IV-11　通勤交通における経路別利用者数の予測に関する研究
―――― 宇野モデルの適用 ――――

京都大学工学部　正員　佐佐木綱
京都大学工学部　正員　西井和夫
セントラル・コンサルタント　正員　樋口吉隆

1. はじめに

交通需要予測モデルは，パーソントリップ法と呼ばれる段階的推定法の体系化がなされほぼ完成の域に達しているものの，機関分担プロセスに関してはいくつかの検討課題が残されていると考えられる。すなわち，

- 人の動きの中で交通機関の選択には多種多様の要因が作用しており，それらの因果関係を明らかにするとともに，それにもとづくモデルの構築。
- 機関選択にのみ関連するとは限らないが，1トリップを単位とするのでなくトリップ相互の連鎖性に着目することにより，1日の人の動きを記述し予測する方法の開発。
- 交通機関の選択は，特にどのような経路を選ぶかという経路選択に密接に関係している場合があり，機関分担とルート選択に関する経路モデルの開発・改良とその体系化。

一方，従来より経路モデルは数多く提案されているが，それらのモデルの関数形に関しては十分な議論がなされているわけではなかった。ところが，本研究で具体的に取上げる宇野(1983)[注)]により提案された経路選択モデル（以下宇野モデルと呼ぶ）は，モデルの本来具備すべき条件に着目し，これを満たす関数形の一般式を導出した数学モデルの一つである。ここでは，この宇野モデルを通勤交通の経路選択へ適用することによりモデルの実際への適用性に関する諸検討を行う。

注) 交通工学投稿中

2. 宇野モデルの概要

ある2地点間において競合するルートを1,2,3,…，その乗客数（あるいは分担率）を$P_1, P_2, P_3, \cdots$，各ルートの所要時間，コストといったルート特性値ベクトルを$x, y, z, \cdots$とする。宇野モデルでは，『これら競合するルートの乗客数比がルート特性値ベクトルの関数である』と考え，次式を仮定している。

$$P_1/P_2 = f(x, y) \qquad (1)$$

このとき，関数$f(x,y)$は，本来具備すべき条件として次の3式を満足するものでなければならないものとして，宇野はこれらの条件式を満足する関数$f(x,y)$の一般式を関数方程式論を用いて導出している。

$$P_1, P_2 > 0 \text{ より} \quad f(x, y) > 0 \qquad (2)$$

$$P_1/P_2 \cdot P_2/P_1 = 1 \text{ より} \quad f(x, y) \cdot f(y, x) = 1 \qquad (3)$$

$$P_1/P_2 \cdot P_2/P_3 = P_1/P_3 \text{ より} \quad f(x, y) \cdot f(y, z) = f(x, z) \qquad (4)$$

結局，$f(x,y)$の一般式としては，次式を得る。

$$f(x, y) = \mathrm{EXP}\{-G(x) + G(y)\} \qquad (5)$$

ここで，式(5)における関数$G(x)$は，$f(x,y)$の中のルート特性値間の関係についての付加的な仮定を設定することによりその仮定のもとでの特定化ができ，そのとき，本モデルが従来の経路モデルのもつ関数形のいくつかに対応することがわかる。例えば，各ルートの乗客数の比が両ルートの特性値の差と比の両方の関数であると仮定するとき，すなわち，

$f(x, y) = \varphi(x^p - y^p)\,\phi(x/y)$　という条件のもとでは，$G(x)$は次式に特定化することができる。

$$G(x) = \sum_{i=1}^{m} a_i \ln x_i + \sum_{j=m+1}^{n} b_j x_j^p \qquad (6)$$

このとき，$f(x,y)$は，

$$P_1/P_2 = f(x, y) = \prod_{i=1}^{m} (x_i/y_i)^{a_i}\, \mathrm{EXP}\left\{\sum_{j=m+1}^{n} b_j (x_j^p - y_j^p)\right\} \qquad (7)$$

で示される。

宇野モデルの実際への適用にあたっては，ルート特性値の種類の選択に関連して，どれが差の要因，比の要因となるかあるいは合成された形となるかと言った組合せについての諸検討が必要となる。

3. 通勤交通の経路選択への適用

【対象経路の選定とルート特性値】

宇野モデルの適用に際して，まず昭和55年度京阪神都市圏業務P.T.調査データより通勤トリップ（自宅を出発地として大阪市内に立地する事業所が目的地）を抽出し，さらに比較的競合関係が明確な神戸方面からの通勤流動に限定し，その実態分析から対象経路の選

定を行った。その結果，通勤トリップを構成する個々の交通手段の組合せは134種類と多岐にわたっており，これらを代表交通手段（私鉄は阪急，阪神を区別）とそのアクセス側，イグレス側の各々の主な交通手段との組合せに統合しても，なお上位28種類で全体の90％となる。その内訳を見ると，国鉄，阪急，阪神の3つのマストラを代表交通手段とするパターンについては，アクセス側で徒歩・自転車・バスが主であり，一方イグレス側では徒歩・地下鉄が主となっている。そこで，着側の大阪市内での地下鉄網が密に整備されており，また国鉄・阪急・阪神との乗り継ぎに関する差異が少ないと考えられること，そして本圏域でのアクセス手段の選択が代表交通手段が何かによって規定される場合の多いことから，さらにはモデルの繁雑を避けるべく，国鉄・阪急・阪神をそれぞれ利用する場合と車を利用する場合の計4ルートを対象経路とした。

ルート特性値に関しては，従来の経路モデルにおいてよく用いられる次の8種類を取上げ，パラメータ推定において符号条件を含めた現実的な意味合いを考慮した変数の取捨選択を行うことにする。

X_1：アクセス時間（分），　X_2：イグレス時間（分），

X_3：代表交通手段乗車時間（分），X_4：全乗車時間（分），$(X_4=X_1+X_2+X_3)$

X_5：総所要時間（分），$(X_5=X_4+X_6)$，

X_6：乗り換え時間（分），　X_7：乗り換え回数（回），

X_8：所要費用（円）

【検討ケースと適用結果】

モデル式の構造より，式(7)をもとにルート特性値の差のみ（ケースⅠ），比のみ（ケースⅡ），差と比の両者の混合型（ケースⅢ），そして合成型（ケースⅣ）の4ケースに大別される。また，差の要因の中のパラメータPの値は，P=1.0を基本としてP=0.5，P=2.0の場合も検討した。他のパラメータa_i，b_jの推定は，対数線形化による方法と非線形回帰による方法の両者を適用した。

さらに宇野モデルの理論的な考察を踏まえて，経路選択における制約層（Captive層）の存在をモデルに反映させるために，各ルートに固有な定数をモデル式に導入した場合も併せて検討された。これらの検討結果の一部として，表－1にいくつかのケースにおけるパラメータ推定結果を示す。これらより，①通常の回帰式に用いられる定数項θ_0を導入すれば，その適合度は改善されるものの，モデル式導出の前提条件との整合性に欠く問題点を生じる。②一方，ルート別に固有な定数（ここでは車についてのそれを0と仮定）を導入する方法は，本モデルの前提条件とは矛盾しない。また，③ケース間比較においては，ケースⅡ（比のみ）が車に関するルート特性値の値が0となるため十分な検討がなされていないので明確な結論を引き出すに至っていない。また，これに関連して，ルート別の適合度についても，車の適合度が他に比較して悪く，ルート特性値の選定について改良の余地が残されている。なお，その他の検討結果の詳細は講演時に発表する。

最後に，本研究の遂行にあたり宇野敏一氏の貴重な御助言を頂戴したことに深謝するとともに，終始計算等に協力して頂いた京都大学学生黒田えり子嬢（現在横浜市役所勤務）に感謝の意を表します。

表－1　パラメータの推定結果

ケースⅠ：$P_1/P_2=\exp\{\sum_j b_j(x_j-y_j)\}$

（ケース）	構造式	差の要因					定数項	相関係数
ケースⅠ	（差のみ）定数項なし	アクセス時間 -0.026 (2.90)	イグレス時間 -0.020 (1.33)	代表乗車時間 -0.040 (3.72)	乗り換え時間 -0.060 (2.99)	所要費用 -0.002 (2.29)		0.834
	定数項 θ_0	アクセス時間 -0.015 (2.05)	イグレス時間 -0.005 (0.54)	代表乗車時間 -0.019 (2.85)	乗り換え時間 -0.025 (1.97)	所要費用 -0.0004 (0.55)	-1.180 (-14.14)	0.930
	ルート別定数項 θ_1 ；国鉄 θ_2 ；阪急 θ_3 ；阪神	アクセス時間＋イグレス時間 -0.028 (2.18)		代表乗車時間 -0.024 (2.22)	乗り換え時間 -0.081 (4.14)	乗り換え回数 -0.557 (1.92)	θ_1=3.337 (-4.54) θ_2=3.489 (-4.82) θ_3=3.218 (-4.34)	0.881
		$P_1/P_2=\exp\{\sum_j b_j(x_j-y_j)+\theta_1-\theta_2\}$						
ケースⅢ	（混合型）	アクセス時間 -0.014 (2.03)		代表乗車時間 -0.017 (2.97)	乗り換え時間 -0.024 (1.94)	所要費用（比の要因）-0.145 (0.55)	-1.180 (-14.11)	0.931

ケースⅢ：$P_1/P_2=\prod_i (x_i/y_i)^{a_i}\exp\{\sum_j b_j(x_j-y_j)+\theta_0\}$　　表中（　）内はt値を示す。