

集積の経済が存在する環境における公共交通の 最適運営施策

小丸 優大¹・瀬木 俊輔²・松島 格也³・須崎 純一⁴

¹学生会員 京都大学修士課程 大学院工学研究科 都市社会学専攻 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: komaru.yuudai.35m@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科 市民工学専攻 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1 - 1)

E-mail: segi@people.kobe-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 大学院工学研究科 都市社会学専攻 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: matsushima.kakuya.7u@kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学教授 大学院工学研究科 都市社会学専攻 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: susaki.junichi.3r@kyoto-u.jp

都市中心部に様々な企業や労働者を集めることによって、企業間の取引や労働者間の情報交換等を効率的に行えるようになるといった経済効果をもたらされる。この経済効果を集積の経済と呼ぶ。集積の経済が存在する環境においては、都心部で働く人を増やすために、通勤に使われる公共交通の運営に対して、何かしらの施策を実施することが望ましいと考えられる。具体的には、政府が公共交通機関に補助金を出して公共交通の運行頻度を上げたり、料金を下げたりすることによって、都心部で働く労働者の数を増やすことが挙げられる。本研究ではこのような施策の有効性を分析するために、集積の経済が存在する環境における公共交通の最適運営施策を分析した。分析に際しては、都心からの距離に応じて最適な公共交通の運営施策が変わりうることを考慮するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の2つの地区から構成された都市圏を考え、理論的なモデルを定式化した。定式化したモデルを用いて、集積の経済の存在が最適な公共交通の運営施策にもたらす影響や、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にもたらす影響を分析した。

Key Words : *district transportation plan, road planning, Transportation choice, Land use and transportation model*

1. はじめに

公共交通は現代の都市活動を支える重要な通勤手段であり、都市の発展のためには公共交通の適切な運営が求められる。公共交通の運営施策を決める上では、様々な要素を考慮する必要があるが、本研究では集積の経済に着目する。集積の経済とは、都市中心部に様々な企業や労働者を集めることによって、企業間の取引や労働者間の情報交換等を効率的に行えるようになるといった経済効果のことである。集積の経済が存在する環境においては、都心部で働く人を増やすために、通勤に使われる公共交通の運営に対して、何かしらの施策を実施することが望ましいと考えられる。具体的には、政府が公共交通機関に補助金を出して公共交通の運行頻度を上げたり、料金を下げたりすることによって、都心部で働く労働者の数を増やすことが挙げられる。

以上のような施策の有効性はすでに Daniel Horcher et al.¹⁾ の既存研究によって、理論的に確認されている。しかし、既存研究は公共交通の運営形態が都市圏内における家計の居住地選択に影響をもたらすことについては、考慮していなかった。集積の経済が存在する環境

では、都心部への通勤が容易な都心周辺部に通勤者の居住を促すことによりコンパクトシティを実現し、これにより都心部で働く人を増やすことが望ましいと考えられる。都心周辺部の居住をうながすためには、公共交通の運営形態を都心からの距離に応じて異なるものにするのが望ましいと考えられる。このような都心からの距離に応じた公共交通の運営施策の有効性については研究がなされていない。

本研究では、集積の経済が存在する環境における、都心からの距離に応じた公共交通の運営施策を分析するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の2つの地区から構成された都市圏を考え、理論的なモデルを定式化する。そのうえで、定式化したモデルを用いて数値シミュレーションを行うことによって、集積の経済の存在が、最適な公共交通の運営施策にもたらす影響や、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にもたらす影響を分析した。以下、**2.**では本研究の基本的な考え方や目的を述べ、**3.**で都心からの距離に応じて最適な公共交通の運営施策が変わりうることを考慮するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の2つの地区から構成された都市圏を考

え、理論的なモデルを定式化する。4. で定式化したモデルを使って解析結果を求め、考察を行う。最後に 5. で取りまとめを行い、今後の課題などを述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 関連する既往研究

交通経済学や都市経済学の分野では、通勤手段として使われる公共交通や道路の最適な運営施策に関する研究が数多くなされている。それらの研究の多くは、公共交通を利用する際の混雑の外部性や、公共交通と代替的な道路の混雑の外部性を考慮したうえで、公共交通の最適な運営形態や道路の最適な料金を分析している。

近年では、混雑の外部性ととも、都市の集積の経済を考慮したうえで、公共交通や道路の運営施策を分析する研究も行われている。Arnott²⁾ は、混雑と集積の外部性を考慮したモデルを用いて、最適な道路の料金を調べ、最適な料金は混雑の外部性の社会的限界費用を下回ることを示した。また、Horcher et al.¹⁾ は、公共交通と道路の最適な通行料の設定や運行頻度を分析し、集積の経済の存在下では、集積の経済を考慮せずに公共交通の運営施策が決められている場合よりも料金を低くし、運行頻度を上げるべきことを示している。

集積の経済を考慮した実際の公共交通の運営施策に関する研究もなされている。Parry et al.³⁾ は、ワシントン D.C のバスの最適な料金の設定や補助金制度について、混雑と集積の外部性を考慮したモデルを用いて分析し、料金の引き下げがほとんどのケースで社会的余剰の増加につながるため、ピーク時には、公共交通への補助金を増やし、通行料を引き下げるべきだとの見解を述べている。Borjesson et al.⁴⁾ は、ストックホルム都市圏における公共交通機関の改善が都市への人口の集積をもたらす、それによって都市の生産性が向上するので、公共交通機関の改善が求められることを示した。また、Kilani et al.⁵⁾ は、公共交通機関の料金が非常に低く、道路には料金が課されていないという政策を採用しているパリにおける公共交通と民間交通の価格設定を分析した。

(2) 本研究の目的と分析の方針

以上でレビューした研究は、集積の経済が存在する環境における、公共交通や道路の最適運営施策を求めることを目的としている。しかし、これらの研究では、公共交通の運営形態が都市圏内における家計の居住地選択に影響をもたらすことについては、考慮されていない。集積の経済が存在する環境では、都心部への通勤が容易な都心周辺部に通勤者の居住を促すことによりコンパクトシティを実現し、これにより都心部で働

く人を増やすことが望ましいと考えられる。

実際、コンパクトシティ施策の有効性について、集積の経済の観点から分析を行った研究が存在している。Graham et al.⁶⁾ は集積の経済の存在する環境における輸送費の削減の便益を分析することにより、Wider Economic Impacts (WEIs) について考察し、集積の経済を考慮した場合、都市はよりコンパクトになる(都心に通勤者を集める)べきことを示した。また、Burgess⁷⁾ は、世界全体で持続可能な都市社会を考え、コンパクトシティを目指すべきだということを主張した。ただし、これらの研究では、公共交通や道路の運営施策は分析されていない。

本研究では、集積の経済が存在する環境における、都心からの距離に応じた公共交通の運営施策を分析するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の2つの地区から構成された都市圏を考え、理論的なモデルを定式化する。定式化したモデルを用いて数値シミュレーションを行うことによって、集積の経済の存在が最適な公共交通の運営施策にもたらす影響や、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にもたらす影響を分析する。

3. モデルの定式化

(1) 概説

集積の経済が最適な公共交通の運営施策にどのような影響をもたらすのか、また、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にどのような影響をもたらすのかを分析するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の2つの地区から構成された都市圏を考え、理論的なモデルを定式化する。

(2) 地域の設定

都心部からの距離を考慮するために、図1のように都心に近い地区(地区1)と都心から離れた地区(地区2)の2つの地区から構成される都市を考える。

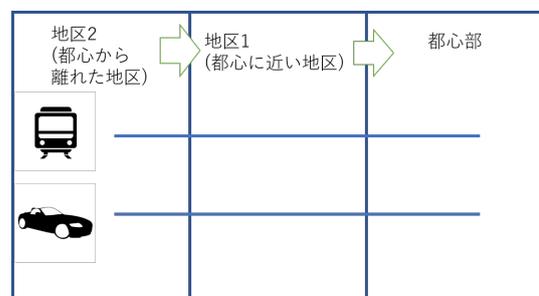


図-1 本研究の地域設定

この二つの地区内に、総人口 \bar{N} の家計が存在している。各家計は、居住地について二つ、通勤手段について

三つの選択肢を有している。居住地の選択肢は、地区 1 と地区 2 の二つであり、都心部には居住しない。通勤手段の第一の選択肢は、公共交通を使って都心部に通勤する。第二の選択肢は、車を使って都心部に通勤する。第三の選択肢は、都心部には通勤せず、居住している地域で働く。家計はこれらの選択肢の中から自由に選択を行える。それぞれの地区の土地の供給量は一定に与えられており、家計の住宅地面積は、その供給量を居住する人数で均等に分割したものになる。公共交通や道路の運営は政府が行う。公共交通と道路は共に都心部から地域 2 まで直線状につながれている。都心部から地区 1(以下、区間 1 とする) と地区 1 から地区 2(以下、区間 2 とする) の料金と運行頻度は個別に設定できる。

(3) モデルの定式化

初めに家計の効用関数を定式化する。家計は、働くことにより得る賃金を所得とし、この所得を合成財と土地の消費に支出して効用を得る。家計の効用関数 U を下の式で定義する。

$$U = z + \alpha \ln h \quad (1)$$

z は合成財の消費額であり、 h は住宅地面積の消費量を表している。 α は家計の住宅地面積の消費量に関するパラメータである。地価を q で表すと、家計は所得である賃金 w を合成財と土地の消費に支出するので

$$z + qh = w \quad (2)$$

が成り立つ。式 (2) の z を式 (1) に代入すると式 (3) が得られる。

$$U = w - qh + \alpha \ln h \quad (3)$$

家計は効用 U を最大化するように住宅地面積の消費量 h を決定するため、式 (3) を h について微分して、一次の最適性条件を導くと、最適な住宅地面積の消費量は、式 (4) のように表される。

$$h = \frac{\alpha}{q} \quad (4)$$

この h を式 (3) に代入すると、家計の間接効用関数は式 (5) のように表される。

$$U = w - \alpha \left(1 + \ln \frac{q}{\alpha}\right) \quad (5)$$

この間接効用関数を用いて、居住地選択を考慮した家計の効用関数を定式化する。家計が地区 i に居住し、通勤手段 k を選択した場合の効用を u_{ik} で表し、式 (6) から (11) で定義する。通勤手段 k の選択肢は三つ存在し、 r は公共交通を利用した都心部への通勤、 c は自家用車を利用した都心部への通勤、 l は都心部に通勤せず、居住している地域で働く選択を表す。地区 2 に居住する家計が地区 1 に通勤するような選択は考えない。

$$u_{1r} = w - (k_r + p_1) - \beta t_{1r} - \phi_1 + \bar{u}_1 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_1}{\alpha}\right) \quad (6)$$

$$u_{1c} = w - (k_c + c_1 + \tau_1) - \beta t_{1c} + \bar{u}_1 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_1}{\alpha}\right) \quad (7)$$

$$u_{1l} = \bar{w}_l + \bar{u}_1 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_1}{\alpha}\right) \quad (8)$$

$$u_{2r} = w - (k_r + p_1 + p_2) - \beta t_{2r} - (\phi_1 + \phi_2) + \bar{u}_2 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_2}{\alpha}\right) \quad (9)$$

$$u_{2c} = w - (k_c + c_1 + c_2 + \tau_1 + \tau_2) - \beta(t_{1c} + t_{2c}) + \bar{u}_2 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_2}{\alpha}\right) \quad (10)$$

$$u_{2l} = \bar{w}_l + \bar{u}_2 - \alpha \left(1 + \ln \frac{q_2}{\alpha}\right) \quad (11)$$

賃金は都心部で働く場合と、それ以外の地区(郊外)で働く場合で異なる。 w は都市中心部で働く場合の賃金、 \bar{w}_l は郊外で働く場合の賃金を表す。家計は通勤の際に、公共交通の料金などの金銭的負担や、通勤時間の機会費用、混雑による不効用などの、通勤費用を負担する。初めに公共交通を選ぶ場合の通勤費用について述べる。公共交通で通勤する場合には、駅まで歩く時間などの、公共交通の乗車時間や料金と無関係な不効用が存在する。その不効用を定数 k_r で表す。区間 i ($i=1, 2$) の公共交通の料金を p_i 、乗車時間を t_{ir} 、混雑の不効用を ϕ_i で表す。 β は時間価値を表すパラメータである。地区 2 に居住する人は、都心部に通勤する際には地区 1 を通るので、区間 1 と区間 2 の双方の通勤費用を負担する。自家用車で都心部へ通勤する場合には、自家用車の購入費や駐車場代などが生じる。その費用を定数 k_c で表す。区間 i の道路の料金を τ_i 、当該区間を通る際の燃料費を c_i で表す。居住している地域で働く場合は、通勤費用は生じない。 \bar{u}_1 、 \bar{u}_2 は居住地の生活環境を表すパラメータである。

式 (6) から式 (11) の効用関数に含まれる通勤時間 t_{ik} は、公共交通であれば運行頻度、車であれば道路の混み具合によって変化する。また、公共交通の混雑の不効用は、公共交通の利用者数によって変化する。区間 i 、通勤手段 k の通勤時間 t_{ik} と、混雑の不効用を ϕ_i を式 (12) から式 (17) のように表す。 N_{ik} は、居住地 i 、通勤手段 k を選択する人数である。

$$t_{1r} = t_{1v} + \frac{1}{2f_1} \quad (12)$$

$$t_{2r} = t_{1v} + t_{2v} + \frac{1}{2f_2} \quad (13)$$

$$\phi_1 = \bar{\phi}_1 \left(\frac{N_{1r} + N_{2r}}{f_1} \right)^\gamma \quad (14)$$

$$\phi_2 = \bar{\phi}_2 \left(\frac{N_{2r}}{f_2} \right)^\gamma \quad (15)$$

$$t_{1c} = t_{1f} \left[1 + 0.15 \left(\frac{N_{1c} + N_{2c}}{K_1} \right)^4 \right] \quad (16)$$

$$t_{2c} = t_{2f} \left[1 + 0.15 \left(\frac{N_{2c}}{K_2} \right)^4 \right] \quad (17)$$

公共交通の運行頻度が多くなるのに伴い、公共交通の待ち時間が減少するため、公共交通の通勤時間は短くなる。地区 i から出発する際の公共交通の待ち時間は $\frac{1}{2f_i}$ により表される。 t_{iv} は区間 i の乗車時間を表す定数である。公共交通の通勤時間は、乗車時間と待ち時間の合計値として表される。区間 i の混雑の不効用 ϕ_i は式 (14), (15) により表される。 ϕ_i は、区間 i の乗車人数 N_{ir} について増加し、運行頻度 f_i について減少する。 $\bar{\phi}_i$ は、混雑の不効用の大きさを表すパラメータであり、 γ は、乗車人数の増加に伴う混雑の不効用の増加量に関するパラメータである。自家用車を利用する際の区間 i の旅行時間 t_{ic} は、当該区間の交通量について増加し、道路交通容量 K_i について減少する。 t_{if} は、自由交通流における区間 i の旅行時間を表す定数である。

集積の経済が存在する環境においては、都心部で働く人が増えると、都心部の生産性が向上するといった経済効果が生じる。そこで、都心部で働く人の数に応じて、都心部の賃金が増加するというモデルにより、集積の経済を表現する。集積の経済の強さを表すパラメータを η で表し、都心部で働く人の賃金を式 (18) で示す。

$$w = a(N_{1r} + N_{1c} + N_{2r} + N_{2c})^\eta \quad (18)$$

a は、都心部の賃金の大きさに関わるパラメータである。

本研究では、家計の居住地として使用される土地は不在地主によって供給され、その供給量は一定であると考えられる。それぞれの地区の土地の需給均衡を以下の式で表す。

$$\frac{\alpha}{q_1}(N_{1r} + N_{1c} + N_{1l}) = \bar{H}_1 \quad (19)$$

$$\frac{\alpha}{q_2}(N_{2r} + N_{2c} + N_{2l}) = \bar{H}_2 \quad (20)$$

\bar{H}_i は、地区 i の土地の総供給量であり、左辺が土地の総需要量を表している。 $\frac{\alpha}{q_i}$ は、式 (4) で表される一人当たりの土地消費量である。

それぞれの地区に住む家計の人数を定式化する。家計は、居住地 i と通勤手段 k を選んだ際の効用 u_{ik} に応じて、ロジットモデルに従い選択を行う。その結果、各選択肢を選ぶ家計の数は以下の式で表される。

$$N_{1r} = \frac{e^{\theta u_{1r}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (21)$$

$$N_{1c} = \frac{e^{\theta u_{1c}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (22)$$

$$N_{1l} = \frac{e^{\theta u_{1l}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (23)$$

$$N_{2r} = \frac{e^{\theta u_{2r}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (24)$$

$$N_{2c} = \frac{e^{\theta u_{2c}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (25)$$

$$N_{2l} = \frac{e^{\theta u_{2l}}}{e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}} \bar{N} \quad (26)$$

θ はロジットモデルの分散パラメータであり、 \bar{N} は総人口である。

社会的に最適な公共交通の運営施策を求めめるためには、社会的総余剰を定義する必要がある。社会的総余剰を考える際には、家計の総効用だけではなく、公共交通や道路の運営主体である政府の余剰や、地主の収入も考慮しなければならない。家計の総効用 V は、各個人が得られる効用の総和であり、下式の期待最大効用の形で表す。

$$V = \frac{\bar{N}}{\theta} \ln [e^{\theta u_{1r}} + e^{\theta u_{1c}} + e^{\theta u_{1l}} + e^{\theta u_{2r}} + e^{\theta u_{2c}} + e^{\theta u_{2l}}] \quad (27)$$

公共交通や道路の運営は政府が行っているため、政府の収入 R は、料金収入から公共交通の運営費を引いたものになる。よって、 R は、以下の式で表される。

$$R = p(N_{1r} + N_{2r}) + p_2 N_{2c} + \tau_1(N_{1c} + N_{2c}) + \tau_2 N_{2c} - z_1 f_1^\omega - z_2 f_2^\omega \quad (28)$$

$z_i f_i^\omega$ は、区間 i の公共交通の運営費を表す。 z_i は、区間 i の公共交通の運営の費用の大きさを表すパラメータであり、 ω は、運行頻度の増加に伴う公共交通の運営費用の増加の大きさに関わるパラメータである。

社会的総余剰 W は、通勤者の総効用、政府の余剰、地主の収入を足し合わせたものになり、下式のように表される。

$$W = V + MCPF \cdot R + q_1 \bar{H}_1 + q_2 \bar{H}_2 \quad (29)$$

$MCPF$ は、公的資金の限界費用の乗数であり、課税がもたらす死荷重の大きさを表す。以上の社会的総余剰の定義を基に、料金と運行頻度を決定する最適化問題を定式化する。

$$\max W \quad (30)$$

$$\text{s.t. Equations (6)-(29)}$$

集積の経済の強さを表すパラメータ η の値を変化させながら、式 (30) の最適化問題を解き、公共交通の最適な運営施策と、道路の最適な料金設定を求めると、これにより、集積の経済の存在が最適な公共交通の運営施策にもたらす影響や、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にもたらす影響を分析する。

4. 分析結果

本章では、前章で定式化した社会的総余剰の最大化問題を数値的に解くことにより分析を行い、分析結果を基に考察を行う。モデル中のパラメータの値は、表-1のように設定した。

(1) 公共交通と道路の最適運営施策

集積の経済の強さを表すパラメータ η の値と、最適な料金・公共交通の運行頻度の関係を図-2、図-3に示す。図-2は、 η と区間 i の公共交通の料金 p_i 、道路の料金 τ_i の関係を表すグラフである。図-3は、 η と区間 i の公共交通の運行頻度 f_i の関係を表すグラフである。

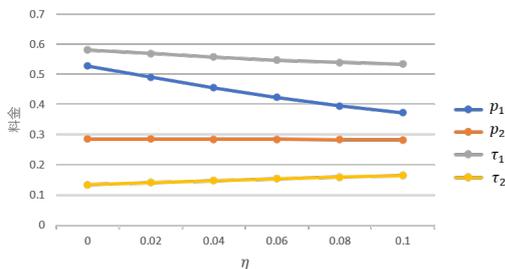


図-2 η と最適な料金の関係

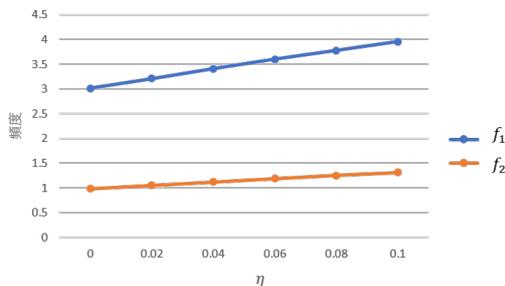


図-3 η と最適な運行頻度の関係

これらのグラフから、集積の経済の存在が公共交通や道路の最適運営施策に与える影響は、区間 1 と区間 2 の間で異なることが読み取れる。都心部に近い地区の運営については、集積の経済の効果が大きくなるのに伴い、公共交通の料金 p_1 と道路の料金 τ_1 を下げて、運行頻度 f_i を上げるべきであることが示されている。これは、先行研究でも示されているように、集積の経済が存在する環境においては、都心で働く人の数を増やし、都市の生産性を向上させることが望ましいためである。特に公共交通については、利用者が増えても混雑の不効用が大きく増加しないことから、道路と比べて大幅に料金を下げるべきであることが示された。より具体的に述べると、各公共交通や道路の料金を下げるにより、当該交通手段を利用して都心に通勤する人の数を増やすことができるが、この際に、当該交通手段の混雑が悪化する。このとき、公共交通と道路の間で、混雑がもたらす費用の増加量を比較する。公共交通の場合は、式 (16), (17) に示すように、利用者

数の γ 乗に比例して混雑の不効用が増加する。道路の場合には、式 (14), (15) に示すように、利用者の 4 乗に比例して旅行時間が増加する。本研究では、公共交通では利用者が増えても混雑が生じにくい状況を想定しており、 $\gamma=2$ と設定している。そのため、 η が増加した際には、多くの通勤客を公共交通に誘導することが望ましく、公共交通の運賃を大きく下げることが最適になっている。また、公共交通は、運行頻度を上げることによって混雑を和らげることができることも、通勤者の公共交通への誘導が望ましい理由の一つである。区間 2 の都心部から離れた地区の公共交通と道路の運営については、集積の経済は大きく影響しないが、この区間では、 η の増加に伴い、料金 p_2 , τ_2 を少し上げ、運行頻度 f_2 を少し増やすことが最適となる。この結果は、地区 2 の住民に不便を強いているわけではないことに留意する必要がある。地区 2 の住民が都心に通勤する際の料金は p_1+p_2 や $\tau_1+\tau_2$ と表されるため、地区 2 の住民も料金が下がる恩恵は受けられる。 η の増加に伴い、区間 1 の料金が大きく低下し、運行頻度が大きく増加した理由は、集積の経済が強くなるにつれて、集積の効果による都心部で働く人の賃金上昇が社会的総余剰 W に占める割合が大きくなるので、都心部で働く人を増やすことが求められる。そのために、区間 1 の公共交通の利便性を大きく上げ、地区 1 に居住する家計の数を増やすことが望ましいからである。以上より、集積の経済が存在する環境においては、よりコンパクトな都市構造を実現するために、区間 1 の公共交通と道路の利便性を上げて、都心部の近隣に居住し、都心部に通勤する人の数を増やすような施策が望ましいと言える。一方、区間 2 の公共交通と道路の運営に関しては、集積の経済の存在下においても、利便性を上げる必要はあまり無い。ただし、区間 1 の利便性が増すため、結果として、地区 2 の住民も都心への通勤費用が下がるという間接的な恩恵を得られる。

(2) 家計の居住地・通勤手段選択の変化

続いて、公共交通と道路の最適運営施策の変化に伴う家計の居住地・通勤手段選択の変化の分析を行う。図-4は、集積の経済の強さを表すパラメータ η と地区 i に居住する人数 N_i の関係を表すグラフである。図-5は、集積の経済の強さを表すパラメータ η と地区 i から都心部に通勤する人数 NT_i の関係を表すグラフである。

図-4 から、集積の経済の効果が強くなるのに伴い、地区 1 の人口が増えて地区 2 の人口が減ることが分かる。これは区間 2 の公共交通と道路の利便性はあまり変わらないが、区間 1 の道路や公共交通の利便性が大きく上がったので、地区 2 から地区 1 への人口移動が生じるためだと考えられる。図-5からは、それぞれの地区

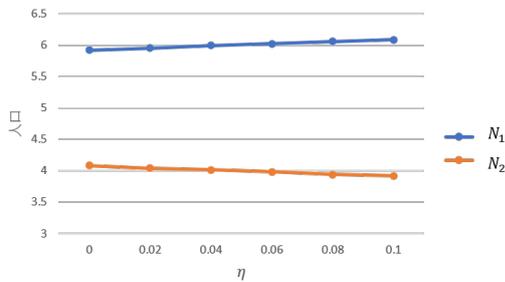


図-4 η と総人口の関係

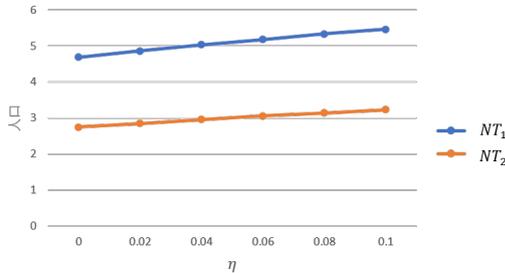


図-5 η と都心部への通勤者の関係

から都心部へ通勤する人の数は、いずれの地区においても集積の経済の効果が強くなるのに伴い、増加していることが読み取れる。これは集積の経済の効果が強くなり、区間 1 の公共交通と道路の利便性を上げるような施策が実施されるためである。その結果、地区 1 から都心部へ通勤する人の数は多くなる。また、地区 2 から都心部に通勤する人も、通勤の際には地区 1 を通るので、間接的に区間 1 の道路や公共交通の利便性が上がるメリットを享受する。以上の理由から地区 1 だけでなく、地区 2 から都心部に通勤する人の数も増える。また、このことから、地区 1、地区 2 のいずれにおいても都心部に通勤せずに働く人が減っていることが分かる。

(3) 家計の効用，社会的総余剰，政府の余剰

最後に住民の総効用，社会的総余剰，政府の余剰についての分析を行う。図-6 は、集積の経済の強さを表すパラメータ η と通勤者の総効用 V ，社会的総余剰 W の関係を表している。図-7 は、集積の経済の強さを表すパラメータ η と政府の余剰 R の関係を表している。

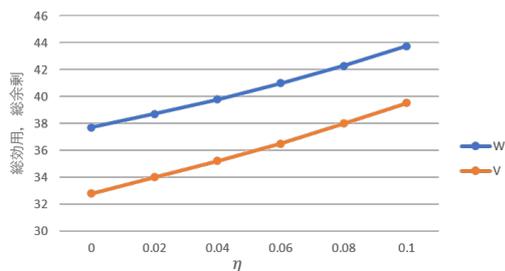


図-6 η と総効用，総余剰の関係

住民の総効用は、集積の経済の効果が強くなるのに伴い、都心部の賃金が上昇するので、増える。次に、図-7

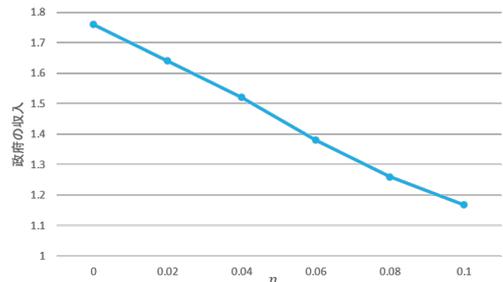


図-7 η と政府の収入の関係

に示す政府の余剰についての考察を行う。集積の経済の効果が強くなるのに伴い、都心部への通勤を促すために公共交通と道路の料金を下げ、公共交通の運行頻度を上げる施策が求められる。このとき、公共交通の運行頻度を上げることにより、運営費が増大し、料金を下げることにより、収入の減少が生じるため、政府の余剰は減少する。一方で、図-6 の社会的総余剰 W のグラフより、集積の経済の効果が強くなるのに伴い、社会的総余剰は増加している。このことから、集積の経済の効果が強くなるのに伴い、政府の収入は減少するものの、家計の総効用はそれ以上に増加することが確認できる。以上より、集積の経済の存在が存在する環境においては、都心部と都心部に近い地区間の公共交通の利便性を向上させる施策が望ましく、政府はこの施策の実現のために、公共交通に対して補助金を支出すべきであることが示された。

5. おわりに

本研究では、集積の経済が存在する環境における、都心からの距離に応じた公共交通の運営施策を分析するために、都心に近い地区と都心から離れた地区の 2 つの地区から構成された都市圏を考え、理論的なモデルを定式化した。そのうえで、定式化したモデルを用いて数値シミュレーションを行うことによって、集積の経済の存在が、最適な公共交通の運営施策にもたらす影響や、これによる運営施策の変化が家計の居住地選択や通勤手段選択にもたらす影響を分析した。分析の結果、集積の経済の影響がない時と比べて、都心に近い地区の公共交通の利便性を上げる施策が望ましく、政府はこの施策の実現のために、公共交通に対して補助金を支出すべきであること、および、都心から離れた地区の公共交通の利便性は大きく変化させる必要がないことが分かった。

最後に本研究に関する今後の課題を提示する。第一に集積の経済が存在しない環境との比較を行うことである。本研究では、都心部で働く人の数に応じて、都心部で働く人の賃金が増加するというモデルにより、集積の経済を表現した。しかし、都心部で働く人の賃金が増加することは、集積の経済が存在しない環境におい

表-1 変数一覧

変数	値	意味
k_r	0.2	公共交通を使う際の駅まで歩く時間等の不効用
k_c	0.2	車を使う際の維持費等の不効用
\bar{u}_1	0.4	地区 1 の住環境の良さを表すパラメータ
\bar{u}_2	0.3	地区 2 の住環境の良さを表すパラメータ
β	0.4	時間価値を表すパラメータ
\bar{w}_l	1.2	郊外で働く場合の賃金
θ	1.0	ロジットモデルの分散パラメータ
c_1	0.1	区間 1 を自家用車で移動する際の燃料費
c_2	0.1	区間 2 を自家用車で移動する際の燃料費
\bar{N}	10.0	総人口
\bar{H}_1	4.0	地区 1 の土地の供給量
\bar{H}_2	5.0	地区 2 の土地の供給量
z_1	1.0	区間 1 の公共交通の運営の費用の大きさを表すパラメータ
z_2	1.0	区間 2 の公共交通の運営の費用の大きさを表すパラメータ
ω	0.6	運行頻度の増加に伴う公共交通の運営費用の増加に関わるパラメータ
$MCPF$	1.066	公的資金の限界費用の乗数
t_{1v}	0.5	区間 1 の公共交通の乗車時間
t_{2v}	0.5	区間 2 の公共交通の乗車時間
t_{1f}	0.5	区間 1 の混雑がない場合の車での通勤時間
t_{2f}	0.5	区間 2 の混雑がない場合の車での通勤時間
K_1	3.0	区間 1 の道路容量
K_2	1.5	区間 2 の道路容量
$\bar{\phi}_1$	0.1	区間 1 の公共交通の混雑の不効用
$\bar{\phi}_2$	0.1	区間 2 の公共交通の混雑の不効用
α	0.3	家計の住宅地面積の消費量に関するパラメータ
a	3.0	都心部の賃金の大きさに関わるパラメータ
η	$\eta \in \{0, 0.02 \dots 0.1\}$	集積の経済の強さを表すパラメータ

でも、都心部の賃金の大きさに関わるパラメータ a を増加させることによって、表現することができる。したがって、集積の経済が存在しない環境との比較を行うために、集積の経済の強さを表すパラメータ η を一定にし、都心部の賃金の大きさに関わるパラメータ a を増やした場合の公共交通の最適運営施策にもたらす影響を分析する必要がある。第二に道路に料金を課さない場合を考えることである。本研究では、政府が道路の料金を設定できることを仮定した。しかし、現実的には、高速道路以外では道路に料金を課していない地区が多い。したがって、道路の料金を 0 に固定して分析を行う必要がある。第三にテレワークを考慮することである。近年では、テレワークも働き方の一つとして、導入が進んでいる。本研究では、都心に通勤する際の通勤費用の増大によって、混雑の不効用を表現した。しかし、テレワークを行った際には、通勤を行わ

ないので、混雑の不効用は生じない。そのため、テレワークを考慮したモデルを新たに定式化することが出来れば、より汎用性が高まる。

参考文献

- 1) Daniel Horcher, Bruno De Borger, Woubit Seifu, Daniel J. Graham: Public transport provision under agglomeration economies: *Regional Science and Urban Economics*, Vol.81, 103503, March 2020.
- 2) Richard Arnott: Congestion Tolling With Agglomeration Externalities: *Journal of Urban Economics*, Vol.62, Issue 2, pp.187-203, September 2007.
- 3) Ian W.H.Parry and Kenneth A.Small: Should Urban Transit Subsidies Be Reduced?: *American Economic Review*, Vol.99, No.3, pp.700-724, 2009.
- 4) Maria Borjesson, Gunnar Isacson, Matts Andersson, Christer Anderstig: Agglomeration, productivity and the role of transport system improvements: *Economics*

- of Transportation*, Vol.18, pp.27-39, June 2018.
- 5) Moez Kilani, Stef Proost, Saskia van der Loo: Road pricing and public transport pricing reform in Paris: complements or substitutes?:*Economics of Transportation*, Vol.3, Issue 2, pp.175-187, June 2014.
- 6) Daniel J. Graham, Stephen Gibbons: Quantifying Wider Economic Impacts of agglomeration for transport appraisal: Existing evidence and future directions:*Economics of Transportation*, Vol.19, 100121, September 2019.
- 7) Rod Burgess: The Compact City Debate: A Global Perspective: Compact Cities:*Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, pp.22-37, 2000.

OPTIMAL MANAGEMENT MEASURES FOR PUBLIC TRANSPORTATION IN THE ENVIRONMENT WITH AGGLOMERATION ECONOMY

Yuudai KOMARU, Syunsuke SEGI, Kakuya MATSUSHIMA and Junichi SUSAKI

Because of gathering various companies and workers in the center of the city, economic effects such as efficient transactions between companies and information exchange for workers will be brought about. This economic effect is called an agglomeration economy. In an environment where an agglomeration economy exists, it is desirable to implement some measures for the operation of public transportation used for commuting in order to increase the number of people working in the city center. Specifically, the government will subsidize public transportation to increase the frequency of public transportation and reduce the tolls to increase the number of workers working in the city center. In this study, in order to analyze the effectiveness of such measures, we analyzed the optimal management measures for public transportation in an environment where an agglomeration economy exists. In the analysis, in order to consider that the optimal public transportation management policy may change depending on the distance from the city center, I consider a metropolitan area consisting of two areas, one near the city center and the other far from the city center, and formulate theoretical model. I analyzed the effects of the existence of economies of agglomeration on the optimal public transportation management measures, and the effects of these changes in management measures on households' choice of residence and commuting mode.