

交通政策の質的評価を目指した生活行動モデルの構築

An activity behavior model to evaluate transportation control measures considering quality of life

藤井聡* 瀬戸公平** 北村隆一***

By Satoshi Fujii, Kohei Seto, Ryuichi Kitamura

1. はじめに

従来の交通計画では、交通速度、交通量といった量的な指標を最適化することが重視されてきた。しかし、物質的な豊かさより精神的な豊かさが重視されるようになった現在、これらの量的指標のみを最適化する交通計画は時代の要請と乖離しつつある。現在、求められている交通計画は、国民の生活の豊さ、自らの生活に対する満足度に貢献するものである。また、都市の過密化が進行し、新規街路の建設、交通容量の拡張等の交通方策の実施が困難となりつつある現在、フレックスタイム、テレコミュティング等の交通政策が大きな注目を集めている。これらの政策は、個人の交通行動のみならず個人のライフスタイルにも影響を及ぼすこととなる。さらに、既存の交通施設を有効利用するという観点に立ち、交通需要の制御を目指した交通政策を検討するためには、交通需要の発生メカニズムの把握が重要な課題となる。そのためには、交通行動のみに着目した分析ではなく、「交通は活動の派生需要である」という観点にたった分析、すなわちアクティビティ分析¹⁾が不可欠となる。

本研究では、以上の背景に基づき、アクティビティ分析のアプローチに基づいて、生活の質を考慮した交通政策の評価、フレックス制等の生活に影響を及ぼす交通政策の評価、および、交通発生メカニズムを考慮した交通需要予測が可能なモデルシステムを提案することを目的とする。

従来のアクティビティ分析に基づいた行動モデルに関する研究として、効用理論に基づいたモデル²⁾、線形構造方程式に基づいたモデル³⁾等が挙げられる。一般に前者のモデルは、ダイアリーデータから得られる行動パターンに効用理論を適用して構築される。一方、後者のモデルは、同様にダイアリーデータから得られる行動パターンを複数の時間指標、トリップ指標などで定量的に表現し、それらの間の構造的な関係を仮定することにより構築される。生活行動は、時間的、空間的、そして、人間関係的に様々な制約が、交通行動以上に存在するものと考えられる。したがって、効用理論で生活行動をモデル化するためには、それらの制約を逐一把握する必要がある。しかし、ダイアリーデータと共にそれらの制約を逐一把握することは困難であり、ダイアリーデータを用いた効用理論に基づいたモデル化は、それらの制約を無視せざるをえないのが現状である²⁾。したがって、パラメータ推定値に

誤差が含まれる可能性が大きい。一方、効用理論は人間の行動原理を明示的に考慮したものであるが、線形構造方程式に基づいたモデルは、行動原理に対する論理的な仮説に乏しい。しかし、多くの制約が存在する場合においても、各指標間の構造的相関関係を把握することが可能であるという利点があるものと考えられる。そこで本研究では、効用理論に基づいたモデルを構築することで、明示的に行動原理を考慮し、かつ、時空間的制約を制御できるSPデータを収集することで、推定パラメータの誤差の軽減を図る。

本研究では、個人が日常生活において受ける便益を「生活効用」と定義し、生活効用を推定するモデルシステムの構築を試みる。また、生活効用は、個人の嗜好に大きな影響を受けると考えられる。そこで、本研究では、生活効用モデルシステムにおいて活動に対する選好の程度を内生化し、個人の嗜好に関する固有性を明示的に考慮することとする。一方、個人は生活効用を最大化するように行動すると仮定し、勤務条件、通勤沿線条件等の個人の生活環境に関する条件を考慮することで、交通行動パターンの予測に生活効用モデルシステムを適用することが可能となる。すなわち、活動を明示的に考慮した交通需要予測が可能であり、交通発生メカニズムの分析、および、個人の生活に影響を及ぼす交通政策の評価が可能であると考えられる。なお、本研究で提案する生活効用は、効用理論に基づいた概念で定義されるものであり、必ずしも生活の満足度、あるいは個人の幸福と一致する保証はない。しかし、本研究では無数に存在する生活に関連した要因を含む効用関数を定式化することで、最終的に個人の生活の満足度に一致し、かつ、限定された要因を考慮するだけでも、個人の生活に関する満足度に関する傾向を把握することは可能であるという立場に立つこととする。

2. モデル構築のためのSPデータ

本研究では、1994年11月、阪神高速道路湾岸線供用の効果を把握するために大阪湾岸地域を中心とする近畿5府県住民を対象に実施したアンケート調査における個人属性、世帯属性、各活動に対する選好の程度の5段階主観的評価の項目に加え、生活選好SPの項目データを用いることとした。ここでは、モデル構築の基本データを収集したSP調査に関して述べる。

SP調査では、図1に示す様な複数の仮想的な生活パターンを提示し、それらに対して好ましい順番に順位を付ける選好順位データを収集した。本研究では、SP調査の設計を行なうにあたり、生活効用に影響を及ぼすと考えられる主要な要因

キーワード：交通行動分析、交通発生

* 正会員 工修 京都大学工学部交通土木工学科 助手
(606-01 京都市左京区吉田本町 Tel:075-753-5136 Fax:075-7535-916)

** 正会員 工修 阪急電車株式会社
(530 大阪市北区芝田一丁目16番1号)

*** 正会員 Ph.D. 京都大学工学部交通土木工学科 教授

表1 SP調査における7要因

時間要因	仕事の消費時間(仕事時間) 自宅外自由活動の消費時間(遊び時間) 移動・交通の消費時間(移動時間) 睡眠時間を除く在宅時間(在宅時間)
時刻要因	外出時刻 帰宅時刻
金銭要因	1か月の残業手当(残業手当)

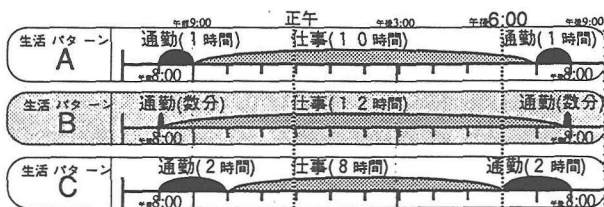


図1 SP調査項目例

表2 SP調査における7実験

実験1	遊び時間, 移動時間, 在宅時間
実験2	仕事時間, 移動時間
実験3	仕事時間, 移動時間, 残業手当
実験4	仕事時間, 在宅時間
実験5	仕事時間, 在宅時間, 残業手当
実験6	仕事時間, 在宅時間, 出勤時刻, 帰宅時刻
実験7	遊び時間, 移動時間, 在宅時間

*就寝時刻を自由回答させることで分散を得ている

として、表1に示す7つの要因を設定した。この7つの要因全ての水準に分散を与えた実験を計画した場合、代替案数が非常に大きなものとなる。そこで、異なる要因が配置された複数の実験を行なった。ただし、各要因の生活効用に対する効果の水準の相対的な関係を把握するために、1つの実験の中に少なくとも1つは他の実験と共通の要因を含むように設計し、表2に示す7つの実験を計画した。

一方、要因の水準を決定する際、各実験におけるそれぞれの代替案の時間要因の水準の和を一定にすることとした。これは、時間要因の水準の和が一定でない場合、未配置の時間要因も分散を持つこととなり、その要因が選好順位に影響を及ぼすこととなるためである。したがって、それぞれの実験における時間要因間には、完全な線形関係が存在することとなるため、通常の直交表、あるいはラテン方格法等を利用した要因決定が不可能となる。そこで、それぞれの要因の水準を30分単位で設定し、一定の時間をそれぞれの時間要因に配分する全てのパターンを設定した。そして、明らかに優越する代替案、および、類似した代替案が存在する場合の一方を削除し、最終的に選好順位の回答が容易となるように各々の実験における代替案数が最大で6となるように設定した⁴⁾。なお、実験結果を分析する際には、それぞれの要因間に完全な線形関係が存在するため、通常の分散分析が不可能となる。そこで本研究では、各要因は選好順位に対して非線形の効果を持つと仮定し、分析を行うこととする。

3. 生活効用モデルシステムの構造

本研究のモデル構築では、生活効用が1日の活動時間等の要因で規定されると仮定する。そして、要因が生活効用に及ぼす影響の大きさは、仕事や遊びなどの活動に対する好みの程度に関する個人の固有性に依存すると考えられる。そこで、活動に対する好みを表す潜在変数を定量的に表現し、個人の嗜好に関する固有性を考慮することとする。この潜在変数を「選好水準」と呼び、これを推定するためのモデルを選好

水準モデル、生活効用を推定するためのモデルを生活効用モデルとして以下のように定式化した。

【選好水準モデル】

$$\omega = B\omega + \Gamma X + \zeta \quad (1)$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (\omega_i < \theta_{i1}) \\ 2 & \text{if } (\theta_{i1} \leq \omega_i < \theta_{i2}) \\ 3 & \text{if } (\theta_{i2} \leq \omega_i < \theta_{i3}) \\ 4 & \text{if } (\theta_{i3} \leq \omega_i < \theta_{i4}) \\ 5 & \text{if } (\theta_{i4} \leq \omega_i) \end{cases} \quad \forall i \quad (2)$$

【生活効用モデル】

$$U = (\alpha_{work1} + \alpha_{work2}\omega_{work})D_{work} + (\alpha_{amuse1} + \alpha_{amuse2}\omega_{social} + \alpha_{amuse3}\omega_{shopr})\log(D_{amuse} + 1) + \alpha_{trip}(1.443^{D_{trip}} - 1) + (\alpha_{home1} + \alpha_{home2}\omega_{iv} + \alpha_{home3}\omega_{read})\log(D_{home} + 1) + \alpha_{goout}T_{goout}D + \alpha_{back}T_{back}D + \alpha_M \log(M + 1) + \varepsilon \quad (3)$$

ω_{work} , ω_{social} , ω_{shopr} : 「仕事」, 「交際・訪問」,
 ω_{iv} , ω_{read} : 「娯楽としての買い物」, 「テレビ」, 「読書」の選好水準

ω : ω_i を要素とする選好水準ベクトル

X : 個人属性などの説明変数ベクトル

y_i : 活動 i に対する好みの5段階主観的評価値

U : 生活効用 D_{amuse} : 自宅外での遊び時間(hour)

D_{trip} : 移動時間(hour) D_{home} : 在宅時間(hour)

D_{work} : 1日の仕事に対する消費時間(hour)

$T_{goout}D=1$: 出勤時刻が午前7時以前, 0: 7時以降,

$T_{back}D=1$: 帰宅時刻が午後9時以降, 0: 9時以前,

M : 残業手当(円/日)

ε, ζ : 誤差項

式(1), (2)では、選好水準 ω_i が個人属性等の変数により規定され、 ω_i は活動に対する好みの主観的評価値 y_i に影響を与えることを表している。

一方、式(3)は以下の仮定に基づいて特定化したものである。遊び、在宅は生活効用に正の効果を与え、活動時間が長くなるにしたがって限界効用は逡減すると仮定して対数形で表現し⁵⁾、残業手当についても同様に対数形で表現した。仕事時間は生活効用に対して線形の効果を及ぼすものと仮定する一方、移動については、時間が長いほど生活効用の減少率が高くなると仮定して指数形で表現した。なお、仕事時間に関する底も未知パラメータであるが、他のパラメータと同時推定する場合、効用関数がパラメータに対して非線形となるため、予め推定することとした。その際、実験1におけるSPデータのみを用い、オーダードロジットモデル⁶⁾に基づいて推定す

ることとした。これは、移動時間の水準に分散が存在し、かつ、他の要因を平均0の誤差項で表現可能なものは実験1のみだからである。また、出勤時刻、帰宅時刻は、あるしきい値を境に生活効用に与える効果が大きく変動すると仮定し、ダミー変数で表現することとした。SPデータの定性分析から午前7時より早い出勤時刻の代替案、午後9時より遅い帰宅時刻の代替案が共に選好順位が低いという傾向がみられたため、それぞれのしきい値を午前7時、午後9時と仮定した。

また、各要因の生活効用に対する効果における個人の固有性を考慮するために、式(3)において D_{amuse} 、 D_{home} 、 D_{work} に対するパラメータを、各個人に固有の選好水準の関数とした。

本研究で提案するモデルは式(1)～(3)からなるモデル・システムであり、推定においては、まず線形構造方程式モデル⁶に基づいて選好水準モデルを推定し、これにより算出される選好水準 ω_i を用いて、ランクロジットモデル⁹に基づいて生活効用モデルを推定するという段階推定を行うこととした。なお、ランクロジットモデルで推定する生活効用モデルでは、誤差項 ε を独立かつ同一のガンベル分布に従うと仮定し、選好水準 ω_i を非確率変数と捉えることとした。そして、選好水準 ω_i として式(2)に基づいて算出される推定値を用いることとした。これは、予測の際に入手可能な外生変数 X からの推定を可能とするためである⁸⁾。

4. 推定結果

ここでは、生活効用モデルを最尤推定法で推定した結果を表3に示し、以下で考察する。なお、選好水準モデルに関しては、紙面の都合上割愛する。

表3より、パラメータ推定値の符号は概ね予想どおりの結果であり、かつ、その値も全般に高いことがわかる。仕事時間、移動時間、早い出勤、遅い帰宅が生活効用に負の効果を、遊び時間、在宅時間が正の効果を与えることが確認された。選好水準と活動時間との積からなる項をみると、「仕事」は正の値となっている。仕事は生活効用に負の効果を与えるが、その効果には個人間で差があり、仕事を好む人ほど負の効果は小さいと解釈できる。遊び時間についても同様に妥当な結果が得られていると考えられる。在宅時間については、「読書」の符号は正となったが、「テレビ」については値は低い負の値となった。これより、テレビ視聴に対する好みという個人の固有性は在宅時間による生活効用への効果に変化を及ぼさないものと解釈できる。

次に、SPデータに基づいた推定結果と比較するために、ダイアリー調査項目から得られた、実際の行動結果のデータに加え、調査当日の生活に対する満足度の5段階の評価値に基づいて生活効用モデルを推定した。その際、各要因が調査当日の回答者の生活効用に影響を及ぼし、回答者はこの値に基づいて満足度を回答したと仮定し、オーダード・ロジット・モデル⁵を適用することとし、生活効用関数を推定した。表3より、 t 値は全般に低いものの、仕事時間、移動時間に関しては妥当な結果となったが、残業手当、出勤時刻、在宅時間に

関しては予想と反する符号のパラメータが得られた。

以上より、SPデータに基づいた推定値の方が、ダイアリーデータに基づいた推定値よりも妥当な結果が得られたことが確認できた。これは、SP調査で設定した要因以外の要因が及ぼす選好順位に対する影響が小さい一方で、ダイアリーデータで得られた生活満足度はそれらにも影響されたためであると考えられる。また、自己の行動の正当化を目的とした満足度の過大評価のため、生活満足度の主観的評価値に測定誤差が影響したことも原因の一つとも考えられる⁹⁾。

表3 推定結果

使用データ 変数	SPデータ		ダイアリーデータ	
	推定値	t 値	推定値	t 値
仕事時間	-0.277	-8.510	-0.184	-2.023
「仕事」×仕事時間	0.028	2.017	0.019	1.162
遊び時間	0.669	6.848	0.335	0.764
「交際・訪問」×遊び時間	0.080	1.363	-0.057	-0.198
「娯楽としての買い物」×遊び時間	0.143	2.472	0.262	0.691
移動時間	-0.362	-8.493	-0.135	-1.369
在宅時間	1.617	9.331	-0.233	-0.532
「テレビ」の選好水準×在宅時間	-0.022	-0.445	0.079	0.823
「読書」の選好水準×在宅時間	0.105	1.990	-0.028	-0.290
出勤時刻	-1.456	-17.767	0.078	0.232
帰宅時刻	-0.501	-5.569	-0.198	-0.422
残業手当	1.109	21.875	-0.413	-2.304
$L(0)$	6982.229		-307.403	
$L(\beta)$	5760.444		-233.864	
χ^2	2443.569 (df=12)		147.078 (df=16)	
ρ^2	0.175		0.239	

「」は選好水準を示す

5. モデルシステムの適用

交通政策が実施された場合の個人の生活の変化が与件として与えられた場合、本モデルシステムに基づいて生活効用の変化を算出することによって、生活の質を考慮した交通政策の評価が可能となる。また、個人の生活の変化が与件として与えられない場合においても、本モデルシステムに基づいて生活行動の変化を内生的に予測して交通需要予測を行った上で、交通政策を生活の質を考慮して評価することが可能となる。以下、後者の政策評価手法について述べる。

まず、各個人のモデルシステムの外生変数 X を入手すると共に、各個人の時空間制約条件を考慮し、選択可能な生活パターン選択肢集合を特定化する。ここで、「各個人が生活効用を最大にするように時間資源を配分する」と仮定すると、各活動の限界効用が等しくなるように各活動時間が配分される²⁾。すなわち、

$$\partial U_i / \partial D_{ij} = K_{ii} \quad \forall i, j \quad (4)$$

U_{ij} : 個人 i の生活パターン j の効用

D_{ij} : 個人 i の生活パターン j の活動 j の所要時間

K_{ii} : 個人 i の生活パターン j に固有の定数

式(4)に基づいて各個人の各選択肢における各活動時間を推定し、各選択肢の生活パターンを特定化する。そして、個人属性、各生活パターンの属性を式(2)に代入することで、各個人の生活パターン選択肢の生活効用を算出する。そして、以下の式で生活効用の期待値⁹⁾を算出する。

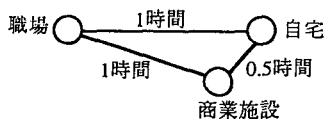


図2 ある就業者の通勤地域におけるネットワーク

表4 政策の影響

	政策なし		政策1		政策2	
	直帰	寄り道	直帰	寄り道	直帰	寄り道
遊び時間(時間)	0	0.902	0	0.975	0	0.902
移動時間(時間)	0	1.5	0	1.25	0	1.5
在宅時間(時間)	5	3.597	5	3.775	5.125	3.597
帰宅時刻(時)	19:00	20:24	19:00	20:14	18:53	20:24
選択確率	0.538	0.462	0.497	0.503	0.562	0.438
確定生活効用	0.29	0.138	0.29	0.303	0.389	0.138
生活効用期待値	0.910 $\lambda_1 + \lambda_2$		0.990 $\lambda_1 + \lambda_2$		0.964 $\lambda_1 + \lambda_2$	

$$U_i = \lambda_1 \ln \left\{ \sum_{j=1}^J \exp(V_{ij}) \right\} + \lambda_2 \quad (5)$$

V_{ij} : U_{ij} の確定効用

U_i : 個人 i の生活効用の期待値

λ_1, λ_2 : 定数

以上の手順を各交通政策ごとに実行し、各々を集計化することで、生活効用に基いた評価することが可能となる。なお、効用は絶対基準を持つものではないため、評価する際には、その相対的な大小関係に基づいて判断する必要がある。以下、以上の手順の単純な適用例を示す。なお、ここでは生活効用関数のパラメータとして、SPデータに基づいた推定値を用いることとする。

仕事開始時刻が午前9時、仕事終了時刻が午後6時の通勤者を想定する。また、この通勤者の選択可能な生活パターンは仕事終了後にある商業施設に寄り道する（以下、寄り道）、寄り道せずにすぐに自宅に帰る（以下、直帰）の2つのみであると仮定する。そして、自宅、職場、および、その商業施設は図2の様なネットワークで結ばれているものと仮定する。ここで、以下の2つの交通政策が検討されている場合を想定する。

政策1 職場—商業施設間の移動時間を15分短縮

政策2 職場—自宅間の移動時間を7.5分短縮（すなわちこの通勤者は往復で15分の移動時間が短縮）

以上の前提に基づくと、政策実行以前、政策1実行後、政策2実行後のそれぞれの生活パターン、生活効用の期待値は、式(1)～(5)より表4となる。表4より、政策1を実行することで、寄り道した場合に、15分間の移動時間が短縮され、そのうち、約70%の10.68分が在宅時間に、残りの4.32分が遊び時間に配分されることとなる。そして、寄り道の確率が増加することとなる。一方、政策2を実行することで、直帰する場合には短縮された15分が全て在宅時間に配分され、直帰する確率が増加することが分かる。そして、政策1、2を実行することで生活効用の期待値は共に増加するが、政策2を実行した場合の生活効用期待値の増加率の方が大きい。したがって、この通勤者にとってより望ましいのは、施策2であるという判断

を下すことができる。

6. おわりに

本研究では、生活に対する満足度を生活効用と考え、個人の各活動に対する嗜好を考慮した上で、SPデータに基づいて生活効用を表現するモデルを構築した。推定の結果ダイアリーデータに基づいた推定値よりも、SPデータに基づいた推定値の方が全般に値が高く、かつ、パラメータの符号も妥当であることが確認できた。また、本モデルシステムに基づいて、生活行動を内生化して交通発生メカニズムを考慮した交通需要予測、ならびに生活パターンの変化と、それに伴う生活効用の変化を考慮した交通政策の評価が可能であることを示した。本研究は、未だ発展の途上にあり、今後の課題として以下が挙げられる。

1. 買い物、趣味・娯楽等の活動内容別の時間要因の設定
2. モデル適用の際の、生活パターン選択肢集合の特定に関する方法論の検討
3. 滞在場所、同伴者、活動の拘束性等の要因の生活効用への影響の考慮
4. ダイアリーデータとSPデータの両者を用いた系列相関を考慮した同時推定
5. 生活効用関数における各要因のパラメータのランダム性を考慮したモデル推定

最後に、調査、および資料の提供にご協力いただいた阪神高速道路公団に対し深謝を表します。

【参考文献】

- 1) 近藤勝直；交通行動分析，晃洋書房，pp.26-55，1987。
- 2) Kitamura, R., Supanak, J.: Temporal utility property of activities and travel, uncertainty and decision making, *Transportation Research B*, Vol. 26 B, No. 1, pp. 61-76, 1992。
- 3) 門間俊幸，藤井聡，北村隆一：交通政策評価を目的とした個人の時間利用の分析，土木学会第50年次学術後援会講演概要集，印刷中，1995。
- 4) Pearmain D., Swanson, J., Kores, E., Bradley, M.: Stated Preference Techniques - A Guide to Practice, Szeer Davies Clave and Hauge Consulting Groupe, 1991。
- 5) SAS Institute Inc.: SAS Technical Report - SAS/STAT Software, CALIS and LOGISTIC Procedures - Release 6.04, pp. 175-202, 1990。
- 6) Joreskog, K. and Sorbom, D.: LISREL VI - Analysis of Linear Structural Relation by Maximum Likelihood, Instrumental Variables, and Least Squares Methods, User's Guide, Department of Statistics, Univ. of Uppsala, Uppsala, Sweden, 1984。
- 7) 交通工学研究会；やさしい非集計分析，pp. 115-116，1993。
- 8) 森川高行，佐々木邦明：主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル，土木学会論文集，No. 470/IV-20，pp. 115-124，1993。
- 9) 小林潔司，文世一，多々納裕一：交通情報による経路誘導システムの経済便益評価に関する研究，土木学会論文集，No. 506/IV-26，pp. 77-86，1995。