

乗客配分モデルを用いた公共交通の混雑緩和施策評価*

Evaluation of Congestion Mitigation Measures for Public Transport Using Transit Assignment Model*

嶋本 寛**・倉内 文孝***・飯田 恭敬****

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

環境問題への関心の高まりや高齢化社会に向けての自動車以外の移動手段の確保など、公共交通の果たす役割はますます重要となっている。しかしながら、大都市を中心に混雑の激しい公共交通が多く存在しており、公共交通利用を促進するためにも混雑緩和のための対策を行う必要があるといえる。また、ある路線の改善を実施した場合、今までその路線を利用してなかった乗客が利用することなどが考えられ、施策評価はネットワークレベルで実施しなければならない。本研究では、公共交通のサービスレベル、料金、混雑度に応じて乗客流が変化する乗客配分モデルを用いた公共交通施策の評価手法を提案する。その上で、路線網の形状の違いによる混雑程度の違い、料金体系の変更および追加料金徴収による混雑緩和の可能性について検討を行うこととする。

(2) 乗客配分モデルに関するレビュー

公共交通における乗客配分は、以下の点で自動車交通におけるそれとは異なっている。まず、公共交通ではサービス頻度に起因する待ち時間が存在することである。そのため、所要時間の短い路線を選択すれば最短で目的地に到達できるとは限らない。さらに、公共交通では乗り換えに際して金銭的あるいは心理的な負担が生じる。そして、公共交通では車両容量が存在し、希望した乗客全員が乗車できない。また、既に乗車している乗客は途中で下車させられることはなく、乗車しようとする乗客より優先権が与えられる。これらの特徴を加味し、様々な乗客配分モデルが提案されている。以下では、公共交通配分問題における2つの大きな特徴である、common lines problem、および容量制約条件の検討方法に分類し、既往の研究をまとめる。

a) common lines problem

common lines problem¹⁾とは、頻度ベースで運行されている公共交通において生じる特有の特徴であり、「同一目的地に、乗り場を共有している複数の路線を利用して到達することが可能な場合、それらの路線の中から魅力的な経路集合 (attractive set) を選択する問題」、と定義することができる。乗客は、魅力的な attractive set に含まれる経路のうち、最初に到着した車両に乗車するとする。すなわち、車両の到着をポアソン到着と仮定すれば、attractive set に含まれる経路 i の選択確率 p_i および目的地までの期待所要時間 T は次のように書くことができる。

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k \in K} f_k} \quad (1)$$

$$T = \frac{1 + \sum_{k \in K} f_k t_k}{\sum_{k \in K} f_k} \quad (2)$$

ただし、

K : 魅力的な経路集合

t_k : 経路 $k \in K$ の乗車時間

f_k : 経路 $k \in K$ のサービス頻度

である。Spiess *et al.*²⁾は、このような attractive set に含まれる経路の集合を hyperpath と定義し、乗客は期待所要時間を最小にするように hyperpath を選択すると仮定して、common lines problem と均衡条件を組み合わせた乗客配分モデルを構築した。そして、リンクコスト関数、すなわち t_k がリンクフローに関する増加関数であると仮定した場合の均衡配分モデルを提案している。ただし、公共交通においては乗客の多少によって走行時間が変化するわけではないため、この関数は乗車中の不快感などを表現したにすぎない。また、駅における待ち時間はリンクフローによらず一定と仮定しており、待ち乗客数が列車容量以上の場合でも、需要を一度にさばきうるのがこのモデルの課題である。

b) 容量制約条件

De Cea *et al.*³⁾は、Spiess *et al.*²⁾らの提案した問題に対して、車両容量に起因する遅れを表現するために、容量制約条件を組み入れた公共交通配分モデルを構築した。このモデルでは、乗り換えノードにおける待ち時間がリンクフローに関する増加関数であるとして容量制約を表現した。この方法は、待ち行列理論から導き出されるように、乗

* Keywords: 配分交通, ネットワーク交通流

**学生員, 修士 (工) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町,

Tel : 075-753-5126, FAX : 075-753-5907)

***正会員, 博士 (工), 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (同上)

****フェロー会員, 工博, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (同上)

客の到着率が列車のサービス容量に到達すると待ち時間が無限大になることを近似的に示したものである。しかし、待ち時間を表現する関数としてBPR型関数を採用しているため、待ち時間は増加するものの依然容量以上の乗客が乗り込むことを許している。一方、Cominetti *et al*⁴⁾は、待ち行列理論を用いて容量制約を考慮した乗客配分モデルの枠組みを示した。車両容量を超えて乗客が乗車することもなく、数学的厳密性を有するモデルであるが、複数路線、複数ODのような複雑なケースにおいては解析的に解を得ることができず、シミュレーションに頼らざるを得ないことが課題である。なおDe Cea *et al* およびCominetti *et al* の提案したモデルは、乗客の到着率がすべての時間において一定であるという仮定を設けているため、ある単位時間において需要が容量を超えることはない。このため、ピーク時の短時間に起こりうる乗客数が列車の残存容量を超えることを許容できない。

一方、Schmöcker *et al*⁵⁾は、容量制約を明示的に考慮し、容量以上の乗客は乗車できないとし、乗り損ねた乗客を次の単位時間に配分する、時間帯別乗客配分モデルを提案した。彼らはサービス頻度をリンクフローの関数とするかわりに、乗客が希望する車両に乗ることができない確率である「乗り損ね確率」を目的関数に加え、乗り損ねるリスクを経路選択プロセスに組み込むことによって、混雑による乗客流の変化を表現した。しかし、このモデルではcommon lines problem が考慮されていない。Kurauchi *et al*⁶⁾は、Schmöcker *et al* のモデルにcommon lines problem を組み入れ、容量制約条件および利用者均衡条件を相補性問題として定式化した。また、コスト関数最小化の問題を動的計画問題に変形して、最小コストのhyperpathを求めている。本研究では、容量を超える交通需要を取り扱うことが可能であること、common lines problem を考慮していることを鑑み、Kurauchi *et al* のモデルを用いて分析を進めることとした。

2. 記号表記

本稿で用いる記号とその意味は次のとおりである。

L : 全路線集合
 L_c : 追加料金が課金される路線集合
 A : 全リンク集合
 A_p : hyperpath p におけるリンク集合
 A_p : ノード i から目的地ノードまでの sub-hyperpath p におけるリンク集合
 I_p : hyperpath p におけるノード集合
 S_p : hyperpath p における停留所ノードの集合
 S_p : ノード i から目的地までの sub-hyperpath における停留所ノード集合
 E : 全乗り損ねノード集合

E_p : hyperpath p における乗り損ねノード集合
 V_p : hyperpath p における経路集合
 V_p : ノード i から目的地までの sub-hyperpath における経路集合
 D_s : 目的地が s である乗り損ねリンク集合
 U_l : 路線 l に属するプラットフォーム集合
 $i(a)$: リンク $a \in A$ の起点ノード
 $j(a)$: リンク $a \in A$ の終点ノード
 $l(a)$: リンク $a \in A$ を含む路線
 $OUT(i)$: ノード i から流出するリンク集合
 $OUT_p(i)$: hyperpath p におけるノード i から流出するリンクの集合
 w_{kl} : 路線 l , プラットフォーム k の停車リンク
 b_{kl} : 路線 l , プラットフォーム k の乗車需要リンク
 $x_{w_{kl}}$: 路線 l , プラットフォーム k の車両に既に乗車している乗客数
 $x_{b_{kl}}$: 路線 l , プラットフォーム k の車両に乗車しようとする人数
 τ_{ap} : hyperpath p のリンク $a \in A$ における経路分岐確率
 T_{ap} : 経路分岐確率 τ_{ap} の行列表現
 f_l : 路線 $l \in L$ のサービス頻度 (1/分)
 z_l : 路線 $l \in L$ の車両容量
 g_p : hyperpath p における期待コスト
 g_p : ノード i から目的地までの sub-hyperpath における期待コスト
 t_a : リンク $a \in L$ の所要時間
 c_a : リンク $a \in A$ のリンクコスト
 q_i : ノード $i \in E$ における乗り損ね確率
 θ : 乗り損ねのリスクを表すパラメータ
 m_{rs}^* : hyperpath p における出発地 r から目的地 s までの最小コスト
 Ω : 交通量保存則を満たす路線別リンクフロー
 x : リンクフロー (利用者数) のベクトル表現
 y : hyperpath フロー (利用者数) のベクトル表現
 q : 乗り損ね確率のベクトル表現
 ξ : 乗車時間に関する時間価値 (円/分)
 η : 待ち時間に関する時間価値 (円/分)
 p_f : 乗車運賃
 p_t : 乗り換え運賃
 p_c : 特定区間にかけられる追加料金
 O_p : hyperpath p における起点のプラットフォーム
 λ_p : hyperpath p から経路 $l \in V_p$ を選択する確率
 $\lambda_p(i)$: ノード i から目的地までの sub-hyperpath から経路 $l \in V_p$ を選択する確率
 α_{ap} : hyperpath p がリンク a を通過する確率
 β_p : hyperpath p がノード i を通過する確率
 δ_{al} : リンク a が経路 l に含まれれば1とる変数
 ϵ_{il} : 経路 l がノード i を通過すれば1をとる変数

に表せる。

$$g_p = \sum_{a \in A_p} \alpha_{ap} P_a + \xi \sum_{a \in A_p} \alpha_{ap} t_a + \eta \sum_{k \in E_p} \frac{\beta_{kp}}{F_{kp}} - \theta \ln \left(\prod_{k \in E_p} (1 - q_k)^{\beta_{kp}} \right) \quad (7)$$

ここに,

$$\lambda_{ip} = \prod_{a \in A_p} \tau_{ap}^{\delta_{ai}}, \forall i \in V_p \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V_p} \lambda_{ip} = 1 \quad (9)$$

$$F_{ip} = \sum_{a \in OD_{I_p}(i)} f_{I(a)} \quad (4)$$

$$\alpha_{ap} = \sum_{i \in V_p} \delta_{ai} \lambda_{ip}, \forall a \in A_p \quad (10)$$

$$\beta_{ip} = \sum_{i \in V_p} \varepsilon_{ii} \lambda_{ip}, \forall i \in I_p \quad (11)$$

である。式(7)において第1項は乗車運賃を表しており、第2項、第3項は金銭換算した乗車時間、期待待ち時間をそれぞれ表している。また第4項は乗り損ねの危険性をコスト換算したものであり、 θ は乗り損ねの危険性に対するパラメータで大きいほど乗り損ねを嫌うことを表している。本研究では $\theta=100$ とした。なお、リンクコスト c_a を $c_a = p_a + \xi \cdot t_a$ と定義するとき式(7)は次に示すように線形分離可能である。

$$\begin{aligned} g_p &= \sum_{i \in V_p} \lambda_{ip} \left\{ \sum_{a \in A_p} \delta_{ai} \cdot c_a + \eta \sum_{k \in E_p} \frac{\varepsilon_{ki}}{F_{kp}} - \theta \sum_{k \in E_p} \varepsilon_{ki} \ln(1 - q_k) \right\} \\ &= \sum_{i \in V_p} \lambda_{ip} \left\{ c_{a(i,i)} + \eta \frac{q_{is}}{F_{ip}} - \phi_{if} \theta \ln(1 - q_i) \right\} + \sum_{a \in OD_{I_p}(i)} \tau_{ap} g'_{j(a)p} \quad (12) \\ &= \sum_{a \in OD_{I_p}(i)} \tau_{ap} \cdot c_a + \eta \frac{q_{is}}{F_{ip}} - \phi_{if} \theta \ln(1 - q_i) + \sum_{a \in OD_{I_p}(i)} \tau_{ap} g'_{j(a)p} \end{aligned}$$

したがって、最適性の原理を満たされるために、ダイクストラ法に準じた解法により最小コスト hyperpath を求めることができる。

(5) 定式化

式(7)で示した hyperpath p のコスト g_p はプラットフォームにおける路線別乗り損ね確率 $q_k (k \in U, l \in L)$ の関数である。ところが⁸⁾、路線別乗り損ね確率は、旅客需要および車両の空き容量によって変化する。したがって、本研究における乗客配分モデルは路線別乗り損ね確率とリンクフローを未知変数とした相補性問題⁹⁾として以下のように定式化できる。

Find $(\mathbf{y}^*, \mathbf{q}^*)$ such that

$$\mathbf{y}^* \cdot \mathbf{u}(\mathbf{y}^*, \mathbf{q}^*) = 0, \mathbf{u}(\mathbf{y}^*, \mathbf{q}^*) \geq 0, \mathbf{y} \in \Omega \quad (13)$$

$$\mathbf{q}^* \cdot \mathbf{v}(\mathbf{y}^*, \mathbf{q}^*) = 0, \mathbf{v}(\mathbf{y}^*, \mathbf{q}^*) \geq 0, \forall 0 \leq q \leq 1 \quad (14)$$

ただし,

$$u_p(\mathbf{y}, \mathbf{q}) = g_p(\mathbf{y}, \mathbf{q}) - m_{rs}^* \quad (15)$$

$$v_{kl}(\mathbf{y}, \mathbf{q}) = f_{I_l} z_l - x_{v_{kl}} - (1 - q_{h_{kl}}) x_{b_{kl}} \quad (16)$$

である。式(15)における u_p は OD ペア rs ごとの最小コスト m_{rs}^* と hyperpath p のコスト差を表している。式(13)

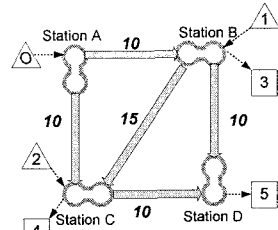


図-3 計算対象ネットワーク

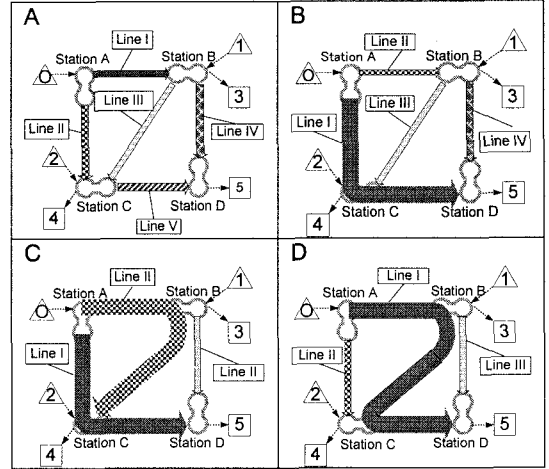


図-4 比較に用いた路線網

は利用者均衡条件となる。また、式(16)における v_{kl} は路線 l 、プラットフォーム k を出発した時点の空き容量を表している。式(14)は容量制約条件となる。以下では、この相補性問題を逐次平均法 (MSA; Method of Successive Average)⁹⁾を用いて解いた。

4. ケーススタディ

(1) 計算の流れ

本モデルを図-3に示すネットワークに用いて適用計算を行う。駅間の所要時間は図中に示したとおりであり、旅客需要は OD(0,5)で 400(人/分)、その他の OD ペアで 100(人/分)とした。このネットワークに対して、路線形状の違いが乗客行動に及ぼす影響を調べるため、図-4のような4種類の路線網を用いて検討する。それぞれの路線網において、車両容量を 200(人/分)、平均運行時間間隔を 5 分とし、乗車運賃を距離に関わらず 200 円とする。また、それぞれの路線は別々の事業者によって運営されており、別の路線に乗り換える際には 1 回当たり 150 円の乗り換えコストがかかることと仮定する。その次に、ソフトウェア面の対策として、共通運賃制度や新たな料金施策の導入が乗客行動に及ぼす影響を考察する。なお、時間価値は所得接近法¹⁰⁾を用いた値を参考にして、乗車時間を 13(円/分)、乗り換え時間を 26(円/分)とした。

(2) 評価指標

ケーススタディにおける評価指標として、まずネットワーク全体の便益を評価するために、すべてのODペアについて式(7)で定義される一般化費用の総和を採用する。また、一般化費用における乗車時間と待ち時間の和である所要時間の金銭換算したものと、満員のために乗車できない可能性に起因するコストの和を知覚所要時間費用と定義する。すなわち、知覚所要時間費用は、式(7)において運賃を表す第1項以外の項の和である。さらに、本モデルの枠組みにおいては、乗客がプラットフォームで乗り損ねることで目的地まで到達できないことが生じる。そのため、乗り損ねずに目的地に到達できる確率を連結信頼性と定義し、ODペアごとの到達容易性を評価指標とする。最後に、各プラットフォームにおける乗り損ね確率は式(7)における q_k であり、駅間ごとの混雑度合いの評価に用いる。なお、本研究では事業者側の運行コストについて考慮しておらず、今後の課題としたい。

(3) 路線形状の違いによる結果比較

まずはハードウェア面の影響について、4種類の路線形状の違いによる乗客フローの相違を用いて考察する。まず、図-5を用いてネットワーク全体について考察する。2区間以上を結ぶ直通路線が通っていない路線網Aを除いて乗り換えコストはほとんどかかっておらず、乗り換えている乗客がほとんどないことがわかる。総一般化費用が最も小さくなったのは路線網Cである。これは、表-1を見てもわかるように、OD(0,4)の乗客の利用経路が2つに分かれて、AC間の混雑が緩和されたためである。逆に、路線網DではOD(0,5)の乗客の多くが乗り換えを嫌って乗車時間の長いLine I(A→B→C→D)を利用したため、総一般化費用は最も大きくなっていく。次に、ODペアごとの違いについて考察する。図-6は各路線網におけるOD別連結信頼性の比較である。これを見ると、路線網の形状によってODごとの到達容易性は大きく変わることがわかる。特に、OD(1,4)の連結信頼性に注目すると、路線網Dのみ小さな値となっているが、これは前述したようにOD(0,5)の乗客がLine I(A→B→C→D)を利用したことによりStation BにおいてLine Iに既に多数の乗客が乗車しているためである。このように、路線網の形状の違いによって乗客の行動が変化し、それにとまってネットワーク全体の混雑度合いも変化することがここで提案したモデルで表現可能であることがわかる。

(4) 共通運賃制度導入による影響

次に、乗り換えコストの有無による乗客行動の変化について考察する。欧州の公共交通システムで一般的である共通運賃制度の導入が乗客流に及ぼす影響を検討する

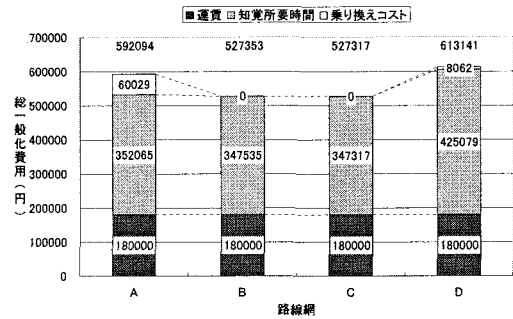


図-5 総一般化費用の比較 (乗り換えコストあり)

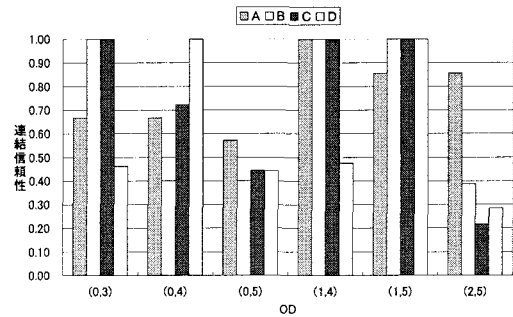


図-6 連結信頼性の比較 (乗り換えコストあり)

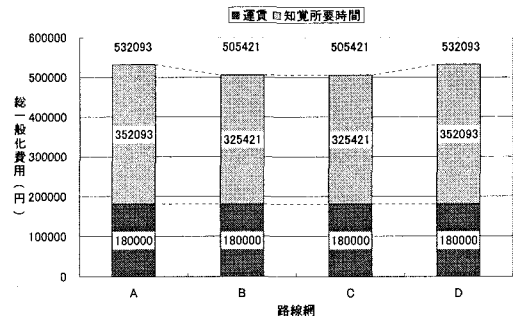


図-7 総一般化費用の比較 (乗り換えコストなし)

表-1 OD(0,4), (0,5)間の経路利用者数

OD	経路	路線網							
		乗り換えコストあり				乗り換えコストなし			
(0,4)	A→B→C	0.00	0.00	49.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A→C	100.00	100.00	50.05	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(0,5)	A→B→D	200.00	0.00	0.00	0.00	200.00	179.60	179.60	200.00
	A→C→D	200.00	400.00	400.00	53.80	200.00	220.40	220.40	200.00
	A→B→C→D	0.00	0.00	0.00	346.20	0.00	0.00	0.00	0.00

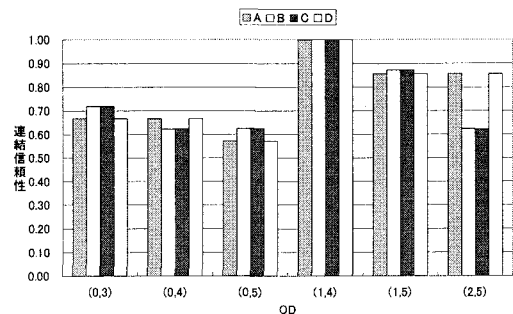


図-8 連結信頼性の比較 (乗り換えコストなし)

のがここでの目的である。

図-7 は乗り換えコストがかからないときの一般化費用の総和である。これと図-5 を比較すると、路線網 A においては直通路線が通っていないため、共通運賃制度が導入されても乗客行動に変化はなく、知覚所要時間費用の総和もほぼ変化していない。また、表-1 を見てもわかるように、路線網 B においては、OD(0,5)において駅 B で乗り換える経路(A→B→D)が利用されるようになり、一般化費用の総和も減少した。路線網 C においては、OD(0,4)において全員が所要時間の短い経路(A→C)を利用されるようになり、また OD(0,5)においては利用経路が2つに分散したため、一般化費用の総和は減少した。路線網 D においては、共通運賃制度導入によって OD(0,5)で乗車時間の長い Line I(A→B→C→D)が利用されなくなり、知覚所要時間費用の総和はおよそ 20%と大きく減少した。また、ここで興味深いのは、路線網 A と D、B と C で乗客行動がそれぞれ同一なことである。乗換抵抗を考慮していないこのケースにおいては、コスト面から見ると共通運賃を導入すれば路線網 D を路線網 A、路線網 C を路線網 B のように路線網を単純なものに置き換えても乗客に及ぶ影響がほとんどないといえる。次に、図-8 は乗り換えコストがかからないときの連結信頼性の比較である。これと図-6 を比較すれば、各 OD ペアについて路線網の形状による連結信頼性の差は小さくなり、また極端に連結信頼性が低い OD ペアはなくなった。以上をまとめると、共通運賃制度導入により、ネットワーク全体から見れば一般化費用の総和は減少し、さらに各 OD ペアに注目すれば混雑度合いの差が小さくなり、路線網による到達容易性の差も小さくなることが確認された。

(5) 追加料金徴収による特定路線の混雑緩和効果

前節では、共通運賃制度導入によってネットワークの混雑が分散されることが確認された。しかし、わが国では公共交通施策において採算性が重視されており、ほとんどの公共交通機関において減収をもたらすと考えられている共通運賃制度導入に至っていないのが現状である。そこで、本節では乗り換えコストがかかる条件のもと、総一般化費用の最も大きい路線網 D について、特定路線の運賃を変動させることで乗客フローを制御することを考える。表-2 は路線網 D における各プラットフォームにおける乗り損ね確率である。これを見ると、Line I においてのみ混雑が生じていることがわかる。この混雑を緩和することを目的として、以下では Line I の駅 AB 間、BC 間、CD 間のうち 1 区間に追加料金を設定する。追加料金を 150 円として計算をすすめた。

図-9 は路線網 D における特定の路線に追加料金を徴収した場合の総一般化費用の比較である。AB 間、CD 間に追加料金を課金した場合の総一般化費用は増加するが、

表-2 各プラットフォームにおける乗り損ね確率
(路線網 D、乗り換えコストあり)

Line	駅	乗り損ね確率
I	A	0.55
	B	0.60
	C	0.74
II	A	0.00
III	B	0.00

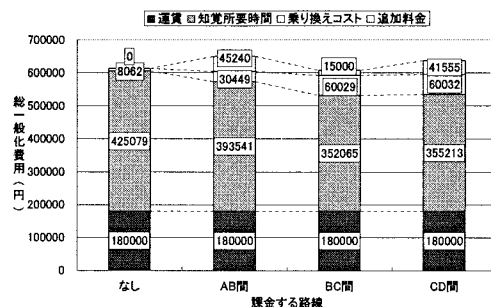


図-9 路線網 D における総一般化費用
(乗り換えコストあり)

表-3 路線網 D における OD(0,5)間の経路利用人数

経路	課金する路線			
	なし	AB間	BC間	CD間
A→B→D	0.00	0.00	200.00	224.20
A→C→D	0.00	198.40	200.00	175.80
A→B→C→D	400.00	201.60	0.00	0.00

表-4 路線網 D における乗り損ね確率の比較

Line	駅	なし	AB間	BC間	CD間
I	A	0.55	0.34	0.33	0.38
	B	0.60	0.31	0.00	0.00
	C	0.74	0.71	0.14	0.12
II	A	0.00	0.33	0.33	0.27
III	B	0.00	0.00	0.14	0.16

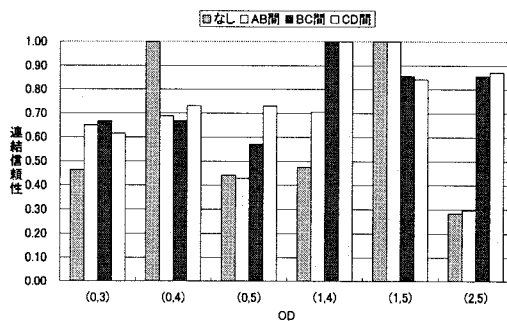


図-10 路線網 D における OD 別連結信頼性

BC 間に課金した場合はわずかであるが総一般化費用は減少している。したがって、ネットワーク全体から見れば、追加料金徴収によるメリットは事業者だけでなく利用者にも及ぶ場合もあるといえる。ただし、このようなケースにおいても個別の OD ペアに着目すれば、追加料金を徴収される OD ペアなど一般化費用が増加して不効用を受ける OD ペアも存在することに注意が必要である。表-3 は OD(0,5)間における経路ごとの利用者数である。

追加料金の徴収によって OD(0,5)間の乗客フローを最小乗車時間経路 (A→B→D または A→C→D) に分散させており、知覚所要時間費用はおよそ 8%から 20%削減された。次に、表-4 はプラットフォームごとの乗り損ね確率の比較である。これを見ると、追加料金を徴収することによって、特に BC 間、CD 間に追加料金を導入した場合に、Line 1 の混雑が他の路線に分散されていることがわかる。最後に、図-10 は OD 別連結信頼性の比較である。追加料金徴収によって OD(0,5)の乗客によって利用されるようになった路線を起終点とする OD ペアである OD(0,4), (1,5)の連結信頼性は減少したが、課金される路線を起終点とする OD ペアも含めてその他の OD ペアの連結信頼性は増加した。特に、BC 間に追加料金を導入した場合は、OD ペアごとの連結信頼性の差は小さくなった。したがって、追加料金導入によって、均一料金制度導入と同様に、一般化費用の総和が減少するとともに、路線間の混雑が分散し OD ペアによる到達容易性の差が小さくなる可能性があることが確認された。

5. おわりに

本研究では、common lines problem と容量制約条件を考慮した乗客配分モデルを用いて、路線網の形状の違いが乗客行動に及ぼす影響分析を行った。その結果、路線網の形状の違いによって乗客行動が変化し、それにともなう混雑度合いも変化することをここで提案したモデルによって表現可能であることが確認された。また、混雑度合いを連結信頼性などによって定量的に表すことができた。また、共通運賃制度導入や特定路線への追加料金の徴収など料金体系を変化させることによって、混雑緩和や分散効果を期待できることがわかった。もちろんこのような効果は特定の条件において得られたものであり常に期待できるわけではないが、少なくともここで提案した分析手法によって検討可能であることを示せた。ただし、ここで用いたモデルはあくまで静的な枠組みのモデルであるため、滞留した乗客の解消する過程は表現されていない。そのため、ここで得られた知見は、乗り損ねが生じるようなピーク時間帯のうちの、ごく短時間の間の混雑緩和に関することにはすぎない。したがって、今後の課題としては、滞留した乗客の解消過程を表現できるような動的なモデルへ拡張する必要があるといえる。さらに、本研究では路線別追加料金は試行錯誤的に決め、

また運行頻度固定のもとで分析をすすめたが、混雑緩和のための最適な料金体系および運賃を決定するモデルの構築があげられる。また、路線網や頻度によって事業者側の運行コストが異なると考えられ、今後は評価指標として、本研究で用いた一般化費用の総和と連結信頼性だけでなく、運行コストなど他の指標を用いて評価を行う余地があるといえる。

【参考文献】

- 1) Chriqui, C. and Robillard, P. : Common Bus Lines, *Transportation Science*, **9**, pp. 115-121, 1975.
- 2) Spiess, H. and Florian, M.: Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks, *Transportation Research*, **23B**, pp. 83-102, 1989.
- 3) De Cea, J. and Fernandez, E.: Transit Assignment for Congested Public Transport Systems: An Equilibrium Model, *Transportation Science*, **27**, pp.133-147, 1993.
- 4) Cominetti, R. and Correa, J.: Common Lines and Passenger Assignment in Congested Transit Networks, *Transportation Science*, **35**, pp.250-267, 2001.
- 5) Schmöcker, J.-D., Bell, M.G.H. and Lee, Chi: An application of Congested Transit Network Loading with the Markov Chain Approach, *paper presented at 9th Meeting of the EURO Working Group on Transportation "Intermodality, Sustainability and Intelligent Transport Systems"*, Bari, 2002.
- 6) Kurauchi, F., Bell, M. G. H. and Schmöcker, J.-D.: Capacity Constrained Transit Assignment with Common Lines, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, **2-4**, pp. 309-327, 2003.
- 7) Nguyen, S. and Pallotino, S.: Equilibrium Traffic Assignment for Large Scale Transit Networks, *European Journal for Operational Research*, **37**, pp. 176-186, 1988
- 8) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 -, 1998
- 9) Warren, B.P and Yosef, S.: The Convergence of Equilibrium Algorithms with Predetermined Step Size, *Transportation Science*, **16**, pp.45-55, 1982
- 10) 運輸経済研究センター：鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99, 1999

乗客配分モデルを用いた公共交通の混雑緩和施策評価*

嶋本 寛[＊], 倉内 文孝^{＊＊}, 飯田 恭敬^{***}

本研究では、common lines problem と容量制約条件を考慮に入れた乗客配分モデルを用いて、路線網の形状の

違いが乗客行動に及ぼす影響分析を行った。その結果、路線網の形状によって乗客行動が変化することを提案したモデルによって表現可能であることが確認され、混雑具合に及ぼす影響を連結信頼性などで定量的に表すことができた。また、共通運賃制度の導入や特定路線への追加料金の徴収など料金体系を変動させることによって混雑が緩和あるいは分散されることが確認され、提案したモデルによって料金施策による混雑緩和効果の検討を実施可能であることを示した。

Evaluation of Congestion Mitigation Measures for Public Transport Using Transit Assignment Model*

By Hiroshi SHIMAMOTO**, Fumitaka KURAUCHI***, Yasunori IIDA****

Using capacity-restrained transit assignment model which takes the common lines problem into account, this study analyzes the effect of transit line configuration onto passengers' behavior. The result suggests that passengers' behavior can be affected by the transit line configuration. It was also found that the congestion can be dispersed by introducing flat fare system or by applying additional congestion charge on a specific link. Since the model provides many indices for evaluation of transit line service, it can be concluded that congestion mitigation effect by the transit line configuration and the fare system can be evaluated by the proposed model.
