

GISを用いた交通機関・目的地点選択モデル： ゾーンシステムから座標システムへの地理空間表現手法の移行に向けて

*A Mode and Destination Choice Model on GIS Database:
From Zone-Based toward Coordinates-Based Methodology of Spatial Representation*

菊池 輝*, 小畑 篤史**, 藤井 聡***, 北村 隆一****

By Akira Kikuchi, Atsushi Kobata, Satoshi Fuji and Ryuichi Kitamura

1. はじめに

目的地選択モデルは過去に幾度と構築されてきている¹⁾が、そのいずれにも「ゾーンシステム」が用いられている。ゾーンシステムとは、従来の集計的な需要予測方法を使用する際から用いられてきたものであり、対象地域を市区町村別など複数のゾーンに分割し、それらの集合で地理空間上の広がりを表現する方法である。トリップエンドは起終点ゾーンの代表地点で近似的に表現され、ゾーン間の自動車や電車の所要時間、費用などの移動抵抗データは代表地点間の属性として近似される。

ゾーンシステムは近似的な空間表現方法にしか過ぎないが、集計的な交通需要予測手法においては、その近似に伴う誤差の問題は顕著なものとはならなかった。ところが、インフラ整備から TDM 等の詳細な現象を取り扱う交通政策が重要となるにつれて、また、集計的手法から非集計的手法へ、そして、アクティビティベースへと、微視的な視点から交通現象を捉える交通需要予測手法が必要となるにつれて、その問題点は無視できなくなりつつある。

この誤差を抜本的に軽減する方法として、直交座標系でトリップ目的地点を表現するシステム(以下、座標システム)を用いた地理空間表現が考えられる。ただし、座標システム導入のためには、1) 地理情報システム(以下、GIS)を用いた詳細な地域属性データの構築、2) 座標データを明示的に属性として持つネットワークシステムを用いた座標間移動抵抗データの構築、というデータ構築上の問題に加えて、3) 目的地選択確率の地理空間上の確率密度分布の定式化、という行動モデル構築上の問題に対処することが必要となる。また、地点間移動抵抗データは利用交通機関によって全く異なったものであるため、行動モデルは目的地と交通機関の選択の双方を考慮したものとな

らざるを得ない。

本研究では、以上の認識のもと、ゾーンシステムから座標システムへと地理空間表現手法を移行する際のいくつかの問題点に対処するための糸口を見いだすことを目的として、トリップの起終点を表現することが問題でない程度に十分に小さな微小単位(本研究における計算例では、10m 単位とした)での直交座標で地理空間を表現した上で交通機関目的地選択モデルを構築する。

2. モデルシステムの概要

(1) 交通機関目的地同時選択確率の地理上の密度分布の定式化

本研究では、個人の交通機関と地理平面上の目的地の選択確率を定式化するために、目的地と交通機関、ならびに確率的要素によって変化する関数(以下、選択強度関数)を想定する。そして、各々の選択肢の選択確率を、その選択肢の関数値(以下、選択強度)が最大となる確率という形で定式化する。なお、ここで想定する選択強度要因は、観測可能な条件と選択確率との統計的関係を記述するために便宜的に想定するだけのものであり、意思決定のプロセスにおいて処理される認知上の内的情報を意味するものではない²⁾。すなわち本モデルは Ben-Akiva, M. and Watanatada, T.³⁾によって提案されている限定合理性⁴⁾を無視した意思決定プロセスを仮定するモデルではなく、観測可能な変数間の統計的関係を記述するだけの statistical model⁵⁾である。

本モデルでの選択確率は、あくまでも分析者にとつての選択確率であり、たとえモデル対象の個人にとっては選択不可能な選択肢であっても、分析者にとつてその選択不可能性が既知でない限りは確率は 0 とはしない。ただし、選択不可能であることが確定的、あるいは、確率的に分析者にとつて特定できる場合には選択確率を 0 とする。その条件としては以下の 4 つを考慮する。

①プリズム制約²⁾: 自由時間(個人の自由意思に基づいた

キーワード: 分布交通, 交通手段選択, 交通行動分析, GIS

* 学生員, 工修, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

** 正員, 工博, 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

**** 正員, Ph.D., 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町,
Tel 075-753-5136, Fax 075-753-5916)

活動要素の決定が可能な時間)内で実行する全ての移動と活動の時間総和は、自由時間帯の長さに等しく、かつ、それぞれの移動時間は、その移動の前後の活動場所の地理的な隔たりとその間の交通属性に依存する交通速度によって規定される。

②交通機関制約²⁾:公共交通機関営業時間外では公共交通機関を利用できない。ある場所を起点とする自動車をういたトリップを実行する場合、その場所にその個人が利用可能な自動車がなければならない。自動車を放置することが不可能な場所(現在場所が自宅・職場以外)に自動車を放置したまま異なる場所に移動することはできない。

③目的地制約:河川や湖沼などの水面、道路領域では活動できない。百貨店に関しては営業時間外はそこで活動できない。

④目的地認知制約²⁾:ある場所を自由活動の実行場所として認識していない場合、その場所で自由活動を実行することはできない。

ここで、目的地認知制約については、分析者が確定的に把握することは極めて困難であるため、本研究では、個人の目的地認知を確率事象として捉え、以下のようなプロビットモデルで目的地認知確率を定式化する。

$$d_{xy} = \begin{cases} 0: \text{if } (\omega_{xy} < \theta) \\ 1: \text{if } (\omega_{xy} \geq \theta) \end{cases} \quad (1)$$

$$\omega_{xy} = \beta X_{xy} + \varepsilon_{xy} \quad (2)$$

d_{xy} : 地点 (x, y) が目的地として認知される場合 1, そうでない時 0

θ : しきい値を表す未知パラメータ

ω_{xy} : 目的地認知規定要因

β : パラメータベクトル

X_{xy} : 説明変数

ε_{xy} : 誤差項(平均 0, 分散 1 の正規分布)

(2) 選択確率の定式化

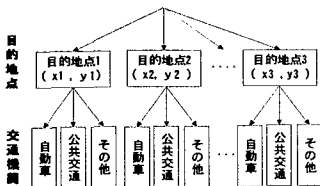


図1 ネスティッドロジットモデルの選択構造

本モデルでは、GEV モデルを用いて選択確率を定式化する。ただし、GEV モデルを効用論的に解釈せず、単なる統計モデルの一つと捉える。定式化にあたっては、

従来提案されているモデル²⁾と同様に、目的地を共有する選択肢の誤差共分散が大きいものと考え、図1の構造を仮定するネスティッドロジットモデルを適用し、選択肢ペアの選択確率を以下のように定式化する。

$$PD(x, y, m) = PD(x, y)P(m | x, y) \quad (6)$$

$PD(x, y, m)$: 地点 (x, y) を選択し、かつ、機関 m を選択する確率密度

$PD(x, y)$: 地点 (x, y) を選択する確率密度

$P(m | x, y)$: 地点 (x, y) を選択するという条件のもとで、機関 m を選択する確率

ここで $P(m | x, y)$ は、ロジット型の関数を用いる。

$$P(m | x, y) = \frac{\exp(\beta_m X_{m|xy})}{\sum_{m \in \Omega_m | x, y} \exp(\beta_m X_{m|xy})} \quad (7)$$

$\Omega_m | x, y$: 地点 x, y を目的地とする場合の、分析者にとつての交通機関選択肢集合

β_{xy}, β_m : パラメータベクトル

X_{xy} : 説明変数ベクトル(場所 x, y の地点属性など)

$X_{m|xy}$: 説明変数ベクトル(場所 x, y まで機関 m で行く場合の所要時間や費用など)

さらに、 $PD(x, y)$ は、

$$LS_{xy} = \ln \left\{ \sum_{m \in \Omega_m | x, y} \exp(\beta_m X_{m|xy}) \right\} \quad (8)$$

なるログサム変数 LS_{xy} を仮定すると、

$$PD(x, y) = \frac{\exp(\beta_{xy} X_{xy} + \lambda LS_{xy})}{\sum_{y \in \Omega_{xy}} \exp(\beta_{xy} X_{xy} + \lambda LS_{xy})} \quad (9)$$

Ω_{xy} : 目的地点選択肢集合

となる。したがって、 $PD(x, y, m)$ は次式のようになる。

$$PD(x, y, m) = \frac{\exp[\lambda \beta_{xy} X_{xy} + \lambda \ln \{ \sum_{m \in \Omega_m | x, y} \exp(\beta_m X_{m|xy}) \}]}{\sum_{y \in \Omega_{xy}} \exp[\lambda \beta_{xy} X_{xy} + \lambda \ln \{ \sum_{m \in \Omega_m | x, y} \exp(\beta_m X_{m|xy}) \}]} \frac{\exp(\beta_m X_{m|xy})}{\sum_{m \in \Omega_m | x, y} \exp(\beta_m X_{m|xy})} \quad (10)$$

本研究では、未知パラメータ λ , β_{xy} , β_m を推定する際、段階推定法¹¹⁾を用いる。まず第一段階として、式(7)で定式化された選択確率に基づいて尤度関数を定式化し、これを最大化することで、下位レベルである交通機関選択の未知パラメータ β_m を推定する。次に式(8)に推定した β_m を代入し、目的地点別のログサム変数 LS_{xy} を算出し、これを用いて、式(9)で定式化された選択確率密度に基づいて尤度関数を定式化し、これを最大化することで、未知パラメータ λ , β_{xy} を推定する。

3. データの概要

本研究では、個人が実際に行ったトリップデータとそのトリップ形態の要因としての個人属性データ、地点属性データ、目的地認知データ等をアンケート調査や国勢調査データ、事業所・企業統計データ等から収集し、GISを用いてデータベース化した。

(1)トリップデータ・目的地認知データ・個人属性データ

モデル内のパラメータ推定に必要なデータを得るために京都市民を対象にしたアンケート調査を実施した。設問内容は、(問1)京都市中心部の地図(南北約11km、東西約13km)を調査票に掲載し、その地図上にトリップエンドを点として記入してもらおうと同時に、利用した交通機関やトリップエンドでの活動内容、活動場所の種類、活動終了時刻を記入してもらおう、(問2)京都市の市街地から抽出した200m四方の領域を8つ提示し、その各々の領域に訪れる可能性があるかどうかを、買い物、娯楽、その他の私用、仕事という4つの目的別に記入してもらおう、(問3)世帯属性および個人属性を記入してもらおう、としている。(問1)のデータを選択モデルの推定に、(問2)のデータを目的地認知モデルの推定に用いる。なお、(問1)より得られる被験者のトリップエンドはGISを用いて地理平面上の直交座標にデータ化した。

(2)地点属性データ

町字単位で集計されている調査データ(国勢調査、事業所・企業統計調査)から得られる、人口(総数・男女別・年齢階層別)、世帯数(総数・世帯の種類別)、事業所数(総数・産業分類別・事業所形態別)、従業員数(総数・産業分類別・事業所形態別)を地点属性を表現するデータ項目とした。本研究では10mを単位とした直交座標を用いるので、GISを用いて10m格子点ごとに地点属性データを設定(総格子点数:約140万)し、これを格子点の直交座標とともにデータベース化した。なお、データ加工にあたっては、各調査データが集計されているゾーン(町字単位、総数3635ゾーン)内では、各々の調査項目が均一に分布していると仮定した。

(3)交通機関別の移動抵抗データ

京都市内の任意の地点間の交通機関別所要時間、費用を、道路交通上の動的交通流と公共交通機関の運行状況の双方を再現するシミュレーションモデルおよびGISを用いて算定した。このシミュレーションモデルの最大の特徴は、自動車交通流の中でのバスの運行をシミュレートする点であり、これによって、交通混雑がバスのサービス水準に及ぼす影響を明示的に考慮することができる。な

お、この道路交通・公共交通シミュレーションモデルの概要については、参考文献7)を参照されたい。以下、このシミュレーションの出力に基づいたデータ加工方法について述べる。

①公共交通機関:まず京都市内の全バス停の22.3%にあたる272箇所を基準とし、ノード数272、リンク数956のネットワークデータを用いて、上述の道路交通・公共交通シミュレーションを実行し、トリップの旅行時間、乗り換え回数、料金を算定した。このデータを基本として、統計的に処理することで全鉄道駅、全バス停間の旅行時間、費用、乗り換え回数を算定する。なお、主要バス停間のデータを全バス停間のデータに拡張する際、バス旅行速度は一定との仮定を設けた。一方で、全鉄道駅、全バス停の地理上の座標をGISを用いることでデータ化する。そして、これらの情報を用いて、任意の地点間の公共交通機関利用時の移動抵抗データを算定した。その際、駅、バス停へのアクセスは徒歩を仮定した。

②自動車:公共交通機関の移動抵抗データ算定時と同様、ノード数272、リンク数956のネットワークデータを用いて、道路交通・公共交通シミュレーションで京都市内の道路交通状況をシミュレートし、1時間ごとのリンク所要時間を算定した。このデータに基づいて、主要ノード間の時間帯別最短経路の所要時間を算定する。一方で、各ノードの地理上の座標をGISを用いることでデータ化する。そして、これらの情報を用いて、ノードから出発点、目的点までは徒歩であるとの仮定のもと、任意の地点間の自動車利用時の移動抵抗データを算定した。

③その他の交通機関:アンケート調査で得られたその他の交通機関を利用するトリップデータを用いて、個々のトリップの起終点間の直線距離をGISを用いて求め、それと当該トリップ所要時間とから移動速度を算定し、これを直線距離別に集計した。こうして得られた距離別移動速度を用いて任意の地点間のその他の交通機関利用時の所要時間を算定した。

この様に各データ算定するにあたって様々な仮定を設けてはいるが、基準となるネットワーク(ノード数272、リンク数956)から求められる移動抵抗データを、GISを用いることで任意の地点間の移動抵抗データに拡張しているため、従来のゾーンシステムによる移動抵抗データに比べて格段に精度が向上したものと考えられる。

4. 推定結果

ここでは、紙面の都合上、交通機関目的地選択モデルの推定結果のみを述べ、目的地認知モデルについては講演時に報告する。

(1) 交通機関選択レベル

表 1 に交通機関選択レベルの推定結果を示す。まず自由目的トリップにおいては、その他の交通機関で、距離が負の係数を持つ結果となった。これは、徒歩、自転車などのその他トリップが自動車、公共交通機関とは明らかに異なり、短距離トリップにのみ利用される交通手段であることを示している。

次に非自由目的トリップについて見てみると、自由目的の推定結果と同様に自動車に対して時間が負の影響を及ぼしている。時間がのびると自動車を選択しづらくなるというのは、目的に関わらないということができる。

	自由活動		非自由活動	
説明変数	パラメータ値	t値	パラメータ値	t値
公共交通機関				
定数項	-4.60	-3.42	-1.81	-7.08
トリップ所要時間(分)	-0.013	-1.30	-0.0073	-1.25
年齢	0.038	5.86		
性別(男=1, 女=0)	-0.23	-1.09		
自動車				
定数項	-0.45	-1.38	-3.25	-3.50
トリップ所要時間(分)	-0.060	-3.63	-0.034	-2.65
年齢			0.009	1.70
性別(男=1, 女=0)			1.08	7.43
その他				
トリップ所要時間(分)	-0.052	-1.80	-0.16	-10.33
トリップ距離(m)	-0.00076	-5.58		
サンプル数=889			サンプル数=1048	
L(0)=-326.61 L(B)=-693.54			L(0)=-1122.77 L(B)=-1013.021	
$\chi^2=466.15$ df=8			$\chi^2=219.498$ df=7	

(2) 目的地選択レベル(自由目的)

本モデルでは、目的地点を 10m 単位の直交座標系で表現しているため、推定の際の全体の選択肢集合数が膨大な数となる(選択肢数は約 140 万)。そこで本研究では、目的地を、30 個無作為にサンプリングし、それを推定計算のための選択肢集合と見なすこととした⁸⁾

表 2 に推定結果を示す。ログサム変数のパラメータ λ が 0.638、かつ、0 からの t 値が有意であることから、交通機関選択は目的地選択に影響を与えているということが分かる。また人口は正に、事務所・営業所数は負に働いている。これは、人口の多い地点は目的地点として選択されやすいが、事務所などが多い地点は選ばれにくいということで、自由目的としては当然の結果であると考えられる。さらに、目的地点を中心にとった半径 500m 内の店舗、飲食店数も有意な変数になっている。これは個人は目的地

説明変数	パラメータ値	t値
ログサム変数	0.64	1.80
半径 500m 領域の店舗、飲食店数	14.82	6.37
トリップ起点から選択地点までの距離 / 100	-0.49	-2.47
10×10×10m 領域の総人口	0.16	3.35
10×10×10m 領域の事務所、営業所数	-26.52	-1.77
サンプル数=787		
L(0)=-1214.02 L(B)=-26.67		
$\chi^2=2374.69$ df=5		

点を様々な点の集合として考えている訳ではなく、周りの地点属性も加味した上で選択していることを示している。

5. おわりに

本研究では、従来より用いられてきたゾーンシステムに基づいた目的地選択行動の記述における問題点に着目し、直交座標系でトリップ目的地点を表現するシステムを用いることで、個人のトリップ目的地選択行動を空間座標上で再現するモデルを構築した。構築の過程で、行動調査、GIS や交通シミュレーションモデルによるデータ加工、推定計算、定式化のそれぞれの段階で、座標システムによるモデルを構築するにあたって直面するいくつかの課題に対処したが、膨大となるデータ量など現状では対処しきれなかった問題がいくつかあったのも事実である。特に、推定計算のためにサンプリングする選択肢数と得られる推定量の性質の関係については、これからも検討を加える必要がある。さらに本研究で構築したモデルを PCATS⁹⁾等の生活行動シミュレーションモデルに組み込み、交通需要予測および交通政策評価等を実際に行う場合に、どの程度の計算労力がかかるのかも検討されるべき課題である。

本研究で利用した道路交通・公共交通シミュレーションモデルによる全ての移動抵抗データは、京都大学工学研究科中川大助教授、大阪産業大学工学部波床正敏助手に提供していただいた。ここに記して深謝したい。

[1] 推定量の統計的性質としては漸近の一致性を与える同時推定法が望ましいが、本分析では、大量データを用いることが不可避であったことから、より推定計算が簡便な段階推定法を用いた。なお、段階推定量でも、漸近的普遍性を持つものであり、推定量として本質的に問題あるものではない。

参考文献

- 例えば、Fujii, S. and Kitamura, R.: Analysis of Personal Action Space Using A Model System with Multiple Choice Structures, In D. Hensher, Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol 1, Travel Behavior, Elsevier Science, Oxford
- 例えば、藤井 聡、大塚祐一郎、北村隆一、門間俊幸: 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, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.643-652, 19973
- 藤井 聡: 交通計画におけるシミュレーション手法の適用可能性について, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), pp.19-34, 1998.
- Ben-Akiva, M. and Watanatada, T.: Application of a Continuous Spatial Choice Logit Model, Simultaneous Equations Models with Discrete Endogenous Variables, pp.320-343, 1981
- Simon, H.A. (1990) Invariants of human behavior, *Annual Review of Psychology*, 41, 1-19.
- Ford, J. K., N. Schemitt, S. L. Schechtman, B. M. Hults, and M. L. Doherty (1989) Process tracing methods: Contributions, problems, and neglected research questions, *Organizational behavior and human decision process*, 43, pp. 75-117.
- 西尾健司・中川大・松中亮治・伊藤雅: 共通運賃精度の導入による所要時間短縮効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 21, pp.293-296, 1998
- Ben-Akiva, M. and Lerman, S.: Discrete Choice Analysis, MIT Press, Cambridge, Mas, pp.261-269, 1985