

# 目的地間の類似性を考慮した分布交通量予測モデルに関する研究

## Study on Trip-Distribution Predictive Model Considering Similarity of Destinations

屋井研究室 98M35223 小林 亜紀子 (KOBAYASHI, Akiko)

Keywords: 目的地選択、Mixed Logit Model、空間的近接性、選択肢集合

Destination choice, Mixed Logit Model, Similarity of Neighboring Destinations, Choice set

### 1. はじめに

交通計画に関係する通勤・通学等の定常的な選択行動については、都市圏におけるラッシュ時の交通環境改善の必要性から、個人のネットワーク構造を反映するモデルの構築や分析が数多くなされてきた。一方、休日の買い物・観光・レジャーに起因する非定常的な選択行動に関しては、休日交通行動の把握や記述の難しさから、未だ確立的な調査・分析手法は少なく、十分に研究されていない。

しかしながら新たな観光地・交通施設が整備されることにより利用者が何を根拠にどのように選択を変化させるかということは休日の交通需要推計や便益の計測、高速道路の償還などの社会的な要請から理解される必要がある。特に近年は、休日の活動による交通需要の伸びと質の向上が言われており、休日の非定常な行動に関しても個人の選択行動を測る手法の開発が必要である。

目的地選択行動は、出発前に意思決定を行う交通行動と捉えることが出来る。従来からの目的地選択に関する研究は、集計量を用いてモデルを作成したものが多く、目的地選択行動は個人の嗜好が表れやすく、体系的な大規模調査は困難なため、少ないサンプルでモデルが作成でき、選択に影響を及ぼす政策変数や個人の行動を詳細に記述する非集計行動モデルがその手法としてふさわしい。しかしながら、確率効用理論に基づく非集計行動モデルを目的地選択行動に適用する際、個人ごとに異なる選択肢間の任意の相関関係をどのように表現するかという問題と、選択者はどのくらいの広さを持った選択肢をひとつの選択肢として認識し、選択肢集合を形成しているのかという問題の、二つの課題が存在する。

本研究では、定量化しにくい交通行動である目的地選択に関し、従来から対応が困難であった個人ごとに異なる選択肢間の相関関係を表現するモデルの開発を行う。本研究では、まず仮想的に設定した空間において実験的に目的地選択確率の計算

を行い、構築したモデルの基礎的な特性を把握した後、観光地選択実績データを用いて実際に推定計算を行うことにより、本研究で提案するモデルの理論整合性を確認した。また、従来のモデルと比較することによって本モデルの基本的な推定特性及び安定性の検討を行った。ここでは紙面の都合上、定式化及び推定計算についてのみ述べる。

### 2. 目的地間の類似性を考慮した目的地選択モデル

#### 2.1 類似性を考慮することの重要性

非集計モデルでは、選択肢の魅力は選択者と選択肢の客観的なデータによって説明される確定項 ( $V$ ) と、その他不確実な要因をまとめて説明する確率変数 (確率誤差項) の線形和で表現される (効用関数  $U$ )。従来から需要推計に用いられてきた効用関数の基本モデルであるLogit Modelでは、選択肢を相互独立と仮定しているため、選択肢間に相関関係があることが考慮されていなかった。そのため誤った推計をする危険性が存在していた (IA特性)。鉄道経路選択モデルにおいては、この問題に対応するため従来から多くの研究がなされており、効用関数の確率誤差項を構造化し、選択肢間の相関関係を表現するのに成功している (構造化Probit Model)。目的地選択の場合も近接した目的地は何らかの相関を持っており、個人ごとに選択肢の識別・範囲等設定の仕方や選択肢どうしの相関関係が異なる。このため、選択者の認識構造を考慮して予測モデルを作成する際、空間的位置関係に注目して類似性を考慮する必要がある。

そこで本研究では、構造化Probit Modelに習い、効用関数の誤差項を構造化することにより目的地選択問題における選択肢間の相関関係を表現するモデルの定式化を行った。

#### 2.2 空間的な相関関係による誤差発生への考え方

相関のある選択肢どうしは、効用関数の誤差項で共分散を起こす。目的地選択問題においてこの共分散を発生させる (目的

地の効用を変化させる要因は、目的地までのアクセシビリティに着目した時、目的地までの距離と選択肢の空間的広がりの二つが考えられる。例えば隣接した目的地にアクセスするまでの重複する経路距離 (図1区間A) が長い場合、その重複区間で事故が起こったり起こらなかったりする不確実性が単位距離ごとに発生すると考えると、その影響を距離の長さによって表現することができる。また目的地圏域の広さに関しては、隣接した目的地の重なる圏域内に魅力ある施設 (例えば温泉) が存在する・しないの個人の認識による不確実性が単位面積ごとに発生すると考えると、相互の目的地の魅力への影響は重なる目的地圏域の面積によって表現することができる。選択肢間の類似性及び選択肢の範囲に関しては、重複距離が長いほど、また重複圏域面積が広いほど、二つの近接した目的地は類似してほとんどひとつの目的地として認識されることを説明することができ、選択肢の範囲の設定問題にまで踏みこんだ定式化となる。

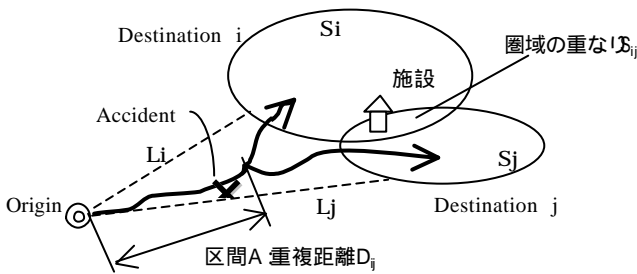


図1 誤差発生機構

具体的な式展開は以下のようなものである。ある選択者の持つ選択肢の効用関数は、式 (1) で表すことができる。

$$U = V + h_i + h_j + e_0 \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{距離発生誤差 } \quad r_i \sim N(0, r_i^2) \\ \text{空間発生誤差 } \quad s_j \sim N(0, s_j^2) \\ \text{選択肢間相互独立の誤差 } \quad e_0 \sim G(0, e_0^2) \\ N: \text{正規分布, } G: \text{ガンベル分布} \end{array} \right.$$

この時、j個の選択肢を選択肢集合に持つ人の選択肢の選択確率は、乱数による近似解を代入するなどの方法によって以下のように与えられる。

$$P_i(\mathbf{h}) = \frac{\exp(V_i + \mathbf{h}_i + \mathbf{h}_{i_s})}{\sum_j \exp(V_j + \mathbf{h}_j + \mathbf{h}_{j_s})} \quad (2)$$

誤差項の分散・共分散行列は式 (3) のように表現可能であり、効用確定項のパラメータと同時に分散比 (ガンベル分布の分散に対する誤差項の分散) パラメータが同時に推定可能である。

$$\Sigma = \mathbf{s}_i^2 \begin{pmatrix} L_i & \dots & D_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{ij} & \dots & L_j \end{pmatrix} + \mathbf{s}_s^2 \begin{pmatrix} S_i & \dots & S_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{ij} & \dots & S_j \end{pmatrix} + \mathbf{s}_0^2 I \quad (3)$$

$L_i, S_i$  はそれぞれ目的地  $i$  までの距離、及び目的地圏域面積であり、目的地  $i$  への重複距離  $D_{ij}$ 、目的地  $j$  への重複圏域面積  $S_{ij}$  については次に説明する。

重複距離  $D_{ij}$  の与え方

$D_{ij}$  は、目的地までの距離 (OD 距離  $L_i$ ) と目的地間の距離  $L_j$  (目的地どうしの近さ) の両方に依存すると考えられる。これら二つの変数を取り込むため、目的地 2 点と出発地を結ぶ三角形を仮定し、 $D_{ij}$  を出発地から三角形の角の二等分線の交点までの距離とした。

$$D_{ij} = \frac{L_i L_j}{L_i + L_j + L_{ij}} \sqrt{2(1 + \cos \theta)}, \cos \theta = \frac{L_i^2 + L_j^2 - L_{ij}^2}{2 L_i L_j} \quad (4)$$

重複圏域面積  $S_{ij}$  の与え方

目的地の概念的な圏域を円で仮定すると、幾何学的に重複圏域面積  $S_{ij}$  は以下で与えられる。

$$S_{ij} = \frac{1}{2} (r_i^2 a + r_j^2 b - r_i^2 \sin a - r_j^2 \sin b) \quad (5)$$

$$\sin a = \frac{r_i^2 + L_j^2 - r_j^2}{2 r_i^2 L_j} \sqrt{4 r_i^2 L_j^2 - (r_i^2 + L_j^2 - r_j^2)^2}$$

ここで  $r_i$  は目的地の圏域半径であるが、これは日帰りの場合、以下のように目的地までの距離によって決定される。つまり、近接した目的地が出発地から近い場所にある場合は、日帰りで行ける圏域が広がるため重複圏域も広がる。逆に近接した目的地が出発地から遠い場合は、目的地の圏域が狭くなるため、重複圏域も狭くなる。

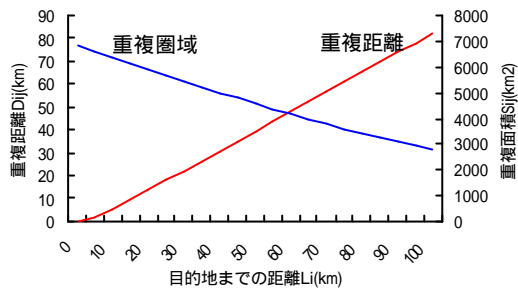
全体の旅行時間 ( $T$ ) = 観光地内滞在、移動時間 + 移動時間

$$T = \frac{r_i}{v} + \frac{2L_j}{v_{car}} \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v: \text{目的地内での平均的移動滞在速度} \\ v_{car}, v_{rail}, \dots: \text{モード別移動速度} \end{array} \right.$$

図 2 は、目的地間距離  $L_{ij}$  が 10km の場合の式 (3) の分散共分散行列の要素である重複距離や重複面積の値を表しており、近接した目的地を見る場合の OD 距離の違いによる変化と選択者の認識階級を示したものである。これを見ると、2 つの目的地  $i, j$  が近接している場合、その近接性による選択肢の類似度は、OD 距離によってその類似度を定める要因となる誤差が異なることがわかる。つまり目的地まで遠いところから出発した人 ( $L_i$  大) は、図 2 下の図のように二つの目的地までの重複区間が長くなり、重

重複距離  $D_{ij}$  による影響をより多く受けている。また、近くから出発した人 ( $L_i$  小) が近接した目的地を見る時は、日帰りのトリップの場合、重複距離  $D_{ij}$  による影響より重複空間  $S_{ij}$  がどれだけあるかによって類似の度合い及び選択肢の範囲を決めていると考えられる。以上のように、定式化したモデルによって選択者の認識構造と定式化の理論整合性が保たれる。



近い場所から出発 ←→ 遠い場所から出発  
 重複圏域による認識大 ←→ 重複距離による認識大

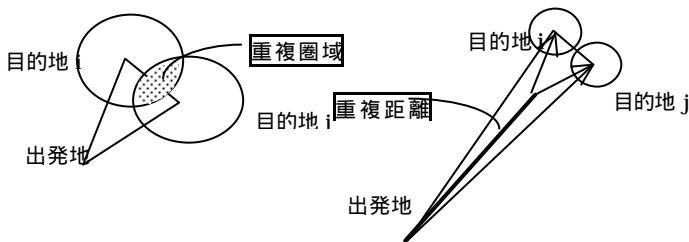


図2 誤差発生要因と認識による類似性への影響

### 3. 観光データを用いた推定計算

#### 3.1. サンプル構成と推定パラメータの関係

本モデルは、効用関数誤差項を構造化することにより類似した選択肢の効用を下げ、それら類似した選択肢を別々の選択肢として計算した場合よりも合計の選択確率を下げる効果を期待するものである (IIA 特性の緩和)。よって本モデルは、選択肢間の類似性が高い (空間的に近接した) 選択肢を選択肢集合に持ったサンプルを含む場合に有効であると考えられる。

図3は、サンプルの選択肢集合と選択結果の構成がどういった場合に推定されるパラメータが有意なのか ( )、有意でない (x) のかを最もシンプルなケースについてまとめたものである。+、- は推定されるパラメータの符号である。また、- は類似性を考慮しない選択肢独立の場合なので、距離による誤差 ( $D$ ) 及び圏域面積による誤差 ( $S$ ) を考慮しなくて良いことを表して

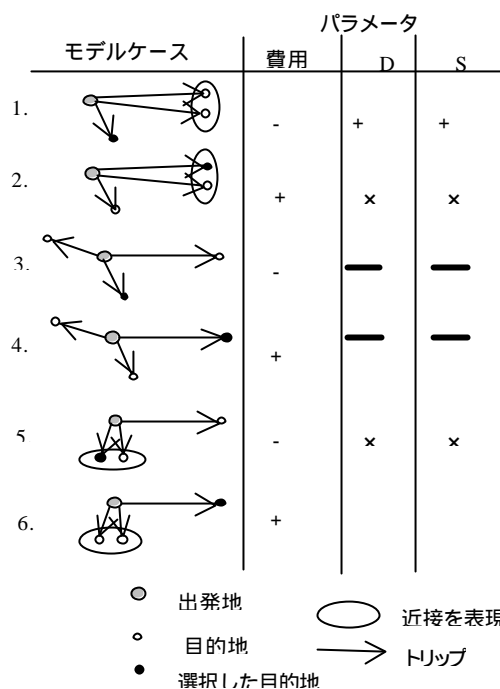


図3 パラメータの有意性

いる。問題を簡単にするため、以下では3肢選択の場合のみについて説明する。

例えばケース1は、ある選択者の選択肢集合に含まれる3つの選択肢の空間的位置関係が、出発地から遠いところで近接して2つ存在し、後の1つが出発地に近い場所に存在する場合において、出発地に近い選択肢を選択しているケースを模式的に示したものである。具体的には、出発地が東京で、比較的遠い所で近接している「箱根」伊豆」及び近くの 鎌倉」といふ3つの選択肢を選択肢集合に持った人が「鎌倉」を選択しているケースである。この場合、出発地に近い選択肢を選んでいたので、確定効用項が時間や費用である場合、それらのパラメータは - の有意に働き、この現象を説明しようとする。また遠くの近接した目的地は重複距離が長いので  $D$  は有意に働き、重複面積も  $D$  ほどではないが少なからず影響し、 $S$  はこれらの目的地の効用を下げる方向に有意に働くと考えらる。

通常の推定計算では、様々な選択ケースを持つサンプルが混在している場合において、全サンプルの選択行動を最も有意に説明するパラメータを推定するため、構築したモデルが従来のモデルに比べてどのように改善したのかが明らかにならない。また、従来の構造化 Probit Model 等経路選択モデルの研究から、分散比パラメータは選択肢が多くなるほど、またサンプルの経路の

重複度合いが高くなるほど小さくなる事が確かめられている。しかしながら本研究では、 $\rho_0$ と同時に $\rho_s$ も考慮しているので、この定式化による影響がどのように推定特性に現れるのかも明らかにする必要があります。

そこで本研究では、トリップデータからサンプルを恣意的に抽出することによってサンプル構成を様々に変化させ、理論的な推定結果と整合するかどうか、また $\rho_D$ と $\rho_S$ による効果によって得られる推定特性を検討した。

### 3.2 計算概要及び推定特性について

推定計算には、1992年に行われた「観光実態調査」を用いた。確定効用項の説明変数には、サンプルにばらつきを持たせるため時間価値と費用を個人の年収で割った値（合成費用価値）及び室谷<sup>4)</sup>による観光地魅力度評価法による魅力度を用いた。トリップデータから選択結果を元に一様乱数を発生させ、ある条件下で個人ごとの選択肢集合を設定し、ランダムにサンプルを抽出した。また出発地側のばらつきを持たせるため、東京都、横浜市、仙台市、郡山市発のサンプルを各地域の人口構成比から傾斜をつけて抽出した。

表1は、3肢選択の場合において選択肢集合に「熱海」及び「箱根」を選択肢集合に選んでいるサンプルを優先して抽出し、推定計算を行った結果である。「熱海」・「箱根」は空間的に近接しており、3.1.で述べたケース1.に相当するサンプルが多く含まれている場合である。理論的に推定結果を予想した通り、全てのパラメータは有意に推定され、従来のLogit Model、距離による誤差のみを考慮したモデル（ML1）、圏域面積による誤差のみを考慮したモデル（ML2）、その両方の誤差を考慮したモデル（ML3）の4通りを比較すると、モデルの説明力を表す尤度比（大きいほど良いモデル）は従来のLogit Modelよりも改善されている事がわかる。また、魅力度のパラメータ値と値（高いほど影響力がある）を見ると4つのモデルであまり変化はないが、合成費用価値のパ

ラメータは、ML1とML3において大幅に改善されている。これは、このサンプル構成では重複距離が大きくなり、近くの選択肢よりも遠くにある近接した目的地の効用を下げるように、また逆に近くの目的地が選ばれるように $\rho_0$ の項が効用に作用するため、近いほど良い $\rho_0$ 方に説明する合成費用価値も有意に説明されると考えられる。選択された目的地が近いということと費用が少ないということは正の相関関係を持っているため（図4）、 $\rho_0$ の項によって費用価値パラメータが影響を受けたと考えるのが妥当である。一方ML2は、このサンプル構成の場合重複圏域面積が小さいため、 $\rho_0$ に比べ推定にほとんど影響を与えておらず、従って尤度比もあまり改善していないことが理解される。

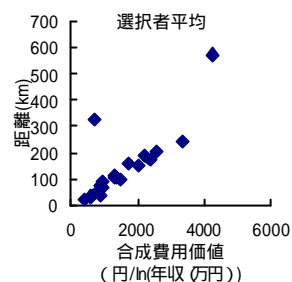


図4 距離と説明変数の相関

### 4. まとめ

本研究では、分布交通量予測のための目的地選択モデルを対象とし、空間的位置関係による誤差項の構造化を行い、選択肢間の相関関係を表現するモデルを構築した。

また、トリップデータを用いて従来のモデルと比較し、本モデルの推定特性を把握した。その方法は、様々なサンプル構成について推定の安定性を検討し、本モデルで有意に推定計算ができるケースを確認した。さらに、距離による誤差 $\rho_0$ と圏域面積による誤差 $\rho_s$ の二つの誤差による推定への影響の及ぼし合いについて比較検討を行った。

#### 参考文献

- 1) 清水哲夫・屋井鉄雄 Mixed Logit Model とプロビットモデルの推定特性に関する比較分析-鉄道経路選択モデルを例に-,土木計画学論文集,1999
- 2) Tetsuo YAI・Tetsuo SHIMIZU: Multinomial probit with structured covariance for several choice situations with similar alternative, T - Research Record,1999

表 1.推定結果 3肢 375 サンプル

|        | Logit Model |        | ML1 Mixed Logit $\rho_0$ |        | ML2 Mixed Logit $\rho_s$ |        | ML3 Mixed Logit $\rho_0 + \rho_s$ |        |
|--------|-------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
|        | パラメータ推定値    | t 値    | パラメータ推定値                 | t 値    | パラメータ推定値                 | t 値    | パラメータ推定値                          | t 値    |
| 合成費用価値 | -0.0316     | -2.759 | -0.1073                  | -3.734 | -0.0344                  | -2.436 | -0.1027                           | -3.393 |
| 魅力度    | 0.0645      | 6.594  | 0.0617                   | 4.205  | 0.0687                   | 5.853  | 0.0613                            | 4.117  |
| 分散比 D  |             |        | 2.7306                   | 1.826  |                          |        | 2.4449                            | 1.606  |
| 分散比 S  |             |        |                          |        | 0.8721                   | 1.17   | 0.0911                            | 0.405  |
| 尤度比    | 0.13671706  |        | 0.17001601               |        | 0.14377302               |        | 0.17105902                        |        |

3) 岡本直久：観光交通計画のための調査及び分析手法に関する研究,平成8年度東京工業大学学位論文  
4) 室谷正裕：『新時代の国内観光魅力度評価の試み』、運輸政策研究機構 他