

# 混合経路の存在を考慮した 都市間旅客の経路選択モデルに関する基礎検討

柴田 宗典<sup>1</sup>・奥田 大樹<sup>2</sup>・鈴木 崇正<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 (公財)鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:mshibata@rttri.or.jp

<sup>2</sup>正会員 (公財)鉄道総合技術研究所

<sup>3</sup>正会員 (公財)鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

我が国では都市間交通ネットワークの整備が進展した結果、航空機と新幹線、新幹線と高速バスを乗り継ぐ経路といった複数の幹線交通機関を組み合わせることができる経路（混合経路）が存在するようになってきており、社会基盤への投資増が困難な状況においては、混合経路には各交通機関の弱点を補完する役割も期待できる。一方、都市間旅客を対象とした需要予測においては、幹線交通機関別のOD表を推計した上で当該交通機関のネットワークに配分するため、需要推計において混合経路の存在は考慮されてこなかった。そこで本研究では、都市間旅客を対象として混合経路の存在が選択行動に与える影響等を考慮できる経路選択モデルについて基礎的な検討を行なう。

**Key Words :** *Multi-mode route alternative, Route choice behavior, C-logit model*

## 1. はじめに

我が国では、都市間交通ネットワークの整備が進展した結果として、航空機と新幹線、新幹線と高速バスを乗り継ぐ経路といった複数の幹線交通機関を組み合わせることができる経路(混合経路)が存在するようになってきている。今後、少子・高齢化により交通基盤への投資増が困難な状況が続くと考えられる我が国においては、各交通モードのネットワーク別に都市間交通ネットワークの充足を図ることはもはや難しく、既存のネットワークを有効に活用しつつ適切な交通モードの組合せによるネットワークの充実を図る視点がより一層重要となると考える。

一方、従来の都市間旅客を対象とした四段階推計法に基づく需要予測においては、分布交通量モデル等により得られた分析対象全体のOD表に交通機関選択モデルから推定される交通機関別の分担率を乗じて交通機関別のOD表を推計した上で、当該交通機関のネットワークに配分するという考え方を基本とする。ここで、交通機関選択モデルには当該ODにおける各交通モードの代表的な経路を想定したサービスレベルを設定して分担率の推計を行なうことが通例であるため、航空機と新幹線を乗

り継ぐような幹線交通機関の混合経路の存在は考慮されてこなかった。そのため、混合経路が存在する場合に必要な選択行動モデルの形態等に関する研究もほとんどなされていない。

そこで本研究では、将来的に混合経路を考慮した都市間交通ネットワーク計画に資することを念頭に、都市間旅客を対象として混合経路の存在が選択行動に与える影響等を考慮できる経路選択モデルについて基礎的な検討を行なう。

## 2. 経路選択行動に関する分析

経路選択モデルの検討に先立ち、実際に都市間トリップを行なった旅客を対象としたアンケート調査により経路の選択理由等のデータを取得し、旅客の意識から見た経路選択特性を把握する。

### (1) 調査概要

本研究では、旅客が過去に経験した旅行の往路におけるODや利用交通機関、利用経路といったトリップデータを取得することを目的として利用実態調査(webアンケート調査)を行なう(表-1)。本調査の対象は、基本

的に全国幹線旅客純流動調査における調査対象の定義<sup>1)</sup>に従う。具体的には、調査時点から過去1年以内に実施された都道府県境を跨ぐ通勤・通学目的以外の目的を持つトリップのうち、幹線交通機関(幹線鉄道(新幹線・特急列車)、航空機、幹線バス、船舶)を利用したトリップの往路を対象とする。ただし、首都圏(東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県)、中京圏(愛知県、三重県、岐阜県)、近畿圏(京都府、大阪府、兵庫県、奈良県)の3大都市圏の内々トリップと陸上交通ネットワークで連結されていない沖縄県が起点または終点であるトリップは対象から除外している。

本調査では、回答者に経路選択の要因となり得る37項目(表-2)の定性的な要因(経路選択理由)を提示した上で、①経路選択理由として該当する要因を選択してもらい(複数選択可)、②複数の要因を選択した回答者には、合計が100%となるように各項目の重視度を回答するように求める。ただし、分析上の煩雑さを避けるため、同様の内容と見做せる項目や重視度が比較的低い項目の統合を行なう。結果、37項目は12項目まで統合され、以降は統合された12項目について分析を行なう。

表-1 幹線交通機関の利用実態調査の実施概要

調査時期	2011年11月
調査方式	インターネット調査
回収数	5,118票
調査対象	過去1年間に実施された以下のトリップの往路 <ul style="list-style-type: none"> <li>都道府県境を跨ぐトリップ。但し、大都市圏内々トリップ及び沖縄県に関連するトリップを除く。</li> <li>通勤・通学目的以外のトリップ。</li> <li>幹線交通機関(幹線鉄道(新幹線・特急列車)、航空機、幹線バス、船舶)を利用したトリップ</li> </ul>
主な調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>旅行目的、出発地、到着地、同行者</li> <li>利用した交通機関、経路</li> <li>経路選択理由とその重要視(表-2)</li> </ul>

表-2 重視度を観測した経路選択理由(12項目)

調査票での表現例	キーワード
好きな(嫌いな)交通機関を利用する(しない)こと	好悪性
以前に利用したことがあること	習慣性
地理に詳しくなくても確実に目的地まで行けること	容易性
長距離移動にかかるコストが安いこと	廉価性
長距離移動にかかる総時間が短いこと	速達性
定時性が高いこと	定時性
運行頻度が高いこと	応時性
出発地から駅や空港等までのアクセスが容易なこと	7先性
途中の乗り換えが無い、もしくはは簡単なこと	乗換抵抗
利用得点ポイント(マイル等)が貯まること	付加価値
リラックスして(疲労を蓄積しないで)移動できること	疲労
その他	その他
【重視度】 経路選択理由として選択した全項目の重視度の合計が100%となるように、各項目の重視度を回答	
【回答例】 項目A、項目B、項目Cが選択された場合、 項目A：70% 項目B：20% 項目C：10% 合計：100%	

## (2) 経路選択理由に関する分析

ここで、利用した経路を構成する幹線交通機関の数が1つの場合を「単一経路」、2つ以上の場合を「混合経路」の2種類の経路種別に区分する。利用した経路種別と業務目的/非業務目的/全目的別に経路選択理由の重視度を集計した結果を図-1に示す。また、これらの分布間に差異が存在するか否かを統計的に判断するために、図-2に示した重視度分布に対して旅行目的毎に $\chi^2$ 検定を行なった結果を表-3に示す。ここで、検定統計量が棄却域=19.68よりも小さい場合は、単一経路利用者と混合経路利用者の間で経路選択理由の構成状況が同一であり、逆に検定統計量が棄却域よりも大きい場合は、単一経路利用者と混合経路利用者の間で経路選択理由の構成状況が異なると統計的に判断されるが、全ての旅行目的で検定統計量が棄却域より小さいことから、旅行者が経路選択を行なう際に重視する選択理由は、経路種別や旅行目的を問わずに同様なものであることが統計的に確認される。ここで単一経路の利用者は、当該ODにおいて例えば「航空機(の代表経路)と幹線鉄道(の代表経路)」という交通機関の選択肢から利用する交通機関を選択している」といった交通機関選択行動を行なっていると思えることができると考えられるので、混合経路の存在を想定した経路選択行動モデルを構築する場合においても、説明変数に所要時間や運賃等の従来の交通機関選択モデルに採用されるものと同様の変数を採用できる可能性を示唆していると言えよう。

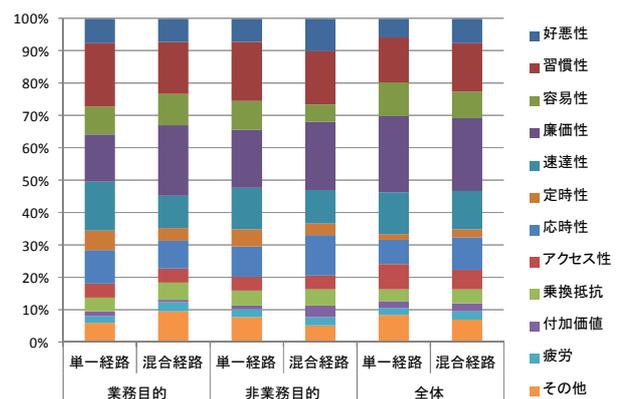


図-1 経路選択理由の重視度分布(12項目)

表-3  $\chi^2$ 検定結果

旅行目的	検定統計量	棄却域 (危険率：5%)	自由度
業務	13.72	19.68	11
非業務	12.42	19.68	
全体	16.81	19.68	

### 3. 経路選択行動のモデル化

#### (1) 経路重複問題

一般的に都市間交通の経路選択モデルにはロジットモデルが適用される<sup>2)</sup>。しかし、経路のある部分が重複している混合経路が存在する場合、ロジットモデルのIIA特性により、類似性の高い選択肢の選択確率は過大推計される傾向を持つ。図-2に仮想的な例を示す。

ここで、各経路の選択確率が所要時間と運賃のみで説明されるとする。路線 $l_4$ が開通する前に存在する経路 $R_1$ と $R_2$ の所要時間と運賃が全く同じであれば、 $R_1$ と $R_2$ の選択確率はそれぞれ0.5と推定される。次に路線 $l_4$ が開通し、新たに経路 $R_3$ の利用が可能となったとする。ここで $R_3$ も所要時間、運賃が $R_1$ 、 $R_2$ と全く同じであるとすると、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ の選択確率はそれぞれ0.33と推定される。従って航空機 $l_2$ の選択確率の推定値は $0.33+0.33=0.66$ となり選択確率が0.5から0.66に増加することとなる。しかしながら現実には、全く同じ所要時間、運賃の新たな経路が利用可能になっただけの理由で航空機 $l_2$ の選択確率が増加するとは考え難い。選択肢に混合経路を含む経路選択問題をモデル化する際には、この経路重複問題に適切に対処することが求められる。

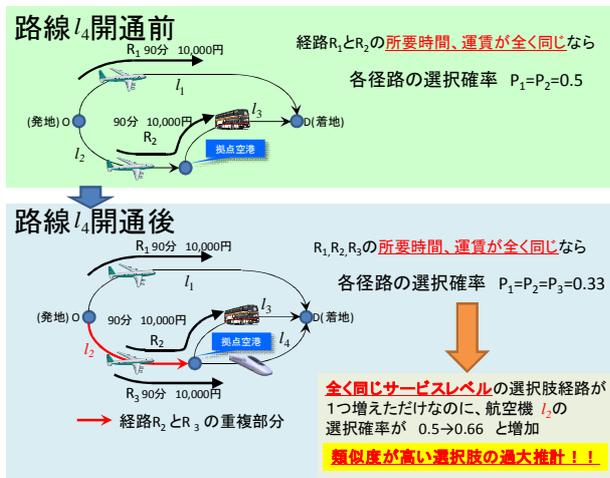


図-2 ロジットモデルにおける経路重複問題

#### (2) 混合経路の存在を考慮した経路選択行動モデル

##### (a) モデル形の検討

ロジットモデルのIIA特性に起因する問題を解決する非IIA型の代表的なモデルとしては、構造化プロビットモデル<sup>3)</sup>、Mixed Logitモデル<sup>4)</sup>、C-logitモデル<sup>5)</sup>等が挙げられる。このうちC-logitモデルはMultinomial Logitモデルの確定項にCommonality Factorと呼ばれる変数 $CF_i$ を入れることで経路間の類似性を表現するモデルである(図-3)。ad hocなモデルであるが、シミュレーション法を用いることなくパラメータ推定やネットワークの配分計算を行な

うことができる高い操作性、実用性を有するモデルと位置づけられ<sup>6)</sup>、イタリアの都市間高速道路における経路選択行動<sup>5)</sup>や東京首都圏の鉄道ネットワークにおける経路選択行動<sup>6)</sup>に対する適用実績がある。本研究では、我が国の幹線交通ネットワークを対象とした操作性、実用性が高い経路選択モデルの構築を目指し、幹線交通ネットワークにおける混合経路を含む場合の経路選択問題に対してC-logitモデルの適用を試みる。

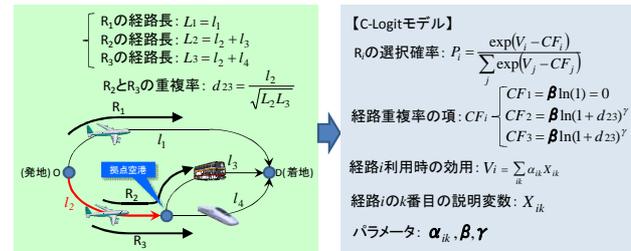


図-3 C-logitモデル

##### (b) パラメータが満たすべき条件

ここで $CF$ に係るパラメータ $\beta$ が満たすべき条件を整理する。

➤ パラメータ $\beta$ の符号条件は+ (プラス) である。

経路間の重複率が高まった場合に当該経路の効用値を低下させることで、重複率の高い経路の選択確率を低下させる働きを持つ必要がある。ここで、重複率が高まるにつれて $CF$ の値が高まるため、 $CF$ に係るパラメータ $\beta$ が正(+)であれば、当該経路の効用値が減じられて選択確率が低下する。従って、パラメータ $\beta$ の符号条件は+である。

➤ パラメータ $\beta$ は $0 \leq \beta \leq 1$ を満たす必要がある。

パラメータ $\beta$ が存在すべき範囲について、文献6)に則り解説する。

図-3に示す1ODに3route( $R_1 \sim R_3$ )の仮想ネットワークにおいて、 $R_2$ と $R_3$ の重複率を $d_{23}$ とすると $d_{23}=0$ の場合は図4のネットワークとなり、3経路がすべて独立である。また $d_{23}=1$ の場合は図5のネットワークとなり、経路 $R_2$ と $R_3$ は同等と見做される。ここで簡単のため、旅客の経路選択行動を説明するサービスレベルの変数を所要時間と運賃のみとする。いま、所要時間と運賃が3経路で全て同一であったとすると、 $d_{23}=0$ の場合の選択確率は $(P(R_1), P(R_2), P(R_3)) = (0.33, 0.33, 0.33)$ となり、 $d_{23}=1$ の場合は $(P(R_1), P(R_2), P(R_3)) = (0.50, 0.25, 0.25)$ となる必要がある。

ここで、重複率以外の説明変数が所要時間と運賃のみであるC-logitモデルにおいて、 $\beta$ 、 $d_{23}$ および $P(R_1)$ の関係を図-6に示す。 $d_{23}=0$ の場合は $P(R_1)=0.33$ 、 $d_{23}=1$ の場合は $P(R_1)=0.50$ を取る必要があることから、C-logitモデルが実

現象を表現するためにはパラメータ  $\beta$  は  $0 \leq \beta \leq 1$  を満たす必要があることが分かる。

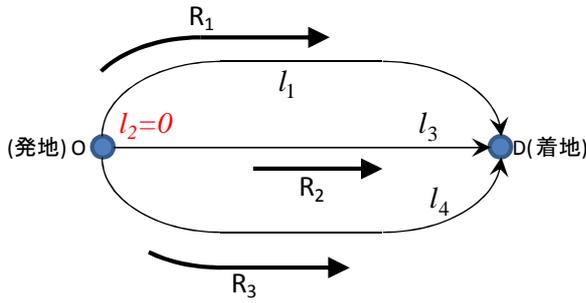


図-4  $d_{23}=0$ のネットワーク

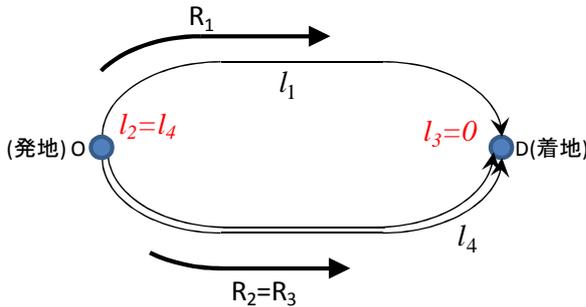


図-5  $d_{23}=1$ のネットワーク

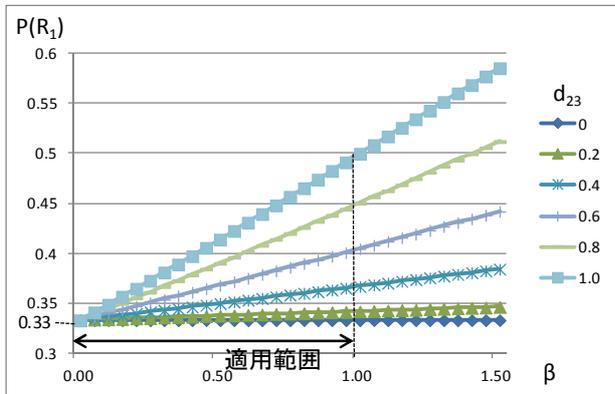


図-6  $d_{23}$ ,  $\beta$ ,  $P(R_1)$ の関係

(c)  $\beta$  の構造化

(b)で示した  $\beta$  の条件を満たすように、C-logit モデルの重複率に関するパラメータ  $\beta$  をロジット型の関数として再定義する。

$$\beta = \frac{1}{1 + \exp(\beta^*)} \quad (1)$$

$$CF_i = \beta \ln \sum_j \left( \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}} \right)^\gamma = \frac{1}{1 + \exp(\beta^*)} \ln \sum_j \left( \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}} \right)^\gamma \quad (2)$$

ここで、

$L_i$  : 経路  $i$  の経路長

$L_{ij}$  : 経路  $i, j$  の重複経路長

$\beta^*, \gamma$  : モデルパラメータ

(d) モデルパラメータの推定

図-7に示すネットワークを対象として経路選択モデルの構築を行なう。モデル構築に必要なデータは以下の通りに整備する。

- 分析時点で最新のデータである第4回全国幹線旅客純流動調査(2005年)の航空個票データから一都三県(東京都, 神奈川県, 埼玉県, 千葉県)発, 九州(福岡県および離島を除く)着のトリップデータを抽出する(20,048 サンプル)。
- 各トリップデータに対して,  $R_1$ (直行航空経路),  $R_2$ (福岡空港経由の幹線鉄道混合利用経路),  $R_3$ (福岡空港経由の幹線バス混合利用)のLOSデータと距離に基づいた経路重複率データを作成する。
- 拡大係数による重み付き最尤推定法により, モデルパラメータを推定する。

重複率に係る定数  $\gamma$  については文献5)を参考に  $\gamma$  を1.5, 2.0と設定した2つのモデルと未知パラメータとして同時推定したモデルの計3モデルを構築する。また比較のため, 同一サンプルを使用してロジットモデルを構築する。なお, 運行頻度は当該トリップにおける幹線交通機関リンクの最低運行頻度と定義する。

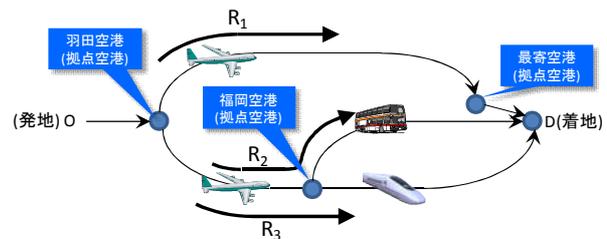


図-7 分析対象ネットワークのイメージ

パラメータ推定結果を表-4に示す。logitモデルよりもc-logitモデルのAICが低いことから、c-logitモデルはlogitモデルに比べて経路選択行動を良好に記述できていると言える。またmodel1, model2よりもmodel3のAICが低いため、 $\gamma$ を与件としたモデルよりも同時推定したモデルの方が良好である。またパラメータの統計的有意性の観点からもmodel3が良好なモデルとなっている。

ここで、図-3の仮想ネットワークを想定し、model3における重複率 $d_{23}$ と経路選択確率の関係を図-8に示す。重複がない場合( $d_{23}=0$ )は $(P(R_1), P(R_2), P(R_3))=(0.33, 0.33, 0.33)$ , 経路2と3が完全重複( $d_{23}=1$ )の場合は $(P(R_1), P(R_2), P(R_3))=(0.5,$

表-4 モデルパラメータの推定結果

	c-logit			logit
	model1( $\gamma=1.5$ )	model2( $\gamma=2.0$ )	model3(同時推定)	
所要時間(時間)	-1.9024 (-37.956)	-1.9198 (-38.001)	-1.9000 (-38.144)	-2.1734 (-41.758)
運賃・料金(万円)	-1.4933 (-7.162)	-1.5242 (-8.444)	-1.4707 (-8.130)	-1.4276 (-5.994)
乗換回数(回)	-0.5600 (-9.173)	-0.5556 (-10.237)	-0.5716 (-10.875)	-0.8272 (-13.597)
1/運行頻度(便)	-1.5656 (-7.746)	-1.5169 (-7.741)	-1.4783 (-7.862)	-0.0344 (-1.859)
$\beta^{\circ}$	-14.3851 (-2.687)	-4.6503 (-3.786)	-4.9675 (-3.357)	
$\gamma$			1.0195 (5.925)	
AIC	8818.2	8824.6	8817.8	8934.0
roh-bar	0.783	0.784	0.800	0.797

サンプル数：20,048

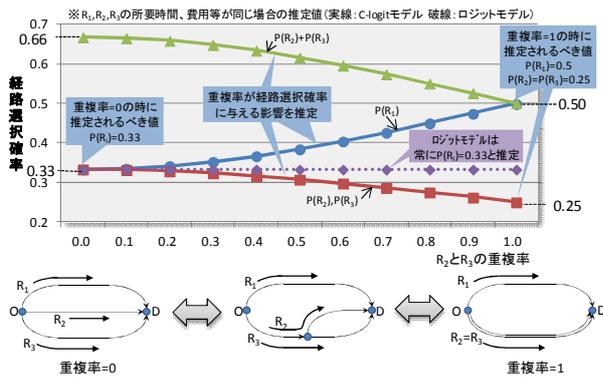


図-8  $d_{23}$ と選択確率の関係 (model 3)

0.25, 0.25)を取っており、経路重複率が経路選択確率に与える影響について、前述した条件を満たしていることが分かる。また、ロジットモデルでは重複率がいかなる場合でも選択確率が0.33と推定されるが、構築したC-logitモデルがこの問題を克服していることが示されている。

#### 4. おわりに

本研究では、複数の都市間幹線交通機関を組み合わせる利用する混合経路の存在に着目し、混合経路が存在する場合の経路選択行動について基礎的な検討を行なった。その結果、旅行者が経路選択を行なう際に重視する選択理由は、混合経路、単一経路の違いや旅行目的を問わずに同様なものであることが統計的に確認されるとともに、

混合経路の存在を想定したネットワークに対してC-logitモデルの適用が有効であることを示した。今後は、構築した経路選択モデルの需要予測への実適用に向けた予測精度の確認、C-logitモデル以外の非IIA型モデルの適用性の検討等を進めることで、混合経路が存在する場合にも対応可能な需要モデルが実現するものとする。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査、[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku\\_soukou\\_fr\\_000016.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html)
- 2) 例えば 国土交通省鉄道局：費用便益分析における将来交通需要推計手法の改善について、2010。
- 3) 屋井鉄雄，岩倉成志，伊東 誠：鉄道ネットワークの需要と余剰の推計法について，土木計画学研究・論文集，No.11，pp.81-88，1993。
- 4) McFadden, D. and Train, K.: Mixed MNL Models for Discrete Response, *Journal of Applied Economics*, No.15(5), pp.447-470, 2000。
- 5) 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 Interurban Networks, *Transportation and Traffic Theory, Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp.195-207, 1996。
- 6) 日比野直彦，兵藤哲朗，内山久雄：高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けた非IIA型経路選択モデルの特性分析ー改良型C-logitモデルの提案ー，土木学会論文集No.765/IV-64，pp.131-142，2004。