IV－9

時間制約を明示的に考慮した私的交通行動モデル

東北大学工学部　学生員　○浦部　晶彦
東北大学大学院　学生員　河野　達仁
東北大学大学院　正　員　森杉　壽芳

1．本研究の背景と目的

四段階交通需要予測は，交通活動と交通以外の活動との代替性や補完性を明示的に考慮していないために，交通整備による誘発交通量の推定を行うことができないという欠点を持つ．このような欠点を克服するための分析フレームとしては，古典的消費者行動理論が考えられる．しかし，現在提案されているモデルは，時間制約を明示的に考慮していないか，あるいは，明示しても時間価値を賃金率と等しいとの仮定をおいているという問題点がある．このため，著者らは，私的交通を対象として，労働時間が固定されている場合の時間価値が，所得や利用可能な時間のみならず，交通を含む様々な財の価格や所要時間の関数，すなわち，時間価値関数であることを指摘し，その感度分析の方法論を示してきた．従って，この時間価値関数の推定や予測は，需要予測と同時に行われる内生変数となる．このためには，従来行われてきた，時間価値を先決した後に需要予測を行うという方法論は適用できず，新たな推定法や予測法を必要とする．そこで，本研究では航空需要を対象として時間価値関数の推定法と需要予測法を示し，その実用性を検討することを目的とする．

2．モデルの定式化

一定の所得(I)のもとで効用が最大になるように，効用に関わる財の組み合わせを選ぶ消費者行動理論がある．これに時間制約式を加えることによって、個人の交通行動モデルを定式化する．

そこで財の種類を，出発地 i から目的地 j まで交通手段 m を利用したときの交通需要量 Z_{ij}^m，余暇の需要量 Z_z，および，それら以外の合成財の需要量 Z_k としたとき，個人の行動は次の式(1)のように表現できる．

$$V=\max_{Z_z,Z_{ij}^m,Z_k} U(Z_z,Z_{ij}^m,Z_k) \qquad (1)$$

s.t.　$P_zZ_z+\Sigma p_{ij}^mZ_{ij}^m+P_kZ_k=I$　（予算制約式）

　　$\tau_zZ_z+\Sigma\tau_{ij}^mZ_{ij}^m+\tau_kZ_k=T$　（時間制約式）

ただし Z:余暇需要量,Z_{ij}^m:交通需要量, Z_k:合成財の需要量 ,P_z:余暇の価格（$P_z=0$）, P_{ij}^m:交通の価格,P_k:合成財の価格（$P_k=1$）, I:所得, τ_z:余暇１単位の消費所要時間（$\tau_z=1$）, τ_{ij}^m:交通１単位の消費所要時間, τ_k:合成財１単位の消費所要時間（$\tau_k=0$）
T:労働時間以外の活動の総利用可能時間, q_i,t_i:基準化した価格(= P_i/I)及び所要時間(= τ_i/T), U(.) 直接効用関数, V(.) 間接効用関数.

２つの制約式をそれぞれ所得 I と時間 T で基準化し，ラグランジェの未定乗数法を行えば，最適解 Z_z^*, Z_{ij}^{m*}, Z_k^*, λ^*, μ^*がそれぞれ得られる．この最適解を直接効用関数 U(.)に代入すると，間接効用関数 V(.)は最適解を用いたラグランジェ関数の形で式(2)のように表せる．

$$V=\max_{Z_z,Z_{ij}^m,Z_k} U(Z_z,Z_{ij}^m,Z_k)$$
$$=U(Z_z^*,Z_{ij}^{m*},Z_k^*)+\lambda^*(1-\Sigma q_{ij}^mZ_{ij}^{m*}-q_kZ_k^*)+\mu^*(1-t_zZ_z^*-\Sigma t_{ij}^mZ_{ij}^{m*}) \qquad (2)$$

ただし，$q_{ij}^m=P_{ij}^m/I, q_k=P_k/I, t_z=\tau_z/T, t_{ij}^m=\tau_{ij}^m/T$

時間価値 γ は，微少の時間節約があるときに効用を一定に保つための交通価格の増分であるから，γ は式(3)のように示すことができる。

$$\gamma=\frac{dP_{ij}^m}{-d\tau_{ij}^m}=\frac{\dfrac{\partial V}{\partial\tau_{ij}^m}}{\dfrac{\partial V}{\partial P_{ij}^m}}=\frac{\dfrac{\partial V}{\partial t_{ij}^m}\cdot\dfrac{\partial t_{ij}^m}{\partial\tau_{ij}^m}}{\dfrac{\partial V}{\partial q_{ij}^m}\cdot\dfrac{\partial q_{ij}^m}{\partial P_{ij}^m}}=\frac{-\mu Z_{ij}^{m*}\dfrac{1}{T}}{-\lambda Z_{ij}^{m*}\dfrac{1}{I}}=\frac{\mu^*I}{\lambda^*T}=\varepsilon\frac{I}{T} \qquad (3)$$

ただし，$\varepsilon=\mu^*/\lambda^*$であり，$\varepsilon$ を基準化された時間価値，γ を時間価値という．

次に，基準化された一般化費用式(4)を定義し，時間制約式(5)を考慮すると，各種財の需要関数は式(6)で表現することができる．また，基準化された時間価値関数 ε は，式(4)とともに式(7)を満足する関数でなければならないことを示すことができた．

$$g_z=\varepsilon t_z, g_{ij}^m=q_{ij}^m+\varepsilon t_{ij}^m, g_k=q_k \qquad (4)$$

$$\lambda^*(1-t_zZ_z^*-\Sigma t_{ij}^mZ_{ij}^{m*})d\varepsilon=0 \qquad (5)$$

$$Z_h = \frac{(1+\varepsilon)\times(\partial V/\partial g_h)}{\left\{g_z(\partial V/\partial g_z) + \sum_{n\in M}\sum_{l\in Dn}\left(g_{il}^{n}(\partial V/\partial g_{il}^{n})\right) + g_k(\partial V/\partial g_k)\right\}}$$

$$(h=z,{}_{ij}{}^{m},k) \qquad (6)$$

$$\sum_{h=z,{}_{ij}^{m},k}\left(q_h \frac{\partial V}{\partial g_h}\right) = \sum_{h=z,{}_{ij}^{m},k}\left(t_h \frac{\partial V}{\partial g_h}\right) \qquad (7)$$

式(6)と式(7)は次のようなことを示している．第一に，間接効用関数を一般化費用式(4)の関数として特定化したとき，交通を含む各種需要関数 Z_z, Z_k, Z_{ij}^{m} と時間価値関数 ε は，式(6)の連立方程式を同時に満足する性質がある．第二に， ε の値をパラメータとして推定することができない．第三に，予測に当たっても，需要関数 Z と ε を同時に予測することができる方法を必要とする．

そこで，本研究では，上記の問題に答えるために，次節では，間接効用関数を特定化した例を示し，これに対してパラメータ推定法と需要予測法，及びその実用性を示す．

3．間接効用関数の特定化

間接効用関数Vを式(8)のように部分効用関数 ν_h の分離形として仮定する．

$$V(g) = \nu_z + \sum_{m\in M}\sum_{j\in Dm} \nu_{ij}^{m} + \nu_k \qquad (8)$$

ただし，部分効用関数は式(9)のように仮定する．

$$\nu_h(g_h) = \int_{g_h}^{\infty} \exp(-k_h(s))ds \qquad (\because h = z, {}_{ij}^{m}, k) \qquad (9)$$

式(9)で現れる関数 k は，何らかのパラメータを含んでいる．そこで，関数 k を式(10)のように仮定する．

$$k_{ij}^{m} = \alpha \frac{q_{ij}^{m} + \varepsilon t_{ij}^{m}}{\underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}} + \delta D_{ij}^{m}, k_z = \alpha_z \frac{\varepsilon t_z}{\underset{n-1}{Z_z}}, k_k = \alpha_k \frac{q_k}{\underset{n-1}{Z_k}} \qquad (10)$$

ただし，D_{ij}^{m}:目的地 j へのダミー変数， α,D,c:パラメータ， $\underset{n-1}{Z}$:一期前のデータ

パラメータ推定において，時系列データを使用することで，関数kに目的地 j，交通手段 m の魅力となる一期前の需要量 $\underset{n-1}{Z}$ を含める．

4．パラメータの推定法の提案

式(8)(9)(10)を式(6)に代入すると，Z に関する各需要関数形を特定化することができる．ここで，パラメータ推定に使用することができる観測可能なデータは，各種財の需要量 Z と，価格，所要時間，所得，利用可能時間であり，時間価値 ε の値は知ることができない．このために，以下の手順をとる．まず，Z に関する比の自然対数をとると，次式(11)(12)を得る．

$$\ln\left(\frac{Z_{ij}^{m}}{Z_k}\right) = -\alpha \frac{q_{ij}^{m} + \varepsilon t_{ij}^{m}}{\underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}} - \delta D_{ij}^{m} + \alpha_k \frac{q_k}{\underset{n-1}{Z_k}} \qquad (11)$$

$$\ln\left(\frac{Z_z}{Z_k}\right) = -\alpha_z \frac{\varepsilon t_z}{\underset{n-1}{Z_z}} + \alpha_k \frac{q_k}{\underset{n-1}{Z_k}} \qquad (12)$$

ε を消去するために式(12)より ε を求め，これを式(11)に代入して整理すると式(13)を得る．

$$\ln\left(\frac{Z_{ij}^{m}}{Z_k}\right) = -\alpha \frac{q_{ij}^{m}}{\underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}} - \frac{\alpha}{\alpha_z}\left\{\frac{\underset{n-1}{Z_z}\, t_{ij}^{m}}{t_z \underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}} \ln\left(\frac{Z_z}{Z_k}\right)\right\} - \delta D_{ij}^{m} - \frac{\alpha\alpha_k}{\alpha_z}\left(\frac{q_k \underset{n-1}{Z_z}\, t_{ij}^{m}}{t_z \underset{n-1}{Z_k} \underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}}\right) + \alpha_k \frac{q_k}{\underset{n-1}{Z_k}} \qquad (13)$$

式(13)において A=- α,B=- α/ α_z,C=- δ ,D= $\alpha_k q_k \left(1 - \frac{\alpha \underset{n-1}{Z_z}\, t_{ij}^{m}}{\alpha_k \underset{n-1}{Z_{ij}^{m}}\, t_z}\right) / \underset{n-1}{Z_k}$ とおくと，パラメータ A,B,C,D を推定することができる．このとき，$q_k / \underset{n-1}{Z_k}$ および t_z は同一の所得グループにおけるクロスセクションの集計データの場合は一定であるから，α，α_z, α_k,および δ を特定することができる．また，このときの基準化された時間価値 ε は式(12)より求めることができる．

5．予測法

上記のように推定したパラメータを用いて予測を行う．仮に，経済環境を示す所得 I，利用可能時間 T，運賃 q_{ij}^{m}，所要時間 t_{ij}^{m} のすべて，あるいはいずれかが変化したときの時間価値 ε の値を知る必要がある．この値と推定されたパラメータの値と新しい経済変数の値を式(7)に代入し，式(7)を満足する ε の値を求めればよい．こうして得られた ε の値を式(6)に代入すればすべての需要の予測値を得ることができる．

<参考文献>

1)森園耕次，森杉壽芳(1998)：平成９年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，pp.478-479

2)河野達仁，森杉壽芳(1998)：私的交通の時間価値の静学分析，ARSC 講演用論文

3)運輸省航空局：国際航空旅客動態調査