通目的の数だけであり, 第2法で問題となるサンプル数の低下もない。

以上の点を勘案し, 本研究では, 個人属性を社会経済特性と同様に処理する第1法に基づき, PGモデル, すなわち自ゾーン発生率モデルおよび他ゾーン発生率モデルの検討を行う。なお, 対象地域は, 福岡都市圏Bゾーンとし, 分析には, 北部九州圏P

T調査²⁾に基づくデータを用いる。

3. 自ゾーン発生率モデル

自ゾーン発生率は、全発生トリップ数のうち居住地ゾーンすなわち生成ゾーンから発生するトリップ数の割合であるので、生成ゾーンが有する種々の特性に関連することは言うまでもない。この場合、発生ゾーンと生成ゾーンとが一致しているので、生成ゾーンが有する特性は、より厳密には生成ゾーンとしての特性、発生ゾーンとしての特性、および対周辺ゾーンとの関連性（以下、周辺ゾーン特性と言う）の3者に分類することができよう。今、生成ゾーン特性を $x_m^{(p)}$ 、発生ゾーン特性を $x_m^{(g)}$ 、周辺ゾーン特性を $x_m^{(s)}$ およびそれらをすべて含む変数ベクトルを X と記号表示すれば、一般に、

$$u_m = f_j(X) = f_j(x_m^{(p)}, x_m^{(g)}, x_m^{(s)}) \quad (5)$$

と表わされる。ここに、 $f_j(\cdot)$ は、交通目的 j に応じた、ある関数である。前述のように、 u_m は、式(4)の制約条件を満足しなければならないが、ここではそれを陽表的に表現することを考え、 $f_j(\cdot)$ にパラメータ線型性を仮定したロジット型モデルを採用し、以下のモデルを検討する。

$$\exp(\alpha_j' X)$$

$$u_m = \frac{\exp(\alpha_j' X)}{1 + \exp(\alpha_j' X)} \quad (6)$$

ここに、 α_j は未知パラメータのベクトルであり、また、 $'$ は、転置を表わす。

問題は、説明変数ベクトルに何を取り上げるかであるが、本研究では、将来における変数の予測可能性、モデル構造の簡便性などを考慮し、主に人口関連の指標を用いることにする。これは、また、2.で議論したように、個人属性を社会経済特性の1つとして考慮し易くするためでもある。ここで検討する個人属性は、先の検討の結果²⁾を踏まえ、性別、年齢、職業および産業である。

ところで、社会経済特性の考慮の方法には、大きく2つの考え方がある。すなわち、特性を規模そのもので直接記述するものと、規模で表わされたものを何等かの形で加工し、内容説明的な把握を主体にしたものである。ここでは、前者を量的変数、後者を比率変数と称することにする。本研究で扱う量的

変数および比率変数を示せば、表-2および表-3のとおりである。両者において、従業人口による中心性指数²⁾が共通しているが、これは周辺ゾーン特性として取り上げたものである。また、量的変数では、性別は男性人口および女性人口、年齢は年少人口、若年人口および老年人口、そして職業および産業は第1次から第3次の就業人口、従業人口の形で、一方、比率変数では、性別は男女比、年齢は年少人口指数、老年人口指数および老齢化指数、そして職業および産業は第1次から第3次の就業人口構成比、従業人口構成比の形で表現されている。なお、これらの変数は、個人属性の間接的な表現だけではなく、社会経済特性でもあることを注意しておく。

表-2 量的変数

R ₁ : ゾーン面積	R ₁₀ : 事業所数
R ₂ : 夜間人口	R ₁₁ : 第1次産業就業人口
R ₃ : 男性人口	R ₁₂ : 第2次産業就業人口
R ₄ : 女性人口	R ₁₃ : 第1次産業従業人口
R ₅ : 世帯数	R ₁₄ : 第2次産業従業人口
R ₆ : 年少人口	R ₁₅ : 若年人口
R ₇ : 老年人口	R ₁₆ : 第3次産業就業人口
R ₈ : 就業人口	R ₁₇ : 第3次産業従業人口
R ₉ : 従業人口	R ₁₈ : 中心性指数

表-3 比率変数

S ₁ : 人口密度	S ₁₀ : 1事業所当り従業者数
S ₂ : 男女比	S ₁₁ : 就業者密度
S ₃ : 世帯密度	S ₁₂ : 第1次産業就業人口構成比
S ₄ : 1世帯当り人員	S ₁₃ : 第2次産業就業人口構成比
S ₅ : 年少人口指数	S ₁₄ : 第3次産業就業人口構成比
S ₆ : 老年人口指数	S ₁₅ : 第1次産業従業人口構成比
S ₇ : 老齢化指数	S ₁₆ : 第2次産業従業人口構成比
S ₈ : 就促比	S ₁₇ : 第3次産業従業人口構成比
S ₉ : 事業所密度	S ₁₈ : 中心性指数

量的変数および比率変数が、交通目的別の自ゾーン発生率とどのように関連しているかを相関分析で調べた。このとき、自ゾーン発生率は、式(6)の形を考慮し、ロジット変換つまり $\log\{u_m/(1-u_m)\}$ と変換したものをを用いている。その詳細な結果については触れないが、比率変数の方が量的変数よりもすべての交通目的において自ゾーン発生率と大きな相関を有することが判明したので、以下では、比率変数のみについて検討する。

説明変数に何を選択するかは、2つの考え方がある。1つは、被説明変数である自ゾーン発生率と少なからず関係のある代表的な変数を選び出して用いるものであり、もう1つは、説明変数群を幾つかの総合的な変数に縮約するものである。前者を代表変数法、後者を合成変数法と呼ぶ。代表変数法にはステップワイズ重回帰分析、合成変数法には比率変数による主成分分析に基づく第1から第4主成分のスコアを用いた重回帰分析、いわゆる主成分重回帰

分析を用いた。なお、主成分スコアを第4までとしたのは、第4主成分までの固有値が1以上であり、また、第4主成分までの累積寄与率が89%であることによる。各主成分の意味付けを概略述べれば、第1主成分は、人口規模および産業構成によるゾーン活性化度、第2主成分は、年齢構成によるゾーン活性化度、第3主成分は、昼間活動と夜間活動との差異によるゾーン活性化度、および第4主成分は、昼間ベースでのゾーン活性化度を表わしている。

代表変数法による結果を表-4に、また、合成変数法による結果を表-5に示す。表から分るように、すべての交通目的において主成分スコアに基づくモデルは、適合度(重相関係数)が代表変数によるモデルよりも悪く、また、推定されたパラメータには t -検定の結果、0でないと言えないもの、すなわち無意のものが含まれている。これに対し、代表変数によるモデルは、大部分のパラメータが有意であるとともに、多重共線性も生じていない。また、適合度も高く、実用の面で問題ないと言える。したがって、本研究では、比率変数を用いた代表変数法に基づくモデルを自ゾーン発生率モデルとして採用する。

表-4 代表変数による自ゾーン発生率モデル

変数	通 動	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
定数	5.77557	5.07549	1.73142	3.63822	1.41257	0.96147	0.90012	3.84197	2.63945
S ₁	-1.32117			-3.60020				-0.00015	
S ₂				-0.00044					
S ₃	0.18245		-3.70381	10.08603					
S ₄	-3.86115	-1.63935			1.21625			1.83161	
S ₅			-0.73473		-0.46189	-0.51037	-0.49977	-1.16751	-0.50021
S ₆		-0.01544						-0.13448	
S ₇		-2.07495		1.70030		1.24493			
S ₈							-0.60970	-1.57383	-1.32867
S ₉		-1.26631				0.25321			-1.22982
S ₁₀									
S ₁₁									
S ₁₂									
S ₁₃									
S ₁₄									
S ₁₅									
S ₁₆									
S ₁₇									
S ₁₈									
R	0.829	0.952	0.852	0.832	0.827	0.828	0.880	0.957	0.918

(注) R=重相関係数、変数の記号Sは、表-3に同じ。

表-5 主成分スコアによる自ゾーン発生率モデル

変数	通 動	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
定数	3.82263	3.75421	-0.54402	3.59879	1.18970	1.19315	0.04300	0.76503	0.76754
SZ ₁	-0.02465	0.06731	0.03205	-0.18164	0.00072	-0.03130	0.00338	-0.06331	-0.01864
SZ ₂	-0.06225	-0.00671	-0.13139	0.10854	-0.09577	-0.07846	-0.06087	-0.13551	-0.10766
SZ ₃	-0.02832	0.04306	-0.11307	0.13948	-0.08004	-0.04598	-0.03708	-0.03555	-0.03312
SZ ₄	-0.04856	-0.06372	0.02077	0.12453	-0.00036	0.08441	0.07523	-0.03480	0.02487
R	0.74472	0.850	0.753	0.7564	0.800	0.691	0.711	0.737	0.813

(注) R=重相関係数、変数の記号SZは、質的変数による主成分スコアを表わす。

4. 他ゾーン発生率モデル

他ゾーン発生率モデルは、全発生トリップ数のうち居住地以外のゾーンから発生するトリップ数の割

合であるから、生成ゾーンの特性、発生ゾーンの特性および生成ゾーンと発生ゾーンとの間の特性の3者と関連すると思われる。今、生成ゾーン特性を $y_j^{(p)}$ 、発生ゾーン特性を $y_j^{(g)}$ および生成-発生ゾーン間特性を $y_j^{(pg)}$ 、また、それらをすべて含む変数ベクトルをYと記号表示すると、他ゾーン発生率モデルは、一般に

$$y_{jmn} = g_j(Y) = g_j(y_j^{(p)}, y_j^{(g)}, y_j^{(pg)}) \quad (7)$$

と書ける。ここに、 $g_j(\cdot)$ は、交通目的jに応じたある関数である。

ところで、PG表に関する分析^{1)・2)}によれば、ある生成ゾーンにおける他ゾーン発生率のゾーンのな広がりは、対象圏域内のすべてのゾーンではなく、生成ゾーンごとに限られたゾーン集合 C_m であることが分かっている。これは、生成-発生という関係が、ODモデルにおける発生-集中という関係と異なり、発生ゾーンが生成ゾーンに依存するからであり、発生ゾーンとなるゾーンの集合は、生成ゾーンごとに異なることになる。また、交通目的ごとに発生ゾーンの広がりが異なることも知られている。よって、発生ゾーンとなる集合は、生成ゾーンおよび交通目的で異なることになり、それを C_{jm} と表わす

ことにする。したがって、より本質的な他ゾーン発生率モデルを構築するには、まず、発生ゾーンとなるゾーン集合を確定させ、次いでそれらを対象にして他ゾーン発生率モデルを作成するという手順を踏むべきであると言える。そこで、本研究では、発生ゾーンになるか否かを決定するモデル、すなわち集合 C_{jm}

にその要素として含まれる発生ゾーンを決定するモデルを先に検討する。なお、分析は、本来的には生成ゾーンごとに行うべきであるが、サンプルサイズおよびモデルの精度の両面を考慮して、全域での分析を行う。

(1) 発生ゾーン判別モデル

生成ゾーンを1つ固定したとき、それ以外のゾーンがその生成ゾーンに対する発生ゾーンになるか否

かは、見方を変えれば、あるゾーンが発生ゾーンの集合 C_m に含まれるか否かである。したがって、あるゾーンが発生ゾーンとなるか、ならないかを判別するモデルを作成すれば良いことになる。このとき、問題となるのは、キャリブレーション時に用いるサンプルに対して、それらを2群、すなわち、発生ゾーンであるグループと発生ゾーンでないグループとに分ける方法である。一般的には、

$$v_{mn} > \theta_m \rightarrow n \text{ は } m \text{ の発生ゾーンである。} \quad (8)$$

$$v_{mn} \leq \theta_m \rightarrow n \text{ は } m \text{ の発生ゾーンでない。}$$

という判断によるであろう。ここに、 θ_m は交通目的が j 、生成ゾーンが m のとき、 n が発生ゾーンになるか否かの閾値である。したがって、まずは θ_m を定めなければならないが、本研究では、 $\theta_m = 0$ として以下の議論を展開する。

式(8)の基準により分類された2群のサンプルについて線型判別関数を用いた判別分析を行った。判別関数の説明変数組は、量的変数(表-2)、比率変数(表-3)、量的変数に基づく主成分スコア(第1から第4主成分)および比率変数に基づく主成分スコア(第1から第4主成分)である。これらを生成ゾーン特性 $y_{(g)}^{(p)}$ および発生ゾーン特性 $y_{(g)}^{(n)}$ とし、生成-発生ゾーン間特性 $y_{(g)}^{(n)}$ には、隣接指数²⁾を用いた。表-6に各々の結果について示す。なお、表中、モデル1は量的変数、モデル2は比率変数、モデル3は量的変数による主成分スコア、お

よびモデル4は比率変数による主成分スコアを用いた判別モデルである。なお、モデル1およびモデル2において、生成ゾーン特性、発生ゾーン特性をそれぞれ2個としたのは、変数が3個以上ある場合、推定されたパラメータが有意とならない(F-検定による)ものが含まれるケースが生じるからである。モデル1からモデル4を比較すると、交通目的の平均では、モデル3、モデル1、モデル4、モデル2の順番での中率が良いが、交通目的別にみれば、4者間で大きな差異はなく、それぞれに高い中率を有していると判断しても良い。ボックスのM-検定の結果、いずれのモデルでも、各群の分散共分散行列が等しくないことが統計的に認められるが、線型判別関数の頑健性、およびの中率の高さなどを総合的に考慮すると、線型判別関数で充分であると判断できる。

各々のモデルの意味について考えてみよう。モデル3およびモデル4は、量的変数および比率変数のそれぞれの主成分スコアに基づく判別モデルであるから、社会経済特性の総合的な視野に立つ判別が可能である。しかし、将来的な変化を知ろうとするような場合、表-2に含まれるすべての指標に関する将来値が必要であり、データ予測の点で劣ると言わざるを得ない。これに対し、モデル1およびモデル2は、代表変数であるから、その問題点はない。したがって、代表変数と合成変数という観点では、そ

れぞれの的中率に差異がないことを考慮すれば、代表変数によるモデルを用いるのが妥当であると言える。次に、モデル1とモデル2について考えてみよう。両者において、生成-発生ゾーン間特性は共通であるから、生成ゾーン特性と発生ゾーン特性についてみる。モデル1の説明変数は、各交通目的を通してゾーン面

表-6 発生ゾーン判別モデルの変数組と的中率

モデル	通 動	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
群1のサンプル数	68	53	297	17	211	193	287	264	349
群2のサンプル数	352	367	123	403	209	227	133	156	71
モデル1	$y_{(g)}^{(p)}$ $y_{(g)}^{(n)}$	R_1, R_{10} R_9, R_{10}	R_5, R_{10} R_{10}, R_1	R_1, R_5 R_{10}, R_5	R_{10}, R_5 R_5, R_1	R_5, R_1 R_5, R_1	R_5, R_{10} R_5, R_1	R_5, R_1 R_5, R_{10}	R_5, R_{10} R_5, R_{10}
群1の的中率	0.691	0.642	0.819	0.706	0.801	0.803	0.840	0.807	0.802
群2の的中率	0.827	0.880	0.829	0.740	0.866	0.850	0.790	0.827	0.789
全体の的中率	0.805	0.850	0.821	0.738	0.833	0.831	0.824	0.814	0.800
モデル2	$y_{(g)}^{(p)}$ $y_{(g)}^{(n)}$	S_3, S_6 S_{11}, S_3	S_5, S_3 S_5, S_9	S_4, S_3 S_4, S_9	S_7, S_6 S_6, S_7	S_5, S_{18} S_5, S_{18}	S_3, S_4 S_3, S_4	S_3, S_7 S_1, S_{11}	S_{10}, S_3 S_1, S_{11}
群1の的中率	0.617	0.509	0.801	0.471	0.787	0.824	0.822	0.803	0.854
群2の的中率	0.852	0.954	0.732	0.866	0.694	0.753	0.774	0.731	0.817
全体の的中率	0.814	0.898	0.781	0.850	0.741	0.786	0.807	0.776	0.848
モデル3	$y_{(g)}^{(p)}$ $y_{(g)}^{(n)}$	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4
群1の的中率	0.692	0.660	0.805	0.706	0.810	0.808	0.857	0.818	0.822
群2の的中率	0.818	0.918	0.854	0.846	0.890	0.863	0.812	0.769	0.817
全体の的中率	0.798	0.886	0.819	0.841	0.850	0.838	0.843	0.800	0.821
モデル4	$y_{(g)}^{(p)}$ $y_{(g)}^{(n)}$	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4
群1の的中率	0.706	0.623	0.798	0.706	0.768	0.767	0.744	0.756	0.789
群2の的中率	0.864	0.902	0.724	0.869	0.766	0.767	0.767	0.830	0.814
全体の的中率	0.838	0.867	0.776	0.862	0.767	0.767	0.819	0.802	0.810

(注) 変数の記号Rは、表-2に同じ。RZは、量的変数による主成分スコアを表わす。
変数の記号Sは、表-3に同じ。SZは、質的変数による主成分スコアを表わす。
群1は、発生ゾーンであるグループ、群2は、発生ゾーンでないグループを表わす。

積、世帯数および事業所数であるが、このうちゾーン面積は将来的な変化がさほど考えられず、よって変数の変動性という点で問題があろう。また、世帯数、事業所数のみでは、社会経済特性を十分に代表させることができるかという点でも問題である。これに対し、モデル2は、表より分るように、人口関連、産業関連の指標を含んでおり、また、ゾーン面積のような不変とみなせる指標は含んでいない。以上の点を考慮すれば、的中率の点では若干モデル1に劣るものの、判別関数としての意味がより明確であるモデル2を採用すべきであると判断できる。すなわち、本研究における発生ゾーン判別モデルは、比率変数による線型判別関数モデルである。表-7に発生ゾーン判別モデルのパラメータを示す。

なお、モデル1とモデル2の両モデルにおいて、世帯に関する指標が説明変数として組み込まれており、発生ゾーンになるか否かの判別には世帯関連の指標が関与することが判明した。

表-7 発生ゾーン判別モデル(モデル2)のパラメータ

変数	通 勤	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
定数	-2.07716	4.13968	19.29219	3.01020	13.63854	16.67613	2.26192	2.02981	24.79278
生成	S ₃	0.00082	0.00013	-0.00008		-0.00010	0.00048	0.00055	-0.00012
	S ₄		-2.13757			-1.74769			-2.16419
	S ₅		-6.23576		-4.70406				
	S ₆			-20.9621					
	S ₇			6.97459			-0.96944		
	S ₈	0.58740			-0.28987			-0.13819	-0.50021
	S ₁₀								
	S ₁₀								
発生	S ₁	0.00503		-2.37082		0.00039	0.00263	0.00126	-0.00064
	S ₂		-8.61769		-11.1788	-2.44180			-3.67611
	S ₃			-0.36854	2.38877				
	S ₄		0.00697	-1.92875					
	S ₅	-0.00234					-0.00454	-0.00193	
	S ₆				-1.63073				
	S ₁₁								
	S ₁₀								
I	-0.46143	-0.47448	-0.72148	-0.66972	-0.78101	-0.69539	-1.05013	-0.90408	-0.79821

(注) 変数の記号Sは、表-3に同じ。Iは、隣接指数を表す。

(2)他ゾーン発生率モデル

発生ゾーン判別モデルを先に作成することにより、他ゾーン発生率に関する制約条件は、式(4)ではなく、以下ようになる。

$$v_{mn} \in (0,1] \text{ かつ } \sum_{n \in C_m^k} v_{mn} = 1 \quad (9)$$

この条件を同時に満足するモデルとして、

$$\exp(\beta_j' Y) \\ v_{mn} = \frac{\sum_{n \in C_m^k} \exp(\beta_j' Y)}{\quad} \quad (10)$$

が考えられる。式(10)は、制約条件である式(9)を考慮すると、生成ゾーンごとに他ゾーン発生率モデ

ルを作成することを意味している。元々、他ゾーン発生率モデルは交通目的別に作成するから、結局、交通目的数×生成ゾーン数だけのモデルを作成しなければならない。しかし、このような細かい区分では、キャリブレーション時に収集されるサンプル数が少なくなり、得られたモデルの精度が保証されない場合が生じる。また、多くのモデルを作成することにより、他ゾーン発生率モデルが複雑になる。そこで、本研究では、モデルの精度および構造上の簡便性を配慮し、生成ゾーン別のモデルは考えず、全域のみで他ゾーン発生率モデルを構築することにする。したがって、ここで検討する他ゾーン発生率モデルは、自ゾーン発生率モデルと同様のロジット型モデルとなり、

$$\exp(\beta_j' Y) \\ v_{mn} = \frac{\quad}{1 + \exp(\beta_j' Y)} \quad (11)$$

と表わされる。式(11)の場合、 $\sum_n v_{mn} = 1$ の条件を満足しなくなるが、モデルから得られた値を按分修正などにより、 $\sum_n v_{mn} = 1$ を満たすようにすれば良い。

表-8に他ゾーン発生率モデルを示す。表中、モデル1は量的変数(表-2)、モデル2は比率変数(表-3)、モデル3は量的変数に基づく主成分スコア(第1から第4主成分)およびモデル4は量的変数に基づく主成分スコア(第1から第4主成分)を生

成ゾーン特性 $y_{mn}^{(p)}$ 、発生ゾーン特性 $y_{mn}^{(q)}$ としたものである。また、生成-発生ゾーン間特性 $y_{mn}^{(pq)}$ は各モデルとも共通で、隣接指数としている。当然ながら、計算に用いたサンプルは、式(8)の基準によって抽出されたものである。モデル1およびモデル2において、生成ゾーン特性、発生ゾーン特性を各々1つずつとしたのは、2つ以上の指標をモデルに組み込むと、推定されたパラメータが多重共線性を起したり、有意でないケースが多く生じるからである。

各モデルを比較すると、交通目的の平均での重相

表-8 他ゾーン発生率モデルの変数組と重相関係数

モデル	通 勤	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
モデル1	$y_{16}^{(p)}$ $y_{17}^{(p)}$	R_{16} R_{17}	R_{7} R_{17}	R_{16} R_{10}	R_{12} R_1	R_9 R_{17}	R_{16} R_9	R_{16} R_{10}	R_{16} R_{10}
重相関係数	0.632	0.499*	0.844	0.890	0.853	0.839	0.846	0.816	0.863
モデル2	$y_{16}^{(p)}$ $y_{17}^{(p)}$	S_{14} S_9	S_4 S_9	S_4 S_4	S_4 S_4	S_4 S_4	S_4 S_4	S_4 S_4	S_4 S_4
重相関係数	0.763	0.471*	0.816	0.588	0.798	0.783	0.829	0.765	0.834
モデル3	$y_{16}^{(p)}$ $y_{17}^{(p)}$	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4	RZ_1-RZ_4 RZ_1-RZ_4
重相関係数	0.736	0.604*	0.868	0.968*	0.867*	0.851*	0.863	0.840	0.884
モデル4	$y_{16}^{(p)}$ $y_{17}^{(p)}$	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4	SZ_1-SZ_4 SZ_1-SZ_4
重相関係数	0.817*	0.431*	0.821*	0.666*	0.822	0.794*	0.800*	0.796*	0.839*

(注) 変数の記号Rは、表-2に同じ。RZは、量的変数による主成分スコアを表わす。
変数の記号Sは、表-3に同じ。SZは、質的変数による主成分スコアを表わす。
*は、推定されたパラメータが多重共線性を起していることを示す。

表-9 他ゾーン発生率モデル(モデル1)のパラメータ

変数	通 勤	通 学	業務1	業務2	私用1	私用2	帰宅1	帰宅2	全目的
定数	-0.78207	-0.37188	-3.79769	5.54763	-2.95161	-2.49675	-3.19030	-2.70755	-3.52147
生成	R_9 R_7 R_{12} R_{16}	-0.00012	-0.00001	-0.00019	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00001
発生	R_1 R_9 R_{10} R_{17}	0.00001	0.00001	0.00024	-0.00003	0.00002	0.00023	0.00002	0.00025
I	-0.17174	-0.06596	-0.37464	0.13320	-0.47549	-0.48974	-0.54479	-0.64024	-0.59425

(注) 変数の記号Rは、表-2に同じ。Iは、隣接指数を表わす。

関係数は、モデル3、モデル1、モデル4、モデル2の順で大きい。しかし、交通目的別にみれば、各モデルで大きな差はないと言えよう。すなわち、通勤、通学で適合度が低く、その他の交通目的で適合度が高くなっている。通勤、通学の自ゾーン発生率がほぼ100%であることを考えれば、両交通目的では敢えて他ゾーン発生率モデルを作成する必要はないと言える。その点において、通勤および通学に関する他ゾーン発生率モデルの精度が多少悪くとも、全体からみれば、さほど問題ではないと考えられる。

表中の*は、推定されたパラメータが多重共線性を起していることを意味するが、この印が多く付されているのは、モデル3とモデル4であり、主成分スコアに基づくモデルの多くがパラメータの論理符号の面で問題であることが分る。また、主成分スコア、つまり合成変数は、発生ゾーン判別モデルの場合と同じく、データ予測の点で不利である。以上を考慮すれば、主成分スコアに基づく他ゾーン発生率モデルは、この場合、適切ではないと言えよう。

モデル1とモデル2とを比較すると、社会経済特性の反映という点で、大部分の交通目的で1世帯当

り人員になっているモデル

2よりも、多くの指標を含んだモデル1の方がすぐれていると判断できる。よって、本研究では、モデル1すなわち量的変数に基づく他ゾーン発生率モデルを採用する。表-9にそのパラメータを示す。

5. おわりに

従来の発生交通モデルが、生成交通との関連を考慮していないという問題認識の上に立ち、生成交通と発生交通とをより有機的に結合する発生交通の新しいモデルについて検討した。すなわち、生成ゾーンと発生ゾーンとの2つのベースで捉え

たPG表を分析の対象とし、その結果を踏まえて、PGモデルを検討、提案した。PGモデルは、自ゾーン発生率モデルと他ゾーン発生率モデルからなるが、他ゾーン発生率モデルは、さらに発生ゾーン判別モデルと他ゾーン発生率モデルから構成されている。自ゾーン発生率モデルおよび他ゾーン発生率モデルは、集計ロジット型モデルで、また、発生ゾーン判別モデルは、線型判別関数モデルで定式化されている。福岡都市圏に適用した結果、3つのモデルとも、高い適合度を有することが判明し、PGモデルの妥当性が確認された。

参考文献

- 1) 河野・樗木：土木計画学研究・講演集，No.7，pp. 265-270，1985。
- 2) 樗木・河野：土木計画学研究・講演集，No.8，pp. 375-382，1986。
- 3) 北部九州圏パーソントリップ調査報告書，1974。
- 4) 樗木・河野・平田：土木学会論文集，第359号/1 V-3，pp.43-50，1985。
- 5) 河野・樗木：土木学会第38回年講第4部門，pp. 157-158，1983。