

# 実交通流観測結果によるLogit型経路選択モデルの検証\*

A verification of the logit route choice models by real traffic flow observation result\*

安藤正幸\*\*・高山純一\*\*\*・中山晶一郎\*\*\*\*

By Masayuki ANDOU\*\*・Jun-ichi TAKAYAMA\*\*\*・Shoi-chiro NAKAYAMA\*\*\*\*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

道路整備計画や渋滞緩和計画の立案にあたり、ドライバーの経路選択行動を把握することは重要事項である。ドライバーの経路選択行動を正確に把握することは、交通量配分による推定交通量の精度を向上させるとともに、交通需要マネジメントや交通管理におけるドライバーの誘導など多様な交通施策に活用することができる。

本研究では、図-1に示す石川県金沢市の中心市街地において、ヘリコプターによるビデオ空撮を行い、朝ピーク時の交通流を解析し、既存の主な経路選択モデルと実交通流を比較・検証するものである。



図-1 調査位置図

\*キーワード：経路選択，交通行動調査，交通行動分析

\*\* 正会員 金沢大学大学院 博士後期課程

(〒921-8042 石川県金沢市泉本町2-126

TEL 076-243-8326, E-mail m-andou@nihonkai.co.jp)

\*\*\* フェロー 工博 金沢大学理工研究域環境デザイン学系

\*\*\*\*正会員 博(工) 金沢大学理工研究域環境デザイン学系

### (2) 経路選択研究の必要性

一般的な実務レベルの交通量配分における経路選択は、最短経路法を採用する場合が多い。最短経路法においてドライバーは、リンクコスト（所要時間）が最小となる経路を正確に把握していると仮定しているが、現実の交通においてドライバーは、厳密に所要時間が最小となる経路を把握していることは考えにくい。また、ドライバーは、個々の嗜好や運転の目的など所要時間に加え、それ以外の要因も加味して経路を選定していると考えられる。ゆえに、確率的利用者均衡配分では、このようなドライバーの経路選択の曖昧さを確率変数により表現し、交通量配分を行っている。しかし、これまでその実態を明らかにした調査事例はほとんど見あたらない。

一般に、配分原則は一対一に対応するものではなく、理論的にすべてのドライバーが合理的な選択行動をとり、交通状況について、その情報を完全に把握しているとすれば、等時間原則が成り立つとされている。しかし、先述のように、一般には、すべてのドライバーが同じ判断基準で経路選択をするとは限らず、得ている交通情報も完全ではないと考えるのが普通である。

そこで、本研究では限られたエリア、限られた時間帯ではあるが、現実の経路選択特性を調査し、その特性を明らかにする。

### (3) 既存研究の整理

経路選択モデルは、大別するとa) 効用最大化理論によるLogit型モデルと、b) ファジィ推論など人間の主観的判断過程モデルに分類される。

#### a) 効用最大化理論によるLogit型モデル

効用最大化理論によるLogit型モデルは、ドライバーは効用理論を前提として経路選択を行うと考える統計的方法である。これらの歴史は、1920年代に始まり、種々の改良がなされてきた。モデルの理論的枠組みの発展の経緯を図-2に整理する<sup>1)</sup>。

これらのモデルは、GEV理論とその解法に基づくモデルと、定式化された効用関数の確率変動成分の不等分散性を考慮したモデルに大別できる。GEV理論とその解法に基づくモデルは、多項ロジットモデル(MNL)、Nested Logit (NL) モデル、C-Logitモデル、Tree Logit (TL) モデ

ル、Paired Combinatorial Logit (PCL) モデル、Cross Nested Logit (CNL) モデル、Generalised Nested Logit (GNL) モデルである。

もう一つの定式化された効用関数の確率変動成分の不等分散性を考慮したモデルは、Kernel Logitモデル、Mixed Logit (MXL) モデル、多項プロビット (MNP) モデル、不等分散極値 (HEV) モデル、誤差構成 (ECL) モデルなどがある。

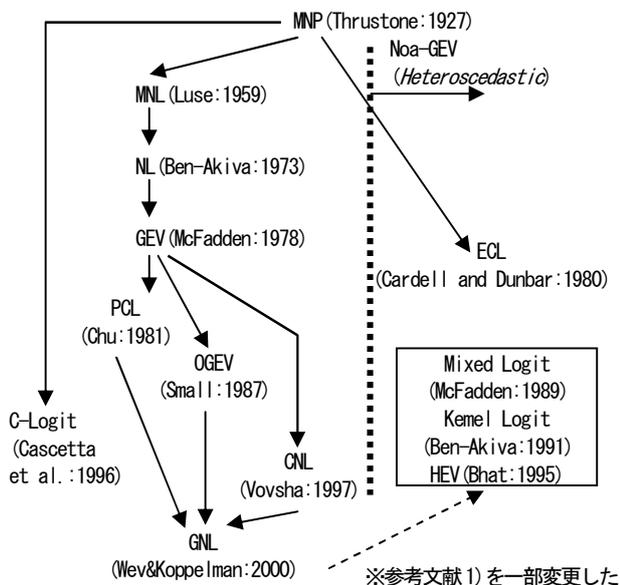


図 2 モデルの発展経緯

主なモデルの概要は、以下の通りである。

C-Logitモデルは、Casetta et al.<sup>2) 3)</sup>により提案されたモデルであり、MNLをベースとしてネットワーク配分における経路の重複問題を効用関数のcommonality factorと呼ばれる変数で表現し、選択枝の類似性を外挿的に考慮したものである。Ben-Akiba and Bierlaireは同様なモデルとしてPath-size Logitモデルを提案しており、兵藤ら<sup>4)</sup>はその適用の可能性を検討している。

MNLモデル<sup>5)</sup>は、各経路の選択枝の誤差項は互いに独立とし、選択枝間の無関係性 (IIA) を仮定したが、共有リンクフローを過大に推計する問題があった。

NLモデル<sup>6)</sup>は、選択枝の類似性に対してツリー構造を用いることによりMNLのIIA特性の緩和を図った。しかし、経路重複パターンが複雑な都市ネットワークにおいて、経路選択枝のツリー構造をどのように定義するかという課題が残った。

MNLモデルでは、異なる選択枝間の共分散をゼロと仮定しており、NLモデルでは、異なるネストの選択枝間の共分散をゼロとし、共通ネストの中の選択枝間の共分散が等しいと仮定した。これらに対しPCLモデル<sup>7)</sup>は、選択枝組ごとに異なる共分散を求める方法を採用した。このため、経路組ごとに類似度パラメータを求める必要性があり、ネットワークに対して膨大な数の類似度パラメータの推定が必要となる。

CNLモデル<sup>8)</sup>は、NLモデルを一般化したモデルとして考えることができる。従来は選択枝のネストに対する帰属度が固定されていたのに対して、複数のネストへの帰属の程度をそれぞれ構造的に定義したものであり、モデルの構造が大きくなる。

GNLモデル<sup>9)</sup>は、CNLモデルとPCLモデルがGEVモデルから導出されたものであることに着目し、一般化を図ったモデルであり、MNLモデル、NLモデル、PCLモデル、CNLモデルの導出も可能である。

ECLモデル<sup>10)</sup>は、効用の確率項を一般化し、いくつかのエレメントに分解して考えるものである。これにより、観測データから予想される非線形パラメータや、個人間の相関を示す確率成分の異分散性、時点間、異データ間、選択枝間、個人間のIID特性などの固有の確率成分を区別して取り扱うことができる。ECLモデルは、実ネットワーク上の経路選択行動を取り扱う上で、ネットワーク上の経路選択枝の類似性の認知と、それに伴う経路選択確率の交差弾力性の影響の考慮、および所要時間に対する反応の異質性の記述の問題点を解決するものである。

なお、分解した確率変数パラメータの推定に対して、モーメント法を使用したKernel Logit<sup>11)</sup>、シミュレーション法を使用したMixed Logit<sup>12)</sup>がある。

#### b) 主観的判断過程モデル

主観的判断過程モデルは、「ドライバーは知識や経験をもとに、あいまいな主観的判断により経路選択を行うもの」と考える手法である。

この理論は、ファジー推論をもとに、遺伝的アルゴリズム (GA) やニューラルネットワークモデル (NN) を使用している。

安藤、秋山<sup>13)</sup>は、ファジー推論にGAを援用した経路選択モデルを検討している。坪井、秋山<sup>14)</sup>および松浦、秋山<sup>15)</sup>は、経路選択において経路選択の判断過程を記述する多段ファジィ的ニューロモデルの有効性を挙げている。また、井ノ口<sup>16)</sup>らは、ドライバーのアンケート結果から経路選定の要因を分析し、これをもとに、ニューラルネットワークを用いた経路選択モデルの構築を行っている。

#### (4) 本研究の目的と意義

これまでに、ドライバーの経路選択行動モデルについて多様な研究がなされてきた。しかし、経路選択モデルと実交通流との検証事例が少ないこと、また、各モデルにおける実交通流との検証は、そのモデルを解くのに必要なパラメータ推定となっている。このため、同一交通流に対する多様なモデルの適用性について比較検討した研究がなされておらず、どのような地域にはどのモデルが最適なのかを研究する必要がある。

また、今後多様な地域で既存理論を活用するためには、多くの検証例を蓄積することが必要である。

よって、本研究の目的を以下の3項目とする。

- a) 都市内における現実の自動車交通流を解析し、ドライバーの経路選択特性を明らかにする。
- b) 既存の各種経路選択モデルの適用可能性を比較検討する。
- c) 各種経路選択モデルの最適パラメータを推定し、今後の検証事例（一事例）として蓄積する。

## 2. 研究の概要

### (1) 現況交通流調査の内容

現況交通流の調査は図-1に示す検討対象範囲において、以下の通り行う。

#### a) ヘリコプターによるビデオ撮影

平日朝夕および休日昼の交通状況をヘリコプターに搭載したハイビジョンカメラにより録画する。録画に当たっては、後の読み取り・解析をスムーズに行うため、画面の振動を極力抑えるため、大型ヘリコプターを用いる。なお、撮影時間は以下の通りとする。

平日 朝 8:00~9:00 1時間

#### b) ビデオの読み取り・分析

ビデオの読み取り・分析は、図-1に示す検討対象範囲を図-3に示すようにモデル化して、下記事項を計測する。なお、集計単位は、最長トリップに要する所要時間(15分)とする。

- ①モデル図に示す発着点によるOD表を作成する。
- ②各リンクの集計単位当たりの交通量を計測する。
- ③各リンクの集計単位当たりの平均旅行時間を計測する。

#### c) その他

道路延長や道路構造(車線数、車線幅員、付加車線の有無など)および信号のサイクル等は、都市計画図および現地調査にて計測する。

### (2) 比較検討理論の選定

比較検討する経路選択モデルとしては、a) 現在交通量配分に多用されている「最短経路法(ダイクストラ法)」、b) MNPモデルから直接派生した「C-Logit(Path-size Logit)モデル」、c) MNPモデルから派生し、改良が加えられた「GNLモデル」、およびd) GEVの系統と異なる「Mixed Logitモデル」の4モデルとする。

なお、ファジィ推論による主観的判断過程モデルであるファジィニューロモデルなどは、路線選定における「IF...THEN...」といった判断項目が普遍的な判断要因になりにくく、場合によっては恣意性を含むため、本研究においては比較対象としないこととする。

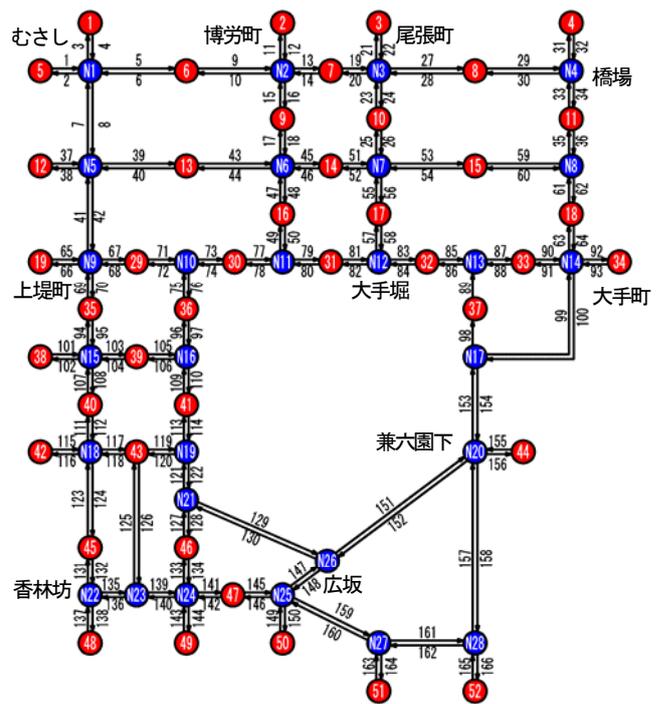


図-3 検討対象範囲のモデル図

### (3) 経路選択理論の整理

比較検討を行うa) 最短経路法、b) C-Logit (Path-size Logit) モデル、c) GNLモデル、およびd) Mixed Logitモデルの理論を以下の通り整理する。

#### a) 最短経路法(ダイクストラ法)

ダイクストラ法は、最短経路問題を効率的に解くグラフ理論におけるアルゴリズムであり、発地点から着地点までの最小コスト(時間)とその経路を求めることができる。また、ダイクストラ法は、DP(動的計画法)的なアルゴリズムであり、「手近で明らかなることから順次確定していき、その確定した情報をもとにさらに遠くまで確定していく」方法である。

- ①発地点と連結するノードにリンクコストを仮数値として与える。(連結していないノードは無限大)
- ②仮数値が最小となるノードに接続するノードには、仮数値+リンクコストの仮数値を与える。
- ③この時、ノードに与えられた数値が最小となるノードへの経路を確定ルートとし、各ノードの数値を確定とする。
- ④これを繰り返し、着地点ノードの値が最小となる経路が最短経路となる。

#### b) C-Logit (Path-size Logit) モデル

C-Logitモデルによるネットワーク配分における経路の選択確率を式(1)、(2)に示す。

$$P_n = \frac{\exp(V_n - CF_n)}{\sum_n \exp(V_n - CF_n)} \dots \dots \dots (1)$$

$$CF_n = \beta_{cf} \ln \sum_n \left( \frac{L_{nn'}}{\sqrt{L_n L_{n'}}} \right)^\gamma \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $P_n$  は経路の選択確率、 $V_n$  は経路  $n$  の効用の確定項、 $\beta_{cf}$ 、 $\gamma$  は未知パラメータ、 $L_{nn'}$  は経路  $n$  と経路  $n'$  間の共有リンクコストであり、 $L_n$ 、 $L_{n'}$  はそれぞれ経路  $n$  と経路  $n'$  の全経路コスト、 $K$  は利用可能経路集合である。

c)GNLモデル

GNLモデルは、適切な条件を付与することによりNLやPCL、CNLの導出が可能であり、各モデルを含む一般性を有している。

$$P_n = \sum_m P_m P_{n|m} \dots \dots \dots (3)$$

$$P_m = \frac{\sum_n \left\{ [\alpha_{nm} \exp(V_n)]^{1/\mu_m} \sum_{n \in N_n} [\alpha_{n'm} \exp(V_{n'})]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_{n \in N_n} [\alpha_{n'm} \exp(V_{n'})]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}} \dots \dots \dots (4)$$

$$P_{n|m} = \frac{\left\{ \sum_{n \in N_n} [\alpha_{n'm} \exp(V_{n'})]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_{n \in N_n} [\alpha_{n'm} \exp(V_{n'})]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}} \dots \dots (5)$$

$$\sum_m \alpha_{nm} = 1, \forall_n \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 $P_m$  はネスト  $m$  が選択される確率であり、 $N_n$  はネスト  $m$  の選択肢組を、 $\mu_n$  はネスト  $m$  の非類似度パラメータを示す。また、 $\alpha_{nm}$  は、選択肢が各ネストに帰属する重みを表すパラメータである。

d)Mixed Logitモデル

Mixed Logitモデルにおけるモデルの効用関数を式(7)に示す。

$$U_{in} = V_{in} + [\mu z_{in} + \varepsilon_{in}] \dots \dots \dots (7)$$

$V_{in}$  は、サンプル数  $n$ 、選択肢  $i$  の効用関数の確定項、 $\mu$  は平均0 の確率変数ベクトル、 $z_{in}$  は選択肢  $i$  に関する特性変数ベクトル、 $\varepsilon_{in}$  はガンベル分布に従う誤差(通常のロジットモデルの誤差項)である。

この時、選択肢  $i$  の選択確率は以下ようになる。

$$L_{in}(\mu) = \frac{\exp(\beta' x_{in} + \mu_{in})}{\sum_j \exp(\beta' x_{ij} + \mu_{ij})} \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 $\mu$  の確率密度分布を  $f(\mu|\Omega)$  とすると、選択肢  $i$  の選択確率は、以下の積分の形式で与えられる。

$$P_{in} = \int L_{in}(\mu) f(\mu|\Omega) d\mu \dots \dots \dots (9)$$

式(9)では積分を計算できないため、モンテカルロシミュレーション法を利用して  $\mu$  の確率分布を有限の乱数に置き換える。 $f(\mu|\Omega)$  の分布に従う有限個 ( $R$  個)の乱数抽出(個々の乱数を  $\mu^r$  とする)を行い、各々について上記の確率計算をすれば、式(10)に示すシミュレートされた確率 ( $SP_{in}$ ) が推定できる。

$$SP_{in} = (1/R) \sum_r L_{in}(\mu^r) \dots \dots \dots (10)$$

なお、効用関数のパラメータ ( $\beta$ ) および  $f(\mu|\Omega)$  の母数パラメータ ( $\Omega$ ) の推定は、通常のLogitモデルと同様に、式(10)を用いた対数尤度の最大化により行う。

3. 調査結果と研究の結果

交通流調査が、現時点で未実施であるため、調査結果ならびに研究結果は講演時に発表する。

参考文献

- 1) 羽藤 英二：ネットワーク上の交通行動，土木計画学研究・論文集，Vol. 12，pp.13-27，2002.
- 2) Cascetta.E. et al. : A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems. Specification and some calibration results for inter-urban networks, Transportation and Traffic Theory, pp.697-711, 1996.
- 3) Cascetta.E. et al. : Implicit availability / perception logit models for route choice in transportation networks, World Transport, pp. 15-24, 1998.
- 4) 兵藤哲朗 et al. : Path Size Dial Logitモデルの提案とその適用可能性, 交通工学, Vol. 44, No. 4, pp. 66-75, 2009
- 5) McFadden.D. : Conditional Logit analysis of qualitative choice behavior, Frontiers in Econometrics, pp.105-142, 1978.
- 6) Williams.H.C.W.L : On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, Environment and Planning 9A(3), pp. 285-344, 1977.
- 7) Gliebe. J.P et al. : Route choice using a paired combinational logit model, Paper presented at the 78th meeting of the Transportation Research Board, 1999.
- 8) Vovsha.P. and Bekhor.S. : Link-nested logit model of route choice ;overcoming route overlapping problems, Transportation Research Record, 1645, pp. 133-142, 1998.

- 9) Wen. C. and Koppelman. F. S. : The generalized nested logit model, Paper presented at the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2000.
- 10) McFadden. D. and Train. k. : Mixed MNL models for discrete response, Journal of Applied Econometrics, 15(5), pp. 447-470, 2000.
- 11) McFadden. D. : A method of simulated moments for estimation of discrete response models without numerical integration, Econometrica, 57, pp. 995-1026, 1989.
- 12) 兵藤哲朗、章 翔 : Mixed Logitモデルの汎用性に着目した特性比較分析, 土木学会論文集, No. 660, IV-49, pp. 89-99, 2000.
- 13) 安藤 彰記, 秋山 孝正 : ファジィ推論モデルの経路選択行動分析への適用性について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 423-424, 1995.
- 14) 坪井 兵太, 秋山 孝正 : ファジィ・ニューロモデルによる経路選択現象の記述, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 513-514, 1997.
- 15) 松浦 貴宏, 秋山 孝正 : ファジィ・ニューロモデルを用いた経路選択行動に関する基礎的分析, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 511-512, 1997.
- 16) 井ノ口 弘昭 et al. : ニューラルネットワークを用いた経路選択モデルの構築, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 371-372, 2000.

---

### 実交通流観測結果によるLogit型経路選択モデルの検証\*

安藤正幸\*\*・高山純一\*\*\*・中山晶一朗\*\*\*\*

現実の交通においてドライバーは、所要時間だけではなく多様な要因により経路を選定している。有効な社会資本整備や快適な交通環境を実現するためには、現実に即した適切な経路選択モデルを選定する必要がある。

本研究は、現実の交通流をヘリコプターの空撮により調査し、既存のLogit型経路選択モデルの適用性を検証するものである。

---

### A verification of the logit route choice models by real traffic flow observation result\*

By Masayuki ANDOU\*\*・Jun-ichi TAKAYAMA\*\*\*・Shoichi NAKAYAMA\*\*\*\*

In the traffic of the reality, the drivers choose the route according to not only the time required but also various factors. To achieve an effective provision of social overhead capital and a comfortable traffic circumstance, it is necessary to select the appropriate route choice model actually suited.

This study investigates the real traffic flow by taking a picture of the video from the sky with the helicopter, and verifies the applicability of an existing logit route choice model.

---