

# The logit type route choice model's verification by traffic flow observation result

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00008405">https://doi.org/10.24517/00008405</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# 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<sup>1</sup>・高山 純一<sup>2</sup>・中山 晶一朗<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本海コンサルタント 技術本部 (〒921-8042 石川県金沢市泉本町二丁目126番地)  
E-mail: m-andou@nihonkai.co.jp

<sup>2</sup>フェロー 金沢大学教授 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学准教授 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp

市街地内において、効果的な社会資本整備や渋滞緩和および交通需要マネジメントを行うためには、ドライバーの経路選択の特性を把握し、現実に即した適切な経路選択モデルを選定することが必要となることが多い。本研究では、現実の経路選択行動の調査結果より、ドライバーは所要時間だけではなく道路幅員や信号交差点数など多様な要因により経路を選定していることを明確化し、このようなドライバーの経路選択行動の特性を踏まえ、既存のLogit型経路選択モデルの適合性を検証した。この結果、C-Logitモデルが最も適合することが判明した。また、最尤推計法によるパラメータの設定ができない場合、道路および沿道の状況を取り入れ、ドライバーの嗜好を考慮した効用関数の計算手法を提案する。

**Key Words :** route choice, logit model, travel behavior observation, travel behavior analysis

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

道路整備計画の検討や交通渋滞対策の計画立案にあたっては、ドライバーの経路選択行動を予測することが重要事項であり、これまで様々な推計モデルの提案検討がなされている。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交通誘導など、多様な交通施策の検討に活用することができる。

しかし、ドライバーの経路選択行動は多種多様であり、大まかな法則性や傾向はあるものの、正確に経路選択行動を把握することは困難である。このため、これまで多くの経路選択理論が開発されてきている。

このような状況を踏まえ、本研究では、現実の経路選択行動を調査した2つのデータをもとに、現実の経路選択行動と既存の経路選択モデルとを比較・検証するものである。実際の経路選択行動を観測したデータの一つは、交通シミュレーションクリアリングハウスで公開されている吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセット<sup>1)</sup>であり、調査対象範囲は図-1に示すエリアである。

もう一つの経路選択行動データは、石川県金沢市尾張町地区におけるヘリコプターによる空撮ビデオ調査データである。金沢市尾張町地区における空撮ビデオ調査は、平日の朝ピーク時において、市街地内を通行する自動車の経路選択行動を上空でホバリングしたヘリコプターからビデオ撮影し、解析したものである。金沢市尾張町地区における空撮ビデオ調査範囲を図-2に示す。



図-1 吉祥寺・三鷹地区の調査対象位置と調査エリア



図-2 金沢市尾張町地区の調査対象位置と調査エリア

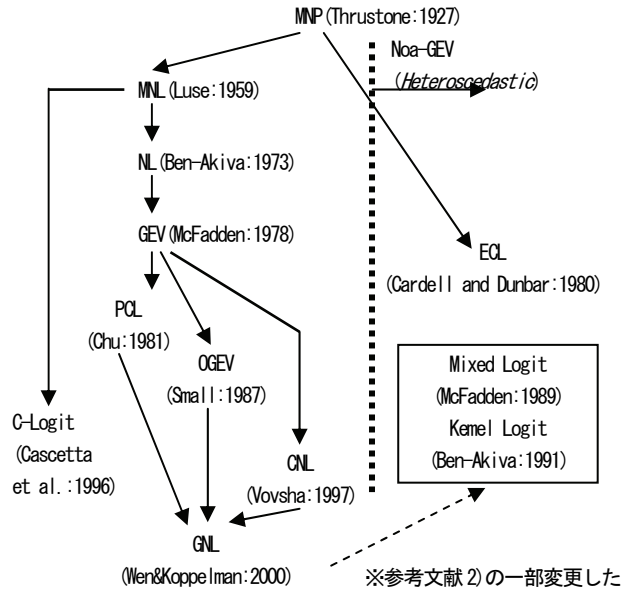


図-3 モデルの発展経緯

## (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、目的地への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。

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、どのような経路選択行動を仮定して配分などを行うのが適切であるのかを考えるために、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とともに、既存の経路選択モデルで推定される予測結果と比較することにより、経路選択モデルの適用性を明らかにしたい。

## (3) 既存研究の整理

経路選択モデルは、大別すると確率効用最大化理論によるモデルと、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) 確率効用最大化理論によるLogit型モデル

確率効用最大化理論には、Probit型モデルとLogit型モデルがある。Probit型モデルは効用関数の誤差項に正規

分布を仮定した非集計行動モデルであり、Logit型モデルのようにIIA特性に伴う適用上の制約がなく、個人による効用の異質性を扱うことができるという特徴がある。しかし、選択肢が3項以上になるとパラメータの推定が複雑になり、操作性が極端に悪化する。

これに対し、Logit型モデルは非集計行動モデルの中で最も広く利用されているモデルであり、パラメータの推定が比較的容易で操作性も優れている。効用関数の誤差項の確率分布としてガンベル分布を想定している。

本研究では、使いやすく広く利用されているLogit型モデルについて研究を行うものとし、Logit型モデルについて整理する<sup>2)</sup>。

確率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-3に整理する。

これらのモデルは、GEV理論に基づくモデルと、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。

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>34)</sup>により提案されたモデルであり、MNLモデル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-Akiva and Bierlaireは経路の重複に対して「選択枝集計の補正」という既存の非集計モデルで提案された定義に基づいてPath-size Logit (PSL)モデルを提案しており、兵藤ら<sup>5)</sup>はその適用の可能性を検討している。

MNLモデル<sup>6)</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(IID)を仮定したが、共有リンクフローを過大に推計するIIA特性が問題であった。

NLモデル<sup>7)</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モデルの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>8)</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>9)</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>10)</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>11)</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Kemel Logit<sup>12)</sup>、シミュレーション法を使用したMixed Logit<sup>13)</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>14)</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>15)</sup>および松浦、秋山<sup>16)</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、井ノ口ら<sup>17)</sup>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を構築している。

## (4) 本研究の意義

### a) 同一の交通調査結果に対する経路選択理論の検証

経路選択行動モデルについて、これまでに多種多様の研究がなされている。その中の多くの研究は、研究対象モデルの適合性を検証するため、実交通における経路選択結果と研究対象モデルを比較検証している。しかし、同一の交通調査結果に対して多様な経路選択理論を比較した事例として三輪、森川ら<sup>18,19)</sup>の研究が挙げられるものの、その数は多いとは言い難い。

このため、本研究では同一の交通調査結果を基に、実務で比較的に多用される3つの経路選択モデル(MNLモデル、C-Logitモデル、GNLモデル)と1つのアルゴリズム(最短経路法)を取り上げ、各理論の特徴・特性を明確にするとともに、その適合性を実際の観測データで検証する。

### b) 狭エリアにおける経路選択行動の解明

本研究は、市街地内の渋滞対策や交通需要マネジメント計画を想定し、バイパス整備等による大規模な経路変更ではなく、比較的小エリア内で、目的地が対象エリア周辺にあるため、大きな経路変更が生じない交通の行動特性を分析し、既存経路選択モデルの検証を行うものである。前項に挙げた三輪、森川ら<sup>18,19)</sup>の研究では名古屋駅と名古屋空港間(区間距離約12km)におけるタクシープロブデータによる検証を行っており、MNLモデル、NLモデル、C-Logit及びPSLモデルで検証するものの、いずれも現実の経路選択結果と適合性が低いことを挙げている。なお、この研究エリアは非常に広く、選択する経路は高速自動車道、国道および県道など多様な選択枝があり、費用や所要時間に大きな差があった。

本研究は、このような大きなエリアにおける多様な交通条件下における経路選択ではなく、一般的な市街地において、そのエリアを大きく迂回することはできないものの、交差点改良や交通施策等のインパクトがあった場合の経路選択行動の予測を行うため、市街地の狭いエリ

アに適する経路選択理論を見出すものである。

### c) 効用関数の設定方法の提案

効用最大化理論において、効用が経路を決定する要因となるため、効用の算定における各パラメータの設定が重要である。経路別の交通量が明白な場合は、最尤推定法により各パラメータは算出されるが、経路別の交通量が明白な場合は少ないと考えられる。経路別の交通量が不明の場合のパラメータ設定にあたり、本研究ではドライバーの嗜好を考慮した効用関数の設定方法を提案する。

## (5) 本研究の目的

経路選択行動モデルについて、これまでに多様な研究がされてきており、研究対象モデルと実交通流との検証は行うものの、同一交通流に対する多様なモデルの適用性について、比較検討した研究は少ない。また、広域的な経路選択における検証は行われているものの、比較的狭範囲における経路選択の検証は少ない。

このため、実交通流と経路選択モデルの検証研究を蓄積し、検討対象エリアの面積と道路総延長との比率や時間交通量及び車線数や信号交差点数などにより対象地域の特徴付けを行い、どのような地域に、どのモデルが適用可能なのか、どのモデルを適用するのが適当なのかなどを研究する必要がある。

また、バイパス整備などで解消されない市街地での渋滞対策を計画する場合は、対象エリアは比較的狭範囲であり、その中で経路選択行動の解明が求められる。

さらに、最尤推定法によるパラメータ設定ができない場合、ドライバーの嗜好を考慮した効用関数の設定方法について提案を行うものである。

よって、本研究の目的を以下の3項目とする。

- 市街地の比較的狭範囲における現実の経路選択行動を整理し、その特性を明らかにする。
- 既存の各経路選択モデルの適用性を比較検討する。
- 経路別交通量が不明な場合における効用関数の設定方法について提案を行う。

なお、本研究のフローを図-4に示す。

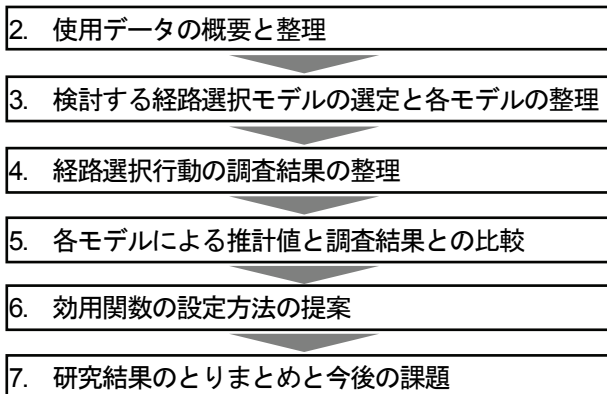


図-4 研究フロー図

## 2. 使用データの概要と整理

検討に使用する現実の経路選択行動データは、次の2つのデータであり、以降各々をCase 1, Case 2と称する。

Case 1: 吉祥寺・三鷹データセット

Case 2: 尾張町地区における観測データ

### (1) Case 1: 吉祥寺・三鷹データセットの内容

#### a) 調査の概要

経路選択行動データの一つとして、交通シミュレーションクリアリングハウスで公開されている吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセットを用いた。調査対象範囲のモデル図を図-5に示す。

また、当該調査の概要を表-1に示す。

#### b) 観測データの調整

観測されたデータには、計測誤差等があるため、以下の考え方により重複データを消去し、OD交通量及び経路データを作成している。

重複データの削除: プレートナンバー、通過地点、車種、通過時刻が一致するデータの重複を削除

時刻補正: 時系列である車両を追跡した場合、観測時刻に不連続が生じる場合、当該地点の前後観測記録を考慮し、時刻の補正を行う。



図-5 吉祥寺・三鷹地区調査対象範囲のモデル図

表-1 Case 1 調査概要表

調査日	平成8年10月30日(水)
調査時間	午前7時～午前10時
調査区域	東京都武蔵野市・三鷹市
調査地点	70ヶ所, 79車線
対象車両	4輪車以上
調査項目	通過時刻(1分単位)でプレートナンバー(大きい数字4桁), 車種(バス, タクシー, その他)を記録

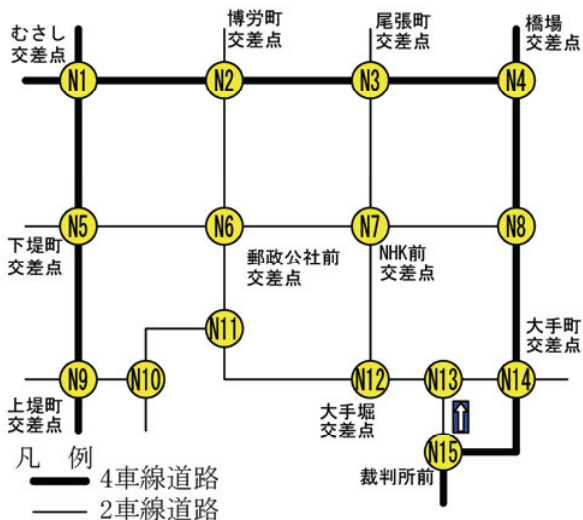


図-6 金沢市調査対象範囲のモデル図

以上より、修正した調査データは、総通過記録数70,999データのうち、車種やナンバープレートが不明だった読み取り不可データは0.4%である。読取り率は99.6%であり、ほぼ全数調査が行えた結果であった。

## (2) Case 2：尾張町地区における観測データの内容

もう一つの経路選択行動データとして、石川県金沢市尾張町地区における交通調査の観測データを用いた。調査対象範囲のモデル図を図-6に示す。

### a) 調査の概要

当該調査の概要は、表-2に示す通りである。

### b) 観測データの整理

撮影されたビデオより、発生車両が生じた時点で当該車両を追跡し、車種(小型・大型)、発地点と発時刻・通過地点及び着地点と着時刻を記録する。なお、録画時間が1時間であるため、発地点で車両が確認されたが、着地点への到達以前に録画が終了している場合は、集計から控除した(表-3参照)。

## 3. 検討する経路選択モデルの選定と各モデルの整理

### (1) 検討する経路選択モデルの選定

比較検討する経路選択モデルとして、MNLモデル、C-Logitモデル、GNLモデルの3種類を選定する。

選定理由は、以下の通りである。

- a) MNLモデル：MNPモデルから派生し、これまで多くの研究に使用されており、Logit型の基本形モデルであるため。
- b) C-Logitモデル：MNLモデルを改良し、経路の重複を考慮したモデルであるため。

表-2 Case2調査概要表

調査日	調査日:平成22年9月30日(木)
調査時間	午前7時50分～午前8時50分
調査区域	石川県金沢市尾張町地区
調査地点	A=43.2ha(720m×600m)
調査方法	ヘリコプター2機によるビデオ撮影

表-3 発着交通量の観測値(台/h)

着地点 発地点	尾張町地区内	尾張町地区外	合計
尾張町地区内	314	1,012	1,326
尾張町地区外	1,589	5,259	6,848
合計	1,903	6,271	8,174

総発生交通量(着地点が不明車両を含む)=8,330台/h

集計率=8,174/8,330=98.1%

- c) GNLモデル：MNLモデルのIIA特性を改良したモデルの一つであり、パラメータの取り扱いによりNLモデルやPCLモデルおよびCNLモデルとなり、各モデルを含む一般性を有しているモデルであるため。

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やすく、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ものとする。

### (2) 経路選択モデルの整理

比較検討を行うMNLモデル、C-Logitモデル、GNLモデルの内容を、以下に整理する。

#### a) MNLモデル(多項ロジットモデル)

多項プロビットモデル(MNPモデル)は、誤差項に選択肢数の次元をもつ多変量正規分布を仮定するため、IIA特性の問題はないが、選択肢数の数だけの多重積分、もしくはシミュレーション法などによる推定が必要となり、膨大な選択肢を持つ経路選択問題への適用は困難であることが多い。これに対し、MNLモデルは、Dialのアルゴリズムにより容易に適用可能であるため、非常に多くの研究で用いられてきた。しかし、このモデルは各選択可能経路の誤差項が同一の分布を持ち、互いに独立であることを仮定している。

$$P_n = \frac{\exp(\mu V_n)}{\sum_{n' \in N} \exp(\mu V_{n'})} \quad (1)$$

$$V_n = \sum_m a_m x_m \quad (2)$$

ここに、 $P_n$ は経路 $n$ を選択する確率、 $N$ は利用可能経路の集合、 $\mu$ はスケールパラメータ、 $V_n$ は経路 $n$ の効用の確定項、 $a_m$ は未知パラメータ、 $x_m$ は説明変数、 $m$ は経路を構成する各リンクである。

## b) C-Logitモデル

OD 間に存在する多くの利用可能経路は、それぞれが一部重なっている場合があるため、それらが完全に独立であるとは考えにくい。このため、C-Logitモデルでは重複する経路(共有リンク)に対する補正を行っている。

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(3), (4)に示す。

$$P_n = \frac{\exp(V_n - CF_n)}{\sum_{n' \in N} \exp(V_{n'} - CF_{n'})} \quad (3)$$

$$CF_n = \beta_{cf} \ln \sum_n \left( \frac{L_{nn'}}{\sqrt{L_n L_{n'}}} \right)^\gamma \quad (4)$$

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、 $N$  は利用可能経路の集合である。

## c) GNLモデル

GNL モデルでは、 $\alpha_{nm}$  はCNL モデルと同じく選択肢分布パラメータであり、GNL モデルにおいてすべての選択肢分布特性パラメータ  $\alpha_{nm}$  が等しいとき、PCL モデルと一致する。また、 $\mu_m$  ( $0.0 \leq \mu_m \leq 1.0$ ) はネスト  $m$  における類似性パラメータであり、 $\mu_m$  がすべてのネスト  $m$  で等しいと仮定した時にCNL モデルと一致する。さらに、 $\mu_m = 1.0$  のとき、MNL モデルと一致する。

このようにGEV 型モデルの適用可能性は、選択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。

$$P_n = \sum_m P_m P_{n|m} \quad (5)$$

$$P_m = \frac{\sum_n \left\{ \left[ \alpha_{nm} \exp(V_n) \right]^{1/\mu_m} \sum_{n' \in N_n} \left[ \alpha_{n'm} \exp(V_{n'}) \right]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_{n \in N_n} \left[ \alpha_{n'm} \exp(V_{n'}) \right]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}} \quad (6)$$

$$P_{n|m} = \frac{\left\{ \sum_{n' \in N_n} \left[ \alpha_{n'm} \exp(V_{n'}) \right]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_{n' \in N_n} \left[ \alpha_{n'm} \exp(V_{n'}) \right]^{1/\mu_m} \right\}^{\mu_m}} \quad (7)$$

$$\sum_m \alpha_{nm} = 1, \forall_n \quad (8)$$

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、 $\mu_m$  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。

## 4. 経路選択行動の調査結果の整理

### (1) 吉祥寺・三鷹地区における調査結果

吉祥寺三鷹地区の特徴は、検討対象エリアの面積が101.8ha、経路検討道路総延長が7.82km、時間発着交通量が4,984台/時、平均車線数が1.95車線、信号交差点数が21ヶ所(0.37km/箇所)であった。

経路選択において、単一路線上の起終点では経路選択が行われないため、経路選択が発生すると考えられる調査対象範囲の対角に位置する4点を起終点として選定する(図-7および表-4参照)。

表-4に示す4つのCaseにおけるOD交通量と所要時間を表-5~8にまとめる。また、各Caseの観測経路図を図-8~11に示す。

なお、平均所要時間の値は、全車における区間平均旅行速度から求めた値であり、OD計測時の実際の所要時間とは差異がある。

さらに、今回検証対象とする経路は、観測時に利用された経路のみを対象とする。理論的には全ての経路を対象とすべきであるが、未利用の経路を含んだ場合、未利用の経路に選択率が割り振られ、不要に誤差が大きくなるため、本研究では利用された経路のみを対象とした。

観測データ整理の結果、Case 1における経路選択行動の特徴として、下記事項が挙げられる。



図-7 Case 1 ODペアー図

表-4 Case 1におけるODペアー表

検討Case	起点	終点
Case 1-A	武蔵野中央交差点	東急イン前交差点
Case 1-B	東急イン前交差点	武蔵野中央交差点
Case 1-C	中央通り交差点	八幡宮前交差点
Case 1-D	八幡宮前交差点	中央通り交差点

表-5 Case 1-AにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
1-A	A-1	9	9.87	11.00	8.00	33.3%
	A-2	1	9.00	9.00	9.00	3.7%
	A-3	10	10.50	12.50	9.50	37.0%
	A-4	7	8.86	10.00	8.00	26.0%
	合計	27	9.56	10.63	8.63	100.0%

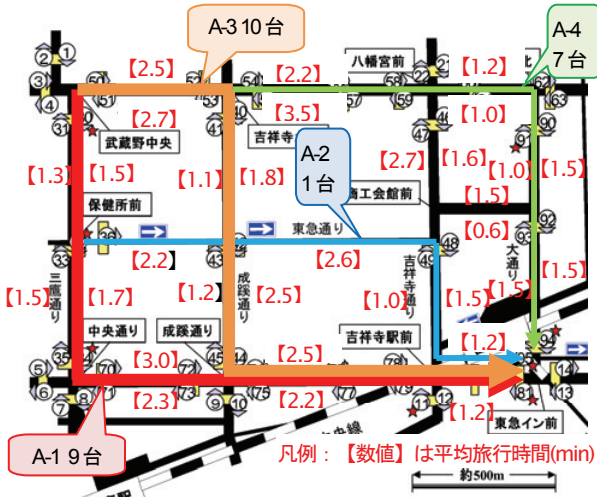


図-8 Case 1-Aにおける観測経路図

表-6 Case 1-BにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
1-B	B-1	1	11.00	11.00	11.00	1.8%
	B-2	18	8.28	10.00	6.00	32.7%
	B-3	28	8.54	12.50	6.00	51.0%
	B-4	8	9.75	12.50	9.00	14.5%
	合計	55	9.39	11.50	8.00	100.0%

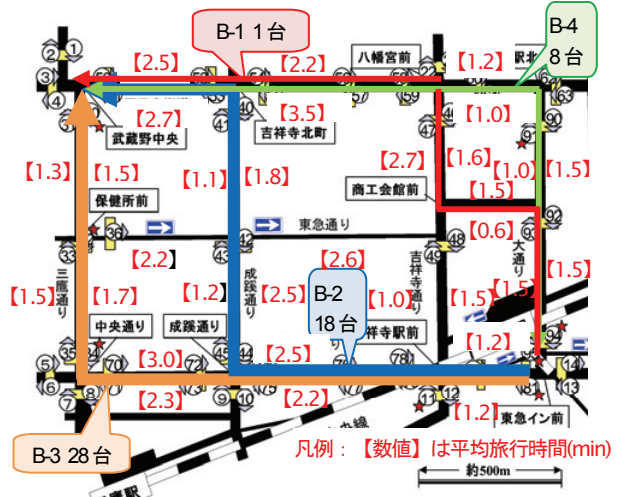


図-9 Case 1-Bにおける観測経路図

表-7 Case 1-CにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
1-C	C-1	4	7.67	9.00	7.00	8.5%
	C-2	15	8.11	9.00	6.50	31.9%
	C-3	28	9.25	13.00	7.00	59.6%
	合計	47	8.34	10.33	6.83	100.0%

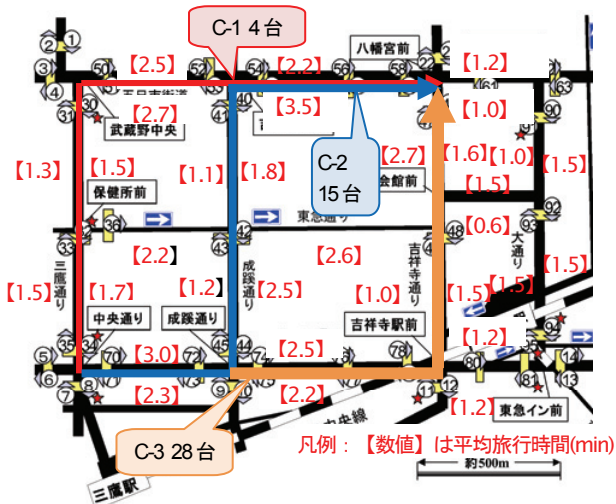


図-10 Case 1-Cにおける観測経路図

表-8 Case 1-DにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
1-D	D-1	20	10.33	12.00	7.00	47.6%
	D-2	12	10.01	12.50	8.00	28.6%
	D-3	10	7.54	8.50	6.50	23.8%
	合計	42	9.29	11.00	7.17	100.0%

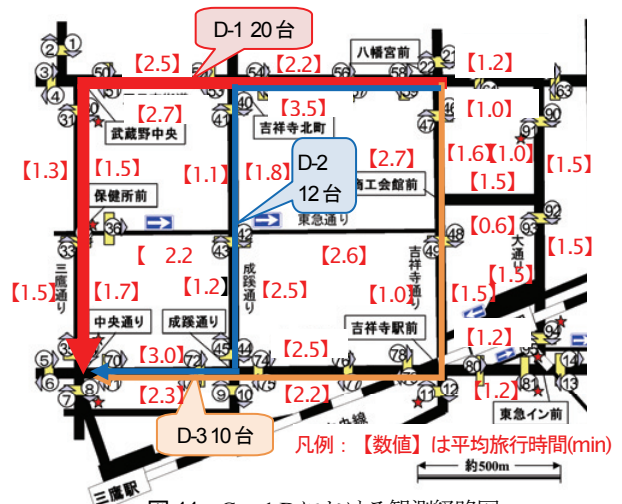


図-11 Case 1-Dにおける観測経路図



- ・表-5~8及び図-12より、所要時間が比較的長い路線も使用されていたり、所要時間の短い路線の選択確率が低かったりする状況が見られた。このため、経路選択行動は所要時間の長短にある程度影響は受けるものの、所要時間のみを要因として経路選択を行っていないと考えられる。
- ・東急イン前の北上する路線(大通り)が4車線であるものの、住宅地内の一方通行道路を除く全ての道路は2車線道路であるため、2車線道路の利用率高い。表-13より、4車線道路(大通り)を利用するものの、その利用率は低い結果であった。これは、大通りが吉祥寺駅前ロータリーと接続しているため、信号待ちを敬遠したもとのと思われる。
- ・対象区間の道路網は、ほぼマス目状態(グリッド形状)であるため、外郭路線を利用すると屈曲数が少なく、住宅地内部の細街路をくねくねと通り抜けると屈曲数が多くなる。図-14に示すように、屈曲回数が多くなる経路の選択確率は低いと思われる。
- ・図-15より、右折による経路選択への影響は、見られなかった。これは、対象区間の道路構成がシンプルで

あり、右折が0回ないし1回で目的地に着くため、顕著な傾向を示さなかったと思われる。また、当該地域を通過するドライバーの多くが右折を嫌って、右折しない路線をあらかじめ選んでおり、観測されなかったとも考えられる。

- ・図-16より、通過信号交差点数が少ない経路を選択する傾向が伺える。これは、信号機による待ち時間を最小化しようとするものであり、基本的にドライバーは最小時間で移動を望んでいると思われる。

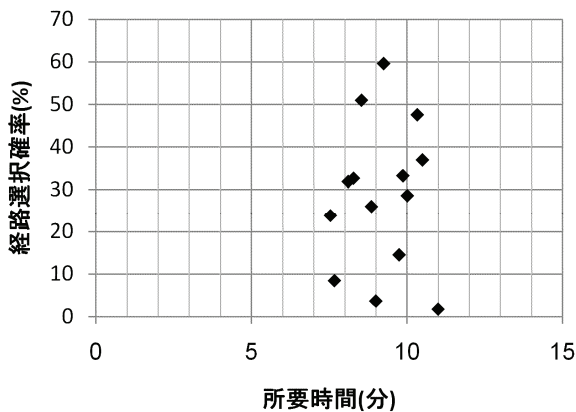


図-12 所要時間と経路選択確率の相関図

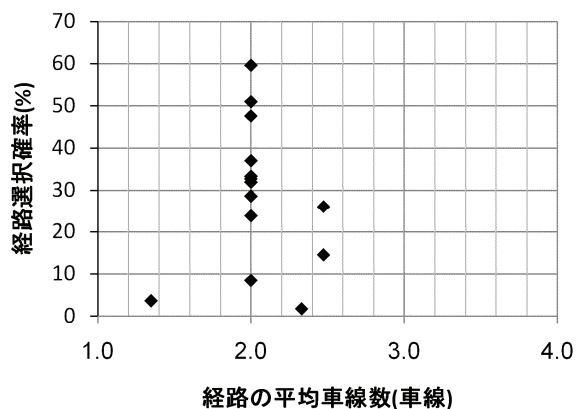


図-13 経路の平均車線数と経路選択確率の相関図

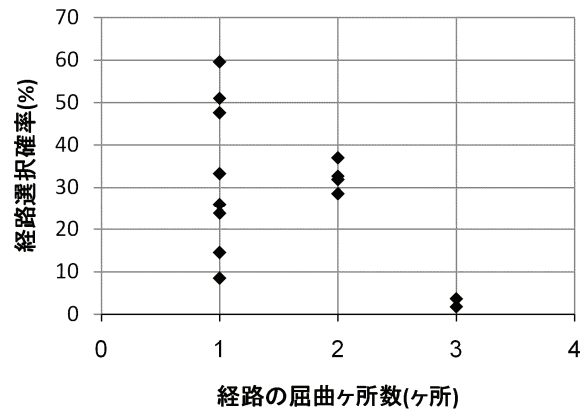


図-14 経路の屈曲箇所数と経路選択確率の相関図

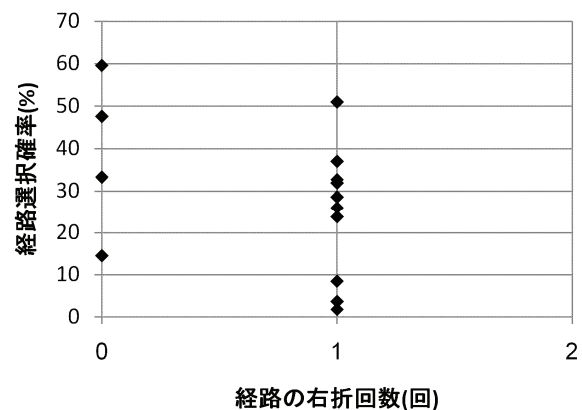


図-15 経路の右折回数と経路選択確率の相関図

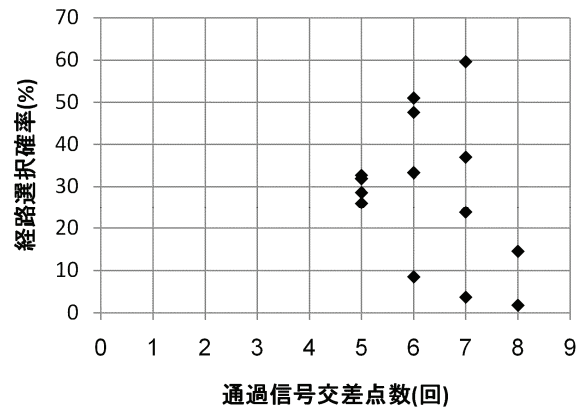


図-16 通過信号交差点数と経路選択確率の相関図

(2) 金沢市尾張町地区における調査結果

金沢市尾張町地区の特徴は、検討対象エリアの面積が43.2ha、経路検討道路総延長が4.01km、時間発着交通量が8,330台/時、平均車線数が2.75車線、信号交差点数が12ヶ所(0.33km/箇所)であった。

経路調査の起終点として、調査対象範囲の対角に位置する4点を選定する(表-9および図-17参照)。

表-9に示す4つのCaseのOD交通量、所要時間を表-10～13にまとめる。また、各Caseの観測経路図を図-18～21に示す。なお、平均所要時間値は、Case 1と同様、全車における区間平均旅行速度から求めた値であり、OD計測時の実際の所要時間とは差異がある。

観測データ整理の結果、Case 2における経路選択行動の特徴として、下記事項が挙げられる。

- ・表-10～13及び図-22より、Case 1と同様に、所要時間が最短の経路に集中するのではなく、ばらつきがあることが伺える。これより、経路選択行動は所要時間の長短に、ある程度影響は受けるものの、所要時間のみを要因として経路選択を行っていないと考えられる。
- ・表-10～13及び図-23より、所要時間が多少長くなっても広幅員の道路を選定する傾向が伺える。

表-9 Case2におけるODペアー表

検討Case	起点	終点
Case 2-A	むさし交差点	裁判所前
Case 2-B	裁判所前	むさし交差点
Case 2-C	上堤町交差点	橋場交差点
Case 2-D	橋場交差点	上堤町交差点

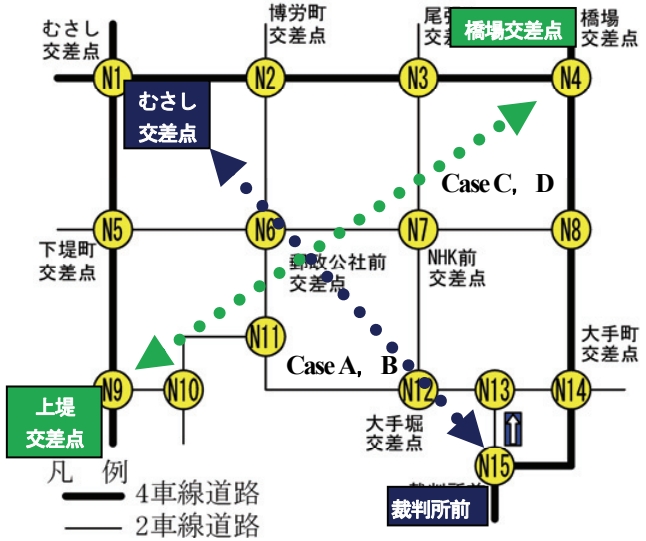


図-17 Case2 ODペアー図

表-10 Case 2-Aにおける OD 交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路選択率
			平均	最大	最小	
2-A	A-1	67	4.89	7.05	4.05	58.2%
	A-2	17	6.71	9.12	5.93	14.8%
	A-3	6	6.23	8.74	6.16	5.2%
	A-4	11	5.49	7.86	5.00	9.6%
	A-5	3	6.55	8.64	6.17	2.6%
	A-6	11	5.81	8.05	5.40	9.6%
	合計	115	5.95	8.24	5.45	100.0%

表-11 Case 2-Bにおける OD 交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路選択率
			平均	最大	最小	
2-B	B-1	80	8.66	9.77	5.57	44.7%
	B-2	3	6.36	6.78	5.92	1.7%
	B-3	34	8.27	10.94	5.12	19.0%
	B-4	47	6.19	9.65	5.93	26.3%
	B-5	15	8.82	10.27	5.64	8.3%
	合計	179	7.66	9.48	5.64	100.0%

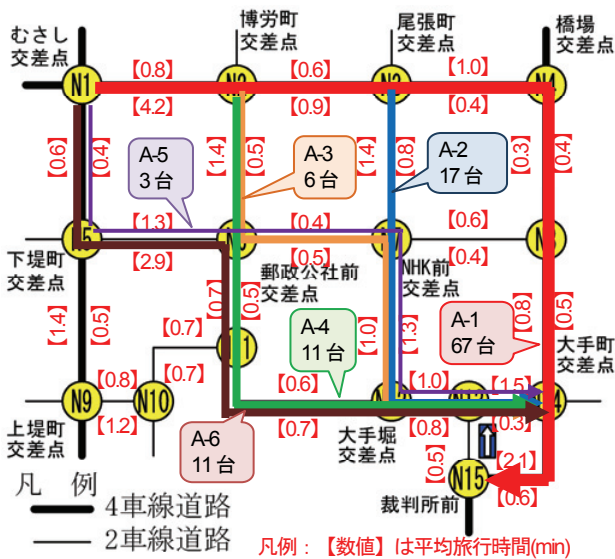


図-18 Case 2-Aにおける観測経路図

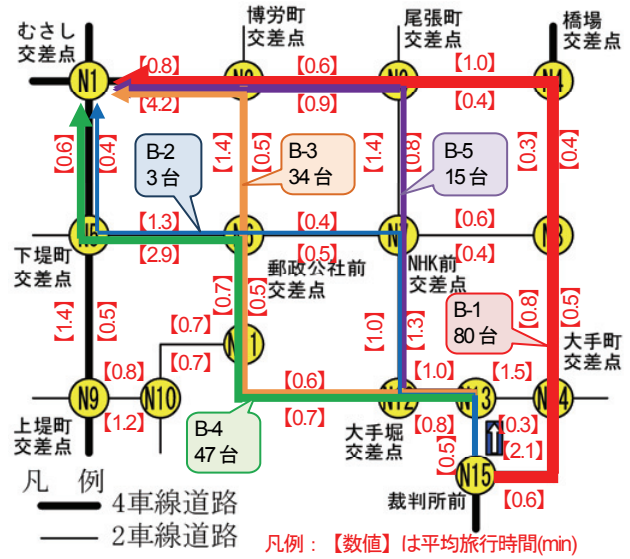


図-19 Case 2-Bにおける観測経路図

表-12 Case 2-CにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
2-C	C-1	7	5.01	6.01	4.40	63.6%
	C-2	2	6.26	8.00	4.52	18.2%
	C-3	2	6.07	6.99	5.15	18.2%
	合計	11	5.78	7.00	4.69	100.0%

表-13 Case 2-DにおけるOD交通量・所要時間表

Case	経路	台数	所要時間(min)			経路 選択率
			平均	最大	最小	
2-D	D-1	7	6.75	7.55	6.21	58.3%
	D-2	3	5.60	5.83	5.36	25.0%
	D-3	2	4.10	4.13	4.07	16.7%
	合計	12	5.48	5.84	5.21	100.0%

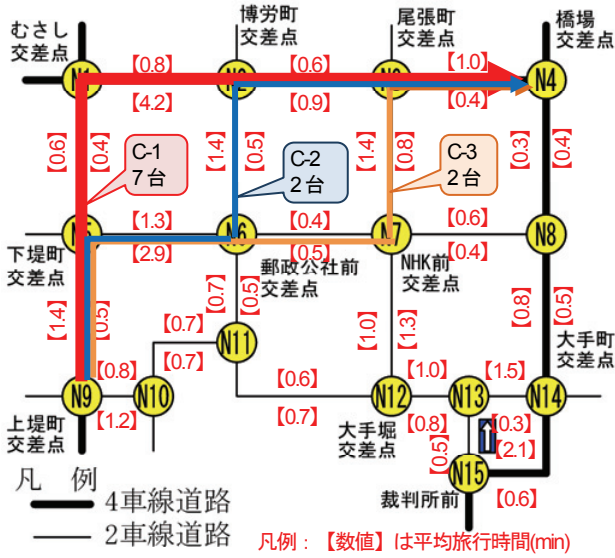


図-20 Case 2-Cにおける観測経路図

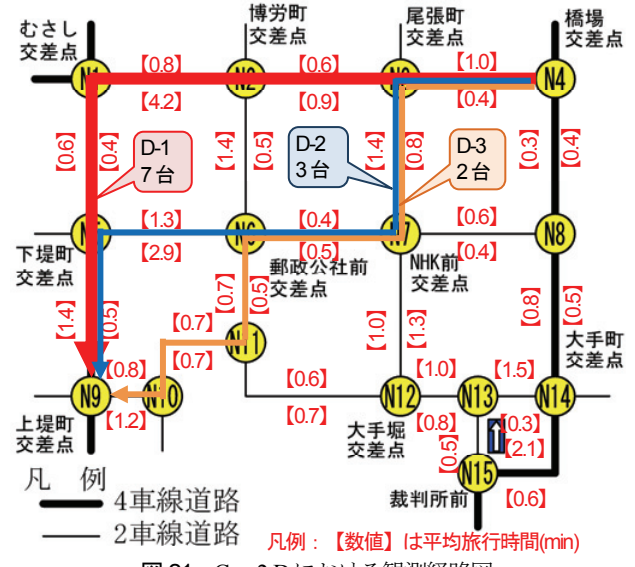


図-21 Case 2-Dにおける観測経路図

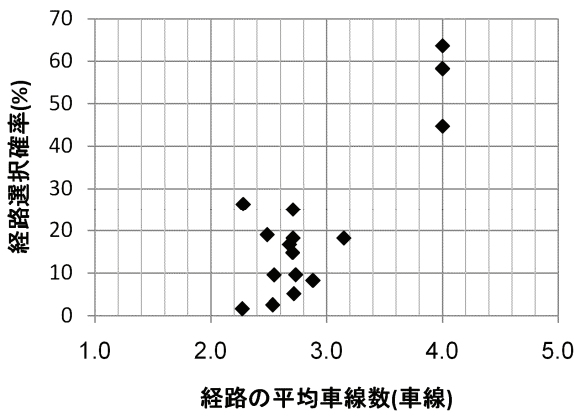


図-23 経路の平均車線数と経路選択確率の相関図

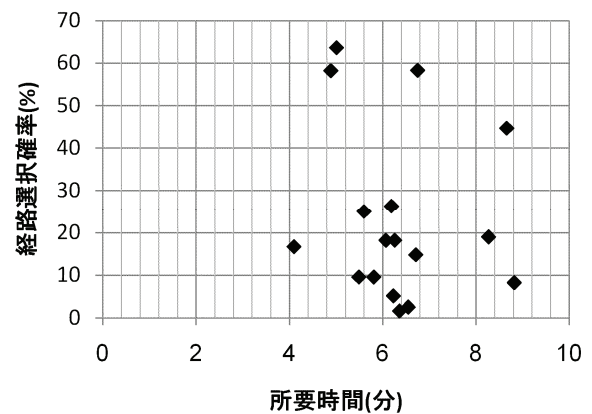


図-22 所要時間と経路選択確率の相関図

- ・ 図-24より、屈曲ヶ所数が少ない経路を選択する傾向があると思われる。
- ・ 図-25より、右折回数少ない経路を選定していることが伺える。これは、対向車の通過待ちのため右折は比較的時間を要することが要因と思われる。
- ・ 図-26より、信号交差点数が少ない経路を選定していることが伺える。これは、信号待ちによるロス時間を最小化しようとするドライバーの意志と思われる。

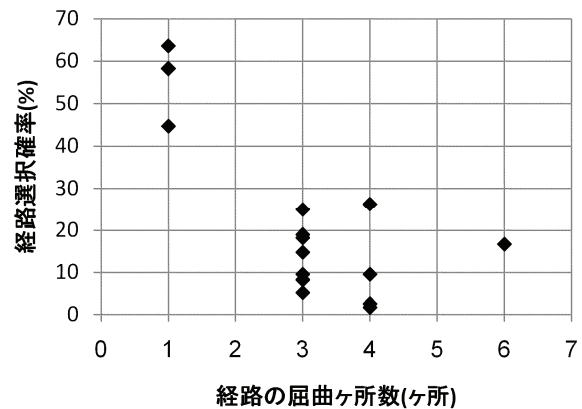


図-24 経路の屈曲ヶ所数と経路選択確率の相関図

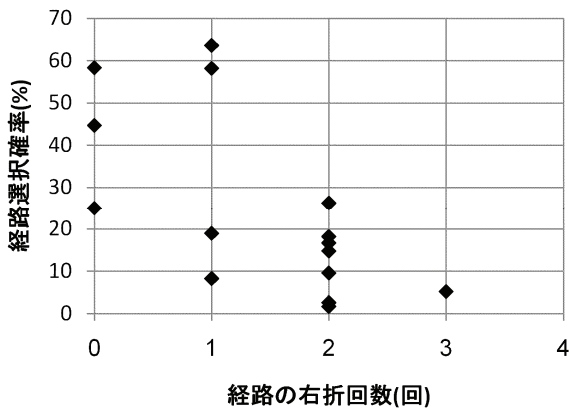


図-25 経路の右折回数と経路選択確率の相関図

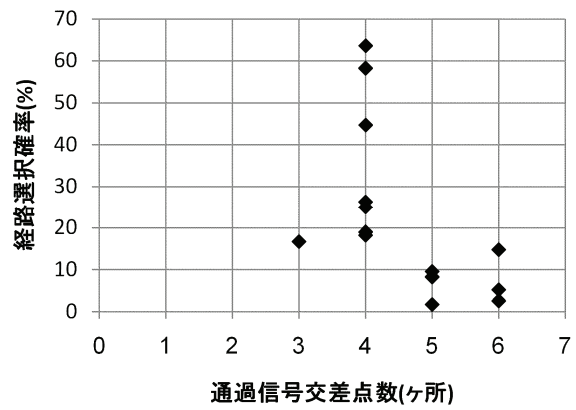


図-26 信号交差点数と経路選択確率の相関図

### (3) 調査結果による経路選択行動の特徴整理

Case 1およびCase 2における経路選択行動の特徴を以下のとおり整理する。

- ・旅行時間が経路決定要因の全てではない
- ・幅員の広い道路が選択されやすい
- ・右左折が少ない経路が選択されやすい
- ・右折を回避する傾向がある
- ・信号交差点が少ない経路が選択されやすい

通常ドライバーは、所要時間が最少となる経路を選択すると考えられ、所要時間が最も短くなる最短時間経路に交通が集中すると思われる。しかし、調査結果の取りまとめより、必ずしも所要時間が最も短い経路に交通量が集中するとは限らず、複数の経路に分散している。この要因として様々な事項が考えられるが、次のような事項を挙げることができる。

#### a) 曖昧な所要時間感覚

ドライバーは、最短経路を選択していると判断しているも、分・秒単位で厳密な所要時間を把握しているとは考えにくい。この結果、運転者は曖昧な時間感覚の中で実は最短ルートでないルートを最短と誤認して選定している可能性がある。

#### b) 不十分な情報

ドライバーは、他ルートより早いルートを選定していると考えているが、他ルートに対する情報が曖昧・不正確・古い・時間帯の違いなど、不十分な情報に基づく判断である可能性がある。

#### c) ドライバーの嗜好

ドライバーは、直進を好んだり、信号による停止を嫌って裏道へ入る場合もある。また、右折を嫌ったり、遅くても広幅員の幹線を選定するなど、多様な嗜好があり、所要時間を考慮するものの、所要時間以外の影響により経路が選定されていると考えられる。

表-14 Case 1及びCase 2におけるパラメータ  $a_m$  と尤度比表

	パラメータの数	パラメータ値	尤度比
Case 1	$m = 33$	$a_m = 0.1 \sim 2.6$	0.332
Case 2	$m = 36$	$a_m = 0.1 \sim 2.8$	0.215

## 5. 各モデルによる推計値と観測結果との比較

実際の経路選択結果（観測結果）とMNLモデル、C-Logitモデル、およびGNLモデルによる推計経路選択確率との比較を行う。

また、交通量配分による検証として、観測OD交通量と推計経路選択確率から、各路線の推計交通量を算出し、観測交通量との比較を行う。

### (1) MNLモデルと観測結果との比較

経路選択率計算にあたり、各パラメータを以下の通り設定した。

スケールパラメータ： $\mu = 1$

未知のパラメータ  $a_m$ ：最尤推定法により算定

(表-14参照)

説明変数  $x_m$ ：所要時間の逆数( $\text{min}^{-1}$ )

なお、説明変数  $x_m$  を所要時間の逆数とした理由は、所要時間の短い経路が選択される確率が高い(効用が大きい)と考えられるため、所要時間の減少に伴い効用を増加させるため、説明変数を所要時間の逆数とした。

表-15及び表-16に示すとおり、Case 1およびCase 2において、MNLモデルは観測経路選択確率と推計経路選択確率との誤差が-7.6%~8.2%と小さく、適合性が高い結果であった。

また、Case 1およびCase 2における交通量配分による検証として、観測OD交通量と推計経路選択確率から、各路線の推計交通量を算出し、観測交通量との比較を行った結果を図-27及び図-28に示す。推計結果より、MNLモデルを用いた交通量の推計結果は、相関係数において

表-15 Case 1における観測値とMNLモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	9.87	33.3%	27.2%	-6.1%
A-2	9.00	3.7%	7.8%	4.1%
A-3	10.50	37.0%	34.3%	-2.7%
A-4	8.86	25.9%	30.7%	4.8%
B-1	11.00	1.8%	3.9%	2.1%
B-2	8.28	32.7%	37.3%	4.6%
B-3	8.54	50.9%	47.1%	-3.8%
B-4	9.75	14.5%	11.7%	-2.8%
C-1	7.57	8.5%	16.7%	8.2%
C-2	7.61	31.9%	25.1%	-6.8%
C-3	9.25	59.6%	58.2%	-1.4%
D-1	10.33	47.6%	40.0%	-7.6%
D-2	10.01	28.6%	29.6%	1.0%
D-3	7.54	23.8%	30.4%	6.6%
残差平方和( $\Delta P^2$ )		0.035		

表-16 Case 2における観測値とMNLモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	4.89	58.2%	63.3%	5.1%
A-2	6.71	14.8%	16.2%	1.4%
A-3	6.23	5.2%	5.2%	0.0%
A-4	5.49	9.6%	5.0%	-4.6%
A-5	6.55	2.6%	5.3%	2.7%
A-6	5.81	9.6%	5.1%	-4.5%
B-1	8.66	44.7%	39.1%	-5.6%
B-2	6.36	1.7%	5.3%	3.6%
B-3	8.27	19.0%	18.1%	-0.9%
B-4	6.19	26.3%	30.2%	3.9%
B-5	8.82	8.3%	7.3%	-1.0%
C-1	5.01	63.6%	59.4%	-4.2%
C-2	6.26	18.2%	19.4%	1.2%
C-3	6.07	18.2%	21.2%	3.0%
D-1	6.75	58.3%	52.0%	-6.3%
D-2	5.60	25.0%	27.7%	2.7%
D-3	4.10	16.7%	20.3%	3.6%
残差平方和( $\Delta P^2$ )		0.023		

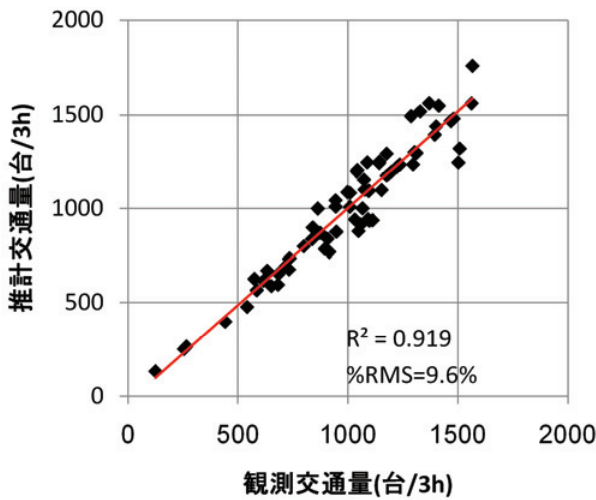


図-27 Case 1における観測交通量とMNLモデル推計交通量との相関図

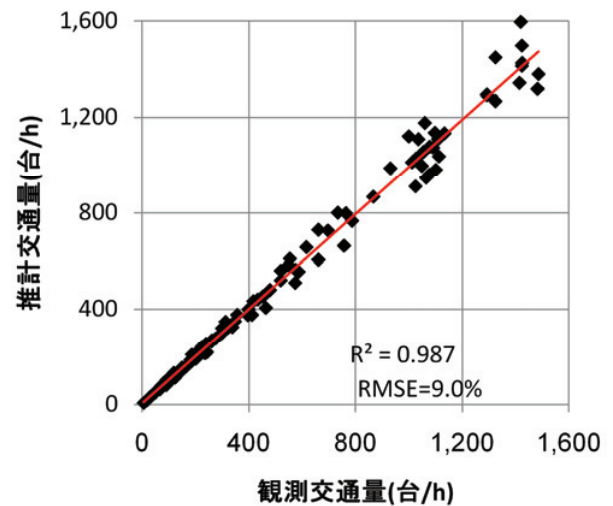


図-28 Case 2における観測交通量とMNLモデル推計交通量との相関図

0.919ないし0.987と非常に高く、%RMSも9.6%ないし9.0%と小さい値であった。

## (2) C-Logitモデルと観測結果との比較

経路選択計算におけるパラメータ及び効用は、MNLモデルにおいて算出した各リンクの未知のパラメータ  $a_m$  及び効用  $V_n$  を踏 ち、追加されたパラメータ  $\gamma$  と  $\beta_{cf}$  は、最尤推定法により推定した(表-17参照)。

Case 1, Case 2における計算結果を表-18, 表-19に示す。計算の結果、Case 1およびCase 2における計算選択確率と観測選択確率の差は、-8.1~8.1%であり、残差平方和

表-17 C-Logitモデルにおけるパラメータと尤度比表

パラメータ	$\gamma$	$\beta_{cf}$	尤度比
Case 1	0.1	-0.4	0.210
Case 2	0.1	0.1	0.216

はMNLモデルより少なく、精度は優位であった。

また、Case 1およびCase 2において、観測交通量とC-Logitモデルを用いた推計交通量の比較を行った結果を図-29及び図-30に示す。推計結果より、C-Logitモデルによる交通量の推計結果は、相関係数において0.937ないし0.993と非常に高く、%RMSも8.1%ないし7.0%と小さい値であった。

表-18 Case 1における観測値とC-Logitモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	9.87	33.3%	29.2%	-4.1%
A-2	9.00	3.7%	8.2%	4.5%
A-3	10.50	37.0%	36.4%	-0.6%
A-4	8.86	26.0%	26.2%	0.3%
B-1	11.00	1.8%	2.8%	1.0%
B-2	8.28	32.7%	34.7%	2.0%
B-3	8.54	51.0%	51.5%	0.6%
B-4	9.75	14.5%	11.0%	-3.5%
C-1	7.57	8.5%	16.6%	8.1%
C-2	7.61	31.9%	25.2%	-6.7%
C-3	9.25	59.6%	58.1%	-1.5%
D-1	10.33	47.6%	39.5%	-8.1%
D-2	10.01	28.6%	30.1%	1.5%
D-3	7.54	23.8%	30.4%	6.6%
残差平方和( $\Delta P^2$ )			0.028	

表-19 Case 2における観測値とC-Logitモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	4.89	58.2%	61.9%	3.7%
A-2	6.71	14.8%	16.9%	2.1%
A-3	6.23	5.2%	5.4%	0.2%
A-4	5.49	9.6%	5.2%	-4.4%
A-5	6.55	2.6%	5.5%	2.9%
A-6	5.81	9.6%	5.2%	-4.4%
B-1	8.66	44.7%	40.2%	-4.5%
B-2	6.36	1.7%	5.3%	3.6%
B-3	8.27	19.0%	17.5%	-1.5%
B-4	6.19	26.3%	30.0%	3.7%
B-5	8.82	8.3%	7.0%	-1.3%
C-1	5.01	63.6%	59.4%	-4.2%
C-2	6.26	18.2%	19.4%	1.2%
C-3	6.07	18.2%	21.2%	3.0%
D-1	6.75	58.3%	52.1%	-6.2%
D-2	5.60	25.0%	27.6%	2.6%
D-3	4.10	16.7%	20.3%	3.6%
残差平方和( $\Delta P^2$ )			0.020	

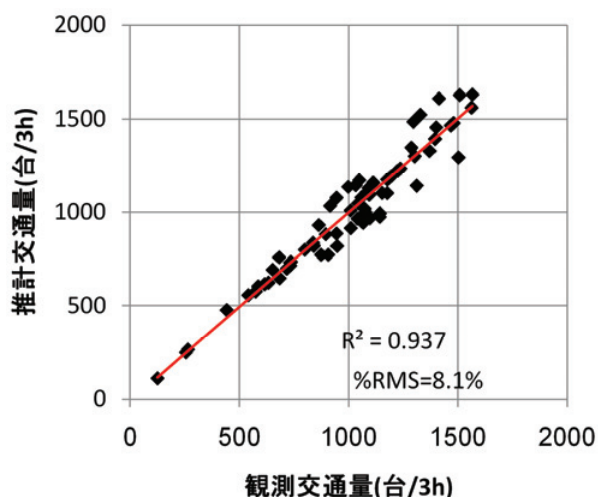


図-29 Case 1における観測交通量とC-Logitモデル推計交通量との相関図

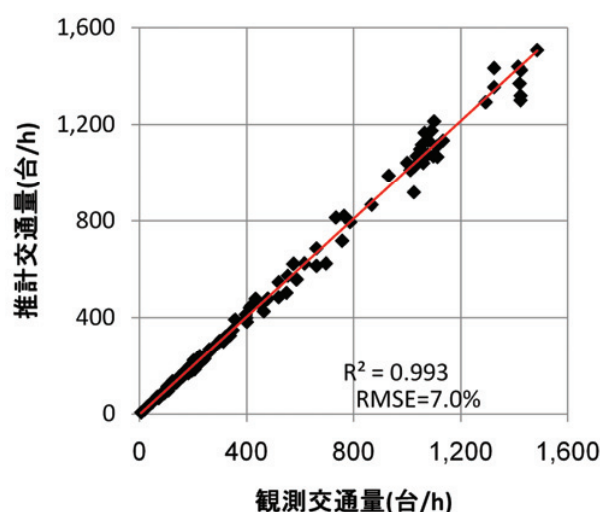


図-30 Case 2における観測交通量とC-Logitモデル推計交通量との相関図

### (3) GNLモデルと観測結果との比較

GNLモデルのパラメータの設定において、 $V_n$ はMNLモデル及びC-Logitモデルと同一の値を用いた。

$\alpha_{nm}$  およびネストの非類似度  $\mu_n$  は、最尤推定法により推定した(表-20参照)。

Case 1, Case 2における計算結果を表-21, 表-22に示す。

計算の結果, Case 1およびCase 2における計算選択確率と観測選択確率の差は、-7.2~8.3%であった。

また, Case 1およびCase 2において, 観測交通量とGNLモデルを用いた推計交通量の比較を行った結果を図-31及び図-32に示す。推計結果より, GNLモデルによる交

表-20 GNLモデルにおけるパラメータと尤度比表

	Case 1	Case 2
パラメータ数	$\alpha_{nm} = 64$ $\mu_m = 33$	$\alpha_{nm} = 102$ $\mu_m = 36$
パラメータ値	$\alpha_{nm} = 0.03 \sim 0.5$ $\mu_m = 0.1 \sim 0.9$	$\alpha_{nm} = 0.04 \sim 0.5$ $\mu_m = 0.1 \sim 0.9$
尤度比	0.258	0.224

通量の推計結果は, 相関係数において0.932ないし0.990と非常に高く, %RMSも9.0%ないし8.0%と小さい値であった。相関係数及び%RMSの値はMNLモデルとC-Logitモデルの中間である。

表-21 Case 1における観測値とGNLモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	9.87	33.3%	34.8%	1.5%
A-2	9.00	3.7%	8.0%	4.3%
A-3	10.50	37.0%	34.0%	-3.0%
A-4	8.86	26.0%	23.1%	-2.8%
B-1	11.00	1.8%	3.9%	2.1%
B-2	8.28	32.7%	37.3%	4.6%
B-3	8.54	51.0%	47.1%	-3.8%
B-4	9.75	14.5%	11.7%	-2.8%
C-1	7.57	8.5%	16.8%	8.3%
C-2	7.61	31.9%	24.7%	-7.2%
C-3	9.25	59.6%	58.5%	-1.1%
D-1	10.33	47.6%	40.6%	-7.0%
D-2	10.01	28.6%	29.4%	0.8%
D-3	7.54	23.8%	30.0%	6.2%
残差平方和( $\Delta P^2$ )		0.030		

表-22 Case 2における観測値とGNLモデルの比較表

経路	所要時間 (min)	観測 選択確率	計算 選択確率	誤差 ( $\Delta P$ )
A-1	4.89	58.2%	63.0%	4.8%
A-2	6.71	14.8%	18.9%	4.1%
A-3	6.23	5.2%	4.0%	-1.2%
A-4	5.49	9.6%	4.5%	-5.1%
A-5	6.55	2.6%	3.5%	0.9%
A-6	5.81	9.6%	6.2%	-3.4%
B-1	8.66	44.7%	49.4%	4.7%
B-2	6.36	1.7%	6.9%	5.2%
B-3	8.27	19.0%	13.8%	-5.2%
B-4	6.19	26.3%	27.0%	0.7%
B-5	8.82	8.3%	3.0%	-5.3%
C-1	5.01	63.6%	64.6%	1.0%
C-2	6.26	18.2%	17.1%	-1.1%
C-3	6.07	18.2%	18.3%	0.1%
D-1	6.75	58.3%	61.2%	2.9%
D-2	5.60	25.0%	20.4%	-4.6%
D-3	4.10	16.7%	18.4%	1.7%
残差平方和( $\Delta P^2$ )		0.022		

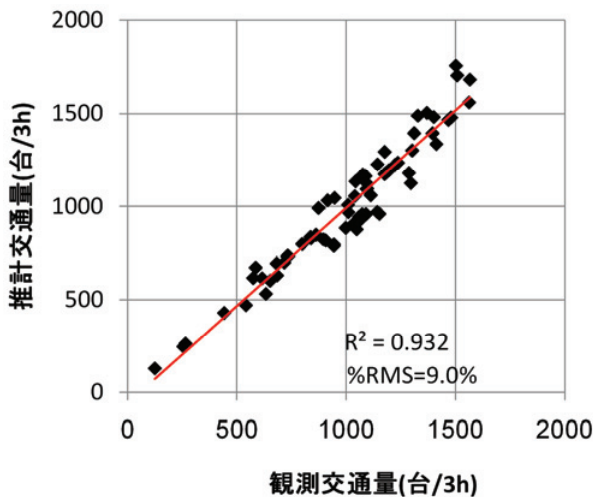


図-31 Case 1における観測交通量とGNLモデル推計交通量との相関図

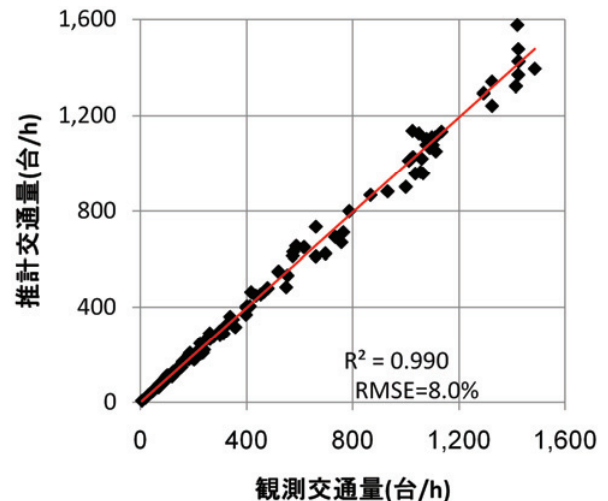


図-32 Case 2における観測交通量とGNLモデル推計交通量との相関図

表-23 各モデルにおける観測選択確率と推計選択確率の残差平方和の値

$\Delta P^2$	MNLモデル	C-Logitモデル	GNLモデル
Case 1	0.035	0.028	0.030
Case 2	0.023	0.020	0.022

表-24 各モデルによる推計交通量と観測交通量の比較

Case	項目	MNLモデル	C-Logitモデル	GNLモデル
Case 1	相関係数	0.919	0.937	0.932
	%RMS	9.6%	8.1%	9.0%
Case 2	相関係数	0.987	0.997	0.990
	%RMS	9.0%	7.0%	8.0%

#### (4) 経路選択率計算結果のまとめ

各経路選択モデルの適用性を、観測経路選択確率と推計経路選択確率の残差平方和、交通量配分における相関係数および%RMS値で評価すると、Case 1, Case 2のいずれにおいてもC-logitモデルが最も適用性が高く、次いでGNLモデル、MNLモデルの順となった(表-23及び表-24参照)。

以上の検討より、下記事項がうかがえる。

- a) MNLモデル、C-Logitモデル及びGNLモデルにおいて、観測選択確率と推計選択確率の差異は、おおむね±8%程度であった。また、観測交通量と推計交通量との相関は、0.919～0.997と非常に高く、%RMSも7.0～9.6%と非常に小さな値となった。このため、各モ

デルは現実に即し、非常に再現性が高いと言えよう。

- b) 今回の研究対象地域においては、C-Logitモデル、GNLモデル、MNLモデルの順で適合性が高い結果であった。しかし、各モデルにおける残差平方和や相関係数及びRMS値の差異は微小であり、適用性の差はほとんど無い結果であった。
- c) Case 1, Case 2において、経路選択モデルの適用性の順位は、変わらなかった。対象面積や道路延長及び交通量は異なるものの、類似した市街地であったためと推定される。

## 6. 効用関数の設定方法の提案

今回提案するドライバーの嗜好を考慮した効用算定の目的は、既知の効用算出結果（事例）を利用して、地域に応じたパラメータの算定結果を蓄積し、これを一般化（汎用化）することで、経路別交通量が不明な他地域において近似解を求めるものである。

### (1) パラメータの推定について

各経路選択モデルの計算において、モデルのパラメータは最尤推計法により算出した。

最尤推計法では、尤度関数（対数尤度関数）を最大化する必要がある、この際実測の経路選択数が入力データとして必要になる。

$$\ln L = \sum_n N_n V_n - T \ln \left( \sum_n \exp(V_n) \right) \Rightarrow MAX \quad (9)$$

ここに、 $\ln L$  は対数尤度関数、 $N_n$  は経路  $n$  を実際に選択した数、 $V_n$  は経路  $n$  の効用、 $T$  は総交通量。

このため、経路別に交通量が把握できていれば、高い精度で経路選択確率を算出できる。

しかし、実務では経路別の交通量が不明である場合が多いと考えられる。このため、経路別交通量が不明であり最尤推定法が使用できない場合のパラメータの推定が課題である。

### (2) ドライバーの嗜好を考慮した効用関数の算定

経路別の交通量が不明の場合、各経路の所要時間と沿道条件から効用を算出し、経路選択確率を推定する手法が考えられる。先の調査結果に見られるように、ドライバーは単に所要時間のみで経路を選択するのではなく、ドライバーの嗜好などを総合的に考慮し、経路を選択していると考えられる。経路選定において、ドライバーの嗜好を考慮し、所要時間と走行の快適性を要素とする効用関数を求めるものとする。

### (3) 沿道条件を考慮した効用算出の既存研究

効用関数に所要時間と道路条件を取り入れた既存研究として、中村ら<sup>20)</sup>は次式を提案している。

$$V_n = -\beta \cdot T_n + \alpha_1 \cdot (NL_n) + \alpha_2 \cdot (NR_n) + \alpha_3 \cdot (NS_n) + \alpha_4 \cdot (DS_n) + \alpha_5 \cdot (DD_n) + \alpha_6 \cdot (DT_n) \quad (10)$$

ここに、 $T_n$  : 経路  $n$  を選択したときの認知旅行時間、 $NL_n$  : 経路  $n$  上の左折回数、 $NR_n$  : 経路  $n$  上の右折回数、 $NS_n$  : 経路  $n$  上の信号交差点数、 $DS_n$  : 経路  $n$  上の1車線道路の総延長、 $DD_n$  : 経路  $n$  上の2車線道路の総延長、 $DT_n$  : 経路  $n$  上の3車線以上の道路の総延長、 $\beta, \alpha_1 \sim \alpha_6$  : パラメータ

### (4) 効用関数の算出方法の提案

本研究では、経路  $n$  の効用  $V_n$  を次のように定義する。

$$V_n = t_n \times C_n \quad (11)$$

ここに、 $V_n$  : 経路の効用、 $t_n$  : 経路の所要時間の逆数、 $C_n$  : 走行の快適性

また、走行の快適性  $C_n$  は、沿道条件より定めるものとし、以下の通り設定する。

$$C_n = \left[ \frac{\sum (Z1 \times L_m)}{m \sum L_m} \right]^{Z2} \times K_n^{Z3} \times R_n^{Z4} \times CR_n^{Z5} \times \left( \sum L_m \right)^{Z6} \quad (12)$$

ここに、 $L_m$  : 車線数別の各リンクの延長、 $m$  : 経路を構成する各リンク、 $K_n$  : 屈曲数、 $R_n$  : 右折数、 $CR_n$  : 交差点数、 $Z1$  : 車線数のパラメータ、 $Z2, Z3, Z4, Z5, Z6$  : 各項目のパラメータ。

### (5) 既存研究からの改善点

既存研究として式(10)に示す中村ら<sup>20)</sup>の式は、旅行時間や沿道条件などの要素の総和により効用を算出している。これに対し本研究は、式(11)に示すとおり経路の効用は、所要時間の逆数( $t_n$ ) × 走行の快適性( $C_n$ ) という積の総和により算出されるものと設定した。これが既存研究からの改善点である。

参考例に示すとおり、経路を選択する際に、選択対象経路において所要時間もしくは快適性に著しい違いがあっても、所要時間の逆数( $t_n$ ) + 快適性( $C_n$ ) では経路の選択確率が等しくなる。しかし、Case 1, Case 2の観測結果にも見られるように、ドライバーは基本的に走行性の良い道路を選択する傾向にあるため、経路1と経路2の選択確率は等しくないと考えられる。

#### 【参考例】

A点からB点への経路が2経路あり、各々の所要時間及び快適性は以下の通りであると設定する。



経路1：やや早い、やや走りにくい経路(細街路)

所要時間0.143h(8.5分)⇒=7, 快適性=3

経路2：早くも遅くもなく、普通に走れる経路

所要時間0.200h(12分)⇒=5, 快適性=5

この時、効用算出が足し算の「和の場合」と、掛け算の「積の場合」の経路選択確率の差異を表-25に示す。

表-25に示すとおり、「和の場合」は経路1、経路2の選択確率がともに50%となり、交通量の半分ずつがその経路を選択すると算定される。しかし、Case 1, Case 2の観測結果にも見られるように、ドライバーは基本的に走行性の良い道路を選択する傾向にあるため、経路1と経路2の選択確率は等しくないと考えられる。

(6) 提案する効用関数の算出方法と適用性

パラメータの算出は、各経路の所要時間を算定し、次にGA(遺伝的アルゴリズム)を用いて各経路の快適性を算出し、各路線の効用を推定する。ここで、既にMNLモデル計算時に算出された各路線の効用と、推定した効用の残差平方和を算出し、これを最小化させる。

【パラメータ推定のプロセス】

- a)各経路の所要時間を算出
- b)各パラメータをGAで推定し、快適性を算出
- c)推定効用( $V_{an}$ ) = 1/所要時間×快適性を算出
- d)MNLモデルで算出済みの効用( $V_n$ )を使用
- e)残差平方和 $Z=(推定効用-算出済み効用)^2$
- f)Zの最小化⇒GAによる1/Zの最大化
- g) b)~f)を繰り返し、最大化もしくは規定回数を越えた場合、終了

Case 1, Case 2のMNLモデルにおける効用の算出結果を用いて、走行の快適性式(12)の各パラメータを算定する。なお、推定する効用は、式(13)により算出する。

$$V_{an} = t_n \times C_n \quad (13)$$

ここに、 $V_{an}$ ：推定する各経路の効用、 $t_n$ ：各経路nの所要時間の逆数、 $C_n$ ：各経路nの走行の快適性。

また、MNLモデルを用いて、中村ら<sup>20)</sup>による提案式と本研究における提案式を比較し、適用性を検証する。

TYPE A：本研究の提案式により効用を算出した場合

TYPE B：中村らの提案式により効用を算出した場合

なお、計算に用いたパラメータを表-26に示す。

計算結果を表-27に示す。計算の結果、TYPE Aの残差平方和は0.429であり、TYPE Bの1.988より小さく、誤差

表-26 TYPE A及びTYPE Bにおけるパラメータ算出結果

TYPE A		TYPE B	
パラメータ	値	パラメータ	値
Z1(1車線)	1.0	$\beta$	0.12
Z1(2車線)	11.5	$\alpha 1$	0.01
Z1(4車線)	39.5	$\alpha 2$	0.01
Z2	1.96	$\alpha 3$	0.01
Z3	0.01	$\alpha 4$	0.024
Z4	0.01	$\alpha 5$	0.008
Z5	0.53	$\alpha 6$	0.01
Z6	1.20	-	-

表-27 提案する効用関数による経路選択確率の比較表

経路	観測選択確率	TYPE A		TYPE B		
		計算値	誤差(ΔP)	計算値	誤差(ΔP)	
Case 1	A-1	33.3%	33.0%	-0.3%	44.2%	10.9%
	A-2	3.7%	4.7%	1.0%	23.5%	19.8%
	A-3	37.0%	32.7%	-4.3%	16.6%	-20.4%
	A-4	26.0%	29.7%	3.8%	15.8%	-10.1%
	B-1	1.8%	22.6%	20.8%	27.8%	26.0%
	B-2	32.7%	27.4%	-5.3%	36.8%	4.1%
	B-3	51.0%	27.7%	-23.2%	16.2%	-34.7%
	B-4	14.5%	22.3%	7.8%	19.2%	4.7%
	C-1	8.5%	33.1%	24.6%	0.0%	-8.5%
	C-2	31.9%	33.8%	1.9%	0.0%	-31.9%
	C-3	59.6%	33.1%	-26.5%	100.0%	40.4%
	D-1	47.6%	32.9%	-14.7%	53.1%	5.5%
D-2	28.6%	33.8%	5.2%	20.9%	-7.7%	
D-3	23.8%	33.3%	9.5%	26.0%	2.2%	
Case 2	A-1	58.2%	39.6%	-18.6%	29.3%	-28.9%
	A-2	14.8%	14.3%	-0.5%	11.3%	-3.5%
	A-3	5.2%	14.3%	9.1%	10.4%	5.2%
	A-4	9.6%	13.0%	3.4%	8.7%	-0.9%
	A-5	2.6%	7.5%	4.9%	21.7%	19.1%
	A-6	9.6%	11.3%	1.7%	18.5%	8.9%
	B-1	44.7%	59.5%	14.8%	22.0%	-22.7%
	B-2	1.7%	7.8%	6.1%	29.3%	27.6%
	B-3	19.0%	8.3%	-10.7%	10.2%	-8.8%
	B-4	26.3%	6.8%	-19.5%	19.8%	-6.5%
	B-5	8.3%	17.6%	9.3%	18.7%	10.4%
	C-1	63.6%	55.3%	-8.3%	0.0%	-63.6%
C-2	18.2%	28.3%	10.1%	0.0%	-18.2%	
C-3	18.2%	16.4%	-1.8%	100.0%	81.8%	
D-1	58.3%	64.1%	5.8%	48.2%	-10.1%	
D-2	25.0%	19.1%	-5.9%	24.1%	-0.9%	
D-3	16.7%	16.8%	0.1%	27.7%	11.0%	
誤差二乗和		0.429		1.988		
標準偏差		0.120		0.152		
誤差の範囲		-26.5%~24.6%		-63.6%~81.8%		

表-25 効用の算定方法の違いによる選択確率の相違

	和の場合( $t_n + C_n$ )		積の場合( $t_n \times C_n$ )	
	効用	選択確率	効用	選択確率
経路1	7+3=10	50.0%	7×3=21	1.8%
経路2	5+5=10	50.0%	5×5=25	98.2%

の範囲もTYPE Aは-26.5%~24.6%であり、TYPE Bの-63.6%~81.8%よりかなり小さい。

以上より、本研究で提案する効用関数の算定手法は、精度はやや低いものの、誤差は比較的小さく標準偏差も小さいことから、現実の経路選択行動に近いものと考えられる。

## 7. 研究結果のとりまとめと今後の課題

本研究は、都市内の比較的狭範囲における実際の経路選択行動を解析し、ドライバーの経路選択特性の明確化、既存の各経路選択モデルの適用性を比較検討、および経路別交通量が不明な場合における効用関数の算出方法の提案を目的として実施した。

### (1) ドライバーの経路選択特性

経路選択行動の観測結果を分析したところ、以下の特性が見られた。

- ・旅行時間が経路決定要因の全てではない
- ・幅員の広い道路が選択されやすい
- ・右左折が少ない経路が選択されやすい
- ・右折を回避する傾向がある
- ・信号交差点が少ない経路が選択されやすい

通常ドライバーは、所要時間が最少となる経路を選択すると考えられ、所要時間が最も短くなる最短時間経路に交通が集中すると思われる。しかし、調査の結果、必ずしも所要時間が最も短い経路に交通量が集中するとは限らず、複数の経路に分散している。この要因として、様々な事項が考えられるが、次のような事項を挙げることができる。

#### a) 曖昧な所要時間感覚

ドライバーは、最短経路を選択していると判断しているにもかかわらず、分・秒単位で厳密な所要時間を把握しているとは

考えにくい。この結果、運転者は曖昧な時間感覚の中で実は最短ルートでないルートを最短と誤認して選定している可能性がある。

#### b) 不十分な情報

ドライバーは、他ルートより早いルートを選定していると考えているが、他ルートに対する情報が曖昧・不正確・古いなど不十分な情報に基づく判断である可能性がある。

#### c) ドライバーの嗜好

ドライバーは、直進を好んだり、信号による停止を嫌って裏道へ入る場合もある。また、右折を嫌ったり、遅くても広幅員の幹線を選定するなど多様な嗜好があり、所要時間を考慮するものの、所要時間以外の影響により経路が選定されていると考えられる。

### (2) 経路選択モデルの適用性

本研究では、現実の道路網上で観測されたドライバーの経路選択行動データを整理し、MNLモデル、C-Logitモデル、およびGNLモデルによる推計値との比較検討を行った。計算結果を表-28に示すとともに、各モデルの適用性や考察を以下に示す。

#### a) 計算結果

MNLモデル、C-Logitモデル及びGNLモデルにおいて、観測選択確率と推計選択確率の差異は、おおむね±8%程度であった。また、観測交通量と推計交通量との相関は、0.919~0.997と非常に高く、%RMSも7.0~9.6%と非常に小さな値となった。このため、各モデルは現実に即し、非常に再現性が高いと言えよう。

#### b) モデルの適用性

今回の研究対象地域においては、C-Logitモデル、GNLモデル、MNLモデルの順で適合性が高い結果であった。しかし、各モデルにおける残差平方和や相関係数及び%RMS値の差異は微小であり、適用性の差はほとんど無い結果であった。

表-28 経路選択確率の計算結果一覧表

検討モデル	MNLモデル						C-Logitモデル		GNLモデル	
	Case 1			Case 2			Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
TYPE	1	A	B	1	A	B	1	1	1	1
尤度比	0.332	-	-	0.215	-	-	0.210	0.216	0.258	0.224
残差平方和	0.035	0.274	0.576	0.023	0.155	1.412	0.028	0.020	0.030	0.022

Case1 : 吉祥寺・三鷹データセット

Case2 : 尾張町地区における観測データ

TYPE 1 : 観測された経路別交通量に基づき最尤推定法によりパラメータを設定した場合

TYPE A : 本研究の提案式により効用を算出した場合

TYPE B : 中村らの提案式により効用を算出した場合

### c) 地域の特性との関連性

Case 1, Case 2において、経路選択モデルの適用性の順位は、変わらなかった。対象面積や道路延長及び交通量は異なるものの、類似した市街地であったためと推定される。

### (3) 効用関数の設定方法の提案

各モデルの計算にあたり、最尤推計法によりそのパラメータを推定することで、現況の経路選択行動とほぼ等しい経路選択確率が算出された。

しかし、実務において各経路別の交通量が計測されていることはあまり無いと考えられる。経路別交通量が不明な状態で、より精度の高い経路選択確率を算定するため、ドライバーの嗜好を考慮した効用関数の設定方法を提案した。

提案する効用関数は、所要時間の逆数( $t_n$ )×走行の快適性( $C_n$ )という掛け算により算出されるものと設定した。検討の結果、経路選択確率は観測値と-26.5%～24.6%の差異があるものの、既存の効用関数算出手法より精度は高く、おおむねドライバーの嗜好を反映した経路選択行動を表すものとする。

### (4) 今後の検討課題

#### a) 既存モデルの適合限界の検証

三輪、森川ら<sup>18),19)</sup>の研究において、エリアが非常に広く、選択する経路も高速自動車道、国道、県道など多様な選択肢があり、費用や所要時間に大きな差がある場合、既存経路選択モデルと現実の経路選択行動とは適合度が低いことを挙げている。

本研究では、渋滞する都市内の住宅密集地内における既存の経路選択理論の適合性は非常に高かった。これは、最尤推計法に必要なデータが得られたことや、選択される経路が限られており、車線数や信号交差点数など経路選択に対する要素が比較的少ないためと考えられる。

このように、多様な選択肢のある広いエリアと、選択肢が少なく道路条件が限られているエリアとでは、経路選択モデルの適合性に差が生じる。よって、既存モデルの適合限界を検証する必要がある。

#### b) 効用関数における経路選択に影響を及ぼす計算項目の検討

本研究では、最尤推計法が使用できない場合（経路別の交通量が不明の場合）に、ドライバーの嗜好を考慮した効用関数の設定方法を提案した。この効用関数は、車線数・屈曲回数・右折回数・信号交差点数・各リンクの延長を計算項目とした。しかし、現実のドライバーは自転車歩行者数や駐車車両および沿道細街路への出入りなど多くの要素により経路を選択していると考えられる。

よって、ドライバーの嗜好を考慮し、経路選択に影響を及ぼす計算項目の検討が必要と考える。

### c) 効用関数のパラメータの設定方法の検討

経路選択モデルには、数種のパラメータを入力する必要があるが、経路選択確率の精度はこれらのパラメータの精度に大きく影響される。

パラメータは、対象地域の交通状況や沿道状況に応じて変化するもの、ある法則性や一定幅の定数で表現できると考えられる。このため、より多くの地域における経路選択行動のデータを収集し、沿道条件や交通状況との検証を行い、経路選択モデルの適合性の検討や定数の推定を行うことが必要である。

また、各パラメータは経路選択確率に大きな影響を及ぼすため、その精度向上を図る研究が必要と考える。

### d) 検討対象経路の選定

経路選択モデルでは、対象地域の道路網(リンク)に対して、基本的には全てのリンクを対象に経路を設定するものとされている。しかし、これらを全て取り込んだ場合、非現実的な経路が存在することになり、経路選択確率が大きく変わる可能性がある。

経路を極端に絞り込むことは恣意性を含むため、論理的ではないが、現実的でない経路を排除することも重要と考える。よって、検討対象経路の抽出数と計算精度の関係性を明確化する必要があると考える。

**謝辞**：本研究の実施に当たり、Case 1のデータとして、AVENUE研究開発グループ 吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセット整備プロジェクト21による公開データを活用させていただいた。また、Case 2のデータとしては、金沢河川国道事務所のご厚意により、貴重な空撮ビデオデータの提供をいただいた。ここに記して、あわせて感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 交通シミュレーションクリアリングハウス：H8 吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセット，  
<http://www.jste.or.jp/sim/bmdata/index.html>
- 2) 羽藤英二：ネットワーク上の経路選択行動，土木計画学研究・論文集，Vol.12，pp.13-27，2002.
- 3) Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F. and Vitetta, A.: 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.
- 4) Cascetta, E. Papola, A., Russo, F. and Vitetta, A.: Implicit availability perception logit models for route choice in transportation networks, *World Transport*, pp.15-24, 1998.
- 5) 兵藤哲朗，遠藤弘太郎，萩野保克，西隆太：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.

- 6) McFadden, D.: Conditional Logit analysis of qualitative choice behavior, *Frontiers in Econometrics*, pp.105-142, 1978.
- 7) Williams, H. C. W. L: On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, *Environment and Planning A*, Vol.9, No.3, pp.285-344, 1977.
- 8) Gliebe, J. P., Koppleman, F. S. and Ziliaskopoulos, A.: Route choice using a paired combinational logit model, Paper presented at the 78<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1999.
- 9) Vovsha, P. and Bekhor, S.: Link-nested logit model of route choice; overcoming route overlapping problems, *Transportation Research Record*, No.1645, pp.133-142, 1998.
- 10) Wen, C. and Koppelman, F. S.: The generalized nested logit model, Paper presented at the 79<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2000.
- 11) McFadden, D. and Train, K.: Mixed MNL models for discrete response, *Journal of Applied Econometrics*, Vol.15, No.5, pp.447-470, 2000.
- 12) McFadden, D.: A method of simulated moments for estimation of discrete response models without numerical integration, *Econometrica*, Vol.57, pp.995-1026, 1989.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 井ノ口弘昭, 伊藤慎兵, 河上省吾: 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.
- 18) 三輪富生, 森川高行: プロブカーデータを利用した経路選択行動に関するモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, pp.553-560, 2004.
- 19) 三輪富生, 森川高行, 倉内慎也: プロブカーデータを用いた動的な経路選択行動に関する基礎的分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.3, pp.477-486, 2005.
- 20) 中村俊之, 吉井稔雄, 北村隆一: 単純化ネットワークを用いた経路選択モデルの構築と適用, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第4部門, Vol.60, pp.71-72, 2005.
- 21) 花房久佐友, 吉井稔雄, 堀口良太, 赤羽弘和, 片倉正彦, 桑原雅夫, 尾崎晴男, 大口敬, 西川功: 交通シミュレーション再現性検証用データセットの構築, 土木学会論文集, No. 688/IV-53, pp.115-123, 2001.

(2011.2.25 受付)

## THE LOGIT TYPE ROUTE CHOICE MODEL'S VERIFICATION BY TRAFFIC FLOW OBSERVATION RESULT

Masayuki ANDOU, Jun-ichi TAKAYAMA and Sho-ichiro NAKAYAMA

In order to provide an effective infrastructure, to make the congestion easier, and to manage the traffic demand, and to achieve the comfortable traffic circumstance, it is necessary to understand the characteristic of driver's route choice, and to select the appropriate route selection model actually suited in a comparatively narrow area in the urban area.

In this study, from the result of the survey of the route choice behavior in the real traffic, it is clarified that the drivers choose the route according to various factors not only the travel time but also the width of the road and the number of signal intersections etc., and verified adaptability with an existing Logit type route selection model based on the characteristic of the route choice behavior of such as the drivers. As a result, it turned out to suit the MNL model most, and to suit the C-Logit model next. Moreover, to attempt the accuracy improvement of the route choice calculation, it proposes the calculation method that takes the situation in the road and the route into the effect.