

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

藤井 聡¹・北村隆一²・瀬戸公平³

¹正会員 工修 京都大学大学院助手 土木システム工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

²正会員 Ph.D. 京都大学大学院教授 土木システム工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

³正会員 工修 阪急電鉄株式会社 (〒530 大阪市北区芝田一丁目16番1号)

本研究では、個人の生活の質を視野に含めた交通政策の評価手法の開発を目的とし、個人の日常生活における満足の程度を生活効用と定義し、生活効用を測定するモデルシステムを構築した。モデルシステムの定式化においては、生活効用関数の各説明要因の係数を各活動に対する選好の程度の関数とした。また、パラメータの推定にあたっては、生活パターンに関するSP実験から得たデータを用いた。一方、個人の生活行動を離散的な生活パターンの選択行動と捉えることで、生活効用を測定するモデルシステムに基づいた交通需要予測手法を提案した。最後に、簡単な数値計算例を示し、本モデルシステムを用いて生活行動、交通行動を内生的に予測した上で、生活効用に基づいた交通政策代替案の評価が可能であることを示した。

Key Words: activity analysis, quality of life, time use utility, stated preference data

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

従来の交通計画では、交通速度、交通容量といった量的な指標が重視されてきた。これは、経済の発展が優先される時代では、量的交通指標に基づく交通計画は社会の潮流と一致し、社会的な要請に十分答えることが可能であったためであると考えられる。しかし、経済が発展し、多くの住民が、よりゆとりある生活を追及するようになった現在、交通速度、交通容量等の量的指標のみを重視する交通計画は時代の要請と乖離しつつあるものと思われる。現在、交通計画を検討する際には、個人の生活形態、あるいは、自らの生活に対する満足度等の「生活の質」を十分に考慮することが必要であると考えられる。

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改善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、週休2日制あるいは3日制、テレコミュニケーション等の政策、すなわち、個人の交通行動のみならず個人の生活形態にまで影響を及ぼす政策の必要性が高まっている。

このことは、個人の活動、あるいはライフスタイルを対象とした交通政策を評価するための交通解析手法が必要とされていることを意味する。しかし、

従来の交通計画を評価するための交通解析手法は、集計アプローチ、非集計アプローチを問わず、個別のトリップのみを対象とするものが主流であった¹⁾。個別のトリップのみを対象とした交通解析では、個人の生活形態に影響を及ぼし、生活の豊かさへの貢献を目指した交通計画を、生活形態自体を考慮したうえで検討することは困難である。また、個別のトリップに着目する従来の交通解析では、交通が発生する際の因果関係、すなわち交通発生背景に存在するメカニズムを解明することが困難であった。結果として、従来の交通行動分析のアプローチで開発された交通発生に関するモデルの行動を記述する能力には疑問の残るところである。

個人の活動、あるいはライフスタイルを対象とした交通計画を評価するためには、個々のトリップに着目するのではなく、個人の活動自体に着目する必要がある。一般に、個人の活動に着目して交通行動を解析する手法はアクティビティ分析²⁾と呼ばれる。アクティビティ分析では、「交通需要は活動の派生需要である」という理念に基づき、活動に焦点をあてた分析を行なう。活動に焦点をあてることで、交通が発生する際の因果関係を十分に考慮した上で、交通行動モデルを開発することが可能となる¹⁾。そこで本研究では、アクティビティ分析のアプローチ

に基づいて、個人の活動を明示的に考慮した生活行動-交通行動モデルシステムを開発する。そして、構築したモデルシステムを用いて、各個人が認識する生活の質を考慮した政策評価手法を提案する。

(2) 従来におけるアクティビティ分析

アクティビティ分析のアプローチに基づいた個人の生活と交通との関係を扱った研究は、1) 生活パターンに着目し、生活の質に関する検討を目指すもの、2) 活動を考慮した交通行動モデルの開発を目指すもの、が代表的なものとして挙げられる。

前者の例として、RDC³⁾、Kitamuraら⁴⁾、大塚ら⁵⁾の研究が挙げられる。RDC、Kitamuraらはオランダ、カリフォルニア、AT&Tによる全米の3種類のダイアリーデータを用いて、個人の1日の各種活動の平均活動時間等に関する分析、および比較研究を行っている。さらに、大塚らは、阪神地区を対象としたダイアリー調査データと、RDC、Kitamuraらのデータを用いて同様の分析を行っている。これらの時間利用データを用いた研究より、労働時間、移動時間等に関する定性的な比較分析が可能となった。さらに、各々の個人が各自の時間利用形態についてどのような意識を持っているかを検討する目的で、Juster⁶⁾は、食事、子育て等の複数の活動を好ましい順番にランキングさせた調査結果より、個々の活動に対する選好に関して分析を加え、会話、子育て、仕事等の他者との接触を含む活動が好まれる傾向にあるという結論を示している。そして、個人の時間利用に関する満足度を定量的に把握する目的で、経済企画庁国民生活局⁷⁾では、国民生活選好度調査に基づいて、生活の豊さの指標となる新国民生活指標 (PLI) を提案し、都道府県別の生活水準を定量的に比較している。ただし、PLIは集計的な説明要因を用いた指標であるため、個々人のライフスタイルを考慮した生活水準に検討を加えることは不可能である。

一方、活動を考慮した交通行動モデルの開発を目指す後者の研究として、Kitamura⁸⁾、Supernak⁹⁾、河上ら¹⁰⁾、角ら¹¹⁾の研究が挙げられる。これらの研究では、交通行動を含む生活行動全般の背後に効用を想定し、それを最大化するように個人は生活行動を実行しているものと仮定することで、生活行動、ならびにそれに含まれる交通行動を予測するモデルの構築を図っている。離散選択モデルを生活パターン選択に適用するアプローチが河上らによって、効用、あるいは費用を活動時間の関数として定式化して個人の行動をモデル化するアプローチがKitamura、角らによって、それぞれ提案されている。また、Supernakは効用理論、ダイナミック・アプローチ等

に基づき、活動の効用に関するさまざまな仮説を発展させ、要約している。これらのアプローチでは効用関数の未知パラメータの推定が必須となる。そのため、生活行動に関するダイアリーデータ等が収集されるが、現実の生活行動には様々な時間的、空間的な制約が加えられているため、それらの制約を考慮しない効用モデルを用いて推定した場合、パラメータ推定値の信頼性が問題となる。一方、Damn¹²⁾、瀬戸ら¹³⁾、藤井ら¹⁴⁾の研究では、活動時間およびトリップ数、移動時間に着目し、重回帰モデル、線形構造方程式モデルを用いて生活行動のモデル化を目指している。このアプローチでは、時空間的な条件によって制約された活動時間等の分布を内生的に扱うため、制約条件による内生変数への効果を反映したパラメータを簡便に推定することができる。したがってこのアプローチは、政策評価の局面における、操作性の観点での実用性が高いものと考えられる。しかし、政策の評価を行う際に、その政策の実施による時空間的な制約条件が変化した場合においては、それに伴う内生変数の変化を予測することが困難となる。さらに、行動原理の明示的な考慮が困難であるという問題がある。

この様に、アクティビティ分析では、生活の質に関する検討と、活動を考慮した交通モデルの開発が個別に進められてきている。また、前者では、個人の生活の質の定量化が、そして、後者では推定パラメータの誤差の問題、行動原理の明示的な考慮等が課題として残されているものと考えられる。

(3) 本研究の概要

本研究では、アクティビティ分析のアプローチに基づいて、生活行動を考慮した交通需要予測が可能であると共に、個人の生活の質の定量化を可能とするモデルシステムの構築を目指す。その際、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する。そして、パラメータの推定にあたっては、行動を実行する際の時間的、空間的な制約を計画的に設定することが可能なSP調査から得られるデータと実測データの双方の利用を検討し、より妥当なモデルの開発を図る。こうして構築した生活効用モデルシステムに、外生変数を入力することで、個人の生活の質の指標となる生活効用を算定することができる。

モデルシステムの構築にあたり、個人が日常生活において受ける便益を効用理論の枠組みで定式化する。これを「生活効用」と定義し、本研究で提案するモデルシステムを「生活効用モデルシステム」と呼ぶこととする。

表一 選好水準指標を得た活動分類

睡眠	日常的な買い物
身じたく・入浴	娯楽としての買い物
子育て	スポーツ・運動
食事	テレビ
家事	読書
仕事・アルバイト	休息
学校・勉強	受診・診療
趣味・娯楽	移動
交際・訪問	通勤通学

表二 調査項目

調査日全体について	対象日の日付／当日の1日の生活全体に対する満足度の5段階主観評価値（満足度評価値）
個々の活動について	活動内容／開始時刻・開始終了／終了時刻／活動施設／同伴者種別／活動施設／時刻の変更可能性
個々の移動について	交通手段／出発時刻／到着時刻／同伴者数

本研究では、生活効用を一日の生活を対象として定義し、以下のような考え方に基いて定式化する。

まず、一日の生活の中で個人に与えられた時間を、活動というサービス（以下活動サービス）を生産するための希少性を持った資源と捉える。そして、個人は与えられた時間資源から生産される活動サービスを消費することで効用を得るものと考えた。この考え方は、ミクロ経済学のアプローチで個人の仕事時間、余暇時間をモデル化する際に前提とする一般的な考え方であり^{6)・15)}、交通解析の分野でも Kitamura⁸⁾、Supernak⁹⁾等がこれを前提とした分析を行っている。そして、単位時間を追加的に消費することで得られる生活効用、すなわち生活限界効用¹¹⁾は、その時点で実行している活動の内容、その活動をその時点までに実行した累計時間、および、個人の活動に対する選好の程度（以下「選好水準」）に影響されるものと考えた。すなわち、生活限界効用を活動内容、累積活動時間、およびその活動に対する選好水準の関数と仮定した。さらに、各活動に対する選好水準を個人属性の関数として表現し、主観的、潜在的な選好水準をモデルシステムの内生変数として扱う。

また、ある一日の生活効用は、当日、個人に与えられた時間から生産される活動サービスを消費することによってのみ得られるとは考えがたい。ある日の出勤時刻はその前日の睡眠時間に影響を及ぼすであろうし、労働による収入はその収入で後日購入する何らかの財・サービスの量に影響を及ぼす。そして、個人はより十分な睡眠時間やより多くの財・サービスを消費することを選好する傾向にあると考えると、出勤時刻や収入は、当日の時間資源から生産さ

れる活動サービスの消費とは異なった形で、その日の生活効用に影響を及ぼしているものと考えられる。これらの考え方にに基づき、当日での活動サービスの消費を伴う効用と伴わない効用の双方で構成される生活効用関数を定式化する。

個人の生活行動については、上述の考え方で定式化される生活効用の最大化を行っているものと考えられる。その際、個人は次の二つの段階を経て生活効用の最大化を達成しているものと考えた：

段階1) 実行可能な複数の交通連鎖パターンそれぞれについて、活動時間を最適に配分することで生活効用を最大化する。

段階2) 実行可能な複数の交通連鎖パターンの中で、最大の生活効用を与える交通連鎖パターンを選択する。

ここでは、個人の来訪場所と活動内容の連なりを、交通連鎖パターンと呼んでいる。段階1では交通連鎖パターンを与件とした場合の時間資源配分問題を設定する。その際、移動時間や仕事時間については、個人で自由に配分時間を変更することはできない、すなわち、外生的に与えられているものと考え、在宅活動や宅外での自由活動等について時間資源配分問題を設定する。そして、段階2では交通連鎖パターンの離散選択問題を設定する。この仮定に基づいて、生活効用モデルシステムの交通需要予測、政策評価への適用を図る。なお、本稿ではその適用例として、仮想的な個人と生活環境を想定した交通需要予測、および政策評価のテストケースを示す。

2. 分析のためのデータの概要

(1) データ収集のためのアンケート調査

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結果を用いて分析を行なった。この調査では、湾岸線沿線の世帯と、湾岸線および湾岸線に競合する路線利用者の中から抽出された合計4714世帯を対象とした。各世帯には4枚の個人票を配付し、16才以上の世帯構成員4名までの回答を求めた。その結果、回収世帯率が12.6%、594世帯から1257枚の個人票が回収された¹⁴⁾。

分析に用いたデータは、アンケート票における個人属性、世帯属性の項目に加え、以下に述べるアクティビティダイアリー（以下、ダイアリーと呼ぶ）の項目、生活選好 SPの項目から得た。また、表一に示したそれぞれの活動に対する選好の程度に関する5段階主観的評価値（嫌いだ、少し嫌いだ、

表-3 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（宅外自由時間） 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）

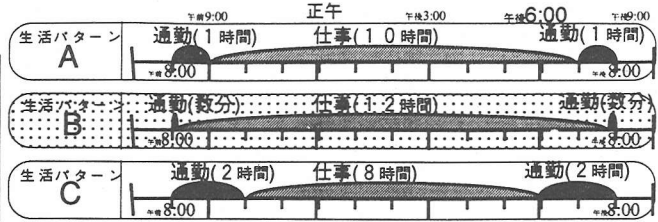


図-1 SP調査項目例（実験2の場合）

どちらとも言えない、少し好きだ、好きだの5項目からの一つの選択を活動ごとに要請する。以下、これを「選好水準指標」と呼ぶ）もデータとして利用した。

(2) ダイアリー調査

ダイアリー調査は、通常のパーソントリップ調査と異なり、調査対象日の移動・交通を含む全ての活動についての情報を収集することを目的としている。我が国では、総務庁による社会生活基本調査¹⁶⁾、NHKによる国民生活時間調査¹⁷⁾が大規模なダイアリー調査として実施されている。交通計画の分野では、トリップの記入もれを減少させる、移動に対する場所、時刻の制約などの従来の調査では捉えにくい要因を検討することができる等の理由¹⁸⁾から、有効な調査手法であるとみなされている^{19)・20)・21)}。しかし、ダイアリー調査は記入の量が多く、回答方法が複雑であることなどの問題点がある。そこで、本調査では、回答用紙を見開き1ページに収め、かつ、時間軸上に活動場所を記入させると共に、その詳細を別欄に記入させ、また具体的な回答例を同封する、等によって回答率および回答の質の向上を図った。

ダイアリーの調査項目を表-2¹⁴⁾に示す。なお、表-2における「当日の1日の生活に対する満足度の5段階主観的評価値」とは、「この日はあなたにとって満足な1日でしたか?」と尋ね、「全く不満」から「非常に満足」までの5段階のカテゴリーのいずれかの回答を求めるという形式で得た。以下、本稿ではこれを「満足度評価値」と呼ぶこととする。

回収の結果、有効回答数（活動内容が不明となっている時間帯が存在しない場合、これを有効回答とした）の回収数に対する割合は88%であった。また、本調査での一日あたりの平均トリップ数は3.34となった。この値はパーソントリップ調査で得られた平均トリップ数2.57²²⁾よりも大きく上回っており、ダイアリーデータにおけるトリップの記入漏れが少なかったことを示しているものと考えられる。

(3) SP調査

個人の実行した生活行動を複数の生活パターン選択肢集合からの選択結果であると仮定して生活効用関数のパラメータを推定する場合、ダイアリーデータ等から得られる実際の時間利用データを用いて推定する方法が考えられる。しかし、各被験者が当日に実行した生活パターンに加えて、他に実行可能であった生活パターン（代替生活パターン）について詳細に調査することは、被験者の回答量が膨大となり、困難である。一方、代替生活パターンの属性を調査せずに、何らかの方法で加工した代替生活パターンと実際の行動記録であるダイアリーデータに基づいて効用関数の推定を行なった場合、代替生活パターンを生成する方法論が必要となる。しかし、代替生活パターンを生成する方法は未だ確立されていないのが現状である。そこで本研究では個人の生活効用を推定するために図-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付けを要請するSP調査²³⁾を行なった。

生活パターンを設計するにあたり、活動を「在宅」「宅外自由活動」「移動」「仕事」の4つに分類した。ここに、「宅外自由活動」とは、自宅以外での自由活動を意味する。なお、活動の分類に関しては表-1に示した様なより詳細な分類が可能であるが、実験要因数の増大に伴う実験の複雑化を避けるために、SP調査では上述の4分類を用いた。

また、生活効用に影響を及ぼすと考えられる要因としては、表-3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、実験を分割し、2個から4個の要因を配置した実験を複数行うこととした。ただし、各々の実験の中には、他の実験でも配置される要因が少なくとも1つは配置されるように設計した²⁵⁾。

生活パターンの代替案の属性を設計する際、対象とする時間帯を全ての代替案について共通に設定した（例えば、図-1に示した実験では、午前8時から午後8時の12時間を対象として全ての生活パターン代替案を設計した）。これは、対象とする時間帯が一定でない場合、時間帯の長さ自体が生活効用に

表一 4 SP調査における7実験の要因とその水準

代替案	仕事時間 (時間)	宅外自由時間 (時間)	移動時間 (時間)	在宅時間 (時間)	出勤時刻 (時)	帰宅時刻 (時)	残業手当 (万円)
実験 1	A	-	4	2	1	-	22
	B	-	0	2	5	-	18
	C	-	3	3	1	-	22
	D	-	1.5	2.5	3	-	20
	E	-	1	2	4	-	19
	F	-	2	2	3	-	20
実験 2	A	10	2	(数分)			
	B	12	0	(数分)			
	C	8	4	(数分)			
実験 3	A	10	2	(数分)			4
	B	12	0	(数分)			8
	C	8	4	(数分)			0
実験 4	A	8		5	1	18	
	B	12		3	3	20	
	C	10		3	3	20	
実験 5	A	8		5	1	18	0
	B	12		1	3	22	8
	C	10		3	3	20	4
実験 6	A	8		*	*	6	16
	B	10		*	*	6	18
	C	8		*	*	8	18
	D	10		*	*	8	20
	E	8		*	*	10	20
	F	10		*	*	10	22
実験 7	A		4	2	9	5	15
	B		6	4	5	7	17
	C		4	4	7	7	19
	D		8	6	6	6	23
	E		0	0	15	15	23
	F		6	6	3	3	21
	G		6	6	3	3	21

* 就寝時刻 (自由回答による) - 帰宅時刻

影響を及ぼすためである。対象とする時間帯を共通とすることは、要因として設定した活動時間の総和が全ての代替案について等しくなることを意味する。したがって、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、各々の実験について、活動時間に関して考えられる全ての組み合わせを代替案として生成し、そのうえで明らかに優越する代替案を削除した。なお、活動時間は30分単位で設定した。また、類似した代替案が存在する場合、代替案の差異が明確になるように一方を削除した。そして、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²³⁾。以上の前提に基づいて、表一 4 に示す7つの実験を計画した。

こうして計画した7つの実験を、図一 1 に示したような形式で、全ての被験者の調査票に含め、各被験者の選好順位データを収集した。

3. 生活効用モデルシステムの構造

(1) 生活効用モデルシステムの基本的な構造

ここでは、生活行動を複数の生活パターンからの生活効用に基づいた離散選択行動と捉え、生活効用を定式化する。

本研究では生活効用関数は本稿 1 (3) で述べたように、当日の活動サービスの消費に伴う効用を示す項と、活動サービスの消費を伴わない効用を示す項

とで構成されるものと考えた。そして、時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までの生活効用を以下のように定式化した。

$$U_i = UC_i + UE_i \quad (1)$$

U_i : 個人 i の時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までの生活パターンの生活効用

UC_i : 個人 i が時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までの時間資源から生産した活動サービスを消費することで得る効用

UE_i : 時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までの時間帯における活動サービスの消費を伴わない効用

UC_i は、個々の活動サービスを消費することで得られる効用の総和であると考え、以下のように定式化する。

$$UC_i = \sum_{k=1}^K UA_{ik} \quad (2)$$

k : 活動内容 ($k=1, 2, \dots, K$). 本稿では、在宅 *home*, 宅外自由活動 *non-work*, 仕事 *work*, 移動 *trip* のいずれかを意味する。したがって、ここでは $K=4$)

UA_{ik} : 時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までの間で、個人 i が活動内容 k の活動を実行したことで得た効用

ここで、活動 k の効用 UA_{ik} を、限界効用関数を用いて定式化すると、以下となる。

$$UA_{ik} = \int_0^{TD_{ik}} MU_{ik}(t) dt \quad (3)$$

$MU_{ik}(t)$: 個人 i , 活動内容 k についての限界効用関数

TD_{ik} : 時刻 T_{S_i} から時刻 T_{E_i} までに個人 i が活動 k を実行した累計時間

一般に、限界効用は財の消費量 (= 経過時間 t)、その財の種類 (= 活動内容 k)、および消費者 (= 個人 i) によって異なった値となる²⁴⁾。また、限界効用は対象時間帯の初期時刻 T_{E_i} 以前での活動とは独立と仮定し²⁵⁾、経過時間については、時刻 T_{E_i} 以降のものとする。これらの考え方に基づいて、 $MU_{ik}(t)$ を以下のように定式化した。

$$MU_{ik}(t) = a_{ik} f_k(t) \quad (4)$$

a_{ik} : 個人 i と活動内容 k に固有のパラメータ

$f_k(t)$: 活動内容 k に固有の関数

ここで、

$$F_k = F_k(TD_{ik}) - F_k(0) \quad (5)$$

なる変数 F_k を定義すると、式(3), (4), (5)より、

$$UA_{ik} = a_{ik} F_k \quad (6)$$

そして、式(2), (6)より、

$$UC_i = \sum_{k=1}^K a_{ik} F_{ik} \quad (7)$$

となる。

一方、式(1)の UE_i を以下のように定式化する。

$$UE_i = \mathbf{B}\mathbf{X}_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

- \mathbf{B} : パラメータ(横)ベクトル
 \mathbf{X}_i : 個人*i*の実行する生活パターンの属性についての(縦)ベクトル
 ε_i : 誤差項

なお、本稿における推定計算を行う際には、 \mathbf{X}_i として表-3の金銭要因、時刻要因を用いた。

式(1), (7), (8)より、生活効用 U_i は、

$$U_i = \sum_{k=1}^K \{a_{ik} F_{ik}\} + \mathbf{B}\mathbf{X}_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

ここで、パラメータ a_{ik} はその個人*i*の活動*k*に対する態度を示しているものと解釈できる。すなわち、 a_{ik} が正(負)の場合、式(4)より活動*k*に関する限界効用は正(負^(註2))となり、個人*i*が活動*k*を「好ましい(好ましくない)活動」と認識しているものと解釈できる。また、ある個人が別の個人よりも活動*k*をより好ましい(好ましくない)活動と認識している場合には、前者の a_{ik} の絶対値は後者のそれよりも大きなものと考えられる。一方、式(2)で定義したように、活動*k*は宅外自由活動、在宅、仕事、移動のいずれかの活動内容を示す。しかし、活動分類としては、表-1に示した様より詳細な分類が可能である。そこで、 a_{ik} はより詳細に分類された活動に対する個人の選好水準に影響を受けるものと考え、パラメータ a_{ik} を以下のように定式化した。

$$a_{ik} = \mathbf{A}_k \mathbf{W}_i + a_k \quad (10)$$

$$\mathbf{W}_i = (\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{im}, \dots, \omega_{iM}) \quad (11)$$

ω_{im} : 個人*i*の活動*m*(表-1に示した選好水準評価値を得た際の活動分類に従う)に対する選好水準

\mathbf{W}_i : ω_{im} を要素とする個人*i*の選好水準(縦)ベクトル

\mathbf{A}_k : 活動内容*k*に固有のパラメータ(横)ベクトル

a_k : 活動内容*k*に固有の定数項

また選好水準 ω_{im} は個人属性などの各個人に固有な変数の影響を受けており、かつ、各々の選好水準間にも相関が存在すると仮定し、以下のように定式化した。

$$\mathbf{W}_i = \mathbf{K}\mathbf{W}_i + \mathbf{H}\mathbf{Z}_i + \mathbf{E}_i \quad (12)$$

\mathbf{Z}_i : 個人*i*の属性(縦)ベクトル

\mathbf{H}, \mathbf{K} : パラメータ行列

\mathbf{E}_i : 多変量正規分布に従う誤差項(縦)ベクトル

(2) モデルシステムの段階推定

本研究で提案するモデルシステムを構築するためには、関数 $f_{A(i), j(i)^*}$ (あるいは、 $F_{A(i), j(i)^*}$)を特定化し、パラメータ $\mathbf{B}, \mathbf{A}_k, a_k, \mathbf{H}, \mathbf{K}$ を推定する必要がある。

一方、生活効用、選好水準といった潜在変数を含むモデルシステムを推定するためには、潜在要因に関して観測された指標が必要である。本研究では、生活効用は、前章(3)で述べたSP調査で得られる「選好順位」、あるいは前章(2)で述べたダイアリーデータから得られる「満足度評価値」で観測され、選好水準は前章(1)で述べた「選好水準指標」で観測されたものと仮定する。この様に生活効用、選好水準のそれぞれの観測指標が得られている場合、パラメータの段階的な推定が可能である。一方、最尤推定法に基づいて全てのパラメータを同時に推定する場合、尤度関数が非常に複雑な非線形式となるため推定が困難である。そこで、本研究では、1)パラメータ \mathbf{H}, \mathbf{K} を選好水準指標(選好水準の5段階主観的評価値)に基づいて推定し、2) \mathbf{H}, \mathbf{K} の推定値から選好水準ベクトル \mathbf{W}_i を推定し、その推定値 $\hat{\mathbf{W}}_i$ と満足度評価値(当日の1日の生活全体に対する満足度の5段階主観的評価値)、あるいは、SP調査から得られる選好順位に基づいて $\mathbf{B}, \mathbf{A}_k, a_k$ を推定する、という段階的な推定方法を用いることとする。以下、前段階でパラメータが推定されるモデルを「選好水準モデル」、後段階でパラメータが推定されるモデルを「生活効用推定モデル」と呼ぶ。

(3) 選好水準モデル

パラメータ a_{ij} に影響を及ぼす選好水準ベクトル \mathbf{W}_i は各活動に対する選好水準指標によって観測されていると考え、式(12)を構造方程式、以下に示す式(13)を測定方程式とする構造方程式モデル²⁵⁾を用いて定式化することとした。

$$Y_{im} = l \text{ iff } \tau_{mi} \leq \omega_{im} < \tau_{m(i+1)} \quad (13)$$

Y_{im} : 個人*i*の活動*m*に対する5段階の選好水準指標

l : 1, 2, 3, 4, 5

τ_{mi} : しきい値(ただし全ての*m*に対して τ_{mi} は $-\infty$ 、 $\tau_{m(i+1)}$ は $+\infty$ と定義)

上記の定式化に基づいて式(12)の \mathbf{H}, \mathbf{K} と \mathbf{E}_i の分散共分散行列、ならびに式(13)の τ_{mi} を重み付き最小二乗法で推定する²⁵⁾。

生活効用推定モデルでは、選好水準モデルの推定結果に基づいて選好水準を算定し、これを外生値として扱う。本研究では式(12)の構造方程式に基づいて選好水準を算定することとした²⁶⁾。すなわち、

$$W_i = (I - K)^{-1}(HZ_i + E_i) \quad (14)$$

式(14)の選好水準 W_i には誤差項 E_i が含まれている。したがって、生活効用推定モデルのパラメータ B 、 A_k 、 a_k を最尤推定法に基づいて推定する際、誤差項に関する多次元の積分計算が必要となり²⁷⁾ 計算上実用的ではない。本研究ではinstrumental variable²⁸⁾の考え方にならない、以下の式(15)で算定される選好水準 W_i の期待値 \hat{W}_i を、次節で述べる生活効用推定モデルに導入することとした²⁹⁾。

$$\hat{W}_i = (I - K)^{-1}HZ_i \quad (15)$$

(4) 生活効用推定モデル

生活の満足度に影響を及ぼす要因は、表-3に示したSP調査で設定した以外のものも多く存在するものと考えられる。例えば、久しぶりの友人と食事をした、あるいは、仕事で失敗した、等様々な要因が生活の満足度に影響を及ぼすものと考えられる。ダイアリー調査と共に得られた満足度評価値は、被験者がそれら要因全てを考慮した生活の満足度が観測された指標であるものと考えられる。ただし、満足度評価値は、回答者に対して直接的に自らの生活に関する評価を要請して得るものであるため、自己の行動の正当化を目的とした過大評価の懸念がある²⁶⁾。

一方、SP調査で得られる選好順位は、実験計画で設定した要因を被験者が考慮した上で得られる満足度が観測されたものである。また、選好順位は選択行動の結果であることから、満足度評価値で懸念された評価値の過大評価に関する問題は回避できるものと思われる。ただし、仮想的な生活パターンに関する評価値であるという点において、信頼性の問題が存在するものと思われる²³⁾。このように、SP調査で得られる選好順位とダイアリー調査で得られる満足度評価値はそれぞれ長所、短所を持ち合わせていると共に、前者は時間要因を中心とした生活効用が、後者は同伴者種別や活動の充実感等を含む生活効用が抽出できるものと考えられる。そこで本研究では、選好順位を用いるモデル、満足度指標を用いるモデルの二つを推定することとする。

前節で述べた選好水準の期待値ベクトル \hat{W}_i を外生値として扱い、かつ、式(9)、(10)に基づく、生活効用関数は以下のものとなる。

$$U_i = \sum_{k=1}^K \left[A_k \hat{W}_i + a_k \right] F_{ik} + BX_i + \varepsilon_i \quad (16)$$

ここで、以下の超(横)ベクトル P 、 Y_i を、

$$P = (A_1, A_2, \dots, A_K, a_1, a_2, \dots, a_K, B) \quad (17)$$

$$Y_i = (F_{i1} \hat{W}_i, F_{i2} \hat{W}_i, \dots, F_{iK} \hat{W}_i, F_{i1}, F_{i2}, \dots, F_{iK}, X_i) \quad (18)$$

とそれぞれ定義すると、式(16)の右辺の第一項、第二項は以下のような線形関数として表現できる²⁹⁾。

$$U_i = PY_i + \varepsilon_i \quad (19)$$

ここに、ベクトル Y_i は、式(18)に定義したように、活動 k の総実行時間 TD_{ik} を式(5)に代入することで得られる F_{ik} 、式(12)で定義した個人属性 Z_i を式(15)に代入することで得られる \hat{W}_i と F_{ik} の積、そして、式(8)で定義した生活パターンの属性 X_i で構成されており、個人 i の生活効用に関する外生変数ベクトルと捉えることができる。

生活効用推定モデルでは、式(19)の左辺 U_i が選好順位、あるいは満足度指標によって観測されたものと考え、パラメータ P 、すなわち a_k 、 A_k 、 B を推定する。

a) 満足度評価値データに基づいたモデル

満足度評価値を用いる場合、オーダーロジットモデル³⁰⁾を適用することとした。すなわち、生活効用がしきい値を超過することに満足度評価値が1から増加し、誤差項 ε_i を独立で同一なガンベル分布に従うと仮定して、個人 i が満足度評価値 n ($n=1, 2, \dots, 5$)を回答する確率 P_n を、以下のように定式化した。

$$P_n = \exp\left\{-\exp\left(PY_i' - \theta_n\right)\right\} \quad (20)$$

$$-\exp\left\{-\exp\left(PY_i' - \theta_{n-1}\right)\right\}$$

θ_n : しきい値 (θ_0 は $-\infty$, θ_5 は ∞ と定義)

そして以下のように対数尤度関数 LL_i を定式化し、これを最大化することでパラメータ P を推定する。

$$LL_i = \prod_{n=1}^5 P_n \quad (21)$$

n_i : 個人 i ($i=1, 2, \dots, I$)が回答した満足度評価値

b) 選好順位データに基づいたモデル

ここまでの議論では、個人ごとに生活効用 U_i を定義し、式(19)を誘導した。しかし、選好順位データは、複数の生活パターンの選択肢を個人に提示し、それに対する順位付けを要請することで得られたデータである。したがって、個人 i の生活パターンの選択肢 l に対する生活効用 U_i^l を定義する必要がある。ここでは、式(19)に基づいて、 U_i^l を以下の様に定式化する。

$$U_i^l = PY_i^l + \varepsilon_i^l \quad (22)$$

Y_i^l : 個人 i の生活パターンの選択肢 l に関する外生変数ベクトル

ε_i^l : 誤差項

本研究では、選好順位データに基づいてパラメータ P を推定する際、誤差項 ε_i^l を独立で同一なガンベル分布に従うと仮定し、ランクロジットモデル³¹⁾を適用することとした。すなわち、各被験者が順位付

けを行なう際に、最大の効用を与える選択肢から順に1から順位を付けるものと仮定し、個人*i*が特定の選好順位を組み合わせた回答する確率を、式(22)に基づいて以下のように定式化した。

$$P(R_i^1, R_i^2, \dots, R_i^L) = \prod_{k=1}^{L-1} \frac{\exp(\mathbf{PY}_i^{T_k})}{\sum_{n=k}^L \exp(\mathbf{PY}_i^{T_n})} \quad (23)$$

L : 選択肢数
 R_i^l : 個人*i*が回答した選択肢*l*の選好順位 (1以上, L 以下の整数)

$P(R_i^1, R_i^2, \dots, R_i^L)$: 個人*i*の選択肢1の選好順位が R_i^1 , 選択肢2の選好順位が R_i^2 , ..., 選択肢 L の選好順位が R_i^L である同時確率

T_n : 選好順位が*n*の選択肢番号

そして以下のように対数尤度関数 LL_2 を定式化し、これを最大化することでパラメータ \mathbf{P} を推定する。

$$LL_2 = \prod_{i=1}^I P(R_i^1, R_i^2, \dots, R_i^L) \quad (24)$$

R_i^l : 個人*i*($i=1, 2, \dots, I$)が実際に回答した選択肢*l*の選好順位

4. 生活効用関数の特定化

式(19)におけるパラメータ \mathbf{P} を推定するためには、 \mathbf{Y}_i を外生変数として与える必要がある。そのためには、 \mathbf{Y}_i の要素である F_{ik} 、ベクトル $F_{ik} \mathbf{W}$ と \mathbf{X}_i を特定化する必要がある。ここでは、それぞれの \mathbf{Y}_i の要素を定義し、生活効用関数を特定化する。

まず F_{ik} に関して述べる。式(5)に示したように、 F_{ik} は活動時間に基づいて算定される。本研究では、SP調査で計画した仕事時間、宅外自由活動時間、移動時間、在宅時間の4つの時間要素(表-3参照)に基づいて F_{ik} を定義する。

一般に、財やサービスの消費による効用の増加率は次第に減少していくものと考えられている(限界効用低減の法則)²⁴⁾。本研究では、宅外自由活動、在宅活動に関しては、消費することで正の効用が生じるサービスであると考え、この法則を適用することとした^{6)・8)・9)・15)}。そして限界効用が時間に反比例すると仮定し、 $f_{non-work}(\cdot)$ 、 $f_{home}(\cdot)$ を以下のように定式化した。

$$f_{non-work}(t) = \frac{1}{t+1} \quad (25)$$

$$f_{home}(t) = \frac{1}{t+1} \quad (26)$$

なお、右辺の分母において*t*に1を加えない場合、 $t \rightarrow$

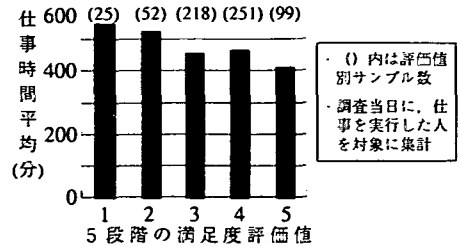


図-2 満足度評価値別の平均仕事時間

0で限界効用が無限大に発散することとなる。一般に、消費量を0に収束させた場合に限界効用が無限大に発散する限界効用関数を持つ財・サービスは、生命を維持するために必要とされるもの、例えば水や食料である。しかし、「宅外自由活動」や「在宅」は生命を維持するために必要なサービスとは考えがたい。この点から、無限大に発散させることを避けるために、右辺の分母を*t*+1とした。

仕事時間に関しては、

$$f_{work}(t) = 1 \quad (27)$$

と定式化し、限界効用が時間に対して一定値をとるものと考えた。これは、ダイアリー調査で得られた生活満足度評価値別に各活動実行時間平均を求めた結果、図-2の様に実行時間と生活満足度との間に線形関係が存在したためである。

移動時間に関しては負の限界効用が生じるものと考え、移動時間の増大に伴い限界効用の絶対値が増加するものと考え、以下のように定式化した。

$$f_{trip}(t) = \alpha^t \quad (28)$$

α : パラメータ

なお、パラメータ α としては、1.443を用いた^[注3]。

以上、式(25)、(26)、(27)、(28)において活動内容別に定義した $f_k(\cdot)$ を積分し、それらを式(5)に代入すると、式(18)に示したベクトル \mathbf{Y}_i の要素である F_{ik} は以下のようになる。

$$F_{ik} = \begin{cases} \log(TD_{i,home} + 1) & \text{if}(k = KN(home)) \\ \log(TD_{i,non-work} + 1) & \text{if}(k = KN(non-work)) \\ TD_{i,work} & \text{if}(k = KN(work)) \\ \frac{1.443^{TD_{i,trip}} - 1}{\log(1.443)} & \text{if}(k = KN(trip)) \end{cases} \quad (29)$$

$TD_{i,home}$: 在宅時間 (時間)

$TD_{i,home}$: 宅外自由実行時間 (時間)

$TD_{i,work}$: 仕事実行時間 (時間)

$TD_{i,trip}$: 移動実行時間 (時間)

$KN(Aname)$: 活動内容Anameの活動番号

また、式(11)で定義した選好水準ベクトル \mathbf{W}_i は、

$\omega_{i,work}$: 仕事に対する選好水準

$\omega_{i,social}$: 交際・訪問に対する選好水準

$\omega_{i,shop}$: 娯楽としての買い物に対する選好水準

表一5 選好水準モデルの外生変数 Z_i と適合度

外 生 変 数	年齢	自動車保有代数				
	性別	親の人数				
適 合 度	職業	配偶者の有無				
	免許保有	子供の数				
	運転頻度	16歳以上の子供の数				
	年取	平均的な生活パターン				
	通勤手当での有無	(外出, 在宅, 仕事, 移動, 家事実行時間)				
	通勤機関					
	家族人数					
	R^2	ω_{work}	ω_{social}	ω_{rshop}	ω_{TV}	ω_{read}
		0.78	0.46	0.40	0.22	0.46
	GFI=0.999, AGFI=0.993					

$\omega_{i,TV}$: テレビに対する選好水準

$\omega_{i,read}$: 読書に対する選好水準

の5つの要素を持つものとした。なお、これらの要素は式(13)で定義した主観的評価値 Y_{im} と $\ln(TD_{i,home}+1)$ の積、および Y_{im} と $\ln(TD_{i,non-work}+1)$ の積と満足度評価値 n_i^* との相関係数を求めることで特定した。

式(8)の X_i としては、実験計画で要因として設定した時刻要因(外出時刻, 帰宅時刻), 金銭要因(残業手当)を用いることとした。

出勤時刻, 帰宅時刻に関しては、「早い出勤に対する抵抗感」「遅い帰宅に対する抵抗感」を各個人が持っているものと考え、ダミー変数で定式化することとした。一方、SPデータの定性分析からは、午前7時より早い出勤時刻の代替案, 午後9時よりも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。そこで、以下のように定義される変数を X_i の要素とすることとした。

$$x_{i,out} = \begin{cases} 0 & \text{if } (T_{i,out} > 7) \\ 1 & \text{if } (T_{i,out} \leq 7) \end{cases} \quad (30)$$

$x_{i,out}$: 出勤時刻に関する X_i の要素

$T_{i,out}$: 出勤時刻(時)

$$x_{i,in} = \begin{cases} 0 & \text{if } (T_{i,in} < 21) \\ 1 & \text{if } (T_{i,in} \geq 21) \end{cases} \quad (31)$$

$x_{i,in}$: 帰宅時刻に関する X_i の要素

$T_{i,in}$: 帰宅時刻(時)

残業手当等所得を厳密に考慮した効用関数を定式化するためには、世帯における総所得を制約条件とし、その世帯が購入する財・サービスを特定化し、かつ、購入したそれぞれの財・サービスを消費することによって得られる効用を定量化する必要がある⁶⁾。しかし、上記の消費プロセスを定量的に把握するためのデータの入手は困難である。そこで、本研究では、実験要因として設定した残業手当の消費プロセスを単純化し、残業手当に基づいて、一定の価格の基で種々の財・サービスを一定比率で

購入するものと考えた¹⁵⁾。そして、それらの財・サービスの消費に関して限界効用低減の法則を適用し、残業手当に関する X_i の要素 $x_{i,money}$ を、以下のように特定化した。

$$x_{i,money} = \ln(RM_i + 1) \quad (32)$$

RM_i : 残業手当(万円)

なお、残業手当で購入する財・サービスは生命を維持するために必要なものであるとは考えがたい。そこで、宅外自由活動, 在宅活動と同様に、右辺の RM_i に1を加え、 $M_i \rightarrow 0$ において限界効用が無限大に発散することを選んだ。

以上より、式(16),あるいは、式(19)に示した生活効用関数は以下のように特定化される。

$$U_i = \left(A_{work} \hat{W}_i + a_{work} \right) D_{i,work} + \left(A_{trip} \hat{W}_i + a_{trip} \right) \frac{1.443^{D_{i,trip}} - 1}{\log(1.443)} + \left(A_{Ohome} \hat{W}_i + a_{Ohome} \right) \ln(D_{i,Ohome} + 1) + \left(A_{home} \hat{W}_i + a_{home} \right) \ln(D_{i,home} + 1) + B(x_{i,money}, x_{i,out}, x_{i,in}) + \varepsilon_i \quad (33)$$

ここに、

$$\hat{W}_i = \left(\hat{\omega}_{i,work}, \hat{\omega}_{i,social}, \hat{\omega}_{i,rshop}, \hat{\omega}_{i,TV}, \hat{\omega}_{i,read} \right) \quad (34)$$

5. 生活効用モデルシステムの推定

選好水準モデルの外生変数, すなわち、式(12)で定義した個人属性ベクトル Z_i として、表一5に示したものをを用いた。そして、重み付き最小二乗法で選好水準モデルを推定した結果得られた適合度を表一5に示す。表一5より、GFI, AGFIのいずれも高い値を取っていることから、モデル全体として高い適合度が得られたことが分かる。また、 R^2 に着目すると、テレビの選好水準 ω_{TV} が0.22となっているものの、それ以外の選好水準については、0.4を超過していることが分かる。特に、仕事の選好水準 ω_{work} については、0.78と高い決定係数が得られていることが分かる。以上の結果は、選好水準モデルを用いることで、後述する生活効用推定モデルに個人の各活動に対する心理的、潜在的な態度を反映することができることを示しているものと思われる。

次に、式(15)から算定される選好水準に加え、ダイアリーデータ, SPデータを用いて、それぞれ式(21), (24)の尤度関数に基づいて生活効用推定モデルを最尤推定法で推定した結果を表-6に示す。

まず、SPデータを用いた推定結果に着目すると、パラメータ推定値の符号は概ね予想どおりの結果である。また、ランクロジットモデルでは同一個人から複数のデータを得るため一般に高い値が得られる

表-6 推定結果

変数名	パラメータ名	SPデータ		ダイアリーデータ		SPデータ	ダイアリーデータ
		推定値	t値	推定値	t値		
$D_{i,work}$	$\hat{\omega}_{i,work}$	-0.28	-8.51	-0.18	-2.02	$L(0)$	-6982
$\hat{\omega}_{i,work} \times TD_{i,work}$	$A_{i,work}$ の要素*	0.03	2.02	0.02	1.16	$L(b)$	-5760
$\ln(TD_{i,work}+1)$	$\hat{\omega}_{i,work}$	0.67	6.85	0.34	0.76	χ^2	2443 (df=12)
$\hat{\omega}_{i,shop} \times \ln(TD_{i,work}+1)$	$A_{i,work}$ の要素*	0.08	1.36	-0.06	-0.20	ρ^2	0.175
$\hat{\omega}_{i,shop} \times \ln(TD_{i,work}+1)$	$A_{i,work}$ の要素*	0.14	2.47	0.26	0.69		0.240
$\frac{1.443}{\ln(1.443)}$	$\hat{\omega}_{i,rip}$	-0.13	-8.49	-0.051	-1.37	ダイアリーデータ使用時の しきい値の推定値 (式(20)の θ)	
$\ln(TD_{i,rip}+1)$	$\hat{\omega}_{i,rip}$	1.62	9.33	-0.23	-0.53	θ_2	-0.299
$\hat{\omega}_{i,TV} \times \ln(TD_{i,rip}+1)$	$A_{i,rip}$ の要素*	-0.02	-0.45	0.08	0.82	θ_3	1.897
$\hat{\omega}_{i,read} \times \ln(TD_{i,rip}+1)$	$A_{i,rip}$ の要素*	0.11	1.99	-0.03	-0.29	θ_4	4.293
$X_{i,cat}$	B の要素	-1.46	-17.77	0.08	0.23	θ_5	5.723
$X_{i,lin}$	B の要素	-0.50	-5.57	-0.20	-0.42		
$X_{i,summary}$	B の要素	1.11	21.88	-0.41	-2.30		

*: 他の要素は0に固定

傾向があると考えられているものの³²⁾, t値は全般に高い値を示していることが分かる。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与え、宅外自由時間、在宅時間が正の効果を与えることが分かった。選好水準が含まれる項をみると、 $\hat{\omega}_{i,work} \times D_{i,work}$ のパラメータは正の値となっている。これは、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ものと解釈できる。宅外自由時間についても $\hat{\omega}_{i,shop}$ 、 $\hat{\omega}_{i,social}$ が含まれる項のパラメータが正となっており、同様に妥当な結果が得られているものと考えられる。在宅時間については、 $\hat{\omega}_{i,read}$ の符号は正となったが、 $\hat{\omega}_{i,TV}$ についてはt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、ダイアリーデータに基づいて得られた推定結果に着目すると、仕事時間、移動時間等に関しては妥当な結果となったものの、全般に値は低く、かつ、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であるとの結果となった。これは、SPデータの方が、パラメータ推定にとってより効率的なデータであるためである。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²⁶⁾。

6. モデルシステムの適用

(1) モデルシステムの適用方法

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、式(33)に外生変数を代

入して生活効用確定項の変化を算出することで、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。

本研究では、本稿1(3)で述べたように、個人は、段階的に生活効用を最大化しているものとする。すなわち、個人は、まず来訪場所と各訪問場所での活動内容の連なり(交通連鎖パターン)を与件とした場合に、時間を活動に最適に配分することで生活効用を最大化する。次に、実行可能な複数の交通連鎖パターンを比較することで、最大の効用を与える交通連鎖パターンを選択する。当然ながら、交通連鎖パターン間の比較を行う際には、各交通連鎖パターンでの活動時間は最適に配分されているものとする。この効用最大化の仮定に基づき、生活効用モデルシステムを交通需要予測への適用を図る。

ここで、交通需要予測へ適用する際の手順について述べる。まず、各個人のモデルシステムの外生変数を入手すると共に、各個人の時空間制約条件を考慮し、実行可能(選択可能)な交通連鎖パターン選択肢集合を特定化する。交通連鎖パターン選択肢集合を特定化する際には、仕事等の固定的な活動の滞在場所、実行時間、および、交通ネットワークを与件として与え、プリズム制約³³⁾を考慮する。すなわち、プリズム制約により実行不可能な交通連鎖パターンは選択肢集合から削除する。

一方、個人は交通連鎖パターンを与件として生活効用を最大にするように時間資源を配分しているものとする。この場合、仕事時間や移動時間は自らの意思では変更できないものとする。この仮定に基づくと、仕事や移動以外の全ての活動の限界効用

が等しくなるように活動時間が配分されることとなり⁸⁾、以下の式が成立する。

$$\partial U_i / \partial D_{ij} = K_{ii} \quad \forall i, l, j \quad (35)$$

U_{ii} : 個人*i*の交通連鎖パターン*l*の生活パターンの生活効用

D_{ij} : 個人*i*の交通連鎖パターン*l*の生活パターンの活動*j*の所要時間

K_{ii} : 個人*i*の交通連鎖パターン*l*の生活パターンに固有の定数

式(35)に基づいて、選択肢集合に含まれるそれぞれの交通連鎖パターンの各滞在所での活動の実行時間を計算する。

次に、各個人は、交通連鎖パターン選択肢集合の中から、最大の効用を与える交通連鎖パターンを選択すると考える。そして、各交通連鎖パターンの選択確率を離散選択モデルの考え方で算定する。ここで、式(33)における誤差項は独立で同一のガンベル分布に従うため、各生活パターンの実行確率は式(36)で求められる。

$$P_{ii} = \exp(V_{ii}) / \sum_{k=1}^L \exp(V_{ik}) \quad (36)$$

P_{ii} : 個人*i*の交通連鎖パターン*l*の実行確率

V_{ii} : U_{ii} の確定効用

式(36)の生活効用確定項については、個人属性に加えて、式(35)で算定される活動時間、および活動時間から求まる活動時刻を式(33)に代入することで算出する。こうして、交通連鎖パターン実行確率を求めることで、発生確率や目的地選択確率等を同時に予測することが可能となる。

さらに、以下の式で生活効用の期待値³⁴⁾を算出する。

$$U_i = \lambda_1 \ln \left\{ \sum_{l=1}^L \exp(V_{il}) \right\} + \lambda_2 \quad (37)$$

U_i : 個人*i*の生活効用の期待値

L_i : 個人*i*の生活パターン選択肢集合数

λ_1, λ_2 : 定数

式(37)で求まる生活効用の期待値を求めることで、生活効用の観点からの政策評価、すなわち、生活の満足度の観点からの政策評価が可能となる。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。

(2) 適用事例

ここでは、前節に示したモデルシステムの適用方法の単純な適用例を示す。なお生活効用関数を定式化する際、離散選択理論の枠組みでパラメータを推定し、かつ、妥当な推定結果が得られたSPデータに

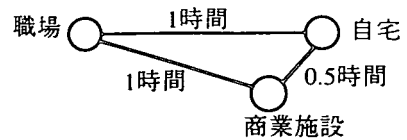


図-3 ある就業者の通勤地域におけるネットワーク

表-7 交通政策の個人に対する仮想影響分析

	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
宅外自由時間*	0	0.903	0	0.975	0	0.903
移動時間*	2	2.5	2	2.25	1.75	2.375
在宅時間*	6	4.597	6	4.775	6.25	4.722
帰宅時刻	19:00	20:24	19:00	20:14	18:53	20:24
選択確率	0.527	0.473	0.488	0.512	0.550	0.450
確定生活効用	0.444	0.335	0.444	0.493	0.558	0.357
生活効用期待値	1.084λ ₁ +λ ₂		1.162λ ₁ +λ ₂		1.155λ ₁ +λ ₂	

*: 単位は時間

基づいたパラメータ推定値を用いる。

仕事開始時刻が午前9時、仕事終了時刻が午後6時、起床時刻、就寝時刻がそれぞれ午前7時、午後12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-3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)

以上の前提に基づき、政策実行以前、政策1実行後、政策2実行後のそれぞれにおける直帰、寄り道双方の生活パターンを算定する。直帰の場合の帰宅後の在宅時間については、職場-自宅間の移動時間と仕事終了時刻から帰宅時刻を求め、それを就寝時刻から差し引くことで求める。寄り道の場合には、職場-商業施設、商業施設-自宅までのそれぞれの移動時間を加えた総移動時間を、仕事終了時刻から就寝時刻までの時間から差し引くことで、その通勤者が仕事終了以後に宅外自由と在宅に費やすことの可能な時間を求める。こうして求めた時間を、式(35)に基づいて、在宅と宅外自由に配分し、それぞれの仕事終了以後の実行時間を算定する。なお、在宅時間に関しては出勤前の在宅時間を以上の方法で求めた帰宅後の在宅時間に加えることで求める。そして、確定生活効用を式(33)から、各生活パターンの実行確率を式(36)から、生活効用の期待値を式(37)からそれぞれ求める。以上の計算結果を表-7に示す。

表一7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(=60×(4.775-4.597))が在宅時間に、残りの4.32分(=60×(0.975-0.903))が宅外自由時間に配分される、結果として寄り道の確率が増加することが分かる。一方、政策2を実行することで、直帰する場合には、出勤、帰宅の双方において短縮された合計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。また、ここで想定した合計6つの生活パターン(政策なし、政策1、政策2の3つの状況下において、生活パターンとして直帰・寄り道の2つづつをそれぞれ想定)の確定効用に着目すると、政策2の実行時に直帰する場合に、確定効用が最も高くなる。しかし、生活効用の期待値に着目すると、政策1、2を実行することで共に増加するものの、政策1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1であるという判断を下すことができる。

7. 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、ダイアリー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、宅外自由活动時間、在宅活動時間は生活効用に正の影響を及ぼし、仕事時間、移動時間は負の影響を及ぼしていること、そして、それらの影響の程度は、選好水準の関数となっている、等の妥当な結果が統計的に示された。また、データの比較からは、SPデータを用いることにより、生活効用関数をより妥当な形で推定することができることも示された。そして仮想状況を設定した数値計算例からは、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が示された。

本稿ではある一人の通勤者の行動パターンに着目した単純なモデルシステムの適用例を示したが、同様の分析を対象地域の複数の個人に適用することで、生活効用に基づいた政策評価が可能となる。さらに、複数の個人の交通連鎖パターンの選択確率を集計することで、OD交通量を時間帯別に算出することも可能となる。また、今後、本研究を発展させるにあたり、全移動に関する交通機関、経路も交通連鎖パターンの特性として交通連鎖パターン選択肢集合を特定化した場合には、発生交通量、OD交通量、分

担交通量および配分交通量の同時推定に適用することができると考えられる。しかし、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(特に、政策の個人の生活効用に対する効果を把握するためには、政策実行による選択肢集合数の変化を知る必要がある)。
3. 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。
4. 滞り場所、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。なお、これらの要因を、活動サービスの消費に伴う限界効用に影響を及ぼすという考えに基づいて式(12)における Z_i として導入する、あるいは、生活パターン自体の属性として捉えて式(8)における X_i として導入する、といった対応が考えられる。
5. ランクロジットモデルでの繰り返しデータを利用することによる推定値の歪みの補正

謝辞：本研究を進めるにあたり、調査の実施、および資料の収集において阪神高速道路公団に全面的なご協力を頂いた。また、分析においては、文部省科学研究費基盤研究(B)(2)の助成を受けた。ここに記して、深謝を表します。

注

- [1] 個人がそれぞれの活動に、複数の日にわたる時間資源を配分していると考えると(例えば、先週末は「宅外自由」を実行したので、今週末には「宅外自由」を実行しない、等という場合)、前日以前の活動時間が当日の生活限界効用に影響を及ぼしているものと考えられる(先週末に実行した宅外自由時間が、今週末宅外自由活动の実行における限界効用を低下させ、結果として今週末は宅外自由活动を実行しない、と解釈可能)。しかし、本研究では複数の日にわたる時間利用データ、あるいは、SPデータは収集されていないため、当日の活動時間のみが限界効用に影響を及ぼすものと仮定し、生活効用関数を定式化した。
- [2] 一般に、負の限界効用を持つ財、いわゆる負の財は、消費量を個人が自由に決定できる場合、消費量は0となる。しかし、「移動」や「仕事」は、「宅外での自由活动を実行するため」あるいは「収入を得るため」には実行せざるを得ないものである。したがって、「自由活动を実行する」あるいは「収入を得る」ということを選択した場合には、それらの限界効用が負で

あっても、サービス消費量 (=活動時間) は0にならない。なお、本研究では、本モデルシステムを用いて個人の行動予測を行う際、当然ながら全ての就業者は収入を得るということを選択していると考え、自由活動の実行・非実行については交通連鎖パターンの離散選択を設定することにより内生的に扱う。

- [3] 本研究では式(18)に示したベクトル Y_i を外生的に与えることで、生活効用推定モデルにおけるパラメータ β を推定する。したがって、推定計算に先立ち、式(28)のパラメータ α を予め求めておく必要がある。そこで、実験1から得られたSPデータを用い、オーダドログジットモデル³⁰⁾に基づいてパラメータ α を推定することとした。なお、実験1のSPデータを用い、他の実験のSPデータを α の推定に用いなかったのは、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のみであったからである。その結果、パラメータ α の推定値として1.443が得られた。

参考文献

- 1) 北村隆一：交通需要予測の課題・次世代手法の構築にむけて、土木学会論文集，No. 530, IV-30, pp. 17-30, 1996.
- 2) 近藤勝直：交通行動分析，見洋書房，pp. 26-55, 1987.
- 3) RDC, The Transportation Futures Group: Further comparative analysis of daily activity and travel patterns & development of a time-activity-based traveler benefit measure, 1993.
- 4) Kitamura, R., Robinson, J., Golob, T., Bradley, M., Leonard, J. and van der Hoorn, T.: A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California; Research report, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 1992.
- 5) 大塚祐一郎，瀬戸公平，飯田克弘，北村隆一：個人の時間利用特性に関する分析—日本，アメリカ，オランダのデータに基づく比較，平成6年度関西支部年次学術講演概要，土木学会関西支部，IV- 5, 31994.
- 6) Jusster, F. T.: Rethinking utility theory, *The Journal of Behavioral Economics*, Vol. 19, No. 2, pp. 155-179, 1990.
- 7) PLI (People's Life Indicators) —新国民生活指標—，経済企画庁国民生活局，1994.
- 8) Kitamura, R.: A model of daily time allocation to discretionary out-of-home activities and trips, *Transportation Research B*, Vol. 18B, No. 3, pp. 255-266, 1984.
- 9) Supernak, J.: Temporal utility property of activities and travel, uncertainty and decision making, *Transportation Research B*, Vol. 26B, No. 1, pp. 61-76, 1992.
- 10) 河上省吾，磯部友彦，仙石忠広：時間制約を考慮した1日の交通・活動スケジュール決定プロセスのモデル化，土木計画学研究・論文集，No. 4, pp. 189-196,

- 1986.
- 11) 角知憲，北岡大記，出口近土，一ノ瀬修：時間的拘束を受けない日帰り交通の時刻決定行動モデルと自動車を用いるリクリエーション交通への適用，土木学会論文集，No. 425/IV-14 pp. 73-79, 1991.
- 12) Damm, D.: Parameters of activity behavior for use in travel analysis; *Transportation Research*, Vol.16A, No. 2, pp. 135-148, 1982.
- 13) 瀬戸公平，北村隆一，飯田克弘：構造方程式を用いた活動実行時点・トリップ距離間の因果関係の分析，土木計画学研究・講演集，Vol. 17, pp.209-212, 1995.
- 14) 藤井聡，北村隆一，門間俊幸：誘発交通需要分析を目指した就業者の活動パターンに関する研究，土木学会論文集，-印刷中-，1997.
- 15) Henderson, J.M., Quandt, R.E.著，小宮隆太郎訳：現代経済学—価格分析の理論—，創文社，pp. 32-35, 1961.
- 16) 総務庁統計局：国民の生活行動 昭和61年社会生活基本調査の解説，財団法人日本統計協会，1988.
- 17) NHK放送文化研究所：1990年度国民生活時間調査 全国時間量編，日本放送出版協会，1991.
- 18) 原田昇，太田勝敏：生活活動記録に基づく個人の活動分析に関する研究，第23回日本都市計画学会学術講演論文集，pp. 415-420, 1988.
- 19) 太田勝敏：何故，いま「交通データ収集分析の最近の動向」なのか？，交通工学，Vol. 23, 増刊号，pp. 3-10, 1988.
- 20) 杉恵頼寧：交通行動調査の開発と適用（その2）アクティビティ・ダイアリー調査，交通工学，Vol.23, 増刊号，pp.71-79, 1988.
- 21) 杉恵頼寧，藤原章正，末永勝久：活動日誌を用いた交通調査の有効性，第23回日本都市計画学会学術講演論文集，pp. 409-414, 1988.
- 22) 京阪神都市圏交通計画協議会：第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査報告書—基礎集計及び分析偏—京阪神都市圏の人の動き，pp.23-30, 1992.
- 23) Pearmain D., Swanson, J., Kores, E. and Bradley, M.: Stated Preference Techniques - A Guide to Practice, Streeer Davies Glave and Hauge Consulting Groupe, 1991.
- 24) Samuelson, P. A., 都留重人：サムエルソン経済学（下），岩波書店，pp.587-588, 1967.
- 25) Joreskog, K. and Sorbom, D.: LISREL VII-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.
- 26) 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.
- 27) 森川高行，白水靖郎：SPデータを用いた交通需要予測のためのマーケットセグメンテーションに関する研究，土木計画学研究・講演集No.14(1), pp. 589-596, 1991.
- 28) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.: *Discrete Choice*

- Analysys: Theory and Application to Travel Demand*,
The MIT Press, pp. 56-57, 1985.
- 29) 山本俊行, 藤井聡, 北村隆一: 個人の選好特性を考慮した交通機関選択分析, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 890-891, 1994.
- 30) SAS Institute Inc.: SAS Technical Report -SAS/STAT Software, CALIS and LOGISTIC Procedures- Release 6.04, pp. 175-202, 1990.589-596, 1991.
- 31) 交通工学研究会: やさしい非集計分析, pp.115-116, 1993.
- 32) Leurent F.M.: The Theory and Practice of a Dual Criteria Assingment Model with a Continuously Distributed Value-of-time, *Transportation and Traffic Theor.* Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 455-478, 1996.
- 33) Hagaerstand, T.: What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21, 1970.
- 34) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.; *Discrete Choice Analysys: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 276-322, 1985.
- (1995.10.13 受付)

DEVELOPMENT OF MODEL SYSTEM FOR INDIVIDUALS' DAILY ACTIVITY-TRAVEL PATTERNS THAT ACCOUNTS FOR THE UTILITY OF DAILY ACTIVITY

Satoshi FUJII, Ryuichi KITAMURA and Kohei SETO

A model system is developed for quantifying the utility associated with individuals' daily activity-travel patterns. Heterogeneity across individuals is accounted for by specifying the coefficients of the utility function as functions of psychological variables. Parameters of utility function are estimated using stated-preference data indicating preferences towards hypothetical daily activity patterns. Assuming that individuals allocate time to each activity while maximizing the total utility, the duration of each activity is determined and choice probabilities associated with alternative daily patterns are evaluated. This methodological framework is applied to the evaluation of alternative transportation improvement policies.