

京都大学工学部 学生員 藤井宏明

京都大学工学部 正会員 藤井 聡

京都大学工学部 正会員 北村隆一

1. はじめに

個人の交通需要は日常的な生活行動に伴って生ずる。したがって、交通需要の発生構造を把握するためには生活行動を考慮することが不可欠であると考えられる。

従来の研究において、生活行動の再現を図るモデルとして、連続マルコフ過程で再現するモデル、構造方程式型のモデル、効用理論モデル等が提案されている。その中でも、効用理論モデルは、明示的に行動原理を考慮していることが特徴である。しかし、効用理論に基づいて生活行動のモデル化を図ることは容易ではない。なぜなら、生活パターンは、活動時間、場所、内容や移動の交通機関等の要素で決定されるため、個人の実行可能な生活パターンは膨大な数となる。さらに、個人の生活パターンには、時間的、空間的な制約条件が存在する。

そこで、本研究では、時間的、空間的な制約条件を満たす生活パターンを生成する生活行動シミュレータPCATS¹⁾を用いて生活パターンの選択肢集合を生成し、ダイアリー調査²⁾から得られるデータについて、生活行動に伴う効用の効用関数の未知パラメータを推定し、生活行動全般を予測することで交通需要予測を行うことを目的としたモデルシステムの構築を図る。

2. 効用理論に基づく個人の生活行動の定式化

本研究では、以下の効用関数を仮定する²⁾。

$$U^n = UA^n + UT^n \quad (1)$$

U^n : 対象とする自由時間帯での生活パターン n の生活効用

UA^n : 生活パターン n で実行した活動に伴う総効用

UT^n : 生活パターン n で実行した交通行動に伴う総効用

そして、 UA^n 、 UT^n を以下のように定式化する。

$$UA^n = \sum_{i=1}^I \exp(A^p X_i^{p,n} + \varepsilon_i^{p,n}) \ln(DP_i^n) + \sum_{j=1}^J \exp(A^h X_j^{h,n} + \varepsilon_j^{h,n}) \ln(DH_j^n) \quad (2)$$

$$UT^n = + \sum_{k=1}^K (A' X_k^{t,n}) + \varepsilon^n \quad (3)$$

ここに、 i, j, k は、それぞれ宅外自由活動、在宅自由活動、移動の活動番号、 I, J, K は、それぞれ宅外自由活動、在宅自由活動、移動の生活パターン n の活動数、 A^p, A^h, A' は、それぞれ宅外自由活動、在宅自由活動、移動の実行に伴う効用のパラメータベクトル、 $\varepsilon_i^{p,n}, \varepsilon_j^{h,n}, \varepsilon^n$ は誤差項、 DP_i^n, DH_j^n は、それぞれ生活パターン n の宅外自由活動 i 、在宅自由活動 j の実行時間、 $X_i^{p,n}$ は、生活パターン n の宅外自由活動 i の実行に伴う効用に影響を及ぼす説明変数ベクトル、 $X_j^{h,n}$ は、生活パターン n の在宅自

由活動 j の実行に伴う効用に影響を及ぼす説明変数ベクトル、 $X_k^{t,n}$ は、生活パターン n の移動 k の実行に伴う効用に影響を及ぼす説明変数ベクトルのことである。

ここに、対数関数を用いているのは限界効用の通減を考慮するためである。また、指数関数を用いているのは限界効用の非負条件を満たすためである³⁾。

本研究では、個人は式(1)に定式化した生活効用を以下の3つの制約条件の下で最大化しているものとする。

1) プリズム制約；その自由時間帯で実行する全ての移動と活動時間総和は、その自由時間帯の長さ等に等しく、かつ、移動時間は交通ネットワーク条件に依存する。

2) 交通機関制約；ある場所を起点とする自動車(or自転車)を用いたトリップを実行する場合、その場所にその個人が利用可能な自動車(or自転車)がなければならない。また、自動車(or自転車)を放置することが不可能な場合(自宅や職場以外かつ再び戻る予定のない場所)に、自動車(or自転車)を放置したまま異なる場所に移動することはできない。

3) 目的地認知制約；ある場所を自由活動の実行場所として認識していない場合、その場所で自由活動を実行することはできない¹⁾。

3. パラメータの推定方法

本研究では、第一段階で、 UA^n に影響を及ぼすパラメータ A^p, A^h を推定し、第二段階で、推定された UA^n に基づいて、 UT^n に影響を及ぼすパラメータ A' を推定する。なお、 A' の推定の際には、 UA^n と UT^n のスケールを調整するパラメータ α を UA^n の係数として導入する。

3.1 活動効用のパラメータ A^p, A^h の推定方法

前節2で述べた最適化問題を解くと、以下の方程式が導かれる³⁾。

$$\ln \left(\frac{DH_j^n}{DP_i^n} \right) = A^h X_j^{h,n} - A^p X_i^{p,n} + \xi_j^n \quad j=1,2,\dots,J^n \quad (4)$$

$$\ln \left(\frac{DP_i^n}{DP_i^n} \right) = A^p X_i^{p,n} - A^p X_i^{p,n} + \xi_{j^{n+1}}^n \quad i=2,3,\dots,I^n \quad (5)$$

ここに、 $\xi_j^n = \varepsilon_j^{h,n} - \varepsilon_i^{p,n}$ 、 $\xi_{j^{n+1}}^n = \varepsilon_i^{p,n} - \varepsilon_i^{p,n}$

ここで、式(4)、(5)に基づいて対数尤度関数を誘導し、それを最大化することで、パラメータ A^p, A^h ならびに分散 σ^2 を推定する。

3.2 交通行動に伴う効用のパラメータ A' の推定方法

A' を推定するにあたり、ダイアリーデータで抽出したそれぞれの個人について、前節2で述べた3つの制約条件

を考慮した生活行動シミュレータPCATS¹⁾を用いて10個ずつの代替生活パターンを求めた。これにデータとして得られている実際の生活パターンを加えた11個のものを選択肢集合 Ω とした。そして、それぞれの生活パターンについて、3.1で推定したパラメータ A^p , A^h に基づいて活動効用の期待値 $\overline{UA^p}$ を算定した。ここで、期待値を用いるのは推定計算時の多重積分計算を避け、推定コストの削減を図るためである。以上の手順で求めた選択肢集合、ならびに個々の活動効用の期待値を用いて、 ε^n を独立で同一のガンベル分布と仮定して、生活パターン選択確率 $P(n)$ を以下のように定式化し、この式に基づいて最尤推定法を用いてパラメータ A^p , α を推定する。

$$P(n) = \frac{\exp\left(\alpha \overline{UA^p} + \sum_{k=1}^K A^k X_k^n\right)}{\sum_{m \in \Omega} \exp\left(\alpha \overline{UA^m} + \sum_{k=1}^K A^k X_k^m\right)} \quad (6)$$

4. 推定結果

ξ_j^n , ξ_{j+i-1}^n をそれぞれ独立と仮定して A^p , A^h を推定した結果を表1に示す。在宅活動累計時間の2乗の係数の推定結果からは、在宅活動累計時間が長いほど在宅自由活動時間が短いことが示された。これは、長い時間を在宅に費やすことで個人が在宅自由活動に飽きてしまうことを反映しているものと考えられる。また、飲食店数密度の係数の推定結果より、その場所の飲食店数密度が大きいほど宅外自由活動時間は長くなるという結果となった。これは、繁華街等での宅外自由活動の方が、より魅力的な活動であることを示しているものと考えられる。

表1 活動効用のパラメータの推定結果

変数	推定値	t値
起床直後の在宅自由活動ダミー	0.50	2.66
就業直前の在宅自由活動ダミー	1.03	2.37
直後に自宅での固定活動を実行している在宅自由活動ダミー	0.64	1.71
直前に自宅での固定活動を実行している在宅自由活動ダミー	0.26	1.06
父親ダミー*起床直後の在宅自由活動ダミー	-0.53	-1.96
母親ダミー*就業直前の在宅自由活動ダミー	1.43	3.64
年齢*就業直前の在宅自由活動ダミー	-0.01	-1.57
性別ダミー*就業直後の在宅自由活動ダミー	0.48	1.48
就業者ダミー*就業直後の在宅自由活動ダミー	-0.58	-2.14
就業者ダミー*就業後に自宅での固定活動を実行している在宅自由活動ダミー	-0.78	-2.49
在宅活動累計時間の2乗	-2.8E-06	-2.01
宅外自由活動で開始時刻が、10時以前のとき	0.50	3.92
宅外自由活動で開始時刻が、16時以降のとき	-0.15	-1.17
宅外自由活動場所の飲食店数密度	0.0042	2.32
父親ダミー*宅外自由活動場所の飲食店数密度	-0.0015	-1.61
子供ダミー*宅外自由活動場所の飲食店数密度	-0.0019	-1.54
年齢*宅外自由活動場所の飲食店数密度	-6.6E-05	-1.74
在宅活動累計時間の2乗	-2.7E-06	-2.31
在宅活動累計時間の2乗	8.2E-06	5.54
α^2	1.72	
R^2	0.21	
$\overline{R^2}$	0.19	

表2-1に示した説明変数を用いて、 α , A^p の推定計算を行った結果を表2-2に示す。モデルの適合度としては、 χ^2 値が2010.32と大きな値が得られており、統計的に有意であることが確認できる。

活動効用のパラメータに着目すると正であり、個人が大きな活動効用を与える生活パターンを選択する確率が大きくなることを示している。また、費用に関しては有意に負のパラメータが得られ、費用がかかるほど効用が逓減することを意味している。次に、トリップ種別に対応したトリップ回数およびダミー変数に着目すると全て

表2-1 モデルに用いた説明変数

説明変数名	説明
U	: 活動効用(パラメータは α)
COST	: 移動に伴う総費用 (円)
TnHtoD	: 電車を利用した、宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
CnHtoD	: 自動車を利用した、宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
BnHtoD	: 自転車を利用した、宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
WnHtoD	: 徒歩での、宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
TnHtoF	: 電車を利用した、宅外固定活動目的での自宅からのトリップを含む場合1、それ以外0
CnHtoF	: 自動車を利用した、宅外固定活動目的での自宅からのトリップを含む場合1、それ以外0
BnHtoF	: 自転車を利用した、宅外固定活動目的での自宅からのトリップを含む場合1、それ以外0
CnFtoH	: 自動車を利用した、宅外固定活動からの帰宅トリップを含む場合1、それ以外0
BnFtoH	: 自転車を利用した、宅外固定活動からの帰宅トリップを含む場合1、それ以外0
TnFtoD	: 電車を利用した、宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
CnFtoD	: 自動車を利用した、宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
BnFtoD	: 自転車を利用した、宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
WnFtoD	: 徒歩での、宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
TnFtoF	: 電車を利用した、宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
CnFtoF	: 自動車を利用した、宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合1、それ以外0
BnFtoF	: 自転車を利用した、宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合1、それ以外0

表2-2 交通行動の伴う効用のパラメータの推定結果

変数	推定値	t値
U	0.10	11.93
COST	-0.00083	-3.52
TnHtoD	-5.42	-4.52
CnHtoD	-5.07	-6.60
BnHtoD	-3.69	-7.96
WnHtoD	-3.83	-5.78
TnHtoF	-1.68	-5.09
CnHtoF	-2.14	-6.72
BnHtoF	-2.82	-6.87
CnFtoH	-2.33	-8.38
BnFtoH	-2.70	-6.34
TnFtoD	-2.61	-6.42
CnFtoD	-2.97	-7.54
BnFtoD	-4.06	-8.06
WnFtoD	-2.03	-6.33
TnFtoF	-2.90	-4.66
CnFtoF	-3.29	-7.92
BnFtoF	-3.36	-3.93
$L(\beta)$	-3037.09	
$L(c)$	-4042.25	
$\chi^2(df=18)$	2010.32	

の変数について有意に負の係数が推定されたが、これら以外のトリップ種別の変数の係数については有意とならなかった。これは、ここでパラメータが推定されたトリップ種別以外のトリップ種別を行うことに比べて、これらのトリップ種別のトリップを実行することに対して大きな抵抗感を持っていることを意味している。

5. おわりに

本研究では、効用理論に基づいて明示的に行動原理を考慮したうえで、個人の生活パターンを予測し交通需要予測を行うことを目的としたモデルシステムを構築した。推定結果より、個人は同じ活動ばかりしているとその活動に飽きてしまう傾向にあることや、繁華街での活動の限界効用が大きいこと、活動効用が個人の生活行動選択に統計的に有意に影響を及ぼしていること、トリップ回数が増加することで負効用が発生すること等が示された。また、本研究では、生活効用関数に用いた複数の誤差項が独立であると仮定したが、今後の課題として、誤差項間に共分散を仮定したうえで、各パラメータを推定することが必要であるものと考えられる。

最後に、調査、および資料の提供にご協力頂いた阪神高速道路公団に対して深甚な謝意を表します。

参考文献

- 大塚祐一郎、藤井聡、北村隆一、門間俊幸：時間的・空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築、土木計画学研究・講演集、No.19, pp779-782, 1996.
- 藤井聡、北村隆一、瀬戸公平：生活行動に伴う個人の効用を考慮した生活行動-交通行動モデルシステムの開発、土木学会論文集、印刷中、1997
- Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S. and Sampath S. (1996) A Discrete-Continuous Analysis of Time Allocation to Two Types of Discretionary activities Which Accounts for Unobserved Heterogeneity, Transportation and Traffic Theory-Proceedings of the 13th international Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.431-454