

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

*A micro-simulation model system of individuals' daily activity behavior
that incorporates spatial, temporal and coupling constraints*

藤井 聡^{*} 大塚祐一郎^{**} 北村隆一^{***} 門間 俊幸^{****}
Satoshi Fujii, Yuichiro Otsuka, Ryuichi Kitamura, Toshiyuki Monma

1. はじめに

近年、交通混雑の緩和を図る方策としての交通容量の拡張、あるいは、新規道路建設といったハード面での交通政策は、地価の高騰、都市の過密化といった現状のもとでは、その実施が困難となりつつある。それに伴い、勤務時間帯を柔軟にすることで通勤混雑の緩和を図るフレックスタイム制、あるいは、週休二日制等の各個人の交通需要をマネージメントすることで交通混雑の緩和を図る方策が必要となってきた。こういった交通需要のマネージメントを実現化するためには、各個人の交通需要の発生構造を的確に把握し、交通需要と、交通需要に影響を及ぼす種々の要因との関係を的確に把握することが極めて重要な課題であるものと考えられる。

個人の交通行動は、その個人が実行する生活行動と独立に実行されるものとは考えがたい。すなわち、交通需要は、生活行動の派生的な需要であるものと捉えることができるものと思われる。この点に着目した交通需要解析のアプローチが、アクティビティ分析である¹⁾。

アクティビティ分析のアプローチに基づいた生活行動・交通行動モデルとして、多くのものが提案されている。個人のトリップチェーンをマルコフ過程とみなし、その上で各トリップ間の活動時間を考慮したモデルが Kitamura and Lam²⁾によって提案されている。また、Robinsonら³⁾、瀬戸ら⁴⁾、藤井ら⁵⁾は、一日を通じての活動時間やトリップ数等の交通行動、生活行動の指標と、個人属性や交通環境との因果関係を構造方程式の枠組みでモデル化している。離散選択モデルの枠組みで交通行動パターン、生活行動パターンをモデル化した例としては、藤井ら⁶⁾⁷⁾、Adler and Ben-Akiva⁸⁾、河上ら⁹⁾の研究が挙げられる。さらに、活動の実行を時間資源の配分問題として捉えた行動モデルは、Supernak¹⁰⁾、Kitamura ら¹¹⁾が提案している。

これらのモデルは、いずれも、個人の生活行動パターンを予測することで、その個人の生活行動の一部である交通行動を把握することを目指しているものである。

こういった生活行動モデルの開発を図る流れの中で、近年、マイクロシミュレーションの枠組みで、時間軸上での個人の生活行動の再現を図る研究も行われてきている。種々の交通需要マネージメント政策の実施に伴う個人の生活行動の変化を予測することを目的として開発された AMOS¹²⁾がその例として挙げられる。また、観光地での個人の周遊交通行動の再現を図る森川らのモデル¹³⁾なども、時間軸上での観光周遊行動を再現するという意味で同様のアプローチであるものといえる。こういった研究で提案された行動モデルは、何らかの政策が個人に及ぼす影響を、時間軸上での生活行動全般を視野に入れた形で評価できることが大きな特徴であるものと考えられる。

ここで、個人の生活行動を再現するモデルシステムを構築する際、個人は種々の制約条件のもとで交通行動を行っている、との認識を前提とすることは有効なアプローチであるものと考えられる。その中でも、Hagarstrand による時空間プリズム制約¹⁴⁾は、個人の生活行動を考える際に、特に重要な制約であるものと考えられる。実際、近藤¹⁵⁾、西井ら¹⁶⁾も、この点に着目した個人の行動解析を行い、その重要性を示している。

本研究では、個人の生活行動の再現を図る際に重要な制約条件であるプリズム制約を考慮した上で、個人の生活行動に関する意思決定を時間軸上で逐次再現し、それに伴う生活行動の軌跡を生成する生活行動マイクロシミュレーションモデルの構築を目指す。本研究では、これを PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator)と呼ぶこととする。こうした枠組みで構築される PCATS を用いることで、通勤時間や勤務時間等の勤務条件の変化や、交通速度改善、公共交通機関営業時間帯の延長といった生活環境、交通環境の変化に伴う、個人の活動の実行・非実行、活動の順序、活動の時間、場所、内容、そして、移動時の交通機関等の変化を予測することができるものと期待される。すなわち、PCATS は、1日を通じての個人の生活行動全般の予測を図

キーワード: 交通行動分析, アクティビティ分析, マイクロシミュレーション

* 正 員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5136, FAX075-753-5916)

** 正 員 京阪電気鉄道株式会社
(〒540 大阪市中央区城見 1-2-27)

*** 正 員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

**** 学生員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5136, FAX075-753-5916)

ること、従来の行動モデルでは予測することが困難であった、交通速度改善や勤務条件の変化等の交通政策が、個人へ及ぼす総体的な影響の評価を目指すものである。

本稿では、PCATS の概要を述べるとともに、仮想的な個人の種々の条件下での生活行動を再現し、PCATS の適用可能性についての検討を行う。

2. PCATS における仮想個人の挙動

2.1 PCATS の前提

本研究では、個人の1日は、自由時間帯と固定時間帯に分類されるものと仮定する。固定時間帯では、活動内容、場所、時間等の活動の要素は予め決められており、個人の自由意思では変更不可能であるものと仮定する。一方、自由時間帯では、個人の自由意思で活動および移動の各要素を決定することが可能であると考ええる。

また、個々の活動、および移動は、以下の要素で表現することとした。

活動:開始時刻, 終了時刻, 活動内容, 活動場所

移動:出発地, 目的地, 交通機関, 出発時刻, 到着時刻

ここで、活動内容については、以下のように分類した。

在宅, 宅外でのスポーツ運動, 宅外での趣味・娯楽, 宅外での交際・訪問, 外食, 日常的な買い物, 娯楽としての買い物, 固定活動場所周辺の活動

なお、「固定活動場所周辺の活動」とは、宅外での固定活動が予定されている場合、その固定活動を実施するために予めその固定活動場所周辺に移動して実行する準備活動、あるいは、「暇つぶし」的な活動等を意味している。PCATSでこの活動カテゴリーを定義したのは、個人の生活行動にはこの様な準備活動や暇つぶし活動が存在し、かつ、その内容をモデル上でより詳細に分類することは困難であるものと考えたためである。

また、活動場所、および、移動の出発地、目的地については、対象地域を複数の地域(以下、ゾーンと呼ぶ)に分割することで表現することとした¹⁾。なお、本稿では、京阪神地域の174 市区町村をゾーンとした。

交通機関については、

自動車, 公共交通機関, 自転車, 徒歩

の4つの交通機関を考慮することとした。さらに、移動における所要時間、費用、乗り換え回数等は、移動の出発地、目的地、ならびに交通機関の3 要素によって一義的に規定されるものとした。ただし、移動における所要時間や費用等を内生化していくこと、あるいは、一つのトリップで複数の交通

機関を利用する場合を考慮すること等は、今後の重要な課題であると考えられる。

ここで、PCATS の入力、出力を図-1 に示す。図-1 に示したように、PCATS は、個人・世帯属性、交通ネットワーク属性、地域属性、および、固定時間帯のスケジュール²⁾を入力することで、自由時間帯における各活動の要素(個々の活動の場所、開始時刻、終了時刻、内容)、および移動の要素(出発地、目的地、出発時刻、到着時刻、交通機関)を生成する。なお、上述のように、PCATS では、移動の出発地、目的地、および、活動の場所はゾーンで表現することから、入力データである地域属性、交通ネットワーク条件についても、ゾーン単位で入力することとした。

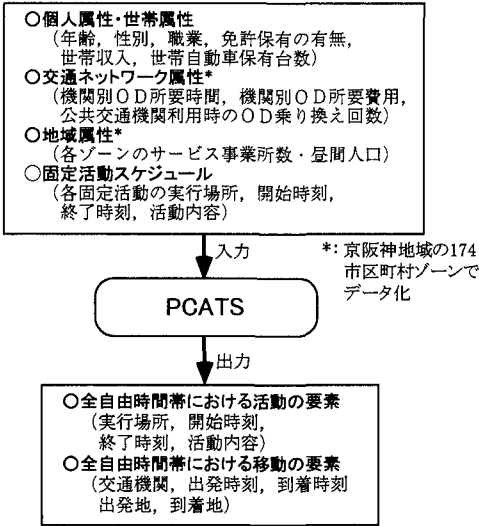


図-1 PCATS の入出力

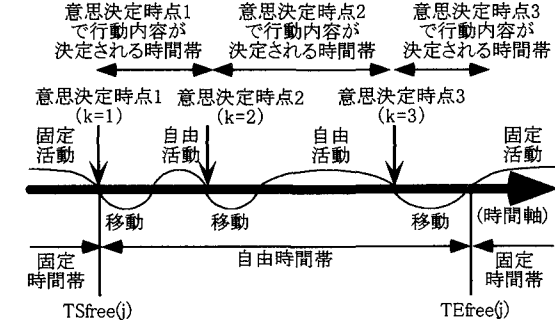


図-2 自由時間帯における意思決定時点とその対象時間帯

2.2 PCATS における仮想個人の意思決定過程

PCATS では、図-2 に示した固定時間帯から自由時間帯へ移行する時点、および、自由時間帯において1つの自由活動が終了した時点を「意思決定時点」と定義する。PCATS 内の仮想的な個人(以下、仮想個人)は意思決定時点ごとに、その意思決定時点に続く活動および移動の要素を逐次

的に決定していくものと仮定した。また、本研究で仮定した活動と移動の要素は、活動場所、活動時間、活動内容、および移動の交通機関の4項目を決定することで特定されるが¹³⁾、これらの4項目を段階的に意思決定していくものと考えたこととした。

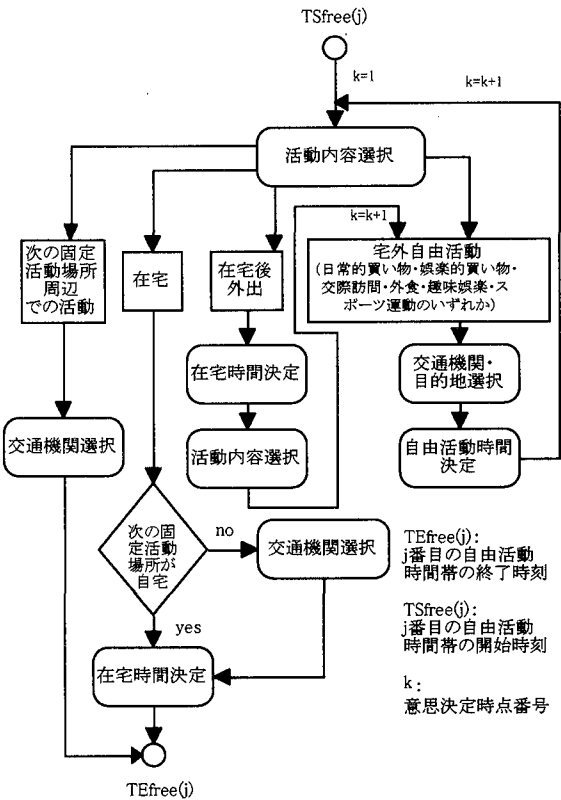


図-3 PCATSにおける意思決定時点での意思決定過程

ただし、個人が複数の活動、移動の要素を同時に決定する場合が存在することも十分に考えられる。しかし、同時的な意思決定を仮定した行動モデルを構築することは極めて困難である。なぜなら、この問題は数理計画問題として解析解が存在しないものであり、離散選択問題として捕らえた場合、その選択肢集合が極めて大きなものとなることが予想されるからである¹⁴⁾。これらの同時意思決定をモデル化することも極めて重要な課題であるが、本研究では、生活行動を考慮した実用的な交通需要予測、交通政策評価ツールの開発を目指し、上述の逐次的、段階的な意思決定過程を仮定している。このような簡略化を図ることで、ある意思決定がそれ以前の意思決定に及ぼす影響を考慮できない、という問題点が生じることとなるが、ある意思決定がそれ以降の意思決定に及ぼす影響を考慮することは、その意思決定の結果を外生変数として導入する、あるいは、選択肢集合を特定化

する際にその意思決定の結果を考慮する、等といった形で可能である。PCATSでは、後述するように活動内容の意思決定、ならびに、活動時間分布を与件としてトリップの目的地と機関の意思決定を行うと仮定している。したがって、従来では考慮することが困難であった、活動が移動に及ぼす影響を明示的に考慮した需要予測が可能である。また、ある活動、移動の時間が長くなれば、それ以降の活動、移動に配分可能な時間が減少する、という自明の因果関係もモデル内で表現可能である。

図-3には、PCATS内の仮想個人のある自由時間帯 j における意思決定の過程を示した。図-3において、 k は対象とする自由時間帯に含まれる意思決定時点番号を意味する。そして、意思決定時点 k では、意思決定時点 k から $k+1$ 、あるいは自由時間帯終了時点までの間の行動に関する意思決定を行うものとする(図-2参照)。

先述のように、PCATSにおける仮想個人は、意思決定時点で、活動の時間、場所、内容、および、移動の交通機関の4つを段階的に決定していく。段階的な意思決定過程としては、種々のものが考えられるが、本研究では、活動場所は活動内容を与件として決定され、活動時間は活動内容と活動場所を与件として決定されるものと考え、「仮想個人はまず活動内容を選択し、その次にその活動を実行するための活動場所およびその場所を目的地とする移動での交通機関を同時に決定し、最後にその場所でその内容を実行するための時間を決定する」という意思決定過程を仮定した。図-3に示した意思決定過程は、この考え方に基づいたものである。以下、図-3に基づいて、PCATS内の仮想個人の意思決定過程について述べる。

シミュレーション内の仮想個人は、意思決定時点においては、まず活動内容選択を行う。ここで、活動内容選択は、「在宅後外出」「在宅」「固定活動場所周辺の活動」「宅外自由活動(スポーツ運動、趣味・娯楽、日常的な買い物、交際・訪問、外食、娯楽としての買い物)」の9つを選択肢集合として持つものと考えた。PCATSでは、図-3に示したように仮想個人は、活動内容選択で選択した選択肢によって、意思決定過程が異なるものとした。

1)「在宅」を選択した場合

活動内容選択において「在宅」を選択し、次の固定活動場所が自宅以外の場合は、次の固定活動場所までの交通機関選択を行う。そして、自宅に滞在できる最遅時刻まで自宅に滞在する。なお、自宅に滞在できる最遅時刻は、選択した交通機関を用いた場合の、自宅から次の固定活動場所までの移動時間と、次の固定活動開始時刻から求められる。

一方、「在宅」を選択し、次の固定活動場所が自宅の場合は、残された自由時間が在宅時間となり、意思決定を終了する。

2)「在宅後外出」を選択した場合

「在宅後外出」を選択した場合は、まず、在宅時間を決定し、その後、外食、スポーツ・運動等の宅外自由活動のみを選択肢集合とする活動内容選択を行う。そして、その自由活動を実行するための場所、およびそこまでの移動で利用する交通機関を選択した後、自由活動の実行時間を決定する。これらの意思決定に基づいて実行した自由活動の終了時刻が、次の意思決定時点となる。

3)いずれかの「宅外自由活動」を選択した場合

この場合には、決定した自由活動を実行するため目的地とそこまでの交通機関の選択、及び活動時間の意思決定を行うものとする。そして、自由活動終了時刻が次の意思決定時点となる。

4)「固定活動場所周辺での活動」を選択した場合

この場合は、意思決定時点で直接次の固定活動場所まで移動し、次の固定活動場所の開始時刻まで何らかの活動を実行するものとする。そして移動に伴う交通機関選択を行い、そこで意思決定を終了する。

3. 個々の意思決定に関する仮定とそのモデル化

ここでは、前章に示した意思決定過程における目的地選択、機関選択、活動内容選択、および活動時間の意思決定を再現するために構築したモデル、およびそれらのモデルに基づいたシミュレーション内の仮想個人の意思決定について述べる。モデルの構築にあたっては、大阪湾岸地域の居住者を対象としたパネル調査の、1995年6月に実施した第3回調査の一部である平日を対象としたアクティビティダイアリー調査で得られたデータを用いた。なお、このパネル調査は阪神高速道路湾岸線の供用、ならびに、阪神・淡路大震災が個人の生活行動、交通行動に及ぼした影響を把握することを目的として実施されたものであり、第一回調査では、大阪湾岸地域における各地域別に無作為抽出した世帯、および、阪神高速道路湾岸線の競合路線の利用者を対象とした。また、第3回調査の一部であるアクティビティダイアリー調査では、916個人からデータが得られた。

3. 1 想定時間分布モデル

本研究では、個人は在宅、外食などのそれぞれの活動を実行する場合に要するであろう時間を予め想定し、それに基づいて活動の内容や場所などの意思決定を行っているものと考えた。この様な考え方を導入したのは、例えば、活動

甲乙丙の三種類の活動選択を行う個人は、

「もし、活動甲を実行するならばおよそこれくらいの時間を要するであろう、また、活動乙、活動丙を実行するならばそれぞれ、これくらいづつの時間を要するであろう」

と考え、その上で、この個人は活動甲乙丙のそれぞれの実行が可能であるか否かの検討も含めて、いずれかを選択するものと考えたからである。そして、この活動内容別に想定した時間は、活動時間や活動実行場所の意思決定にも影響を与えるものと考えた。

ここでは、この様な予め活動内容ごとに想定する活動時間を「想定活動時間」、その分布を「想定時間分布」と呼び、これを推定するモデルを「想定時間分布モデル」と呼ぶこととする。

本研究では、想定活動時間を式(1)に示す Duration Model¹⁷⁾を用いてモデル化し、ダイアリーデータから得られる各活動内容別の活動時間データに基づいて、在宅と宅外自由活動(スポーツ運動、趣味・娯楽、日常的な買い物、交際・訪問、外食、娯楽としての買い物)のそれぞれ7活動内容についての想定時間分布モデルを構築した。

$$y = Y_0 \exp(BX)$$

y : 想定活動時間
 Y_0 : 標準個体の想定活動時間
 B : パラメータベクトル
 X : 説明変数ベクトル

なお、Lindhらは、活動時間をDuration Modelに基づいて分析した際に、指数分布、対数ロジスティック分布等に比べてワイブル分布を仮定した方が良好な適合度が得られた、との結果を示している¹⁸⁾。本研究では、この知見を参考に、 Y_0 の分布としてワイブル分布を仮定した。

表-1 想定時間分布モデルに用いた説明変数

○個人属性・世帯属性
年齢、性別、職業、世帯収入、免許保有の有無、世帯自動車保有台数
○活動パターン特性
・現在時刻 [*] と次の固定活動開始時刻の中間時刻 ^{**}
・その活動を実行する以前に当日に同活動を実行した累計時間
・次の固定活動開始時刻と現在時刻の差から移動最低時間を差し引いた時間
・現在場所と次の固定活動場所の組み合わせを表すダミー変数

^{*}現在時刻＝その活動の直前の活動の終了時刻
^{**}:このモデルをシミュレーションで用いる局面では、活動開始/終了時刻共に、不明である。そこで、ここに示した中間時刻を時刻要素として導入した。

表-1にはこれらのモデルで用いた説明変数を、表-2には、各モデルのサンプル数、 χ^2 値等を示した。表-2から、いずれの活動内容についても有意なモデルが得られていることがわかる。また、本稿では紙面の都合上省略したが、個々の説

明変数のパラメータ推定値からは、その活動を実行するまでにその内容の活動を実行した当日の累計時間が長ければその活動時間は短くなる、現在時刻から次の固定活動開始時刻までの余裕が少なければ活動時間は短くなる、といったことが統計的に示されている¹⁹⁾。

表-2 各モデルのサンプル数と適合度指標

モデル	モデルの対象	サンプル数 (ケース)	χ^2 二乗値	ρ 二乗値
想定時間 分布モデル	外食	198	54.09 [df=9]	—
	交際・訪問	48	26.06 [df=9]	—
	日常的な買い物	131	28.15 [df=8]	—
	娯楽としての 買い物	74	33.45 [df=8]	—
	趣味・娯楽	39	32.93 [df=8]	—
	スポーツ・運動	23	24.49 [df=9]	—
	在宅	161	62.44 [df=10]	—
活動内容 選択モデル	自由活動選択 レベル	332	263.65 [df=31]	0.23
	外出選択 レベル	3559	1011.63 [df=17]	0.66
	活動パターン選択 レベル	3890	3357.79 [df=17]	0.56
交通機関 目的地選択モデル	交通機関選択 レベル	1294	1314.81 [df=43]	0.53
	目的地選択 レベル	279	984.61 [df=6]	0.71

なお、PCATS 内の仮想個人は、式(1)で算定される各活動別の想定時間分布を主観的に形成しているものと考え

3. 2 活動内容選択モデル

活動内容選択を図-4 の選択構造を仮定したネスティッドロジットモデルを用いてモデル化した。説明変数としては、表-3 の説明変数を用いた。ここで、表-3 に示した確率「**ProbL**」については以下の手順で求めた。

最大活動時間 D_{free} を、
$$D_{free} = TS - TN - D_{od} \tag{2}$$

TS: 次の固定活動の開始時刻

TN: 現在時刻

D_{od} : 最も早く到達できる交通機関での、現在の場所から次の固定活動場所までの移動時間(ただし、現在場所が宅外である場合の最大在宅活動時間を算定する際には、現在場所から自宅、自宅から次の固定活動場所までの移動時間として求めた)

として求める。そして、想定時間分布モデルから求められる在宅活動や外食、買い物などの宅外自由活動の想定時間分布に基づいて、それぞれの活動時間が D_{free} を超過しない確率を求め、これを **ProbL** とした。また、選択肢集合に関しては、上述の **ProbL** が 10%¹⁵⁾を下回った活動の選択肢を削除するという方法で、特定化した。

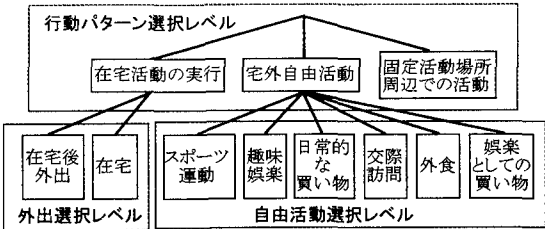


図-4 活動内容選択モデルにおける選択構造

表-3 活動内容選択モデルに用いた説明変数

○個人属性・世帯属性
年齢、性別、職業、世帯収入、免許保有の有無、世帯自動車保有台数
○活動パターン特性
・現在場所と次の固定活動場所の組み合わせを表すダミー変数
・各自由活動の活動時間が、プリズム制約により規定される最大活動時間よりも小さい確率(= ProbL)

以上の前提に基づいて、ダイアリーデータから抽出した活動内容選択行動のデータを用いて、最尤推定法で推定計算を行った。なお、推定の際には段階推定法を用いた。表-2 にはこのモデルの各レベルの χ^2 値、 ρ^2 値を示したが、いずれの指標についても良好な値が得られており、このモデルが十分にデータに適合していることが分かる。また、推定の結果からは、**ProbL** が大きい、すなわち、最大活動時間を超過しない確率が大きな活動ほど、選択される確率が大きい、等の結果が示されている。

一方、PCATS における仮想個人は、以上の方法で構築した活動内容選択モデルから出力される各選択肢の選択確率に基づいて、いずれかの選択肢を選択するものとした。ただし、選択肢集合については、 D_{free} が負となる活動内容の選択肢を削除するという形で特定化した。この点において、PCATS では、活動内容選択の選択肢集合形成において時空間プリズム制約、すなわち、coupling constraints¹⁴⁾を導入しているものと言える。

3. 3 交通機関・目的地選択モデル

交通機関・目的地選択モデルは、図-5 の選択構造を仮定し、表-4 の説明変数を用いたネスティッドロジットモデルを特定し、段階推定法を用い、最尤推定法に基づいて推定した。なお、推定にあたっては、想定時間分布モデル、活動内容選択モデルと同様のダイアリーデータから、交通機関・目的地選択行動データ¹⁶⁾を抽出し、これを用いた。ここで、**ProbG** は、**ProbL** と同様に、目的地での活動を実行する際の想定時間分布と、時空間プリズム制約より得られる目的地で実行可能な最大の活動時間(式(2)に示した D_{free})とに基づいて求めた。

また、交通機関の選択肢集合に関しては、公共交通機関、自動車、自転車、徒歩の4つとし、かつ、活動内容選択モデルと同様に coupling constraints を導入して、次の固定活動開始時刻にその場所に到達不可能な交通機関は、選択肢集合から削除した。特に、公共交通機関に関しては、選択時刻が営業時間外の場合、削除した。

さらに、自動車、自転車に関しては、現在の場所に利用可能な自動車、自転車が存在していない場合に削除した。なお、自動車保有台数が0台の世帯に関しては、自宅を起点とするトリップにおいては利用可能な自動車は無いのと仮定した。また、自宅や職場、あるいは後に再び戻ってくることを予定している場所には駐車(あるいは駐輪)が可能であるが、それ以外の場所では駐車(あるいは駐輪)は不可能と考えた。したがって、それらの場所以外に自動車(あるいは自転車)で訪れた場合には必ず自動車(あるいは自転車)を選択するものと考え、他の選択肢を全て削除した。

目的地選択レベルにおける選択肢集合は市区町村単位で設定した(174ゾーン)。目的地選択も、活動内容選択、機関選択と同様に coupling constraints を考慮して、いずれの交通機関を用いても到達不可能な目的地を選択肢集合から削除した。さらに、プロビットモデルの枠組みで、各目的地が選択肢集合に含まれるか否かを決定する目的地選択肢集合選別モデルを、パーソントリップデータに基づいて別途構築し¹⁷⁾、各目的地ごとに選択肢集合に含まれる確率を求め、その確率が10%¹⁸⁾を下回った目的地も選択肢集合から削除した。また、目的地選択レベルの推定計算を行う際、この確率を用いて、選択肢集合の不確実性を考慮した推定計算を行った²⁰⁾²¹⁾²²⁾。

以上の前提に基づいてモデルを構築した結果、表-2に示した様に、交通機関選択レベル、目的地選択レベルでの ρ^2 値がそれぞれ0.53、0.71と極めて高い値となった。これは、モデル推定時にそれぞれの選択肢集合を種々の制約条件を考慮した上で特定化したこと、ならびに、トリップのみを対象とした解析では導入することができないプリズム制約や想定時間分布を考慮して算定される ProbG 等の活動パターンについての説明変数を用いたこと等が原因であったものと考えられる。この結果は、交通行動モデルを構築する際に、選択肢集合の個人間の差異を十分に考慮することの重要性、ならびに、活動パターンを考慮することの重要性を示すものであると考えられる。

一方、PCATS 内の仮想個人は、交通機関・目的地選択の局面においては以上の枠組みで構築した交通機関・目的地選択モデルで出力される同時選択確率に基づいて、交通機

関選択の局面においてはこのモデルの交通機関選択レベルで算定される交通機関選択確率に基づいて、交通機関と目的地を決定するものとした。

ただし、交通機関選択肢集合については、推定時と同様に、1)次の固定活動場所に到達不可能な交通機関は削除する、2)営業時間帯以外では公共交通機関を削除する、3)その時点で存在している場所に自動車(自転車)が存在していない場合は自動車(自転車)を削除する、4)その場所に自動車(自転車)を駐車(駐輪)不可能な場合はそれ以外の交通機関は利用不可能、という形で特定化した。なお、PCATS において上記3)、4)といった自動車利用についての制約条件をモデルに導入することで、自動車保有/非保有、あるいは、通勤で自動車を利用する/利用しないといった条件が、その個人の交通行動、生活行動全般に及ぼす影響を的確に分析することが可能となるものと考えられる。

一方、目的地選択肢集合については、1)利用可能な交通機関のいずれを用いても到達不可能な地域は削除する、2)選択肢集合選別モデルで選別されなかった地域は削除する、という形で特定化した。

この様に、PCATS では、目的地・交通機関選択において、coupling constraints に加えて、種々の制約条件をモデルに導入している。この様な種々の制約条件は、時間軸上での個人の動きやそれに伴う自動車の存在位置を逐一再現することで、導入可能となったものと言える。

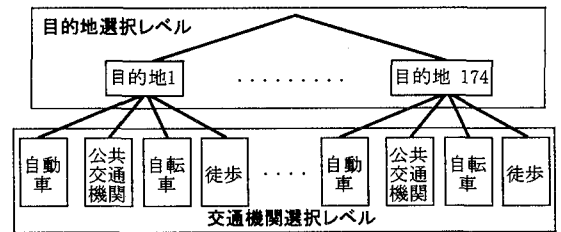


図-5 交通機関・目的地選択モデルにおける選択構造

表-4 交通機関・目的地選択モデルに用いた説明変数

○個人属性・世帯属性
年齢、性別、職業、世帯収入、免許保有の有無、世帯自動車保有台数
○目的地属性
目的ゾーンの人口、サービス事業所数、ODが同一ゾーンにある場合1となるダミー変数
○トリップ属性
交通機関別の時間、費用、乗り換え回数
○活動パターン特性
・活動時間が目的ゾーンでの実行可能な最大時間よりも長い確率(=ProbG)
・現在位置から目的ゾーンまで、および、その目的ゾーンから次の固定活動場所までの移動最小時間

3. 4 活動実行時間の決定

PCATS では、仮想個人の活動実行時間を決定する際、まず、現在位置と既に選択した交通機関と活動場所から、活動開始時刻を決定する。次に、活動開始時刻と活動場所、および次の固定活動の場所と開始時刻から、実行可能な活動時間の最大値(最大活動時間)を求める。そして、想定時間分布モデルより推定された想定時間分布を最大活動時間において打ち切り、想定時間分布を補整する²³⁾。この補整後の想定時間分布に基づいて、活動時間を決定する。

4. シミュレーションモデルの検証

ここでは、ダイアリーデータで得られた生活行動の実測値に基づいてシミュレーションを検定した結果について述べる。その際、生活行動を不備なく回答した 437 人を対象とした。

まず、各個人について 100 回のシミュレーション計算を行い、図-1 に示した出力(全自由時間帯における活動と移動の要素)を計算した。すなわち、各個人について、100 個の生活パターンを算定した。そして、各個人について算定された 100 個の生活パターンデータから、以下の 4 つの変数を求めた。

- ・総移動時間
- ・自宅での自由活動総実行時間(以下、総在宅自由時間)
- ・自宅以外での自由活動総実行時間(以下、総宅外自由時間)
- ・自宅以外での自由活動を実行した総回数(以下、総宅外自由活動数)

そしてそれぞれの指標について、各個人毎に平均を求め、その平均値をその個人についての予測値とした。なお、このように 100 回の計算の平均値を用いるのは、シミュレーション内の各サブモデルで乱数¹⁸⁾を使用することで生じる一個人についての内生変数のばらつきを除去するためである。

表-5 には、こうして得られた予測値分布と実測値分布との平均、それらが等しいという帰無仮説の下での t 値、および予測値と実測値との相関係数(重相関係数)を示した。表-5 より、総移動時間については、予測値と実測値との平均も近く、t 値も低く、両者の平均には有意差がないことが分かる。しかし、それ以外の指標についてはいずれも t 値が大きい。PCATS では在宅自由時間を約 26 分過大に、総宅外自由活動数を約 0.2 回、宅外自由時間を約 17 分過小に評価している。ただし、在宅自由時間、宅外自由時間の重相関係数はそれぞれ 0.70、0.51 と良好な値を示している。また、総宅外自由活動数については、重相関係数が 0.36 と他の指標と比較して十分に高い値を示してい

るとは言い難いが、これは、今回用いたサンプルには、総宅外自由活動数が 0 であるサンプルが多く含まれていたことが原因であると考えられる¹⁹⁾。ただし、総宅外自由活動数は、自由目的での交通発生量を直接意味する指標であり、従来の自由活動目的の交通発生モデルの適合度^{24) 25)}と比較しても、必ずしも低い水準であるとは言えない。

以上の検定結果より、PCATS では、総宅外活動数を過小に予測する一方で、総宅外自由活動数、総宅外自由時間を過大に予測する傾向にあるものの、移動時間については適切に再現していること、ならびに重相関係数に基づいて評価した場合にはシミュレーションモデル全体の適合度は必ずしも低いとは言えないことが分かった。

表-5 シミュレーションの検定結果

	予測値 平均	実測値 平均	t 値	重相関 係数
総移動時間	133.1分	125.2分	1.44	0.68
総在宅自由時間	240.8分	267.4分	-2.5	0.70
総宅外自由時間	83.89分	66.46分	2.79	0.51
総宅外自由活動数	0.78回	0.58回	2.99	0.36

サンプル数:437

5. シミュレーションモデルの適用

本シミュレーションを用いて、表-6 に示す仮想的な個人の仕事終了時刻 17 時から、就寝時刻 24 時までの 7 時間にわたる自由時間帯における生活行動の軌跡を、

- ケース 0) 生活環境に変化なし。
- ケース 1) 仕事終了時刻が 18 時になる。
- ケース 2) 自動車保有台数が 0 となる。
- ケース 3) 自動車通勤時間が 30 分長くなる。

のそれぞれのケースにおいて 100 回ずつ再現した。そして、仕事終了後直接自宅に帰る場合を「直帰」、仕事終了後帰宅途上でいずれかの場所で自由活動を一回実行する場合を「寄り道」、仕事終了後直接自宅に帰り、その後に出出して自由活動を一回実行して再び帰宅する場合を「外出」として、それぞれのパターンの再現頻度を求めた。それと共に、各ケースでの移動時間、在宅自由活動時間、宅外自由活動時間のそれぞれの平均を求めた。以上の計算結果を表-7 に示す。

いずれのケースに着目しても、「その他」パターンの再現頻度が低いという結果となった。この結果は、就業者が勤務終了後に複数個の自由活動を実行する割合が低い⁹⁾ことを反映しているものと考えられる。次に、就業時刻が 1 時間遅くなるケース 1) に着目すると、直帰頻度が高くなることが示されている。また、自由時間帯が 60 分短縮されることで移動時間、在宅自由時間、宅外自由活動時間のいずれもが短縮され

ていることが分かる。自動車保有台数が0となるケース2)の場合には、この仮想個人は通勤手段を公共交通機関に変更せざるを得ない。ネットワーク属性データでは、大阪市北区-貝塚市間の公共交通機関所要時間の方が、大阪市北区-貝塚市間の自動車所要時間よりも長い為、ケース0)よりも直帰頻度が高くなっていること、ならびに、移動時間平均が長くなっていることが表-7 から分かる。また、移動時間が増加したことで、在宅自由時間、宅外自由時間も減少していることが示されている。通勤時間が30分増加するケース3)の場合も、直帰頻度が高くなっていることが分かる。ただし、移動時間平均の増加量は約22分(=87.1 - 64.5)である。これは、直帰する頻度が高くなったことに加えて、寄り道や外出する際の自由活動をケース0)よりも近い場所で実行していることが原因である。

表-6 仮想個人の属性と固定活動スケジュール

○個人属性・世帯属性 54才、男性、会社員、世帯収入1500万円、 免許保有歴30年、世帯自動車保有台数1台
○固定活動スケジュール 職場での仕事終了時刻:17時 自宅での終身時刻:24時 (ただし、居住地域:貝塚市、職場地域:大阪市北区) 通勤交通機関は、自動車に固定

表-7 仮想個人の生活行動の再現結果

	直帰	寄り道	外出	その他	移動時間平均	在宅自由時間平均	宅外自由時間平均
ケース0	84回	8回	7回	1回	64.5分	343.0分	12.5分
ケース1	91回	5回	4回	0回	59.5分	294.6分	5.9分
ケース2	89回	6回	8回	0回	87.4分	322.7分	9.9分
ケース3	90回	6回	2回	2回	87.1分	326.9分	5.9分

以上の仮想計算結果から自由時間帯の時間の短縮や移動時間の増加が、個人の自由活動の実行を妨げていることが分かった。それに加えて、PCATS を用いることで、生活環境、交通環境の変化に伴う個人の交通行動の変化を、生活行動全般を再現することで分析可能であることが示された。

6. おわりに

本研究では、個人の一日の行動軌跡を再現する行動マイクロシミュレーション PCATS を構築した。PCATS は、複数の意思決定時点を仮定して、個人の時間軸上の意思決定を逐次的、段階的に再現するものである。個々の意思決定については、活動内容選択モデル、交通機関・目的地選択モデル等のサブモデルを用いて再現した。これらのサブモデルを用いて個々の意思決定を再現するにあたり、それぞれの選択肢集合を、現在位置と時刻、次の固定活動の開始時刻と場所に基いて特定化される時間的、空間的な制約条件、および、coupling constraintsを明示的に考慮したうえで、

特定化した。また、各効用関数の中には、時間的、空間的制約条件から導かれる種々の指標を導入し、制約条件下での意思決定の再現を図った。

個々のサブモデルは、ダイアリー調査から得られたデータに基づいて構築した。特に、交通機関、目的地選択モデルを構築した際に得られた適合度は極めて高いものであった。このことから、交通行動モデルを構築する際には、生活行動を考慮することが重要であること、ならびに、プリズム制約、自動車の利用可能性等の種々の制約条件を考慮することが重要であることが分かった。

また、実測値を用いたシミュレーションモデルの検定計算からは、移動時間については適切な再現がなされているが、在宅自由時間を過小に、宅外での自由活動数、自由時間のそれぞれを過大に予測していることが示された。この結果は、本モデルが未だ発展の途上にあり、活動内容選択モデルを再推定するなど、様々なモデル改良が必要であることを示している。しかし、予測値と実測値との重相関係数については、良好な値が得られていることが分かった。それに加えて、仮想的な状況を設定して仮想的な個人の生活行動の軌跡を再現した計算結果からは、従来のアプローチでは評価することが困難であった移動時間の増減や勤務時間帯の変化等が生活行動全般に及ぼす影響を評価できることが分かった。今後、具体的な交通政策の評価に適用するために、より多くの交通政策を評価するための検討を行うと共に、シミュレーションの予測精度の向上を図るための各サブモデルの再推定、ならびに、複数の活動、移動の要素を同時に決定するものと仮定したシミュレーションモデルの開発等が必要であるものと考えられる。

謝辞:本研究を遂行するにあたり、調査の実施において阪神高速道路公団に全面的なご協力頂いた。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。ここに記して感謝の意を表します。

注

- [1] PCATS では、機関別 OD 所要時間、所要費用等を外生データとして入力する。そして、シミュレーション内の仮想個人があるゾーンからあるゾーンへ移動する場合、データとして入力されている OD 所要時間、OD 所要費用が必要とされるものと考えている。なお、出発ゾーンと目的ゾーンが等しい場合の所要時間、費用としては、H3 年京阪神パーソントリップ調査データに基づいて求めた各ゾーン(市区町村)別の平均値を用いた。
- [2] 本研究では、固定活動スケジュールは予め完全に決められているものと仮定する。しかし、フレックスタイム制が導入されている場合などでは、仕事の実行、ならびに、おおよその勤務時間が固定されているが、開始時刻、終了時刻についてはある程度選択可能である。これらの部分的に固定された活動についてのモデル化については、今後の検討していく必要があるもの

と考えられる。

- [3] 以下の(1), (2), (3)より, 仮想個人の個々の活動の開始時刻, 終了時刻, 内容, 場所, ならびに, 移動の出発時刻, 到着時刻, 目的地, 出発地, 移動時間は, 個々の活動の活動の場所, 時間, 内容と個々の移動の交通機関の4項目を意思決定することで特定される。(1)個々の活動の開始・終了時刻, 個々の移動の出発時刻, 到着時刻のそれぞれは, 自由時間帯の初期時刻(入力データとして与えられるその自由時間帯の直前の固定活動終了時刻時刻)と連続する個々の活動時間, 移動時間で特定される。(2)個々の移動の出発地, 目的地は, それらの移動の前後の活動場所に等しい。(3)本研究では, 個々の移動の移動時間は, 交通機関機関, 出発地, 目的地と入力データである交通ネットワーク属性によって一義的に決定されるものと仮定している。
- [4] 例えば, 活動数が1個, 移動数が2個であると決まっている場合でも, 目的地数が10, 活動内容数が5, 交通機関数が4の場合には, 実行可能な生活パターンは $10 \times 5 \times 4^2 = 800$ 個にもなる。ここで, 活動数や移動数, ならびに, 活動時間も自由に決定できるものと仮定すれば, あるいは, 本研究の様に活動場所として174個のゾーンを考慮していれば, 生活パターン選択肢集合は極めて大きなものとなることが容易に理解されよう。
- [5] 判定基準としてしばしば有意水準として用いられる10%という値を用いているが, この点については今後検討を加える必要がある。
- [6] PCATS では, 逐次的な意思決定過程を仮定している。したがって, 推定計算のために用いたデータセットを作成するにあたって, ある自由活動とその直前に実行された移動の開始時点に, それらの活動と移動についての意思決定時点があるものとする。この考え方に基づいて, ダイアリーデータから交通機関・目的地選択行動データを抽出した。
- [7] 目的地選択肢集合選択モデルとして, 個々の目的地が活動場所として認知されている(選別される)か否か(選別されない)を決定するものであり, 以下の Probit モデルの枠組みで²⁶⁾構築した。
- $$d_i = \begin{cases} 0 & \text{if } (w_i < \theta) \\ 1 & \text{if } (w_i \geq \theta) \end{cases} \quad (\text{A-1})$$
- $$w_i = \mathbf{aX}_i + \varepsilon_i \quad (\text{A-2})$$
- d_i : 目的地 i が選別されていれば1, それ以外0
 $\mathbf{a}$: パラメータベクトル
 $\mathbf{X}_i$: 目的地 i の説明変数ベクトル
 ε_i : 正規分布に従う誤差項
- 本研究では, 説明変数として, 目的地のサービス事業所数, ならびに, その目的地へ立ち寄ることで増加する所要時間を用いることとした。未知パラメータ $\mathbf{a}$ を推定するにあたり, 平成2年度のパーソントリップデータから上記の2要因についてのトリップ数クロス集計表を作成した。そして, パersoントリップ調査では十分に大きな数のトリップが得られているものと仮定し, このクロス集計表の各セルをサンプルとして, そのセルに含まれるトリップ数が1の場合は $d_i=1$, 0の場合は $d_i=0$ として推定計算を行った。推定の結果, ρ^2 値が0.67と高い適合度が得られた。また, サービス事業所数が多く, 立ち寄ることで増加する所要時間が短い地域は選別される確率が高いことが示された。
- [8] PCATS では, 目的地, 交通機関, 活動内容, 活動時間, ならびに, 目的地の認知状況のそれぞれを決定する際, それぞれについてのサブモデルの誤差項を, その分散, 平均の推定値等に基づいてランダムに生起させている。
- [9] 一般に, 0 が多く含まれる変数は, 重相関係数が小さくなる傾向がある。

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) Kitamura, R. and Lam, T.N.: A Time Dependent Markov Renewal model of Trip Chaining, *Transportation and Traffic Theory*, pp. 376-402, 1983.
- 3) Robinson, J. P., Kitamura, R., Golob, T.F., Daily Travel in the Netherlands and California: a Time-Diary Perspective, 1992.
- 4) 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・活動時間・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, No. 17, pp. 209-212, 1995.
- 5) 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, No. 562/IV-35, pp. 109-120, 1996.
- 6) 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, No. 562/IV-35, pp. 83-96, 1996.
- 7) 藤井聡, 瀬戸公平, 北村隆一: 交通政策の質的評価を目指した交通行動モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, No. 18, pp. 301-304, 1995.
- 8) Adler T. and Ben-Akiva, M.: A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behavior, *Transportation Research B*, Vol. 13B, No. 3, pp. 243-257, 1979.
- 9) 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.
- 10) Suparnak, J.: Temporal Utility Property of Activities and Travel, Uncertainty and Decision Making, *Transportation Research B*, Vol. 26B, No. 1, pp. 61-76, 1992.
- 11) Kitamura, R., Yamamoto, T., Fujii, S. and Sampath S.: 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, 1996.
- 12) Kitamura, R., Pendyala, R.M., Pas, E.I.: Application of AMOS, An Activity-Based TCM Evaluation Tool to the Washington, D.C., Metropolitan Area, *Proceedings of Seminar E held at the PTRC European Transport Forum*, Vol. P392, pp. 177-190, 1995.
- 13) 森川高行, 佐々木邦明, 東力也: 観光系道路網整備評価のための休日周遊行動モデル分析, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 539-547, 1995.
- 14) Hagarstrand, T.: What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21, 1970.
- 15) 近藤勝直: トリップチェーン形成過程のプリズム効果モデル, 土木学会論文集, No. 377/IV-6, pp. 71-78, 1987.
- 16) 西井和夫, 近藤勝直: 鉄道利用通勤者の時空間プリズムに着目した交通パターン分析, 土木計画学研究・論文集, No. 7, pp. 139-146, 1989.
- 17) 大橋靖雄, 浜田知久馬: 生存時間解析東京大学出版会, pp. 18-24, 1995.
- 18) Lindh, C., Dellaert, B. and Ettema, D.: Longer Term Activity Scheduling of Overnight Long Distance Trips: A Longitudinal Telephone Survey, prepared for the conference "Activity Based Approaches: Activity Scheduling and the Analysis of Activity Patterns", Eindhoven, The Netherlands, 1995.
- 19) Kitamura, R., Fujii, S. and Otsuka, Y., An Analysis of Induced Travel Demand Using A Production Model

- System of Daily Activity and Travel Which Incorporates Time-Space Constraints, Presented at The 5th World Congress of the Regional Science Association International, Tokyo, 1996.
- 20) 長沢圭介, 藤井聡, 北村隆一: 個人の選択肢集合の不確実性を考慮した生活パターン選択モデルの構築, 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 332-333, 1996.
 - 21) 長沢圭介, 藤井聡, 北村隆一: 効用理論に基づく生活パターン選択行動を考慮したアクセシビリティ指標の開発, 土木計画学研究・講演集 No. 19, pp. 341-344, 1996.
 - 22) Ben-Akiva, M., and Lerman, S.R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 217-252, 1985.
 - 23) Maddala, G.S.: *Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge University Press, pp.149-196, 1983.
 - 24) 藤井聡, 木村誠司, 北村隆一: 選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.613-622, 1996.
 - 25) 荒木敏, 藤井聡, 北村隆一: 交通行動分析に基づいた個人の生活圏に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 17, pp. 35-38, 1995.
 - 26) 森川高行・竹内博史・加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 117-124, 1991.
 - 23) Maddala, G.S.: *Limited Dependent and Qualitative*

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

藤井 聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸

本研究では、個人の生活行動の再現を図る際に重要な制約条件であるプリズム制約を考慮した上で、個人の生活行動に関する意思決定を時間軸上で逐次再現し、それに伴う生活行動の軌跡を生成する生活行動マイクロシミュレーションを構築をした。本研究では、これを PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator) と呼ぶこととした。PCATS は活動内容選択モデル、交通機関・目的地選択モデルなどのサブモデルで構成されており、それぞれサブモデルをダイアリー調査から得られたデータに基づいて構築した。モデル推定においては、交通行動モデルの構築にあたり、個々の移動を独立に解析するのではなく、一日の生活行動全般を考慮することが重要であること、ならびに、プリズム制約等の制約条件を十分に考慮することが重要であることが示された。最後に、いくつかの条件下での仮想的な個人の生活行動を再現することで、従来のアプローチでは評価することが困難であった、移動時間の増減や勤務時間帯の変化等が生活行動全般に及ぼす影響を、本研究で提案するシミュレーションアプローチに基づいて評価できることが分かった。

A micro-simulation model system of individuals' daily activity behavior that incorporates spatial, temporal and coupling constraints

Satoshi Fujii, Yuichiro Otsuka, Ryuichi Kitamura and Toshiyuki Monma

A micro-simulation model system of individuals' daily activity behavior is presented. This simulation model incorporates spatial, temporal and coupling constraints that restrict individuals' daily activity behavior. The model system, entitled PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator), is composed of an activity choice model, a mode and destination choice model and activity duration models. The parameters contained in these sub-models are estimated using activity diary data. The estimation results point to the importance of treating daily activity and travel as a whole, and incorporating time-space constraints into analysis. PCATS is applied to estimate the effect of hypothetical transportation policies on an imaginary individual. The results indicate that PCATS can estimate the effect of change in work-hours or commuting time on individuals' activity and travel behavior.