

公共交通の運賃制度が 効率性と公平性に与える影響

-大都市郊外部の路線網・運賃同時最適化の計算から-

須ヶ間 淳¹・奥村 誠²

¹学生会員 東北大学大学院工学研究科 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S-502)
E-mail:atushi1741@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S-502)
E-mail:mokmr@tohoku.ac.jp (Corresponding Author)

収支均衡下において社会的総余剰を最大化するようにOD別一般化支払額と公共交通ネットワークを同時決定するモデルを大都市圏郊外部の公共交通システムに適用し、運賃体系を対距離制運賃制度や均一制運賃制度に準拠させることが効率性と公平性に与える影響を分析した。効率性の観点では、運賃水準が低すぎて適切なネットワークを維持できない場合を除き、どのような運賃制度を適用しても最適運賃体系適用時とほぼ同様の社会的総余剰が得られることが明らかになった。一方で公平性の観点では、既存運賃制度に準拠することが居住地ごとの消費者余剰の差異を大きくする可能性がある。特に対距離制運賃制度は公平性を損ねる傾向があり、均一制運賃制度が望ましいことが明らかになった。

Key Words : public transportation, fare, efficiency, fairness, optimization model

1. はじめに

我が国の公共交通は、モータリゼーションの進展等に伴い長期的に利用者を減らしてきたが¹⁾、近年、高齢化などを背景にその必要性が再認識されつつある。一方で人口減少、移動需要自体の減少、また運転手不足等により公共交通の経営環境はますます厳しさを増している。近年、伝統的に私企業の営利事業として経営されることの多かった公共交通に地方公共団体が補助金等を伴って経営を支援している事例が多くみられ、地方公共団体が計画の立案段階からより積極的な関与を行うようになってきた²⁾。他方、大都市圏においても郊外部を中心に人口減少が始まりつつあり、今後の経営環境悪化が予想される。ただし地方部と比較すれば未だ一定の移動需要が見込まれること、国や地方公共団体の多くが慢性的な財政難にあることを鑑みれば、補助金に頼った運営には社会的な同意が得にくいだろう。そのため適切な公共交通システムを収支均衡の下で実現させることが要請される。すなわち、適切な公共交通ネットワーク（以下、NWと呼ぶ）と、その運営費用を賄う適切な運賃体系の計画が求められている。

収支均衡下において運賃体系とNWが密接な関係にあることは明白であり、運賃体系とNWの両者を同時に設計することが効率的である。ところが運賃体系の設計とNWの設計はこれまで別々の研究分野として取り扱われてきた。運賃体系の設計については、限界費用逡減下の自然独占企業を扱う公益企業論の一環として運賃理論の研究が積み重ねられてきた³⁾。収支均衡を前提に社会的総余剰を最大化する運賃体系としてラムゼイプライシングが知られているが、金銭的価格のみに注目しており、NWやNWに依存して発生する所要時間の時間費用は捨象している。一方で、公共交通のNW設計については土木計画学等において研究実績⁴⁾⁵⁾⁶⁾があり、その多くはNW設置・運営費用、利用者の時間的費用、乗り継ぎ抵抗などを足し合わせた社会的な費用の最小化を考えている。このとき、発生する社会的な費用を利用者が負担するという収支均衡は考慮せず、運賃設定の在り方についても不問としている。このように、それぞれの分野において一定の研究蓄積が認められる一方で、同時最適化に着目した研究はほとんど見当たらない。

同時最適化に関連する数少ない研究例である須ヶ間・奥村⁸⁾は、大都市圏郊外部の公共交通システムを対象に、収支均衡下において社会的総余剰を最大化するように

表-1 集合とその意味

| 集合 | 意味 |
|--------------|----------------------|
| N | 居住地(起点ノード)集合 |
| R | 路線系統集合 |
| L | 有向リンク集合 |
| L_n^{dep} | ノード n から発する有向リンク集合 |
| L_n^{arv} | ノード n に着する有向リンク集合 |
| L_l^{pair} | リンク l 別の双方向有向リンク集合 |

表-2 外生パラメータとその意味

| パラメータ | 意味 |
|-------------|---|
| $C_{o,d}$ | OD別の最大一般化支払額 *1600 [円] |
| $Q_{o,d}$ | OD別の最大需要量 *駅発着OD : 400 [トリップ/日] *その他OD : 15 [トリップ/日] |
| $A_{o,d}$ | OD別の逆需要関数の傾き *4 [円・日/トリップ] |
| M | 地域全体のノード数 *7 [ノード] |
| F_{max}^r | 路線系統 r 別の最大運行頻度 *960 [便/日] |
| F_{min}^r | 路線系統 r 別の最小運行頻度 *48 [便/日] |
| H^r | 路線系統 r 別の車両容量 *大型交通 : 40 [人/便] *小型交通 : 4 [人/便] |
| T_l^r | 路線系統 r リンク l の 所要時間の時間価値 *120 [円/リンク] |
| S | 乗継抵抗 *100 [円/回] |
| V_l^r | 可変的運営費用の 車両走行距離に対する原単位 *大型交通 : 500 [円/km/便] *小型交通 : 200 [円/km/便] |

OD別一般化支払額とNWを同時に決定するモデルを提案しているものの、運賃体系に関する考察は乏しい。そこで本研究では、収支均衡の下で運賃体系とNWの同時最適化を行う際の運賃体系の在り方に着目する。

ところで実社会のほとんどの運賃体系は、一般乗合旅客自動車運送事業の運賃及び料金に関する制度⁹⁾に基づき、距離に依存する運賃制度もしくは均一制運賃制度を採用している。後に述べるように須ヶ間・奥村モデル⁸⁾より得られる最適な運賃体系はこれらの運賃制度に合致しない。そのため、既存の運賃制度の採用が公共交通システムにどのような影響を与えているのか、また既存運賃制度の範囲内で最適な運賃体系はどのようなものなのかを明らかにする必要がある。

第1章では本研究の背景と目的を述べた。第2章では須ヶ間・奥村モデル⁸⁾を大都市圏郊外部の公共交通シ

表-3 操作変数とその意味

| 変数 | 意味 (記載なければ非負連続変数) |
|--------------------|--|
| $cs_{o,d}$ | OD別消費者余剰 |
| $c_{o,d}$ | OD別一般化支払い額 |
| $q_{o,d}$ | OD別交通量 |
| $x_{o,d,l}^r$ | OD別系統 r 別のリンク l 交通量 |
| $y_{o,d,n}^{r,r'}$ | ノード n における 路線系統 r から r' への OD別乗り継ぎ交通量 |
| z_l^r | リンク l における 路線系統 r のサービス有無 0-1変数 (1:有り, 0:無し) |
| s_n^r | 路線系統 r のノード n 経由有無 0-1変数 (1:経由, 0:不経由) |
| a_n^r | ダミーリンクの存在有無 0-1変数 (1:有り, 0:無し) *路線系統 r の経路設定に必要な変数 |
| d_n^r | ダミーリンクを流れるトークンの量 *路線系統 r の経路設定に必要な変数 |
| e_l^r | リンク l を流れるトークンの量 *路線系統 r の経路設定に必要な変数 |
| f_{com}^r | 路線系統 r の運行頻度 |
| f_l^r | リンク l における 路線系統 r の運行頻度 *サービスが存在しない場合はゼロ |
| h | 公共交通事業者の利益 |
| $q_{o,d}^{sq}$ | 二次錐計画問題への変換に必要な変数 *OD別の需要量 $q_{o,d}$ の2乗を表す |

テムに適用して数値実験を行い、収支均衡の下でNWと運賃体系を同時最適化した場合の運賃体系が既存運賃制度と異なることを示す。第3章では、既存運賃制度に準拠した運賃体系を採用した場合についても須ヶ間・奥村モデル⁸⁾を用いて計算を行い、効率性と公平性の観点から両者を比較する。そして既存運賃制度への準拠が公共交通システムの効率性・公平性に与える影響を明らかにするとともに、既存運賃制度に準拠する範囲内で最も望ましい運賃体系を考察する。第4章では本研究のまとめと今後の展望について述べる。

2. 最適な運賃体系の分析

(1) モデルの概要

本研究では、既存運賃制度への準拠を表現できるように須ヶ間・奥村モデル⁸⁾に若干の修正を加えたモデルを用いる。利用者がOD間を移動する際には、所要時間の時間価値や、乗り継ぎに伴う乗継抵抗が発生する。これらにOD間の金銭的な運賃を加えた利用者側の1トリップ当たりの費用を一般化支払額と呼ぶ。他方、公共交通の路線系統の運行にかかる金銭的費用に、所要時間の時

間価値と乗り継ぎ抵抗の総和を加えたものを供給者側の費用と考え、一般化費用と呼ぶ。須ヶ間・奥村モデル⁸⁾は、地域内の全ての移動者の一般化支払額の総和によって地域に必要な一般化費用のすべてを賄うという収支均衡条件の下で社会的総余剰の最大化を行うモデルであり、最適な NW と OD 別一般化支払額、OD 交通量を求めることができる。本研究では、既存運賃制度への準拠の表現を行うため、起点別に定義していた変数（リンク交通量と乗継交通量）及び関連する制約式（交通量保存則など）を、OD 別に変更した。ただし計算結果への影響は無く、本質的には同一のモデルである。

本研究のモデルで用いる集合、外生パラメータ、操作変数をそれぞれ表-1、表-2、表-3 に示す。また定式化を以下に簡単に示す（式 (1) - (26)）。なお上述モデルの目的関数及び制約式には非線形項が含まれているが、混合整数二次錐計画問題に変換でき、市販の商用ソルバー等で簡単に求解できる。本研究では Gurobi Optimizer 9.1.2 を用いて計算を行った。

$$\max_{\substack{c,s,c,q^{\text{sum}},q,x,y,z, \\ s,a,d,e,f,com,f,p,h}} \sum_{o \in N} \sum_{d \in N} (cs_{o,d}) + h \quad (1)$$

(社会的総余剰の最大化)

$$c_{o,d} = C_{o,d} - A_{o,d} \cdot q_{o,d} \quad \forall o,d \in N \quad (2)$$

(OD 別の線形逆需要関数)

$$cs_{o,d} = \frac{1}{2} (C_{o,d} - c_{o,d}) \cdot q_{o,d} \quad \forall o,d \in N \quad (3)$$

(OD 別の消費者余剰)

$$q_{o,d} = \sum_{l \in L_o^{\text{dep}}} \sum_{x_{o,d,l}^r} x_{o,d,l}^r \quad \forall o,d \in N \quad (4)$$

(起点ノードにおける出発交通の保存則)

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L_n^{\text{arv}}} x_{o,d,l}^r + \sum_{r' \in R} y_{o,d,n}^{r,r'} \\ & = \sum_{l \in L_n^{\text{dep}}} x_{o,d,l}^r + \sum_{r' \in R} y_{o,d,n}^{r,r'} \quad \forall r \in R, o,d \in N, n \in \{N | n \neq o,d\} \end{aligned} \quad (5)$$

(起終点以外のノードにおける交通保存則)

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in L_d^{\text{arv}}} x_{o,d,l}^r = q_{o,d} \quad \forall o,d \in N \quad (6)$$

(終点ノードにおける到着交通の保存則)

$$y_{o,d,n}^{r,r'} = 0 \quad \forall r \in R, o,d,n \in N \quad (7)$$

(同じ路線系統同士の乗り継ぎの禁止)

$$x_{o,d,l}^r = 0 \quad \forall r \in R, o,d \in N, l \in L_o^{\text{arv}} \quad (8)$$

(起点ノードへのUターンの禁止)

$$y_{o,d,n}^{r,r'} = 0 \quad \forall r,r' \in R, o,d \in N, n \in \{o,d\} \quad (9)$$

(起終点ノードでの乗り継ぎの禁止)

$$e_l^r \leq z_l^r \cdot M \quad \forall r \in R, l \in L \quad (10)$$

(トークンが流れるリンクに交通サービス設定)

$$z_l^r \leq e_l^r \quad \forall r \in R, l \in L \quad (11)$$

(トークンが流れるリンクに交通サービス設定)

$$\sum_{n \in N} a_n^r \leq 1 \quad \forall r \in R \quad (12)$$

(ダミーリンクの設定)

$$d_n^r \leq a_n^r \cdot M \quad \forall r \in R, n \in N \quad (13)$$

(存在するダミーリンクのみトークンが流れる)

$$\sum_{n \in N} d_n^r = \sum_{n \in N} s_n^r \quad \forall r \in R \quad (14)$$

(トークン量の設定)

$$\sum_{l \in L_n^{\text{arv}}} e_l^r + d_n^r = s_n^r + \sum_{l \in L_n^{\text{dep}}} e_l^r \quad \forall r \in R, n \in N \quad (15)$$

(トークンのフロー保存則)

$$\sum_{l \in L_n^{\text{arv}}} z_l^r \leq s_n^r \quad \forall r \in R, n \in N \quad (16)$$

(交通サービスが経由するノードか否か)

$$\sum_{l \in L_n^{\text{dep}}} z_l^r \leq s_n^r \quad \forall r \in R, n \in N \quad (17)$$

(交通サービスが経由するノードか否か)

$$\sum_{l \in L_n^{\text{arv}}} z_l^r + a_n^r \geq \sum_{l \in L_n^{\text{dep}}} z_l^r \quad \forall r \in R, n \in N \quad (18)$$

(到着リンク数と出発リンク数の関係)

$$f_{com}^r - F_{max}^r \left(1 - \sum_{l' \in L_l^{\text{pair}}} z_{l'}^r\right) \leq f_l^r \quad \forall r \in R, l \in L \quad (19)$$

(路線系統上の運行頻度の同一性)

$$f_l^r \leq f_{com}^r \quad \forall r \in R, l \in L \quad (20)$$

(路線系統上の運行頻度の同一性)

$$f_l^r \leq F_{max}^r \cdot \sum_{l' \in L_l^{\text{pair}}} z_{l'}^r \quad \forall r \in R, l \in L \quad (21)$$

(利用者数の容量制約)

$$\sum_{o \in N} \sum_{d \in N} x_{o,d,l}^r \leq f_l^r \cdot H^r \quad \forall r \in R, l \in L \quad (22)$$

(利用者数の容量制約)

$$F_{min}^r \leq f_l^r + F_{max}^r \left(1 - \sum_{l' \in L_l^{\text{pair}}} z_{l'}^r\right) \quad \forall r \in R \quad (23)$$

(最小運行頻度の制約)

$$f_i^r = f_j^r \quad \forall r \in R, i,j \in \{L | i,j \in L_l^{\text{pair}}\} \quad (24)$$

(運行頻度の双方の同一性)

$$\begin{aligned} & \sum_{o \in N} \sum_{d \in N} c_{o,d} \cdot q_{o,d} - h \\ & = \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} V_l^r \cdot f_l^r \\ & \quad + \sum_{o \in N} \sum_{d \in N} \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} T_l^r \cdot x_{o,d,l}^r \\ & \quad + \sum_{o \in N} \sum_{d \in N} \sum_{r \in R} \sum_{r' \in R} \sum_{n \in N} S \cdot y_{o,d,n}^{r,r'} \end{aligned} \quad (25)$$

(対象地域全体の経済的収支)

$$\begin{aligned} & z_l^r, s_n^r, a_n^r \in \{0,1\}, cs_{o,d}, c_{o,d}, q_{o,d}, x_{o,d,l}^r, y_{o,d,n}^{r,r'} \geq 0 \\ & t, d_n^r, e_l^r, f_{com}^r, f_l^r \geq 0 \\ & \forall r,r' \in R, l \in L, o,d,n \in N \end{aligned} \quad (28)$$

(2) 適用地域とパラメータ設定

本研究では、大都市圏郊外部の鉄道駅周辺を模した仮想地域（図-1）における 1 日の交通を想定した数値実験を行う。図-1 左下のひし形ノードは都心に至るための鉄道駅を、その他のノードは居住地を表す。通勤・通学・購買活動等により都心への移動需要が大きく、一方で居住地間での移動需要は相対的に小さい地域を想定している。パラメータは実社会を参考に設定した（表-2）。

(3) 既存運賃制度の本研究における定義

ここで既存運賃制度について整理し、本研究における定義を行う。一般乗合旅客自動車運送事業の運賃及び料金に関する制度⁹⁾では、運賃制度の適用基準について「一般バスの運賃の制定形態は、対キロ区間制、特殊区間制、均一制及び地帯制とし、地域別の適用基準は原則として次のとおりとし、路線の態様、旅客の流動状況等

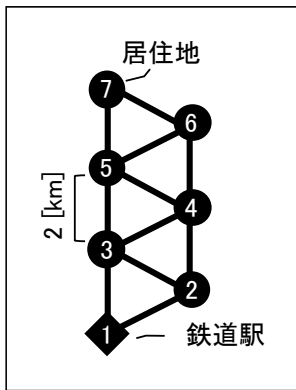


図-1 モデルを適用する仮想地域

を勘案して選択するものとする。① 都市内の路線一均一制、地帯制又は特殊区間制... (後略)」と定めている。このうち、対キロ区間制と特殊区間制と地帯制は広い意味で乗車距離に依存する運賃制度と捉えられる。また通常は初乗り運賃部分を持つため固定運賃と乗車距離に基づく可変運賃の和で構成されるため、均一制運賃は可変運賃部分の原単位がゼロの特殊な場合とみなせる。以上から本研究では、既存運賃制度に準拠する運賃体系を「固定運賃と乗車距離に比例する可変運賃の和で表せる対距離制運賃制度に準拠した運賃体系 (固定運賃と可変運賃の原単位はいずれもゼロ以上)」と定義する。

(4) 最適な運賃体系の特徴

前述のモデルとパラメータ設定を用いて数値実験を行った。結果を図-2、図-3 に示す。図-2 は設定したパラメータ下における最適 NW である。最低運行頻度で運行される大型交通の路線系統が U 字型に設定されている。1 路線系統のみであるから乗り継ぎは発生しない。本モデルでは大型交通・小型交通以外による移動を許さないため、例えばノード 6 からノード 7 へ移動するには駅ノード 1 を経由して迂回することになる。図-3 は乗車距離の異なる OD に対する最適一般化支払額とその内訳を示しており、OD 別一般化支払額から OD 別所要時間の時間価値を差し引いた金銭的運賃部分が最適運賃体系を表す。なおここでの乗車距離とは、出発から到着までの道のりのことであり、OD 間の直線距離ではないことに注意されたい。図-3 の金銭的運賃は固定運賃 (171 [円]) と乗車距離に比例する可変運賃 (負の原単位-12.8 [円/リンク]) の和で表せ、対距離制運賃であるものの可変運賃の原単位が負である点が特徴である。

負の可変運賃を含む運賃体系が最適となった理由として、本モデルが時間費用を含む一般化費用を用いて費用の発生や最適な費用分担を計算している点が挙げられる。既存の対距離制運賃制度においては、乗車距離が長いほどサービスを提供する金銭的費用が大きいことを根拠に、長距離利用者に大きな金銭的運賃の支払いを求めてきた。

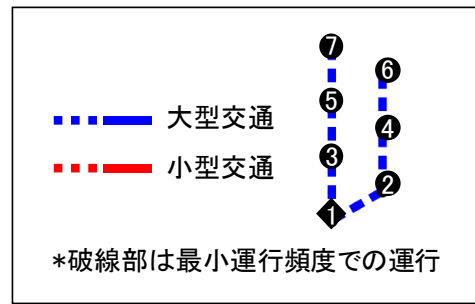


図-2 最適運賃体系時の最適 NW

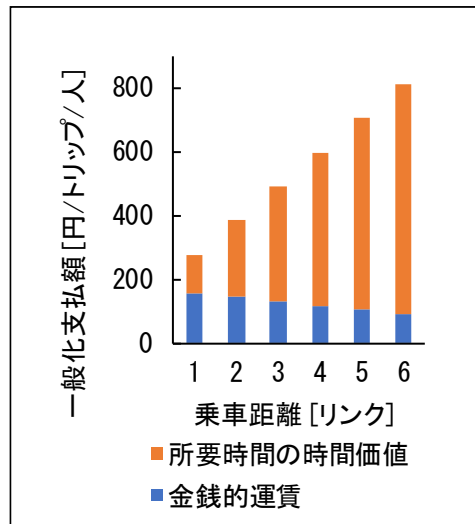


図-3 最適運賃体系時の一般化支払額の内訳

しかし、利用者は金銭的費用に比してより大きな時間費用を支払っている (図-3)。そのため距離に比例して加算される対距離制運賃は長距離移動者に過度の負担を強いており、むしろ金銭的運賃を乗車距離に応じて減ずる運賃の方が合理的である。

3. 既存運賃制度の適用による影響

2 章では数値実験から最適な運賃体系は負の原単位を持つ対距離性運賃となり、既存の標準的な運賃体系と異なることを示した。そのため、社会への最適運賃体系の適用には困難が予想される。そこで本章では、既存運賃制度へ準拠することが公共交通システムの効率性と公平性にどのような影響を与えているのか、また既存運賃制度の範囲内ではどのような運賃体系が望ましいかについて分析を行う。

効率性の指標にはモデルの目的関数である社会的総余剰を用いる。OD 別消費者余剰の地域全体の総和に交通事業者の利益を足し合わせたものであり、値が大きいほど効率性が高いことを表す。また、公平性の指標には起点居住地別の消費者余剰 (OD 別消費者余剰を駅ノード

表-5 追加する外生パラメータとその意味

| パラメータ | 意味 |
|-----------|-----------------------------------|
| p^{fix} | 金銭的運賃の均一運賃部分 |
| | *0[円]から200[円]まで20円刻みで値を変えながら計算した. |
| p^{ver} | 金銭的運賃の変換運賃部分 (乗車距離に対する原単位) |
| | *0[円]から100[円]まで10円刻みで値を変えながら計算した. |

以外の起点別に集計したもの)の分散を用いる。値が小さいほど居住地間の消費者余剰の差が小さく、公平性が高いことを表す。

既存運賃制度に準拠する運賃体系を採用した際の効率性(社会的総余剰)や公平性(起点居住地別消費者余剰の分散)を計算するためには、既存運賃制度を外生的にモデルに適用できるようにする必要がある。そこで2章1節で定式化したモデルに新たな外生パラメータ(表-5)と、金銭的運賃が運賃制度に準拠することを示す制約式(27)を追加する。なお、追加した外生パラメータの設定値は表-5に示した通りであり、値を変更しながら繰り返し計算を行った。

$$\begin{aligned}
 & c_{o,d} \cdot q_{o,d} \\
 & = p^{fix} \cdot q_{o,d} \\
 & + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} P^{ver} \cdot x_{o,d,l}^r \\
 & + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} T_l^r \cdot x_{o,d,l}^r \\
 & + \sum_{r \in R} \sum_{r' \in R} \sum_{n \in N} S \cdot y_{o,d,n}^{r,r'} \quad \forall o, d \in N
 \end{aligned} \tag{27}$$

(乗車距離に応じた運賃制度への準拠)

(1) 既存運賃制度への準拠が効率性に与える影響

前述のモデル、パラメータ設定を用い数値実験を行った。図-4は、固定運賃、可変運賃の原単位の大きさごとの実現可能な最大社会的総余剰を示している。グラフ内の各マーカーの形状は、当該パラメータ設定における最適NWと最適運賃体系時の最適NW(図-2)の相違を示している。最適NWが同一であれば、固定運賃や可変運賃原単位の大きさに依らず最適運賃体系適用時とおよそ同等(相対誤差6.3%以内)の社会的総余剰が実現される。一方で、最適NW形状が異なる場合については2つのパターンに分けられる。固定運賃0[円]~120[円]、可変運賃の原単位0[円]~70[円]の範囲で最適NWが異なるパターン①と、固定運賃120[円]~200[円]、可変運賃の原単位70[円]~100[円]の範囲で最適NWが異なるパターン②である。パターン①では収入不足から最適運賃体系時の最適NWを構築できず、より不利なNWの形成を強いられているため、社会的総余剰を大きく棄損させている。一方パターン②では社会的総余剰の大幅な減少は見られない。高い運賃設定が交通量そして消費者余剰

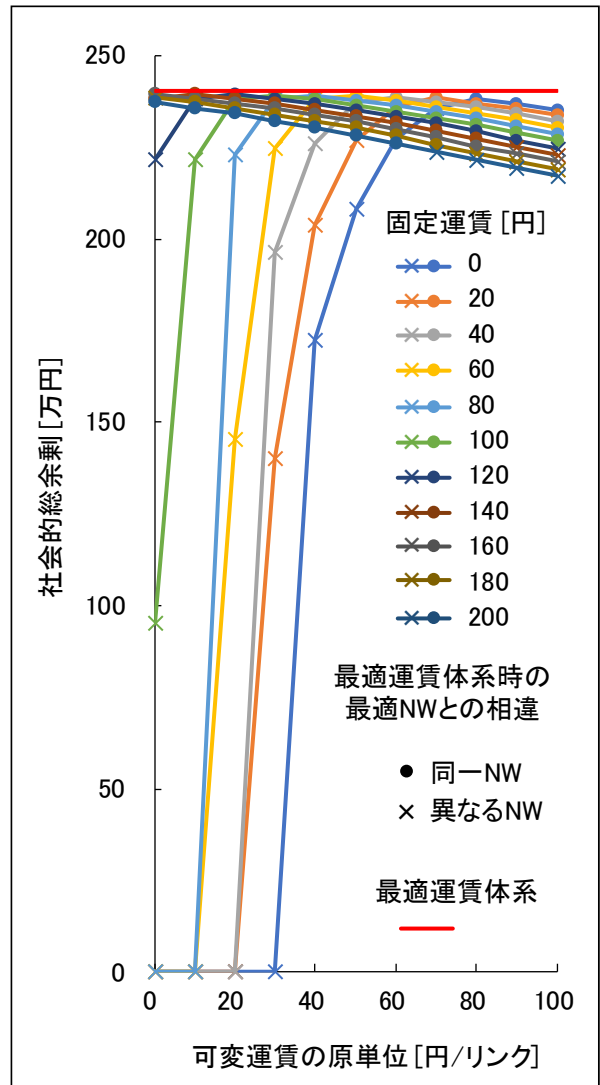


図-4 運賃体系に応じた一般化支払額の内訳

を減らす一方で、1人当たりの支払額が大きいため交通量に見合った適切なNWを実現できている。

以上より、低すぎる運賃水準により最適運賃体系時の最適NWを形成できない場合を除けば、実現する社会的総余剰にあまり大きな差は無い。そのため効率性の観点からは、必ずしも最適運賃体系にこだわる必要はなく、均一制・対距離制を問わず既存運賃制度の中で適切な運賃水準を設定すれば良いと結論付けられる。

(2) 既存運賃制度への準拠が公平性に与える影響

固定運賃の大きさごとに社会的総余剰が最大となる可変運賃原単位を選び、その組み合わせ(表-6)ごとに起点居住地別の消費者余剰の分散を計算した。結果を図-5に示す。起点居住地別の消費者余剰の分散は、最適運賃体系時に最も小さくなる。また既存運賃制度の範囲内では固定運賃200[円]・可変運賃の原単位0[円]の場合に分散が最も小さい。次いで同じく均一制運賃である固定運賃180[円]、160[円]の場合も分散が小さい。一方で対距

表-6 固定運賃ごとの最適な可変運賃原単位

| | 固定運賃 [円] | 可変運賃の原単位 [円/リンク] |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| | 0 | 80 |
| | 20 | 70 |
| | 40 | 60 |
| | 60 | 50 |
| 既存運賃制度に 準拠した 運賃体系 | 80 | 40 |
| | 100 | 30 |
| | 120 | 20 |
| | 140 | 10 |
| | 160 | 0 |
| | 180 | 0 |
| | 200 | 0 |
| (参考) 最適運賃体系 | 171 | -12.8 |

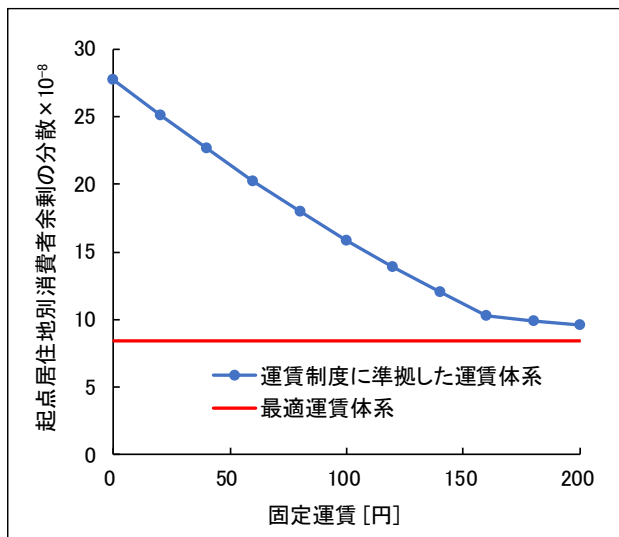


図-5 起点居住地別の消費者余剰の分散

離制運賃かつ可変運賃の原単位が大きい場合には、分散が大きくなる。

なお、図-5に示した運賃体系の最適NWは全て最適運賃適用時の最適NWと一致する。そのため、OD別消費者余剰はOD別交通量により決まり、OD別交通量は運賃体系のみにより決まる。すなわち可変運賃の原単位が大きいほど遠距離ODの運賃が大きくなり、その消費者余剰は小さくなる。また本研究のパラメータ設定では駅発着の最大移動需要を400[人/日]、居住地間の最大移動需要を15[人]としており、さらに消費者余剰は、定義より交通量の2乗に比例する。それゆえ起点居住地別の消費者余剰は、駅発着ODの交通量の大小の影響を最も強く受ける。上記を踏まえると、可変運賃の原単位が大き

いほど駅から遠い居住地の消費者余剰は小さくなり、駅に近い居住地の消費者余剰は大きくなる。

これに比べ、可変運賃の原単位がゼロの均一性運賃や原単位が負の最適運賃体系の方が、居住地間の消費者余剰の差異は小さくなる。

以上より、公平性の観点では、既存運賃制度の選択が公平性を悪化させる可能性が示された。また既存運賃制度の範囲内では均一性運賃制度が最も居住地間の消費者余剰の格差を小さくすることが示された。

4. まとめ

本研究では須ヶ間・奥村モデル⁸⁾を大都市圏郊外部の駅周辺を模した仮想地域に適用し、運賃体系を既存運賃制度に準拠させることが公共交通システムの効率性と公平性に与える影響を分析した。その結果、効率性の観点では、運賃水準が低すぎて適切なNWを維持できない場合を除けば、どのような運賃制度を適用しても最適運賃体系適用時とほぼ同様の社会的総余剰が得られることが明らかになった。しかし公平性の観点では、既存運賃制度に準拠することが居住地ごとの消費者余剰の差異を大きくする可能性がある。特に対距離制運賃制度は公平性を損ねる傾向があり、均一制運賃制度が望ましいことが明らかになった。

ただし本研究で扱った数値実験は最も基本的なケースのみである。例えば最低運行頻度を超えて運行する路線系統が在るケース、乗り継ぎが存在するケースなど多様なケースを対象に分析を行う必要がある。また数値実験だけでなく、解析的な分析による理論的な裏付けも必要である。これらは今後の課題とする。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：令和4年版交通政策白書,2022.
- 2) 国土交通省：地域公共交通計画等の作成と運用の手引き 第3版,2022.
- 3) 山内弘隆,竹内健蔵：交通経済学,有斐閣,2002.
- 4) 枝村俊郎,森津秀夫,松田宏,土井元治：最適バス路線網構成システム,土木学会論文報告集,300号,pp.96-107,1980.
- 5) 天野光三,銭谷善信,近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究,土木学会論文報告集,325号,pp.143-154,1982.
- 6) 高山純一,宮崎耕輔：バスダイヤを考慮した最適バス路線網再編計画策定に関する研究,土木計画学研究・論文集,Vol.13,pp.827-836,1996.
- 7) 高山純一,塩土圭介,宮崎耕輔：運行スケジュールを考慮したバス路線網最適化計画策定システムの構築,都市計画論文集,Vol.32,pp.547-552,1997.

- 8) 須ヶ間淳, 奥村誠 : 都市郊外部公共交通の持続可能な路線
再編 - 路線構成, 交通量, 運賃の同時最適化, 都市計画論
文集, Vol.56, No.3, pp.865-872, 2021. 金に関する制度, 2012.
- 9) 国土交通省 : 一般乗合旅客自動車運送事業の運賃及び料

(Received March 6, 2023)

FARE SYSTEM OF PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM AND IT'S EFFICIENCY AND FAIRNESS

Atsushi SUGAMA and Makoto OKUMURA

A model that simultaneously determines the generalized payment by OD and the public transportation network to maximize the total social surplus was applied to a public transportation system in a suburban metropolitan area, and the impact on efficiency and equity of applying fare systems that comply with distance-based fare system and uniform fare system were analyzed. In terms of efficiency, it was found that the total social surplus was almost the same regardless of the fare system applied, except in cases where the fare level was too low to maintain an appropriate network. On the other hand, from the viewpoint of fairness, compliance with the existing fare system may increase the difference in consumer surplus by residential area. In particular, the distance-based fare system tends to undermine the fairness, and a uniform fare system is preferable.