

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*

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

1. はじめに

近年、種々の交通問題の緩和を目的とした政策として、交通需要管理の考え方に基づいたフレックスタイムや週休二日制といった政策の必要性が高まっている。それらの政策は個人の交通行動だけでなく、生活行動全般に影響を及ぼしたがって、個人の生活行動を考慮したアクティビティ分析のアプローチに基づいた交通解析手法が必要となっている¹⁾。個人は時間軸上で様々な活動を実行しつつ、活動の内容、場所、時間等に関する意思決定を逐次行っているものと考えられる。この点に着目して、生活行動の再現を目指したシミュレーションモデルとして AMOS²⁾、また観光地での周遊行動についてのマイクロシミュレーションモデルが森川ら³⁾によって提案されているが、本研究では、時間的・空間的制約条件に注目し、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の構築を目指す。本研究では、これを PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator) と呼び、時間的・空間的な制約条件下での個人の意思決定を時空間プリズム制約⁴⁾の考え方に基づいて再現する。PCATS を用いることで、フレックスタイムなどの個人の時間的制約の変化等の生活環境の変化に伴う生活行動の変化を予測することができ、個人の生活と密着した形での詳細な交通政策評価が可能となる。

2. 個人の意思決定過程のモデル化

本研究では、個人の1日における全ての時間帯は、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の要素を決定することが可能であると考ええる。

本シミュレーションでは、図-1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」と呼ぶ。そして、個人のある自由時間帯 j における意思決定を図-2の様にモデル化する。図-2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-1参照)。

意思決定時点において、個人はまず活動内容選択を行うものとする。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。

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。「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。

「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に、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。

活動内容選択において、いずれかの「宅外自由活動」を選択した場合には、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。

「固定活動場所周辺の活動」を選択した場合は、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

キーワード: 交通行動分析, アクティビティ分析

* 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

*** 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)

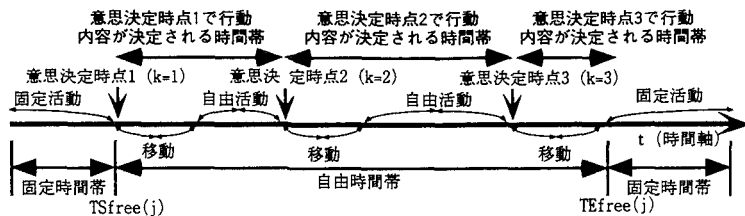


図1 自由時間帯における時間軸上での意思決定時点

のと考えた。ここでは、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、想定活動時間を以下のようなワイブル分布を仮定した

Duration Model⁹⁾を用いてモデル化し、ダイアリーデータから得られた活動時間の分布に基づいて、在宅時間と宅外自由活動(スポーツ運動、趣味・娯楽等)のそれぞれについて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(ワイブル分布に従う確率変数)

B : パラメータベクトル

X : 説明変数ベクトル

(2) 活動内容選択モデル

活動内容選択を図-3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-1の説明変数を用いた。ここで、表-1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、

$$D_{free} = TS - TN - D_{od} \quad (1)$$

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

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% 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。

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。推定の結果、**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い活動ほど、選択される確率が大きいという妥当な結果が得られた。

(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-4の選択構造を仮定

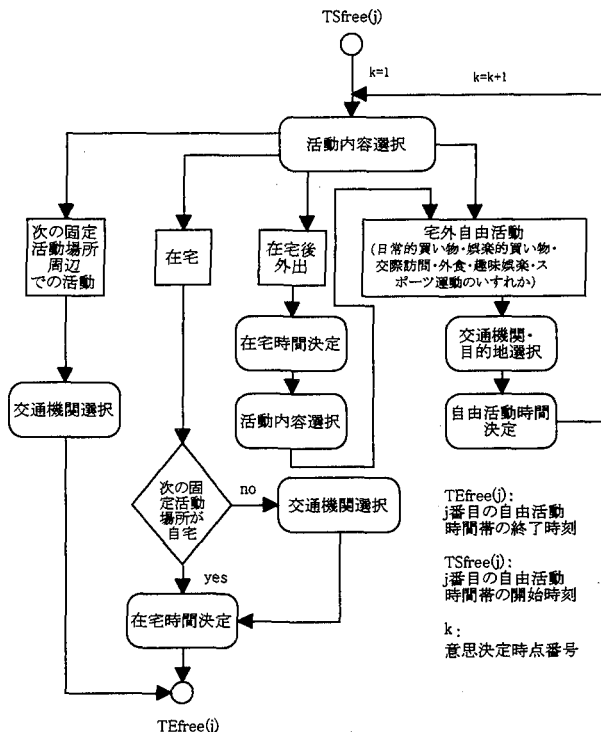


図-2 自由時間帯での意思決定過程

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、および活動時間に関する意思決定と、それぞれの意思決定を再現するために構築したモデルに関して述べる。なお、モデルの構築にあたっては、大阪湾岸線の居住者を対象として1995年6月に実施したアクティビティダイアリー調査⁷⁾で得られたデータを用いた。

(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

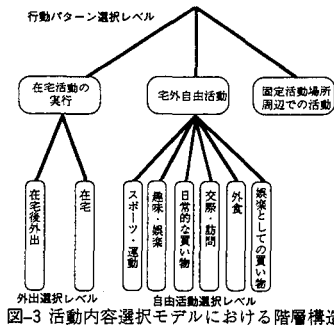


表-1 活動内容選択モデルの外生変数

・年齢	・職業
・性別	・免許保有の有無
・自動車保有台数	・選択時刻
・現在場所と次の固定活動場所の組み合わせを表すゲーム変数	
・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小さい確率 (= $ProbL$)	

表-2 交通機関・目的地選択モデルの外生変数
機関選択レベル

・年齢	・職業
・性別	・免許保有の有無
・自動車保有台数	・選択時刻
・世帯収入	
・目的地までの機関別の時間、費用、乗り換え回数	
・ODが同一市区町村にある場合1となるゲーム変数	

目的地選択レベル

・目的地の人口、商業事業所数
・活動時間が目的地での実行可能な最大時間よりも長い確率 (= $ProbG$)
・目的地までの所要時間と目的地から次の固定活動場所までの移動最小時間
・ODが同一市区町村にある場合1となるゲーム変数

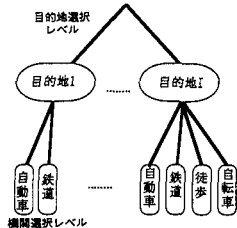


図-4 交通機関・目的地選択モデルにおける階層構造

し、表-2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。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、電車、自動車、自転車、徒歩の4つを考慮し、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。すなわち、機関選択に関する coupling constraints⁴⁾をモデルに組み込んだ。また、電車に関しては、選択時刻が営業時間外の場合、削除した。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ないものと仮定した。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(163ゾーン)。目的地選択も、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、目的地選択肢集合を規定する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⁷⁾、各ゾーンごとに選択肢集合に含まれる確率を求め、その確率が10%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⁸⁾。

(4) 活動実行時間の決定

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⁹⁾。この補正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356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、それぞれのシミュレーション計算結果から、以下の一日の活動を通じての4つの内生変数を求めた。

- ・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を使用する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-3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記無仮説の下での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-3より、総移動時間、総在宅自由時間については、予測値と実測値との平均も近く、t値も低く、そして、重相関係数も0.64、0.70と良好な結果となっていることが分かる。

表-3 シミュレーションの検定結果

	予測値 (分)	実測値 (分)	t 値	重相関 係数
総移動時間	119.93	120.35	-0.08	0.64
総在宅自由時間	253.78	271.64	-1.42	0.70
総宅外自由時間	73.92	60.03	2.06	0.51
総宅外活動数	0.66	0.36	4.51	0.09

サンプル数:356人

しかし、総宅外自由時間については、重相関係数が0.51となったが、予測値の方が有意に大きいことが示された。また、総宅外活動数については、予測値の方が有意に大きく、かつ、重相関係数からも低い水準となっている。これらの検定結果より、本シミュレーションでは、総宅外活動数を過小に予測する一方で、総宅外自由時間については過大に予測する傾向にあることが分かった。これより、一回あたりの自由活動の実行時間を過大に予測していることが分かる。しかし、総宅外自由時間、については、適切な予測がなされていることが分かった。

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-4に示す仮想的な個人の生活行動の軌跡を、

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) 通勤時での自動車利用が不可能となる。

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回ずつ再現した結果を、表-5に示す。表-5から、仕事終了時刻が伸びて自由活動時間が減少することで、あるいは、通勤時間が増加することで、寄り道や外出等の回数が減少する等、妥当な計算結果となっていることが示されている。

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ために、時間軸上での意思決定過程を逐次再現する行動マイクロシミュレーションを構築した。その際、時間的、現在位置と時刻、次の固定活動の開始時刻と場所に基づ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、交通機関、目的地、活動内容のそれぞれの選択肢集合を特定化した。また、各効用関数の中に、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。ダイアリ調査から得られたデータに基づいて各サブモデルを推定した。また、実測値を用いた構築したシミュレーションモデルの検定を行い、在宅時間、移動時間については適切な再現

表-4 仮想個人の属性

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、居住地域：貝塚市、職場地域：大阪市北区
・通勤交通機関：自動車
・仕事終了(at 職場)時刻：17:00
・就寝(at 自宅)時刻：24:00

表-5 シミュレーションによる再現結果

	直帰		寄り道		帰宅後外出		その他	
	選択回数 (回)	移動時間 (分)	選択回数 (回)	移動時間 (分)	選択回数 (回)	移動時間 (分)	選択回数 (回)	移動時間 (分)
ケース0	84	51	8	122	7	159	1	-
ケース1	91	51	5	114	4	184	0	-
ケース2	89	79	6	135	5	179	0	-
ケース3	90	81	6	136	2	214	2	-

(注意) 直帰：仕事終了後すぐ帰宅

寄り道：仕事終了後一回寄り道した後に帰宅

帰宅後外出：仕事終了後すぐに帰宅し一度外出

がなされているが、自宅以外での自由活動回数を過大に予測する等の問題点が明らかとなった。この結果は、本モデルが未だ発展の途上にあり、活動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、最後に示したように、仮想的な状況を設定し、仮想的な個人の生活行動の軌跡を再現した結果からは、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、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。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、予測精度の向上を目指したモデルの改良を行う予定である。

参考文献

- 1) 北村隆一：時間利用データを用いた交通行動分析一次世代の交通計画に向けて、交通工学、Vol. 29, No.1, pp. 11-13, 1994.
- 2) 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. 177-19, 1995.
- 3) 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.
- 4) Hagerstrand, T.: What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21, 1970..
- 5) 北村隆一, 藤井聡, 門間俊幸：時間利用パターンを考慮した就業者の交通行動分析, 土木計画学研究・講演集 18(1), 1995
- 6) 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.
- 7) 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, 印刷中, 1996
- 8) Ben-Akiva, M., and Lerman, S.R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 217-252, 1985.
- 9) Maddala, G.S.: *Limited-dependent and variables in econometrics*, Cambridge University Press, PP.149-196, 1983.