

# 旅客の嗜好を考慮した交通機関分担率推定手法の開発

柴田 宗典\* 武藤 雅威\* 奥田 大樹\*

Development of an Estimation Method of Modal Share  
Considering Passengers' Latent Preference for Transportation Modes

Munenori SHIBATA Masai MUTO Daiki OKUDA

This study has attempted to develop an estimation method of mode share of inter-city rapid trains focusing on mode choice behavior on inter-regional trips. Firstly, the paper indicates that most of travelers are mode captive, who recognize only one transportation mode as an alternative on their mode choice behavior, and latent preference factors have impact on the generation of mode captive. Thus, the paper tries to develop PLCS (Parameterized Logit Captivity and Selectivity) model to describe mode choice behavior more appropriately and the study also shows that the developed simulation method with PLCS model estimates the modal share more accurately than a traditional mode choice behavior model.

キーワード：都市間幹線交通，交通機関分担率，交通機関選択行動，嗜好性，シミュレーション

## 1. はじめに

近年，高速道路料金の割引の多様化・無料化や高速バス路線の充実などにより，幹線鉄道（新幹線・特急列車）は自動車や高速バス等の対抗交通機関との熾烈な競合状態に晒されている。そのような状況において，例えば，幹線鉄道新線の開通による所要時間の短縮や新たな割引切符の販売等のサービスの向上が幹線鉄道の需要動向に与える影響を分析したり，将来需要を推計するためには，競合状態における旅客の交通機関選択行動を把握し，旅客の選択行動をより適切に表現できる交通機関選択行動モデルを開発する必要がある。

そこで本研究では，旅客の交通機関選択行動における意思決定問題を対象としたアンケート調査を行ない，そこで得られる幹線交通機関の利用に関するデータ（トリップデータ）や旅行者の意識データを用いて意思決定プロセスの特性を分析する。また，明らかとなった特性を適切に反映できる交通機関選択行動モデルを開発し，開発モデルによる交通機関分担率推定手法を確立することを目的とする。

## 2. 幹線旅客の交通行動等に関する実態調査の概要

労働人口の減少やIT・通信技術の発展等に伴い業務目的の旅客の増加は期待し難いため，鉄道事業にとって観

光目的等の非業務目的の旅客の獲得が重要となっていることや，業務目的旅客が多くを占める平日の都市間旅客を対象として，実用的な交通機関選択行動モデルが既に開発されていること<sup>1)</sup>等の状況を踏まえ，本研究における分析対象は非業務目的で都市間を移動する幹線旅客とする。本研究では，旅客が過去に経験した旅行の往路における出発地（Origin）と目的地（Destination）であるODや，利用交通機関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（アンケート調査）を行なう（表1）。ここでは，全国調査に加え，開発するモデルの適用対象の1つと想定したZ地方における地域特性を検証するために，全国調査とほぼ同様の内容のZ地方調査を実施している。

本調査の特徴は以下のとおりである。

- ・実際に行なったトリップとは別に，回答者が抱いている各交通機関（幹線鉄道，高速バス，自動車，航空機の4交通機関）に対する好き・嫌い（以下，嗜好性と称する）を5段階評価値で観測する（図1）。
- ・21種類の定性的な交通機関選択の要因（機関選択意識要因）について「交通機関を選択する際にどの程度重要視しましたか？」という7段階評価値（以下，主観的重視度と称する）を観測する（表2）。
- ・旅客が選択肢として認知している交通機関を捕捉するために，利用を検討した交通機関を問う設問と，実際に利用した交通機関を問う設問を設けている。

\* 輸送情報技術研究部 交通計画研究室

特集：輸送情報技術

表1 幹線交通機関の利用実態調査の実施概要

	全国を対象とした幹線交通機関の利用実態調査(全国調査)	Z地方を対象とした幹線交通機関の利用実態調査(Z地方調査)
調査時期	2008年11月	2008年11月～2009年1月
調査方式	インターネット調査	投函・郵送回収
回収数	6,097票	1,332票
調査対象	長距離の移動を伴う非業務目的(観光, 私人目的等)の旅行の往路	
主な調査項目	・旅行目的, 出発地, 到着地, 同行者種別と人数 ・利用した交通機関, 利用を検討した交通機関(=交通機関の選択肢としての認知) ・【旅客の潜在的な意識】交通機関を選択する際に重要視した要因(主観的重視度:表2) ・【旅客の潜在的な意識】交通機関に対する好き嫌い(嗜好性:図1)	

Q1 それぞれの交通機関について、好き・嫌いをお答えください。※直感的にお答えください。

	1 とても嫌い	2 嫌い	3 どちらでもない	4 好き	5 とても好き
1. 新幹線・特急列車	○	○	○	○	○
2. 高速バス	○	○	○	○	○
3. 航空機	○	○	○	○	○
4. 自動車	○	○	○	○	○

図1 幹線交通機関に対する嗜好性に関する設問

表2 主観的重視度を観測した要因の例

調査票での表現	キーワード
・目的地に早く到着できること	速達性
・費用が安いこと	廉価性
・出発地から目的地までの所要時間が正確であること	定時性
・いろいろな場所をまわりやすいこと	機動性
・荷物を運ぶのが便利であること	運搬性
・道路で渋滞に巻き込まれる可能性があること	渋滞可能性
・交通事故を起こす・巻き込まれる可能性があること	事故安全性
・盗難などの犯罪にあう可能性があること	犯罪安全性
・自動車を運転して疲れること	運転疲労
・プライベートな空間が確保できること	プライベート性

3. 分析対象データの概要

本研究では、幹線鉄道、自動車、高速バスの競合が激しくなっている近年の状況に鑑み、分析対象を幹線鉄道、自動車、高速バスの3交通機関における交通機関選択問題とし、構築するモデルの汎用性を確保する観点から、全国調査データを分析に用いる。また構築したモデルの汎用性に関する検討(6.1に後述)に、全国調査データとZ地方調査データの両者を適用する。ここで、全国調査データより利用交通機関および代替交通機関が、幹線鉄道、自動車、高速バスであり、分析に必要な回答が得られているサンプルを抽出した結果、分析対象は1,611サンプルとなり、これらを用いて以降の分析を進める。なお、各トリップデータのODにおける交通サービスレベルデータの作成にあたっては、東京大学空間情報科学研究センターが提供する「CSVアドレスマッチングサービス」<sup>2)</sup>と、国土交通省により開発された総合交

通分析システム(NITAS)<sup>3)</sup>を援用している。

分析対象サンプルのデータ概要を図2に示す。各属性について著しい偏りはなく、満遍なくサンプリングできている。ここで交通機関の選択肢としての認知に関するデータについて、利用交通機関のみを選択肢と認知し、「その交通機関しか利用したくない」と考えていたサンプルを、「幹線鉄道/自動車/高速バスの固定的旅客～キャプティブ(Rcap/Acap/Bcap)」の3種、2つ以上の複数の交通機関を選択肢として認知していたサンプルを、「選択的旅客～セレクトティブ(sel)」と定義すると、いずれの交通機関においても固定的旅客が全体の約90%を占めることが分かる(図3)。これらの固定的旅客は、複数の選択肢のサービスレベルを比較して利用する交通機関を選択しているとは言い難く、新線開通、運賃割引等により幹線鉄道のサービスレベルが向上しても、容易に対抗交通機関から幹線鉄道へ転換し難い需要であると考えられる。

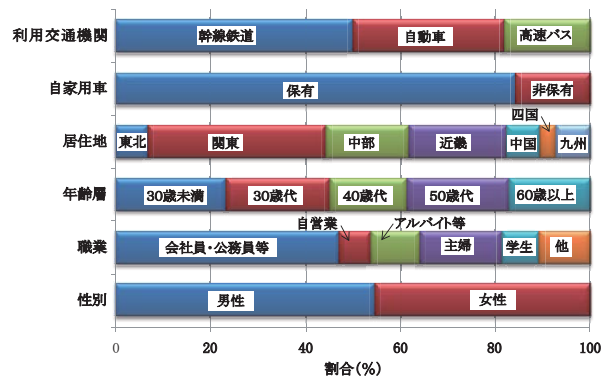


図2 分析対象データのプロフィール(N=1,611)

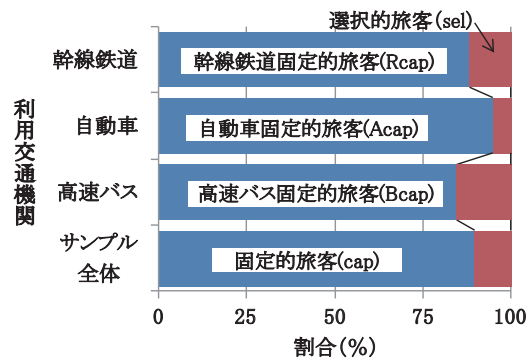


図3 選択肢の認知状況(N=1,611)

4. 旅行者の意識要因と選択肢の認知との関連性

ここでは、観測した機関選択意識要因に対する主観的重視度や嗜好性といった旅行者の意識要因と、選択肢の認知との関連性を分析する。機関選択意識要因については、サンプル毎に相対的重視度(観測した21要因の主観的重視度の平均値と、各要因の重視度との差)を求め、選択肢カテゴリ別に相対的重視度の平均値を算出する。嗜

好性についても同様に、サンプル毎に相対的嗜好性（観測した全ての交通機関に対する嗜好性の平均値と、各交通機関に対する嗜好性との差）を求め、選択肢カテゴリ別に相対的嗜好性の平均値を算出する。

選択肢カテゴリと機関選択意識要因の関係（図4）をみると、Rcapは「速達性」「定時性」、Bcapは「廉価性」、Acapは「機動性」「運搬性」を相対的に重視している。また、selは多くの要因において0前後の値を示していることから、機関選択意識要因を重視も軽視もしない中立的な旅客はselになる可能性がある。

嗜好性との関係（図5）についても同様に、自身がキャプティブである交通機関の嗜好性は高く、相対的に自身がキャプティブでない交通機関に対する嗜好性は低い。また、selは0前後の値を示していることから、特定の交通機関が好きでも嫌いでもない中立的な旅客はselになる可能性があると考えられる。

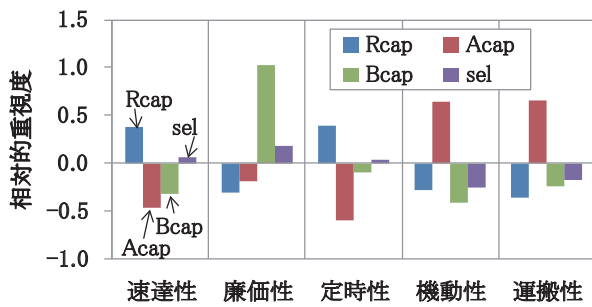


図4 「機関選択意識要因」と「選択肢の認知」の関係

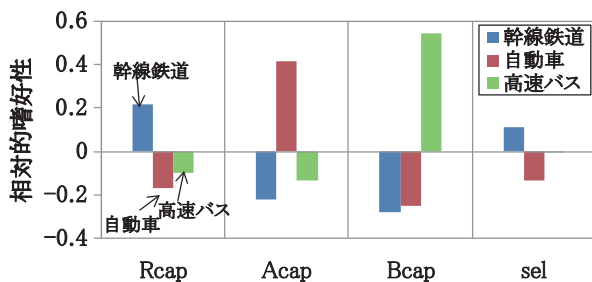


図5 「嗜好性」と「選択肢の認知」の関係

## 5. 選択肢の絞り込みプロセスを考慮した交通機関選択行動モデル

### 5.1 モデル化の方針

前章の分析結果を踏まえ、旅客の交通機関選択行動を二段階の意思決定として捉えてモデル化を試みる。即ち、【step1】選択肢の絞り込みの結果、セレクトティブとなる場合には【step2】交通機関の選択において複数の選択肢から利用する交通機関を決定していると想定する（図6）。ここで【step1】選択肢の絞り込みには、交通機関のサービスレベルの差異、機関選択意識要因、嗜好性が影響を与えており、セレクトティブである旅客は、複数の交通機関を選択肢として認知した上で各交通機関のサービスレベル（所要時間、運賃・料金（交通費用）等）を比較して、合理的に選択を行っていると考える。なお、選択肢の絞り込みに影響がある意識要因は多岐にわたるため、因子分析により各交通機関に対する重視度指標に集約する（図7）。

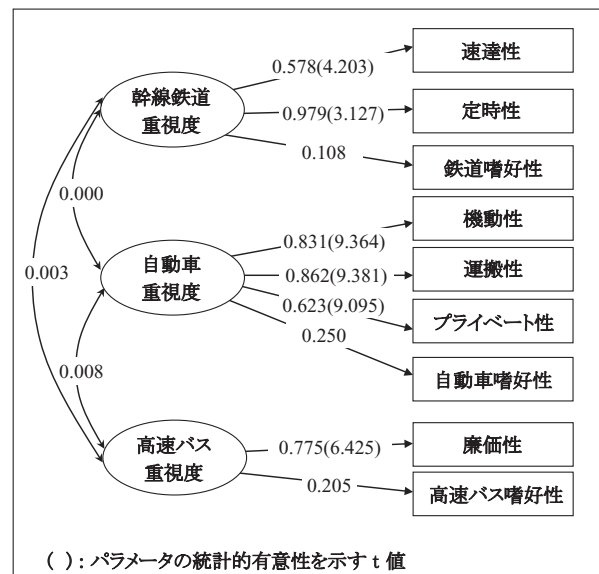


図7 機関選択意識因子モデルのパラメータ推定結果

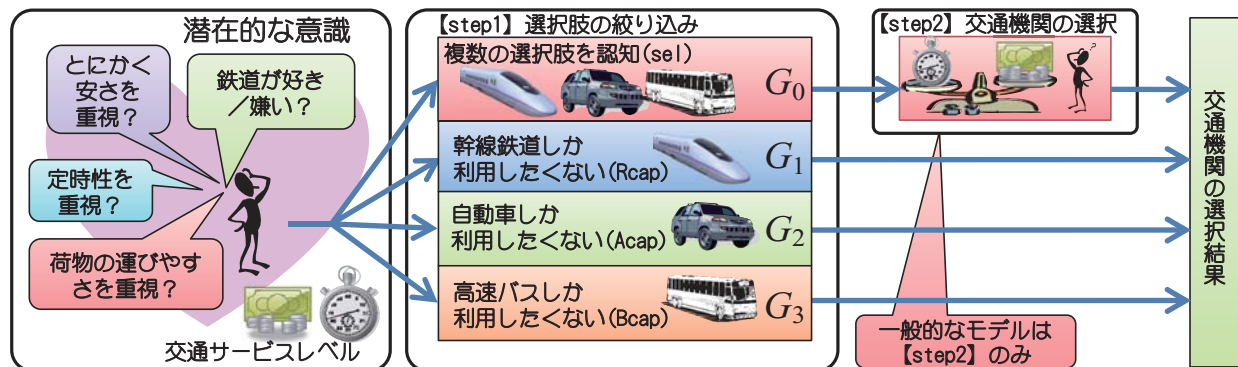


図6 選択肢の絞り込みプロセスを考慮した交通機関選択行動モデルの概念

特集：輸送情報技術

5.2 選択枝の絞り込みプロセスを考慮した交通機関選択行動モデルの開発

ある旅行者が持つ交通機関等の選択枝を確率的に取り扱う選択行動モデルは文献4) で提唱されており、基本式は式(1)で表わされる。ここで $Q(C|G)$ は、旅客がある選択枝の集合を持つ確率であり、【step1】選択枝の絞り込みに相当する部分である。 $P(i|C)$ は交通機関選択確率であり【step2】交通機関の選択に相当する。

$$P(i) = \sum_{C \in G} P(i|C) \cdot Q(C|G) \quad (1)$$

$P(i)$  : 選択枝  $i$  を選択する確率

$P(i|C)$  : 選択枝集合  $C$  から選択枝  $i$  を選択する確率

$G$  : 全ての選択枝集合による空集合以外の全ての部分集合 (例えば、2 選択枝  $\{1,2\}$  の場合、 $G = \{(1),(2),(1,2)\}$ )

$Q(C|G)$  :  $G$  の中で選択枝集合が  $C$  である確率

まず【step1】選択枝の絞り込みについて、選択枝を  $j=1$  (幹線鉄道),  $2$  (自動車),  $3$  (高速バス) とする。ここでキャプティブ以外の旅客はセレクトティブに属すると仮定し、選択枝のカテゴリ  $G_j$  を

$G_0 = \{(1,2,3)\}$  : セレクトティブ (sel)

$G_1 = \{(1)\}$  : 幹線鉄道キャプティブ (Rcap)

$G_2 = \{(2)\}$  : 自動車キャプティブ (Acap)

$G_3 = \{(3)\}$  : 高速バスキャプティブ (Bcap)

以上の4種類に区分する。旅客がそれぞれの選択枝カテゴリに属する確率を説明する関数を  $U_j = \sum_k \alpha_k X_{jk}$  とし、

$Q(C|G_j)$  をロジットモデルで表現する (式(2),(3))。

$$Q(C|G_j) = \frac{\exp(U_j)}{\sum_j \exp(U_j)} \quad (2)$$

$$U_j = \sum_k \alpha_k X_{jk} \quad (3)$$

$X_{jk}$  : 選択枝カテゴリ  $j$  に関する  $k$  番目の説明変数

$\alpha_k$  : 選択枝カテゴリ  $j$  に関する  $k$  番目の説明変数に関する未知パラメータ

ここで、以下の変数を  $X_{jk}$  の候補とする。

・各交通機関に対する重視度  $mi_i$

機関選択意識因子モデル (図7) から因子得点として推定される「各交通機関に対する重視度」 $mi_i$  を、キャプティブである確率を説明する変数の候補とする。

・重視度相違指標  $dif$

各交通機関の重視度の差分の絶対値の総和の逆数と定義した重視度相違指標  $dif$  を作成し、セレクトティブになる状況を説明する変数とする (式(4))。これは、全ての重視度が同じ値をとるときには大きくなり (分母=0で無限大)、逆に重視度間の差異が大きくなると小さくなる

変数である。セレクトティブである確率を説明する関数において、この変数のパラメータが正と推定されれば、重視度相互間の相違が小さく当該旅客が中立的である場合にはセレクトティブになる確率が100%に近づき、逆に相違が大きく当該旅客が中立的でない場合にはセレクトティブになる確率が低下することが表現される。

$$dif = \frac{1}{|mi_1 - mi_2| + |mi_1 - mi_3| + |mi_2 - mi_3|} \quad (4)$$

$mi_i$  : 選択枝  $i$  の重視度 ( $i=1, 2, 3$ )

次に【step2】交通機関の選択については、【step1】選択枝の絞り込みにおいて各交通機関のキャプティブではなくセレクトティブであると判定される旅客にのみ適用する。セレクトティブは複数の選択枝を認知し、各交通機関のサービスレベル等を比較して合理的に利用する交通機関を選択していると考えられるため、非集計ロジットモデルを適用する (式(5),(6))。

$$P(i|G_0) = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_1) + \exp(V_2) + \exp(V_3)} \quad (5)$$

$$V_i = \sum_k \beta_k Y_{ik} \quad (6)$$

$Y_{ik}$  : 選択枝  $i$  に関する  $k$  番目の説明変数

$\beta_{ik}$  : 選択枝  $i$  に関する  $k$  番目の説明変数に関する未知パラメータ

以上により、旅客がキャプティブやセレクトティブになる条件を考慮できる選択行動モデルとなる。本モデルは、文献5) で開発されたPLCモデル (Parameterized Logit Captivity モデル) の拡張モデルであることからPLCSモデル (Parameterized Logit Captivity and Selectivity モデル) と呼ぶ。モデルの適合度やパラメータの統計的有意性等をもとに試行錯誤でモデルのパラメータ推定を行なった結果、最終的に確定したパラメータ推定結果を表3に示

表3 PLCSモデルのパラメータ推定結果

step	説明変数		パラメータ (t値)
選択枝の絞り込み $Q(C G_j)$	Acap	自動車最小差 GC (万円)	-2.1978 (-7.226) **
	Bcap	高速バス最小差 GC (万円)	-0.4529 (-2.205) *
	Rcap	幹線鉄道重視度 $mi_1$	2.8640 (15.94) **
	Acap	自動車重視度 $mi_2$	3.0242 (16.23) **
	Bcap	高速バス重視度 $mi_3$	2.1545 (13.12) **
	sel	重視度相違指標 $dif$	2.7151 (7.009) **
交通機関の選択 $P(i G_0)$	C	所要時間 (時間)	-1.1041 (-6.489) **
	C	大人ひとり費用 (万円)	-2.1691 (-3.617) **
	R	幹線鉄道定数項	-0.6604 (-1.419)
	A	自動車定数項	-2.4536 (-5.209) **
自由度調整済尤度比			0.568
選択結果の中率			82.1%
選択枝カテゴリの中率			59.2%
時間評価値 (円/時間)			5,090
サンプル数			1,611

注) C: 共通変数 R: 幹線鉄道 A: 自動車 \*: 5%水準で有意 \*\*: 1%水準で有意 GC: 別のモデルで算出した時間評価値2,540円/時間で所要時間を金額換算して費用と合算した値 自動車/高速バス最少差 GC: 当該交通機関のGCからGCが最も近い交通機関のGCを引いた値

す。自由度調整済尤度比からみたモデル全体の適合度は高い。

## 6. PLCSモデルによる交通機関分担率推定手法

### 6.1 モンテカルロシミュレーションによる交通機関分担率推定手法

PLCSモデルにおいては、選択肢の絞り込みプロセスを表現する変数として各交通機関に対する重視度が重要な変数となるが、これらは機関選択意識要因と嗜好性を合成した指標であり、需要動向等を推定する場合、何らかの方法により機関選択意識要因と嗜好性に関する状況を想定する必要がある。しかし、同じ個人属性を持つ旅行者であっても嗜好性や機関選択意識要因に対するばらつきが個人間で非常に大きいため、旅行目的や同行者数、同行者の種別、性別、年齢層などの属性と機関選択意識要因・嗜好性との間には、ごく一部の例外を除き明確な相関関係を見出すことは困難である。そこで、嗜好性や機関選択意識要因は一定の統計的分布に従って発生していると見做し<sup>6)</sup>、モンテカルロ法に準拠した選択行動シミュレーションを行なう(図8)。

具体的には、アンケート調査で観測された機関選択意識要因・嗜好性といった潜在的な意識は正規分布に従って発生していると仮定した上で、機関選択意識要因データ(7段階評価値)・嗜好性データ(5段階評価値)の9要因について、それらの関係性とその強弱を示す指標である相関を行列表現した相関行列(9行×9列)を作成し、この相関行列に従うN通りの9要因の正規乱数(多次元正規乱数)により、N人分の潜在的な意識の状況を人工的に再現する。この再現データと分析対象ODにお

ける交通機関のサービスレベルデータをPLCSモデルに代入することで、N人分の機関選択確率が算定され、それらの平均値を当該ODにおける交通機関分担率の推定値とする。

ここで、機関選択意識因子モデル(図7)における9変数のデータに関して全国調査で得られた潜在的な意識データの汎用性を検証する。具体的には全国調査データについて、①全国調査データを片道トリップ距離、居住地方(Z地方を含む全国7地方、3大都市圏)、新幹線の利用可能性の有無といった基準により数種類のグループに分ける。②各グループの潜在的な意識データの相関行列とPLCSモデルの構築に適用した全国調査データの1,611サンプルの相関行列を統計的に比較する。以上の結果、各グループと全国調査データの相関行列に差違があるとは言えないと判定された。また、Z地方調査データにより同様の検定を行なったところ、地域的な差異があるとは言えないと判定された。以上より、全国調査で得られた潜在的な意識データは汎用性を有しており、各地域に適用できると考えられる。

### 6.2 交通機関分担率の推定精度の検証

幹線鉄道のサービスレベルが向上した代表的な事例として、近年開業した新幹線路線3線に関連したODのうち、幹線鉄道、高速バス、自動車の競合が生じる複数の代表的なODを対象とし、開発した手法と一般的なモデル<sup>7)</sup>により交通機関分担率の推定を行ない、全国幹線旅客純

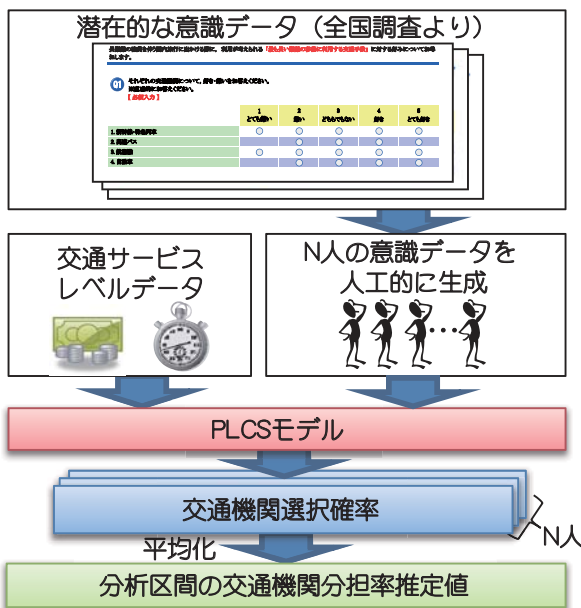


図8 開発した交通機関分担率推定手法

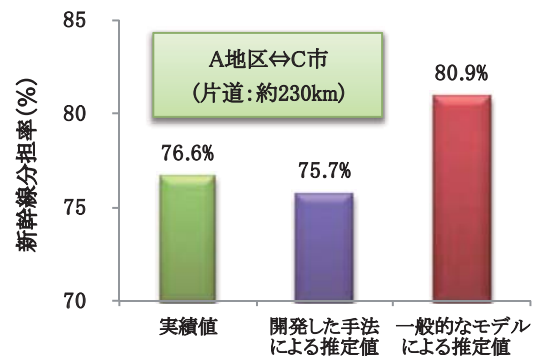


図9 推定精度の検証結果① (A新幹線)

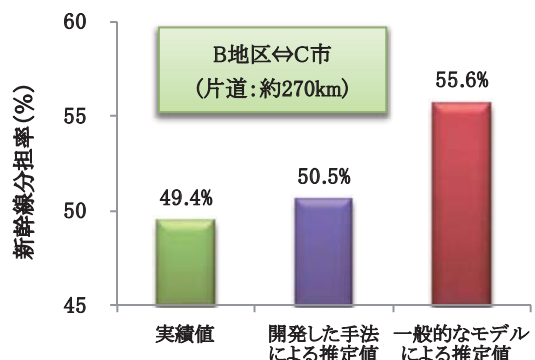


図10 推定精度の検証結果② (A新幹線)

特集：輸送情報技術

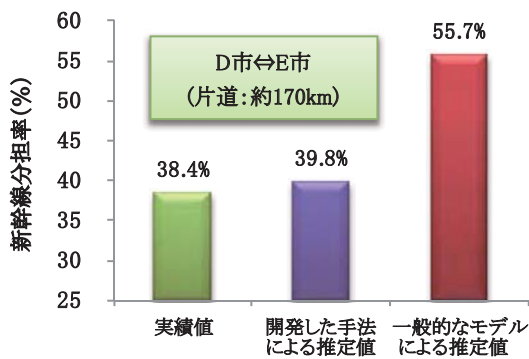


図 11 推定精度の検証結果③ (B 新幹線)

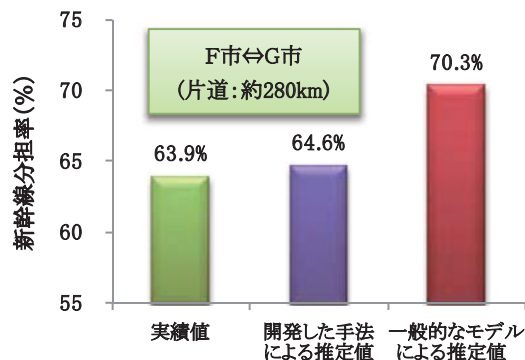


図 12 推定精度の検証結果④ (C 新幹線)

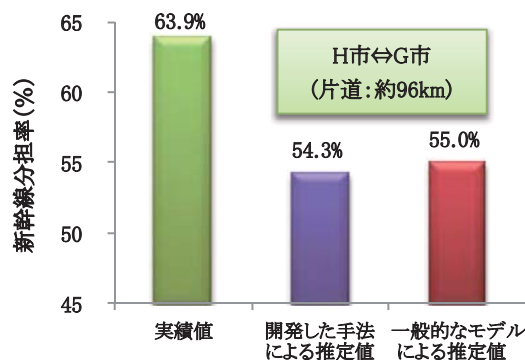


図 13 推定精度の検証結果⑤ (C 新幹線)

流動調査<sup>8)</sup> データで観測されている実績値と比較する。

図9～図12より片道100～300km程度のODについては、開発手法の方が一般的なモデルよりも幹線鉄道の所要時間の短縮等による交通機関分担率の変化を精度良く推定できることが分かる。一方で、片道100km未満のOD(図13)においては、開発した手法、一般的なモデルともに推定精度が良好であるとは言い難い。このような短距離ODにおいては、本研究のモデルにおいて想定した3交通機関の競合関係とは異なる状況になっている可能性があり、むしろ、日常生活圏内における新幹線需要予測モデル<sup>9)</sup>が適しているものと考えられる。

7. まとめ

本研究では、幹線鉄道(新幹線・特急列車)の需要動向分析や需要推計の精度向上を目指して、幹線鉄道、自動車、高速バスの競合が激しいODを対象として、新たな交通機関分担率推定手法を開発した。具体的には、まず、幹線交通機関の利用実態調査を行ない、①交通機関の選択行動は「選択肢の絞り込み」プロセスを経て、複数の交通機関が選択肢となった場合に「交通機関の選択」が行なわれているという、二段階の意思決定プロセスと見做す必要があること、②旅客の「選択肢の絞り込み」に対しては、交通機関への嗜好性(好き・嫌い)等の旅客の潜在的な意識が大きな影響を与えているという選択行動特性を示した。次いで、旅客の潜在的な意識等により予め選択肢が絞り込まれるプロセスを考慮した交通機関選択行動モデル(PLCSモデル)と、このモデルによる交通機関分担率推定手法を開発した。3交通機関の競合が生じる複数のODを対象に、開発した手法により交通機関分担率の推定を行なった結果、100～300km程度のODにおいて幹線鉄道の所要時間の短縮等による交通機関分担率の変化を、一般的なモデルに比べて高い精度で推定できることを確認した。

今後の課題としては、2010年に実施された最新の第5回全国幹線旅客純流動調査データ等により推定精度の検証事例を蓄積することや、選択肢に航空機を含めた推定手法へ拡張すること等が挙げられる。

文献

- 1) 武藤雅威, 内山久雄: 新幹線と航空の競合時代を反映した国内旅客幹線交通の現状と展望, 運輸政策研究, Vol.4, No.1, pp.2-7, 2001
- 2) 東京大学空間情報科学研究センター: <http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/>
- 3) 国土交通省政策統括官室: 総合交通分析システム(NITAS)
- 4) Manski, C.: The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision, Vol.8, pp.229-257, 1977.
- 5) Swait, J., Bev-Akiva, M.: Incorporating Random Constraints in Discrete Models of Choice Set Generation, Transportation Research-B, Vol.21 B, No.2, pp.91-102, 1987.
- 6) 池田 裕: 継次範疇法とその応用, 人間工学, Vol.22, No.4, pp.185-190, 1986
- 7) 財団法人運輸政策研究機構: 長期輸送需要予測に関する調査報告書, p.42, 2001
- 8) 国土交通省: 全国幹線旅客純流動調査
- 9) 柴田宗典, 武藤雅威: 日常生活圏内における新幹線需要予測モデルの開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.8, pp.5-10, 2009