首都圏通勤鉄道利用者の 経路選択肢集合選別過程に関する研究

山田 真也¹・鎌田 将史²・寺部 慎太郎³・葛西 誠⁴

¹正会員 社会システム株式会社 国際事業グループ
(〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿1-20-22 三富ビル6F)
E-mail: s_yamada@crp.co.jp

²非会員 元東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

³正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail: terabe@rs.noda.tus.ac.jp

⁴正会員 東京理科大学PD研究員 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail: kasai@rs.noda.tus.ac.jp

これまで、鉄道利用者の経路選択行動分析は、選別過程と選択過程の意思決定プロセスを前提にして行われてきた。選択過程については、経路の類似性を表現するために、複数の非IIA型経路選択モデルが開発されている。一方、選別過程については、実際に鉄道利用者の経路選択肢集合を取得し、選別基準について検討した研究はあるものの、鉄道利用者におけるルートキャプティブの存在が検証されていないことや明確な選択肢集合設定方法が確立されていないこと等の課題が存在する。本研究は、独自調査により通勤鉄道利用者の実際の経路選択肢集合を取得し、まず鉄道利用者におけるルートキャプティブの存在を検証した。続いて、実選択経路との差を基に選択肢集合に含まれる経路数を少しずつ変えながらモデルを推定することで選択肢集合の選別基準を見出した。

Key Words : *commuter rail, logit model, preparation of choice set, captive, dominant alternative*

1. はじめに

東京圏の都市鉄道ネットワーク計画は、多くの都市鉄道利用者の鉄道経路選択行動分析に関する研究蓄積により、精緻化が進められた。その結果、科学的な評価を可能とする計画技術が大きく進歩したと言える。しかしながら、全ての技術的・研究的課題が解決されたわけではない。これら課題の中で、選択肢集合の設定方法の重要性が指摘されている¹⁾。その理由は、選択肢集合の設定によってパラメータ推定や需要予測結果が異なるためである^{2), 3)}。また、需要予測の透明性向上のためにも、客観的な設定方法が必要とされていることも挙げられる。

このような社会的要請のもとで、経路選択肢集合に関する研究を行った事例に、水谷ら⁴⁾がある。これは、鉄道利用者の実際の選択肢集合を取得し、選択肢集合に含まれる経路と含まれない経路の違いを分析し、選別基準を見出すことを試みている。また、山下・奥ノ坊⁵⁾は、大都市交通センサスで取得されている経路データを活用し、選択肢集合の設定について、複数の設定方法を検討

し、その設定によって作成される選択肢集合の差異等について分析し、設定に必要な知見を見出している。しかしながら、選択肢集合の明確な設定方法の確立には至っていない。そのため、今後も、実証的な研究を行っていくことが非常に重要であると考ええる。

このような問題意識のもと、本研究では、都市鉄道利用者の実際の経路選択肢集合を取得し、選択肢集合の設定に必要な知見を明らかにする。

以下では、第2章にて本研究の目的と位置づけを述べ、第3章にて分析に用いたデータを得た独自調査の概要を述べる。続いて第4章と第5章で、第一の研究目的であるルートキャプティブの存在や特性について分析する。第6章では、第二の研究目的である選択肢集合の選別基準について検討する。第7章では本研究の成果をまとめる。

2. 本研究の目的と位置づけ

本章では、2つある研究目的とともに、本研究での取

組が経路選択行動分析にどのように寄与するか記述し、本研究の位置づけを述べる。

本研究では、鉄道利用者の経路選択行動における意思決定プロセスについて、経路を認知した後に「選別→選択」の2段階があると仮定し、以降を説明する。

まず第一に、鉄道経路選択肢集合時におけるサンプルの分離問題に着目する。鉄道経路選択に限らず一般的な選択行動分析における選択肢集合の設定において、セレクトティブ（複数の選択肢の中から合理的にある1つの経路を選択する）とキャプティブの分離が必要となる。

キャプティブについて、交通機関選択を例として説明すると、（1）「自分で運転」と「公共交通利用」の選択において、免許証を持っていない人は物理的に前者を選択できない等のケース、もしくは、（2）ある属性（または選択肢）に対して強いこだわりを持ち、他の属性がいくら変化しても選択を変えないようなケースの2種類がある。そして、両者ともに選択肢集合は形成されない。それゆえ、キャプティブについて分析者が選択肢集合を設定した場合には、キャプティブが本来考慮していない選択肢を評価することになり、モデル推定結果や予測需要量にバイアスが生じることになる。

通勤鉄道経路選択行動におけるルートキャプティブ（経路固定層）について上述の（1）（2）のケースを当てはめると、（1）については、鉄道ネットワーク密度が低い地域において、ある路線・経路しか利用できない状況、もしくは、2つの選択可能な経路があった場合に、一方の経路のサービス水準（以下、LOS：Level of Service とする）が圧倒的に劣っているため、どう考えても他方の経路しか利用しえないと判断される場合が考えられる。また、（2）については習慣や愛着等の分析者が計測することができない要因によって特定の経路を固執して利用する状況が考えられる。

ここで、実務の分析におけるルートキャプティブの抽出可能性を考えると、大都市交通センサス等の既往調査では、（1）に該当するルートキャプティブについて、鉄道ネットワーク密度や鉄道経路のLOSの低さ等からみて、ルートキャプティブと判断できる可能性がある。

しかし、「LOSが圧倒的に劣る」という理由から選択肢に含まれないと判断するためのLOS基準（選別基準）については、十分検討する必要がある。また、

（2）に該当するルートキャプティブについては判断しえない。

そこで、筆者らは通勤鉄道利用者の中から、ルートキャプティブを抽出するため、独自調査を行っている。調査内容の概略は、鉄道利用者が候補と考えている通勤経路を全て記述してもらった上で、回答された経路ごとに利用実績を質問している。利用実績を把握することによって、回答された経路の意思的な利用可能性を分析者が

判断することを可能にするためである（利用実績がない経路は利用可能性がなしと判断している）。そして、調査の結果、「複数選択可能な経路が存在していても、ある一つの経路しか利用したことがない人」が一定人数存在することを明らかにしている。これらの鉄道利用者はルートキャプティブである可能性があり、解明が必要である。

これまでに、通勤鉄道経路選択におけるルートキャプティブに着目した研究に瀬戸ら⁵⁾がある。これは、鉄道利用者の中からルートキャプティブを定義した上で、キャプティブの意思決定方略について論じているが、確証には至っていない。

そこで本研究では、通勤鉄道経路選択におけるルートキャプティブの存在や特性についての定量的な分析から、選択肢集合設定時におけるサンプルの分離問題について知見を得ることを目的とする（目的その1）。

第二に、鉄道利用者の実際の経路選択肢集合を用いて、選択肢集合の選別基準を設定することを目的とする（目的その2）。大都市交通センサスでは、定期券を購入した経路しか知ることができず、代替経路は知り得ない。そのため、代替経路として選別される経路の特性を明らかにすることは難しい。実際の選択肢集合を用いて、選択肢集合の選別基準を設定することができれば、従来よりも客観的な選択肢集合の設定に近づくことができる。

以上のように、実証的に研究を行うという点で、鉄道経路選択行動分析における選択肢集合形成過程の客観化に寄与する研究と位置づける。なお、本研究で想定する「選別→選択」の2段階選択過程は、Manski⁶⁾によって提案され、その後Swait and Ben-Akiva⁷⁾、我が国では森川ら⁸⁾によって新しいモデリングと計算方法の提案がなされている。本研究では、一般的な多項ロジットモデルを使い、その移転可能性を検討することでルートキャプティブとセレクトティブの比較分析をすること（第5章）と、選択肢集合に含まれる経路数を少しずつ変えながらモデルを推定することで選択肢集合の選別基準を見出すこと（第6章）とする。

3. 2010年度着地調査の概要と結果

(1) 調査概要

a) 調査方法

筆者らは、通勤鉄道利用者の中から経路選択肢集合を取得するために、「通勤時における鉄道利用実態調査」を2000年から5年おきに行っている^{4), 5), 9)-17)}。本調査は、都心に向かうサンプルを効率良く得るために、山手線周辺およびその内側にある企業に調査票を配布し、回収している。図-1のように、勤務先（着地）に調査票を配布する調査

であることから「着地調査」と呼んでいる。

b) 調査内容

2010年度着地調査の内容を表-1に示す。本調査は、通勤鉄道者の自宅から勤務先までの経路を取得することを目的としている。調査は、実際にいつも通勤に利用している経路（実選択経路）を1つと、定期券購入時に候補として考えた経路及びたまに使う経路（代替経路）を最大5つまで回答してもらう。そして、実選択経路以外の経路の利用可能性を把握するために、その利用頻度を7段階（1：週3回以上，2：週1～2回，3：月に1～3回，4：2～3ヶ月に1回，5：年に数回，6：使ったことはあるが年に1回使うかわからない，7：知っているだけで全く使ったことがない）で回答してもらう。

c) 経路選択肢集合の定義

調査結果より、本研究における鉄道利用者の経路選択肢集合を定義する。定期券購入時に候補として考えた経路及び普段たまに使う経路のうち、利用頻度が「1：週3回以上，2：週1～2回，3：月に1～3回，4：2～3ヶ月に1回，5：年に数回，6：使ったことはあるが年に1回使うかわからない」のいずれかで回答された経路は、利用者がそれまで一度でも使ったことがある経路であり、選択肢集合に含まれる「代替経路」とする。また、利用頻度が「7：知っているだけで全く使ったことがない」と回答された経路は、利用者が一度も使ったことがない経路であり、日常の通勤経路の選択肢とみなしていないと考え、選択肢集合に含まれない「非代替経路」とする。従って、定期券を購入した経路である実選択経路と代替経路の集合を、本研究では経路選択肢集合と定義する。

d) ルートキャプティブ（route captive）の仮定

2010年度着地調査において、記載された項目に不備のない回答者535サンプルを有効回答者とする。そのうち、実選択経路以外に、代替経路（利用実績がある経路）を回答せず、非代替経路（利用実績がない経路）のみ回答した105サンプルを、ルートキャプティブと仮定する。それ以外の430サンプルはセレクトティブとする。

(2) 調査結果

a) 経路の選択肢数

取得されたサンプルの選択肢集合の経路数は、平均で2.3経路である。すなわち、通勤鉄道利用者は、定期券の購入時に、平均で2経路を検討している傾向にある。

b) 代替経路の利用可能性

図-2に、実選択経路以外に回答された経路の利用頻度別の割合を示す。この割合を見ると、非代替経路が約3割存在しており、選択可能な経路として認知されていても、選択肢として選別されない経路が少なくないことがわかる。また、代替経路の利用頻度が「年に数回」，「使ったことはあるが年に1回使うかわからない」と回

図-1 発地分布（左）と着地分布（右）

表-1 調査概要

調査期間	2010年12月～2011年2月
対象地域	JR山手線周辺およびその内側の企業 (神奈川県の一部地域にも配布)
対象者	通勤時に鉄道を利用している男女
調査項目	1) アクセス・イグレス環境
	2) 実選択経路 ・通勤経路，着席状況，選択理由等
	3) 代替経路 ・利用可能な経路，利用状況 ・実選択経路になりえない理由等 ・利用頻度
	4) 個人属性
取得票数	1217

図-2 実選択経路以外の利用可能性

答されている経路の割合が大きい。従って、通勤鉄道利用者は定期券を購入する際、利用実績が少ない経路においても検討候補としていることがわかる。あるいは、調査に回答する上で、利用実績が少ない経路を列挙したとも考えられる。

4. ルートキャプティブの実選択経路と非代替経路の比較

(1) LOSデータの整備

着地調査より、調査票に記入された各経路の特性を表現するために、経路のサービス水準（以下、LOS：Level

of Serviceとする)を整備する。LOSは、駅すばあとおよび駅構造調査から得られるものである。駅構造調査は、東京駅から半径40km圏内の主要乗換駅284駅を対象に構造調査を実施し、乗換ホーム間の距離、階段やエスカレーターの段数等を調査した。調査結果より各駅での駅構内ネットワーク図を作成し、降車ホームから乗換ホームまでの考えられる経路のうち最短経路探索法によって導かれた経路を乗換時間に関する指標として用いている。本研究で取得したLOSは、1) アクセス時間 (分)、2) アクセス手段選択外時間、3) 乗車時間 (分)、4) 乗換回数 (回)、5) 乗換時水平方向移動時間 (分)、6) 乗換時上り方向移動時間 (分)、7) 乗換時下り方向移動時間 (分)、8) 乗換待ち時間 (分)、9) 階段利用率 (%)、10) 混雑指標 (分・%²)、11) イグレス時間 (分)、12) 鉄道運賃 (円) の計12個である。

(2) LOS差の算出

実選択経路と非代替経路のLOS差を、式(1)のようにして算出する。ここで、所要時間の違いによるLOS差の重みの違いを表現するために、LOSごとに標準化した後、LOS差を算出している。LOS差は、実選択経路と非代替経路の乖離度を表す。

$$\text{LOS差} = \text{非代替経路のLOS} - \text{実選択経路のLOS} \quad (1)$$

ここで、本調査の有効回答者は実選択経路以外に複数の経路を回答しているため、LOS差の数は、セレクトティブが803サンプル、ルートキャプティブと仮定したサンプルが160サンプルである。

(3) ファクタープロファイル図による分析

(2)で求めたLOS差を折れ線グラフにしたものを選択肢として選別する要因(ファクター)を示す図であることからファクタープロファイル図(以下、FP図)と呼ぶことにする。ルートキャプティブと仮定した105サンプル1つ1つに対して、FP図を作成し、実選択経路と非代替経路の違いについて分析する。

サンプルAは、実選択経路が高田馬場→中野、非代替経路が高田馬場→新宿→中野である。実選択経路に対して非代替経路のLOSは、いずれについても劣っているまたは同等であることが見て取れる。非代替経路のLOSが実選択経路と比して圧倒的に劣っており、LOSからみて、利用者にとって通勤経路の候補(選択肢)となる余地が全くない経路であると判断できる。サンプルAの意思決定プロセスについて考えると、非代替経路は選別の段階で選択肢から除外されたことが予想される。このように、実選択経路以外に候補となる経路が実選択経路と比して圧倒的に劣る経路しかない場合には、鉄道利用者は選択肢集合を形成しない。そのため、選択過程をモデル化する離散選択モデルに適用できない。従って、LOSからみ

図-3 FP図 (サンプルA)

図-4 FP図 (サンプルB)

て実選択経路しか選びようがなく、選択行動を行っていないと判断できるサンプルについてはルートキャプティブとして分離する必要がある。本分析においては、ルートキャプティブとなる条件を、実選択経路のLOSが実選択経路以外の経路のLOSを支配する(実選択経路が dominantである)とするが、鉄道利用者が選別の段階で候補とみなさなくなるLOSの閾値を定量的に分析する必要があると考える。本分析時には先述の条件から判断できるルートキャプティブが9サンプル存在した。

次に、サンプルBは、実選択経路が池袋→市ヶ谷、非

代替経路aが大塚→池袋→市ヶ谷、非代替経路bが西巣鴨→神保町→市ヶ谷である。非代替経路a、bともに、実選択経路より乗換えに関するLOSが劣っているものの、アクセス時間が優れており、実選択経路と競合する経路であることがわかる。そのため、LOSからみて、非代替経路a、bの両者ともに利用可能性があると判断できる。しかし、回答者はこれらの経路について利用実績は全くなないと回答しているため、何らかの理由で実選択経路に固執するルートキャプティブである可能性がある。一方で、利用実績はないものの、選択肢としてみなしているセレクトティブである可能性もある。このような判断がされるサンプルが96サンプル存在した。

これらの可能性について解明するには、上記の利用者について、実選択経路がどのように選ばれているのか、その意思決定プロセスを定量的に分析する必要がある。

5. ルートキャプティブとセレクトティブの比較分析

(1) モデル移転可能性の有無による検証⁸⁾

a) モデルの移転可能性

前節のサンプルBにみられた特徴をもつ鉄道利用者がルートキャプティブであるかどうかについて、モデルの移転可能性の概念を用いて分析する。モデルの移転可能性は、モデルを作成するために用いたデータを採取した「時間」および「場所」と異なる「時間」、「場所」でのモデルの適用可能性である。もし、行動主体である人間が同じ判断基準を持っていれば、すなわち、同じ効用関数をもっているならば、交通環境その他の条件が異なる時間、異なる場所でも、モデルを移転して適用できることは明らかである。

本章では、モデルの移転可能性を用いてセレクトティブにおける効用最大化に基づく選択行動基準が、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者に適用できるか分析する。この分析により、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者の実選択経路の選ばれ方について考察する。

b) モデルの移転方法

モデルの移転方法は、既往研究を参考に、本研究では、以下に示す2つの方法を考慮して検討する。

第1の方法は、モデルに何の修正も加えずにそのまま移転される地域で用いる方法である。

第2の方法は、行動を説明する要因に地域差はないが、各要因のパラメータは異なると考え、それらを再推定する方法である。元のモデルのパラメータを用いない点が第1の方法と異なり、モデル変数組の移転といえる。

c) 移転可能性の評価指標

b)で示した移転方法1、2における移転可能性の有無を判断する評価指標を以下に示す。

すなわち、式(2)に示すように、尤度の差異を表した指標で移転可能性を評価する。移転先に対する適合度指標である。

$$-2[L_B(\theta_A) - L_B(\theta_B)] \quad (2)$$

ここで、 A は移転元、 B は移転先、 $L(\theta)$ は、 j のデータで推定したパラメータと i データから算出される対数尤度値である。この値は、パラメータ数に等しい自由度を持つ χ^2 分布をするため、帰無仮説を「移転可能である」、対立仮説を「移転可能でない」とした、 χ^2 検定が可能である。

(2) 鉄道経路選択モデルの構築

2010年度着地調査結果を用いて、鉄道経路選択モデルを構築する。パラメータ推定は、多項ロジットモデルを適用し、最尤推定法にて行う。説明変数は、4.(1)で示した12変数である。表-2に、セレクトティブサンプルのみ（非代替経路は除く）でパラメータ推定した結果（Model_sel）、および、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者のうち、実選択経路が実選択経路以外の経路を支配していないサンプルのみでパラメータ推定した結果（Model_cap）を表-2に示す。Model_selは、t値、尤度比、的中率ともに良好な値を示しており、符号条件を満たしている。Model_capにおいても、各変数のt値は小さな値を示しているが、尤度比は0.230あり、符号条件も満たしている。Model_selとModel_capを比較すると、パラメータ値の大きさやt値に違いはみられるものの、パラメータの符号は一致している。Model_capのパラメータがいずれも負であることから、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者の実選択経路は非代替経路よりも効用の高い経路となっている経路が多いことがわかる。

(3) モデルの移転可能性判定結果

5.(2)で構築したModel_selをルートキャプティブと仮定した鉄道利用者に移転可能であるか、分析する。表-3に、移転可能性を判定するための評価指標値を示す。その値は11.518であり、 χ^2 検定を行った結果、5%有意で、対立仮説「モデルの移転可能性はない」が棄却され、Model_selがルートキャプティブと仮定した鉄道利用者に移転可能であることが明らかとなった。移転可能である理由は、セレクトティブサンプルが回答した実選択経路と代替経路のLOS差と、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者が回答した実選択経路と非代替経路のLOS差が同じような大きさとなっている経路が多いためと考えられる。これより、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者が回答した非代替経路のLOSについて、全体的な傾向が、実際に利用されている通勤経路のLOSと競合関係

表-2 パラメータ推定結果

説明変数	Model_ sel	Model_ Cap
アクセス時間 (分)	-0.207 (-5.54)	-0.181 (-2.55)
アクセス手段選択外時間 (分)	-0.918 (-4.46)	-0.500 (-1.75)
乗車時間 (分)	-0.105 (-6.50)	-0.035 (-0.89)
鉄道運賃 (円)	-0.004 (-3.42)	-0.002 (-0.45)
乗換回数 (回)	-0.504 (-2.70)	-0.797 (-1.59)
乗換時待ち時間 (分)	-0.117 (-2.89)	-0.150 (-1.38)
乗換時水平方向移動時間 (分)	-0.118 (-2.74)	-0.096 (-0.83)
乗換時上り方向移動時間 (分)	-0.177 (-1.15)	-0.494 (-1.08)
乗換時下り方向移動時間 (分)	-0.439 (-2.33)	-0.236 (-0.55)
階段利用率 (%)	-0.278 (-1.13)	-0.263 (-0.48)
混雑率指標 (分×%)	-0.002 (-0.75)	-0.016 (-1.63)
イグレス時間 (分)	-0.190 (-6.39)	-0.246 (-2.80)
自由度調整済み尤度比	0.211	0.230
的中率	65.1%	78.1%
サンプル数	430	96

となっていると判断できる。ゆえに、これらの経路は選別の段階で選択肢としてみなされ、その上で、効用最大化に基づく補償的な選択がなされていると考えられる。従って、ルートキャプティブと仮定した鉄道利用者は、セレクトティブである可能性が高いと言える。

以上より、通勤鉄道利用者の選択肢集合設定時において、意思的な要因にもとづき、ある選択肢に強いこだわりを持つルートキャプティブは存在しない可能性が高く、選択肢集合設定時に考慮する必要はないと結論づける。

また、この結果より、実際に利用されている通勤経路のLOSが競合する経路については、利用実績がなくとも、選択肢集合に含まれていることがわかった。昨今の鉄道経路検索サイトの充実により、利用せずとも経路のLOS情報を取得できていることが理由であると考えられる。

以上より、経路選択肢集合の選別基準設定にあたっては、利用実績がない経路も選択肢集合に含まれることを留意した上で、LOSからみて、利用可能性が全くない経路を客観的に除外できるような基準を作成することが必要と考える。

表-3 モデルの移転可能性評価指標

評価指標値	
$L_{cap}(\theta_{sel})$	-58.498
$L_{cap}(\theta_{cap})$	-52.739
$-2[L_{cap}(\theta_{sel}) - L_{cap}(\theta_{cap})]$	11.518
自由度	12
限界値 (5%)	21.03
限界値 (1%)	26.22

6. 経路選択肢集合の選別基準の検討

本章では、第二の研究目的である選択肢集合の選別基準について検討する。具体的には、実選択経路との差を基に選択肢集合に含まれる経路数を少しずつ変えながらモデルを推定することで適合度の変化を求め、適合度が高いときの選択肢集合を選別した基準が望ましいとするものである。

(1) 選別基準・選択肢集合の設定

a) LOS差、LOS比の算出

鉄道利用者の経路選択肢集合の選別基準を検討するため、代替・非代替経路と実選択経路のLOS差とLOS比を式(3)、(4)に示すようにして算出する。LOS差を算出するLOSは、総所要時間、アクセス所要時間（アクセス時間＋アクセス手段選択外時間）、乗車時間、鉄道運賃、乗換所要時間（乗換時移動時間＋待ち時間）、混雑率指標、イグレス時間の7項目とし、LOS比を算出するLOSは、総所要時間、アクセス所要時間、乗車時間、鉄道運賃、イグレス時間の3項目とする。

$$\text{LOS差} = \text{実選択経路以外の経路のLOS} - \text{実選択経路のLOS} \quad (3)$$

$$\text{LOS比} = \frac{\text{実選択経路以外の経路のLOS}}{\text{実選択経路のLOS}} \quad (4)$$

なお、この式(3)で示されるLOS差は、第4章(2)の式(1)で示したLOS差とは違うことに注意されたい。この理由は、第4章での分析は実選択経路と「非代替経路」の比較が目的であったのに対して、本章での分析は実選択経路と「代替経路＋非代替経路」の間の比較が目的であるからである。すなわち、この式(3)では「代替経路＋非代替経路」のことを「実選択経路以外の経路」と表現している。また、鉄道利用者が実選択経路以外に複数の経路を回答している場合には、回答された経路ごとに実選択経路との差を算出している。ここでのLOS差、LOS比の数は、963サンプルである。

b) 選別基準・選択肢集合の設定とモデルの推定

選択肢集合に入りうる経路の基準を設けるため、代替経路に着目し、以下の手順にて選択肢集合を形成する。ただし、本研究では簡略化のため、LOS差（7項目）のみを用いる。

手順1) 各利用者が持つ複数の代替経路は、それぞれ実選択経路と様々なLOS差を持っている。（式(3)参照）そのLOS差の小さいものから順に並べた度数分布から、累積度数分布を求める。この曲線は、ある累積比率（代替経路として挙げられている経路の何%にあたるかを示したもの）を与えたときに、LOS差がいくらであるのかを示すものである。

手順2) 累積比率X%のときのLOS差を、累積度数値X%のときの選別基準値とする。これを7項目それぞれについて行い、7つの基準値を得る。

手順3) ここで個人の意志決定プロセスを「連結型」と仮定し、7項目すべての基準値を満たす経路（所要時間が基準値よりも短い、など）を、代替経路と判定し、選択肢集合に含むとする。7項目のうち1つでも基準を満たさない経路は、非代替経路として選択肢集合に含めないとする。

手順4) 得られた選択肢集合を用いて、パラメータ推定を行い、パラメータ、t値、自由度調整済み尤度比を求める。また、得られた効用関数から、回答された全ての経路の選択確率を求め、選択確率が最大となった経路を選択経路とし、回答された実選択経路とどの程度合致しているのかを割合で示したものを的中率とし、あわせて算出する。

手順5) 以上の手順2)から4)で、累積比率X%について、100%（全経路が代替経路となる値）から1%ずつ比率を下げていき、1%刻みで累積度数値ごとに選択肢集合を形成していく。累積比率の減少に伴い、選別基準が小さくなっていくため、選択肢集合に含まれる経路数も減少していく。パラメータ推定が出来なくなるまでこれを行う。本研究では累積度数値58%のときに推定が出来なくなったので、42通りの選択肢集合を得た。

c) 推定結果の比較

推定したパラメータ、t値、自由度調整済み尤度比、的中率を図-5から図-8に示す。図-5よりパラメータは、「アクセス時間」の累積度数値60%以下の区間および、「アクセス手段選択外時間」の89%~72%、60%の部分でパラメータの絶対値が大きくなっているが、いずれの場合もt値の絶対値が0.5にも満たないため、信頼性は乏しい。他の説明変数間での影響力には大きな差異は見られないが「乗換回数」と「階段利用率」は比較的絶対値が大きくなっている。また、パラメータの符号は、累積度数値83%以上では全てマイナスとなっており、整合性が

図-5 累積度数値ごとのパラメータの変化

図-6 累積度数値ごとのt値の変化

図-7 累積度数値ごとの経路数・尤度比の変化

図-8 累積度数値ごとの的中率の変化

とれている。

尤度比は図-7より、累積度数値100%、次いで97%で最も高くなっている。一方的中率は図-8より、累積度数値92%、94%、95%の順で高くなっている。ここで、的中率は、累積度数値ごとに作成された選択肢集合で推定したパラメータ別に、回答された全経路（累積度数値によって選択肢集合に含めないとした経路も含まれる）

について選択確率を求めた上で、算出している。累積度数値 92%のときの的中率は 80.5%で、累積度数値 100%のときの的中率 66.0%を大きく上回っていることが見て取れる。

以上の結果より、各説明変数において、LOS差（実選択経路以外の経路のLOS－実選択経路のLOS）の基準値を設定し、それを満たす経路を選別し、それを基に選択肢集合を形成することで、モデル精度の向上がなされる可能性が示された。

(2) 選別基準設定による展開

上述の選別基準の設定過程を基に、考えられる展開を述べる。ここでは前節の結果通り、累積度数値92%のときの基準値を最も望ましいものとする。このときの基準値は表-4のようになる。なお、代替経路と判定された経路が、調査結果における代替経路とどの程度合致したのかを割合で示したものを「代替経路合致率」とすると、累積度数値92%のときの合致率は、70.4%である。これは、調査結果における代替経路のうち、70%程度の経路が選択肢集合に含まれたことを意味している。逆に、残り30%程度の経路は、利用実績があってもLOSの基準値からすれば利用可能性がない経路と判断される。このように判断された経路は、「通勤経路の候補ではないが調査だから使ったことがある経路を書いた」というような経路である可能性もあるため、別途精査を行う必要がある。

また同様に、非代替経路として判定された経路が、調査結果における非代替経路とどの程度一致しているのかを割合で示したものを「非代替経路合致率」として求めると、45.3%となる。逆に、残り55%程度は、LOSの基準値からすれば利用可能性がある代替経路として判断される。この結果は、鉄道利用者は利用実績がない経路も選択肢集合に含めているという前節の分析結果を裏付けるものと考えられる。

また、LOSの基準値により選択肢集合から外される経路割合を調査結果における代替経路と非代替経路とで比較すると、その割合は前者が約30%、後者が約45%であり、LOSからみて利用可能性がない経路と判断される経路は、鉄道利用者の実際の利用実績がない経路が多く含まれることがわかった。

この基準値は、実選択経路と代替経路のLOS差から求めたものであり、ここでは、実選択経路とのLOS差が基準値以下となる経路を代替経路とみなしている。すなわち、実選択経路を基準とし、上記基準値を上限とする経路を列挙し、それを代替経路とすることで、選択可能性のある経路のみで形成された選択肢集合とみなすことが可能である。

本研究で扱った選択肢集合の形成手法が確立したとす

表-4 累積度数値92%時の基準値

LOS差	基準値
総所要時間差(分)	16
鉄道所要時間差(分)	15
鉄道運賃差(円/回)	10
乗換所要時間差(分)	19
混雑率指標差(分・%)	44.6
アクセス所要時間差(分)	6
乗換回数差(回)	2

るならば、実選択経路のみが得られる一般の調査結果（大都市交通センサスやパーソントリップ調査、プローブパーソン調査など）から、選択肢集合を精度良く、客観的に設定することが出来るため、需要予測の信頼性の向上も図ることが示唆される。

7. おわりに

本研究では、都市鉄道利用者の経路選択肢集合取得のための独自調査結果をもとに、2つの分析を行っている。

第一に、首都圏に向かう通勤鉄道利用者の意思決定プロセスについて分析している。その結果、鉄道利用者が実際に利用している通勤経路と比してLOSが圧倒的に劣る経路は選別の段階で選択肢から除外されることがわかった。そして、実際に利用している通勤経路以外に候補となるいくつかの経路全てがそのような経路であった場合、鉄道利用者は選択肢集合を形成せず、ルートキャプティブとなることを示した。

一方で、鉄道利用者が実際に利用している通勤経路のLOSと競合する経路が選択可能である状況下においては、意思的な要因により、ある選択肢に強いこだわりをもつルートキャプティブは存在しない可能性が高く、セレクトティブとみなしてよいことがわかった。

第二に、調査で得た鉄道利用者の実際の経路選択肢集合から、経路（選択肢）の選別基準を合理的に設定し、それを基に選択肢集合を形成することで、モデル精度の向上がなされる可能性を示した。

上記2つの成果は、鉄道経路選択行動分析の実務的な課題であった、客観的な選択肢集合の設定方法について重要な知見を得たと言える。

今後は、本研究で設定した選別基準値を適用することで、実際の鉄道ネットワークから、どのような経路が抽出されるかを確認する必要がある。

謝辞：本調査にご協力下さった方々、また有益なご指摘を下された査読者の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日比野直彦, 山下良久, 森田泰智, 仮屋崎圭司: 都市鉄道における政策・研究課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 8pages, 2011.
- 2) 屋井鉄雄, 清水哲夫, 坂井康一, 小林亜紀子: 非 IIA 型経路選択モデルの選択肢集合とパラメータ特性, 土木学会論文集, No.702/IV-55, pp.3-13, 2002.
- 3) 山下良久, 奥ノ坊直樹: 都市鉄道利用者の経路選択肢集合に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, 2014.
- 4) 水谷洋輔, 山下良久, 日比野直彦, 内山久雄: 通勤鉄道利用者の経路選択肢集合に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.3, pp.593-600, 2007.
- 5) 瀬戸翔志郎, 内山久雄, 寺部慎太郎: 首都圏鉄道の経路選択におけるキャプティブ層と選択層の比較, 土木計画学・講演集, Vol.40, 4pages, 2009.
- 6) Manski, C.: The structure of random utility models, *Theory and Decision*, Vol. 8, pp. 229-254, 1977.
- 7) Swait, J. and Ben-Akiva, M.: Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation, *Transportation Research Part B*, Vol. 21B, pp. 91-102, 1987.
- 8) 森川高行, 竹内博史, 加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.117-124, 1991.
- 9) 若林哲男, 日比野直彦, 内山久雄: 鉄道利用者行動分析のための調査方法について, 平成 13 年鉄道技術シンポジウム(J-RAIL)講演論文集, pp.329-332, 2001.
- 10) 日比野直彦, 森田泰智, 内山久雄: 鉄道経路選択行動分析における選択肢集合の設定方法に関する考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.27, 4pages, 2003.
- 11) 尾島洋, 日比野直彦, 内山久雄, 森田泰智: 鉄道経路選択行動分析における選択肢集合の設定方法に関する一考察, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2pages, 2004.
- 12) 水谷洋輔, 山下良久, 内山久雄: 高密度な鉄道ネットワーク下での経路選択行動分析における選択肢集合の設定に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2pages, 2005.
- 13) 矢島洋, 山下良久, 日比野直彦, 水谷洋輔: 選択肢集合の重複経路が鉄道経路選択モデルに及ぼす影響に関する一考察, J-Rail2005 講演論文集, 4pages, 2005.
- 14) 水谷洋輔, 山下良久, 日比野直彦, 矢島洋: 鉄道経路選択行動分析における経路選択肢集合の生成方法に関する研究, 第 12 回鉄道技術連合シンポジウム講演集, pp.395-398, 2005.
- 15) 吉田哲郎, 山下良久, 寺部慎太郎, 内山久雄: 鉄道利用者の鉄道経路認知特性に関する研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp.519-520, 2008.
- 16) 稲原宏, 山下良久, 日比野直彦, 内山久雄: 鉄道需要推計における選択肢集合形成の一考察, 第 15 回鉄道技術・政策連合シンポジウム講演論文集, pp.625-628, 2008.
- 17) 森崎利英, 寺部慎太郎, 葛西誠, 内山久雄: 鉄道経路選択行動及び選択肢集合の経年変化調査の企画設計, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, 5pages, 2011.
- 18) 森地茂, 屋井鉄雄, 田村亨: 非集計交通手段選択モデルの地域間移転可能性, 土木学会論文集, No.359/IV-3, pp.107-115, 1985.

(2015. 2. 27 受付)

ARRANGING ROUTE CHOICE ALTERNATIVES BEFORE MODELLING THE BEHAVIOR OF RAILWAY COMMUTERS

Shinya YAMADA, Masafumi KAMATA, Shintaro TERABE and Makoto KASAI

Most of the studies about railway route choice behavior have been based on the decision-making theory applied to the two processes; arranging alternatives and choosing from the choice set. This paper focuses on the first process, preparation of choice set, which has not been fully understood. We used the dataset from our original survey responded by 1217 railway commuters in Tokyo metropolitan area. First, we examined the existence of route captive passengers who did not choose their commuting rail lines but decided inherently. It is found that those captive passengers have a dominant alternative in terms of the level of service. We conclude that those individuals had to be excluded from the dataset. Most of the other travelers who have compensatory alternatives in their choice set can be regarded as selective decision-makers and included in the analysis. Second, we compared the routes arranged in the choice set with the ones not included in the choice set. Based on calculating the difference and ratio of service level between two routes, we could infer the thresholds which control whether each route alternative is included in the choice set or not. Moreover, passengers consider total travel time, fare, number of transfers, and congestion rate when they arrange alternatives as a choice set. These two results help us to arrange route choice alternatives before modelling the behavior of railway commuters.