

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信  
情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 交通機関の乗り継ぎを考慮して 旅客需要を予測する

これまでの旅客需要予測では、一人ひとりが1回の移動で複数の交通機関を乗り継ぐ場合であっても、その移動全体を代表する交通機関のみに着目することが一般的でした。しかし近年の長距離移動では、航空機と特急列車など、複数の主要な交通機関を乗り継ぐ機会も増えたことにより、従来の手法では鉄道の需要を精度良く予測することが困難なケースも見られるようになってきました。そこで、このような主要な交通機関の乗り継ぎを考慮できるような旅客需要予測手法を開発したので紹介します。

## 需要予測

需要予測は、将来の新たな鉄道路線の建設や、運賃・料金などのサービスの水準などを検討していくうえで必要不可欠であり、鉄道の経営やマーケティングにおいて重要な手続きの1つとなっています。旅客交通の需要予測手法のひとつに四段階推計法(☞参照)があります。都市圏や国レベルの広範囲な交通データおよび社会経済データが必要な比較的大掛かりな手法ですが、その対象範囲全体のさまざまな交通機関の存在を考慮したうえで、各交通機関の各経路や各路線の需要が予測できることから、これまで多くの場面で活用されてきました。

### ☞ 四段階推計法

需要予測の対象地域全体の総交通量をあらかじめ求めたうえで、①発生・集中交通量(交通が対象地域内のどのゾーンから発生しているのか、どのゾーンへ集中しているのか)、②分布交通量(どのゾーンからどのゾーンへ移動しているのか)、③交通機関分担(どの交通機関を利用するのか)、④経路選択(各交通機関のどの経路を利用するのか)の4つの計算段階を踏んで、各交通機関、各経路の交通量を予測する手法です。

## 複数の交通機関を乗り継ぐ経路

私たちが公共交通を利用して移動する場合、例えば①出発地から乗車駅まで自転車でアクセス、②乗車駅から降車駅まで鉄道を利用、③降車駅から目的地まで徒歩、というように、複数の交通機関を乗り継ぐケースが多くみられます。しかし上記の例の場合、四段階推計法では鉄道がその移動を代表する交通機関であるとみなされ、代表交通機関(☞参照)と呼ばれます。この考え方では徒歩や自転車の利用が考慮外となるのですが、需要予測では一般的に徒歩や自転車より鉄道やバスに着目するため、大きな問題ではありませんでした。

ここで、より長距離の移動について考えてみます。代表交通機関は「航空機」「幹線鉄道(新幹線や特急列車)」「高速バス」などが想定されますが、実際

### ☞ 代表交通機関

1回の移動において複数の交通機関を乗り継ぐ場合、その移動全体を代表する交通機関を代表交通機関と呼びます。一般的に「航空機・鉄道・バス・自転車・徒歩」の順位で代表交通機関として採用されます。



**柴田 宗典**  
Munenori Shibata  
信号・情報技術研究部  
交通計画研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 交通計画、  
交通行動分析



**奥田 大樹**  
Daiki Okuda  
信号・情報技術研究部  
交通計画研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 交通計画、  
交通経済分析



**鈴木 崇正**  
Takamasa Suzuki  
信号・情報技術研究部  
交通計画研究室  
研究員  
[専門分野] 交通計画

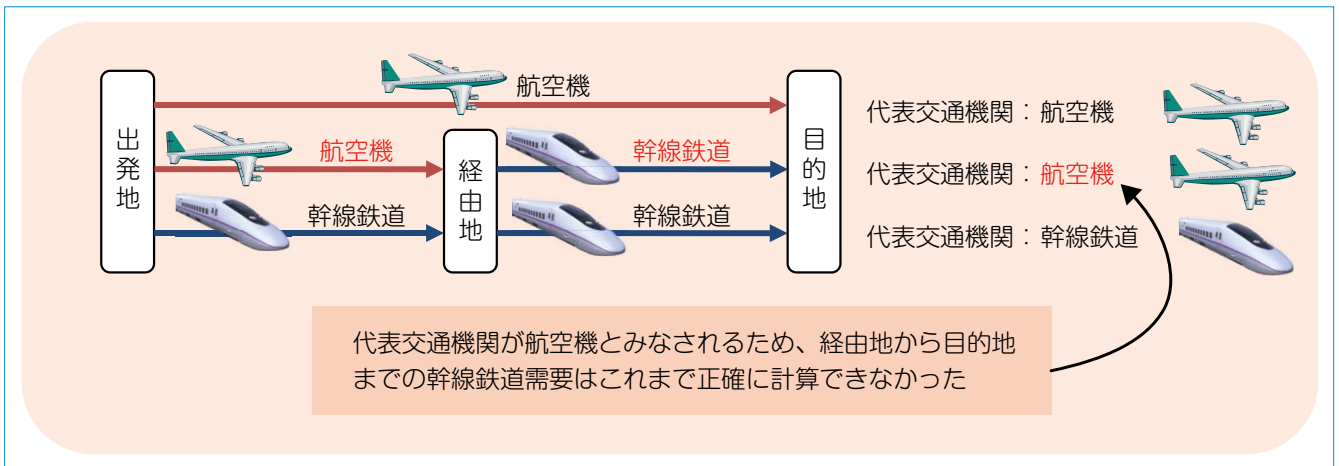


図1 代表交通機関の考え方

には「航空機と幹線鉄道を乗り継ぐ」ケースや「幹線鉄道と高速バスを乗り継ぐ」ケースなど、代表交通機関となりうる主要な交通機関どうしを乗り継ぐ経路（以下「混合経路」と呼ぶ）も考えられます。これまでの手法では、前者は航空機による移動、後者は幹線鉄道による移動とみなされることから、これらのケースで代表交通機関とならない幹線鉄道や高速バスの需要を正確に求めることができません（図1）。近年ではこのような経路が増加していることから、この問題の解決のため、複数の主要な交通機関の乗り継ぎを考慮できる旅客需要予測手法を開発しました<sup>1)</sup>。

選択肢 A, B, …, n があるとき,

ロジットモデル:

$$A \text{ の選択確率} = \frac{(A \text{ の効用})}{(A \text{ の効用}) + (B \text{ の効用}) + \dots + (n \text{ の効用})}$$

C-ロジットモデル:

$$A \text{ の選択確率} = \frac{(A \text{ の効用} - A \text{ の重複率})}{(A \text{ の効用} - A \text{ の重複率}) + (B \text{ の効用} - B \text{ の重複率}) + \dots + (n \text{ の効用} - n \text{ の重複率})}$$

図2 ロジットモデルとC-ロジットモデルの考え方

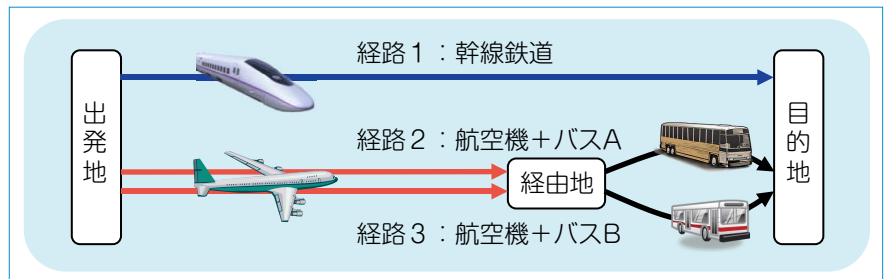


図3 経路重複問題の例

### 混合経路と経路重複問題

四段階推計法における経路選択行動は、一般にロジットモデル（図2の上）を用いて計算されます。このモデルは、効用（<sup>1)</sup>参照）の大きい選択肢の選択確率がより大きくなることを表現して

いるものです。このモデルを、例えば図3のように経路の一部が相互に重複している混合経路に適用しようとするとき、重複区間のより長い経路の選択確率をより過大に計算してしまうという経路重複問題が発生します。

例えば、図3において、経路1と経路2の2つの選択肢しかない場合、両者の効用が等しければ、両者の選択確率は等しく50%ずつであるとロジットモデルでは計算されます。ここで、

経由地と目的地間に新たな路線バスBが運行を開始し、航空機とバスBを利用する経路3が設定されたとします。そしてその経路3の効用も、経路1や経路2と等しいとします。本来、経由地と目的地の間のバスの選択肢が1つ増えただけでは、出発地と経由地の間の航空機の需要が大きく増加するとは考えにくいものです。しかし、各経路の効用が等しいことから、ロジットモデルでは経路1～3の選択確率が等

#### 効用

あるサービスを受けることによって得られる満足度を指す経済用語です。一般的に交通の効用は、運賃や所要時間、運行頻度、乗り換えの有無などで説明されます。

しく33%と計算されます。すなわち、出発地と経由地の間の航空機の選択確率は66%となり、経路3設定前の同区間の選択確率50%と比較するとかなり大きな値となります。これが経路重複問題による過大推計です。

そこで、この問題に対応するため、経路選択行動モデルにC-ロジットモデル(図2の下)<sup>2)</sup>を採用しました。C-ロジットモデルは、従来のロジットモデルに経路の重複率に関する項を加えたもので、今回は距離の重複率を用いています。ロジットモデルでは、他の経路との重複率が大きい経路ほど選択確率の過大推計傾向が強まるのに対して、重複率が大きいほどその経路の効用がより小さくなるので、その経路の選択確率の過大推計傾向を抑えることができるという特徴を有しています。

### 経路選択の特性に関する調査

従来の1種類の代表交通機関のみを考慮した経路(以下「単一経路」と呼ぶ)の選択行動モデルでは、一般的に各経路の所要時間や運賃などが効用を説明するデータ(説明変数)として用いられてきました。ここで、新たにC-ロジットモデルを用いた経路選択モデルを構築するにあたっては、これまで説明変数として用いられてきた要素を採用することの妥当性について検討しなければなりません。すなわち、混合経路における経路選択要因が、これまでロジットモデルで扱ってきた単一経路におけるそれと同じであるとみなせるかどうかを検証する必要があります。

そこで、長距離旅客による経路選択の特性を明らかにするため、ウェブアンケート調査を実施しました。その中で、単一経路と混合経路のそれぞれについて、その経路選択要因を尋ねて集計したところ、単一経路と混合経路で経路選択要因が異なるとは言えないこ

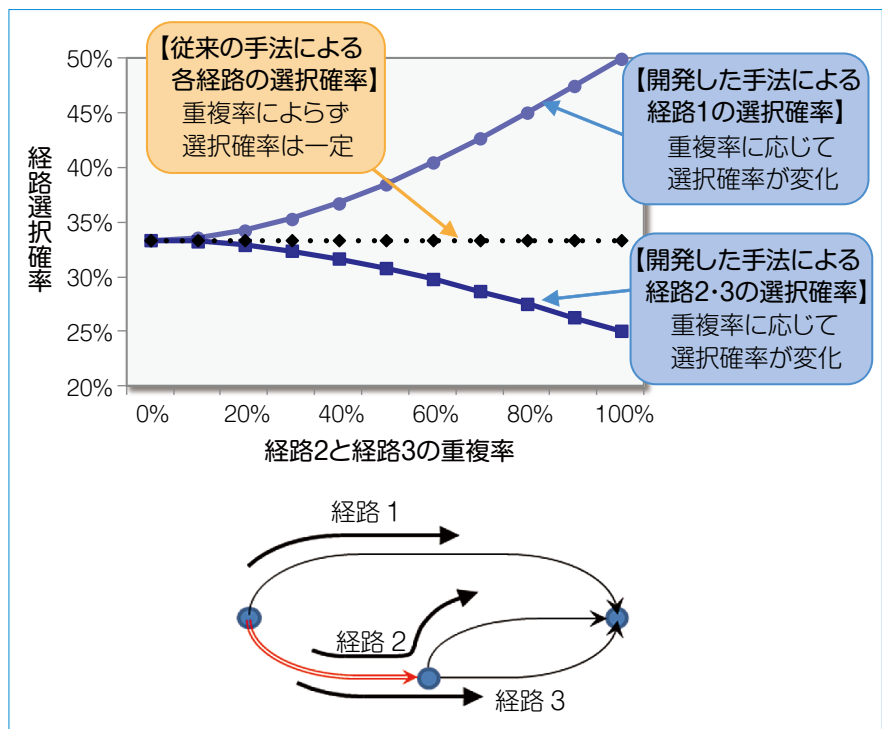


図4 経路の重複率と経路選択確率の関係

とが統計的に示されました。このことから、混合経路の存在を想定したC-ロジット型の経路選択行動モデルを構築する際においても、所要時間や運賃など、従来のロジットモデルで採用されているものと同様の説明変数を使用することとしました。

また、全国規模の都市間旅客流動に関する調査である全国幹線旅客純流動調査の第4回調査データ(国土交通省, 2005年)<sup>3)</sup>のデータを分析した結果、九州地方を出発地あるいは目的地とする旅客流動において混合経路の利用が多くみられることが判明しました。このことから、同調査の個票データのうち、首都圏発九州地方着のデータを用いてモデルのパラメーター推定を行いました。

### 重複率と選択確率の関係

構築したC-ロジット型の経路選択モデルを用いて、経路重複率と経路選択確率の関係を確認することとします。重複率以外の説明変数が全て等しい3

つの経路からなるネットワークについて、構築した経路選択モデルを用いて、経路2と経路3の重複率の変化による各経路の選択確率の変化を求めました(図4)。従来手法では重複率によらず各経路の選択確率が不変であったものが、今回開発した手法により、重複率を考慮した選択確率の計算が行われていることが分かります。

本研究では比較のため、従来のロジット型の経路選択モデルも同様に構築しましたが、複数のモデルの良し悪しを比較できる統計の指標であるAIC(赤池情報量規準)や、モデル全体の当てはまりの良さを示す自由度調整済尤度比は、ロジット型のモデルとC-ロジット型のモデルで同等の水準を有していることが確認されました。このことから、適用実績の豊富なロジットモデルと同等の性能を有しながら、なおかつ混合経路の存在を考慮できる経路選択行動モデルが構築できたと考えます。

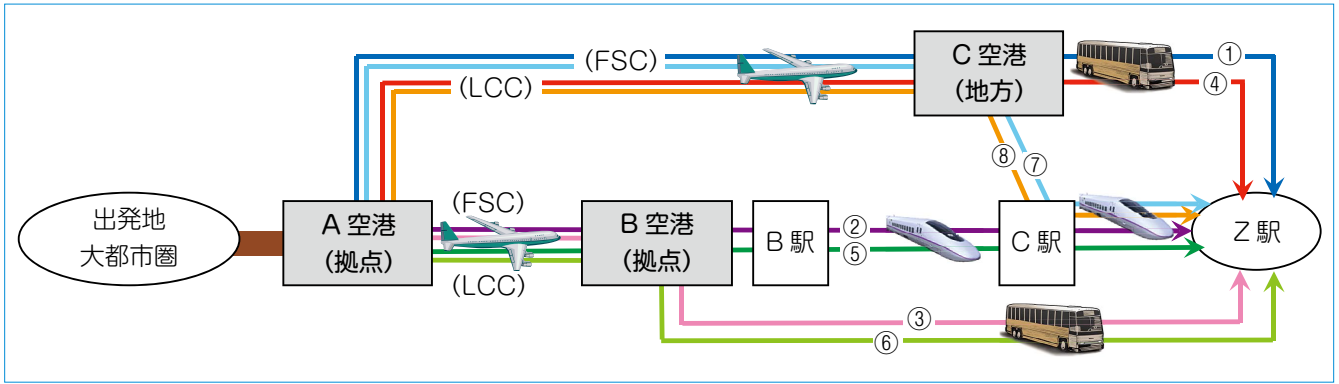


図5 ケーススタディーにおける想定ネットワーク

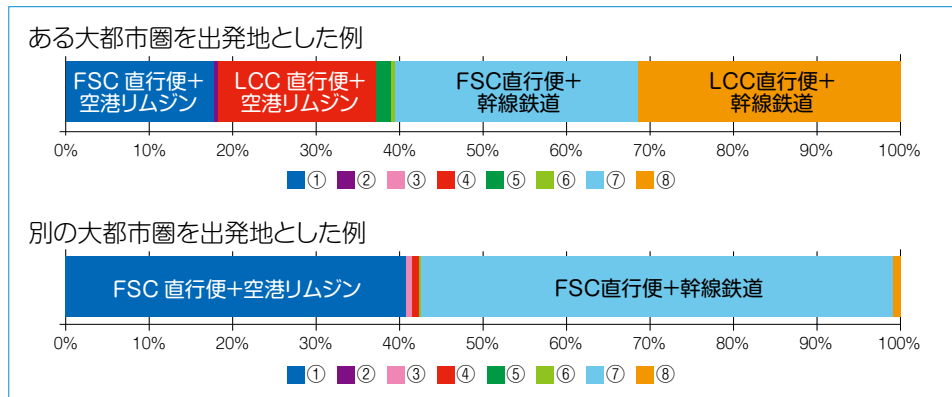


図6 経路選択確率の計算結果

### ケーススタディー

構築したC-ロジック型のモデルを用いて、図5に示すような航空機、幹線鉄道、高速バスからなる複数の混合経路で構成される交通ネットワークにおける、経路選択確率の推定（ケーススタディー）を実施しました。

このネットワークでは、出発地として2つの大都市圏を設定し、目的地をZ駅とします。その大都市圏内にあるA空港から、Z駅から離れたB空港、もしくはよりZ駅に近いC空港に航空機で向かい、各空港からZ駅までは幹線鉄道もしくは高速バスのいずれかで移動するものとします。利用可能な航空会社は近年の動向を考慮し、FSC (Full Service Carrier：従来の航空会社) とLCC (Low Cost Carrier：格安航空会社) の2種類としました。B駅はB空港の、C駅はC空港のそれぞれ近傍にあり、B駅-C駅-Z駅の幹線鉄道は空港へのアクセス手段としての

役割が期待される、というものです。

推定された各経路の選択確率を図6に示します。出発地として2つの大都市圏それぞれについて計算を行いました。いずれについても出発地の大都市圏からZ駅までの流動の大半がA空港→C空港の直行便を利用しており、そのうち約6割がC空港とZ駅の間で幹線鉄道を利用すると試算されました。このことから、B駅-C駅-Z駅の幹線鉄道にとって、C駅-Z駅間では近傍空港のアクセス手段として一定程度の需要が見込めることが示されたと考えられます。

### おわりに

本手法の開発により、長距離輸送のための複数の主要な交通機関を乗り継ぐ混合経路の存在を考慮した需要予測が可能になりました。本手法は、都市どうしを結ぶ幹線鉄道の新規開業前における需要予測を精緻化できるだけで

なく、幹線鉄道のマーケティングにも広く活用することができるものと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 柴田宗典, 奥田大樹, 鈴木崇正: 交通機関の乗継を考慮した幹線鉄道の需要予測モデル, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp.47-52, 2014
- 2) 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
- 3) 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)