

ツアーコンセプトによる交通行動マイクロ・シミュレーション・モデルの開発*

Development of an Activity-based Microsimulation Model for Daily Travel based on Tour Concept

加藤研二**, 松下健介***, 松本昌二****, 佐野可寸志*****

Kenji KATO, Kensuke MATSUSHITA, Shoji MATSUMOTO and Kazushi SANO

1. はじめに

従来、個人の交通行動の解析を目指す時、個々のトリップをモデル化する trip-based approach を用いることが一般的であった。しかしながら、個々の交通行動と活動との間には相関があることが考えられる。そこで近年においては、個々の活動とトリップの関係を考慮し、時間軸を組み込んだ活動ベースモデルが開発され、さらに個人毎に追跡をおこなうマイクロ・シミュレーション・モデルが開発されてきている。Kitamura ら¹⁾、黒川ら²⁾、瀬戸ら³⁾は構造方程式を用いたモデル、Becker⁴⁾、藤井⁵⁾、Bowman et. al.⁶⁾は効用理論の枠組みに基づくモデル、あるいは個人の生活パターンを試行錯誤の繰り返しとみなし、それを複数のサブモデルの組み合わせで再現する Kitamura et. al.の AMOS⁷⁾、Graling et. al.の SCHEDULER⁸⁾などのモデルが開発されている。

一方、モデル化の手法に関しては、既存手法に加えてニューラルネットワークモデル（以下 NN モデル）などのソフトコンピューティングの手法が適用されはじめている。⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

また、活動ベースのモデルの中で、比較的構造が簡単で実用性が高いと思われるのは、Bowman 等がポートランド都市圏において適用し提案した「ツアーコンセプト」に基づくモデルである。そこで、本研究では、就業者を対象とした「ツアーコンセプト」に基づく交通行動マイクロ・シミュレーション・モデルを開発することを目的とし、モデル化の手法は、人間の曖昧性や高度な非線形構造を表現できる NN モデルを用い、その適用性および有用性を検討する。

2. 個人の意志決定過程

(1) ツアーの定義

個人は日常的に自宅をベースとした活動パターンをとると考えられる。この中で自宅→仕事→自宅というように家を出てから帰宅するまでの連続的な活動とトリップを「ツアー」と定義する。図-1 に仕事を主活動とする

主ツアーを示す。また、ツアーの中で自宅と主活動地の間の途中の寄り道を「中間ストップ」、主活動地からのツアーを「サブツアー」、いったん自宅に戻ってからのツアーを「2次ツアー」と呼ぶ。

(2) ツアーにおける活動パターン

ツアーの中の活動目的を仕事・業務などの Work (W)、生活を維持するために必要な買物・送迎などの Maintenance (M)、スポーツ・娯楽などの Discretionary (D)、の3つに大きく分ける。本研究では、このツアー・活動目的および活動場所が自宅 Home (H) であるか否かの組み合わせにより個人の一日の活動を Work on Tour (WT), Work at Home (WH), Maintenance on Tour (MT), Maintenance at Home (MH), Discretionary (D) の5つの活動パターンを定義する。¹¹⁾

(3) 個人の1日の意志決定過程

以上のツアーコンセプトに基づいて、個人の1日の活動・交通行動を考える。個人の1日の活動には、「活動パターン選択」、「中間ストップ選択」、「活動時間帯選択」、「目的地選択」、「交通手段選択」の5つの意志決定要素が存在していると仮定した。実際の交通行動では、活動・移動・目的地・交通手段といった要素を同時に決

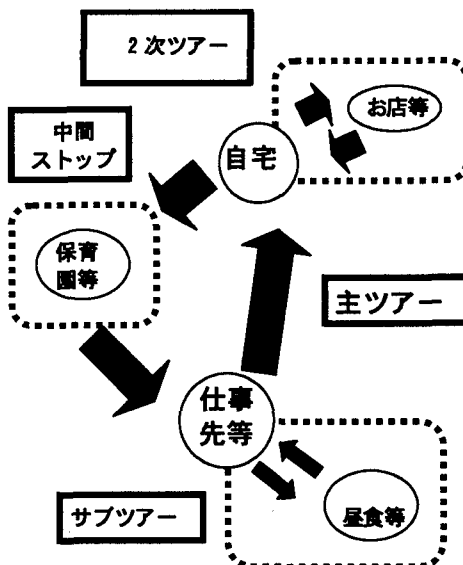


図-1 ツアーコンセプト図

* Key Word : 交通行動分析, TDM

**正会員 工修 阿南工業高等専門学校建設システム工学科 助手

(〒 774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265

TEL:0884-23-7185, FAX:0884-23-7199)

***正会員 工修 株式会社トーニチコンサルタント

****正会員 工博 長岡技術科学大学 環境・建設系教授

*****正会員 工博 長岡技術科学大学 環境・建設系助教授

定する場合もあれば、逐次的に決定する場合もあると考えられる。そこで本研究では、各要素を同時に決定する場合、逐次的に決定する場合、および各要素の決定がそれぞれの要素を決定する時に影響を与える場合という3つの決定過程を仮定した。

3. ミクロ・シミュレーション・モデルの概要

ここでは、前章で示した交通行動を決定するであろう3つの意志決定過程それぞれに対応する NN モデル^[1]を用いたミクロ・シミュレーション・モデルについて述べる。

(1) 同時に意志決定した場合

この場合は、図-2のように主ツアーの5つの意志決定要素を同時に決定する。その後、2次ツアーの有無を判断し、2次ツアーが有る場合は2次ツアーの意志決定要素を同時に決定後、それ以降の2次ツアーの有無を決定する。最終的に主ツアー、2次ツアーが終了した時点でそれ以降の2次ツアーが無い状態になれば終了とする。ここで、主ツアーと2次ツアーの意志決定要素を同時に決定することも考えられる。しかし、個人の1日の行動を考えた場合、複数のツアーの要素を自宅を出発する時に同時に決定しているとは考えにくい。また、2次ツアーの行動は、主ツアーによって大きく影響を受けると考えられるので、主ツアーが2次ツアーの意志決定に影響を及ぼすことが考慮できるようにモデルを構築した。このモデルを「同時決定モデル」と呼ぶこととする。

(2) 逐次的に意志決定した場合

この場合は、図-3に示すように、はじめに主ツアーの5つの意志決定要素と2次ツアーの有無をサブモデル

を用いて逐次的に決定し、主ツアー、2次ツアーが終了した時点で、それ以降の2次ツアーがなければ終了とする。

また、ある要素がそれ以降の意志決定に及ぼす影響を、その意志決定の結果を次の意志決定サブモデルの外生変数として用いることにより考慮した。このモデルを「逐次的モデル」と呼ぶこととする。

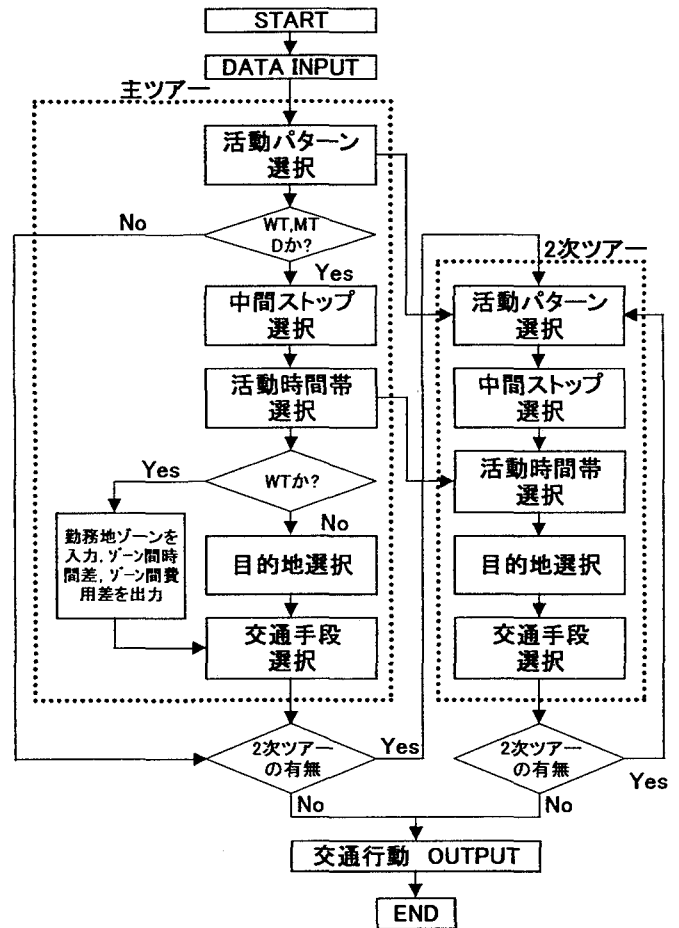


図-3 逐次的モデル

(3) 各意志決定が相互に影響を与えながら意志決定した場合

この場合は、図-4に示すように(2)のモデルと同じように主ツアーの5つの意志決定要素と2次ツアーの有無の決定に各サブモデルを用い、主ツアー、2次ツアーが終了した時点で、それ以降の2次ツアーがなければ終了とする。基本的には(2)のモデルと同じ構造を持っているが、個人がツアーを決定する際に、仮定した5つの意志決定要素が相互に影響を与えていることも考えられる。そこで、はじめに逐次的に主ツアーの5つの意志決定要素を一通り決定し、その活動時間帯、交通手段等の結果を、最初の「活動パターン選択」のサブモデルに外生的に与え、もう一度、逐次的に5つの意志決定をおこなう。また、2次ツアーにおいても主ツアーと同様に各意志決定をおこなうものとする。

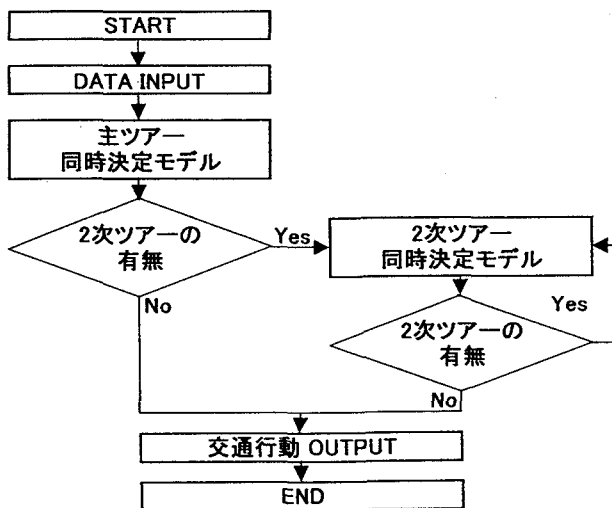


図-2 同時決定モデル

しかし、シミュレーション時においては、活動時間帯、交通手段等の各意志決定要素は最初の段階では不明である。そこで、はじめは、(2)のモデルで推計したときと同じように、個人属性等の指標だけを用い推定し、各要素の決定結果を他の意志決定要素のサブモデルの外生変数として用いることとした。このモデルを「フィードバックモデル」と呼ぶこととする。

また、各モデルとも説明変数として性別、年齢、続柄、職業等の個人属性、世帯人数、保有台数等の世帯属性を用いることとする。

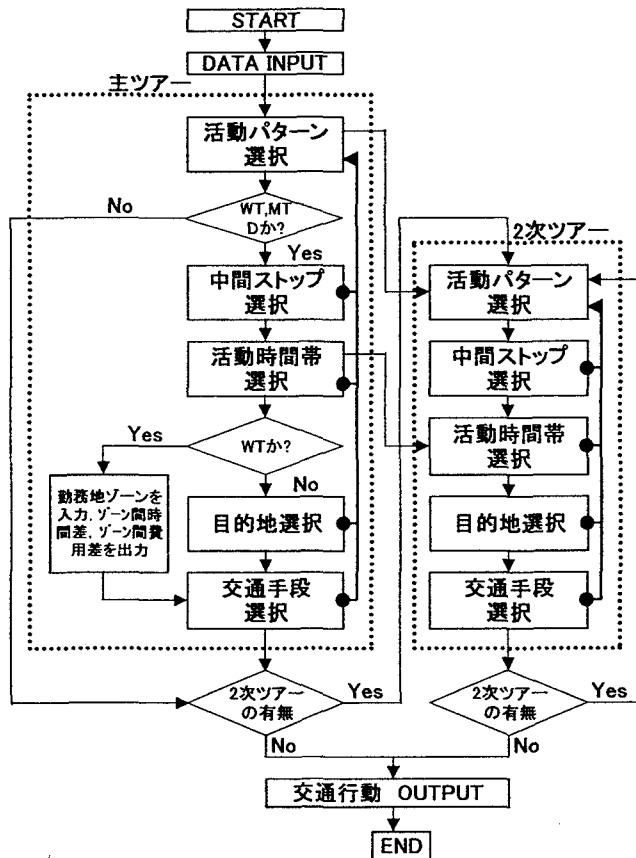


図-4 フィードバックモデル

4. サブモデルの推定

(1) 使用データの概要

本研究で構築するモデルの実証分析をおこなうために、1999年7月に新潟県新潟市において、無作為に抽出した新潟市に住む2,016世帯の高校生以上の世帯全員を対象に、独自のダイアリー調査をおこなった。⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾新潟市を対象とした理由は、新潟県の中心都市である新潟市方面への通勤者についてP&Rの可能性を検討するためであった。調査票は既往の研究で用いられた調査票を参考にし、活動と移動を順に記入する形で設計した。調査票の回収は、郵送回収の形でおこなったため、回収数は353世帯(回収率:15.3%)と低い値となってしまった。(表-1参照)

ダイアリー調査の集計結果の一部を表-2に示す。これより、就業者は圧倒的に自動車を利用する人が多く、非就業者においても自動車を利用する傾向があることが分かる。

本研究では、このダイアリー調査によって得られたデータを利用しモデルの推定をおこなう。ここで、逐次のおよびフィードバックモデルのサブモデル推定には、欠損値がなかった有効票659サンプルのうち就業者である556サンプルを用いた。また、各マイクロ・シミュレーションモデル推定には、556サンプルのうち同時決定モデルに用いることができないサンプルを除いた536サンプルを用いた。

表-1 新潟市ダイアリー調査の概要

調査日	1999年7月22日
配布世帯数(郵送)	2,016
"(P&R利用者)	324
回収世帯数	353
回収率 (回収世帯数/配布世帯数)	15.3%
有効票(世帯)	259
有効回答率 (有効票/回収世帯数)	73.4%
有効票(個人)	659

表-2 交通手段

交通手段	就業者		非就業者	
	人数	[割合(%)]	人数	[割合(%)]
自動車	216	[65.7]	64	[36.6]
電車(P&R)	21	[6.4]	0	[0.0]
電車(徒歩/2輪車)	63	[19.1]	12	[6.9]
徒歩/2輪車	29	[8.8]	99	[56.6]
合計	329	[100.0]	175	[100.0]

[]内は割合(%)

(2) NNモデルの構築

NNモデルでは、現象表現を各細胞の発火状態<1>と静止状態<0>の組み合わせで表現する。したがって、入力パターンとは(0,1,0,...)などの信号の集合を称することとなる。NNモデルの神経細胞に対応する発火要因として、個人属性、世帯属性等の説明変数を用いる。表-3にすべてのマイクロ・シミュレーション・モデルで用いる変数を示し、表-4に各マイクロ・シミュレーション・モデルでの変数の用い方を示す。

(3) 各モデルの推定結果

前節で説明した変数を用いてNNモデルの推定をおこなった。ここで、逐次のおよびフィードバックモデルにおいては、各意志決定ごとにサブモデルを用い、これを組み合わせることにより、交通行動を決定するモデルとなっている。表-5に逐次的モデルおよびフィードバックモデルの各サブモデルを独立に推定した結果を示す。

表-3 各マイクロ・シミュレーション・モデルに用いる変数^{*1}

属性	変数	カテゴリー	ニューロン数	属性	変数	カテゴリー	ニューロン数		
個人属性	性別	①男性 ②女性	2	意志決定要素	活動パターン	①Work on Tour(WT) ②Work at Home(WH) ③Maintenance on Tour (MT) ④Maintenance at Home (MH) ⑤Discretionary on Tour (D)	5		
	年齢	①5~14歳 ②15~29歳 ③30~49歳 ④50~64歳 ⑤65歳~	5			中間ストップ	①有り ②無し	2	
	続柄	①世帯主 ②妻/夫 ③子供 ④孫 ⑤兄弟 ⑥父/母 ⑦その他	7				活動時間帯	①Early-Early, AM_Peak, Midday ②Early-PM_Peak, Late ③AM_Peak-AM_peak, Midday ④AM_Peak-PM_Peak ⑤AM_Peak-Late ⑥Midday-Midday ⑦Midday-PM_Peak, Late ⑧PM_Peak-PM_Peak, Late, Late-Late	8
	職業	①農林漁業 ②生産運輸 ③販売・サービス ④管理事務	4			目的地ゾーン		全27ゾーン	27
	産業	①第1次産業 ②第2次産業 ③第3次産業	3					交通手段	①自動車 ②鉄道(徒歩/2輪車) ③鉄道(P&R) ④徒歩/2輪車
	免許の有無	①有り ②無し	2		2次ツアーの有無	①有り ②無し	2		
	車の保有	①専用車 ②共有車 ③車無し	3						
世帯属性	ライフステージ	①単身世帯 ②夫婦2人世帯 ③親1人+子供1人世帯 ④核家族(小以下) ⑤核家族(中以上) ⑥2世帯以上	6						
	世帯人数	①1人 ②2人 ③3人 ④4人 ⑤5人 ⑥6人 ⑦7人 ⑧8人	8						
	保有台数	①1台 ②2台 ③3台 ④4台 ⑤5台 ⑥6台 ⑦7台 ⑧8台	8						
	5歳以下の子供の有無	①有り ②無し	2						
空間特性	ゾーン間距離	①~5km ②5~10km ③10~15km ④15~20km ⑤20km~	5						
	サービス事業所従業員密度	①1000以上 ②300~1000 ③100~300 ④1~100	4						
	出発地ゾーン	新津市内15ゾーン	15						
	ゾーン間費用差	①-200~-300円 ②-150~-200円 ③-100~-150円 ④0~-100円 ⑤0円~	5*2						
	ゾーン間時間差	①-20分以上 ②-15~-20分 ③-10~-15分 ④0~-10分 ⑤0~10分 ⑥10~15分 ⑦15分以上	7*3						

※1: ・変数の中で、出発地ゾーンは新津市を鉄道の駅周辺および学区を考慮し15ゾーンに分類、目的地ゾーンに関しては出発地ゾーンの15ゾーンに加え、新潟市を5ゾーン、他の新津市周辺の市町村を8ゾーンに分類したものを加えている。また、ゾーン間距離はゾーン間の主要幹線道路の最短距離を用い、サービス事業所従業員密度は各ゾーンにおけるサービス従事者の合計をゾーン面積で除したものをを用いる。
・ゾーン間費用差は出発地ゾーンから目的地ゾーン間の自動車を利用したときの費用から鉄道を利用したときの費用の差を用いる。ここで、鉄道を利用する時の駅までの手段として徒歩/2輪車、P&Rの2種類が考えられ、両手段を考慮できるようにニューロン数を倍にして対応した。
・ゾーン間時間差については自動車で行った場合の時間から鉄道を利用した場合、徒歩/2輪車を利用した場合にかかる時間の差を用いる。ここで、費用差で用いた鉄道を利用する2種類と徒歩/2輪車の場合の3種類の手段を考慮できるようにニューロン数を3倍にして対応した。

また、サブモデルによってサンプル数が異なるのは、シミュレーションにおいて WT, MT, あるいは D であるかどうかを判断させる過程があり、その判断基準に該当するサンプルのみを対象として推定をおこなったためである。^[1]

この結果より、活動パターン、中間ストップ、交通手段および2次ツアーの有無の各選択においては的中率がすべて70%以上の値を示しており、NNモデルの再現性という点からみても良い結果が得られた。これは、十分なサンプル数が得られたことによると考えられる。逆に逐次的モデルでは活動時間帯、目的地およびフィードバックモデルにおいては目的地的中率が低い。これは、各サブモデルともサンプルの結果に偏りがあったこと、また、目的地選択においては、他よりサンプル数が少なかったことが原因であると考えられる。

また、各サブモデルで説明変数が外的基準にどのように影響を与えているかをレンジという指標^[1]を用いて示す。表-6に逐次的およびフィードバックモデルの「活動パターン選択」時のレンジを示す。逐次的モデルにお

いては「性別」のレンジが0.964と最大の値となり、他の要因よりも若干大きいことがわかった。他の要因は続柄、年齢、ライフステージ、免許の有無、車の保有、世帯人数、職業、産業の順に影響を与えていることもわかった。各レンジのばらつきが少ないことから、説明要因に内在する情報が、活動パターン選択の意志決定に影響を与えていること、外的基準を説明するのに有効な変数であることを確認できた。逐次的モデルの他のサブモデルにおいても「目的地選択」を除けば、同様な結果が得られており、各サブモデルに用いた説明要因が意志決定に対し影響を与えていることが確認できた。

また、フィードバックモデルにおいては各レンジが0.7以上と逐次的モデル時のレンジよりは小さいものの、悪い値とはならなかった。^[1]各レンジのばらつきも少ないことより、このサブモデルにおいても説明要因に内在する情報が、活動パターン選択の意志決定に影響を与えていること、外的基準を説明するのに有効な変数であることを確認できた。また、目的地選択以外のレンジも同様な値をとった。また、両モデルとも2次ツアーの有無に

表-4 各マイクロ・シミュレーション・モデルの外的基準と説明変数^{*2}

	同時決定モデル		逐次的モデル		フィードバックモデル			
	外的基準	説明変数	外的基準 (サブモデル)	説明変数	外的基準 (サブモデル)	説明変数	入力層ニューロン数	
主ツアー	各意志決定 (活動パターン、中間ストップ、活動時間帯、目的地、交通手段) および2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差)	活動パターン	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数)	47	活動パターン	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●他のサブモデルからのフィードバック (主ツアーの中間ストップ、主ツアーの活動時間帯、主ツアーの目的地ゾーン、主ツアーの交通手段)	107
			中間ストップ	●個人属性 (車の保有) ●世帯属性 (続柄、ライフステージ、世帯人数、5歳以下の子供の有無) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン)	23	中間ストップ	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン) ●他のサブモデルからのフィードバック (主ツアーの活動時間帯、主ツアーの目的地ゾーン、主ツアーの交通手段)	117
			活動時間帯	●個人属性 (性別、年齢、職業) ●世帯属性 (続柄、ライフステージ) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ)	30	活動時間帯	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ) ●他のサブモデルからのフィードバック (主ツアーの目的地ゾーン、主ツアーの交通手段)	107
			目的地	●個人属性 (性別、年齢) ●世帯属性 (続柄) ●空間特性 (サービス事業所従業員密度) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ、主ツアーの活動時間帯)	259	目的地	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ、主ツアーの活動時間帯) ●他のサブモデルからのフィードバック (主ツアーの交通手段)	323
			交通手段	●個人属性 (年齢、免許の有無、車の保有) ●空間特性 (出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ、主ツアーの目的地ゾーン)	96	交通手段	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ、主ツアーの目的地ゾーン)	148
			2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無) ●世帯属性 (5歳以下の子供の有無) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの活動時間帯)	40	2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、主ツアーの中間ストップ、主ツアーの活動時間帯、主ツアーの目的地ゾーン、主ツアーの交通手段)	123
2次ツアー	2次ツアーにおける各意志決定 (活動パターン、中間ストップ、活動時間帯、目的地、交通手段) および2回目以降の2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン)	活動パターン	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン)	49	活動パターン	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン) ●他のサブモデルからのフィードバック (2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの活動時間帯、2次ツアーの目的地ゾーン、2次ツアーの交通手段)	108
			中間ストップ	●個人属性 (車の保有) ●世帯属性 (続柄、ライフステージ、世帯人数、5歳以下の子供の有無) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン)	20	中間ストップ	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン) ●他のサブモデルからのフィードバック (2次ツアーの活動時間帯、2次ツアーの目的地ゾーン、2次ツアーの交通手段)	115
			活動時間帯	●個人属性 (性別、年齢、職業) ●世帯属性 (続柄、ライフステージ) ●上位モデルからの変数 (主ツアーの活動パターン、2次ツアーの活動時間帯、2次ツアーの中間ストップ)	35	活動時間帯	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、主ツアーの活動時間帯) ●他のサブモデルからのフィードバック (2次ツアーの目的地ゾーン、2次ツアーの交通手段)	112
			目的地	●個人属性 (性別、年齢) ●世帯属性 (続柄) ●空間特性 (サービス事業所従業員密度) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの活動時間帯)	247	目的地	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの活動時間帯) ●他のサブモデルからのフィードバック (2次ツアーの交通手段)	322
			交通手段	●個人属性 (年齢、免許の有無、車の保有) ●空間特性 (出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの目的地ゾーン)	91	交通手段	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン、ゾーン間費用差、ゾーン間時間差) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの目的地ゾーン)	144
			2回目以降の2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無) ●世帯属性 (5歳以下の子供の有無) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの活動時間帯)	39	2回目以降の2次ツアーの有無	●個人属性 (性別、年齢、続柄、職業、産業、免許の有無、車の保有) ●世帯属性 (ライフステージ、世帯人数、保有台数、5歳以下の子供の有無) ●空間特性 (ゾーン間距離、サービス事業所従業員密度、出発地ゾーン) ●上位モデルからの変数 (2次ツアーの活動パターン、2次ツアーの中間ストップ、2次ツアーの活動時間帯、2次ツアーの目的地ゾーン、2次ツアーの交通手段)	115

※ 2: 各モデルとも中間ストップ、活動時間帯選択に用いる活動パターンは WT, MT, D の 3 分類、目的地選択に用いる活動パターンは MT, D の 2 分類としている。2 次ツアーの活動パターン選択時に主ツアーの活動パターンを用いるときは、WT, WH, MT, D の 4 分類を用いる。また、2 次ツアーの活動パターン選択は、MT および D の 2 分類に、活動時間帯選択に関しては、主ツアー一時の活動時間帯を考慮し、Early-PM_Peak, Late, AM_Peak-PM_Peak, AM_Peak-Late の 3 分類をはずし 5 分類としている。

表-5 逐次的モデル、フィードバックモデル推定結果

		主ツアーのサブモデル		2次ツアーのサブモデル	
		サンプル数	的中率 (%)	サンプル数	的中率 (%)
逐次的モデル	活動パターン	556	87.05	66	90.91
	中間ストップ	484	76.86	66	86.36
	活動時間帯	484	62.19	66	89.40
	目的地	149	54.36	66	68.18
	交通手段	484	98.87	66	93.94
	2次ツアーの有無	556	93.88	66	100.00
	フィードバックモデル	活動パターン	556	92.99	66
中間ストップ		484	85.33	66	98.48
活動時間帯		484	72.31	66	89.39
目的地		149	22.15	66	56.06
交通手段		484	93.80	66	100.00
2次ツアーの有無		556	91.19	66	100.00

表-6 逐次的モデル、フィードバックモデルにおける活動パターンサブモデルのレンジ

説明変数	逐次的モデル	フィードバックモデル
性別	0.964	0.792
年齢	0.962	0.786
続柄	0.962	0.792
職業	0.909	0.789
産業	0.882	0.783
免許の有無	0.956	0.792
ライフステージ	0.959	0.791
世帯人数	0.953	0.788
車の保有	0.956	0.794
保有台数	—	0.794
居住地ゾーン	—	0.786
中間ストップ	—	0.762
活動時間帯	—	0.790
目的地	—	0.767
交通手段	—	0.792

関しては、そもそもサンプルが似通っていたことから、的中率が高いと考えられる。

5. ミクロ・シミュレーションの結果

前節で示したが、逐次的小およびフィードバックモデルの目的地選択に関しては、サブモデルの推定段階で良い結果が得られなかったことから、シミュレーションに目的地選択のサブモデルを組み込むことは難しいと考え、外生的に与えることとした。表-7に各ミクロ・シミュ

表-7 各モデルのシミュレーション結果

		主ツアーのサブモデル		2次ツアーのサブモデル	
		サンプル数	的中率 (%)	サンプル数	的中率 (%)
同時決定モデル	活動パターン	536	59.53	56	66.67
	中間ストップ		65.83		81.82
	活動時間帯		30.04		48.48
	目的地		12.59		21.21
	交通手段		54.14		69.70
	2次ツアーの有無		89.39		100.00
	逐次的モデル		活動パターン		536
中間ストップ		457	64.40	56	89.30
活動時間帯		457	48.90	56	57.10
目的地		-	-	-	-
交通手段		457	58.80	56	76.80
2次ツアーの有無		536	89.20	-	-
フィードバックモデル		活動パターン	536	80.21	69
	中間ストップ	423	70.31	69	87.88
	活動時間帯	423	70.31	69	77.27
	目的地	-	-	-	-
	交通手段	423	69.28	69	84.85
	2次ツアーの有無	536	77.53	-	-

レーションの結果を示す。⁶⁾

まず、同時決定モデルの的中率は全体的に結果が良くない。また、レンジも全ての変数において 0.5 未満と低い結果となった。これは、選択肢の数が多いこと、これに伴う出力への偏りが大きかったことによると考えられる。逐次的モデルにおいては、活動パターン、中間ストップ、活動時間帯および2次ツアーの選択においては、各サブモデルの推定結果(表-5)とあまり変わりがなく比較的良い結果が得られた。しかし、交通手段選択においてはシミュレーション時の的中率が低くなってしまった。これは、シミュレーションが進むにつれて、1つ、2つ前のサブモデル選択結果が影響してきて、推計結果との差ができたと考えられる。フィードバックモデルでは全ての決定要素の結果が良い値となっている。特に、活動時間帯、交通手段の選択においては、他の2つのモデル結果よりもかなり良い結果を示した。これは、逐次的モデルで考えられた、1つ、2つ前の推定結果をもう一度外生的に与えることで、推定結果が与える影響を考慮することにより結果が良くなったと考えられる。

また、個人ベースでみると、交通行動が的中したのは

同時決定モデルではサンプルの 18.1%にあたる 97 サンプル、逐次的モデルでは 20.1%にあたる 108 サンプル、フィードバックモデルにおいては 29.7%にあたる 159 サンプルであった。

6. おわりに

本研究では、「ツアーコンセプト」に基づき、個人のような意志決定を想定し、ソフトコンピューティングを利用した 3 つのマイクロ・シミュレーション・モデルの構築をおこなった。ダイアリー調査から得られた実測値を用いてモデルの有用性を調べたところ、特にフィードバックモデルにおいて適合度が高かった。このことより、意志決定要素を相互に考慮することが重要であるとわかった。

また、本研究で用いた NN モデルは入力と出力の高度な非線形関数を適切に誘導する手法であり、個人の交通行動のような複雑な関係を表すには適していると考えられる。しかし、同時決定モデルにおいては良い結果が得られず、他の 2 つのモデルにおいてもサブモデルにおける中率は良い結果を示したものの、最終的に個人の 1 日の交通行動を十分再現することができなかった。これは、本モデルが未だ発展の途上にあり、シミュレーション時には考慮できなかった目的地選択を組み込んだモデルの開発、相互結合型のモデルの開発、複数のツアーを同時に決定するモデルの開発等が必要であることを示している。それとともに TDM 等の交通施策評価へ適用できるようなモデルの開発をおこなうことも重要であると考えられる。

注

- [1] 例えば、「自宅→会社→自宅」の行動をおこなった人は WT、「自宅→食料品店（買物）→自宅」の行動をおこなった人は MT、といった形でツアーを活動パターンで表現する。その際、「自宅→食事→自宅→映画館（娯楽）→自宅」の行動をおこなった人に関しては、MT および DT の両方の活動パターンが考えられる。この場合、食事および映画に費やした時間が長いものほど、1 日の活動の中で主な活動であると考えで自宅を出発して帰宅するまでの時間が長いツアーを主ツアーとした。
- [2] NN モデルの中にはパーセプトロン、バックプロパゲーション法、ホップフィールドネットワーク等様々な形のものがあるが、本研究では、計算時間短縮を図るため、バックプロパゲーション法を用いてモデルの構築をおこなった。また、モデルは入力層、中間層、出力層の 3 層構造とした。（層数を 3 層としたのは、過去の研究において層数を増やしても結果にあまり影響を与えないことが示されているため。）ここで中間層のニューロン数は入力層のニューロン数と同じ場合、半分、倍の 3 つの中で最も良い結果を得たニューロン数を適用した。また、学習過程においては収束性に検討結果を踏まえて、一括修正とモーメント法を結合したものをを用いて計算をおこなった。

- [3] 逐次的モデル、フィードバックモデルでは主ツアーの活動パターン選択終了後 WT, MT, D であれば、中間ストップ選択以降の意志決定をおこない、そうでなければ、2 次ツアーの有無の判断をさせるようになっている。中間ストップ選択以降の各サブモデルの推定にはこの判断基準に基づいて WT, MT, D をおこなっている 484 サンプルを用いて推定をおこなった。また、活動時間帯選択後、活動が WT であるものは、目的地選択をおこなわない。そこで、目的地選択の推計には、WT 以外の 149 サンプルを用いて推計をおこなった。
- [4] NN モデルにおいては、各要因の相対的重要度を直接的に表すような変量は定義しにくい。そこで、各要因の入力値の相違が出力値に与える変化の程度からその影響をみる。そのための指標としてレンジを用いるが、レンジは以下のような手順で計算をおこない算出する。
- ① サンプルデータを用いて学習をおこない結合係数を推定する。
 - ② 推定された結合係数を用い、1 つのアイテム（要因）の入力値をすべて 0 とする。
 - ③ 各アイテムについて、同様の計算をおこない各カテゴリーに対応した出力値を算出する。
- このレンジの値が大きい要因ほど、出力値に影響を与えているといえる。
- [5] NN モデルにおいては、中間層のニューロン数が増えると、入力層からの影響が分散し、出力層へ与える影響が小さくなる。本研究で用いた NN モデルでは、各モデルとも中間層のニューロン数を入力層のニューロン数の半分とするモデルを構築している。よって、逐次的モデルよりフィードバックモデルの入力層のニューロン数が増えたことにより、中間層のニューロン数が逐次的モデルより、フィードバックモデルが多くなり、レンジの値が小さくなったと考えられる。
- [6] 逐次およびフィードバックモデルのシミュレーションを実行した結果、2 次ツアーをおこなうと推定された個人の中に、2 回目以降の 2 次ツアーをおこなう個人が存在しなかったため、今回のシミュレーションにおいては 2 回目以降の 2 次ツアーの有無の推定をおこなわなかった。

【参考文献】

- 1) 北村隆一：やさしい交通シミュレーション 5. TDM 評価シミュレーション（その 1）、交通工学、33、2、1998。
- 2) 北村隆一：やさしい交通シミュレーション 5. TDM 評価シミュレーション（その 2）、交通工学、33、3、1998。
- 3) 黒川洸、石田東生、田村享：自動車所有の進展がもたらす大都市近郊における交通行動変容の総合的解明、平成 3・4 年度科学研究費補助金（一般 B）研究成果報告書、課題番号：03451084、pp.40-53、1993。
- 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.No17、pp. 209-212、1995。
- 5) Becker, G: A Theory of the Allocation of Time, Economic Journal, 75, pp.493-517, 1965
- 6) 藤井聡：生活行動を考慮した交通需要予測ならびに交通政策評価手法に関する研究、京都大学学位論文、1997、12。

- 7) Bowman, J.L., M. A. Bradley, Y. Shiftan, T.K. Lawton and M.E. Ben-Akiva : Demonstration of an Activity-Based Model System for Portland, 8th World Conference on Transport Research, July 12-17, 1998, Antwerp, Belgium.
- 8) Garling, T., K. Brannas, J. Gravill, R.G. Golledge, S. Gopal, E. Holm and E. Lindberg : Household Activity Scheduling. Paper presented at the Fifth World Conference on Transport Research, Yokohama, 1989
- 9) 坪井兵太：ソフトコンピューティングを用いた交通行動分析システムの構築，岐阜大学学位論文，1997.
- 10) 秋山孝正，楊海，高野寛：ニューラルネットワークを用いた交通行動パターン分析，交通工学，28，1，pp. 25-33，1993.
- 11) 島崎敏一，安田誠一：ニューラルネットワークによる交通手段選択モデル，土木学会論文集，494/IV-24，pp.79-86，1994.
- 12) 新津市：新津市の事業所，平成8年度事業所・企業統計調査，1996.
- 13) 新潟市：統計にいがた，平成8年度事業所・企業統計調査，1996.
- 14) 新潟都市圏総合都市交通計画協議会：昭和63年度新潟都市圏第2回パーソントリップ調査報告書，1988.3.

ツアーコンセプトによる交通行動マイクロ・シミュレーション・モデルの開発

加藤研二，松下健介，松本昌二，佐野可寸志

本研究では，Bowmanらにより提案された「ツアーコンセプト」の考え方にに基づき，個人の1日の交通行動を再現するマイクロ・シミュレーション・モデルの構築をおこなう．交通行動には，活動パターン，中間ストップ，活動時間帯，目的地，交通手段の5つの意志決定要素が存在し，この要素の決定方法の違いを考慮し，同時推定，逐次の推定およびフィードバックの3つのモデルを比較するためにニューラルネットワークモデルを適用し有用性を検討した．ダイアリー調査から得られたデータに基づいて各モデルの再現性をみたところ，目的地選択以外の各サブモデルにおいて良好な結果が得られた．また，3つのシミュレーションの推定結果を比べると，フィードバックモデルにおける推定結果が最も良い結果を示した．このことより，個々の交通行動を解析する場合，意志決定要素間の影響を考慮することが重要であることが示された．

Development of an Activity-based Microsimulation Model for Daily Travel based on Tour Concept

Kenji KATO, Kensuke MATSUSHITA, Shoji MATSUMOTO and Kazushi SANNO

This research aims to develop an activity-based travel demand model applying to the "tour concept" which was proposed by Bowman et al. The neural network model (NN model) is used to estimate the structure of all models, rather than the practical disaggregate logit model. A questionnaire survey was carried out for gathering activity diary data in the region of Niitsu, Niigata. Three different kind of models, a simultaneous type, and types of sequence without feedback and with feedback, are estimated using the NN network and their microsimulation models are developed to predict each person's travel. The type of sequence model with feedback can achieve higher Hitting Ratio than the other two types. Among the sub-models of sequence type, destination choice is most difficult to hit. The research shows it is important to consider inter-relationship and influences among travel choice components.
