

# 交通機関の変更に着目したマルチモーダルシミュレーションの構築\*

## Multimodal simulation focusing on changing behavior of transportation mode\*

山田孝太郎\*\*・原祐輔\*\*・原加代子\*\*\*・羽藤英二\*\*\*\*

By Kotaro YAMADA\*\*・Yusuke HARA\*\*・Kayoko HARA\*\*\*・Eiji HATO\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年の少子高齢化などで自動車交通の需要が減少し、従来の交通計画の枠組みが変わりつつある。道路整備のような需要追従型交通政策だけではなく、環境に配慮した交通行動を促しつつも、活動機会を失わせない新しい交通計画のあり方が求められるようになってきている。

横浜市沿岸部のみなとみらい (MM) 地区においても、交通エコポイント、共同利用自転車、カーシェアリングやエコドライブなどの施策群の導入に向けた社会実験が行われた。これらさまざまな交通サービスを組み合わせ、"エコモビリティクラウド"をサービスシステムとして導入することがこの実験の目的である。しかし、モビリティクラウドのような複雑なシステムの実現可能性や有効性を評価することは、既存の手法では難しい。

本研究の大きな目的は、モビリティクラウドの評価のための統合型マルチモーダルマイクロシミュレーション (以下統合型シミュレーションモデルとする) の構築である。統合型シミュレーションモデルとは、活動の発生から、交通手段・経路の選択、ネットワーク上でのマルチモーダルな挙動を再現するサブモデルを組み合わせたものである (図-1)。本研究はそれらサブモデルのなかで、交通手段選択モデルに着目した。現実の交通手段選択行動は、通常1つのトリップで完結せず、トリップチェーンを考慮して行われる。自宅を起終点とするトリップチェーンを「ツアー」と定義し、Tour-Basedアプローチの交通手段選択モデルを構築するのが本論文の研究である。

このアプローチによる交通手段選択モデルの研究は、トリップチェーンにおいて単一の代表交通手段を選択すると仮定したツアー代表交通手段選択モデル (Cirillo and Axhausen, 2006)<sup>1)</sup> や、ツアー内利用交通手段セットの選択モデル (Roorda, et al., 2009)<sup>2)</sup> などがある。また、交通手段選択モデルを組み込んだシミュレーション

\*キーワード: 交通手段選択, 交通行動調査, 交通行動分析

\*\*学生員, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(東京都文京区本郷七丁目三番地十一号)

TEL: 03-5841-1672, E-mail: yamada@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

\*\*\*非会員, 日産自動車総合研究所

\*\*\*\*正員, 工博, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

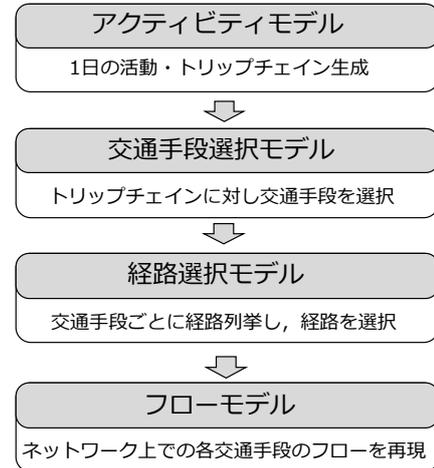


図-1 統合型マルチモーダル  
マイクロシミュレーションモデルフロー

モデルは、アメリカのポートランドでの適用例 (Bowman, et al., 1998)<sup>3)</sup> や、インドネシアのジャカルタでの適用例 (Yagi and Mohammadian, 2008)<sup>4)</sup> がある。これらのシミュレーションモデルは、活動パターンの選択から目的地・交通手段選択をNested-logitモデルによって定式化したものである。これらのシミュレーションモデルにおける交通手段選択は、目的地と同時に交通手段の利用パターンを選択するモデルである。

しかし、交通手段選択モデルの構築や、統合型シミュレーションモデルの実行には、非常に多くの入力データが必要となる。なかでも、交通手段選択モデルに入力するサービスレベル (LOS) データ作成のためのネットワークデータの整備コストは、大きな課題となる。そのため、既往研究では、ゾーンセントロイド間距離やOD間直線距離でLOSデータを作成する簡便な方法が用いられているが、その手法では実際に使われる経路とは限らないため、LOSデータの精度には課題が残されている。

本研究では、プローブパーソン (PP) 調査による移動軌跡データを用い、精度の高いLOSデータをデータオリエンティッドに作成する方法を用いた。この方法によって現実的なLOSデータを、低コストで取得できる。またモデル構築にCross-nested logit (CNL) モデル (Wen and Koppeleman, 2001)<sup>5)</sup> を用い、ツアー内での複数の交通手段選択を表現できるモデルを構築する。

## 2. 使用データ

### (1) 調査概要

本研究で用いたデータは2009年10月29日から同11月27日にかけて行われた、横浜カーボンモビリティ社会実験2009におけるPP調査によるものである。50名のモニターに対して行われたこの調査の得られたデータは、トリップデータ3868件とそれらの移動軌跡GPSデータ605373件である。この調査は、MM地区におけるEVシェアリングシステム社会実験と並行して行われ、シェアリングシステム導入可能性を調査するために行われた。

### (2) EVシェアリング社会実験概要

先述したPP調査と並行して行われたEVシェアリング社会実験の概要について述べる。この実験は、EVカーシェアリング導入による二酸化炭素排出量削減効果の試算が目的であった。

この実験での自動車の貸出ポートはMM地区内に3か所配置し、返却は貸出ポートと同地区内のコインパーキング17か所で行えるようにした。各貸出ポートには1台ずつ自動車が配備され、返却で配備台数の偏りが生じた場合は、事務員によって調整された。また、今回の実験では、EVではなくガソリン自動車がシェアリングカーとして用いられた。

カーシェアリングの利用は、事前にWebサイトでの予約し、配布されたICカードによる認証で貸し出しが行われた。利用上の大きな特徴は、利用料金が無料とされたことである。利用料金だけではなく、移動にかかるガソリン代や平日の駐車料金、ポートまで自家用車を利用し、乗り換えを行った場合には、その駐車料金までが無料化された。

### (3) データクリーニング

生のPPデータにはモニターによる入力漏れや間違いなどによる誤差が含まれる。その誤差を取り除くために、はじめにトリップデータのデータクリーニングを行った。クリーニングの対象としたデータは、ユーザーによって無効にされたデータと、前後のトリップと起終点が一致しないトリップチェーンをなさないデータである。また、各モニターの自宅が起終点となっているトリップチェーンを1ツアーとして集計し、自宅が起終点ではないトリップチェーンに属するトリップもクリーニングの対象とした。データクリーニングの結果、分析対象としたトリップデータ数は2820、ツアー数は1507であった。

## 3. モデル概要

### (1) モデル構造

ツアーにおける交通手段選択は単一の交通手段だけを

選択するだけではなく、複数の交通手段を組み合わせたパターンの交通手段選択も行われる。特にカーシェアリングのような施策を導入した場合には、ツアーにおいて複数の交通手段を組み合わせることになるだろう。本研究では、このようなツアー内でのマルチモーダルな選択を明示的に表現するモデルとしてCNLモデルを採用する。CNLモデルは、選択肢間の相関関係をネスト構造で表現し、選択肢の複数のネストへの帰属度を表現することができる。

このモデルにおけるツアー $n$ を選択する確率 $P_n$ は式(1)で表される。

$$P_n = \sum_m P_n P_{n|m} \quad (1)$$

$$P_m = \frac{\left( \sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} \cdot e^{V_{n'}})^{\mu_m} \right)^{\frac{1}{\mu_m}}}{\sum_m \left( \sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} \cdot e^{V_{n'}})^{\mu_m} \right)^{\frac{1}{\mu_m}}} \quad (2)$$

$$P_{n|m} = \left( \frac{(\alpha_{n'm} \cdot e^{V_{n'}})^{\mu_m}}{\sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} \cdot e^{V_{n'}})^{\mu_m}} \right) \quad (3)$$

$$\alpha_{nm} = \frac{t_m}{\sum_m t_m} \quad (4)$$

ここで、 $P_m$ は交通手段 $m$ を選択する確率、 $P_{n|m}$ は交通手段 $m$ を選択したときのツアー $n$ を選択する条件付き確率、 $\mu_m$ はスケールパラメータである。また、ツアー $n$ の交通手段 $m$ に対するアロケーションパラメータ $\alpha_{nm}$ は、交通手段 $m$ の利用時間 $t_m$ のツアー $n$ の全移動時間に対する比とする。

本研究で採用するモデルの構造を図-2に示す。ネストは「自動車、鉄道・バス、徒歩、自転車、タクシー、カーシェアリング、その他」とした。

選択肢の列挙には、ツアー代表交通手段を代替交通手段で置き換える方法を用いた。ツアー代表交通手段は、優先順位のツアー代表交通手段と代表交通手段が同一となるトリップが、代替代表交通手段に置き換わったものとして代替の選択肢となるツアーを作成した。

### (2) 代替交通手段LOSデータ作成方法

交通手段選択モデルでは、実際に選択されなかった代替交通手段の選択肢の交通手段の利便性などを表すLOSデータが必要となる。このLOSデータの算出には、トリップの起終点間の最短距離や、経路列挙アルゴリズムが用いられる。しかし、最短距離では実際に利用される経路特性の多くが捨象され、ダイクストラ法などの経路列挙アルゴリズムでは、者はネットワークデータの整備に大きなコストがかかることも課題である。

そこで、本研究では、PP調査によって得られた測位点

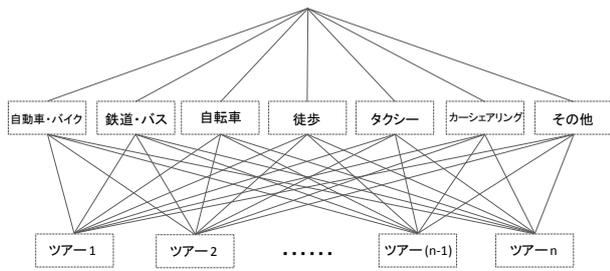


図-2 CNLモデル構造

データを用いたLOS算出方法を用いた。この方法は、トリップの起終点の間をつなぐ経路を、PP調査の測位点データから取得する方法である。トリップに対して、代替交通手段のLOSデータを作成するアルゴリズムを以下に述べる。

a) 代替交通手段が自動車の場合

Step 1

自動車が利用された移動軌跡を代替経路の候補として列挙する。

Step 2

さらにトリップの起終点から移動軌跡までの最短距離がそれぞれ5km未満の代替経路を候補として絞り込む。ここで見つからない場合は、探索を終了する。

Step 3

絞り込んだ移動軌跡の中から、起終点からの距離の和が最短のものを候補とする。

Step 4

点間をつなぎ、所要時間と距離を求める。起終点から最短の点間の直線距離とその点間の移動軌跡の距離の比が閾値より小さい場合、その移動軌跡を代替経路とする。比が閾値以上になる場合はStep 1に戻り再度検索する。

b) 代替交通手段が鉄道の場合

Step 1

鉄道利用の移動軌跡を代替経路の候補として列挙する。

Step 2

トリップの起終点から最近距離の駅をそれぞれに対し3つまで列挙し、起点駅と終点駅の組を作る。起終点から半径5km以内に駅が見つからない場合は、探索を終了する。

Step 3

起点から起点最寄り駅までの距離と、終点から終点最寄り駅までの距離の和が小さい駅の組から順に、経路を探索する。見つからない場合は、別の駅の組で、再度検索を開始する。すべての駅の組の間に対して経路が見つからない場合は、探索を終了する。

Step 4

自動車のStep 4と同様にして軌跡を確定させる。比が閾値以上になる場合はStep 1に戻り再度検索する。

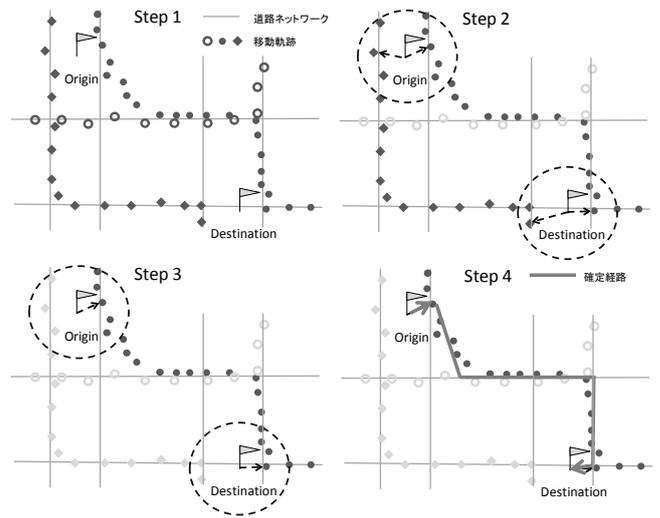


図-3 自動車代替経路列挙アルゴリズム

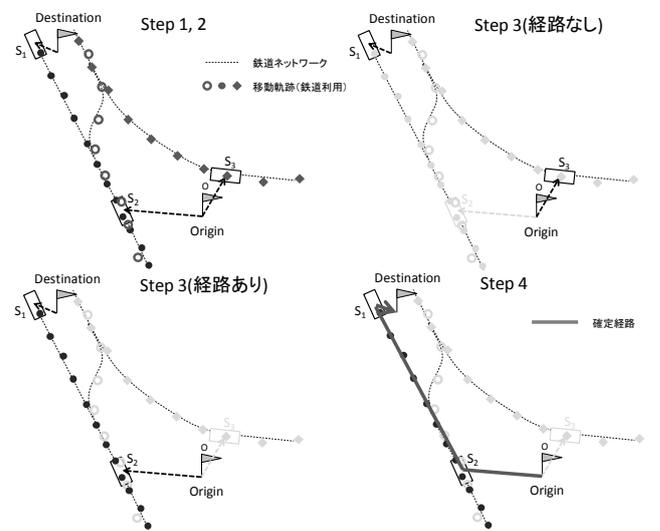


図-4 鉄道代替経路列挙アルゴリズム

自転車や徒歩を代替交通手段とする場合は、自動車を通った実際の経路、または代替経路をそのまま通るものと仮定した。所要時間はそれらの経路をそれぞれ速度12 km/h、4km/hで通るとして算出した。

このアルゴリズムを用いて、トリップ単位で代替交通手段のLOSデータを算出し、ツアー単位に集計した。なお、LOSデータ算出には、本研究で対象としたPP調査の測位点データのほかに、首都圏で行われた過去のPP調査(表-1)の測位点データも同時に用いた。

4. 結果と考察

交通手段選択モデルの推定結果を表-2に示す。比較のために多項ロジット (MNL) モデルの推定結果も示す。どちらのモデルにおいても、直感に反しないパラメータが得られている。MNLモデルでもおおむねよい推定結果が得られているが、CNLモデルのほうの適合度がよいことが分かる。ただし、CNLモデルはt値が有意でないパラメータ

表-1 データを利用した過去のPP調査

調査名	調査期間	モニター数	測位点
		×調査日数	レコード数
横浜モビリティ デザイン 2050	2008/11/08~ 2008/12/24	133名×47日	2449361
車に関する 生活行動調査	2007/09/13~ 2007/10/24		
東京プローブパ ーン調査	2005/11/20~ 2006/2/20	50名×62日	1348292

もあるため、改良を加える必要があると考えられる。

## 5. まとめと課題

本研究では、PPデータを用いたデータオリエンテッドなLOSデータ作成方法を適用し、CNLモデルによるツアー交通手段選択モデルの推定を行った。今後は実際に本研究で構築したモデルを用いたシミュレーションを行い、現況再現のために、モデルのキャリブレーションなどを行っていく必要があるだろう。

また、本論文では選択肢の列挙には、ツアー代表交通手段利用トリップを、代替交通手段のトリップで置き換える方法を用いたが、より現実的なツアー内における交通手段パターンの列挙の方法が必要である。

LOS取得のアルゴリズムは、今回は自動車や鉄道に関してのみ適用したが、バスや自転車、自転車、徒歩にも適用できるアルゴリズムの構築が必要と考えられる。また、代替経路は距離について最近になるものを代替経路としたが、ダイヤの組まれた公共交通などは、時間的にも最近になるような代替交通手段LOSデータ算出アルゴリズムも導入すべきであろう。

謝辞：なお本研究を実施するにあたって文部科学省科研費基盤A「プローブ技術を援用したデータフュージョン理論による総合的交行動調査の高度化(代表:羽藤英二)」の協力を受けた。ここに感謝の意を表す

### 参考文献

- 1) Cirillo, C., Axhausen, K. W. : Mode choice of complex tours: A panel analysis, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 142, institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zurich, Zurich, 2002.
- 2) Roorda, M. J., Passmore, D., Miller, E. J. : Including minor modes of transport in a tour-based mode choice model with Household Interactions, Journal of Transportation engineering, Vol. 135, No. 10, pp. 935-945, 2009.

表-2 交通手段選択モデル推定結果

パラメータ	MNL		CNL	
	推定値	t 値	推定値	t 値
自転車定数	0.347	1.78	1.030	-
自動車定数	1.314	7.18	0.312	-
タクシー定数	- 4.243	- 4.73	- 6.083	- 2.59
公共交通定数	1.675	9.25	2.584	-
カーシェア定数	- 0.668	- 2.88	- 2.771	-
移動時間(1000秒)	- 0.041	- 7.55	- 0.157	- 7.07
$\mu_{\text{徒歩}}$			0.469	-
$\mu_{\text{自転車}}$			0.0679	6.45
$\mu_{\text{自動車}}$			0.0813	17.50
$\mu_{\text{タクシー}}$			1.479	0.099
$\mu_{\text{公共交通}}$			0.580	3.74
$\mu_{\text{カーシェア}}$			1	-
$\mu_{\text{その他}}$			0.477	2.22
サンプル数	1005		1005	
初期尤度	- 1747.822	-	- 1747.822	
最終尤度	- 1183.176	-	- 654.611	
修正済み尤度比	0.320		0.619	

- 3) Bowman, J., Bradley, M., Shiftan, Y., Lawton, T.K., Ben-Akiva, M. : Demonstration of an activity-based model system for Portland, 8th World Conference on Transport Research, July 12-17, 1998.
- 4) Yagi, S., Mohammadian, A. : An activity-based microsimulation model of travel Demand in the Jakarta Metropolitan Area, Journal of Choice Modelling, Vol. 1.3, No.1, pp. 32-57, 2008.
- 5) Wen, C., Koppelman, F. : The generalized nested logit model, Transportation research B, Vol. 35, No. 7, pp. 627-641, 2001.