

経路重複と混雑を考慮した 首都圏鉄道ネットワークにおける乗客経路配分

今岡 将大¹・福田 大輔²

¹学生会員 東京工業大学 工学部 土木・環境工学科 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-11)

E-mail: m.imaoka@plan.cv.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学准教授 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-11)

E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

鉄道プロジェクトの社会経済的影響を定量的に分析・評価するためには、圏域全体における鉄道利用者の交通行動を記述可能な交通需要予測モデルの構築が必須である。特に、鉄道経路選択モデルとそれを用いた乗客流の経路配分は予測システムの核であり、2016年に策定された交通政策審議会答申第198号においてもさらなる精緻化がなされたモデルシステムが適用されている。本研究では、首都圏鉄道ネットワークにおける乗客経路配分に関して、今後の新たな展開の可能性を念頭に置いてモデルの精緻化を行う。具体的には、経路重複を考慮可能でありながらより計算効率性の高いC-logit型の経路選択モデルについて、特に混雑不効用に着目し、パラメータの更新を行う。また、その結果を用いて、車内混雑の影響を考慮した乗客流の利用者均衡配分アルゴリズムを構築し、首都圏を対象とした実証的検討を行う。

Key Words: Tokyo railway network, in-vehicle congestion, route-overlapping, C-logit, transit assignment

1. はじめに

(1) 背景

鉄道プロジェクトの社会経済的な影響を定量的に分析・評価するためには、圏域全体における鉄道利用者の交通行動を記述可能な交通需要予測モデルの構築が必須である。特に、鉄道経路選択モデルとそれを用いた乗客流の経路配分は予測システムの核であり、技術展開の歴史を持つ¹⁾が、2016年に策定された交通政策審議会答申第198号においてもさらなる精緻化がなされたモデルシステムが用いられている^{2),3)}。本研究では、首都圏鉄道ネットワークにおける乗客経路配分に関して、今後の新たな展開の可能性を念頭に置いてモデルのさらなる精緻化の可能性について検討する。その際に着目するのは、車内混雑の影響の評価と鉄道経路重複の簡便な考慮及び乗客流均衡配分への導入である。

列車内混雑の問題は、止まらぬ首都圏への人口集中に起因するものであるが、わが国全体の人口減少傾向と相俟って、近年全体的には緩和されつつあるものの、局所的には高い混雑率の路線も見られることから今も尚喫緊の課題となっている。ここ最近では、社会全体として車内混雑の問題はますます重要な関心事となりつつあり、各鉄道会社はオフピーク通勤・通学を促したり、どの時間帯にどの車両が最も混雑するかといった情報をポスター等で利用者に提供を行ったりと、ソフト面での混雑緩和対策も講じている。このような状

況を考慮すると、鉄道経路選択のモデリングにおける車内混雑の考慮⁴⁾は、依然として重要な着眼点であると考えられる。

また、首都圏鉄道ネットワークでは、地方部における鉄道とは異なり、様々な路線が網の目のように入り組んで構築されており、同一の出発駅と到着駅の間にも多様な経路が存在し得る。それらの経路の多くは、相互直通との進展とも相俟って、一部区間が重複している(同一路線を使用している)。ネットワーク上の選択モデルにおける経路重複の課題は交通行動分析において古くから検討されてきた重要な課題の一つであり、首都圏鉄道ネットワークを対象としても様々なモデル構築がなされてきた⁵⁾⁻⁷⁾。

他方、新たなネットワークの整備よりも既存のネットワークを有効活用しつつ鉄道ネットワーク機能を高度化することが近年求められるようになっており、鉄道機能の高質化施策についても適切に評価を行わなければならない場面が増えつつある。その際には、交通需要の量的変化を把握するだけでなく、個人の活動と交通行動の関係性も把握する(例えば、どのような鉄道利用者がどこで何をするのか、その活動を行う場所までどのようにしていくのかなどの個人属性や活動内容を把握する)必要があると考えられる。こうした場合には、個人の交通行動と活動を的確に把握できる交通需要予測手法であるActivity-Based Modeling (ABM)^{8),9)}のアプローチも必要となってくる。

(2) 目的

以上のような問題意識のもと、本研究では、首都圏鉄道ネットワークにおける乗客経路配分に関して、今後の新たな展開の可能性を念頭に置いてモデルの精緻化を行う。具体的には、経路重複を考慮可能でありながらより計算効率性の高い C-logit 型の経路選択モデルについて、特に混雑不効用に着目し、パラメータの更新を行う。さらに、その推定された結果を利用して、車内混雑の影響を考慮した乗客流の利用者均衡配分アルゴリズムを構築し、首都圏を対象として実証的検討を行う。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

まず、鉄道需要予測での経路選択モデルで用いられていた車内混雑に関わる指標については、交通政策審議会答申テクニカルレポート等²⁾においても、後に詳述するように家田ら⁴⁾で推計されたべき乗値が用いられている。しかし、このべき乗値はその後慣例的に長い期間同一の値が用いられており、当時の値が現在においても妥当なものであるのかについては長らく検討されていない。

次に、経路選択肢の重複に関しては、屋井ら^{5),6),10)}により、経路重複を考慮した誤差要素を導入した“構造化プロビットモデル”に基づく方法論の開発と実務への展開がなされてきた。選択確率や便益計算を行う上ではモンテカルロシミュレーションが必要となるが、計算面での障壁は近年徐々に無くなりつつ、しかしながら、今後の ABM 等への展開、すなわち、通勤者一名一名のエージェントベースシミュレーションや、利用者均衡配分問題として大規模な問題を計算しなければならないという実状¹¹⁾を鑑みると、構造化プロビットモデルに内在する積分計算は、実用上の大きな課題となりうると考えられる。

さらに、多項ロジットモデルの操作性を保持したまま経路重複を考慮する方法として、Cascetta et al.¹²⁾による C-logit モデルが挙げられる。これは、経路重複を考慮した *Commonality Factor* (CF) と呼ばれる項を効用の補正項として追加的に導入するものである。C-logit に関しては、補正項の意味解釈が難しいとされ、それをさらに修正したモデル等⁷⁾も考案されているが、後述するとおり、本研究では、乗客流の利用者均衡配分アルゴリズムとしての実装が容易な C-Logit モデルを適用し検討を行うこととする。

他方、現状の交政審需要予測モデルでも採用されている四段階推定法は、北村⁸⁾で詳しく指摘されているように、行動論的基盤が欠落している点、誘発需要を把握できない点、トリップ・チェーンを考慮できない点において問題点がある。それに代わり単位時間内(例

えば一日)の中でのトリップ間の繋がりを把握でき、かつ時間軸を組み込んだ新しい予測手法として現在研究が進められているのが ABM である。従来の ABM に関する研究は、欧米を中心に自動車交通を対象としたものが大多数であったが、亀谷・福田⁹⁾では、首都圏都市鉄道に対して ABM のフレームを初めて適用している。また、そのサブモデルの一つである経路選択モデルにおいても、Cascetta et al.¹²⁾による C-logit モデルが用いられている。ただし、混雑不効用のべき乗項の再検討や、それに連動した CF 項の再検討は十分にはなされていない。

以上を踏まえ、本研究では、従来の鉄道需要予測手法において検討が不十分と言える車内混雑の経路選択への影響について、ABM の適用を見据えた C-logit 型モデルを用いた上で再検討する。さらに、推定された C-logit 型経路選択モデルを用いた利用者均衡配分計算を実施し、混雑の影響を総合的に評価可能な枠組みについて実証的に検討する。

3. 鉄道経路選択モデルの推定

(1) 使用するデータの概要

経路選択モデルにおけるパラメータ推定には、各経路のトリップデータや LOS データが必要となる。本研究では、第 11 回大都市交通センサスデータ(2010年・首都圏)から経路選択実績トリップデータを取得した。将来の ABM への適用も視野に入れつつ、このデータを朝ピーク時間帯(7時から9時)、昼オフピーク時間帯(9時から17時)、夕ピーク時間帯(17時から19時)の3つの時間帯に類別し、さらに朝・夕ピーク時間帯においては、(1)通勤非高齢、(2)通勤高齢、(3)通学の三移動目的にセグメント分けした上で経路選択モデルをそれぞれ推定する。

(2) 経路選択モデルの構築

鉄道経路選択モデルにおける経路効用関数は、亀谷・福田⁹⁾と同一の次式で与える。

$$V_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \beta_3 Z_{3i} + \beta_4 Z_{4i} + \beta_5 Z_{5i} + \beta_6 Z_{6i} + \beta_7 Z_{7i} \quad (1)$$

ここで、 V_i は経路 i の確定効用、 Z_{1i} は経路 i の鉄道乗車時間 [分]、 Z_{2i} は経路 i の幹線費用 [円]、 Z_{3i} は経路 i の乗換水平移動時間 [分]、 Z_{4i} は経路 i の乗換上下移動時間 [分]、 Z_{5i} は経路 i の乗車待ち時間 [分]、 Z_{6i} は経路 i の駅端末利便性、 Z_{7i} は経路 i の混雑指標を表す。 β_j ($j = 1, 2, \dots, 7$) はパラメータである。また、駅端末利便性とは、鉄道の出発駅までのアクセス及び到着駅からのアクセスに利用する交通機関の選択によるログサム変数で与えられる⁹⁾。

さらに、混雑指標は以下の式で定義される²⁾。

$$CI_i = \sum_j T_{ij} \cdot \left(\frac{cong_{ij}}{100} \right)^\alpha \quad (2)$$

ここで、 CI_i は都市内鉄道経路選択モデルの経路 i の混雑指標、 T_{ij} は都市内鉄道経路選択モデルの経路 i の区間 j の乗車時間、 $cong_{ij}$ は経路 i を構成する区間 j における混雑率を表す。

α の値に関しては、家田ら⁴⁾によって得られた $\alpha = 2$ の値が慣例的に用いられてきた。しかし、今日さらには将来の鉄道需要分析を行うにあたり、その値をこれからも用いることは、推定当時との時代背景、社会情勢等の違いを考慮すると信頼性に欠けると考えられる。さらに、ABM を適用するにあたっては、朝ピーク時の中でも通勤高齢、通勤非高齢等といった移動目的を様々に分けて考える必要があるため、それぞれの目的を区別せず統一された定数を用いるという点において、現状を適切に捉えきれていない可能性が考えられる。本研究では、この α の値を最新のデータのもとで数値的に変化させ、最適な設定値がどれぐらいの値になるかについて、改めて検討することとする。

(3) C-Logit モデル

前述したとおり、重複距離を考慮可能な経路選択モデルとして、本研究では C-logit モデルを適用する。そこで導入する *Commonality Factor* は、Cascetta et al.¹²⁾ によると以下の式 (3) として効用関数の確定項に組み込まれ、その上で経路 i の選択確率 P_i が求められる。

$$P_i = \frac{\exp(-\theta(V_i + CF_i))}{\sum_{k \in K} \exp(-\theta(V_k + CF_k))} \quad (3)$$

ここで、 V_i 及び CF_i はそれぞれ経路 i での効用関数の確定項及び *Commonality Factor*、 θ は乗客のネットワーク状況に対する認知度を反映した分散パラメータ ($\theta = 1$ と仮定)、 K は利用可能経路集合を表す。

Commonality factor は以下の式で定義される。

$$CF_k^{rs} = \beta_8 \times \ln \left(\sum_{l \in K} \left(\frac{L_{kl}}{\sqrt{L_k L_l}} \right)^\gamma \right) \quad (4)$$

ここで、 L_{kl} は経路 k と経路 l の重複距離を表し、 L_k 、 L_l はそれぞれ経路 k, l の距離を表す。

この式中のパラメータ γ の設定に関して、亀谷・福田⁹⁾では 0.1 から 2.5 まで 0.1 刻みで値を変えて推定を繰り返し、最も修正済み尤度比の値が大きかった場合の値を使用している。その値は、ピーク時間帯において $\gamma = 1.3$ 、オフピーク時間帯において $\gamma = 2.0$ であった。もし先述の、混雑指標のべき乗指数を再推定し新たな値を設定し直すとすれば、この γ の最適値も変化することが考えられる。そこで本研究では γ の最適値についても再検討を行うこととした。

(4) 再推定の手順

混雑指標と *Commonality Factor* の再推定において、前者については既存値 2 付近 1.5 から 2.5 まで 0.1 間隔の 11 サンプルを用意し、後者についてはピーク時の既存値 1.3 付近 0.8 から 1.8 まで 0.1 間隔の 11 サンプルを用意した。よってこれらを掛け合わせた合計 121 サンプルから最も適切な組み合わせを決定することとなる。さらに前述した通り、朝ピーク時の中でも (1) 通勤非高齢、(2) 通勤高齢、(3) 通学といった 3 つの移動目的パターンに分けて推定を行う。

最適組は、基本的にその結果の尤もらしさを表す修正済み尤度比が最も大きいものを採用することにするが、二次的な評価として、東京圏における今後の都市鉄道のあり方に関する小委員会の鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポートに掲載されている、鉄道経路選択モデルのパラメータ推定結果から鉄道乗車時間価値について比較を行い参考とする。その値を表-1 に示す。なお、この参考値は非集計構造化プロビットモデルを用いた場合の推定結果である。また、パラメータの正負が想定と逆である結果については予め最適組の候補から外した。

表-1 目的別鉄道乗車時間価値の基準値¹³⁾

移動目的	鉄道乗車時間価値 (円/分)
(1) 通勤非高齢	42.6
(2) 通勤高齢	30.0
(3) 通学	19.3

(5) 推定結果

(1) 通勤非高齢、(2) 通勤高齢、(3) 通学の各移動目的パターンにおける最適組の推定結果を示したものが表-2 である。各表にはそれぞれの場合でのパラメータ値と t 値を併記している。2 つの変数によって両項目の値は様々に変化するが、例えば (1) 通勤非高齢では、修正済み尤度比 $\hat{\rho}^2$ が最も高く、かつ鉄道乗車時間価値が既存値よりも表-1 で示した値に近い $(\alpha, \gamma) = (2.2, 1.3)$ の組を最適組とした。また、(2) 通勤高齢、および (3) 通学の両パターンにおいても、既存値 $(\alpha, \gamma) = (2.0, 1.3)$ よりも適切な値の組が存在した。

(6) 考察

表-2 において、修正済み尤度比 $\hat{\rho}^2$ に着目すると、(3) 通学においてはそこまで違いが見られなかったものの、(1) 通勤非高齢、(2) 通勤高齢では十分な差が見られた。表-1 に示した鉄道乗車時間参考値との比較を行うと、どの最適組も既存値の場合より値が近づいていることがわかった。

また、これら最適組における混雑指標の指数とパラ

表-2 移動目的の経路選択モデル推定結果とパラメータの最適組み合わせ

今回の推定結果 (α, γ) の最適組	(1) 通勤非高齢 (2.2, 1.3)		(2) 通勤高齢 (2.4, 1.5)		(3) 通学 (2.1, 1.1)	
説明変数	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
鉄道乗車時間 [分]	-0.167	-10.5	-0.118	-5.53	-0.119	-6.24
幹線費用 [円]	-0.00393	-4.40	-0.00423	-3.19	-0.00581	-4.43
乗換水平移動時間 [分]	-0.219	-5.85	-0.166	-3.75	-0.193	-3.73
乗換上下移動時間 [分]	-0.305	-4.40	-0.463	-5.07	-0.168	-1.83
乗車待ち時間 [分]	-0.187	-5.36	-0.156	-3.80	-0.120	-3.80
駅端末利便性	0.982	22.1	1.19	12.8	1.32	16.2
混雑指標	-0.00278	-1.89	-0.00542	-6.25	-0.00682	-1.78
Commonality Factor	-1.03	-10.2	-0.986	-6.97	-0.640	-3.97
サンプル数	977		463		474	
自由度修正尤度比	0.482		0.425		0.466	
初期尤度	-1559		-732		-749	
最終尤度	-800		-421		-392	
鉄道乗車時間価値 [円/分]	42.4		28.0		20.4	
[参考 1] 交通政策審議会答申 ¹³⁾ 鉄道乗車時間価値 [円/分]	42.6		30.0		19.3	
[参考 2] 亀谷・福田 ⁹⁾ 修正済み尤度比 [ρ^2]	0.468		0.406		0.465	
鉄道乗車時間価値 [円/分]	33.1		17.3		20.8	

メータを考慮した各移動目的パターンでの混雑率と混雑不効用の関係を表したものが図-1である。この図からは、通学目的の学生と高齢通勤者が同じぐらい車内混雑に対して敏感であり、大きく差が開き非高齢通勤者は比較的車内混雑に対して敏感ではないということが分かる。通学目的の学生に関しては我々の感覚とは合わないものの、高齢通勤者が非高齢通勤者よりも車内混雑に対して敏感であるという結果は、年齢相応の車内混雑に対する体力的・精神的耐性の面から見ても妥当であると言える。

以上より、妥当性については一部懸念はあるものの、有意性が高い結果が得られたため、次章で述べる本研究の乗客配分計算には表-2の推定結果を用いることとする。

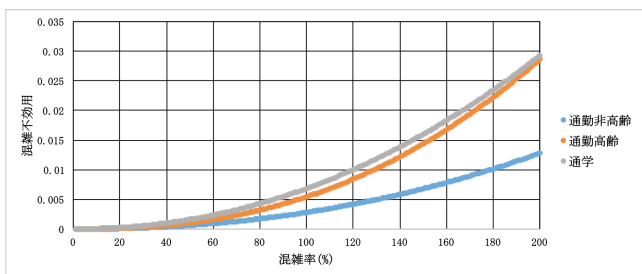


図-1 目的別に見た混雑率と混雑不効用の関係

4. 車内混雑の影響を考慮した実ネットワークにおける乗客流の確率均衡配分

(1) 使用データの概要

乗客配分においては、各ゾーン間の人口流動量を表した OD 表、及び各経路での使用路線、乗換駅のデータや混雑率導出のための輸送定員表が必要となる。OD 表については、第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査データ (2008 年) を用い、それ以外のデータの取得には第 11 回大都市交通センサスデータ (2010 年) を用いた。利用者均衡配分では、経路選択モデルにおいて 3 つの時間帯に類別し推定された値をそのまま用いるため、当データも朝ピーク時間帯 (7 時から 9 時)、昼オフピーク時間帯 (9 時から 17 時)、夕ピーク時間帯 (17 時から 19 時) の 3 つの時間帯に類別した上で使用した。今回対象とした鉄道ネットワークの概要を表-3 に示す。

表-3 対象鉄道ネットワークの諸元

対象時間帯	朝ピーク時 (7 時から 9 時)
対象路線	首都圏内全 111 路線
総リンク数	3,366 (JR : 762, その他私鉄 : 2,604) 列車種別等も考慮すると 4,184
総 OD ペア数	2,330,503
総乗客数	7,572,860

(2) 乗客流の利用者均衡配分の計算手順

乗客流の利用者均衡配分計算に関しては、Xu et al.¹⁴⁾ による GP (Gradient Projection) Algorithm を適用する。これは、C-logit 型の経路選択モデルに対する確率的用户均衡配分問題の解法の一つであり、本研究では首

都圏鉄道を対象とするために拡張的に適用する。
GP Algorithm の流れは、以下のとおりとなる。

Step1：初期交通量の設定

- (a) 許容誤差 $\epsilon (> 0)$ を設定し、 $k = 0$ とする。
ただし、 k は繰り返し回数を表す。
- (b) 式 (1) 及び式 (3) を用いて、 rs 間の経路 i の選択確率 P_i^{rs} を計算する。

- (c) 初期経路交通量 f_0 : $f_{i,0}^{rs} = q^{rs} P_i^{rs}$ (5)
を計算する。ただし、 q^{rs} は rs 間の交通量を表す。

- (d) リンク交通量 : $v_{a,0} = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{i \in I_{rs}} f_{i,0}^{rs} \delta_{ia}^{rs}$ (6)
を計算する。ただし、 q^{rs} は rs 間の交通量を表す。ただし、 a はある特定の単一リンクを表す。

Step2：各経路効用の更新

- (a) Step1 (d) で求めた交通量 (2 回目以降は、Step4 で更新された交通量) を利用して、混雑指標を更新し、各経路の確定効用項を計算する。
- (b) 写像 F : $F(f) = c(f) + \frac{1}{\theta}(1 + \ln f) + cf$ (7)
を計算する。ただし、 $c(f)$ は式 (1) で記した効用和を表し、 f は経路交通量を表し、 cf は式 (4) で示した *Commonality Factor* を表す。

Step3：各 OD ペアにおける参照経路の決定

- (a) $\tilde{i}_k^{rs} = \arg \min_{i \in I_{rs}} \{F_{i,k}^{rs}\}$ (8)
によって求められる経路 i の集合を参照経路とする。

Step4：経路交通量の射影演算

- (a) 以下の式に基づき、上記で設定した参照経路以外の経路 (不参照経路) の交通量を更新する。

$$\tilde{f}_{i,k+1}^{rs} = \max \left[0, f_{i,k}^{rs} - \alpha_{k+1} \Gamma_{i,k}^{rs} \right] \quad (9)$$

$(\forall i \in I_{rs}, i \neq \tilde{i}_k^{rs}, r \in R, s \in S)$

ただし

$$\Gamma_{i,k}^{rs} = F_{i,k}^{rs} - F_{\tilde{i}_k^{rs},k}^{rs} \quad (10)$$

とし、 I^{rs} は rs 間の全ての経路を表し、 α はステップサイズを表すものとする (後述する)。さらに、

$$f_{i,k+1}^{rs} = \tilde{f}_{i,k+1}^{rs} \quad (11)$$

として不参照経路の交通量とする。

- (b) 以下の式によって参照経路の交通量を更新する。

$$f_{\tilde{i}_k^{rs},k+1}^{rs} = q^{rs} - \sum_{i \in I_{rs}, i \neq \tilde{i}_k^{rs}} f_{i,k+1}^{rs} \quad (12)$$

- (c) 以下の式によってリンク交通量を更新する。

$$v_{a,k+1} = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} f_{i,k+1}^{rs} \delta_{ia}^{rs} \quad \forall a \quad (13)$$

Step5：収束確認

- (a) 経路交通量の RMSE (Root Mean Squared Error) が次の収束判定条件を満たせばそこでステップを終了する。そうでなければ、 $k = k + 1$ として Step2 へ戻る。

$$RMSE = \sqrt{\|f_k - f_{k-1}\|_2 / |I|} \leq \epsilon \quad (14)$$

ただし、 $|I|$ は全経路数を表す。

なお、Step4 (a) で述べたステップサイズ α については、Xu et al.¹⁴⁾ で示された Predetermined Sequence of Step Size の式を用いることとする。

$$\alpha_k = \frac{b_1}{b_2 + k} \quad (15)$$

これは、MSA (Moving Successive Average) を適用した一般的な場合では $b_1 = b_2 = 1$ となる。

(3) 4 回目の試行における結果

以上で示した均衡配分の計算アルゴリズムを首都圏鉄道ネットワーク (朝ピーク時：7 時～9 時) に適用し、均衡時の経路乗客流の算出を現在行っている。現時点では、繰り返し回数 4 回目 ($k = 4$) の試行までを完了しており、その途中状況を表-4 に示す。表-4 より、試行を重ねるごとに RMSE 値が小さくなっていることから、各経路交通量が収束に向かっていることが確認される。しかし、RMSE 値の推移は k の値に対して非線形であり、推移の幅は徐々に小さくなっている。よって、これ以降の k の値の増加に対しては、収束スピードは減衰するものと考えられる。

表-4 各試行におけるステップサイズ α 値及び RMSE 値

k	1	2	3	4
ステップサイズ α 値	1	1/2	1/3	1/4
RMSE (単位：人)	1.525	0.959	0.326	0.169

5. おわりに

本研究では、首都圏鉄道ネットワークにおける乗客経路配分に関して、今後の展開の可能性を念頭に置いて経路選択モデルの精緻化を行った。具体的には、経路重複を考慮可能でありながらより計算効率性の高い C-logit 型の経路選択モデルについて、特に混雑不効用に着目し、パラメータの更新を行った。さらに、その推定された結果を利用して、車内混雑の影響を考慮した乗客流の利用者均衡配分アルゴリズムを構築し、首都圏を対象として実証的検討を行った。

実証分析の結果、前者に関しては、従来の経路選択モデルの中で使われていた車内混雑と経路重複の影響を表す定数について、(1) 通勤非高齢、(2) 通勤高齢、(3) 通学の 3 つの移動目的のそれぞれにおいて更なる最適値が推定された。そしてその値は、統計的観点から見ても我々の感覚からしても有意な値となった。よって、この推定結果を次の利用者均衡配分へ用いることとした。一方後者に関しては、4 回目試行までの推移を見る限り、収束スピードは減衰しているものの、各経路交通量が収束しつつあることがわかった。引き続き計算を行い、収束した結果については講演時に紹介したい。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 (B) 「都市内交通システムにおける旅行時間信頼性の評価・運用方法の体系化」(代表：福田大輔, 課題番号：25289160)、国土交通省・道路政策の質の向上に資する技術研究開発「ETC2.0 プローブ情報等を活用した“データ駆動型”交通需要・空間マネジメントに関する研究開発」(代表：福田大輔)、国土交通省・道路政策の質の向上に資する技術研究開発「多様な観測データの活用による道路情報提供の研究開発」(代表：佐々木邦明) からの支援を受けて行われた。分析用データの作成にあたっては、株式会社社会システムからのご支援を賜った。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Morichi, S., Iwakura, S., Morishige, T., Itoh, M. and Hayasaki, S.: Tokyo Metropolitan rail network long-range plan for the 21st century, *Transportation Research Board 80th Annual Meeting*, 2001.
- 2) 国土交通省交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会・今後の都市鉄道のあり方に関する小委員会需要評価・分析・推計手法ワーキング・グループ：鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート, <http://www.mlit.go.jp/common/001138608.pdf>, 2016.
- 3) Kato, H., Fukuda, D., Yamashita, Y., Iwakura, S. and Yai, T.: Latest urban rail demand forecast model system in the Tokyo Metropolitan Area, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, accepted for publication.
- 4) 家田仁, 志田州弘, 古川敦, 赤松隆：通勤鉄道利用者の不効用関数パラメータの移転性に関する研究, *土木計画学研究・講演集*, No. 12, pp. 519–525, 1989.

- 5) 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*, Vol. 11, pp. 81–88, 1993.
- 6) Yai, T., Iwakura, S. and Morichi, S.: Multinomial probit with structured covariance for route choice behavior, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 31, No. 3, pp. 195–207, 1997.
- 7) 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, *土木学会論文集*, Vol. 2004, No. 765, pp. 131–142, 2004.
- 8) 北村隆一：交通需要予測の課題：次世代手法の構築にむけて, *土木学会論文集*, Vol. 1996, No. 530, pp. 17–30, 1996.
- 9) 亀谷淳平, 福田大輔：鉄道利用者を対象とした Activity-based 交通行動モデルに関する研究, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 53, pp. 380–389, 2016.
- 10) 屋井鉄雄, 中川隆広, 石塚順一：シミュレーション法による構造化プロビットモデルの推定特性, *土木学会論文集*, No. 604, pp. 11–21, 1998.
- 11) Kato, H., Kaneko, Y. and Inoue, M.: Comparative analysis of transit assignment: Evidence from urban railway system in the Tokyo Metropolitan Area, *Transportation*, Vol. 37, No. 5, pp. 775–799, 2010.
- 12) 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, *Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp. 697–711, 1996.
- 13) 国土交通省交通政策審議会：東京圏における今後の都市鉄道のあり方について (答申), <http://www.mlit.go.jp/common/001126948.pdf>, 2016.
- 14) Xu, X., Chen, A., Zhou, Z. and Bekhor, S.: Path-based algorithms to solve C-Logit stochastic user equilibrium assignment problem, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2279, pp. 21–30, 2012.

(2017. 4. 28 受付)