

早稲田大学 大学院 商学研究科
博士（商学）学位申請論文（本審査）

2018年10月29日

交通市場の外部性と政策分析

高橋 達

目次

第 1 章 序論	1
1.1. はじめに	1
1.2. 外部性の定義	2
1.3. 論文の構成	3
参考文献	6
第 2 章 都市近郊空港における航空機騒音のコストの推計 —航空機騒音の計測誤差による推計バイアス—	7
2.1. はじめに	7
2.2. 先行研究	9
2.3. データ	11
2.4. Measurement Error による推計バイアスと Lewbel (2012)の方法	16
2.5. 結果	17
2.6. 結論	23
2.A. 補論 福岡空港第二滑走路増設に伴う騒音コストの推計	25
参考文献	27
第 3 章 航空機騒音による外部不経済が存在する下での国際空港の運営形態競争	29
3.1. はじめに	29

3.2. モデルの環境とゲームのステップ	30
3.3. 航空会社の問題	32
3.4. 空港の問題	32
3.5. 空港の運営形態の決定	39
3.6. 結論	41
参考文献	43

第 4 章 道路に関連する新規とメンテナンス投資配分の変更がマクロ経済に与える影響	44
4.1. はじめに	44
4.2. 先行研究	45
4.3. モデル	48
4.4. シミュレーション	50
4.5. まとめと課題	59
4.A 補論 シミュレーションに用いたデータと R プログラム	61
参考文献	66

第 5 章 規制が招く二重のロス —東京地区におけるタクシー規制改革の政策評価—	67
5.1. はじめに	67
5.2. モデル	69
5.3. シミュレーション	74
5.4. 結論	85

5.A. 補論	87
参考文献	109
第 6 章 結語	110

第1章 序論

1.1. はじめに

交通市場には価格や数量などに関する経済的規制だけでなく、安全・品質に関する社会的規制を含め、様々な規制が課されている。また、道路や空港のなどの交通インフラは、政府により整備される場合が多い。交通事業に対する政府の介入が多いのは、「交通が一般市民にとって非常に身近なものであるため政治化しやすいからである」(金本, 1995) との指摘もあるものの、交通サービスの特徴が市場の失敗と結びつきやすいことも一因であろう。

交通に関する市場の失敗には、自然独占(規模の経済)、外部性などが挙げられる。道路、鉄道、港湾、空港などは、資本設備が巨額であるため規模の経済が働きやすい。そのため、道路や鉄道における規模の経済性の推計や費用逓減産業における運賃・料金論などに関する研究は数多く存在する。

一方で、交通市場における外部性については、交通の社会的費用に関する議論の中で主に検討されてきた。1950年代以降に自動車交通が急激に広まると、交通事故、混雑、大気汚染などの外部不経済に対する負担が実感として認識されるようになった。そのような中で、わが国を代表する理論経済学者であった宇沢弘文は1974年に出版した『自動車の社会的費用』において、市民の基本的権利の確立を目指す立場から自動車交通による社会的費用(自動車利用者が直接的に負担していない費用)の推計を試みた。宇沢(1974)は新書であったため、広く一般世間からの注目を集めたこともあり、内容の批判を含め、わが国における交通の社会的費用の定義やその費用負担のあり方についての議論のきっかけとなったといえる。

交通経済学や環境経済学などの応用経済学における外部性に関する研究は、大きく二つに分類できる。一つは、環境汚染のような外部性の価値(外部費用、社会的費用)を計測する研究である。騒音や大気汚染などの環境汚染は市場で直接取引されていないので、価値を計測することが困難である。そのため、環境の価値を計測する方法として、ヘドニック法、仮想評価法など様々な方法が考案されてきた。しかし、それらの方法にも依存として様々な課題が存在する。例えば、環境汚染に関するデータは、必ずしも価値の計測を目的に作成されているわけではないので、計測誤差を含む近似値であるとみなす方が現実的な場合が多い。このような計測誤差は、環境価値の推計に大きな影響をもたらす可能性がある。

もう一つは、外部性がある場合に規制政策や交通インフラ投資が経済に与える影響を分析する研究である。ここで、交通市場の外部性は、交通の特性のため影響が複雑になる場合が多い。例えば、航空のように寡占(複占)を想定できる場合、外部性を補正するための規制は事業者間の戦略的要因を考慮する必要がある。また、タクシー市場では、タクシーも旅客も都市の様々な場所で互いを探すために時間を費やしている。そのような場合、運賃や参入規制には各地区におけるタクシーや旅客の待ち時間を通じた影響が存在する。

以上の問題意識の下、本論文は、交通市場(航空、道路、タクシー)を対象に外部性の価値の計測に関する課題と外部性がある場合に規制政策が経済に与える影響に関して4つの

問題を検討する。

1.2. 外部性の定義

各章において着目する外部性やその問題を検討するにあたり、外部性の定義を整理する。一般的に外部性とは「ある経済主体が財を生産したり消費したりする行為が、他の経済主体に対して付随的な効果を—望ましいものにせよ望ましくないものにせよ—を、市場機構を媒介することなく及ぼす現象」(奥野・鈴木, 1988) のことをいう。しかし、その定義については、様々な研究者により試みられ、議論がなされてきた (Cornes and Sandler, 1987)。以下では、外部性の古典的な定義として、Meade (1973) と Scitovsky (1954) によるものを紹介する。

Meade (1973) は外部性を以下のように定義した。

“An external economy (diseconomy) is an event which confers an appreciable benefit (inflicts an appreciable damage) on some person or persons who were not fully consenting parties in reaching the decision or decisions which led directly or indirectly to the event in question.”

「外部経済(不経済)とは問題となる出来事を直接的または間接的に導いた決断にいたる際に、必ずしも完全に合意していなかった人(人々)に多大な便益(ダメージ)を与える出来事のことをいう。」

この定義の特徴の一つは、他の経済主体に付随的な効果を与える行為の制度的枠組みに制限がないことである。つまり、他の経済主体の行為により影響を受ける主体が、それに合意しているか、否かがポイントであり、その行為を市場取引に限定していない。例えば、Meade は奴隷制による強制労働も外部不経済の一例としている。これは、奴隷の使役者と奴隷の間に労働に関する合意は存在しないにも関わらず、奴隷は労働を強制されており、多大なダメージを受けているからである。

この例からもわかるように、Meade の定義のもう一つの特徴は、その範囲が極めて広く、他の研究者では外部性と呼ばないようなものも含んでいることである。例えば、Meade が *real-income externality* と表現した外部性は、ある財に対する社会全体における限界費用と限界価値が一致していない状態のことをいうが、その要因には、市場の欠落だけでなく、課税や独占までも含まれている。

一方で、Scitovsky (1954) は市場での取引を基準として外部性を整理した。Scitovsky は外部性として「財・サービスの生産・消費に伴って、その財の生産者・消費者以外の者に生じる利益あるいは損失」(藤井, 1985) を想定し、それが市場を経由して生じるか、経由せず生じるかによって、*pecuniary externality* (金銭的外部性) と *technological externality* (技術的外部性) に分類した。

金銭的外部性とは市場を経由して波及する外部性である。これは Meade による *distributional externality* (あるグループによる行動が他のグループが直面する価格を変化させ

ること)と比較的に近い概念であるが、市場を通じて経済主体が相互依存関係にあるために生じるものである。

技術的外部性とは、非市場的な依存関係(市場の欠落)があって、生産関数や効用関数に第三者の生産・消費活動が直接に変数として含まれる場合の外部性であり、一般的な意味での外部性はこれに該当する。

その他にも外部性の定義については、Baumol and Oates (1988)、Buchanan and Stubblebine (1962)などにおいて議論されている。このように外部性の定義については、様々な議論があり、研究者によって必ずしも一致していない。本論では以上の議論を踏まえつつ、交通市場を対象に外部性の価値の計測に関する課題、外部性がある場合に交通政策が経済に与える影響などを分析する。

1.3. 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第2章は福岡空港周辺において航空機騒音を与える環境負荷額(コスト)をヘドニック法により推計する。言うまでもなく、ヘドニック法により騒音の価値を推計するためには、サンプルである物件における騒音値が必要である。航空機騒音は影響が広範囲に及ぶため、騒音予測プログラムで描画した騒音コンターにより把握される場合が多い。そのため、先行研究の多くが、騒音予測プログラムで計算した騒音値を物件に組み合わせている。一方で、騒音値は物件ごとに計算されているわけではないので、付近の地点における騒音値を物件に組み合わせる場合が多い。したがって、各物件における騒音値は、計測誤差を含む近似値とみるのが自然である。このような計測誤差は騒音のコストの推計にどのような影響を及ぼすのだろうか?説明変数の計測誤差は、その分散が大きいほど、係数が0に近くなるというバイアス(attenuation bias)を生じさせることが知られている。航空機騒音のヘドニック分析では、その点についてあまり着目してこなかった。実際、先行研究における騒音データの精度は研究により大きく異なる。一方で、労働経済学や医療経済学などの応用経済学の分野では、計測誤差による attenuation bias の影響の重要性は指摘されている。

この章では、航空機騒音プログラムに直接アクセスすることが可能であることから、福岡空港周辺の賃貸住宅、約21,000件について、騒音データの精度をコントロールし、計測誤差が騒音のコストの推計値に与える影響を分析する。また、計測誤差による attenuation bias をコントロールするために、攪乱項の heteroskedasticity (不均一分散)を利用する方法である Lewbel (2012)の方法による推計も試みる。

第3章は二国が空港の運営形態として公営、民営のいずれかを選択する状況のモデルに、航空機騒音による外部不経済を導入した分析をする。空港の民営化は欧州、アジアなどの主要な国際空港を中心に進展している。空港民営化の目的として、航空系と非航空系の一体経営による効率化、空港施設の投資資金の確保などが指摘される。一方で、空港は地域独占である場合が多く、社会的余剰の最大化を目的とする公営空港から、利潤最大化を目的とする

民間空港に運営主体を転換することは、社会的損失を招く恐れがある。そのため、空港民営化の影響については、理論的に多くの研究がなされてきた。そして、そのほとんどが空港民営化により社会的損失が生じることを示している。

従来の研究では一国内の航空ネットワークを想定していた。ここで、空港民営化の対象となるのは大規模の国際空港であるので、国際航空ネットワークを想定する必要がある。Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)は、二国間の航空ネットワークにおいて、各国の空港が戦略的に着陸料（輸送量）を決定する状況では、空港を民営化の方が国内余剰を改善させる場合があることを示した。しかし、両国が戦略的に空港の運営形態（民営 or 公営）を決定する状況までも考慮すると、両国はともに国内余剰の改善を求めて空港の民営化を選択するが、それは両国が同時に公営空港を選んだ場合に比べて小さな余剰を実現するという意味において、囚人のジレンマであることも示している。

この章では Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)のモデルに航空機騒音を想定した外部不経済を導入する。このとき、空港民営化に伴う市場の失敗には、独占と外部性の二つが存在する。そのような状況でも両国ともに国内余剰の改善を求めて空港民営化を選択するのだろうか？また、Nash 均衡は囚人のジレンマとなるのだろうか？これらの問題について分析する。

第4章では、道路利用によるダメージは、社会資本ストックの減少による生産性の低下を通じて他の利用者に影響を与えること（ダメージ外部性）に着目し、道路の維持管理について、政府投資を新規建設と減耗率を低下させるような活動（既存施設の耐久期間を長くするような活動）に分けて、後者がマクロ経済に与える影響を分析する。

道路や空港のような社会資本は経済活動をする上で欠かせない生産要素であり、その整備水準は現在だけでなく将来にも影響する。そのため、政府による社会資本投資がマクロ経済に与える影響は理論的、実証的に多くの研究がなされてきた。

動学的一般均衡モデルにより社会資本のマクロ経済に与える影響を分析した従来の研究は、社会資本の減耗（減価償却）率を外生的な定数として扱ってきた。しかし、現実には、大型車の交通量多い道路や橋梁ほどダメージが大きいように、経済活動や利用の程度は社会資本の耐久期間に影響を与えている。また、政府は新規施設の建設や改良以外にも、基礎部分の補修や点検など、既存の施設の機能を維持し、長持ちさせるための取り組み（メンテナンス）も行っている。したがって、社会資本の減価償却は利用の程度やメンテナンスなどに依存すると考えられる。

社会資本のメンテナンスがマクロ経済に与える影響については、Rioja (2004)や Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)などにおいて分析されているものの、新規投資が外国から外生的に行われている点、労働や資本が外国から自由に流入できる点など、日本経済の分析に適用するには現実的でない面も含んでいる。この章では、それらを修正し、小国閉鎖経済を想定し、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスにより内生的に決定する動学的一般均衡モデルを用いて、道路に関連する新規投資とメンテナンス投資配分の変更が

マクロ経済に与える影響を定量的に分析する。

第5章では、タクシー需要は運賃だけでなく待ち時間にも依存しており、ある旅客のタクシーの乗車は他の旅客の待ち時間に影響を与えること（待ち時間の外部性）などに着目する。そして、タクシーが都市内の多様な地点を移動する状況を想定し、タクシー市場の非効率性をタクシーが過剰（過小）性から生じる部分と既存のタクシーが効率的に配車、利用されていないことから生じる部分に分けて、東京地区の規制改革の政策評価をする。

1970年代後半における米国の航空市場の規制緩和の影響を受けて、多くの国において運輸事業の規制緩和が行われてきた。タクシー市場においても、北米、欧州、アジアの国や都市において、数量コントロールに基づく参入規制の緩和や撤廃が実施されている。しかし、日本の東京地区（特別区・武蔵野市・三鷹市営業区域）を含む、いくつかの都市ではタクシー市場に再び数量コントロールを課している。これらの都市において、規制緩和後に都心部を中心にタクシーが増加し「供給過剰」となった結果、ドライバーの品質の低下や事故の増加したことなどが再規制の根拠とされることが少なくない。確かに、これらは規制緩和に伴う社会的費用の一部であるが、タクシー数の増加はタクシー（旅客）が旅客（タクシー）を捉まえるまでの時間の増加（減少）させている。タクシーの規制改革の評価には、タクシーや旅客の実質的なコスト（effective price）に生じた変化に着目することが重要である。また、待ち時間のコストを含めると、タクシーの供給過剰はどのように評価すべきだろうか？

タクシーは他の輸送機関と異なり、決められたルート上を営業するのではなく、旅客を求めて都市の様々な場所を移動している。また、タクシーの運賃は規制当局により設定されている場合が多い。これらの特徴は、供給過剰の評価を困難にする場合がある。例えば、長距離の旅客が多い場所では空車のタクシーが行列を作る一方で、短距離の旅客が多い場所では旅客がタクシーを待つ行列を作っている光景はよく目にする。これは運賃が長距離の輸送ほど有利になるように設定されているため、タクシーが長距離の旅客が多い場所に集中してしまうからであるが、規制運賃によりタクシーの miss allocation が生じていることを示唆している。したがって、タクシー市場における非効率性はタクシーが都市に過剰（過少）に存在することによる部分と既存のタクシーが効率的に配車、利用されていないことによる部分に分けて評価する必要がある。

この章では、経済厚生に基づいて外生的な需要を仮定した上で都市内の多様な地点間を移動するタクシー市場を分析した Lagos (2000) のモデルを修正し、タクシー需要が運賃と待ち時間などに依存して内生的に決定するモデルを構築する。そして、タクシー市場における非効率性をタクシーが過剰（過少）に存在することによるロス（Capacity loss）とタクシーが効率的に配車・利用されていないことによるロス（Miss pricing loss）に分けて、東京地区のタクシー規制改革を評価する。

参考文献¹

- Baumol, W.J. and Oates, W. (1988) *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Buchanan, J. M. and Stubblebine W. C. (1962) “Externality,” *Economica*, vol. 29, no. 116, pp. 371-384.
- Cornes, R. and Sandler, T. (1986) *The theory of Externalities, Public goods and Club goods*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Meade, J. E. (1973) *The Theory of Economic Externalities: The Control of Environmental Pollution and Similar Social Costs*, Institut Universitaire de Hautes Etudes Internationales, Geneva (Switzerland).
- Scitovsky, T. (1954) “Two Concepts of External Economies”, *Journal of Political Economy*, vol.62, no.2, pp. 143-151.
- 宇沢弘文 (1974) 『自動車の社会的費用』, 岩波書店
- 金本良嗣 (1995) 「第2章 交通規制政策の経済分析」, 金本良嗣・山内弘隆 編, 『講座・公的規制と産業④ 交通』, NTT 出版
- 奥野正寛・篠原総一・金本良嗣 編 (1989), 『交通政策の経済学』, 日本経済新聞社
- 奥野正寛・鈴木興太郎 (1988), 『ミクロ経済学II』, 岩波書店
- 藤井弥太郎 (1985) 「第4章 市場機構と公共選択」, 稲毛満春・牛嶋正・藤井弥太郎 編, 『現代社会の経済政策』, 有斐閣

¹ 各章において重複して参考にしてしている文献は省略する。

第2章 都市近郊空港における航空機騒音のコストの推計

— 航空機騒音の計測誤差による推計バイアス —

2.1.はじめに

空港の運営は周辺地域に対してサービス産業における雇用の拡大、利便性の向上といった便益を生じさせている (Brueckner, 2003; Sheard, 2014)。しかし、空港周辺地域からの航空機騒音への反発が、依然として空港の運営や容量の拡大の制約となっている場合がある (Girvin, 2009; Winke, 2017)。したがって、航空機騒音の不効用 (コスト) の大きさを知ることが極めて重要である。地価や住宅価格 (家賃) を用いて環境の価値を計測するヘドニックアプローチにより、数多くの研究が航空機騒音のコストを推計している (Nelson, 2004; Mc Millan, 2004; Baranzini and Ramirez, 2005; Cohen and Coughlin, 2008; Pope, 2008; Dekkers and van der Straaten, 2009; Püschel and Evangelinos, 2012; Matos *et al.*, 2013; Thanos *et al.*, 2014 など)。

言うまでもなく、住宅価格を利用して騒音のコストを推計するためには、サンプルである物件における騒音の大きさのデータが必要である。航空機騒音は影響が広範囲に及ぶため、周辺における騒音暴露の実態は、航空機騒音予測プログラムにより計算した騒音コンター (等音線) により把握される。航空機騒音コンターは、騒音対策の区域設定や情報公開を目的として、一般にも公開されている場合がある。そのため、多くの先行研究が騒音予測プログラムにより計算した騒音値や騒音コンターを用いて分析している。ここで、騒音値はサンプルである物件ごとに計算されているわけではない。そのため、騒音値が計算されているポイントの情報から物件ごとに騒音値を推計する必要がある。つまり、ヘドニック分析に用いる騒音データは計測誤差を含む近似値とみなすのが自然である。このような計測誤差の存在は先行研究の推定結果にいかなる意味を持つだろうか? 説明変数の計測誤差の分散が大きくなると、係数の最小二乗推計値は減衰バイアス (attenuation bias) が生じ、ゼロの方向に偏ることが知られている。これは、先行研究が航空機騒音に伴うコストを過小に評価してきた可能性があることに他ならない。説明変数の計測誤差による attenuation bias の重要性は、応用経済学の他分野である労働経済学や産業組織論などにおいては、多くの研究が指摘しており (Angrist and Krueger, 1991; Ashenfelter and Krueger 1994; Chesher and Schluter, 2002 など)、特に計測誤差をコントロールすることで推計結果が大きく変わりうることが明らかにされている。例えば、Ashenfelter and Krueger (1994)の就学年数と賃金率の関係の分析では、就学年数の計測誤差をコントロールしない従来の研究では、就学年数が1年増えると、賃金率は3%程度増えること示していたが、就学年数の計測誤差をコントロールすると、12%から16%と、推定値が大きく変わる可能性を示している。

このように計測誤差の問題は無視できないものであるにも関わらず、航空機騒音の大きさと住宅価格 (賃貸住宅の家賃) との関係进行分析する研究はこの問題を見落としてきた。実

際、先行研究において、物件における騒音データの精度（計測誤差の程度）には大きく差がある。例えば、Dekkers and van der Straaten (2009)は統計局の土地区分に従った地区を代表するポイントにおける騒音予測プログラムにより計算した騒音値を利用している。Dekkers and van der Straaten (2009)の論文内の図で確認できる限りでは、個々の地区の大きさは異なり、小さいもので 500m 四方、大きいもので 10km 四方である。一方で、Boes and Nüesch (2011)は平面直角座標の 100m 幅のメッシュの交点（メッシュポイント）に計算された騒音値を利用している。

このような背景の下、本章では、福岡空港周辺の騒音データと空港周辺を含む約 21,000 件の賃貸物件データを用いて、物件における騒音値の計測誤差の問題に焦点をあてる。本研究において特筆すべきことは騒音予測プログラムにアクセスすることができた点である。本研究で使用する騒音データは Boes and Nüesch (2011)と同様に平面直角座標のメッシュポイントに計算されたデータであるが、騒音予測プログラムを用いて自由にメッシュ幅を変化させることが可能である。騒音予測プログラムを用いて、メッシュ幅を 50m からスタートして、100m から 1000m までは 100m ごとにメッシュ幅を変化させることで、騒音データの精度により、どのように物件ごとの騒音値が変化するかを明らかにする。

また、騒音データと物件データを二つの方法で組み合わせることで、その影響も分析する。一つ目は、地域を代表するような点における騒音値を組み合わせる状況を想定し、物件にもっとも近いメッシュポイントの騒音値を組み合わせる方法である。二つ目は、物件のあるメッシュの四隅における騒音値を補完計算して組み合わせる方法である。

組み合わせ方法ごとに、騒音データのメッシュ幅を変化させることにより、物件ごとの騒音値がどのように変化するかを見た後に、ヘドニックモデルを推計する。このとき、騒音データのメッシュを変化させることで、Noise Depreciation Index (NDI, 騒音レベルが 1dB 大きくなることによる家賃の減少率) がどのように変化するかを調べる。これにより、どの程度のメッシュ幅であれば推定値の符号を正しく推定できるのか、また、NDI をどの程度過小評価することになるのかを明らかにする。

さらに、騒音データの計測誤差をコントロールして NDI を推計することを試みた。メッシュ幅を狭くすれば確かに騒音の計測誤差は小さくなるが、物件ごとに騒音を計測しない限り計測誤差はなくなる。したがって、NDI を正確に推計するためには、計測誤差により生じる内生性をコントロールする必要がある。説明変数の内生性をコントロールする手法として、一般的に操作変数法が用いられる。ここで、操作変数の候補となるのは計測誤差を伴う変数には相関するが、誤差項とは相関しない変数である。しかしながら、本研究にはそのような変数は存在しない。そのため、撓乱項の heteroscedasticity を利用する Lewbel (2012)の方法を用いて推計する。

なお、福岡空港は内陸にある都市近郊空港であり、空港周辺には多数の住宅が存在していることから分析の対象とした¹。

¹ 2015 年における着陸回数は約 8,600 回であり、日本国内空港の第三位である。また、空港がある福岡

本章は以下のように構成される。2では、先行研究をレビューし、本章の位置づけを明確にする。3ではデータの概説をし、騒音データと物件データの組み合わせについて議論する。4では、計測誤差による attenuation bias と Lewbel (2012)の方法を概説する。5では、計測誤差により OLS により推計した騒音の効果がどの程度小さくなるかを示し、Lewbel (2012)の手法による結果と比較する。6では結論を述べる。

2.2. 先行研究

航空機騒音が住宅価格や賃貸住宅の家賃に与える影響に関する先行研究は数多くある。多くの研究において、騒音の効果は Noise Depreciation Index (NDI)として表現している(Nelson, 2004)。NDI とは、騒音値が 1dB 上昇することによる家賃の減少率である。表 2-1 は先行研究における NDI と騒音データの概要である。

Baranzini and Ramirez (2005)はジュネーブ空港(スイス)周辺を対象に、騒音の大きさが賃貸住宅の家賃に与える影響を推計した。騒音の発生源は特定されていないものの、騒音データに日中の時間帯の平均的な騒音レベル (L_d) を用いた場合、NDI は 0.7%、夕方や夜間に発生する騒音に重みづけをして評価した時間帯補正等価騒音レベル (L_{den}) を用いると、1.17%である。騒音データには Geneva Cantonal Office が公表した騒音測定局のデータを用いているが、測定局の具体的な場所や数などの情報は明確にされていない。

Dekkers and van der Straaten (2009)は、スキポール空港(オランダ)周辺を対象に、航空機、道路、鉄道などの騒音が住宅の販売価格に与える影響を分析した。OLS による推計と物件間の空間的な相関を考慮したモデルを推計した結果、NDI は 0.77%から 0.80%である。航空機騒音データは、騒音予測プログラム(Netherlands Institute for Health and Laboratory Model)により統計局の土地区画ごとに計算した騒音値を用いている。ここで、区画の大きさは、論文中の図を見る限り、区画ごとに異なっており、大きいものは 10km 四方程度、小さいものでも 500m 四方程度である。騒音データを物件にどのように組み合わせたのかは明らかでないが、個々の区画において騒音の精度は異なると思われる。

Brandt and Maennig (2011)はハンブルグ空港(ドイツ)周辺を対象に、道路や鉄道を含む交通騒音が賃貸住宅(condominium)に与える影響を分析した。道路や鉄道騒音を含むモデルを推計した結果、NDI は 0.13%である。騒音データはハンブルク土地開発環境事務局(Hamburg Office for Urban Development and the Environment)が提供した、交通機関源別の 10m×10m のメッシュに計算された騒音値を用いている。

Boes and Nüesch (2011)はチューリッヒ空港(スイス)周辺を対象に、同空港において予告なしに行われた飛行経路の変更を利用して、航空機騒音が賃貸住宅の家賃に与える影響により分析した。Difference-in-difference 分析の結果、NDI は 0.54%から 0.69%である。騒音のデータは騒音予測プログラム(Swiss Federal Laboratories for Materials Science

市の人口密度は 4,500 人/km²であり、日本の政令指定都市において 7 番目に高い。

and Technology Model)により計算した、100m×100m のメッシュに計算された騒音値を用いている。

Püschel and Evangelinos (2012)はデュッセルドルフ空港（ドイツ）周辺を対象に、航空機を含む交通騒音が賃貸住宅の家賃に与える影響を分析した。空間的な騒音を考慮したモデルを推計した結果、NDI は 1.0%から 1.7%である。騒音データは欧州環境機関 (European Environmental Agency)が作成した交通騒音（道路、鉄道、航空機）の騒音マップを利用して、物件と騒音値の組み合わせ方については、明記されていない。

Winke (2017)はフランクフルト空港（ドイツ）を対象に、同空港の第四滑走路の建設と運用開始に伴う騒音暴露状況の変化を利用して、アナウンスメントの効果と実際に騒音が暴露されることの効果を推計した。Difference-in-difference 分析の結果、アナウンスメントによる家賃の減少は確認できなかったが、新たに航空機騒音が暴露されることで、1dB あたり 1.7%g ほど家賃が減少した。騒音データはフランクフルト空港とヘッセン州が公開した騒音コンターを用いているが、具体的な組み合わせ方法は明らかでない。

このように、先行研究により、分析に用いている騒音データの形態や精度は大きく異なっている、また、騒音データをどのように物件に組み合わせたかを明確に述べている研究も少ない。以下では、騒音データの精度や物件との組み合わせ方法が、航空機騒音の家賃に与える効果の推計に与える影響を分析する。

表 2-1 先行研究の NDI と騒音データ

研究	NDI	空港	騒音データ
Baranzini and Ramirez (2005)	0.7 (L _d) 1.17 (L _{den})	ジュネーブ空港 (スイス)	騒音測定局 (詳細は不明)
Dekkers and van der Straaten (2009)	0.77 - 0.80 (L _{den})	スキポール空港 (オランダ)	統計局の土地区分による代表的な点 (個々のエリアの大きさは異なる)。
Brandt and Maennig (2011)	0.13 (L _{den})	ハンブルグ空港 (ドイツ)	10m×10mのメッシュデータ
Boes and Nüesch (2011)	0.54 - 0.69 (L _d) (注1) 0.15 - 0.29 (L _d)	チューリッヒ空港 (スイス)	100m×100mのメッシュデータ
Püschel and Evangelinos (2012)	1.0 - 1.7 (L _d)	デュッセルドルフ空港(ドイツ)	欧州環境機関(European Environmental Agency)が作成したNoise mapを利用。組み合わせ方法の詳細は不明。
Thanos, Bristow and Wardman (2014)	0.38 - 1.53 (L _{den})	アテネ空港(ギリシャ)	欧州の管制サービスプロバイダである、EUROCONTROLに組み合わせを依頼
Winke (2017)	1.7 (L _d)	フランクフルト空港 (ドイツ)	フランクフルト空港とヘッセン州が公開した騒音コンターを利用。組み合わせ方法の詳細は不明。

(注1)上段は飛行経路変更の影響分析の対象サンプルの結果である。下段はすべてのサンプルを用いた結果である。

2.3. データ

2.3.1. 物件データ

物件データは賃貸住宅情報サイトであるスマイティ (<http://sumaity.com/>) に 2014 年 12 月から 2015 年 4 月までに掲載された、福岡市東区、博多区に存在する 20,921 件の賃貸住宅情報を利用する。表 2-2 は物件データの基本統計である。物件データは敷金・礼金なし、即入居可などの入居に関する条件、築年数、建物の構造、広さや部屋数などの部屋の間取りの他に、バス・トイレ別、洗濯機置き場などの部屋の設備に関する情報を含んでいる。

物件データには最寄り駅までの徒歩時間が含まれており、そこから最寄り駅までの距離を計算した²。また、新幹線駅(博多)、福岡空港までの距離は物件との直線距離を計算した。

²日本の不動産情報における徒歩時間は 1 分あたり 80m である。

表 2-2 基本統計

Variables	Mean	Std. Err.	Min	Max	Variables	Mean	Std. Err.	Min	Max
Rental price per month (yen)	52101.87	21504.78	13000	450000	Building structure, facilities and room place				
					Reinforced concrete (0 / 1)	0.62	0.49	0	1
<i>Accessibility characteristics</i>					Iron frame (0 / 1)	0.10	0.30	0	1
Distance to station (m)	754.57	457.23	80	9120	Other structure (0 / 1)	0.28	0.45	0	1
Distance to Shinkansen station (m)	5497.56	3757.80	128.78	13288.04	Elebater (0 / 1)				
Distance to airport (m)	5321.70	3116.08	573.30	12734.12	Floor	3.47	2.80	1	34
<i>Transaction characteristics</i>									
Non deposit and key money (0 / 1)	0.32	0.47	0	1	Room structure and facilities				
Quick occupancy (0 / 1)	0.69	0.46	0	1	Surface area	37.60	19.27	8.20	198.73
Pet allowed (0 / 1)	0.07	0.26	0	1	Number of room	1.47	0.72	1	3
					Kitchen (0/1)	0.89	0.32	0	1
<i>Structural characteristics</i>					Dinning kitchen (0/1)	0.52	0.50	0	1
Building age					Living room (0/1)	0.36	0.48	0	1
Below 1 year (0 / 1)	0.04	0.20	0	1	Unit Kitchen (0/1)	0.31	0.46	0	1
1 - 3 years (0 / 1)	0.04	0.19	0	1	Separating bath and toilet (0/1)	0.94	0.24	0	1
3 - 5 years (0 / 1)	0.18	0.39	0	1	Loft (0/1)	0.13	0.33	0	1
5 - 10 years (0 / 1)	0.15	0.36	0	1	Under floor cabinet (0/1)	0.01	0.12	0	1
10 - 15 years (0 / 1)	0.15	0.36	0	1	Auto lock (0/1)	0.48	0.50	0	1
Over 15 years (0 / 1)					TV door phone (0/1)	0.40	0.49	0	1
					Bath dryer (0/1)	0.09	0.29	0	1
					Washlet (0/1)	0.30	0.46	0	1
					Wash machine chamber (0/1)	0.82	0.39	0	1
					Cold storage chamber (0/1)	0.02	0.13	0	1
Obervation	20921				Parking (0/1)	0.58	0.49	0	1

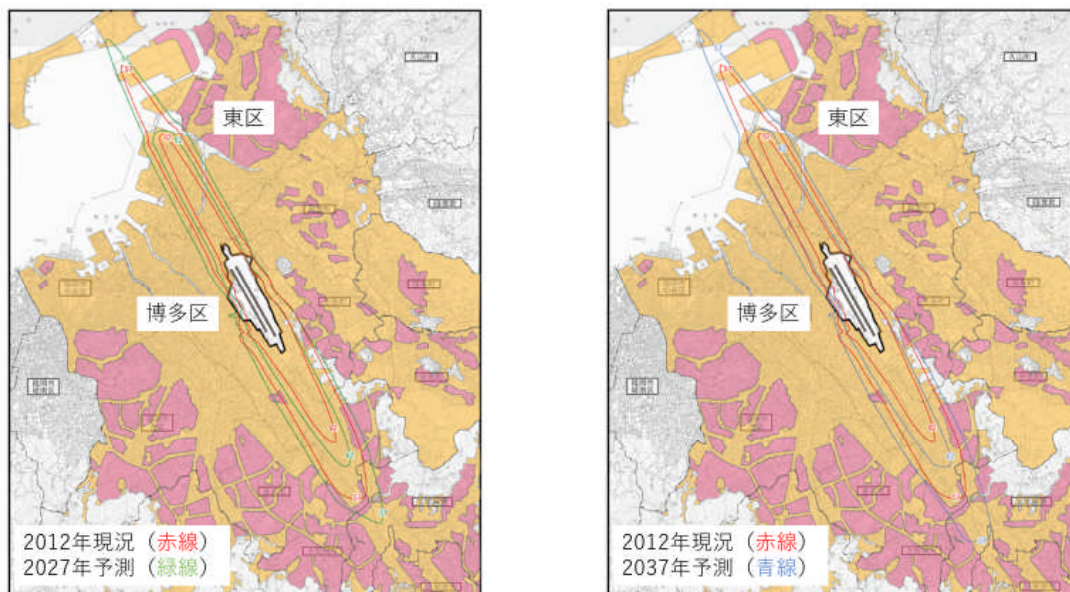


図 2-1 福岡空港周辺の騒音コンター

出典:国土交通省 (2015)、凡例は高橋が挿入

2.3.2. 航空機騒音データと物件データの組み合わせ

航空機騒音データは航空環境研究センターが日本の騒音予測プログラムである AERC モデルにより計算したものをを用いる。図 2-1 は福岡空港周辺の騒音コンターである。AERC モデルは空港における航空機の運航データ (離発着時間、回数)、空港周辺の飛行経路データ、機種ごとの騒音パフォーマンスデータを用いて、平面直角座標のメッシュポイントに騒音値を計算し、ポイントにおける騒音値を補完計算してコンターを描画する。航空機騒音の評価量は L_{den} (時間帯補正等価騒音レベル) であり、単位は dB である。 L_{den} は航空機 1 機ごとの単発騒音レベルを発生時間帯により重みづけしてエネルギー平均した騒音評価量である。

本章ではメッシュに計算された騒音データを用いる。騒音データと物件データの組み合わせは二つの方法を用いる。一つ目は、物件 (赤点) に最も近いメッシュポイントの騒音値を組み合わせる方法である (方法 1)。これは、Dekkers and van der Straaten (2009) のように、物件データに地域の代表的な騒音値を組み合わせる方法を想定している。図 2-2 の左は、方法 1 による組み合わせの例である。格子点 (メッシュポイント) ごとに、騒音値 (A, B, C, D) が計算されている。いま、物件 (H) が図の位置にある場合、最も近いメッシュポイントは D 点であり、この点の騒音値を物件の騒音値とする。

二つ目は物件があるメッシュの四隅のポイントにおける騒音値を線形補完した値を組み合わせる方法である (方法 2)。これは、騒音データがメッシュ形式で与えられた場合に、組み合わせる方法を想定している。図 2-2 の右は、方法 2 による組み合わせの例である。メ

メッシュポイントごとに騒音値が計算されており、メッシュポイントにおける物件（H）の位置は図 2-2 右のような位置にあるとする（ $\alpha, \beta \in [0,1]$ ）。H の上側の二つのメッシュポイント（A と B）における騒音値を線形補完して、F における騒音値を計算する。下側の二つのポイント（C と D）の騒音値を線形補完して、G 点の騒音値を計算する。さらに、F 点と G 点の騒音値を線形補完した値を H における騒音値とする。

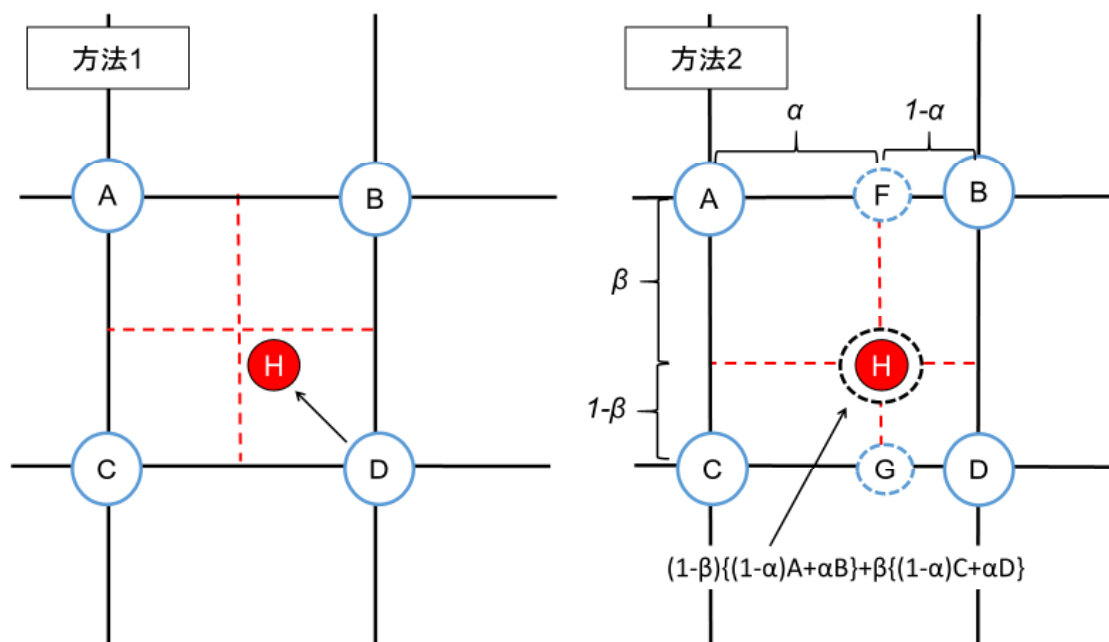


図 2-2 騒音データと物件データの対応付け

表 2-3 は方法 1、方法 2 を用いて組み合わせた物件における騒音値の基本統計である。最小値をみると、方法 1、方法 2 ともにメッシュ幅が大きくなってもほとんど変化しない。音の幾何減衰量は音源からの距離が長くなるにつれて遞減する性質がある。そのため、音源からの距離が十分遠い場所では、メッシュ幅が大きくなっても組み合わせられる騒音値に大きな変化はない。

最大値をみると、方法 1、方法 2 ともにメッシュ幅が大きくなるにつれて、騒音値も大きくなっている。騒音データには空港の敷地内の地点における騒音値も含まれている。メッシュ幅が大きくなると、空港に近い物件の中には、空港の敷地内のメッシュポイントにおける騒音値が用いられるものも含まれるからである。

表 2-4 は 50m と他のメッシュ幅の騒音値の差の基本統計である。メッシュ幅が大きくなるほど差の標準偏差は大きくなっている。

図 2-3 は 50m、100m、500m、1000m における騒音値のカーネル分布である。方法 1 は方法 2 と比べて、メッシュ幅が大きくなるにつれて、同じポイントにより多くの物件が組み合わせられるため、分布が複数のポイントに集中している。

表 2-3 航空機騒音 (L) の基本統計 (単位: dB)

Width	方法1				方法2			
	Matching the nearest point's noise level				Interpolation of the coner points' noise level			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
50m	48.91	6.14	37.10	68.26	48.91	6.14	37.17	68.35
100m	48.91	6.15	36.99	68.67	48.91	6.15	36.89	68.17
200m	48.91	6.15	36.93	68.94	48.93	6.15	36.90	68.89
300m	48.91	6.18	37.06	76.27	48.93	6.18	36.90	69.71
400m	48.97	6.26	36.93	84.89	48.95	6.18	36.90	69.91
500m	48.96	6.28	36.87	70.57	48.96	6.24	36.91	71.39
600m	48.98	6.30	37.06	75.63	49.04	6.36	36.91	75.74
700m	48.94	6.33	36.96	73.85	49.07	6.47	36.13	78.57
800m	48.94	6.40	36.70	73.31	49.10	6.60	35.65	80.79
900m	49.04	6.99	37.33	103.38	49.19	6.89	36.22	82.47
1000m	49.13	7.41	36.59	106.50	49.33	7.03	35.67	85.06

表 2-4 50m の騒音値と他のメッシュ幅の騒音値の差の基本統計 (単位: dB)

Width	方法1				方法2			
	Matching the nearest point's noise level				Interpolation of the coner points' noise level			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
100m	0.00	0.26	-1.54	3.33	0.00	0.13	-1.34	2.63
200m	0.00	0.44	-2.42	3.62	0.01	0.21	-1.03	2.78
300m	0.00	0.69	-4.00	10.08	0.02	0.33	-1.50	5.90
400m	0.06	0.93	-4.39	24.86	0.03	0.46	-2.16	9.94
500m	0.05	1.07	-4.70	10.27	0.05	0.53	-1.87	5.35
600m	0.07	1.29	-5.64	14.94	0.13	0.80	-1.99	9.92
700m	0.03	1.43	-6.89	9.84	0.16	1.04	-2.33	12.89
800m	0.02	1.65	-8.70	11.69	0.19	1.30	-2.64	15.41
900m	0.13	2.58	-7.80	39.43	0.28	1.64	-3.03	17.06
1000m	0.22	3.15	-8.57	43.63	0.42	1.91	-3.21	19.85

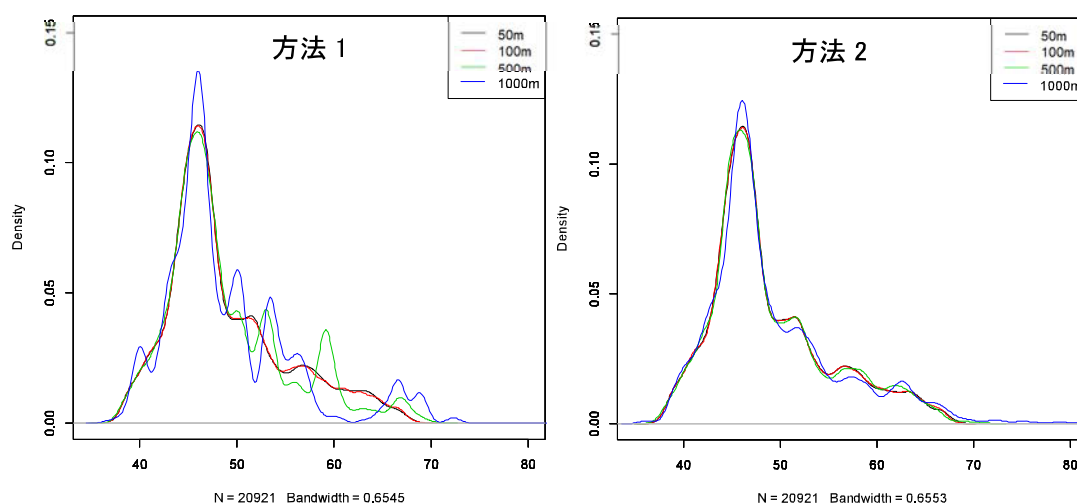


図 2-3 L_{den} のカーネル密度 (50m, 100m, 500m, 1000m)

2.4. Measurement Error による推計バイアスと Lewbel (2012)の方法

2.4.1. Measurement error による推計バイアス

以上のように、騒音データのメッシュ幅が大きくなると、物件に組み合わされる騒音値の差は大きくなっている。説明変数の計測誤差が大きいと、OLS estimator の attenuation bias は深刻になる。以下では、その概要を説明する。

以下のような回帰モデルを考える。

$$Y_1 = \beta_1 X + \gamma_1 Y_2^* + u_1. \quad (1)$$

ここで、 X , Y_2^* はともに外生変数である。いま、 Y_2^* は真の値であるが、分析には、計測誤差を含むデータ(Y_2)を用いざるを得ないとする。このとき、計測誤差(e)は $e = Y_2 - Y_2^*$ であるので、(1)に代入すると、

$$Y_1 = \beta_1 X + \gamma_1 Y_2 + u_1 - \gamma_1 e. \quad (2)$$

$\text{Cov}(Y_2^*, e) = 0$ を仮定する (classical measurement error) と、 $\text{Cov}(Y_2, e) = \text{Var}(e)$ である。そのため、OLS による $\hat{\gamma}_1$ の推計量の確率極限は、

$$\text{plim}(\hat{\gamma}_1) = \gamma_1 \left(\frac{\text{Var}(r_1^*)}{\text{Var}(r_1^*) + \text{Var}(e)} \right). \quad (3)$$

ここで、 r_1^* は、 $Y_2^* = \alpha_1 X + r_1^*$ における population error である。したがって、計測誤差の分散が大きくなるにつれて、 $\text{plim}(\hat{\gamma}_1)$ は 0 に近づく。

2.4.2. Lewbel (2012)の方法

説明変数の計測誤差や内生性をコントロールする手法に操作変数法がある。しかし、騒音の計測誤差の場合、計測誤差を含む変数と相関し、計測誤差とは相関しないような操作変数を見つけることは困難である。そこで、モデルの攪乱項における heteroscedasticity を利用する手法である、Lewbel (2012)の方法を用いる。その概要を説明する。

以下の二つのモデルを考える。

$$Y_1 = \beta_1 X + \gamma_1 Y_2 + \varepsilon_1. \quad (4)$$

$$Y_2 = \beta_2 X + \varepsilon_2. \quad (5)$$

従来の操作変数法では、 β_1 の少なくとも一つ要素が 0 であること、対応する β_2 の要素がゼロでないことを仮定する。

Lewbel (2012)の方法は、代わりに以下の 3 つを仮定する。

$$E(X, \varepsilon_1) = 0, E(X, \varepsilon_2) = 0 \quad (6)$$

$$\text{Cov}(Z, \varepsilon_1 \varepsilon_2) = 0, \quad (7)$$

$$\text{Cov}(Z, \varepsilon_2^2) \neq 0. \quad (8)$$

Lewbel (2012)の Theorem 1 は上記の仮定を満たすようなZが存在するならば、Zの平均まわりの偏差と(5)式の残差 ε_2 の積, $(Z - \bar{Z}) \varepsilon_2$, とXを操作変数とした二段階最小二乗法により、 γ_1 の一致推計が得られることを示した。ここで、ZはXの部分集合、またはXそのものであっても良い。

Y_2 に計測誤差が含まれる場合、(8)式を仮定すると、(5)式を OLS で推計した残差 ε_2 には、計測誤差の情報が含まれる。そのため、 $(Z - \bar{Z}) \varepsilon_2$ は Y_2 と相関し、仮定(7)より $(Z - \bar{Z}) \hat{u}_2$ と u_1 は相関しない。(8)式の仮定は、(5)式を Bruesch - Pagan test をすることで検定できる。

先行研究では、主に omitted variable bias をコントロールするために、この手法を用いている。(Sabia, 2007; Denny and Opendisano, 2012; Arcand, Berkes and Panizza, 2015 など)。一方で、説明変数の計測誤差による内生性をコントロールすることを目的として Lewbel (2012)を用いた研究を見つけることはできなかった。したがって、本論は初めての試みと思われる。

2.5. 結果

2.5.1. ヘドニックモデルの推計

以下の(9)式のモデルを OLS により推計する。

$$\ln P_i = \alpha_0 + \alpha_1 Lden_i + \sum_{m=2}^M \alpha_m X_{im} + u_i. \quad (9)$$

ここで、 P 、 $Lden_i$ は騒音値、 X_{im} は物件の特性とする。新幹線駅距離、最寄り駅距離、空港距離など変数は自然対数に変換した値を用いる。また、誤差項間の相関を考慮して 100m×100m のメッシュによりクラスター調整した Robust standard Error を用いて検定する。

表 2-5 は OLS の結果である。50m×50m メッシュの騒音データを物件に最も近いポイントと組み合わせている(方法1)。利便性や建物の構造などに関する係数の多くが直観と整合している。例えば、築年数をみると、築年数が浅いほど家賃は高い。また、敷金・礼金なし、即入居可能な条件は、そうでない場合と比較して家賃を下げる効果を持っている。これは、家主がより早く入居者を見つけるために、家賃を下げていることを示唆している。

モデルの関数形より、係数パラメーターは他の条件を一定にした場合の弾力性や準弾力性を表す。例えば、家賃の最寄り駅までの距離の弾力性は、-0.016、新幹線駅(博多駅)との距離の弾力性は、-0.077である。また、ペット可の物件はそうでない物件と比較して、家

賃が 1.8%高い。

NDI はおよそ 0.156%である。つまり、すべての条件が同一ならば、 L_{den} が 1dB 上昇すると、家賃はおよそ 0.16%下落する。これは、他の研究と比べて若干小さい。しかし、10m×10m メッシュの騒音データを用いた Brandt and Maennig (2011)の推計値 (NDI=0.13) とほぼ同じである。

表 2-5 推計結果

Variables	Coef.	R . Err	Variables	Coef.	R . Err
Constant	10.7781 ***	0.0647	Building structure, facilities and room place		
			Reinforced concrete	0.0282 ***	0.0075
<i>Aircraft noise</i>			Iron frame	0.0272 ***	0.0074
L_{den}	-0.0016 ***	0.0005	Other structure	Base	
			Elebater	0.0427 ***	0.0068
<i>Accessibility characteristics</i>			Floor	0.0088 ***	0.0008
Ln distance to station	-0.0159 ***	0.0030			
Ln distance to Shinkansen station	-0.0768 ***	0.0058	Room sturcture and facilities		
Ln distance to airport	0.0015	0.0086	Surface area	0.0121 ***	0.0004
			Number of room	0.0238 ***	0.0067
<i>Transaction characteristics</i>			Kitchen	0.0287 ***	0.0067
Non deposit and key money	-0.0498 ***	0.0046	Dinning kitchen	0.0435 ***	0.0063
Quick occupancy	-0.0267 ***	0.0031	Living room	0.0351 ***	0.0063
Pet allowed	0.0181 **	0.0071	Unit.Kitchen	0.0150 ***	0.0043
<i>Structural characteristics</i>			Separating bath and toilet	0.0638 ***	0.0096
Building age			Loft	0.0414 ***	0.0079
Below 1 year	0.2344 ***	0.0141	Under floor cabinet	0.0247 **	0.0103
1 - 3 years	0.2241 ***	0.0099	Auto lock	0.0551 ***	0.0067
3 - 5 years	0.2039 ***	0.0110	TV door phone	0.0265 ***	0.0046
5 - 10 years	0.1873 ***	0.0071	Bath.dryer	0.0378 ***	0.0074
10 - 15 years	0.1491 ***	0.0062	Washlet	0.0165 ***	0.0042
Over 15 years	Base		Wash machine chamber	0.0716 ***	0.0066
			Cold storage chamber	0.0654 ***	0.0173
Adj R-squared	0.88		Parking	0.0091 ***	0.0035

Note: 方法1により50mメッシュの騒音データを組み合わせている。

クラスターには、100mのメッシュを用いている。

*** = significant 1%, ** = significant 5%.

2.5.2. 騒音の計測誤差による推計バイアス

(1) OLS の結果

騒音データのメッシュ幅の拡大が OLS により推定した NDI に与える影響をみる。表 2-6 は騒音データのメッシュ幅と OLS により推計した NDI の関係である。1 列は方法 1 (物件に最も近いメッシュポイントの騒音値を組み合わせる方法) を用いて物件データに騒音値

を組み合わせた場合の NDI である。なお、NDI は騒音の係数を 100 倍した値である。2 列は L_{den} の 1dB 上昇による家賃の平均変化額である。これは騒音の係数に家賃のサンプル平均 (52,101 円) を乗じている。3 列は 50m の NDI からの各メッシュ幅における NDI の乖離率である。

騒音データのメッシュ幅に関わらず、NDI は有意に推計されている。400m を除くすべてのメッシュ幅において、50m よりも NDI は小さい。また、600m 以上では、メッシュ幅が大きくなるにつれて NDI は 0 に近づいている。

メッシュ幅の拡大による attenuation bias の効果をわかりやすくみるために、 L_{den} の 1dB 上昇 (減少) による家賃の減少 (増加) 額を比較する (2 列目)。50m、500m、1000m の家賃の減少額を比較すると、50m では 1 件あたり 81 円であるのが、600m では 1 件あたり 55 円であり、32% も小さく、1000m では 1 件あたり 48 円であり、41% も小さい。

方法 1 は物件に区域を代表するような騒音値を組み合わせる状況を想定している。この結果は、1000m×1000m 程度の区域までは、代表的な騒音値を組み合わせる方法であっても、NDI の符号を確認する分には支障がないことを示唆している。しかし、600m×600m 以上の区画における代表的な騒音値を利用する場合は、計測誤差による attenuation bias により、騒音の効果が 30% 以上も過小に推計され得ることに注意が必要である。

4 列は方法 2 (物件のある四隅の騒音値を補完計算する方法) を用いて物件データに騒音値を組み合わせた場合の結果である。騒音データのメッシュ幅に関わらず NDI は有意に推計されている。500m までは NDI はほぼ同じであるが、600m 以上では、方法 1 と同様、メッシュ幅が大きくなるにつれて、NDI が 0 に近づく傾向があるものの、方法 1 よりも減衰は小さい。ただし、 L_{den} 1dB の上昇による家賃の減少額を 50m と 1000m の間で比較すると、50m では、1 件あたり 81 円であるのが、1000m では 1 件あたり 61 円であり、25% も過小である。

この結果は、騒音データがメッシュで与えられている場合、物件データに組み合わせる際には補完計算する方が計測誤差による attenuation bias を小さめに抑えることができることを示唆している。しかし、この方法を用いても、騒音データのメッシュが大きい場合には騒音の効果は過小に推計されていることに変わりはない。

表 2-6 騒音データのメッシュ幅と NDI の関係 (OLS)

	方法1			方法2		
	I	変化額 (円)	乖離率	NDI	変化額 (円)	乖離率
50m	0.156 *** [0.05]	81.11	-	0.155 *** [0.05]	80.93	-
100m	0.154 *** [0.05]	80.41	-0.9%	0.154 *** [0.05]	80.41	-0.7%
200m	0.147 *** [0.05]	76.35	-5.9%	0.156 *** [0.05]	81.35	0.5%
300m	0.149 *** [0.05]	77.79	-4.1%	0.155 *** [0.05]	80.57	-0.4%
400m	0.161 *** [0.04]	84.02	3.6%	0.158 *** [0.05]	82.29	1.7%
500m	0.148 *** [0.04]	77.26	-4.7%	0.155 *** [0.05]	80.78	-0.2%
600m	0.106 ** [0.04]	55.15	-32.0%	0.147 *** [0.04]	76.47	-5.5%
700m	0.111 *** [0.04]	57.96	-28.5%	0.136 *** [0.04]	70.87	-12.4%
800m	0.112 *** [0.04]	58.16	-28.3%	0.137 *** [0.04]	71.54	-11.6%
900m	0.106 *** [0.04]	55.27	-31.9%	0.131 *** [0.04]	68.29	-15.6%
1000m	0.092 *** [0.03]	48.04	-40.8%	0.117 *** [0.04]	60.87	-24.8%

Note: 被説明変数は家賃の対数値である。

NDIはLdenが1dB上昇による家賃の減少率である。

変化額は騒音の係数に家賃のサンプル平均(52101円)を

(2) Lewbel(2012)の方法の結果

Lewbel (2012)の方法による結果をみる。Lewbel (2012)の方法は、(5)式の heteroscedasticity を仮定するので、第1段階として、メッシュ幅ごとに騒音データを他の説明変数で回帰分析し、Breusch and Pagan test を行う。次に、第1段階の結果から得た残差を外生変数 (Z) の平均まわりの偏差に乗ずる。これと物件の環境特性や建物の構造などの他の説明変数を操作変数として、(9)式を二段階最小二乗法により推計する。

表 2-7 は Lewbel (2012)の結果である。50m×50m メッシュの騒音データを方法 1 により物件データと組み合わせている。第1段階のモデルを Breusch-Pagan test により検定したところ、 χ^2 値は 223.37 であり、攪乱項の分散が均一であるという仮説は棄却されている。Z には空港距離 (Ln distance to airport) を用いている。

OLS の結果 (表 2-5) と比較すると、利便性や物件に関する特性については OLS と Lewbel (2012)の手法の間で、パラメーターに大きな変化は見られない。航空機騒音の係数は-0.0035 である。つまり、他の条件が一定ならば、Lden が 1dB 上昇すると、家賃は約 0.35%下落する。これは OLS の結果と比べて、2 倍以上も大きい。

表 2-8 は Lewbel (2012)の方法により推計した NDI と騒音のメッシュ幅との関係である。2 列、5 列は Lden 1dB が上昇することによる家賃の減少額である。また、3 列、6 列は 50m の NDI をからの各メッシュ幅の NDI の乖離率である。方法 1 では Z として、空港距離を、方法 2 では空港距離の対数値と新幹線駅 (博多駅) 距離の対数値を用いている。

方法 1 における 600m を除き、方法 1 方法 2 とともに、メッシュ幅に関わらず、NDI は有意に推計されている。50m からの乖離率をみると、方法 1、方法 2 とともにメッシュ幅が大きくなるにつれて、乖離率も大きくなっている。方法 1 と方法 2 を比べると、方法 2 の方が乖離率が小さい。

OLS の推計値と Lewbel (2012)の推計値を比較する。メッシュ幅、組み合わせ方法に関わらず、Lewbel (2012)の方法により推計した NDI は OLS に比べて大きい。例えば、50m の騒音データを方法 2 により組み合わせた場合をみると、他の条件が一定ならば、Lden 1dB の上昇による家賃の減少額は OLS は 81 円であるのが、Lewbel (2012)の方法では 223 円であり、2.8 倍も大きい。

この結果は、本章の方法により生じた計測誤差以外にも、騒音データには誤差が含まれていることを示唆している。原因として、分析に用いた騒音データは騒音予測プログラムの計算値であるので、気候や建物の影響など実際の騒音の暴露を十分に反映できていないことが考えられる。

表 2-7 Lewbel の手法による結果

Variables	Coef.	R . Err	Variables	Coef.	Robust Std. Err
Constant	10.9824 ***	0.1723	Building structure, facilities and room place		
			Reinforced concrete	0.0308 ***	0.0076
<i>Aircraft noise</i>			Iron frame	0.0283 ***	0.0074
Lden	-0.0035 **	0.0015	Other structure	Base	
			Elebater	0.0424 ***	0.0069
<i>Accessibility characteristics</i>			Floor	0.0087 ***	0.0008
Ln distance to station	-0.0170 ***	0.0032			
Ln distance to Shinkansen station	-0.0679 ***	0.0091	Room structure and facilities		
Ln distance to airport	-0.0196	0.0186	Surface area	0.012 ***	0.0004
			Number of room	0.024 ***	0.0067
<i>Transaction characteristics</i>			Kitchen	0.029 ***	0.0068
Non deposit and key money	-0.0497 ***	0.0046	Dinning kitchen	0.043 ***	0.0063
Quick occupancy	-0.0275 ***	0.0032	Living room	0.036 ***	0.0063
Pet allowed	0.0184 ***	0.0071	Unit.Kitchen	0.015 ***	0.0043
<i>Structural characteristics</i>			Separating bath and toilet	0.063 ***	0.0097
Build			Loft	0.043 ***	0.0079
Belo	.2349 ***	0.0142	Under floor cabinet	0.022 **	0.0103
1 - 3 years	0.2245 ***	0.0098	Auto lock	0.056 ***	0.0068
3 - 5 years	0.2070 ***	0.0109	TV door phone	0.027 ***	0.0046
5 - 10 years	0.1886 ***	0.0071	Bath.dryer	0.038 ***	0.0075
10 - 15 years	0.1491 ***	0.0062	Washlet	0.017 ***	0.0042
Over 15 years			Wash machine chamber	0.071 ***	0.0066
			Cold storage chamber	0.065 ***	0.0174
			Parking	0.008 **	0.0036
-squared		0.88			
Bruesh-Pagan test	$\chi^2(1) =$	223.37			

Note: 方法1により50mメッシュの騒音データを組み合わせている。

ZにはLn distance to airportを用いている。

クラスターには、100mのメッシュを用いている。

*** = significant 1%, ** = significant 5%.

表 2-8 騒音データのメッシュ幅と NDI の関係 (Lewbel, 2012 の方法)

Width	方法1			方法2		
	NDI	変化額 (円)	乖離率	NDI	変化額 (円)	乖離率
50m	0.346 ** [0.15]	180.11	-	0.428 *** [0.14]	222.89	-
100m	0.353 ** [0.16]	183.71	2.0%	0.437 *** [0.14]	227.73	2.2%
200m	0.300 ** [0.15]	156.51	-13.1%	0.439 *** [0.14]	228.80	2.6%
300m	0.313 ** [0.14]	163.24	-9.4%	0.438 *** [0.15]	228.09	2.3%
400m	0.319 ** [0.14]	166.00	-7.8%	0.394 *** [0.15]	205.22	-7.9%
500m	0.258 * [0.14]	134.37	-25.4%	0.389 *** [0.14]	202.64	-9.1%
600m	0.145 [0.13]	75.61	-58.0%	0.393 *** [0.13]	204.96	-8.0%
700m	0.196 * [0.11]	102.05	-43.3%	0.365 *** [0.11]	190.10	-14.7%
800m	0.163 * [0.09]	84.87	-52.9%	0.366 ** [0.11]	190.69	-14.4%
900m	0.152 *** [0.06]	79.43	-55.9%	0.297 *** [0.10]	154.93	-30.5%
1000m	0.115 ** [0.05]	59.80	-66.8%	0.262 *** [0.10]	136.32	-38.8%

Note: 被説明変数は家賃の対数値である。

Zには方法1でln Airport distance、方法2ではln Airport distanceとln Shinkansen distanceを用いている。

NDIはLdenが1dB上昇による家賃の減少率である。

変化額は騒音の係数に家賃のサンプル平均(52101円)を乗じている。

乖離率は50mメッシュのNDIを基準としている。

かっこ内は100×100mメッシュでクラスター調整したRobust Standard Errorである。

*** = significant at 1%, **=significant at 5%

2.6. 結論

本論では、航空機騒音の計測誤差が賃貸住宅の家賃を用いた騒音コストの推計に与える影響を分析した。騒音予測プログラムにより、メッシュ幅が異なる騒音データを計算し、物件と最も近い騒音値を組み合わせる方法(方法1)、物件の四隅のメッシュポイントにおける騒音値を補完計算する方法(方法2)を用いて、物件データと組み合わせ、騒音が家賃に与える効果を比較している。また、計測誤差による内生性をコントロールするために、

Lewbel (2012)の方法を用いて推計した。

本章の主な結果をまとめる。方法1、方法2ともに騒音データのメッシュ幅が600mよりも大きくなると、NDI（騒音値が1dB上昇することによる家賃の減少率）が0に近づく傾向が明確になる。これは、方法1を用いた場合には顕著である。例えば、方法1では、メッシュ幅が50mの騒音データを用いると L_{den} の1dBの上昇による家賃の下落は平均81円であるのが、600mでは平均55円であり、32%も過小に推計される。方法1はDekkers and van der Straaten (2009)のように、地域の代表的なポイントにおける騒音値を用いる状況を想定している。この結果は、方法1を用いて物件データと騒音データを組み合わせる場合、計測誤差は、NDIの符号を変えるほどの影響はないかもしれないが、NDIは過小に推計されている点に注意を要することを示唆している。また、Dekkers and van der Straaten (2009)のように、組み合わせる騒音データの区画が均一でない場合、騒音データの計測誤差はより複雑な影響を与えている可能性がある。

方法2は方法1よりも騒音データのメッシュ幅が広くなることによる、NDIの減衰が小さい。したがって、Brandt and Maennig (2011)やBoes and Nüesch (2011)のように、メッシュ形態の騒音データが入手できた場合、方法2のように補完計算をして組み合わせる方が計測誤差の影響を小さくできる。

Lewbel (2012)の方法による推計の結果、メッシュ幅や組み合わせ方法によるものの、OLSの推計値に比べて1.3倍から2.8倍も大きく推計される。特に50mメッシュのデータにおいてもLewbel (2012)の方法で推計したNDIはOLSによるものよりも大きい。これは、騒音予測プログラムで計算した騒音値には、気候や建物などの影響が十分に考慮できていないことによる誤差が含まれているためだと思われる。

以上の結果は、ヘドニックアプローチにより、航空機騒音の価値の計測をする際の注意点を示している。一つ目は、騒音データの計測誤差によるattenuation biasは非常に大きい場合があるので、騒音データの精度や物件データとどのように組み合わせたかについては、明確に述べるべきである。二つ目は、騒音予測プログラムで計算したデータは、何らかの計測誤差を含む可能性があるため、それによる内生性をコントロールした結果もOLSの結果に併せて報告すべきである。

最後に本章の政策的インプリケーションを述べる。ヘドニック法は社会資本整備の費用便益分析のための手法の一つとして示されることが多い。この手法を用いて、滑走路増設などによる航空機騒音のコストを推計する場合、騒音のコストを過小に見積もる恐れがあるので、精度の高い騒音データを用いる必要がある。

2.A. 補論 福岡空港第二滑走路増設に伴う騒音コストの推計

補論では、福岡空港第二滑走路増設が平均的な物件の家賃に与える影響を推計する。2015年1月、福岡空港における第二滑走路を増設し、2024年に運用開始を目指す方針が決定された。決定に先立ち、国土交通省は2012年より、滑走路増設に伴う環境影響評価の手続きを開始し、2015年10月、『福岡空港滑走路増設事業に係る環境影響評価書』（以下、環境アセスメント）を公表している。環境アセスメントの対象には、騒音の他に大気質、振動、水質などが含まれている。

以下では、環境アセスメントの2027年と2037年の騒音コンターの計算条件に基づき、福岡空港の第二滑走路増設に伴う騒音のコストを推計する。騒音のコストの計算は以下の手順で行う。最初に騒音予測プログラムを用いて、2027年と2037年の騒音データを、メッシュ幅を変えて計算し、メッシュ幅ごとに方法1、方法2を用いて騒音データと物件データを組み合わせる。それらを用いて、個々の物件における騒音の変化を計算した。騒音の係数、騒音の変化、家賃を乗じて、個々の物件の家賃の変化額を計算し、そのサンプル平均を計算する。

表2-9は第二滑走路増設による2027年と2037年の L_{den} の変化のサンプル平均である。騒音データと物件データの組み合わせ方法に関わらず、2027年は1.3dBから1.4dB程度、2037年には1.6dBから1.7dB程度、騒音値が上昇している。メッシュ幅を大きくすることの影響をみると、2027年においては、方法1、方法2ともに目立った傾向は確認できない。2037年においては、方法1、方法2ともに600m以降、平均値が減少している。

表 2-9 2027年と2037年における騒音値の変化（単位：dB）

Width	方法1		方法2	
	2027年 平均	2037年 平均	2027年 平均	2037年 平均
50m	1.42	1.72	1.42	1.72
100m	1.42	1.72	1.42	1.72
200m	1.41	1.71	1.41	1.71
300m	1.40	1.69	1.40	1.68
400m	1.48	1.76	1.47	1.74
500m	1.43	1.70	1.43	1.70
600m	1.33	1.58	1.33	1.58
700m	1.37	1.62	1.35	1.59
800m	1.44	1.65	1.42	1.62
900m	1.43	1.60	1.41	1.57
1000m	1.37	1.58	1.37	1.55

表 2-10 は、OLS と Lewbel(2012)の方法で推計した NDI を用いて計算した、滑走路増設による 1 件 1 か月あたりの騒音のコストである。偶数列は、50m の推計値からの乖離率である。OLS、Lewbel (2012)の方法により推計した NDI はメッシュ幅の拡大により、小さくなっているの、騒音のコストも小さくなっている。

50m メッシュの騒音データを方法 2 により物件データと組み合わせたデータにより推計した NDI により、福岡空港の滑走路増設に伴う騒音のコストを評価する。他の条件が一定であれば、2027 年において、騒音のコストは 1 件 1 か月あたり 111 円から 307 円程度である。その 10 年後には、1 件 1 か月あたり 134 円から 370 円程度である。

表 2-10 1 件あたりの騒音コスト (単位:円/月)

	方法1				方法2			
	2027年		2037年		2027年		2037年	
OLS								
50m	111.65	-	134.49	-	111.38	-	133.99	-
100m	111.21	-0.4%	133.41	-0.8%	110.97	-0.4%	133.23	-0.6%
200m	104.47	-6.4%	125.45	-6.7%	111.51	0.1%	133.95	0.0%
300m	105.66	-5.4%	126.00	-6.3%	109.46	-1.7%	130.06	-2.9%
400m	120.80	8.2%	142.63	6.1%	117.34	5.4%	137.85	2.9%
500m	107.14	-4.0%	127.02	-5.6%	111.95	0.5%	132.33	-1.2%
600m	70.33	-37.0%	83.45	-38.0%	97.69	-12.3%	115.40	-13.9%
700m	77.00	-31.0%	89.69	-33.3%	92.39	-17.1%	107.84	-19.5%
800m	81.53	-27.0%	92.32	-31.4%	98.99	-11.1%	111.17	-17.0%
900m	77.03	-31.0%	84.81	-36.9%	93.34	-16.2%	102.80	-23.3%
1000m	63.98	-42.7%	72.72	-45.9%	80.42	-27.8%	90.60	-32.4%
Lewbel (2012)								
50m	247.93	-	298.63	-	306.75	-	369.00	-
100m	254.09	2.5%	304.82	2.1%	314.30	2.5%	377.33	2.3%
200m	214.15	-13.6%	257.15	-13.9%	313.62	2.2%	376.73	2.1%
300m	221.74	-10.6%	264.43	-11.5%	309.86	1.0%	368.17	-0.2%
400m	238.67	-3.7%	281.80	-5.6%	292.64	-4.6%	343.77	-6.8%
500m	186.33	-24.8%	220.91	-26.0%	280.83	-8.4%	331.94	-10.0%
600m	96.43	-61.1%	114.42	-61.7%	261.85	-14.6%	309.31	-16.2%
700m	135.58	-45.3%	157.92	-47.1%	247.82	-19.2%	289.27	-21.6%
800m	118.99	-52.0%	134.74	-54.9%	263.88	-14.0%	296.34	-19.7%
900m	110.70	-55.4%	121.88	-59.2%	211.76	-31.0%	233.23	-36.8%
1000m	79.64	-67.9%	90.52	-69.7%	180.09	-41.3%	202.88	-45.0%

参考文献

- Andersson, H., Jonson, L. and Ögren, M. (2010), "Property prices and exposure to multiple noise sources: hedonic regression with road and railway noise, *Environmental and Resource Economics*, vol. 45, issue 1, pp. 73 – 89.
- Angrist, J. D. and Krueger, A. B. (1991), "Does compulsory school attendance affect schooling and earnings?", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 106, no. 4, pp.979-1014.
- Arcand, J. L., Berkes, E. and Panizza, U. (2015), "Too much finance?", *Journal of Economic Growth*, vol. 20, pp.105-148.
- Ashenfelter, O. and Krueger, A. (1994), "Estimates of the economic return to schooling from a new sample of twins", *The American Economic Review*, vol.80, no.5, pp.1157-1173.
- Baranzini, A. and Ramirez, J. V. (2005), "Paying for quietness: The impact of noise on Geneva rents", *Urban Studies*, vol. 42, no.4, pp.633-646.
- Boes, S. and Nüesch, S. (2011), "Quasi-experimental evidence on the effect of aircraft noise on apartment rents", *Journal of Urban Economics*, vol.69, pp.196-204.
- Brandt, S. and Maennig, W. (2011), "Road noise exposure and residential property prices: Evidence from Hamburg", *Transportation Research Part D*, vol.16, pp.23-30.
- Brueckner, J. K. (2003), "Airline traffic and urban economic development", *Urban Studies*, vol.40, no.8, pp.1455-1469.
- Chesher, A. a . (2002), "Welfare measurement and measurement error", *Review of Economic Studies*, vol.69, pp. 357-378.
- Cohen, J. P. a . C. (2008), "Spatial hedonic model of airport noise, proximity, and housing prices", *Journal of Regional Science*, vol.48, issue 5, pp. 859 – 878.
- Dekkers, J. E. C. a . W. (2009), "Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport", *Ecological Economics*, vol. 68, pp.2850-2858.
- Denny, K. and Oppedisano, V. (2013), "The surprising effect of larger class sizes: Evidence using two identification strategies", *Labor Economics*, vol. 23, pp. 57-65.
- Girvin, R. (2009), "Aircraft noise-a *Journal of Air Transport Management* .15, pp.14-22.
- Lewbel, A. (2012), "Using heteroscedasticity to identify and estimate mismeasurement and endogenous regressor models", *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 30, no. 1, pp.67-80.
- Matos, J. C. B., Flindell, I., Masurier P. L. and Pownall, C. (2013), "A comparison of hedonic price and stated preference methods to derive monetary values for aircraft noise disturbance and annoyance", *Transportation Research Part D*, vol. 20, pp.40-47.
- McMillen (2004), "Airport expansions and property values: the case of Chicago O'Hare Airport", *Journal of Urban Economics*, vol. 55, pp.627-640.

- Nelson, J. P. (2004), "Meta-Analysis of airport noise and hedonic property values, problems and prospect", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 38, part 1, pp.1 – 28.
- Pope, J. C. (2008), "Buyer information and the hedonic: The impact of a seller disclosure on the implicit price for airport noise", *Journal of Urban Economics*, vol. 63, pp.498-516.
- Püschel, R. a . (2012), "Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf International Airport", *Transportation Research Part D*, vol.17, pp.598-604.
- Sabia, J. J. (2007), "The effect of body weight on adolescent academic performance", *Southern Economic Journal*, vol. 73, no. 4, pp. 871-900.
- Sheard, N. (2014), "Airport and urban sectoral employment", *Journal of Urban Economics*, vol.80, pp. 133-152.
- Swoboda, A., Nega, T. and Timm, M. (2015), "Hedonic analysis over time and space: The case of house price and traffic noise", *Journal of Regional Science*, vol.55, no.4, pp. 644-670.
- Thanos, S., Bristow, A. L. and Wardman, M. R. (2014), "Residential sorting and environmental externalities: The case of nonlinearities and stigma in aviation noise values", *Journal of Regional Science*, vol. 55, no. 3, 468-490.
- Theebe M. A. J. (2004), "Planes, trains and automobiles: the impact of noise on house prices, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 28, issue 2-3, pp.209-234.
- Winke, T. (2017), "The impact of aircraft noise on apartment prices: a differences-in-differences hedonic approach for Frankfurt, Germany, *Journal of Economic Geography*, vol. 17, pp. 1283-1300.

第3章 航空機騒音による外部不経済が存在する下での国際空港の

運営形態競争

3.1. はじめに

空港の民営化は1980年代後半にイギリスにおいてはじめて実施され、その後も欧州、アジアなどの主要空港を中心に進展している。空港民営化の目的として、航空系と非航空系の一体化経営による効率化、サービス水準の向上、空港施設の投資資金の確保などが指摘される(Graham, 2011)。一方で、空港の運営形態を社会的余剰の最大化を目的とする政府(公営企業)から、利潤最大化を目的とする民間企業に転換することには、大きく二つの不効用が伴う。一つは独占である。空港民営化の対象となるのは大規模の国際空港であることが多い。その場合、空港は地域独占の状況にある。二つ目は環境負荷による外部不経済である。航空機騒音、地域大気質汚染などの環境負荷は空港の運営に伴う外部不経済の典型例であり、依然として重要な問題である。民営空港は外部性を補正するような規制を課されない場合、それを内部化する取り組みをしない。異なる国の政府が、価格支配力を持つ公営企業の民営化を戦略的に決定する状況において、外部不経済はどのような影響を与えるのだろうか?本章では、航空機騒音を想定した外部不経済がある下での二国間の空港の運営形態に関する競争を分析する。

空港と航空市場に関する理論的研究は、空港と航空会社の垂直的構造とネットワーク構造(空港の補完性)に着目するものが多い。航空会社は輸送サービスを生産するためには、空港を利用しなければならないので、空港は航空会社の行動を直接的、間接的にコントロールできる(垂直的構造)。また、航空会社は少なくとも二つの空港を結ぶネットワークにおいて輸送サービスをしており、離陸と着陸のための空港利用は補完的な生産要素である(空港の補完性)。

空港の民営化に関する研究の多くは上記の特徴を踏まえた上で、主に民営空港の独占の問題に着目してきた(Basso, 2008; Basso and Zhang, 2008; Lin, 2013など)。そして、その多くが民営空港は独占力を行使する結果、民営化は社会的損失につながることを示している。例えば、Basso (2008)は二つの空港を結ぶネットワークにおいて、空港の民営化が空港使用料(着陸料)や混雑投資に与える影響を分析した。定性的分析と数値解析により、社会的最適と比較して、民営空港は混雑に対して過剰な料金を課す一方で、投資水準は過小となるため、空港の民営化により社会的損失が生じることを示している。

上記の先行研究では、一国内における航空ネットワークを想定し、空港民営化の影響を分析してきた。一方で、Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)は、二国間の航空ネットワークにおいて両国の空港が戦略的に着陸料(輸送量)を決定する状況を想定すると、空港民営化により自国の余剰が改善する可能性があることを示した。しかし、両国の政府が空

港の運営形態（公営 or 民営）を決定する状況では、両国は国内余剰の改善を求めて空港の民営化を選択するものの、そのような状態は両国が空港の公営化を選択した場合と比較して、両国の余剰は小さく、囚人のジレンマに陥っている。

Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)のモデルを援用した研究はいくつか存在する。Matsushima and Takauchi (2014)は輸送のコストを取り込んだ場合、Lin and Mantin (2015)、Kawasaki (2016)は国内線ネットワークも考慮した場合を分析している。

環境負荷がある場合に公営企業の民営化が経済に与える影響に関する研究も複数なされている。(Kato, 2006; Naito and Ogawa, 2009; Kato, 2011; Pal and Saha, 2015 など)。これらの研究は主に、民間企業と公営企業の混合寡占(Mixed oligopoly)市場を対象として、一国内における民営化政策を分析しており、国家間の戦力的相互依存の状況を考慮していない。本章では、Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)のモデルに航空機騒音を想定した外部不経済を導入し、二国間の空港の運営形態競争を分析する。

ここで、本章のモデルにおいて、騒音のダメージは輸送量の二次形式で表現する。これは、Thanos, Bristow and Wardman (2014)、Brandt and Maennig (2011)などのヘドニックモデルにより航空機騒音や交通騒音の価値を計測する研究において、騒音の限界効果が逡増する結果を指摘していることを受けている。

本章での分析の結果、騒音ダメージのパラメーターに依存して Nash 均衡が変化することが分かった。そして、騒音ダメージのパラメーターが十分に大きい場合、両国ともに空港を公営化することが Nash 均衡となる。しかし、それが直ちに囚人のジレンマを解消するとは限らない。つまり、両国ともに空港を民営化の方が両国の社会的余剰を改善する可能性がある。

3.2. モデルの環境とゲームのステップ

二国 ($i \in \{1, 2\}$) 間の国際航空ネットワークを考える。各国には 1 つの国際空港があり、二つの航空会社 ($j \in \{1, 2\}$) が空港間のラウンドトリップを提供している。航空会社 1 (2) は 1 国 (2 国) の国民が株式を保有している。また、空港の運営形態が民営と公営のいずれの場合であっても、空港の利潤は所在国の余剰となる。

各国の代表的消費者の効用関数は、

$$U_i = \alpha \sum_j q_i^j - \frac{1}{2} \left(\sum_j q_i^j \right)^2 + Z_i$$

で与えられている。ここで、 $\alpha > 0$ は需要の規模のパラメーター、 q_i^j は航空会社 j が輸送する i 国の旅客のサイズであり、需要関数の傾きが 1 になるように測られている。また、 Z_i は numeraire 財の数量である。両国の代表的消費者にとって、航空会社の輸送サービスは完全に代替的である。また、航空会社は両国間で価格差別できない。各国の代表的消費者の予算制約は、

$$\sum_j p q_i^j + Z_i = M_i$$

である。ここで、 p は航空チケットの価格、 M_i は*i*国の代表的消費者の所得である。

航空会社は1国と2国の旅客間でチケット価格を差別することができないと仮定する。航空会社が直面する逆需要関数は、

$$p = \alpha - \frac{1}{2} \sum_j q^j$$

である。ここで、 $q^j = \sum_i q_i^j$ である。

航空会社は各空港において旅客1人あたり f_i の着陸料を支払う。航空会社の運航費用はゼロと仮定すると、航空会社*j*の利潤 (π^j) は、

$$\pi^j = \left(p - \sum_i f_i \right) q^j$$

である。

各国の消費者余剰 (CS_i) は、

$$CS_i = \frac{1}{2} \sum_j (\alpha - p) q_i^j = \frac{(\sum_j q^j)^2}{8}.$$

空港周辺における騒音による負荷 (ND_i) は以下のように表現できると仮定する。

$$ND_i = \frac{n(\sum_j q^j)^2}{2}.$$

ここで、 $n \in [0, 2]$ は騒音によるダメージのパラメーターであり、航空機騒音に対する空港周辺の負担の程度を表している。

空港の限界費用はゼロであるとする。空港の利潤 (Π_i)

$$\Pi_i = f_i \sum_j q^j$$

である。

各国の社会的余剰は、

$$SW_i = CS_i + \pi^j + \Pi_i - ND_i$$

である。

空港の運営形態 ($k_i \in \{P, G\}$) が民営 (P) の場合、空港は利潤最大化を目的に行動する。また、公営 (G) の場合、空港は自国の社会的余剰の最大化を目的に行動する。

ゲームは以下のステップで進められる。最初に両国の政府は他国の運営形態を所与として、 k_i を決定する。次に、両国の空港が他国の着陸料を所与として、その目的を最大化する f_i を同時に決定する。最後に、両国の航空会社は所与の f_i の下、利潤を最大化する旅客輸送

量 (q^j) を決定する。以下ではゲームを backward induction により解く。

3.3. 航空会社の問題

航空会社はクールノー競争をしていると仮定する。航空会社 j の利潤は、

$$\begin{aligned}\pi^j &= \left(p - \sum_i f_i \right) q^j \\ &= \left\{ \alpha - \frac{1}{2} \sum_j q^j - \sum_i f_i \right\} q^j\end{aligned}$$

である。

航空会社 j は各空港における着陸料 f_i , ($i = 1, 2$) と他の航空会社の輸送量 q^{-j} を所与として、利潤を最大にする輸送量を決定する。一階の条件より、航空会社の輸送量、チケット価格は

$$q^j = \frac{2(\alpha - \sum_i f_i)}{3}, \quad p = \frac{\alpha + 2 \sum_i f_i}{3}$$

である。また、航空会社の利潤、消費者余剰、騒音のダメージは、

$$\begin{aligned}\pi^j &= \frac{2(\alpha - \sum_i f_i)^2}{9}, \quad CS_i = \frac{2(\alpha - \sum_i f_i)^2}{9}, \\ ND_i &= \frac{8n(\alpha - \sum_i f_i)^2}{9}.\end{aligned}$$

空港の利潤は、

$$\Pi_i = \frac{4f_i(\alpha - \sum_i f_i)}{3}. \quad (1)$$

社会的余剰は、

$$SW_i = \frac{4(\alpha - \sum_i f_i)\{(1 - 2n)\alpha + 2(1 + n)f_i - (1 - 2n)f_{-i}\}}{9}. \quad (2)$$

3.4. 空港の問題

3.4.1. 運営形態ごとの着陸料

民営空港は他国の空港の着陸料を所与として、利潤を最大化するような f_i を決定する。(1)式より、一階の条件は、

$$f_i = \frac{\alpha - f_{-i}}{2} \quad (3)$$

である。

公営空港は他国の空港の着陸料を所与として、社会的余剰を最大化するような f_i を決定する。(2)式より、一階の条件は、

$$f_i = \frac{(1 + 4n)(\alpha - f_{-i})}{4(1 + n)} \quad (4)$$

である。

空港の運営形態と騒音のダメージパラメーター(n)に関わらず、 f_i は f_{-i} の減少関数である。つまり、両国の着陸料は戦略的代替関係にある。

また、所与の f_{-i} に対して、各運営形態の下での着陸料を $f_i(k_i; f_{-i})$ とする。以下の命題が成立する。

命題 1

所与の f_{-i} に対して、民営空港と公営空港の着陸料は以下の関係にある。

- (i) $0 \leq n < 0.5$ ならば、 $f_i(P; f_{-i}) > f_i(G; f_{-i})$,
- (ii) $n = 0.5$ ならば、 $f_i(P; f_{-i}) = f_i(G; f_{-i})$,
- (iii) $0.5 < n \leq 2$ ならば、 $f_i(P; f_{-i}) < f_i(G; f_{-i})$.

本章のモデルにおいて、空港民営化に関しては二つの市場の失敗がある。一つ目は独占である。民営空港の目的は利潤最大化なので、独占企業が課す着陸料は社会的に高すぎる水準になる。二つ目は騒音の外部不経済である。民営化空港は外部不経済を考慮しないので、着陸料は社会的に低すぎる水準になる。命題 1 は民営空港の着陸料が超過であるか、過小であるかは騒音のダメージパラメーター(n)に依存することを示している。

他国の着陸料を所与とすると、 $0 \leq n < 0.5$ においては、独占による価格支配力の問題が相対的に大きいため、民営空港が設定する着陸料は公営空港と比べて超過料金となる。また、 $n = 0.5$ のときは、空港の運営形態に関わらず、同一の料金を設定する。そして、 $0.5 < n \leq 2$ においては、騒音によるダメージが相対的に深刻となり、民営空港が設定する着陸料では公営空港に比べて過小料金となる。

続いて、(3)、(4)を用いて、空港の運営形態が、両国ともに民営の場合、1国(2国)が公営、2国(1国)が民営の場合、両国ともに公営の場合の結果を求める。表 3-1、3-2 はそれぞれの組み合わせの結果である。ここで、第 1 列の運営形態は (k_i, k_{-i}) 、 $k_i, k_{-i} \in \{P, G\}$ 、 $i \neq -i \in \{1, 2\}$ である。結果は、騒音ダメージのパラメーター(n)に依存する。図 3-1、3-2 は、 $\alpha = 1$ の場合の n と結果の関係である。

表 3-1 結果（着陸料、輸送量、チケット価格）

運営形態	f_i	q_i	p
(P, P)	$\frac{\alpha}{3}$	$\frac{2\alpha}{9}$	$\frac{7\alpha}{9}$
(G, P)	$\frac{(1+4n)\alpha}{7+4n}$	$\frac{2\alpha}{7+4n}$	$\frac{(5+4n)\alpha}{7+4n}$
(P, G)	$\frac{3\alpha}{7+4n}$	$\frac{2\alpha}{7+4n}$	$\frac{(5+4n)\alpha}{7+4n}$
(G, G)	$\frac{(1+4n)\alpha}{5+8n}$	$\frac{2\alpha}{5+8n}$	$\frac{(3+8n)\alpha}{5+8n}$

表 3-2 結果（消費者余剰、航空会社の利潤、空港の利潤、騒音ダメージ、社会的余剰）

運営形態	$CS_i = \pi^j$	Π_i	ND_i	SW_i
(P, P)	$\frac{2\alpha^2}{81}$	$\frac{4\alpha^2}{27}$	$\frac{8n\alpha^2}{81}$	$\frac{8(2-n)\alpha^2}{81}$
(G, P)	$\frac{2\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{4(1+4n)\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{8n\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{8(1+n)\alpha^2}{(7+4n)^2}$
(P, G)	$\frac{2\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{12\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{8n\alpha^2}{(7+4n)^2}$	$\frac{8(2-n)\alpha^2}{(7+4n)^2}$
(G, G)	$\frac{2\alpha^2}{(5+8n)^2}$	$\frac{4(1+4n)\alpha^2}{(5+8n)^2}$	$\frac{8n\alpha^2}{(5+8n)^2}$	$\frac{8(1+n)\alpha^2}{(5+8n)^2}$

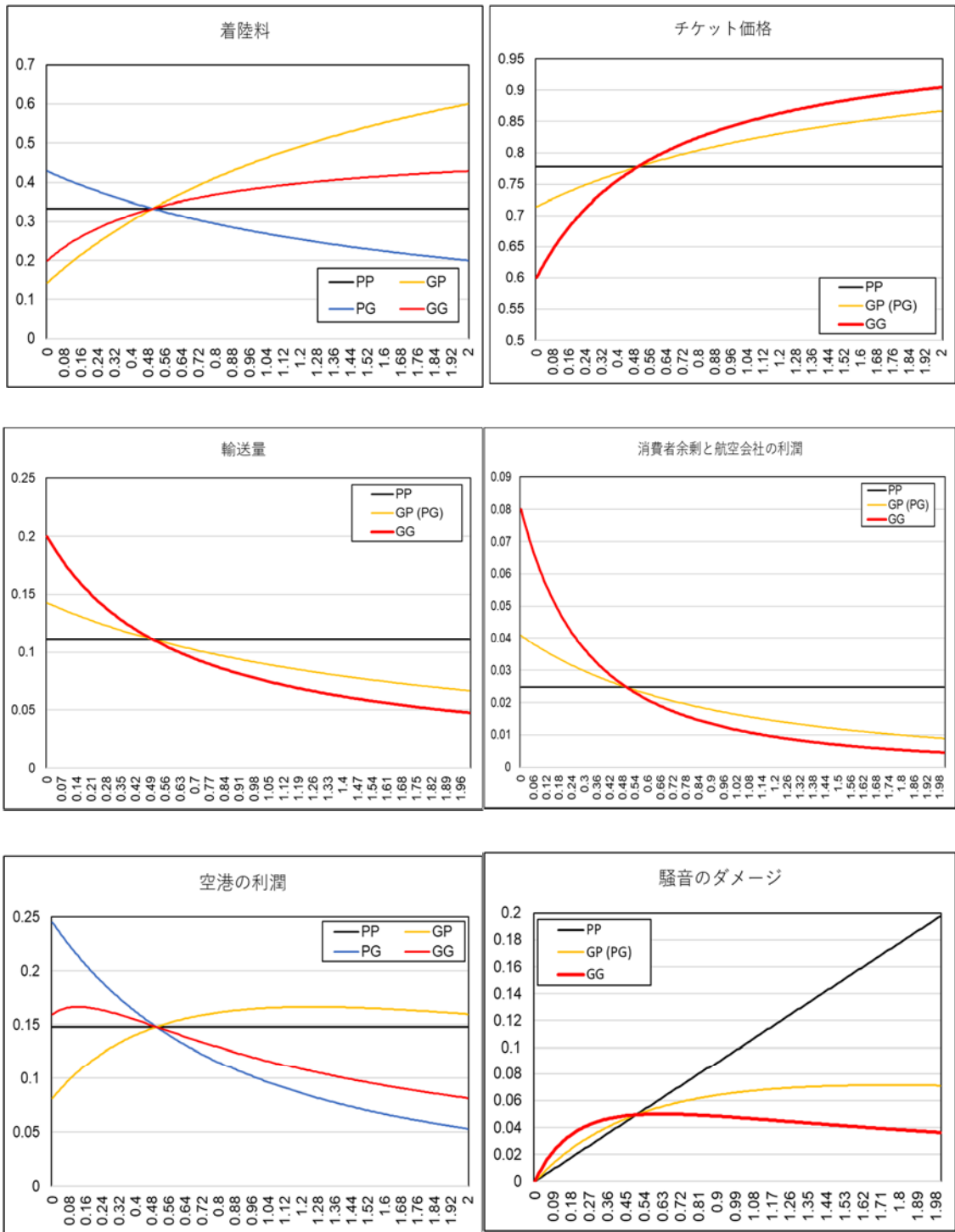


図 3-1 n と結果の関係

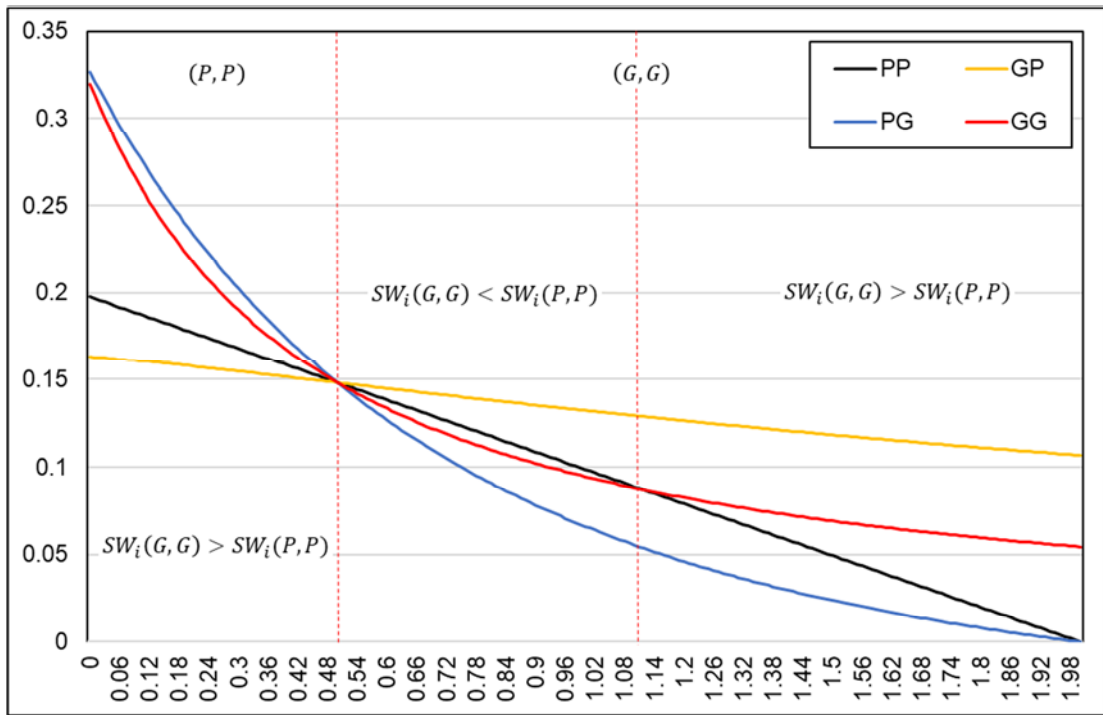


図 3 - 2 n と社会的余剰の関係

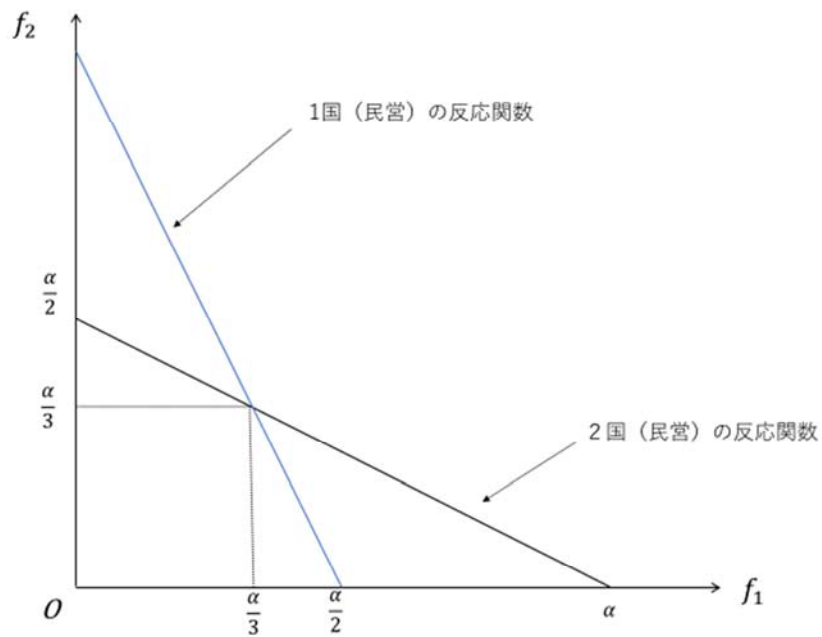


図 3-3 民営 (1 国) vs 民営 (2 国) の反応関数

3.4.2. 両国ともに民営の場合

一国、二国ともに空港が民営である場合を分析する。図 3-3 は両国の空港が民営である場合の反応関数である。民営空港の目的は利潤最大化であり、自国の空港周辺における騒音ダメージを考慮しない。そのため、両国の空港の反応関数は一意に定まっている。

両空港の着陸料、旅客輸送量、消費者余剰、航空会社の利潤、空港の利潤は、 n に関わらず、一定である（図 3-1、PP）。一方で、騒音ダメージは $\frac{8n\alpha^2}{81}$ であり、 n が大きくなるに従い

比例的に増加する。社会的余剰は $SW_i = \frac{8(2-n)\alpha^2}{81}$ であり、 n が大きくなるにしたがい、比例的に減少する。

3.4.3. 公営 vs 民営の場合

1 国（2 国）の空港が公営(G)、2 国（1 国）が民営(P)の場合を分析する。図 3-4 は 1 国と 2 国の空港の反応関数であり、例として、 $n = 0, 0.5, 1$ の場合を描いている。1 国の反応関数は n が大きくなると、縦軸切片を中心に右側に回転する。一方で、2 国の反応関数は n に応じて

変化しない。両国の着陸料は $f_1 = \frac{(1+4n)\alpha}{7+4n}$ 、 $f_2 = \frac{3\alpha}{7+4n}$ である。 $\frac{df_1}{dn} = \frac{24\alpha}{(7+4n)^2} > 0$ 、 $\frac{df_2}{dn} = -\frac{12\alpha}{(7+4n)^2} < 0$ であるので、 n が大きくなるにつれて、1 国の着陸料は上昇する一方で、2 国の

着陸料は下落する。また、 $\frac{df_1}{dn} + \frac{df_2}{dn} = \frac{12\alpha}{(7+4n)^2} > 0$ であるので、 n が大きくなるにつれて、着陸料の総額は上昇する。以下では、 n で場合分けをして分析する（図 3-1, 3-2, GP, PG）

$0 \leq n < 0.5$ の場合において、公営空港（1 国）が消費者余剰や航空会社の利潤を重視して着陸料を低く設定すると、両空港の着陸料は戦略的代替関係にあるので、2 国の民営空港がより高い料金を設定する。両国着陸料を比較すると、 $f_1 < f_2$ である。1 国と 2 国の代表的消費者の効用関数、航空会社、騒音ダメージのパラメーターは対称であるので、それぞれの旅客輸送量、消費者余剰、航空会社の利潤、および、騒音ダメージは等しい。両国で異なるのは、空港の利潤のみであり、 $\Pi_1 < \Pi_2$ である。結局、両国の社会的余剰は、 $SW_1 < SW_2$ である。したがって、 n が十分に小さいと、自国の公営空港は国内の消費者余剰や航空会社の利潤を重視して低い料金を設定しているにも関わらず、他国の民営空港がより高い料金を設定するので、自国よりも他国の方が、社会的余剰は高くなる。

$n = 0.5$ においては、公営空港の反応関数と民営空港の反応関数は一致する。そのため、 $f_1 = f_2 = \frac{\alpha}{3}$ である。その他の結果も(P,P)の場合と等しい。

$0.5 < n \leq 2$ においては、公営空港（1 国）は騒音のダメージを重視して高い料金を設定すると、 $0 \leq n < 0.5$ の場合と異なり、2 国の民営空港は（着陸料に関する戦略的代替関係のた

め) 着陸料を低く設定する。両空港の着陸料を比較すると、 $f_1 > f_2$ である。旅客輸送量、消費者余剰、航空会社の利潤、騒音ダメージは両国において等しいが、空港の利潤は $\Pi_1 > \Pi_2$ である(図3-1、PGとGP)。結局、両国の社会的余剰は $SW_1 > SW_2$ である(図3-2、PGとGP)。したがって、 n が十分に大きい場合、自国の公営空港は騒音ダメージを重視して着陸料を高く設定すると、他国の民営空港が着陸料を低く設定するため、結果的に自国の社会的余剰は他国よりも大きくなる。

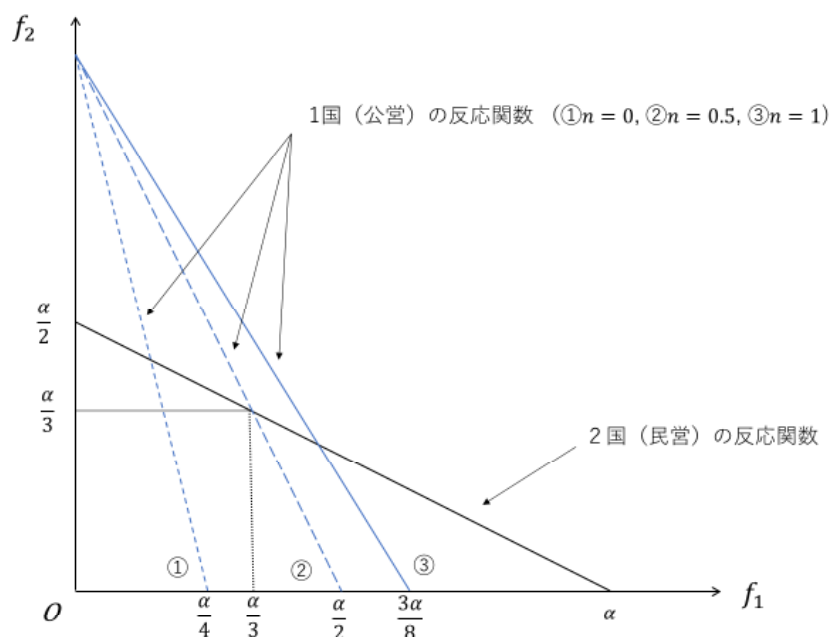


図3-4 公営(1国)vs 民営(2国)の反応関数

3.4.4. 両国ともに公営の場合

両国の空港が公営の場合を分析する(図3-1のGG)。図3-5は1国と2国がともに公営の空港の反応関数であり、例として、 $n = 0, 0.5, 1$ の場合を描いている。 n が大きくなるに従い、1国の反応関数は縦軸切片、2国の反応関数は横軸切片を中心に右側に回転する。着陸料は $f_i = \frac{(1+4n)\alpha}{5+8n}$ である。 $\frac{df_i}{dn} = \frac{12\alpha}{(5+8n)^2} > 0$ であるので、 n が大きくなるに従い、両空港の着陸料は高くなる。そのため、輸送量、消費者余剰、航空会社の利潤は、 n が大きくなるにつれ、単調に減少する。一方で、空港の利潤は、 $\Pi_i = \frac{4(1+4n)\alpha^2}{(5+8n)^2}$ である。 $\frac{d\Pi_i}{dn} = \frac{16(1-8n)\alpha^2}{(5+8n)^3}$ であるので、 $0 \leq n < 0.125$ において、空港の利潤は増加し、 $n = 0.125$ において最大であり、 $0.125 < n \leq 2$ において減少する。騒音のダメージは、 $ND_i = \frac{8n\alpha^2}{(5+8n)^2}$ である。 $\frac{dND_i}{dn} = \frac{8(5-8n)\alpha^2}{(5+8n)^3}$ であるので、

騒音のダメージは、 $0 \leq n < 0.625$ において増加し、 $n = 0.625$ において最大となり、 $0.625 < n \leq 2$ において減少する。社会的余剰は $SW_i = \frac{8(1+8n)\alpha^2}{(5+8n)^2}$ であり、 $\frac{dSW_i}{dn} = \frac{-8(11+8n)\alpha^2}{(5+8n)^3} < 0$ である。したがって、 n が大きくなるに従い、社会的余剰は小さくなる。

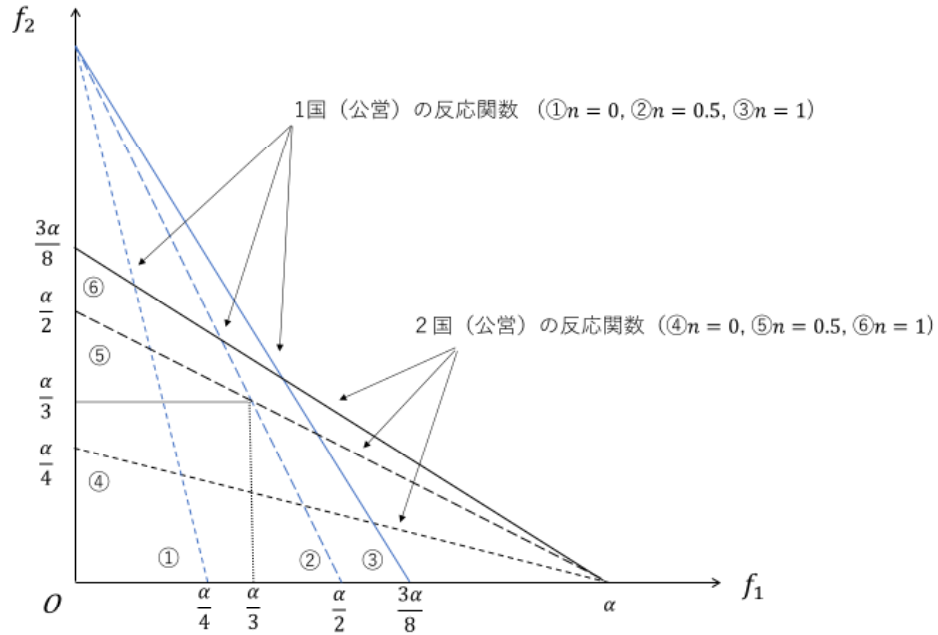


図 3-5 公営（1 国）vs 公営（2 国）の反応関数

3.5. 空港の運営形態の決定

空港の運営形態の決定について議論する。両国の政府は他国の空港の運営形態を所与として、自国の空港の運営形態を決定する。ここで、 $SW_i(k_i, k_{-i})$ を空港の運営形態の組み合わせが (k_i, k_{-i}) ときの第 i 国の社会的余剰とする。2.3における議論をまとめると、命題 2 が成立する。

命題 2

騒音のダメージパラメーター(n)に応じて、Nash 均衡は以下のように定まる。

- (i) $0 \leq n < 0.5$ ならば、 (P, P) が Nash 均衡である。このとき、 $SW_i(P, P) < SW_i(G, G)$ であり、 (G, G) が (P, P) をパレート支配する。
- (ii) $n = 0.5$ ならば、任意の運営形態の組み合わせの下で社会的余剰は等しく、どの組み合わせも Nash 均衡となる。
- (iii) $0.5 < n < \frac{1+3\sqrt{7}}{8}$ ならば、 (G, G) が Nash 均衡である。このとき、 $SW_i(P, P) > SW_i(G, G)$ で

あり、 (P, P) は (G, G) をパレート支配する。

(iv) $\frac{1+3\sqrt{7}}{8} \leq n < 2$ ならば、 (G, G) がNash均衡である。このとき、 $SW_i(P, P) \leq SW_i(G, G)$ であり、 (G, G) をパレート支配する組み合わせは存在しない。

証明

他国の空港が民営の場合を考える（図3-2, PPとPG）。このとき、自国の空港が民営を選択する場合と公営を選択する場合の社会的余剰の差は、

$$SW_i(P, P) - SW_i(G, P) = \frac{8\alpha^2(17 + 16n + 8n^2)(1 - 2n)}{81(7 + 4n)^2}.$$

したがって、 $0 \leq n < 0.5$ ならば $SW_i(P, P) > SW_i(G, P)$ である。 $n = 0.5$ ならば $SW_i(P, P) = SW_i(G, P)$ である。そして、 $0.5 < n \leq 2$ ならば、 $SW_i(P, P) < SW_i(G, P)$ である。

続いて、他国の空港が公営の場合を考える（図3-2, PGとGG）。このとき、自国の空港が民営を選択する場合と公営を選択する場合の社会的余剰の差は、

$$SW_i(P, G) - SW_i(G, G) = \frac{8\alpha^2(1 + 32n + 40n^2)(1 - 2n)}{(5 + 8n)^2(7 + 4n)^2}.$$

したがって、 $0 \leq n < 0.5$ ならば、 $SW_i(P, G) > SW_i(G, G)$ である。 $n = 0.5$ ならば、 $SW_i(P, G) = SW_i(G, G)$ である。そして、 $0.5 < n \leq 2$ ならば、 $SW_i(P, G) < SW_i(G, G)$ である。

両国ともに空港が民営である場合と両国ともに公営である場合を考える（図3-2, PPとGG）。この社会的余剰の差は

$$SW_i(P, P) - SW_i(G, G) = \frac{8\alpha^2(1 - 3\sqrt{7} - 8n)(1 + 3\sqrt{7} - 8n)(1 - 2n)}{81(5 + 8n)^2}.$$

したがって、 $n < 0.5$ ならば、 $SW_i(P, P) - SW_i(G, G) < 0$ 、 $n = 0.5$ ならば、 $SW_i(P, P) - SW_i(G, G) = 0$ 、 $0.5 < n < \frac{1+3\sqrt{7}}{8}$ ならば、 $SW_i(P, P) - SW_i(G, G) > 0$ 、 $n \geq \frac{1+3\sqrt{7}}{8}$ ならば、 $SW_i(P, P) - SW_i(G, G) \leq 0$ である。（証明終わり）

$0 \leq n < 0.5$ においては、両国ともに空港を民営化することがNash均衡である。民営空港が設定する着陸料は超過料金であるので、両国が同時に空港を公営化することで、互いに社会的余剰を改善することができる。しかし、自国の空港が公営化し、着陸料を低く設定しても、他国の空港が民営化を維持すれば、（両国ともに民営を選択する場合よりも）空港の利潤は減少する。この状況における空港の公営化は、国内の消費者余剰、航空会社の利潤を増加させるものの、利潤の減少と騒音ダメージの増加が上回るので、社会的余剰は減少してしまう。また、他国の空港が公営化しても、自国の空港は民営を維持する方が、両国ともに空港を公営にする場合よりも、社会的余剰は高い。そのため、両国は空港の公営化を選択することができず、囚人のジレンマに陥っている。Mantin (2012)と Matsumura and Matsushima (2012)における主要な結果は、輸送量の二次形式で表現される外部不経済のダメージがある

場合であっても、 n が十分に小さいならば保たれる。

$n = 0.5$ においては、両国の政府にとって、民営と公営のいずれも無差別であり、任意の運営形態の組み合わせが Nash 均衡となりうる。

$0.5 < n < \frac{1+3\sqrt{7}}{8}$ においては、両国ともに空港の公営を選択することが Nash 均衡となる。

しかし、両国が同時に空港を民営化することで、互いに社会的余剰を改善することができる。この理由は以下のとおりである。この場合、騒音のダメージが相対的に深刻であるので民営空港が設定する着陸料は低すぎる。しかし、両国がともに空港を民営化することにより、輸送量が十分に増加するので、消費者余剰、航空会社の利潤だけでなく、空港の利潤も増加する。一方で、騒音のダメージも増加するものの、前者の効果が後者の効果を上回り、 $SW_i(P, P) > SW_i(G, G)$, $i \in \{1, 2\}$ となる。

しかし、自国が空港を民営化して低い着陸料を設定しても、他国が公営を維持すれば、(両国がともに公営を選択する場合に比べて) 空港の利潤は大きく減少し、社会的余剰も減少してしまう。また、他国が空港を民営化した場合、自国は公営化を維持する方が、両国ともに民営を選択する場合よりも社会的余剰は高い。そのため、両国とも民営を選択することができず、囚人のジレンマに陥っている。これは Mantin (2012)、Ma (2012) など関係する研究においても指摘されておらず、本章で初めて指摘した結果である。

$\frac{1+3\sqrt{7}}{8} \leq n < 2$ においては、 $0.5 < n < \frac{1+3\sqrt{7}}{8}$ の場合と同様、両国ともに空港を公営にすることが Nash 均衡である。しかし、この場合、両国が同時に空港を民営化しても、それによる社会的便益の拡大は社会的費用の拡大よりも小さい。したがって、両国ともに空港を公営にする均衡をパレート支配する組み合わせは存在しない。

3.6. 結論

本章では、Mantin (2012)、Ma

、二国間の航空ネットワークにおける空港の運営形態競争を分析した。騒音のダメージは限界効果が逡増する状況を想定し、輸送量の二次形式で表現している。

主な結果をまとめる。モデルにおいて、民営空港の目的は利潤最大化であり、公営空港の目的は自国の社会的余剰の最大化であった。したがって、空港民営化には独占と外部不経済という二つの非効率性が存在する。民営空港と公営空港の設定する着陸料を比較した結果、他国の着陸料を所与とすると、民営空港が設定する着陸料が超過であるか、過小であるかは、騒音のダメージパラメーター (n) の大きさにより変化することが明らかになった。 n が十分に小さい場合、相対的に独占であることの弊害が大きく、民営空港が設定する着陸料は超過である。一方で、 n が十分に大きい場合には、外部性のダメージを考慮しないことが相対的に問題であり、民営空港の着陸料は過小である。

続いて、航空機騒音による環境負荷がある下での、二国間の空港の運営形態競争を分析した。分析の結果、 n に応じて Nash 均衡は変化することが明らかになった。

両国の空港は戦略的代替財であるので、一方の空港が低い着陸料に設定すると、他国は着陸料を高く設定することが可能である。また、 n が十分に小さい場合、他の空港の着陸料を所与とすると、民営空港は公営空港よりも高い着陸料を設定する。このとき、空港民営化は支配戦略になるので、両国ともに空港を民営化することが Nash 均衡となる。しかし、両国ともに空港を公営化することで、それぞれの社会的余剰を改善することができる。したがって、両国は囚人のジレンマに陥っている。

n が十分に大きい場合、他国の着陸料を所与とすると、民営空港が設定する着陸料は公営空港よりも低い。このとき、空港公営化は支配戦略になるので、両国ともに空港を公営化することが Nash 均衡となる。

しかし、両国の空港公営化が社会的に最も望ましい状態とは限らない。ある n の範囲では、両国が同時に民営化することで、両国の空港公営化よりも、それぞれの社会的余剰を改善することができる。したがって、ある n の範囲においては、両国の空港の公営化は、囚人のジレンマに陥っている。これは、Mantin (2012)、Matsumura and Matsushima (2012) に騒音のダメージを導入することで明らかになった結果である。

近年、我が国においては国際線が運航している主要空港の民営化が進んでいる。本論の結果から得られる空港民営化に関する政策的インプリケーションは以下の通りである。騒音ダメージのパラメーター(n)は、航空機騒音が空港周辺地域に与える負担の程度を表している。そして、 n に応じて、政府が選択すべき空港の運営形態は変化する。そのため、空港の運営形態の決定は、ヘドニック法などにより航空機騒音が空港周辺に与えている負担感を貨幣ベースで評価に基づいてなされる必要がある。

また、囚人のジレンマ型の Nash 均衡の存在は、空港民営化は一つの国の中だけで意思決定をするのではなく、国際的に協調した枠組みの中で決定することの必要性を示唆している。

最後に、本章の課題を述べる。モデルでは両国が対象のケースのみを分析した。現実的には、空港周辺における住宅の分布状況や騒音に対する受容度は国や空港により異なると考えられる。そのため、騒音のパラメーターが非対称のケースを分析することには意義があると思われる。しかし、これは今後の課題とする。

参考文献

- Basso, L. J. (2008), "Airport deregulation: Effects on pricing and capacity", *International Journal of Industrial Organization*, vol. 26, pp. 1015-1031.
- Basso, L. J. and Zhang, A. (2008), "Congestible facility rivalry in vertical structures", *Journal of Urban Economics*, vol.61, no.2, pp.218-237.
- Brandt, S. and Maennig, W. (2011), "Road noise exposure and residential property prices: Evidence from Hamburg", *Transportation Research Part D*, vol.16, pp.23-30.
- Graham, A. (2011), "The objectives and outcomes of airport privatization", *Research in Transportation Business & Management*, vol.1, pp.3-14.
- Kato, K. (2006), "Can allowing to trade permits enhance welfare in mixed oligopoly?", *Journal of Economics*, vol.88, no.3, pp.263-283.
- Kato, K. (2011), "Emission quota versus emission tax in a mixed duopoly", *Environmental Economics and Policy Studies*, vol.10, pp.13-63.
- Kawasaki, A. (2017), "Airport privatization competition including domestic airline markets", *Review of Urban & Regional Development Studies*, vol.29, no.1, pp.2-17.
- Lin, M. H. (2013), "Airport privatization in congested hub-spoke networks", *Transportation Research Part B*, vol.54, pp.51-67.
- Lin, M. H. and Mantin, B. (2015), "Airport privatization in international inter-hub and spoke networks", *Economics of Transportation*, vol.4, pp.189-199.
- Mantin, B. (2012), "Airport complementarity: Private vs. government ownership welfare gravitation", *Transportation Research Part B*, vol.46, pp.381-388.
- Matsumura, T. a . (2012), "Airport privatization and international competition", *The Japanese Economic Review*, vol.63, no.4, pp.431-450.
- Matsushima, N and Takauchi, K. (2014), "Port privatization in an international oligopoly", *Transportation Research Part B*, vol. 67, pp. 382-397.
- Naito, T and Ogawa, H. (2009), "Direct versus indirect environmental regulation in a partially privatized mixed duopoly", *Environmental Economics and Policy Studies*, vol.10, pp.87-100.
- Oum, T. H., Adler, N. and Yu, C. (2006), "Privatization, corporatization, ownership forms and their effects on the performance of the world's major airports", *Journal of Air Transport Management*, vol.12, pp.109-121.
- Pal, R. and Saha, B. (2015), "Pollu *Resource and Energy Economics* .40, pp.19-35.
- Thanos, S., Bristow, A. L. and Wardman, M. R. (2014), "Residential sorting and environmental externalities: The case of nonlinearities and stigma in aviation noise values", *Journal of Regional Science*, vol. 55, no. 3, 468-490.

第4章 道路に関連する新規とメンテナンス投資配分の変更がマク

ロ経済に与える影響

4.1. はじめに

道路や空港などの社会資本は経済活動をする上での基本的な生産要素であり、その整備水準は現在だけでなく、将来の経済活動にも影響を与える。政府による社会資本整備の重要性は、理論的（Barro, 1990; Glomm and Ravikumar, 1993 など）、実証的（例えば、Aschauer, 1989, Munnell, 1990, 井田・吉田, 1999, Yamano and Ohkawara, 2000, Miyara and Fukushige, 2008 など）に、多くの先行研究において指摘されてきた。ここで、社会資本投資には新規の施設の建設のみでなく、既存施設の維持管理も含まれている。近年、施設の老朽化に伴う事故なども発生しており、社会資本の維持管理は優先度の高い政策課題である。そのため、社会資本の新規投資と維持管理の投資配分について、定量的な分析が求められている。

動学的一般均衡モデルにより社会資本のマクロ経済に与える影響を分析した従来の研究（Barro, 1990; Glomm and Ravikumar, 1993 など）は、社会資本の減耗（減価償却）率を外生的な定数として扱ってきた。しかし、現実には、大型車の交通量が多い道路や橋梁ほどダメージが大きいように、経済活動や利用の程度は社会資本の耐久期間に影響を与えると考えられる。また、政府は新規施設の建設や改良以外にも、基礎部分の補修や点検など、既存の施設の機能を維持し、耐久期間を延長させるための取り組み（メンテナンス）も行っている。ここで、資本ストックの耐久期間を長くするような投資をメンテナンスと表現すると、社会資本の減価償却はマクロ経済活動やメンテナンスなどに依存すると考えられる。

動学的一般均衡モデルにおいて、社会資本の減価償却率をマクロ経済活動やメンテナンスに依存して内生的に決定させる試みは、Rioja (2003)、Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)、Dioikitopoulos and Kalyvitis (2008)などで行われてきた。それらの研究では、メンテナンス投資は減価償却率を下げるような投資としてモデルに組み込まれている。Rioja(2003)は発展途上国を想定し、新規の投資が外国からの援助として外生的に行われ、メンテナンスは自国の税収により行われるモデルにより、最適メンテナンス政策を定性的に分析した。Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)は国際的な労働移動が自由な小国開放経済において新規投資とメンテナンスが内生的に決定されるモデルにより最適メンテナンス政策を定性的に分析している。また、Dioikitopoulos and Kalyvitis (2008)は社会資本のメンテナンスに加えて、混雑も内生化している。

一方で、これらの研究に依拠して日本経済を分析するには限界がある。例えば、Rioja (2003)のモデルにおいて、政府が税収により行う社会資本投資は、その減耗率を下げるようなものだけであり、新たな投資は外国からの援助により外生的に行われる。日本において、交通インフラなどの社会資本は、基本的に利用者からの税収により賄われており、外国から

の援助により整備されていない。そのため、日本経済を分析するためには、新たな社会資本投資も内生的に決定するようなモデルでなければならない。また、Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)のモデルでは、労働や資本が外国から自由に移動できる小国開放経済を想定している。確かに、近年、外国人労働者や外国資本の流入が比較的自由に行われつつある。しかし、「閉鎖経済」を想定したモデルの方が、社会資本のメンテナンスとマクロ経済の関係に焦点を与えることができ結果を解釈しやすい。

このような背景の下、本章では、典型的なマクロ経済モデルの想定の下、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスにより内生的に決定する動学的一般均衡モデルを用いて、道路に関連する新規投資とメンテナンス投資配分の変更がマクロ経済に与える影響を定量的に分析する。ここで、本章の新規性は大きく二つある。一つ目は、先行研究のモデルを日本経済の分析に適するように修正した点である。本章のモデルは、閉鎖経済の下、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスに依存して内生的に決定し、新規投資とメンテナンスの両方が自国の税収により整備される状況を想定している。

二つ目は、統計データと実証研究の結果を用いてパラメーター設定を行った上で、シミュレーションにより、道路の新規投資とメンテナンスの投資配分の変更が経済に与える影響を分析していることである。これは、社会資本のうちで生産力が高く、大きな部分を占める道路について、新規投資とメンテナンスのバランスをどのように測るべきかという問題について定量的な答えを与えている点で意義がある。

本章の構成は以下のとおりである。4.2では先行研究の整理をする。道路のメンテナンスの研究は、メンテナンス費用の負担のあり方に関する研究と、社会資本のメンテナンスがマクロ経済に与える影響を分析した研究に大別できる。それぞれの代表的な研究を整理する。4.3では、Glomm and Ravikumar(1994)のモデルをベースに小国閉鎖経済の想定の下、社会資本の減価償却率とメンテナンスとが内生的に決定されるモデルを説明する。4.4では、先行研究や統計データを用いてパラメーターを設定し、シミュレーションをする。4.5では、まとめと結論を述べる。なお、補論において、シミュレーションに用いたデータの詳細を説明し、パラメーター設定に用いたRプログラムを掲載する。

4.2. 先行研究

4.2.1. 道路のメンテナンス費用の負担のあり方に関する研究

わが国の道路は利用者の負担による整備を基本方針に、一般道路は特定財源制度により、高速道路は料金プール制により整備されてきた。利用者に費用の負担を求める以上、効率性と公平性の観点からは、原因に応じた負担が求められる。道路の維持管理については、自動車のサイズや重量により損傷度は異なることから、それに応じて料金(税額)を差別する必要がある。一方で、道路の費用には、維持管理費のように原因となる要因を車種に帰属させることが可能な部分と、基礎的な施設の費用のように、帰属を明確にできない部分(共通費)

がある。道路や鉄道などの共通費が巨額になる施設において、帰属可能な部分の負担は当事者に求めつつも、共通費をどのように配布するべきかという問題は、交通経済学における伝統的な分析対象の一つである（山内・竹内, 2002）。

道路利用料（税）収入により共通費用を賄うことを前提にすると、社会的に望ましい料金（税）体系は、収支均衡制約の下、社会的余剰を最大にする料金（Ramsey 価格）に設定することである。そのため、高速道路や一般道路を対象に Ramsey 価格の推計は、山内(1987)や味水(2008)などにおいて試みられてきた。

山内(1987)は、我が国の高速道路を対象に、複数の車種を考慮した Ramsey 価格を推計した。Ramsey 価格の推計には車種ごとの走行による限界費用と需要の価格弾力性が必要である。山内（1987）は、東名高速道路、名神高速道路を対象に普通車、大型車、特大車の走行による限界費用の代理変数として、個々の車種の自動車が走行しなければ生じない費用（回避可能費用）を用いている。また、それぞれの車種について高速道路の需要関数を推計し、料金弾力性を求めている。それらのパラメーターを用いて推計された Ramsey 価格の下では、東名高速道路、名神高速道路ともに普通車の料金は 20%程度の引き下げ、大型車の料金は約 40%引き上げとなる。また、特大車の料金は東名高速道路が 2%程度、名神高速道路が 18%程度の引き上げとなる。

味水（2008）は一般道路を対象に複数の車種を考慮した Ramsey 価格を推計した。乗用車、小型貨物車、普通貨物車を対象に、一般道路の需要関数を推計し、需要の燃料価格弾力性を求め、限界費用には山内（1987）の費用配分比率を利用して計算した車種ごとの回避可能費用を代理変数とし、Ramsey 価格を推計した。一般道路の Ramsey 価格の下では、乗用車は現状の税額よりも 25%程度の値下げ、小型貨物車は 1.88%、普通貨物車は 90.50%の値上げとなる。この税額の変更により、普通車の道路需要は 1.2%程度の増加し、小型貨物車、普通貨物車は 0.07%、1.5%程度減少する。結果的に社会的余剰は約 165 億円増加することを示している。

以上の研究は、車種間での道路の損傷度の違いを考慮した上で、道路の共通費用を賄うことができる効率的な費用負担のあり方を分析している。一方で、道路の損傷による走行コストの上昇やそれに伴う企業の生産性の低下などのような、利用者の便益に与える効果を明示的に考慮していない。Newberry (1987)は 1980 年代におけるアメリカにおける道路の荒廃とそれに伴う道路利用税（燃料税など）の改正を念頭に、道路のメンテナンスに関する最適料金について理論的に分析した。Newberry (1987)のモデルでは、道路の自動車の走行ストックが増えるにつれて、ダメージが蓄積され、後の自動車の走行コストの上昇につながる（ダメージ外部性）状況を想定している。道路のダメージが一定の水準に達するとメンテナンスが行われ、ダメージの蓄積は解消される。メンテナンスとメンテナンスのインターバルにおいては、自動車の走行によりダメージが蓄積されることで、走行コストは上昇し続けているが、Newberry (1987)は、道路の走行フローが時間を通じて一定であれば、最適道路料金（限界社会費用）は平均メンテナンス費用と等しいことを示している。

4.2.2. 社会資本のメンテナンスがマクロ経済に与える影響に関する研究

道路や空港などの社会資本は民間部門の長期的な生産性に影響を与える。また、その投資資金は巨額であり、それは国民（利用者）の負担により賄われることが多い。そのため、政府による社会資本整備がマクロ経済に与える影響を分析する上では、その投資水準が内生的に決定する動学的一般均衡モデルにより分析する必要がある。そのような観点で政府による社会資本投資を分析した研究に Barro (1990)、Glomm and Ravikumar(1994)などがある。

彼らのモデルにおいて、社会資本は企業がコントロールできない生産要素として、生産関数に取り込まれており、投資資金は所得税により賄われている。特に Glomm and Ravikumar(1994)のモデルは、民間資本が蓄積されるにつれ、社会資本の利用に混雑が生じるため、民間資本の生産性への貢献が小さくなる状況を想定している。そして、社会資本の混雑の程度にかかわらず、最適税率は生産関数の社会資本の弾力性パラメーターに割引率を乗じたもの、つまり、課税により蓄積できる社会資本の限界生産物に等しいことを示している。

動学的一般均衡モデルに基づいて、社会資本のメンテナンスがマクロ経済に与える影響を分析した研究に Rioja (2003)、Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)、Dioikitopoulos and Kalyvitis (2008)などがある。それらの研究では、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスに依存して内生的に決定すること、社会資本投資には新たな投資だけでなく、減価償却率を下げるような投資（メンテナンス）が含まれている点が特徴である。

Rioja (2003)は、発展途上国を想定し、社会資本の新規投資が外国からの援助として外生的に行われる一方で、メンテナンスは自国の税収により行われるモデルにより、最適メンテナンス政策を分析した。Rioja (2003)のモデルでは、政府は生産物への課税によりメンテナンス投資資金を賄い、社会資本の減価償却率はメンテナンス投資と民間資本ストックに依存して決定している。ここで、社会資本の減価償却率はメンテナンス投資の拡充により減少する（社会資本が長持ちする）一方で、民間資本ストック（利用）の増加により上昇する（社会資本は損傷する）関数として表されている。そして、最適メンテナンス投資（税率）は、生産関数の社会資本の弾力性パラメーターだけでなく、民間資本の弾力性パラメーター、社会資本ストックに占める外国からの援助の割合などに依存することを示している。また、ラテンアメリカ諸国のデータを用いたシミュレーションにより、メンテナンス投資の拡充が経済成長にとって重要であることを示している。

ここで、Rioja (2003)のモデルでは、新規の社会資本投資は外国からの援助により外生的に行われており、政府は投資資金を新規とメンテナンスにどのように配分すべきかという視点が含まれていない。Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)は小国開放経済において、内生的に決定する社会資本の減価償却率に加えて、政府支出が新規投資とメンテナンスに配分される状況を想定し、投資配分の変更がマクロ経済に与える影響を分析した。理論分析の結果、メンテナンスが過小（過大）であれば、新規投資を減らし（増やし）、メンテナンスを拡充（縮小）することで、社会資本の蓄積をより効率的に行うことができることを示している。

そして、新規投資とメンテナンスの最適投資配分の下では、メンテナンス投資の追加による社会資本の蓄積の限界的な効果と新規投資の追加による限界的な効果が等しいこと、最適税率はメンテナンス投資の社会資本蓄積への貢献を考慮するため、生産関数の社会資本弾力性パラメーターよりも高いことなどを示している。

以上のように、動学的一般均衡モデルにおいて、社会資本を長持ちさせるような投資（メンテナンス）が経済に与える影響を分析した研究はいくつかある。しかし、これらの研究のモデルを用いて日本経済を分析するには限界がある。Rioja (2003)のモデルは新規投資が外生的に行われており、我が国のように国民（利用者）の負担により社会資本投資がなされている状況には整合していない。Kalaitzidakis and Kalyvitis (2004)は定性的な分析に留まっており、定量的な分析をしていない。また、同論文は「小国開放経済」を想定しており、労働や資本が外国から自由に投入することが可能となっている。確かに、日本の人口は減少しており、外国人労働者の受け入れや外国資本の投入が巷間の話題にのぼっており、労働と資本の移動性が高まりつつある。しかし、「閉鎖経済」を想定した典型的なモデルの方が、社会資本のメンテナンスとマクロ経済の関係により明確に焦点を当てることができ、定量的な分析の結果を解釈しやすい。

以下では小国閉鎖経済の下、社会資本の新規投資とメンテナンスに明確な区別が存在し、社会資本の減耗率を含め、それらが内生的に決定するモデルを構築する。そして、日本の道路を対象にメンテナンス政策がマクロ経済に与える影響を定量的に分析する。

4.3. モデル

本章のモデルは典型的な新古典派マクロ経済モデルの枠組みに依拠している。小国閉鎖経済を想定し、経済には代表的家計、企業、政府が存在する。代表的家計は労働供給と資本レンタルより所得を獲得し、効用最大化を目的に所得を消費と投資に配分する。また、企業は社会資本を所与として利潤最大化を目的に労働、民間資本を投入して最終財を生産する。ここで、public capitalの蓄積は生産関数を通じて経済に影響を与える。政府は最終財に課税し、税収を public capital の新規投資とメンテナンスに配分する。

4.3.1. 家計と企業

経済には多数の同質的な家計が存在する。人口は成長しない。代表的家計が最大化を目指す生涯効用(U)は

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \log c_t \quad (1)$$

により表現されるとする。ここで、 $c_t \in \mathcal{R}_+$ は t 期の家計の消費、 $\beta \in (0,1)$ は割引率である。

民間資本($k_t \in \mathcal{R}_+$)は每期完全に減価償却する。民間資本の蓄積は、

$$k_{t+1} = i_t, \text{ for all } t$$

である。ここで、 $i_t \in \mathcal{R}_+$ は t 期の民間資本投資である。

家計は毎期 1 単位の労働 l_t を非弾力的に供給し、所得を消費 c_t と投資 i_t に配分する。家計の法人税引き後の予算制約は、

$$c_t + k_{t+1} \leq w_t l_t + r_t k_t, \quad \text{for all } t. \quad (2)$$

ここで、 $w_t \in \mathcal{R}_+$ は賃金率、 $r_t \in \mathcal{R}_+$ は民間資本の報酬率である。

代表的企業は、各期において、外生的に与えられた public capital ストック($K_{Gt} \in \mathcal{R}_+$)、民間資本、労働を投入して、コブ・ダグラス技術によりアウトプット($y_t \in \mathcal{R}_+$)を生産する。つまり、

$$y_t = K_{Gt}^\theta k_t^\alpha l_t^{1-\alpha}.$$

ここで、 $\theta + \alpha \leq 1$, $0 < \alpha < 1$ である。

4.3.2. 政府

経済には 1 つの政府が存在する。政府はアウトプット 1 単位に対して税率 $\tau_t \in [0,1]$ で課税し、新規の社会資本投資($g_t \in \mathcal{R}_+$)と既存ストックのメンテナンス($m_t \in \mathcal{R}_+$)を行う。ここで、 g_t は道路や橋梁の基礎部分からの建設、 m_t は路面の補修や点検など既存施設の品質を保つ（長持ちさせる）取組みを想定している。政府の予算制約は、

$$g_t + m_t = \tau_t y_t, \quad \text{for all } t \quad (3)$$

である。 $\mu_t \in [0,1]$ を t 期の政府支出に占めるメンテナンス支出の割合とすると、各期のメンテナンスと新規投資は、

$$m_t = \mu_t \tau_t y_t \quad \text{and} \quad g_t = (1 - \mu_t) \tau_t y_t \quad (4)$$

である。

t 期における社会資本の減耗率($\delta_{Gt} \in (0,1]$)はメンテナンスと public capital の「利用」に依存する。ここで Rioja (2003)に倣い、民間資本ストックが「利用」を表す変数とすると、

と $\delta_{Gt} = \delta_G(m_t, k_t)$ である。また、 $\frac{\partial \delta_G}{\partial m_t} < 0$, $\frac{\partial \delta_G}{\partial k_t} > 0$ を仮定する。

社会資本蓄積の方程式は、

$$K_{Gt+1} = g_t + [1 - \delta_G(m_t, k_t)] K_{Gt}, \quad \text{for all } t. \quad (5)$$

資源制約条件は

$$y_t = c_t + k_{t+1} + g_t + m_t, \quad \text{for all } t. \quad (6)$$

である。

4.3.3. 民間部門問題と定常状態

家計の問題は、所与の $k_0, \{w_t, r_t\}_{t=0}^\infty$ の下、予算制約(2)に従い生涯効用(1)を最大化するような $\{c_t, k_{t+1}\}_{t=0}^\infty$ を選択することである。生産物価格を 1 とすると、政府は毎期企業のアウト

プットに対して課税を行うので、企業の利潤は $(1 - \tau_t)K_{Gt}^\theta k_t^\alpha l_t^{1-\alpha} - w_t l_t - r_t k_t$ である。企業の問題は所与の τ_t, K_{Gt}, w_t, r_t の下、利潤を最大化する $l_t, k_t \geq 0$ を每期選択することである。

ここで、所与の $\pi = \{\tau_t, K_{Gt}\}_{t=0}^\infty$ の下、家計の問題、企業の問題、毎期の市場のクリアランス条件($c_t + k_{t+1} = (1 - \tau_t)y_t$)、および $l_t = 1, (t = 0, 1, \dots)$ を満たす解は以下の問題の解と同値である (Glomm and Ravikumar, 1994, Proposition 1)。

$$\begin{aligned} & \max_{\{c_t, k_{t+1}\}_{t=0}^\infty} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \log c_t, & (7) \\ & \text{subject to } c_t + k_{t+1} = (1 - \tau_t)K_{Gt}^\theta k_t^\alpha, \\ & \text{given } k_0, K_{G0} \text{ and } \pi, \text{ for all } t. \end{aligned}$$

(9)の解は guess and verify により closed form で求めることができる。このとき民間資本投資と消費の決定ルールは、

$$k_{t+1} = \alpha\beta(1 - \tau_t)K_{Gt}^\theta k_t^\alpha \quad (8)$$

$$c_t = (1 - \alpha\beta)(1 - \tau_t)K_{Gt}^\theta k_t^\alpha \quad (9)$$

である。

経済の定常状態を考える。定常状態は(8)、(9)、(4)、(5)、および(6)式から時間の添え字 t を除いた方程式のシステムを満たす配分 $\{c, k, K_G, g, m\}$ と政策 $\{\tau, \mu\}$ の組である。5本の方程式に対して7つの未知数が存在する。外生的に政策 $\{\tau, \mu\}$ を与えることで、システムを満たす配分 $\{c, k, K_G, g, m\}$ を求めることができる。

4.4. シミュレーション

本節では、わが国の道路整備政策を対象に、メンテナンス支出割合の変化が経済に与える影響を定量的に分析する。

4.4.1. 道路のメンテナンス政策の評価

モデルにおいて社会資本 (public capital) は企業がコントロールできない生産要素として生産関数に組み込まれている。このタイプの public capital には道路、空港、港湾などの交通インフラが想定される。以下で確認するように、交通インフラは他の社会資本と比べて生産力効果が高い。また、交通インフラの大部分が道路であり、その整備政策の中心は建設から維持管理に移りつつある。本項では、実証研究と統計データに基づいて、これらの点を確認する。

最初に、交通インフラの生産力効果が他の社会資本と比べて高いことを確認する。社会資本を性質ごとに部門分けして、それぞれの生産力効果を推計した研究に井田・吉田 (1999)、Miyara and Fukushige (2008)などがある。表 4-1 は井田・吉田(1999)における社会資本の部門分け (上) と弾力性の推計値 (下) である。井田・吉田 (1999)は、社会資本の性質に従い、

15部門の社会資本を6部門に集約するモデル、3部門に集約するモデル、2部門に集約するモデルのそれぞれについて、コブ・ダグラス型の生産関数を推計した。道路、航空、港湾などの交通インフラを含む変数である産業型社会資本の生産関数の弾力性パラメーターは、0.15～0.17の間にあり、他の社会資本の集約にかかわらず、安定的な数値を示している。

Miyara and Fukushige (2008)は、地域ごとで主要な産業が異なることから、生産に寄与する社会資本のタイプも異なりうることに着目し、社会資本のタイプの組み合わせや方法を変えて、都道府県ごとの生産関数を推計した。その結果、社会資本が地域の生産に有意に影響している37都道府県のうち、23が交通インフラを変数として含んでいる。このように複数の実証研究が交通インフラの生産力効果が他の社会資本と比べて高いことを示している。

表 4-1 井田・吉田(1999)社会資本の部門分け(上)と弾力性推計値(下)

15部門	Model 1	Model 2	Model 3
	6部門	3部門	2部門
道路、航空、港湾、工業用下水道	産業型社会資本	産業型社会資本	産業型社会資本
公共賃貸住宅、水道	生活型社会資本	生活関連社会資本	非産業型社会資本
下水道、廃棄物処理	環境型社会資本		
都市公園、文教	文教型社会資本		
農業、漁業	農漁型社会資本	国土整備型社会資本	
治山、治水、海岸	国土保全型社会資本		

Model 1		Model 2		Model 3	
6部門		3部門		2部門	
産業型社会資本	0.152	産業型社会資本	0.163	産業型社会資本	0.170
生活型社会資本	0.123	生活関連社会資本	0.308	非産業型社会資本	0.165
環境型社会資本	0.023				
文教型社会資本	0.081				
農漁型社会資本	0.057	国土整備型社会資本	-0.020		
国土保全型社会資本	-0.057				

赤の太字は1%有意、黒の太字は5%有意であることを示す。

続いて、交通インフラの大部分が道路ストックであり、整備政策の中心が建設から維持管理に変わりつつあることを確認する。図 4-1 は、2014 年の日本の社会資本の純ストックを井田・吉田(1999)の区分に従い分類した部門別のストックの割合（左）と産業型社会資本における各部門の割合（右）である。社会資本ストックにおいて、産業型社会資本は約 43%と他の社会資本ストックと比べて高い割合を示している。そして、産業型社会資本の約 90%が道路である。

図 4-2 は、2006 年度から 2015 年度までの道路事業支出に占める維持管理費の割合の推移である。維持管理費の割合は近年上昇傾向にあり、2006 年において 24.3%であったのが、2015 年には 34.4%と 10 年間で 10 ポイント程度上昇している。このように、道路支出に占める維持管理費の割合は増加傾向にあることから、道路整備政策の中心は建設から維持管理にシフトしつつあるといえる。

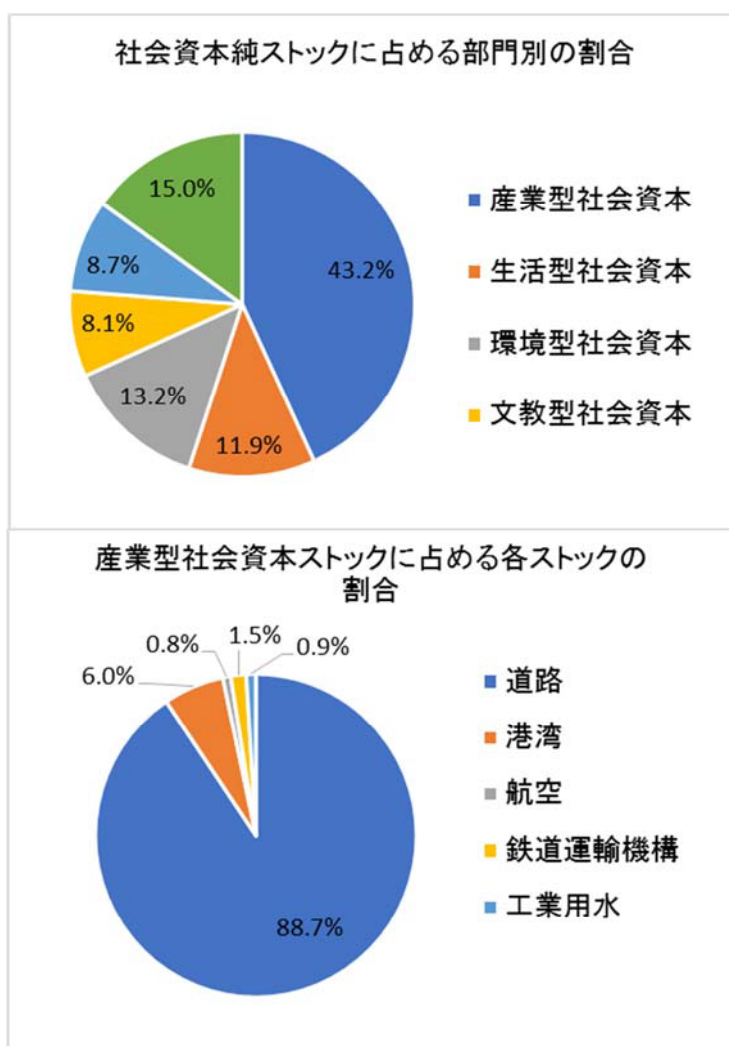


図 4-1 社会資本に占める部門別ストックの割合（2014 年度）

出典：内閣府 社会資本ストック推計データより作成

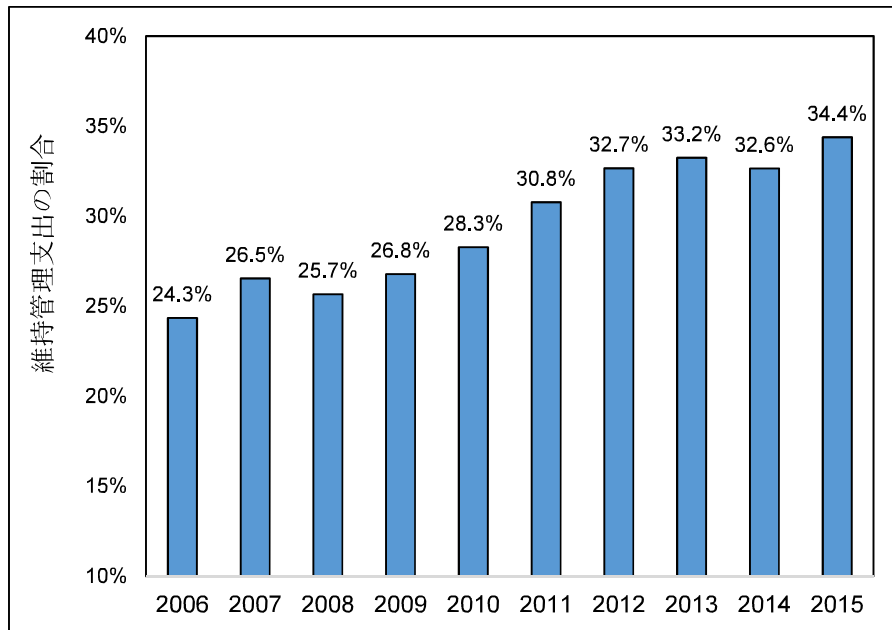


図 4-2 道路事業支出に占める維持管理費の割合

出典：道路統計年報 2017 より作成

4.4.2. パラメーター設定

モデルのパラメーターには生産関数のパラメーター、税率と道路整備支出に占めるメンテナンス支出の割合、社会資本の減耗関数のパラメーターなどがある。以下では、実証研究、統計データなどを用いてパラメーター設定を行う。

表 4-2 はモデルのパラメーターである¹。モデルではコブ・ダグラス型の生産関数を仮定しており、パラメーターには民間資本ストックの係数(α)と public capital ストックの係数(θ)がある。民間資本の係数民間資本ストックのパラメーター(α)は、国内総生産勘定の雇用者報酬と営業余剰・混合所得の合計に占める営業余剰・混合所得の割合の 2011 年度から 2015 年度までの平均値を用いる。

社会資本係数 θ は先行研究の推計値を利用する。我が国の社会資本の生産力効果を測る実証研究に井田・吉田(1999)、Yamano and Ohkawara (2000)、Miyara and Fukushige (2008)、Kawaguchi, Ohtake and Tamada (2009)などがある。この中から、係数の間に一次同時制約を設けない生産関数を推計している、井田・吉田(1999)と Yamano and Ohkawara (2000)の推定パラメーターの平均値を用いる²。具体的には、井田・吉田(1999)における Model 1、Model2、Model3 における産業型社会資本の係数と Yamano and Ohwakara の Model 3 の都道府県別の社会資本の係数の平均値を用いる。

¹データの詳細は補論 3 を参照されたい。

²Miyara and Fukushige (2008)は都道府県の中には交通インフラの生産力を有意としない場合がある。道路はネットワークとして機能している面を考慮し、Miyara and Fukushige (2008)の推計値を利用しない。また、Kawaguchi, Ohtake and Tamada (2009)は生産要素の間に 1 次同時制約を課しているため、本論の生産関数とは整合しない。

モデルでは、メンテナンスを路面の補修や点検など既存施設が有している機能を保つ（持ちこたせる）投資を想定している。メンテナンス支出割合(μ)は、2011年から2015年までの道路事業費における維持関係費の割合の平均値を用いる。また、税率 τ は2011年から2015年の国内総生産に占める道路関係事業支出の割合の平均値を用いる。

社会資本の減耗関数はRioja(2003)にならい、 $\delta_G = 1 - (\varphi m/k)^\rho$, $\varphi, \rho > 0$ を採用する。ここで、社会資本の減耗率に関して、利用状況とメンテナンス投資に依存する関数を実証的に推計した研究を見つけることができなかった。そのため、 ρ と φ については、実証研究の結果などを用いて、値を設定することができない。そこで、メンテナンス投資の効率性パラメータである ρ はベンチマークとして0.035に設定する。そして、Yamano and Ohkawara (2000)は社会資本のストック系列を作成する際、投資財の90%が40年後には減価償却することを仮定していることから、 φ はベンチマークにおいて社会資本の減価償却率が5.59%になるように設定する。割引率 β も同様に適当な先行研究を見つけることができなかったため、Rioja(2003)と同じ値を用いる。

表 4-2 モデルのパラメーター

パラメーター	値	説明	設定について
α	0.277	生産関数の民間資本ストックの係数	2011年から2015年までの国民総生産における①雇 用者報酬と②営業剰余・混合所得に占める②の割 合の平均値（内閣府国民経済計算）
θ	0.167	生産関数の社会資本ストックの係数	井田・吉田(Model 1~3) とYamano and Ohkawara (2000)の推計モデル(Model 3) の推計値の算術平均 値
μ	0.327	メンテナンス支出割合	道路街路事業費に占める維持的経費の割合の2011 年から2015年までの平均値（道路統計年報2017）
τ	0.012	政府税率	国民総生産に対する道路事業費の割合の2011年か ら2015年の平均値（道路統計年報、内閣府国民経 済計算）
φ	13.4	社会資本減価償却率パラ メータ	他のパラメータの下、現状の社会資本の減価償却 率である5.56%になるように設定
ρ	0.035	社会資本減価償却率パラ メータ	ベンチマークとして設定
β	0.99	割引率	Rioja (2003)と同じ値を設定

4.4.3. メンテナンス支出割合の変化

4.4.2 項のパラメーターを設定したモデルを用いて、現状の税率($\tau = 0.012$)の下でのメンテナンス支出割合 (μ) の変化が経済に与える影響を分析する。4.4.1 項で述べたように、近年、道路整備支出に占める維持管理(メンテナンス)支出の割合は上昇傾向にある。そこで、2011年から2015年まで(現状)の道路のメンテナンス支出割合の平均値である32.7%から、2006年から2010年まで(過去)の平均値である26.3%に変化させる場合を分析する。また、 μ を経済厚生が最大化されるように設定する場合、過大に設定する場合も分析する。

表4-3は結果である。第1行は、 μ を0.327から0.263に変化させる場合の結果である。 μ は過去において、現状よりも6.4ポイント低かった。そのため、過去のメンテナンス投資は現状よりも20.3%ほど低く、道路の減価償却率 δ_G は6.31%と、およそ0.7ポイント高かった。一方で、新規投資は8.5%ほど高かったが、既存の道路ストックが減耗する効果が大きく、道路ストックは現状よりも3.8%ほど低かった。そのため、民間資本の限界生産性も低く、民間資本投資、GDP、民間消費は現状よりも0.9%ほど低かった。したがって、道路投資においてメンテナンスへの配分を増加させる取り組みは、経済厚生を改善させている。

次に、政府が μ を経済厚生が最大化されるように設定する場合($\mu = 0.406$)をみる(第2行)。最適なメンテナンス支出割合は、現状よりも0.8%ほど高い。そのため、メンテナンス投資は24.6%上昇し、 δ_G は4.87%に低下する。新規投資は11.4%ほど減少するが、メンテナンスが効率的に行われているので、道路ストックは1.7%ほど増加する。道路ストックの増加により民間資本の限界生産性が上昇するため、民間資本投資が増加し、結果的にGDPと消費はベンチマークより0.38%増加し、経済厚生は最大化される。

そして、政府が過大なメンテナンス投資を行う場合($\mu = 0.500$)をみる(第4行)。これにより、メンテナンス投資は52.7%増加し、新規投資は25.8%減少する。しかし、メンテナンス支出の増加による既存施設を長持ちさせる効果が新規投資の減少を相殺する程度に至らず、道路ストックは現状よりも0.7%ほど減少する。結果的にGDPと消費は0.2%程度減少する。したがって、道路のメンテナンスへの投資配分を増やすことは必ずしも、経済厚生を改善させるわけではない。過大なメンテナンスは道路資本蓄積の効率性を低下させ、経済厚生を低下させる。

図4-3はメンテナンス支出割合(μ)とGDPの変化率の関係である。 $\mu < 0.406$ においては、 μ を増加させることでGDPを増加させることができる。 $\mu^* = 0.406$ のときに、GDPの変化率は最大となり、経済厚生も最大化される。そして、 $\mu > 0.406$ においては、 μ を減少させることでGDPを増加させることができる。

表 4-3 メンテナンス支出割合変化効果 (%)

μ	m	δ_G	g	K_g	k	y	c
0.263	-20.29	6.31	8.53	-3.80	-0.89	-0.89	-0.89
0.327	0	5.59	0	0	0	0	0
0.406	24.63	4.87	-11.41	1.65	0.38	0.38	0.38
0.500	52.65	4.18	-25.83	-0.73	-0.17	-0.17	-0.17

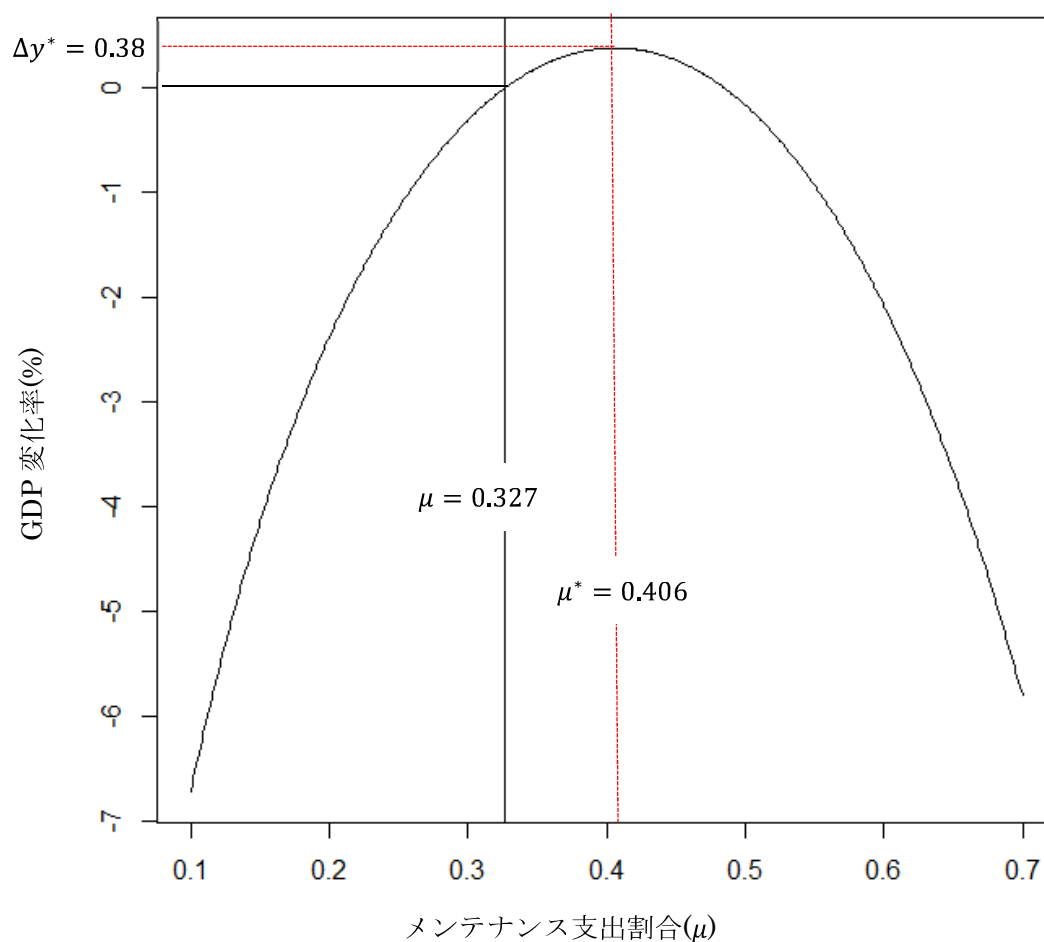


図 4-3 メンテナンス支出割合と GDP 変化率の関係

4.4.4. パラメータの変化による影響

4.4.2 項において値を設定したパラメーターのうち、社会資本の減耗関数のパラメーターの一つである ρ については実証研究等を用いて値を設定することができなかった。 ρ の値については恣意性が残るため、本項では、 ρ の変化による影響を確認する。

ρ は社会資本の減耗関数におけるメンテナンス支出の効率性パラメーターを表している。つまり、民間資本ストックとメンテナンス投資水準が同じであれば、 ρ の値が大きいほど、メンテナンス投資を1単位増やすことによる減耗率の低下は大きい。表 4-4 は、 $\rho = 0.025$ と $\rho = 0.04$ に設定する場合の結果である。

$\rho = 0.04$ に設定する場合の結果をみる。メンテナンス支出割合を0.327から0.263に変化させると、各変数の変化の方向は、 $\rho = 0.035$ の場合と同じである。ただし、 $\rho = 0.035$ の場合よりも、メンテナンス投資の減少率は大きいにも関わらず、新規投資の増加率は小さい。これは、 $\rho = 0.035$ の場合よりも道路ストックが大きく減少したため、民間資本の投資が控えられ、GDPが縮小した結果、税収により十分な投資資金を確保できなくなるためである。経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合は $\mu = 0.483$ であり、 $\rho = 0.035$ の場合よりも高い。また、 $\mu = 0.50$ に設定すると、メンテナンス支出割合は過大ではあるものの、 $\rho = 0.035$ の場合と異なり、道路ストックが現状よりも増加している。

続いて、 $\rho = 0.025$ に設定する場合の結果をみる。この場合、経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合は $\mu = 0.284$ であり、現状のメンテナンス支出割合は過大である。また、 $\mu = 0.263$ に設定すると、道路ストックは0.4%増加し、民間資本投資、GDP、民間消費も0.1%増加する。一方で、 $\mu = 0.5$ に設定すると、道路ストックの蓄積が一層非効率となり、道路ストックは12%程度減少する。その結果、民間資本投資、GDP、民間消費は2.9%程度低下している。

このように、 ρ の値に応じて、現状のメンテナンス支出割合が過小であるか、過大であるかは変化する。図 4-4 は、 ρ と経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合の関係である。 $\rho < 0.029$ ならば、現状のメンテナンス支出割合は過大であり、 $\rho > 0.029$ ならば、過小である。そして、 $\rho = 0.029$ ならば、現状のメンテナンス支出割合において経済厚生は最大化される。

ここで、 ρ の値が図 4-4 の区間にある場合、経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合は ρ に関して単調増加である。この結果は、メンテナンスの技術的な効率性が高くなるほど、メンテナンス支出に予算を優先的に配分することで社会資本蓄積の効率性を向上させることができることを示唆している。

表 4-4 メンテナンス支出割合変化効果 ($\rho = 0.04$ と $\rho = 0.025$ の場合) (%)

$\rho = 0.04$							
μ	m	δ_G	g	K_g	k	y	c
0.263	-20.67	6.41	8.01	-5.79	-1.37	-1.37	-1.37
0.327	0	5.59	0	0	0	0	0
0.483	49.71	4.11	-22.14	6.02	1.36	1.36	1.36
0.5	54.96	3.97	-24.71	5.94	1.34	1.34	1.34
$\rho = 0.025$							
0.263	-19.50	6.10	9.61	0.40	0.09	0.09	0.09
0.284	-13.04	5.92	6.52	0.55	0.13	0.13	0.13
0.327	0.00	5.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	48.45	4.58	-27.87	-12.01	-2.91	-2.91	-2.91

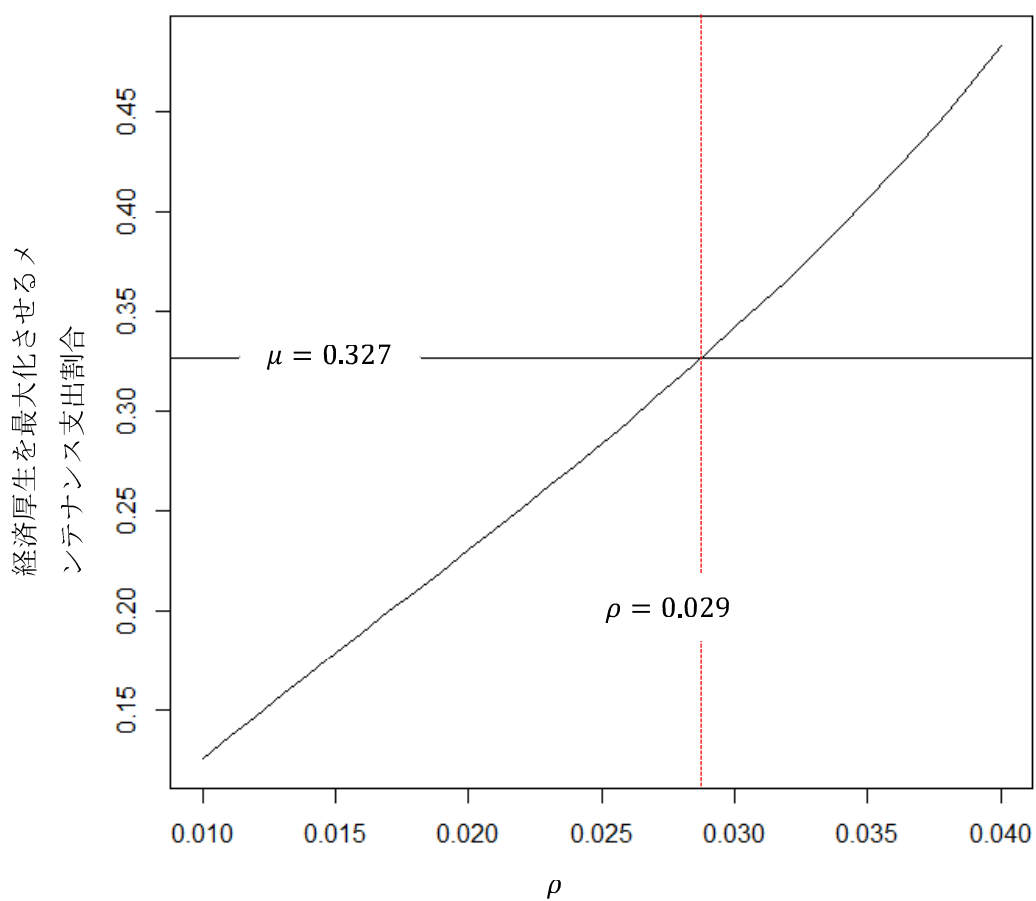


図 4-4 ρ と経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合の関係

4.5. まとめと課題

本章では、社会資本の耐久期間は経済活動に依存すること、政府の社会資本投資は新規の建設や改良だけでなく、基礎部分の補修や点検といった既存施設を長持ちさせるような取り組みも含まれていることに着目し、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスに依存して内生的に決定する動学的一般均衡モデルを構築した。そして、日本の道路政策を対象として、道路の新規投資とメンテナンスの投資配分の変更がマクロ経済に与える影響を定量的に分析した。

シミュレーションの結果をまとめる。近年、道路のメンテナンス支出割合は増加傾向にあり、2006年に比べて2014年は10ポイントも上昇している。そこで、道路のメンテナンス支出割合を2011年から2015年（現状）の平均値である32.7%から、2006年から2010年（過去）の平均値である26.3%に変化させることが定常状態のマクロ経済に与える影響を推計した。メンテナンス支出割合は過去において現状よりも6.4ポイント低かった。そのため、メンテナンス投資も現状より20.3%ほど低く、道路の減耗率は現状よりも0.7ポイント高かった。一方で、メンテナンス支出割合が現状よりも低かったので、過去において、新規の道路投資は8.5%程度高かった。しかし、既存の道路ストックが減耗する効果の方が、新たに建設する効果よりも大きいので、道路資本ストックは3.8%ほど少なかった。そのため、民間資本投資も現状より低く、結果的にGDPと経済厚生は0.9%ほど低かった。したがって、道路のメンテナンス投資を増やす取り組みは経済厚生を改善させている。

ここで、メンテナンス支出を充実させることが常に経済厚生を改善させるとは限らない。メンテナンスに過大な支出がなされると、道路資本蓄積の効率性は低下し、GDPと経済厚生は低下する。例えば、道路予算の半分をメンテナンスに充てると、メンテナンスにより既存の施設を長持ちさせる効果が、新規投資の減少を相殺するほどにいたらず、道路ストックの減少を招いてしまう。そして、結果的にGDPと経済厚生の低下を招いてしまう。

社会資本の減価償却率関数の効率性パラメーターについては、実証研究の結果などを用いて値を設定することができなかった。そのため、効率性パラメーターの変化が結果に与える影響を確認した。その結果、経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合は、効率性パラメーターの値に関して単調増加であることがわかった。これは、メンテナンス技術が向上するにつれて、メンテナンス支出に優先的に予算を配分することで、社会資本蓄積の効率性を向上させることができることを示唆している。

本章の政策的なインプリケーションを述べる。シミュレーションの結果は、道路投資にシフトするメンテナンス支出割合を変化させることで、経済厚生が変化しうることを示している。したがって、既存の道路を長持ちさせるような修繕や点検は例年決められた金額で実施するのではなく、新規の建設や改良とのバランスを図りながら投資額を決定し、実施することが重要である。

また、シミュレーションでは、経済厚生を最大化するメンテナンス支出割合は、社会資本の減価償却率関数の効率性パラメーターに関して単調増加であることを示していた。したが

って、最適なメンテナンス支出割合を決定するためには、施設を長持ちさせるような投資と施設の耐久期間の間の技術的な関係を実証的に計測する必要がある。

最後に本章の課題を述べる。本章では、分析を簡便にするため、民間資本の減価償却率が100%であることを仮定して導出した条件式を用いている。これは言うまでもなく、現実的な仮定でない。また、分析を定常均衡に限定している。民間資本の減価償却を考慮した上で、社会資本の投資配分に関する動学的最適化問題を解くことで、道路のメンテナンスのマクロ経済影響に関してより詳細な検討が可能であるが、これは今後の課題としたい。

4.A. 補論 シミュレーションに用いたデータと R プログラム

4.A.1. シミュレーションに用いたデータ

本章のシミュレーションにおいて、生産関数の弾力性パラメーター (α, θ)、道路のメンテナンス支出割合 (μ)、生産物への課税率 (τ) については、実証研究の結果や統計データを用いて設定している。以下では、それぞれにデータの詳細を説明する。

表 4-5 は、生産関数における民間資本の弾力性パラメーターである α の設定に用いたデータである。 α は国内総生産勘定の①雇用者報酬と②営業余剰・混合所得の合計 (③) における②の割合の 2011 年度から 2015 年度の平均値を用いている。各年における②/③を計算し、2011 年度から 2015 年度の平均値を求めた結果、 $\alpha = 0.277$ に設定した。

表 4-5: 生産関数における民間資本弾力性パラメーター (α)

年度	雇用者報酬	営業余剰・混合所得	合計	割合
	①	②	③	②/③
2011	253,790	91,006	344,796	0.264
2012	252,979	93,137	346,116	0.269
2013	254,745	102,024	356,769	0.286
2014	259,448	100,558	360,006	0.279
2015	263,413	106,622	370,035	0.288
平均(α)	256,875	98,669	355,544	0.277

単位 十億円

出典: 内閣府国民経済計算

生産関数における社会資本の弾力性パラメーターである θ は先行研究の結果を用いて設定した。具体的には、井田・吉田(1999)の Model 1~Model 3 における産業型社会資本の係数と Yamano and Ohkawara (2000)の Model 3 の都道府県別の生産関数における社会資本の係数の算術平均値を用いた。表 4-6 は井田・吉田(1999)の Model 1~Model 3 における産業型社会資本の係数である。表 4-7 は Yamano and Ohlawara (2000)の都道府県別の生産関数における社会資本の係数である。それぞれのモデルの係数について算術平均を計算し、 $\theta = 0.167$ に設定した。

表 4-6 井田・吉田 (1999) の産業型社会資本の係数の推計値

	モデル	産業型社会資本係数
井田・吉田 (1999)	Model 1	0.152
	Model 2	0.163
	Model 3	0.170

表 4-7: Yamano and Ohkawara (2000) Model 3 における社会資本の係数の推計値

Yamano and Ohkawara (2000) Model 3							
都道府県	係数	都道府県	係数	都道府県	係数	都道府県	係数
北海道	0.148	東京都	0.161	滋賀県	0.190	香川県	0.175
青森県	0.166	神奈川県	0.163	京都府	0.174	愛媛県	0.164
岩手県	0.158	新潟県	0.157	大阪府	0.156	高知県	0.171
宮城県	0.166	富山県	0.173	兵庫県	0.163	福岡県	0.160
秋田県	0.165	石川県	0.167	奈良県	0.187	佐賀県	0.173
山形県	0.167	福井県	0.169	和歌山県	0.170	長崎県	0.169
福島県	0.161	山梨県	0.179	鳥取県	0.184	熊本県	0.165
茨城県	0.165	長野県	0.161	島根県	0.172	大分県	0.170
栃木県	0.176	岐阜県	0.167	岡山県	0.167	宮崎県	0.162
群馬県	0.171	静岡県	0.161	広島県	0.167	鹿児島県	0.162
埼玉県	0.164	愛知県	0.156	山口県	0.168	沖縄県	0.183
千葉県	0.163	三重県	0.170	徳島県	0.175	平均	0.168

道路のメンテナンス支出割合 (μ) は道路事業費に占める維持的経費の割合の 2011 年から 2015 年の算術平均値を設定した。また、4.4.3 項におけるメンテナンス支出割合の減少させる場合の値には、2006 年から 2010 年の算術平均値を用いた。表 4-8 は μ の設定に用いたデータの詳細である。

生産物への課税率 (τ) は国内総生産に占める道路事業費の割合の 2011 年から 2015 年までの算術平均値を設定した。表 4-9 は τ の設定に用いたデータの詳細である。

表 4-8: 道路支出に占める維持管理費用割合

年度	建設的経費	維持的経費	合計	割合
	①	②	③	②/③
2006	5,464,992	1,758,963	7,223,955	0.243
2007	5,193,967	1,876,794	7,070,761	0.265
2008	4,899,398	1,691,443	6,590,841	0.257
2009	4,915,666	1,798,337	6,714,003	0.268
2010	4,208,970	1,659,286	5,868,256	0.283
2011	4,002,701	1,779,087	5,781,788	0.308
2012	3,840,076	1,862,616	5,702,692	0.327
2013	4,304,415	2,143,560	6,447,975	0.332
2014	4,170,596	2,021,795	6,192,391	0.326
2015	3,785,336	1,983,375	5,768,711	0.344
2006-2010平均	4,936,599	1,756,965	6,693,563	0.263
2011-2015平均	4,020,625	1,958,087	5,978,711	0.327

単位: 百万円

出典: 道路統計年報 2017

表 4-9: 生産物への課税率 (τ)

年度	道路事業費	国内総生産	割合
2011	5781.8	494017.2	0.012
2012	5702.7	494478.0	0.012
2013	6448.0	507246.0	0.013
2014	6192.4	518468.5	0.012
2015	5768.7	533904.4	0.011
平均(τ)	5978.7	509622.8	0.012

単位: 10億円

出典: 内閣府国民経済計算、道路統計年報 2017

4.A.2. R プログラム

本項では、社会資本の減耗率関数のパラメーターである φ の設定に用いた R プログラムを掲載する。 φ はベンチマーク ($\rho = 0.035$) において、社会資本（道路）の減耗率が 5.59%になるよう設定した。具体的には、他のパラメーターを設定した上で、 $\varphi = 30$ からスタートし、ベンチマークにおける減耗率が 5.59%になるまで φ を小さくして計算した。また、 ρ の変化の効果を分析する際には、 $0.01 \leq \rho \leq 0.05$ の区間において 0.001 刻みごとに、同様の方法で φ を計算した。

```
#R program パラメーター設定

MAX<-20 #繰り返し計算の回数

#減価償却率のパラメーター
rho <- seq(0.01, 0.05, 0.001)
X <- length(rho)

#生産関数のパラメーター  $y=K^{\text{sita}}*k^{\text{alpha}}$ 
alpha <- 0.277
sita <- 0.167

#社会資本の減耗率関数のパラメーター  $\text{dep}=1-(\text{phi}*m/k)^{\text{rho}}$ 
phi <- numeric(X)
for (x in 1:X)
{phi[x]<-phi[x]+30}

#割引率
beta<-0.99

#税率
tau <- 0.012

#ベンチマークにおけるメンテナンス支出割合
mu <- 0.327
```

```

#内生変数
dep <- numeric(X)
clast <- numeric(X)
c <- numeric(X)
for (x in 1:X)
{
  c[x] <- 0 #消費
  clast[x] <- 0
  k <- 0 #民間資本ストック
  Kg <- 10 #社会資本ストック
  y <- 0 #GDP
  m <- 0 #メンテナンス投資
  g <- 0 #新規の社会資本投資
  dep[x] <- 0 #社会資本の減耗率

#社会資本の減耗率が0.0559になるまで、phiを小さくする。
  while (dep[x] < 0.0559)
  {
    phi[x] <- phi[x]-0.001

    for (counter in 1:MAX)
    {
      k <- (alpha*beta*(1-tau)*A*(Kg^sita))^(1/(1-alpha))
      y <- A*(Kg^sita)*(k^alpha)
      c[x] <- (1-alpha*beta)*(1-tau)*y
      m <- mu*tau*y
      g <- y-(c[x]+k+m)
      dep[x] <- 1-(phi[x]*m/k)^rho[x]
      Kg <- g/dep[x]
      if (counter == (MAX-1)) clast[x] <- c[x]
    }
    if(phi[x]<0) break
  }
}

```

参考文献

- Barro, R.J. (1990), "Government spending in a simple model of endogenous growth", *Journal of Political Economy*, vol.98, pp.103-125.
- Dioikitopoulos, E. V. and Kalyvitis, S. (2008) "Public capital maintenance and congestion: Long-run growth and fiscal policies", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.32, pp.3760-3779.
- Glomm, G. and Ravikumar, B. (1994) "Public investment in infrastructure in a simple growth model", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.18, pp.1173-1187.
- Kalaitzidakis, P. and Kalyvitis, S. (2004) "On the macroeconomic implication of maintenance in public capital", *Journal of Public Economics*, No.88, pp.695-712.
- Kawaguchi, D., Ohtake, F. and Tamada, K. (2009) "The productivity of public capital: Evidence from Japan's 1994 electoral reform", *Journal of The Japanese and International Economics*
- Miyara, I. and Fukushige, M. (2008) "Types of public capital and their productivity in Japanese prefecture", *The Japanese Economic Review*, vol.59, No.2, pp.194-210.
- Newbery D. M. (1988), "Road damage externalities and road user charges", *Econometrica*, vol.56, No.2, pp.295-316.
- Rioja, F. K. (2003), "Filling potholes: macroeconomic effects of maintenance versus new investments in public infrastructure", *Journal of Public Economics*, vol.87, pp.2281-2304.
- Yamano, N. and Ohkawara, T. (2000) "The regional allocation of public investment: Efficiency or Equity?", *Journal of Regional Science*, vol.40, No.2, pp.205-229.
- 井田知也・吉田あつし(1999)「社会資本の部門別生産力効果」,『日本経済研究』,No.38, pp.107-129.
- 根本敏則・味水佑毅(2008)『対距離課金による道路整備』勁草書房.
- 山内弘隆(1987)「道路の車種別費用負担について—高速道路料金へのラムゼー価格の適用—」,『高速道路と自動車』第30巻第9号, pp.24-32.
- 山内弘隆・竹内健三(2002)『交通経済学』,有斐閣

第5章 規制が招く二重のロス —東京地区におけるタクシー規制

改革の政策評価—

5.1. はじめに

1970年代後半における米国の航空市場の規制緩和の影響を受けて、多くの国において運輸事業の規制緩和が行われてきた。タクシー市場においても、北米、欧州、アジアの国や都市において、数量コントロールに基づく参入規制の緩和や撤廃が実施されている(Teal and Berglund, 1987; Schaller, 2007)。しかし、日本の東京都特別区・武蔵野市・三鷹市営業区域(東京地区)を含むいくつかの国や都市では、再び数量コントロールを課している。これらの都市において、参入規制の緩和後、都心部を中心にタクシーが増加し「供給過剰」となった結果、ドライバーの品質の低下や事故の増加したことなどが再規制の根拠とされることが少なくない。確かに、これらは規制緩和に伴う社会的費用の一部であるが、タクシー数の増加はタクシー(旅客)が旅客(タクシー)を捉まえるまでの時間の増加(低下)といった影響も与えている。タクシーの規制改革を評価する上では、このようなタクシーや旅客が負担する実質的なコスト(effective price)の変化を評価することが重要である。そして、待ち時間を考慮すると、タクシーの供給過剰はどのように評価するべきだろうか？

タクシーは他の輸送機関と異なり、決められたルート上を営業するのではなく、旅客を求めて都市の様々な場所を移動している。また、タクシーの運賃は規制当局により設定されている場合が多い。これらの特徴は、供給過剰の評価を困難にする場合がある。例えば、長距離の旅客が多い場所(空港や大型ホテルの前など)では空車のタクシーが行列を作る一方で、短距離の旅客が多い場所(郊外の駅前)では旅客がタクシーを待つ行列を作っている光景はよく目にする。これは運賃が長距離の輸送ほど有利になるように設定されているため、タクシーが長距離の旅客が多い場所に集中してしまうからであるが、規制運賃がタクシーの miss allocation が生じさせていることを示唆している。したがって、タクシー市場における非効率性はタクシーが都市に過剰(過少)に存在することによる部分と既存のタクシーが効率的に配車、利用されていないことによる部分に分けて評価する必要がある。

本章では、タクシーが都市内の様々な場所を移動しながら旅客を探索する状況を想定し、旅客が運賃だけでなく、その場所における待ち時間を含めた effective price を考慮して需要量を決定する動学的均衡モデルを構築し、東京地区のタクシー市場を評価する。評価にあたり、タクシー市場の非効率性をタクシーの過剰(過少)性による部分とタクシーが効率的に配置、利用されていないことによる部分に分けて評価する。

本章において構築するタクシー市場のモデルでは、既存のタクシー研究の特徴を統合し、現実のタクシー市場を評価するための修正をする。タクシー市場に関する研究は大きく二つに分類できる。一つ目は空車のタクシーの利用可能性(availability)に着目した研究であ

る (Douglas, 1972; De Vany, 1975; Cairns and Liston-Heyes, 1996; Arnott, 1996; Flores-Guri, 2003; Flath, 2006)。これらの研究は、空車のタクシーの増加 (減少) は、利用者の待ち時間の減少 (増加) を通じて、需要を増加 (減少) させることを仮定し、運賃や参入規制が市場に与える影響を分析している。この仮定については、Flores-Guri (2003)により実証的に検証されている。Flores-Guri (2003)は New York 市のデータを用いて、待ち時間に依存するタクシー需要関数の reduced form として、空車のタクシー数を説明変数に加えたモデルを推計し、空車のタクシーは需要に正に有意に影響することを示している。しかし、これらの待ち時間を考慮したモデルの多くが、タクシー需要を集計的な需要関数としており、市場において旅客の待ち時間がどのように決定するのかという点を明らかにすることができない。

二つ目は Lagos (2000), (2003)による動学的均衡モデルによる分析である。Lagos は都市において、タクシーが様々な場所における旅客の捉まえやすさとその場所から輸送する旅客から得られる収入の両方を考慮しながら旅客を求めて移動する状況をモデル化している。

彼は、タクシーと利用者のサイズ、地区間の距離、運賃構造といったパラメーターに依存して、旅客を探す空車のタクシーとタクシーを探す旅客が都市内の異なる場所で同時に存在するような均衡 (friction) が内生的に生じることを示した。また、Lagos (2003)は New York 市のタクシー運賃の改定やメダリオン の数量制限の緩和がタクシーと乗客の遭遇やメダリオン価格に与えた影響を定量的に分析している。

従来のサーチ理論の研究では、friction を外生的に matching function として取り込んでいた。Lagos (2000)の目的は、タクシー市場を例として財の売り手 (タクシー) による最適化行動の結果、friction が内生的に生じることを示すことであった。しかし、Lagos のモデルでは、タクシー需要を外生的に固定しており、運賃や参入規制が市場に与える影響を経済厚生に基づいて評価するには不十分である。

先行研究が着目したタクシー市場の特徴を統合し、現実のタクシー市場を分析する上で課題に対応するため、Lagos (2000)のモデルにいくつかの修正をする。一つ目はマッチング関数の一般化である。Lagos モデルでは個々の地区に唯一存在するタクシースタンドにおいて、タクシーと旅客のマッチングが生じると想定し、Leontief型のマッチング関数を用いていた。本章ではタクシーと旅客はともに個々の地区内を移動しながら探索活動をする可能性を含めるため CES 型のマッチング関数を用いる。二つ目にタクシーと旅行者の待ち時間と移動時間の費用を導入する。特に前者は、都市内の様々な地点においてタクシーと旅客の待ち時間はお互いのサーチ活動の結果として決定するというプロセスを明示的に含んでおり、従来の待ち時間モデルの課題を克服している。三つ目に内生的に決定する需要を導入する。Lagos モデルでは、タクシー輸送に対する需要は外生的に与えられており、経済厚生に基づく評価ができなかった。本章のモデルでは、家計はタクシー運賃だけでなく、各地区における待ち時間や移動時間のコスト (effective price) を考慮して需要量を内生的に決定する。

そして、東京地区のタクシー輸送の発着地と到着地の輸送回数表（OD表）などを用いてパラメーター設定を行い、シミュレーション分析により同地区のタクシー市場の評価を行う。東京地区では、2002年の規制緩和以降、二つの規制改革を実施している。一つ目は2007年の運賃改定である。二つ目は2008年以降の新規参入及び増車の厳格化（実質的な禁止）と既存のタクシーの減車誘導政策である。シミュレーションにより、2002年から2007年、2007年から2008年、2008年以降に対応する均衡配分（タクシー需要量及び各地区における空車のタクシーと旅客の配置）を計算し、規制緩和以降の東京地区のタクシー規制改革を評価する。

また、最適配分と各期間におけるタクシー総数（タクシー総ストック）の下での効率的な配分（次善配分）を計算することで、各期間におけるタクシー市場における非効率性をタクシーが過剰（過少）に存在することによるロス（Capacity loss）と既存のタクシーストックが効率的に配置・利用されていないことによるロス（Miss pricing loss）に分けて評価する。

本章は以下のように構成される。5.2では、モデルの環境を説明し、最適配分と所与のタクシーストックの下での次善配分を定義する。また、運賃規制の下での自由参入均衡と参入規制均衡を定義する。5.3においてパラメーター設定をおこない、規制緩和以降に実施された二つの規制改革（運賃改定と参入制限）の政策評価をする。最後に結論をのべる。なお、補論にはシミュレーションに用いた一部のデータと計算されたパラメーター、結果の一部、及びRプログラムを掲載する。

5.2. モデル

5.2.1. 環境

時間は連続であり、永久に続く。定常均衡のみを考える。都市は有限の地点 ($i = 1, 2, \dots, I$) から構成され、各地点間のツアーが I^2 個存在する。連続的な家計のフローが都市の外で誕生する。期間 t に誕生した家計はそのメンバーの一部を旅行者として都市に送り込む。地点 i から地点 j へのツアーを行う旅行者は都市に地点 i から都市に入り、 j に移動の後、退出する。 $N_{i,j} \in \mathcal{R}_+$ を地点 i から j へのツアーの旅行者のフローの大きさとする。なお、タクシー需要 ($N = \{N_{i,j}\} \in \mathcal{R}_+^{I \times I}$) の決定については後に議論する。旅行者が目的地に移動する際には、同じ地点に存在するタクシーを利用する必要がある。1台のタクシーには1人の旅行者のみが乗車できる。つまり、地点 i から j に移動する旅行者のフロー (N) とタクシーのフローは等しい。このとき、地点 i から移動するタクシーのフローを M_i とすると、

$$M_i = \sum_j N_{i,j}, \quad \text{for all } i. \quad (1)$$

が成立する必要がある。

タクシーと旅行者の遭遇（マッチング）には両者の探索（サーチ）活動を必要とする。地点 i においてタクシーを探す旅行者のストックを $Q_i \in \mathcal{R}_+$ 、旅行者を探す空車のタクシーのストックを $\tilde{Q}_i \in \mathcal{R}_+$ とする。両者のマッチングは(2)式のように表される。

$$M_i = m(Q_i, \tilde{Q}_i), \quad \text{for all } i. \quad (2)$$

つまり、ある短い期間 $\delta \in \mathcal{R}_{++}$ において $m(Q_i, \tilde{Q}_i)\delta$ 単位の旅行者とタクシーがそれぞれのストックから選ばれ、お互いに遭遇する。マッチング関数 $(m: \mathcal{R}_+^2 \rightarrow \mathcal{R}_+)$ は単調非減少、強い意味の準凹、規模に関する収穫一定(C.R.S.)、連続微分可能を仮定する。 Q_i/M_i は地点 i における旅行者の期待サーチ（待ち）時間、 \tilde{Q}_i/M_i はタクシーの期待サーチ（待ち）時間である。単純化のため、空車（旅行者が乗車していない）のタクシーは任意の時間、任意の場所から都市内に参入・退出ができるとする。

ある配分 $(N, M = \{M_i\}, Q = \{Q_i\}, \tilde{Q} = \{\tilde{Q}_i\}) \in \mathcal{R}_+^{3I \times I}$ が(1)、(2)式を満たすならば、それを実行可能な配分とする。所与の実行可能な配分に対して、タクシーの総ストック (T) は各地点における空車のタクシーと移動しているタクシーの総和である。つまり、

$$T = \sum_i \tilde{Q}_i + \sum \sum \frac{d_{i,j}}{v} N. \quad (3)$$

ここで、 $d_{i,j}(=d_{j,i}) \in \mathcal{R}_+$ は地点 i と j 間の運転距離、 $v \in \mathcal{R}_+$ は移動速度である。

家計の効用のフローは関数 $u(N)$ により表現され、貨幣単位で測られる。効用関数 $u: \mathcal{R}_+^{I \times I} \rightarrow \mathcal{R}$ は単調増加、強い意味で凹、連続微分可能を仮定する。社会的余剰(SW)は効用 $u(N)$ と社会的費用（旅行者とタクシーの移動とサーチ時間の費用）の差である。つまり、

$$SW = u(N) - (w + \tilde{c}) \sum_i \sum_j \frac{d_{i,j}}{v} N_{i,j} - \sum_i (wQ_i + \tilde{c}\tilde{Q}_i), \quad (4)$$

ここで、 $w \in \mathcal{R}_+$ は旅行者の時間費用、 $\tilde{c} \in \mathcal{R}_+$ は、タクシーの単位時間あたりの運用費用である。なお、タクシーのコストには固定費用は存在しないとする。

5.2.2. 最適配分と次善配分

本項では、最適配分と次善配分を定義する。最適配分とは(1)、(2)式の制約の下、社会的余剰を最大化するような配分 (N, M, Q, \tilde{Q}) である^{1, 2}。

¹ 旅行者とタクシーの待ち時間の和 $\sum_j \sum_i N_{i,j} (wQ_i + \tilde{c}\tilde{Q}_i) / m(Q_i, \tilde{Q}_i)$ は(1)、(2)式より $\sum_i (wQ_i + \tilde{c}\tilde{Q}_i)$ と等しい。

² ある旅行者がタクシーをサーチするとき、彼（彼女）はマッチングの不確実性に直面するが、ここでは消費者はサーチ時間を平均サーチ時間で評価している。

一意の内点解を仮定すると、最適配分は(1)、(2)と以下の条件を満たしている。

$$\frac{\partial u(N)}{\partial N_{i,j}} = (w + \tilde{c}) \frac{d_{i,j}}{v} + \frac{w}{m_Q(Q_i, \tilde{Q}_i)}, \quad \text{for all } i, j, \quad (5)$$

$$\frac{m_Q(Q_i, \tilde{Q}_i)}{m_{\tilde{Q}}(Q_i, \tilde{Q}_i)} = \frac{w}{\tilde{c}}, \quad \text{for all } i. \quad (6)$$

ここで、 $w/m_Q(Q_i, \tilde{Q}_i)$ は地点*i*におけるマッチングの社会的限界費用である。マッチング関数が C.R.S.であるので、(6)より旅行者のサーチ時間、 Q_i/M_i 、タクシーのサーチ時間、 \tilde{Q}_i/M_i 、はすべての地区において等しい。また、マッチングの社会的費用は平均費用、 $(wQ_i + \tilde{c}\tilde{Q}_i)/M_i$ 、と等しい。

次善配分を所与のタクシーの総ストックの下での効率的な配分として定義する。つまり、所与の*T*に対して、次善配分とは(1)、(2)、(3)式の制約の下、社会的余剰(4)を最大化するような配分 (N, M, Q, \tilde{Q}) のことをいう。内点解を仮定すると、次善配分は(1)、(2)、(3)と以下の条件、

$$\frac{\partial u(N)}{\partial N_{i,j}} = (w + \tilde{c} + \mu) \frac{d_{i,j}}{v} + \frac{w}{m_Q(Q_i, \tilde{Q}_i)} \quad \text{for all } i, j, \quad (7)$$

$$\frac{m_Q(Q_i, \tilde{Q}_i)}{m_{\tilde{Q}}(Q_i, \tilde{Q}_i)} = \frac{w}{\tilde{c} + \mu}, \quad \text{for all } i, \quad (8)$$

を満たす。ここで、 μ は制約 (3) 式に関するラグランジュ乗数である。次善配分はタクシーの総ストックに対して定義しているので、*T*が異なると次善配分における社会的余剰も異なる。

Total loss、Capacity loss、Miss pricing loss を定義する。所与の実行可能な配分に対して、その配分における社会的余剰を SW_{base} 、その配分におけるタクシーの総ストックの下での次善配分における社会的余剰を SW_{SB} 、最適配分における社会的余剰を SW_{opt} とする。

Total loss とは、所与の実行可能な配分に対して、その配分の社会的余剰と最適配分の社会的余剰の差、つまり、

$$Total\ loss \equiv SW_{base} - SW_{opt}$$

である。

また、Capacity loss とは次善配分と最適配分の社会的余剰の差である。つまり、

$$Capacity\ loss \equiv SW_{SB} - SW_{opt}$$

である。これは、その配分におけるタクシーの総ストックが過剰（過小）であることによる社会的損失を表している。

Miss pricing loss とは、その配分と次善配分の社会的余剰の差である。

$$\text{Miss pricing loss} \equiv SW_{base} - SW_{SB}$$

である。これは、その配分におけるタクシーの総ストックが効率的に配置、利用されていないことによる社会的損失を表している。

5.2.3. 自由参入均衡

本項では、規制運賃の下での自由参入均衡を考える。タクシー運賃, $F = \{F_{i,j}\}$, は外生的に与えられているとする。地点 i から j のトリップに家計が負担するコストには運賃, $F_{i,j}$, だけでなく、タクシーを探す時間と地区間を移動する時間の費用も含まれる。したがって、家計は期待効用

$$u(N) - \sum_i \sum_j \left\{ F_{i,j} + w \left(\frac{d_{i,j}}{v} + \frac{Q_i}{M_i} \right) \right\} N_{i,j}.$$

を最大化する N を選択する。一階の条件は

$$\frac{\partial u(N)}{\partial N_{i,j}} = F_{i,j} + w \left(\frac{d_{i,j}}{v} + \frac{Q_i}{M_i} \right), \quad \text{for all } i, j. \quad (9)$$

である。

タクシーが地点 i から都市に参入し、十分短い期間 ($\delta \in \mathcal{R}_{++}$) において、旅行者をサーチするとしよう。タクシーは $(N_{i,j}/\tilde{Q}_i)\delta$ の確率で目的地が地点 j である旅行者と遭遇する。タクシーは運賃 $F_{i,j}$ を得て地点 j に移動するが、輸送時間 $d_{i,j}/v$ 分の運送費用を負担する。空車のタクシーは任意の場所から瞬間的に都市内に参入・退出ができるので、旅行者をサーチすることの期待収入はその間の運送費用と等しくなければならない。つまり、

$$\delta \left(\sum_j \frac{(F_{i,j} - \tilde{c} d_{i,j}/v) N}{\tilde{Q}_i} \right) = \delta \tilde{c}, \quad \text{for all } i,$$

である。これを整理すると、

$$\left(\tilde{Q}_i + \sum_j \frac{d_{i,j}}{v} N_{i,j} \right) \tilde{c} = \sum_j F_{i,j} N_{i,j}, \quad \text{for all } i. \quad (10)$$

所与のタクシー運賃 F に対して、ある配分 (N, M, Q, \tilde{Q}) が (1)、(2)、(9)、(10) を満たすならば、その配分を自由参入均衡という。

F を適切にコントロールすることで、自由参入均衡として最適配分を達成することは可能である。いま、地区*i*から*j*のタクシー運賃を固定部分と距離比例部分とからなる二部料金、 $F_{i,j} = f_0 + \tilde{c} d_{i,j}/v$ 、として表現する。固定部分(f_0)を最適配分におけるタクシーの待ち時間の費用と等しく設定すると、条件(9)は(5)と等しく、(10)は(6)と等しい。したがって、自由参入均衡の条件と最適配分の条件は一致する。以下では、自由参入の均衡の下で、最適配分を達成するこの運賃を最適運賃と定義する。

所与の自由参入均衡配分に対して付加価値とはタクシーの総収入、 $\sum_i \sum_j F_{i,j} N_{i,j}$ である。(10)式をすべての i について足し合わせると、 T の定義より付加価値は全タクシーの運用費用 $\tilde{c} T$ と等しくなければならない。

自由参入均衡は、マッチング関数と効用関数を特定化すると、数値的に解くことができる。任意の N を選択する。その N に対して(1)、(2)、(10)は M, Q, \bar{Q} を決定する。これらを用いて (9) より N を計算する。このプロセスの不動点が自由参入均衡である。

5.2.4. 参入規制均衡

本項では、規制運賃の下での参入規制均衡を考える。参入規制が課されているのでタクシーは自由に参入することができない。タクシーの総ストック(T)は規制当局が決定し、その分のタクシーに都市内でサービスを提供する免許を与えられている。つまり、 T は規制当局のコントロール変数であり、免許を与えられたタクシーは都市内で旅行者の輸送やサーチャ活動をするだけである。

空車のタクシーは時間費用なしで任意の地区に移動することができるので、免許を有するタクシーの期待利潤、 $\tilde{V} \in \mathcal{R}$ 、は全ての地区において等しくなければならない。つまり、

$$\left(\tilde{Q}_i + \sum \frac{d_{i,j}}{v} N \right) \cdot \quad (11)$$

所与の F と T に対して、ある配分が(1)、(2)、(9)、(11)を満たすならば、参入規制均衡という。

タクシー運賃 F を適切にコントロールすることで、所与の T における参入規制均衡として、その次善配分を達成することが可能である。いま、次善配分における出発するタクシー(旅行者)のフローを $\{M_i^{**}\}$ 、タクシーのストックを $\{\tilde{Q}_i^{**}\}$ 、タクシーの総ストック制約に関するラグランジュ乗数を μ^{**} とする。タクシー運賃を $F_{i,j} = \frac{\tilde{Q}_i^{**}}{M_i^{**}} (\tilde{c} + \mu^{**}) + (\tilde{c} + \mu^{**}) \frac{d_{i,j}}{v}$ とすると、条件(9)は(7)、(11)は(8)と等しい。したがって、所与の T における参入規制均衡の条件式とその次善配分の条件式は一致する。以下では、ある T における次善配分を達成するようなこの運賃を次善運賃と定義する。

参入規制均衡の付加価値は、

$$\sum_i \sum_j F_{i,j} N_{i,j} = \tilde{V}T \quad (12)$$

である。ここで、 \tilde{V} と \tilde{c} の差はタクシーのレントである。また、 T とレントの積はタクシーの生産者余剰である。

所与の F と T における参入規制均衡は、以下のアルゴリズムにより数値的に解くことができる。任意の N に対して、(12)より \tilde{V} が決定する。このとき(1)、(2)および(11)は M , \tilde{Q} , Q を決定する。これらを用いて、(9)式は N を決定する。このプロセスの不動点が参入規制均衡である。

5.3. シミュレーション

5.3.1. 東京地区のタクシー規制改革

2002年2月に日本のタクシー事業は規制緩和が行われた。規制緩和により、運賃は同一地域同一運賃制から上限・下限を設けた幅運賃制に変更され、参入は需給調整に基づく数量規制が撤廃されている。

規制緩和以降、運賃については東京地区のタクシー事業者の97.2%が上限運賃を設定しており、実質的に同一地域同一運賃を維持している（国土交通省, 2009）。参入規制の緩和により新規の事業者の参入や既存事業者の増車が行われ、2002年と2007年の間で東京地区のタクシー車両数は20%増加している。

規制緩和以降に東京地区において主に二つの規制改革が実施された。一つ目は、2007年12月の規制運賃の改定である。二つ目は、2008年7月の新規参入及び既存事業者による増車の厳格化と既存のタクシーの減車の促成政策（減車政策）である。減車政策により、2008年と2012年の間で東京地区のタクシー車両数は18%減少している。

シミュレーションではこの二つの制度改革を三つの均衡を計算することで評価する。一つ目は旧運賃自由参入均衡（OFE: Old fare and free entry equilibrium）であり、2002年2月から2007年11月までを想定している。二つ目は新運賃自由参入均衡（NFE: New fare and free entry equilibrium）であり、2007年12月から2008年6月までを想定している。三つ目は新運賃参入規制均衡（NRE: New fare and regula

5.3.2. パラメーター設定

(1) 地区、ツアープラン、時間費用、運賃

地区、ツアープラン、ベンチマークパラメーターの設定は、泊（2012）で報告されたタクシー輸送の出発地と到着地間の輸送回数表（OD表）にNREが整合するように設定する。同表は2012年1月31日における匿名の事業者（車両台数300台以上）による29,460回の

輸送データである³。2012年1月の東京地区における1日あたり平均輸送回数は526,070回であり、我々が使用するデータの輸送回数は5.6%にあたる。

東京地区（特別区・武三営業地区）は特別区23区と2つの市（武蔵野市、三鷹市）から構成される。個々の区と市を一つの地区とし、区・市間の移動を独立したトリップとする。したがって、シミュレーションには625個のツアーが存在する。地区間の距離は区・市の区役所・市役所間の距離を用いる。また、同一地区内の移動距離は0kmとする。時間単位は分とし、OD表の1分あたりの輸送回数をNREにおけるツアー需要 ($N^b = \{N_{i,j}\}$) とする。図5-1は各地区を出発する輸送回数により色分けしている。図5-2はベンチマーク（NRE）の各地区におけるマッチング頻度（輸送回数）である。港区を出発地とするツアーが最も多く1分あたり5.81回であり、次いで東京駅のある千代田区が1分あたり3.02回である。図5-3は、各地区においてタクシーが旅行者と遭遇した場合の平均輸送距離である。東京国際空港（HND）は0.09kmである。なお、各地区間の輸送回数表（OD表）、地区間の距離は補論5.A.1に示す。

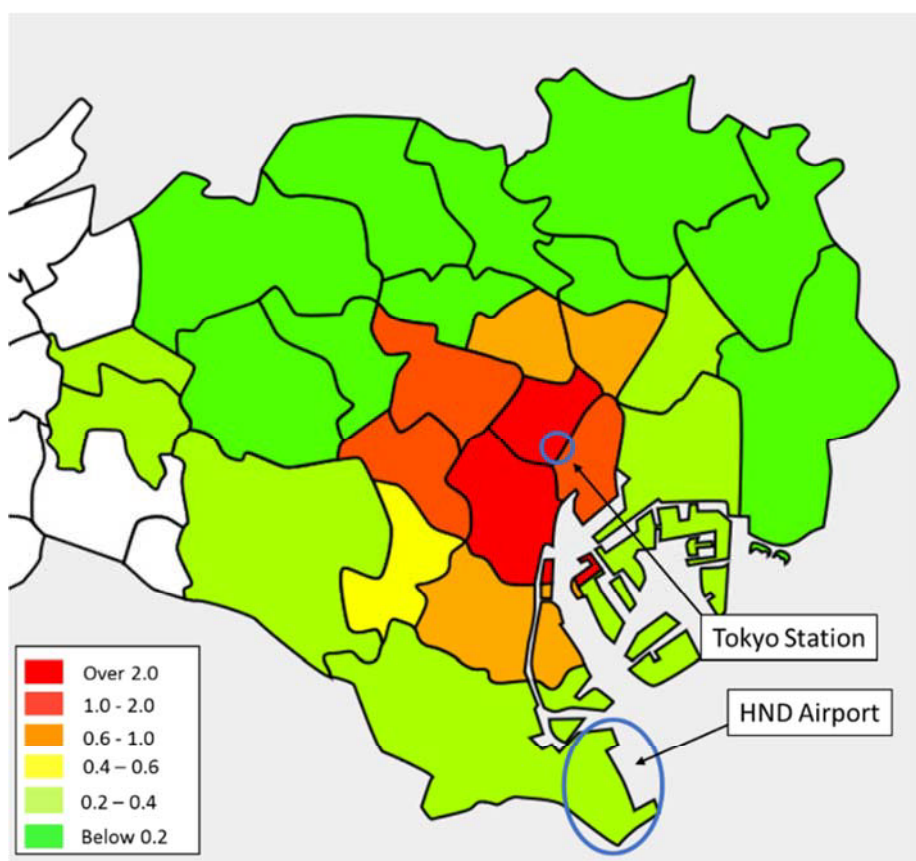


図5-1 東京地区の地図

³ また、泊（2012）は匿名のタクシー事業者の保有車両数を明記していない。なお、OD表は補論を参照されたい。

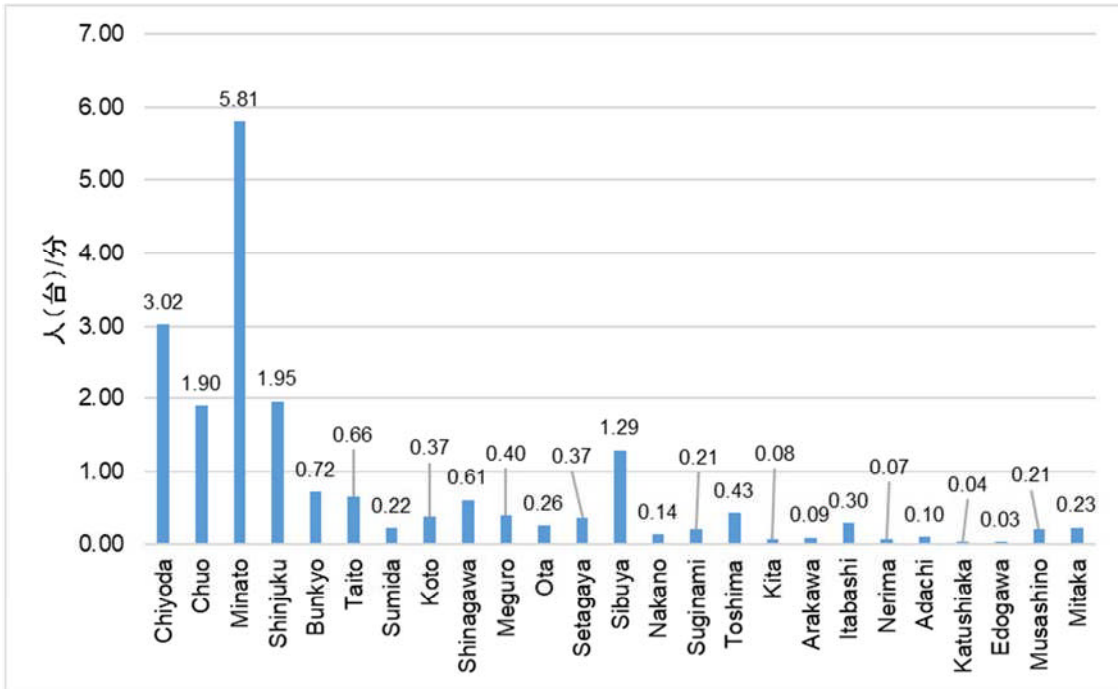


図 5-2 ベンチマーク (NRE)におけるタクシーと旅行者の遭遇の頻度

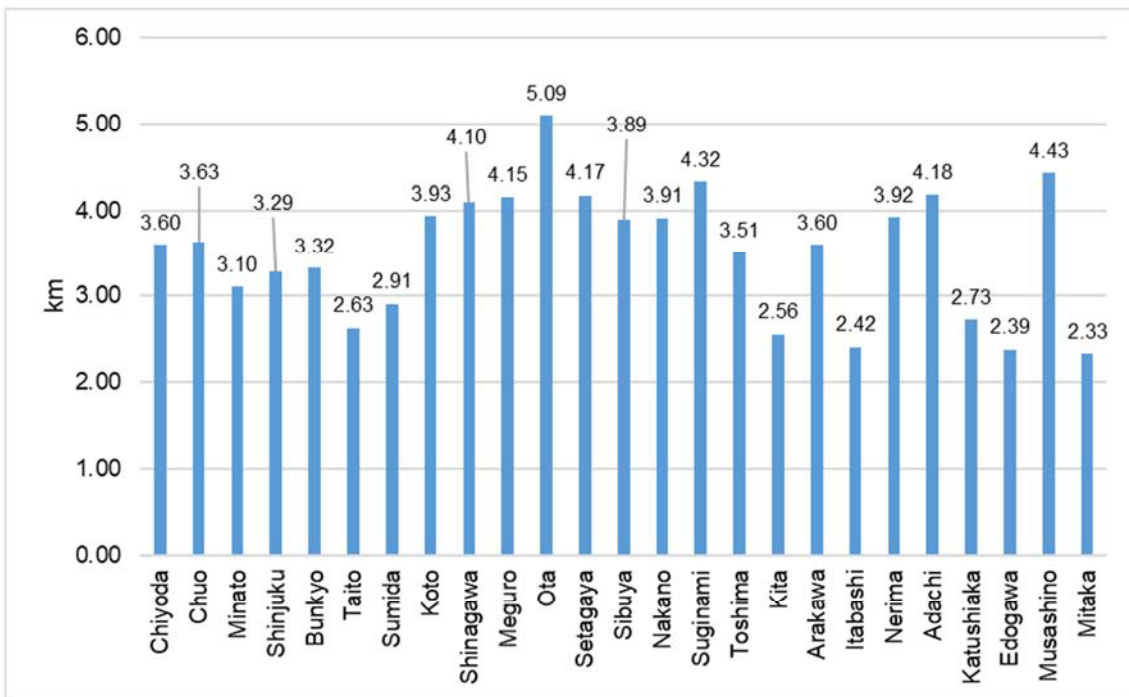


図 5-3 各地点におけるツアーの平均距離

表 5-1 はタクシーの運転速度 (km/分)、旅行者の時間費用 (円/分)、タクシーの運送費用 (円/分) とデータの出典である。タクシーの運転速度, v , は東京都の一般道の平均旅行速度である。旅行者の時間費用, w , は東京都全産業男性労働者の平均年収の 2002 年から 2012 年における平均値を用いる。タクシーの運送費用, c , は東京都タクシー乗務員の平均年収の同期間における平均値 (27.7 円/分) と同期間におけるタクシーの輸送コストに占める人件費の割合の平均値から計算した。これらのパラメーターは 3 つの期間において変化しないものとする。

表 5-1 平均速度と時間費用

Parameter	値	説明	出典
v	0.35	平均道路交通速度 (km/分)	道路交通センサス 2010
w	52.4	旅行者の時間費用 (円/分)	賃金構造基本統計調査
c	37.0	運送費用 (円/分)	賃金構造基本統計調査

表 5-2 は NRE におけるタクシー運賃である。東京地区のタクシー運賃は、初乗りと距離比例から構成されている。2km 以下の移動に対しては初乗り部分のみが、2km 以上の移動に対しては固定部分に加えて距離比例部分が課される。

表 5-2 NRE におけるタクシー運賃

初乗り (2km 未満)	距離部分 (2km 以上)
¥710	¥90 / 288m

(2) マッチング関数

各地区におけるタクシーと旅行者のマッチング関数は、Constant Elasticity Substitution (CES) 型であるとする。Lagos のモデルにおいて、マッチング関数はレオンチェフ型である。これは、地区内にタクシースタンドが 1 つ存在し、そこでのみタクシーと利用者の遭遇が生じる状況を想定している。本章では、そのような状況だけでなく、タクシーと旅行者は移動しながら互いを探索する状況も想定し、マッチング関数を

$$m(Q_i, \tilde{Q}_i) = A[aQ_i^\rho + (1-a)\tilde{Q}_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}}$$

とする。

マッチング関数のパラメーターには a , ρ , A がある。ベンチマークとして、タクシーと旅行者のストックが等しい場合、両者の限界生産物が等しい状況を想定し、 $a = 0.5$ に設定する。また、 ρ については $\rho = -2, -0.5, 0.5$ の 3 つのケースを計算する。なお、 A の設定については後で議論する。

(3) 効用関数

消費者の効用関数は CRRA (Constant Relative Risk Aversion) 型の関数を仮定する。つまり、

$$u(N) = b_0 + \sum_i \sum_j \frac{b_{i,j}}{1-\sigma} (N_{i,j})^{1-\sigma}$$

である。効用関数のパラメーターは σ 、 b_0 、および $\{b_{i,j}\}$ である。以下では、これらとマッチング関数のパラメーター A の値を設定する方法を説明する。

上記のパラメーターとベンチマーク需要、 N^b 、を代入すると、(1)、(9)、(11)式は、

$$\sum_j N_{i,j}^b = A[0.5Q_i^\rho + 0.5\bar{Q}_i^\rho]^{\frac{1}{\rho}} \quad \text{for all } i. \quad (1')$$

$$b_{i,j}(N_{i,j}^b)^{-\sigma} = F_{i,j} + w \left(\frac{d_{i,j}}{v} + \frac{Q_i}{\sum_j N_{i,j}^b} \right), \quad \text{for all } i,j. \quad (9')$$

$$\left(\bar{Q}_i + \sum_j \frac{d_{i,j}N_{i,j}^b}{v} \right) \tilde{V} = \sum_j F_{i,j}N_{i,j}^b \quad \text{for all } i. \quad (11')$$

所与の \tilde{V} に対して、 N^b と(11')は各地区におけるタクシーのストック、 \bar{Q} 、を決定する。ここで、第1地点における旅行者のサーチ時間 ($Q_1/\sum_j N_{1,j}^b$) を3分と仮定すると、 $i=1$ の(1')式は A を決定する。この A と N^b, \bar{Q} を用いると、(1')より各地区の旅行者のストック、 Q_i 、が決定する。この Q と N^b を用いると、(9')は全ての地区間のツアーの実効価格、 $F_{i,j} + w \left(\frac{d_{i,j}}{v} + \frac{Q_i}{\sum_j N_{i,j}^b} \right)$ for all i,j を決定する。

2007年12月の運賃改定によりツアーの運賃は平均7.12%上昇している。一方で2007年1月と2008年1月の間で輸送回数は5.8%減少している。これらの値から集計的なタクシー需要の運賃弾力性を計算すると0.81である。そこで、各地区における旅行者のサーチ時間を固定した状態での各ツアーの需要の運賃弾力性を需要量で加重した平均が0.81になるように σ を設定する。

また、 $\{b_{i,j}\}$ は NRE での旅行者のサイズが N^b に整合するように設定する。これらのパラメーターを用いて、NFE を計算し、NFE と NRE のタクシー総数を比較する。2008年6月と2012年1月の間で東京地区のタクシー総数は18%減少している。そのため、 \tilde{V} は NFE と NRE の T の比が0.82になるように設定する。そして、 b_0 は NRE の社会的余剰が0になるように基準化する。計算されたパラメーターは表5-3と補論5.A.1に示す。また、マッチング関数、効用関数のパラメーターは3つの期間で変化しないと仮定する。

表 5-3 マッチング関数と効用関数のパラメーター

Matching function		Utility function		\tilde{v}
ρ	A	σ	b_0	
-2.0	0.24	0.88	314673.6	45.11
-0.5	0.16	0.89	316809.7	44.78
0.5	0.10	0.89	332242.3	43.15

5.3.3. 結果

(1) ベンチマーク

本節ではシミュレーションの結果を述べる。表 5-4 は NRE、最適配分、NRE におけるタクシー総数の下での次善配分である。最適配分、次善配分の下のは、それぞれの配分からのかい離率である。

例として、 $\rho = -0.5$ のケースをみる（表 5-4 中段）。NRE の社会的余剰は 0 に基準化されている。NRE と最適配分の社会的余剰と差である Total loss は 10603.93 円/分である。これは NRE におけるタクシーの付加価値（22606.42 円/分）の 47%にあたる。Total loss における Capacity loss と Miss pricing loss を評価する。

Capacity loss はタクシーストックが過剰（過少）であることによる社会的費用であり、次善配分と最適配分の社会的余剰の差で測られる。NRE の総タクシーストックは 610.98 台であり、最適配分の 500.31 台よりも 22%過剰である。Capacity loss は 605.86 円/分であり、Total loss の 5.7%を占めている。

Miss Pricing Loss はタクシーストックが運賃の水準や構造により、効率的に利用されていないことによる社会的費用であり、NRE と次善配分の社会的余剰の差で測られる。NRE のタクシーストック下での次善配分をサポートする運賃を規制運賃と比較すると、同一地区内のツアーの次善運賃が 214.29 円であるのに対し、規制運賃は 710 円であり、231%も高い。また、千代田区と港区のツアーの次善運賃が 597.41 円、1555.52 円である一方で、規制運賃は 1610 円、5480 円であり、それぞれ 169%、252%も高い。つまり、規制運賃は次善運賃と比較して全体的高すぎるだけでなく、輸送距離により高さの程度が異なる。

全体的に運賃の水準が高すぎるため、NRE において各地区に流入する旅行者フロー M はタクシーストックに対して過少である。例えば、各地区に流入する旅行者のフローは、次善配分においては千代田区が 5.25 人/分、港区が 10.54 人/分、大田区が 0.49 人/分である一方で、NRE では千代田区が 3.02 人/分、港区が 5.81 人/分、大田区が 0.26 人/分に過ぎず、それぞれ次善配分より 43%、45%、47%も過少である。

各地区に流入する旅行者のフローが過少であるため、各地区においてタクシーは過剰な時間を旅行者の探索に費やしている一方で、旅行者の待ち時間は短すぎる。また、輸送距離ごとに運賃の高さの程度が異なるため、タクシーが集中する地区とそうでない地区が存在し、それぞれの待ち時間が地区ごとで異なっている。例えば、タクシーの待ち時間は、次善配分では全ての地区において 7.99 分であるのに対して、NRE の下では港区が 21.19 分、大田区が 30.36 分であり、それぞれ次善配分よりも 198%、327%も過剰あり、かつ長距離輸送の多い大田区の待ち時間が相対的に長い。一方で、旅行者の待ち時間は次善配分の 5.11 分であるのに対し、港区が 2.99 分、大田区が 2.65 分であり、それぞれ 42%、48%も過少である。結果的に NRE の社会的余剰は次善配分よりも 9998.07 円/分低く、この Miss pricing loss は Total loss の 94.2%を占めている。

この傾向は p の値に関わらず保たれており、NRE において、タクシー市場のロスの大部分を運賃の水準や構造によりタクシーが効率的に利用されていないことによるロスが占めている。なお、補論 5.A.1 に p ごとに計算した NRE とその次善配分におけるマッチングフローの比較、NRE におけるタクシーと旅行者の待ち時間を示す。

表 5-4 : ベンチマーク (NRE) の結果

	Social welfare	Total taxi stock	Added value	Fare				Meeting frequency			Waiting time for taxis			Waiting time for tourists		
				Fixed	Distance	Intra ward (0km)	Chiyoda to Minato (5km)	Chiyoda to Ota (17.5km)	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward	Chiyoda ward	Minato ward
$\rho = -2$	0	606.51	22441.05	regulated	710	1610	5480	3.02	5.81	0.26	20.68	20.97	30.03	3	3.00	2.98
Optimal allocation	16805.04	495.72		165.18	37	693.75	2015.18	5.84	12.30	0.58	4.46	4.46	4.46	3.98	3.98	3.98
$\Delta(NRE - Optimal)$	22%			330%		132%	172%	-48%	-53%	-55%	363%	370%	573%	-25%	-25%	-25%
Second best allocation	16079.66	606.51		119.78	24.80	474.06	1359.76	6.97	14.71	0.69	4.83	4.83	4.83	3.76	3.76	3.76
$\Delta(NRE - Second\ best)$	0%			493%		240%	303%	-57%	-61%	-63%	328%	334%	522%	-20%	-20%	-21%
NRE	0	610.98	22606.42	regulated	710	1610	5480	3.02	5.81	0.26	20.91	21.19	30.36	3	2.99	2.65
Optimal allocation	10603.93	500.31		263.17	37	791.74	2113.17	4.51	9.02	0.42	7.11	7.11	7.11	5.64	5.64	5.64
$\Delta(NRE - Optimal)$	22%			170%		103%	159%	-33%	-36%	-38%	194%	198%	327%	-47%	-47%	-53%
Second best allocation	9998.07	610.98		214.29	26.82	597.41	1555.22	5.25	10.54	0.49	7.99	7.99	7.99	5.11	5.11	5.11
$\Delta(NRE - Second\ best)$	0%			231%		169%	252%	-43%	-45%	-47%	162%	165%	280%	-41%	-42%	-48%
NRE	0	634.06	23460.39	regulated	710	1610	5480	3.02	5.81	0.26	22.09	22.32	32.05	3	2.91	0.59
Optimal allocation	2796.18	549.08		525.84	37	1054.41	2375.84	3.32	6.33	0.28	14.21	14.21	14.21	7.09	7.09	7.09
$\Delta(NRE - Optimal)$	15%			35%		53%	131%	-9%	-8%	-6%	55%	57%	126%	-58%	-59%	-92%
Second best allocation	2577.98	634.06		510.60	32.09	968.99	2114.97	3.61	6.89	0.30	15.91	15.91	15.91	5.97	5.97	5.97
$\Delta(NRE - Second\ best)$	0%			39%		66%	159%	-16%	-16%	-14%	39%	40%	101%	-50%	-51%	-90%

(2) 運賃改定の効果

運賃改定の効果を考える。表 5-5 は改定前後の運賃である。2007 年 12 月の運賃の改定により、初乗り部分は 660 円から 710 円に、距離比例部分は 274m あたり 80 円から 288m あたり 90 円に変更されている。これにより、ツアーの平均運賃は 7.1%上昇している。また、同一地区内の運賃は 7.6%、千代田区から港区へのツアー運賃は 10.3%、千代田区から大田区へのツアー運賃は 6.6%上昇している。したがって、運賃の改定によりツアーの運賃は全体的に値上げされているが、長距離輸送の値上げ率は相対的に低い。

表 5-5: タクシー運賃の改定

	Structure		Average fare	Intra ward (0km)	Chiyoda to Minato (5km)	Chiyoda to Ota (17.5km)
	Initial	Distance				
Old	660	80 / 274m	3592.99	660	1460	5140
New	710	90 / 288m	3846.32	710	1610	5480
Δ			7.1%	7.6%	10.3%	6.6%

表 5-6: 運賃改定と参入規制の効果 その 1

		Total loss	Capacity loss	Miss pricing loss	Total taxis	Added value
$\rho = -2$	OFE	-19694.05	-2742.32	-16951.73	726.65	26886.13
	NFE	-21710.77	-3018.84	-18691.93	739.74	27370.48
	NRE	-16805.04	-725.38	-16079.66	606.51	27359.88
	$\Delta(NFE-OFE)$	-2016.72	-276.53	-1740.20	1.80%	1.80%
	$\Delta(NRE-NFE)$	4905.73	2293.46	2612.27	-18.01%	-0.04%
$\rho = -0.5$	OFE	-13157.61	-2272.25	-10885.35	730.30	27021.13
	NFE	-15092.74	-2535.79	-12556.95	745.28	27575.21
	NRE	-10603.93	-605.87	-9998.07	610.98	27359.88
	$\Delta(NFE-OFE)$	-1935.14	-263.54	-1671.60	2.05%	2.05%
	$\Delta(NRE-NFE)$	4488.81	1929.93	2558.89	-18.02%	-0.78%
$\rho = 0.5$	OFE	-3826.27	-1042.41	-2783.87	744.89	27560.99
	NFE	-5194.66	-1333.06	-3861.61	773.29	28611.57
	NRE	-2796.178	-218.19	-2577.98	634.06	27359.88
	$\Delta(NFE-OFE)$	-1368.39	-290.65	-1077.74	3.81%	3.81%
	$\Delta(NRE-NFE)$	2398.48	1114.86	1283.62	-18.00%	-4.37%

表 5-7: 運賃改定と参入規制の効果 その 2

	Fare		Meeting frequency				Waiting time for taxis				Waiting time for tourists			
	Fixed	Distance	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward	Chiyoda ward	Minato ward	Ota ward
$\rho = -2$	OFE	OLD	3.22	6.18	0.27	24.41	24.85	36.06	2.99	2.99	2.98	2.99	2.99	2.98
	Second best	86.03	16.24	8.11	17.19	0.81	5.30	5.30	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	
	$\Delta(OFE - \text{Second best})$			-60%	-64%	-66%	361%	369%	581%	-17%	-17%	-17%	-17%	-17%
	NFE	NEW	3.02	5.81	0.26	27.47	27.50	39.80	2.99	2.99	2.98	2.99	2.99	2.98
	Second best	83.04	15.51	8.23	17.45	0.82	5.35	5.35	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	
	$\Delta(NFE - \text{Second best})$			-63%	-67%	-68%	413%	414%	643%	-16%	-16%	-16%	-16%	-17%
	NRE	NEW	3.02	5.81	0.26	20.68	20.97	30.03	3	3.00	2.98	3	3.00	2.98
	Second best	119.78	24.80	6.97	14.71	0.69	4.83	4.83	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
	$\Delta(NRE - \text{Second best})$			-57%	-61%	-63%	328%	334%	522%	-20%	-20%	-20%	-20%	-21%
	$\Delta(NFE-OFE)$			-6.2%	-5.9%	-5.7%	12.5%	10.7%	10.3%	-0.2%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
$\Delta(NRE-NFE)$			-0.05%	-0.06%	-0.03%	-24.7%	-23.8%	-24.5%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.2%	
$\rho = -0.5$	OFE	OLD	3.24	6.22	0.28	24.38	24.82	35.97	2.84	2.82	2.53	2.84	2.82	2.53
	Second best	177.21	19.75	5.98	12.06	0.56	8.97	8.97	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68
	$\Delta(OFE - \text{Second best})$			-46%	-48%	-50%	172%	177%	301%	-39%	-40%	-39%	-40%	-46%
	NFE	NEW	3.05	5.88	0.26	27.42	27.44	39.66	2.73	2.73	2.46	2.73	2.73	2.46
	Second best	173.36	19.06	6.07	12.24	0.57	9.10	9.10	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63
	$\Delta(NFE - \text{Second best})$			-50%	-52%	-54%	201%	202%	336%	-41%	-41%	-41%	-41%	-47%
	NRE	NEW	3.02	5.81	0.26	20.91	21.19	30.36	3	2.99	2.65	3	2.99	2.65
	Second best	214.29	26.82	5.25	10.54	0.49	7.99	7.99	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11
	$\Delta(NRE - \text{Second best})$			-43%	-45%	-47%	162%	165%	280%	-41%	-42%	-41%	-42%	-48%
	$\Delta(NFE-OFE)$			-5.8%	-5.6%	-5.6%	12.4%	10.6%	10.3%	-3.8%	-3.2%	-3.8%	-3.2%	-2.5%
$\Delta(NRE-NFE)$			-1.1%	-1.2%	-0.8%	-23.7%	-22.8%	-23.5%	9.8%	9.3%	9.8%	9.3%	7.5%	
$\rho = 0.5$	OFE	OLD	3.02	5.81	0.28	24.28	24.68	35.64	2.26	2.14	0.21	2.26	2.14	0.21
	Second best	488.07	27.28	4.06	7.79	0.34	17.89	17.89	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85
	$\Delta(OFE - \text{Second best})$			-26%	-25%	-16%	36%	38%	99%	-53%	-56%	-53%	-56%	-96%
	NFE	NEW	3.22	6.21	0.27	27.16	27.14	39.31	1.49	1.49	0.03	1.49	1.49	0.03
	Second best	482.07	26.26	4.06	7.79	0.34	18.36	18.36	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61
	$\Delta(NFE - \text{Second best})$			-21%	-20%	-21%	48%	48%	114%	-68%	-68%	-68%	-68%	-99%
	NRE	NEW	3.02	5.81	0.26	22.09	22.32	32.05	3	2.91	0.59	3	2.91	0.59
	Second best			3.61	6.89	0.30	15.91	15.91	5.97	5.97	5.97	5.97	5.97	5.97
	$\Delta(NRE - \text{Second best})$			-16%	-16%	-14%	39%	40%	101%	-50%	-51%	-50%	-51%	-90%
	$\Delta(NFE-OFE)$			6.4%	7.0%	-5.6%	11.9%	10.0%	10.3%	-34%	-30%	-34%	-30%	-88%
$\Delta(NRE-NFE)$			-6.1%	-6.5%	-2.9%	-18.7%	-17.8%	-18.5%	101.5%	95.1%	101.5%	95.1%	2157.0%	

表 5-6、表 5-7 は OFE、NFE、NRE の結果とそれぞれの比較である。例として、 $\rho = -0.5$ のケースをみる（表 5-6 中央、表 5-7 中央）。運賃改定の効果は NEF と OFE の差である。運賃改定により Total loss は 1935.14 円/分拡大し、これは OFE の付加価値 (27021.13 円/分) の 7.2%にあたる。これを Capacity loss と Miss pricing loss に分けて評価する。

運賃改定前後でタクシーのストックは 730.30 台から 745.28 台へと 2.1%増加している。これはタクシーストックをさらに過剰にし、Capacity loss は 263.54 円/分拡大している。これは運賃改定によるロス全体の 13.6%にあたる。

増加したタクシーストックを効率的に利用するためには、より多くの需要を必要とする。そのため、OFE と NFE の間で次善運賃の部分は、177.21 円から 173.36 円に、距離（時間）比例部分は 19.75 円から 19.06 円に下落している。しかし、実際には運賃は値上げしている。OFE と NFE の間で各地区に流入する旅行者のフローは減少しており、タクシーストックに対して旅行者のフローは一層過少になっている。例えば、千代田区に流入する旅行者のフローは OFE において 3.24 人/分であるが NFE においては 3.05 人/分であり、-5.8%減少しており、これにより次善配分からのかい離率は OFE の-46%から-50%へと減少している。

タクシーの総ストックは増加した一方で、各地区に流入する旅行者は減少したので、各地区において旅行者をサーチするタクシーのストックも増加し、タクシーの待ち時間は全体的に増加している。一方で、旅行者のストックは減少し、待ち時間も減少している。これによりタクシーが過剰な時間を旅行者の探索に費やす一方で、旅行者の待ち時間が短すぎる状態は悪化した。例えば、タクシーの待ち時間は千代田区において OFE の 24.38 分から NEF の 27.42 分へと 12.4%長くなっている一方で、旅行者の待ち時間は 2.84 分から 2.73 分へと 3.8%短縮されている。これにより次善配分からのかい離率は、タクシーの待ち時間が 172%から 201%へとより過剰に、旅行者の待ち時間は-39%から-41%へとより過少になっている。都市全体では、OFE と NFE の間で Miss pricing loss は-1671.60 円/分悪化しており、これは運賃改定によるロス全体の 86.4%にあたる。

つまり、2007 年 12 月の運賃改定によりタクシー市場の社会的損失は拡大したが、運賃の値上げに伴うタクシーの増加による Capacity loss の拡大はごく一部に過ぎず、値上げにより需要が減少したことによる Miss pricing loss の拡大が大部分である。

(3) 減車政策の効果

2008 年 7 月の参入制限とタクシー総数の 18%の削減により、社会的余剰は 4488.81 円/分改善した。これは NFE の付加価値 (27575.21 円) の 16.3%にあたる。これを Capacity loss と Miss pricing loss に分解する。

タクシーストックの削減により、タクシーストックの過剰性の一部は解消され、Capacity loss は 1928.81 円/分改善した。これは余剰の改善の 43%にあたる。

運賃が固定されたまま、タクシーの総ストックが削減されたので、各地点における旅行者の待ち時間は増加した。しかし、旅行者の待ち時間が短すぎる状態に大きな変化はない。例

例えば、港区において旅行者の待ち時間は NFE の 2.73 分から、NRE の 2.99 分へと 9.3%長くなっているが、次善配分からのかい離率は-41%から-42%への変化にすぎない。

一方で、各地区において旅行者を探すタクシーのストックは減少し、タクシーの待ち時間も減少している。これにより、タクシーの待ち時間が長すぎる状態は改善されている。例えば、港区において、タクシーの待ち時間は NFE の 27.44 分から NRE の 21.19 分へと-22.8%短くなった。これにより次善配分からのかい離率は 201%から 162%に減少している。結果的に Miss pricing loss は 2558.89 円/分改善している。これは余剰の改善の 57.04%にあたる。

5.4. 結論

東京地区では 2002 年の規制緩和以降に運賃の改定と減車政策が実施されている。本章では動学的モデルにより、東京地区における一連のタクシー規制改革を定量的に評価した。本章のモデルは、Lagos (2000)によるタクシーが様々な場所における旅客の捉まえやすさとその場所から輸送する旅客から得られる収入の両方を考慮しながら旅客を求めて移動する状況を想定したモデルに、マッチング関数の一般化し、家計が運賃だけでなく待ち時間と移動時間のコストを考慮して需要を内生的に決定する状況などの修正を行った。そして、タクシー市場における社会的損失 (Total loss) をタクシーの過剰 (過少) 性によるロス (Capacity loss) と既存のタクシーストックが効率的に配置・利用されていないことのロス (Miss pricing loss) に分けて評価した。

シミュレーションの結果の結果をまとめる。減車政策以降のタクシー市場において生じている Total loss の大部分 (90%以上) を Miss pricing loss が占めている。これは主に規制運賃の水準が高すぎるため、タクシーの総ストックに対して需要が過少であり、各地区においてタクシーが旅行者の探索に過剰な時間を費やしている一方で、旅行者の待ち時間が短すぎることから生じている。

2007 年 12 月の運賃改定によりタクシー市場における Total loss は、1900 円/分ほど拡大した。運賃改定により各地区間のツアーの運賃は平均で 7%ほど値上がりしたが、それによりタクシーの総ストックは 2%ほど増加した。これによる Capacity loss の拡大は、およそ 260 円/分に過ぎない。一方で、運賃の値上げにより需要が減少し、タクシーの待ち時間が長くなったため、Miss pricing loss は 1670 円/分ほど拡大した。つまり、運賃改定による経済損失の大部分が Miss pricing loss の拡大である。

2008 年 7 月以降の減車政策 (18%のタクシー総ストックの削減) によりタクシー市場の社会的厚生は 4500 円/分程度改善された。タクシーの過剰性が小さくなったことによる効果 (Capacity loss の改善) が 1930 円/分、タクシーの待ち時間が長すぎることで改善されたことによる効果 (Miss pricing loss の改善) が 2560 円/分であり、ほぼ同程度貢献している。

最後に、本章の政策的インプリケーションを述べる。シミュレーションの結果は、運賃改定、減車政策の前後に関わらず、タクシー市場の社会的損失の大部分が Miss pricing loss であることを示している。これはタクシー運賃が高すぎるために、既存のタクシーが十分に利用

されておらずタクシーが旅客の探索に過大な時間を費やしていることを要因としている。したがって、タクシー運賃を値下げし、よりタクシー需要の増加を促進させる必要がある。しかし、値下げに際しては、固定部分と距離比例部分のバランスを考慮しながら設定することに注意を要する。

5. A. 補論

5. A. 1. データとパラメーター

本節では、本論中で記載しなかったシミュレーションに用いたデータとカリブレーションにより計算したパラメーターなどを示す。

表 5-8 は東京地区におけるタクシーの OD 表である。泊(2012)は1日の OD 表であるので、1分あたりの輸送回数を計算し、シミュレーションに用いている。表 5-9 は東京地区における区・市間の輸送距離である。個々の区・市を一つの地区とし、同一地区内の輸送距離はゼロに設定した。また、異なる地区間の輸送距離は、各区・市役所間の Google Map により計算した道路上の距離である。

表 5-10~5-12 は $\rho = -2, -0.5, 0.5$ の場合の地区間の輸送に関する効用関数のパラメーター $\{b_{i,j}\}$ である。

表 5-8 東京都特別区・武蔵野市・三鷹市営業区域におけるタクシーのOD表 (単位 回/分)

No.	地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Total	
1	Chiyoda	1.01	0.49	0.57	0.22	0.19	0.07	0.03	0.08	0.03	0.03	0.02	0.04	0.09	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	3.02
2	Chuo	0.39	0.62	0.33	0.05	0.05	0.05	0.04	0.14	0.03	0.02	0.01	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	1.90
3	Minato	0.68	0.47	2.95	0.22	0.06	0.03	0.02	0.09	0.26	0.11	0.10	0.12	0.50	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	5.81
4	Shinjuku	0.14	0.05	0.16	0.95	0.09	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.13	0.09	0.06	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
5	Bunkyo	0.15	0.04	0.03	0.05	0.22	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72
6	Taito	0.06	0.04	0.02	0.01	0.07	0.32	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66
7	Sumida	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
8	Koto	0.03	0.09	0.03	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.37
9	Shinagawa	0.02	0.01	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.27	0.03	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
10	Meguro	0.01	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.01	0.05	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
11	Ota	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.15	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
12	Setagaya	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.17	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
13	Shibuya	0.05	0.03	0.33	0.12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.10	0.02	0.08	0.44	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
14	Nakano	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
15	Suginami	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.21
16	Toshima	0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.17	0.01	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
17	Kita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
18	Arakawa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
19	Itabashi	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
20	Nerima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07
21	Adachi	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
22	Katushika	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04
23	Edogawa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03
24	Musashino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.21
25	Mitaka	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.15	0.23
Total		2.62	1.89	4.74	1.78	0.78	0.65	0.31	0.56	0.74	0.49	0.40	0.60	1.41	0.23	0.32	0.48	0.14	0.12	0.29	0.20	0.13	0.09	0.11	0.17	0.28	19.52	

出典 泊(2012)

表 5-9 東京都特別区・武蔵野市・三鷹市営業区域における区・市間の輸送距離（単位 km）

No.	地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Chiyoda	0.00	4.10	5.00	5.00	2.00	4.00	5.60	7.20	11.30	9.20	17.50	12.20	7.20	9.10	11.20	6.30	7.70	6.60	8.50	11.10	11.60	11.40	11.30	18.60	18.90
2	Chuo	4.10	0.00	3.00	7.60	5.50	5.30	5.90	4.90	9.40	9.10	13.90	12.60	8.00	12.00	13.80	10.10	11.10	8.10	12.10	14.90	12.90	11.70	11.00	20.90	21.30
3	Minato	5.00	3.00	0.00	7.20	6.40	7.40	8.20	7.60	6.60	6.30	10.20	10.30	5.70	11.40	13.20	10.50	12.20	9.90	12.90	14.30	15.00	14.00	13.60	20.20	19.30
4	Shinjuku	5.00	7.60	7.20	0.00	5.30	8.20	10.30	12.00	11.00	6.60	16.50	7.90	3.80	4.60	6.40	4.80	8.20	10.20	7.10	7.50	15.20	16.10	16.20	13.50	14.00
5	Bunkyo	2.00	5.50	6.40	5.30	0.00	3.00	5.10	8.30	12.80	10.10	19.00	13.10	8.10	9.00	11.30	4.60	6.00	5.00	6.80	10.30	10.30	10.90	11.60	18.10	19.00
6	Taito	4.00	5.30	7.40	8.20	3.00	0.00	2.20	6.90	13.80	12.80	20.80	16.00	11.00	11.90	14.20	7.50	7.00	3.00	8.60	13.20	7.80	8.00	9.10	21.00	21.90
7	Sumida	5.60	5.90	8.20	10.30	5.10	2.20	0.00	5.20	14.70	13.90	20.20	17.40	12.70	14.00	16.30	9.60	8.70	4.00	10.70	15.40	7.80	5.80	7.10	23.20	24.00
8	Koto	7.20	4.90	7.60	12.00	8.30	6.90	5.20	0.00	14.10	13.80	17.60	17.30	12.70	16.10	18.20	12.80	13.50	8.60	14.60	18.10	12.50	9.50	7.60	25.30	25.80
9	Shinagawa	11.30	9.40	6.60	11.00	12.80	13.80	14.70	14.10	0.00	5.40	5.90	9.00	7.50	14.20	15.00	15.60	18.40	16.40	17.90	17.70	21.40	20.50	20.10	21.20	19.00
10	Meguro	9.20	9.10	6.30	6.60	10.10	12.80	13.90	13.80	5.40	0.00	10.30	4.80	3.20	9.30	10.10	11.30	14.80	15.10	13.60	12.90	20.30	19.70	19.60	16.30	14.80
11	Ota	17.50	13.90	10.20	16.50	19.00	20.80	20.20	17.60	5.90	10.30	0.00	12.30	12.90	17.90	22.10	21.00	24.00	22.10	23.40	21.80	27.10	26.00	25.10	24.70	21.50
12	Setagaya	12.20	12.60	10.30	7.90	13.10	16.00	17.40	17.30	9.00	4.80	12.30	0.00	5.30	7.70	7.00	12.80	16.20	18.10	13.90	10.40	23.20	23.30	23.20	12.90	10.20
13	Sibuya	7.20	8.00	5.70	3.80	8.10	11.00	12.70	12.70	7.50	3.20	12.90	5.30	0.00	7.10	8.20	8.50	11.80	13.10	10.70	10.60	18.30	18.50	18.40	14.80	13.90
14	Nakano	9.10	12.00	11.40	4.60	9.00	11.90	14.00	16.10	14.20	9.30	17.90	7.70	7.10	0.00	3.20	6.40	9.30	12.80	7.10	3.90	17.60	19.30	20.30	10.00	11.10
15	Suginami	11.20	13.80	13.20	6.40	11.30	14.20	16.30	18.20	15.00	10.10	22.10	7.00	8.20	3.20	0.00	9.40	12.30	15.80	10.10	4.90	20.00	22.10	22.40	7.30	8.30
16	Toshima	6.30	10.10	10.50	4.80	4.60	7.50	9.60	12.80	15.60	11.30	21.00	12.80	8.50	6.40	9.40	0.00	3.20	7.30	2.60	6.30	10.90	13.80	16.10	14.80	17.40
17	Kita	7.70	11.10	12.20	8.20	6.00	7.00	8.70	13.50	18.40	14.80	24.00	16.20	11.80	9.30	12.30	3.20	0.00	5.40	2.30	8.50	8.10	11.90	14.90	16.70	19.90
18	Arakawa	6.60	8.10	9.90	10.20	5.00	3.00	4.00	8.60	16.40	15.10	22.10	18.10	13.10	12.80	15.80	7.30	5.40	0.00	7.70	13.60	5.70	6.70	9.70	21.60	23.60
19	Itabashi	8.50	12.10	12.90	7.10	6.80	8.60	10.70	14.60	17.90	13.60	23.40	13.90	10.70	7.10	10.10	2.60	2.30	7.70	0.00	6.30	10.40	14.30	17.20	14.50	17.70
20	Nerima	11.10	14.90	14.30	7.50	10.30	13.20	15.40	18.10	17.70	12.90	21.80	10.40	10.60	3.90	4.90	6.30	8.50	13.60	6.30	0.00	15.60	20.10	21.80	8.50	11.80
21	Adachi	11.60	12.90	15.00	15.20	10.30	7.80	7.80	12.50	21.40	20.30	27.10	23.20	18.30	17.60	20.00	10.90	8.10	5.70	10.40	15.60	0.00	6.60	10.40	24.00	27.30
22	Katushika	11.40	11.70	14.00	16.10	10.90	8.00	5.80	9.50	20.50	19.70	26.00	23.30	18.50	19.30	22.10	13.80	11.90	6.70	14.30	20.10	6.60	0.00	5.10	28.20	29.80
23	Edogawa	11.30	11.00	13.60	16.20	11.60	9.10	7.10	7.60	20.10	19.60	25.10	23.20	18.40	20.30	22.40	16.10	14.90	9.70	17.20	21.80	10.40	5.10	0.00	29.60	30.20
24	Musashino	18.60	20.90	20.20	13.50	18.10	21.00	23.20	25.30	21.20	16.30	24.70	12.90	14.80	10.00	7.30	14.80	16.70	21.60	14.50	8.50	24.00	28.20	29.60	0.00	4.10
25	Mitaka	18.90	21.30	19.30	14.00	19.00	21.90	24.00	25.80	19.00	14.80	21.50	10.20	13.90	11.10	8.30	17.40	19.90	23.60	17.70	11.80	27.30	29.80	30.20	4.10	0.00

出典 Google Map により計算

表 5-10 地区間の輸送に関する効用関数のパラメーター $\{b_{i,j}\}$ ($\rho = -2$)

No	地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Chiyoda	875.72	1126.65	1527.24	668.84	268.02	194.61	122.23	360.67	248.68	189.19	253.12	325.48	436.48	108.72	163.51	140.38	65.84	53.23	89.62	121.08	98.38	55.21	140.11	58.66	48.89	
2	Chuo	925.72	571.68	595.92	246.38	207.80	194.23	170.49	426.65	198.53	134.56	124.05	285.02	204.84	51.49	135.49	70.99	41.75	40.19	90.65	131.89	127.10	62.79	141.87	41.86	16.23	
3	Minato	1778.62	808.41	2254.73	937.39	268.01	167.67	141.26	457.83	984.28	451.87	633.31	744.85	1507.69	145.88	354.45	230.85	121.19	53.69	157.87	278.95	111.40	124.33	199.36	107.41	82.36	
4	Shinjuku	442.78	259.33	709.24	825.39	324.51	126.00	60.78	118.70	110.00	101.35	247.83	245.18	323.31	270.44	259.91	266.03	70.33	49.74	68.22	134.67	72.81	41.66	51.45	50.22	44.44	
5	Bunkyo	212.57	146.86	142.27	175.81	223.64	149.95	47.30	35.98	47.98	32.73	60.26	63.25	53.26	18.60	36.33	223.62	57.88	49.61	62.14	66.13	55.38	40.81	37.23	25.33	26.80	
6	Taito	157.38	145.28	124.04	53.46	153.93	317.41	73.06	91.76	19.41	33.52	65.67	76.76	8.53	9.19	20.12	41.57	34.88	79.79	27.62	18.60	67.69	25.82	34.45	0.00	30.76	
7	Sumida	82.70	63.54	44.77	0.00	10.76	51.40	114.57	134.94	0.00	0.00	28.40	0.00	18.11	0.00	0.00	7.47	6.82	13.40	8.32	21.72	6.17	26.14	27.16	0.00	0.00	
8	Koto	179.26	287.87	183.43	38.23	31.39	34.72	118.07	165.20	28.73	10.51	35.55	13.24	33.44	0.00	13.89	9.84	0.00	6.65	0.00	0.00	9.62	13.75	57.77	35.21	0.00	
9	Shinagawa	161.44	107.53	625.42	59.58	47.98	10.51	0.00	83.33	276.08	129.18	208.92	86.24	116.99	28.79	39.27	11.96	0.00	12.44	0.00	0.00	16.25	15.60	0.00	16.06	0.00	
10	Meguro	77.74	58.89	224.98	43.00	7.88	18.16	10.68	27.78	190.71	119.37	87.00	167.24	207.51	19.17	20.83	0.00	20.92	0.00	0.00	9.86	15.41	27.64	14.95	22.92	0.00	
11	Ota	145.73	59.70	141.06	52.35	0.00	41.79	15.38	45.85	144.17	92.10	159.81	84.87	68.84	13.67	56.94	29.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.05	50.27	0.00	0.00	
12	Setagaya	115.21	60.67	220.81	79.83	10.05	0.00	13.26	13.24	49.14	163.04	72.24	178.99	173.44	15.86	74.94	0.00	0.00	0.00	0.00	21.40	0.00	0.00	0.00	0.00	55.12	55.20
13	Sibuya	233.30	176.70	1063.71	303.24	31.16	35.43	61.73	88.36	162.34	219.87	169.95	296.50	422.61	82.24	106.58	55.27	16.91	18.56	28.34	56.89	47.41	14.11	25.73	20.92	59.71	
14	Nakano	0.00	9.21	73.17	131.76	23.99	0.00	0.00	12.22	10.90	7.26	25.24	11.08	46.42	61.27	26.53	28.56	13.39	0.00	14.71	26.71	0.00	0.00	0.00	7.71	0.00	
15	Suginami	29.24	35.82	123.48	81.78	8.75	0.00	0.00	13.89	11.52	14.55	44.15	98.90	110.49	40.54	108.90	0.00	0.00	0.00	14.55	22.49	0.00	0.00	0.00	59.44	44.93	
16	Toshima	85.14	55.04	120.01	183.81	163.10	33.28	13.79	18.16	40.76	16.15	77.40	25.99	41.70	56.04	30.22	183.64	37.12	10.63	88.94	79.09	28.51	0.00	12.22	0.00	0.00	
17	Kita	11.08	0.00	9.40	6.41	42.54	0.00	12.59	0.00	0.00	11.33	0.00	0.00	0.00	7.26	17.40	22.90	48.32	7.92	32.24	0.00	16.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	Arakawa	21.41	16.88	14.20	26.95	44.41	56.24	26.91	6.65	0.00	0.00	0.00	13.72	10.05	0.00	0.00	10.63	11.33	37.25	6.00	0.00	31.46	14.07	0.00	0.00	0.00	
19	Itabashi	72.72	24.78	48.10	64.67	29.91	12.28	0.00	20.56	0.00	10.46	32.76	0.00	8.32	10.28	14.55	109.00	52.29	11.08	166.00	85.16	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	Nerima	8.56	0.00	10.92	33.28	0.00	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	16.49	0.00	15.04	8.46	25.31	16.83	12.24	0.00	50.98	42.01	0.00	0.00	0.00	46.28	0.00	
21	Adachi	56.42	33.60	30.45	30.58	7.93	67.68	21.02	25.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.88	31.45	0.00	11.96	67.97	46.43	14.95	0.00	0.00	
22	Katshikata	8.77	0.00	0.00	0.00	8.36	11.48	12.35	0.00	15.60	0.00	0.00	17.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.58	37.24	28.43	0.00	0.00	
23	Edogawa	8.75	8.53	0.00	0.00	0.00	0.00	10.28	15.79	0.00	0.00	19.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.90	30.74	0.00	0.00	
24	Musashino	37.33	0.00	40.65	27.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.42	18.64	40.93	20.92	26.29	113.20	0.00	0.00	0.00	0.00	122.28	0.00	0.00	0.00	71.69	277.09	
25	Mitaka	37.91	0.00	27.20	19.76	14.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.21	19.72	8.56	49.32	0.00	0.00	0.00	17.94	0.00	24.21	0.00	0.00	0.00	181.77	159.33	

表 5-11 地区間の輸送に関する効用関数のパラメーター $\{b_{i,j}\}$ ($\rho = -0.5$)

No	地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Chiyoda	875.72	1126.00	1526.54	668.02	267.66	194.19	121.87	359.91	247.97	188.64	252.31	324.61	435.64	108.35	162.99	139.98	65.59	53.02	89.31	120.66	98.02	54.97	139.63	58.39	48.66
2	Chuo	925.01	571.46	595.37	245.76	207.31	193.77	170.04	425.96	197.96	134.13	123.59	284.22	204.29	51.26	135.01	70.71	41.56	40.02	90.30	131.41	126.64	62.53	141.40	41.65	16.13
3	Minato	1777.54	807.54	2254.81	936.04	267.34	167.16	140.80	456.85	982.99	450.97	632.03	743.45	1506.44	145.37	353.48	230.16	120.74	53.46	157.32	278.10	110.96	123.86	198.70	106.96	82.00
4	Shinjuku	441.65	258.53	707.71	823.07	323.59	125.53	60.51	118.23	109.56	100.95	246.96	244.40	322.38	269.62	259.11	265.23	70.03	49.51	67.93	134.17	72.48	41.45	51.20	49.97	44.22
5	Bunkyo	213.02	146.69	142.06	175.66	224.47	150.03	47.20	35.86	47.80	32.61	60.02	63.03	53.11	18.52	36.19	223.54	57.76	49.51	62.00	65.93	55.20	40.66	37.09	25.21	26.67
6	Taito	157.47	145.21	123.85	53.33	154.17	319.28	73.23	91.61	19.32	33.40	65.41	76.49	8.49	9.14	20.03	41.47	34.79	79.87	27.53	18.52	67.55	25.74	34.35	0.00	30.61
7	Sunida	82.53	63.39	44.62	0.00	10.72	51.40	114.81	134.75	0.00	0.00	28.26	0.00	18.03	0.00	0.00	7.43	6.79	13.36	8.27	21.62	6.14	26.05	27.06	0.00	0.00
8	Koto	178.45	286.56	182.60	38.01	31.20	34.51	117.44	163.72	28.56	10.44	35.34	13.15	33.24	0.00	13.80	9.77	0.00	6.60	0.00	0.00	9.55	13.66	57.45	35.00	0.00
9	Shinagawa	160.68	106.97	622.94	59.25	47.70	10.44	0.00	82.90	273.28	128.44	207.85	85.78	116.37	28.62	39.04	11.87	0.00	12.35	0.00	0.00	16.14	15.50	0.00	15.95	0.00
10	Meguro	77.41	58.62	224.27	42.80	7.83	18.05	10.61	27.63	190.08	118.83	86.64	166.67	206.83	19.07	20.71	0.00	20.80	0.00	0.00	9.80	15.31	27.49	14.86	22.79	0.00
11	Ota	144.88	59.29	140.10	51.99	0.00	41.51	15.26	45.53	142.90	91.43	156.32	84.29	68.36	13.56	56.58	29.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.64	49.94	0.00	0.00
12	Setagaya	114.62	60.32	219.78	79.36	9.98	0.00	13.17	13.14	48.84	162.03	71.84	176.87	172.42	15.74	74.48	0.00	0.00	0.00	0.00	21.26	0.00	0.00	0.00	0.00	54.87
13	Sibuya	232.53	176.07	1061.68	302.28	31.00	35.25	61.44	87.97	161.75	219.09	169.31	295.58	420.95	81.89	106.15	55.01	16.81	18.45	28.19	56.62	47.17	14.02	25.58	20.80	59.43
14	Nakano	0.00	9.15	72.82	131.16	23.85	0.00	0.00	12.14	10.83	7.21	25.09	11.01	46.17	60.81	26.36	28.40	13.31	0.00	14.62	26.54	0.00	0.00	0.00	0.00	7.66
15	Suginami	29.05	35.59	122.83	81.24	8.68	0.00	0.00	13.79	11.44	14.44	43.89	98.27	109.84	40.15	107.38	0.00	0.00	0.00	14.44	22.30	0.00	0.00	0.00	59.04	44.63
16	Toshima	84.82	54.79	119.56	183.26	162.59	33.12	13.72	18.06	40.55	16.06	77.04	25.85	41.51	55.81	30.07	183.06	36.95	10.57	88.62	78.79	28.36	0.00	12.15	0.00	0.00
17	Kita	11.04	0.00	9.36	6.38	42.46	0.00	12.55	0.00	0.00	11.28	0.00	0.00	0.00	7.22	17.33	22.89	48.55	7.90	32.29	0.00	16.82	0.00	0.00	0.00	0.00
18	Arakawa	21.33	16.80	14.13	26.83	44.28	56.14	26.84	6.62	0.00	0.00	0.00	13.64	10.00	0.00	0.00	10.58	11.29	37.24	5.97	0.00	31.36	14.01	0.00	0.00	
19	Itabashi	72.56	24.68	47.94	64.55	29.84	12.24	0.00	20.47	0.00	10.41	32.61	0.00	8.28	10.24	14.49	109.22	52.38	11.04	166.94	85.05	8.06	0.00	0.00	0.00	
20	Nerima	8.50	0.00	10.84	33.07	0.00	10.01	0.00	0.00	0.00	0.00	16.38	0.00	14.94	8.39	25.13	16.71	12.15	0.00	50.67	41.55	0.00	0.00	0.00	46.01	
21	Adachi	56.06	33.38	30.25	30.38	7.86	67.23	20.86	25.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.74	31.20	0.00	11.87	66.92	46.09	14.84	0.00	
22	Katshika	8.72	0.00	0.00	0.00	8.31	11.41	12.28	0.00	15.51	0.00	0.00	17.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.48	37.05	28.29	0.00	
23	Edogawa	8.70	8.48	0.00	0.00	0.00	0.00	10.22	15.71	0.00	0.00	18.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.82	30.60	0.00	
24	Musashino	37.12	0.00	40.42	27.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.33	18.52	40.70	20.79	26.13	112.64	0.00	0.00	0.00	0.00	121.71	0.00	0.00	0.00	71.02	
25	Mitaka	37.73	0.00	27.06	19.66	14.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.01	19.62	8.51	49.15	0.00	0.00	17.84	0.00	24.10	0.00	0.00	0.00	181.57	

表 5-12 地区間の輸送にする効用関数のパラメーター $\{b_{i,j}\}$ ($\rho = 0.5$)

No	地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Chiyoda	875.78	1121.67	1521.88	662.62	265.26	191.44	119.56	354.89	243.32	185.04	246.98	318.92	430.07	105.92	159.54	137.36	63.99	51.71	87.24	117.90	95.62	53.45	136.54	56.62	47.13	
2	Chuo	920.29	569.91	591.76	241.70	204.03	190.68	167.10	421.34	194.19	131.29	120.61	278.96	200.64	49.80	131.84	68.90	40.34	38.90	88.02	128.24	123.67	60.83	138.29	40.28	15.51	
3	Minato	1771.16	802.33	2258.39	927.45	263.01	163.88	137.82	450.58	974.78	445.17	625.67	734.34	1498.75	142.09	347.10	225.69	117.83	51.97	153.74	272.56	108.11	120.81	194.39	104.02	79.63	
4	Shinjuku	434.41	253.34	697.83	808.77	317.67	122.44	58.72	115.16	106.69	98.38	241.34	239.39	316.44	264.40	253.98	260.06	68.06	47.99	66.03	130.95	70.32	40.07	49.55	48.40	42.79	
5	Bunkyo	215.84	145.52	140.60	174.58	229.75	150.47	46.57	35.09	46.62	31.80	58.38	61.55	52.09	18.03	35.28	222.93	56.92	48.87	61.01	64.57	54.00	39.68	36.15	24.40	25.81	
6	Taito	158.08	144.77	122.66	52.46	155.76	331.69	74.35	90.63	18.76	32.56	63.69	74.76	8.23	8.85	19.44	40.77	34.21	80.37	26.96	17.99	66.58	25.22	33.64	0.00	29.65	
7	Sumida	81.45	62.42	43.67	0.00	10.46	51.40	116.43	133.49	0.00	0.00	27.34	0.00	17.46	0.00	7.18	6.56	13.11	7.99	20.92	5.94	25.52	26.45	0.00	0.00	0.00	
8	Koto	173.13	278.01	177.23	36.59	29.97	33.14	113.38	154.14	27.45	9.97	34.01	12.58	31.98	0.00	13.20	9.33	0.00	6.28	0.00	0.00	9.12	13.06	55.37	33.66	0.00	
9	Shinjagawa	155.77	103.36	606.81	57.08	45.92	9.95	0.00	80.08	255.11	123.63	200.90	82.75	112.34	27.46	37.54	11.34	0.00	11.80	0.00	0.00	15.44	14.82	0.00	15.26	0.00	
10	Meguro	75.25	56.89	219.58	41.48	7.51	17.38	10.18	26.65	185.94	115.28	84.25	162.91	202.30	18.37	19.97	0.00	20.03	0.00	0.00	9.40	14.70	26.48	14.26	21.95	0.00	
11	Ota	139.49	56.66	134.07	49.72	0.00	39.70	14.51	43.53	135.09	87.27	135.08	80.62	65.33	12.87	54.23	27.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.98	47.86	0.00	0.00	
12	Setagaya	110.77	58.07	213.08	76.32	9.50	0.00	12.57	12.55	46.88	155.49	69.23	163.27	165.82	14.98	71.52	0.00	0.00	0.00	0.00	20.32	0.00	0.00	0.00	0.00	52.74	52.75
13	Sbuya	227.48	171.93	1048.34	296.00	29.95	34.06	59.55	85.46	157.88	213.98	165.12	289.58	410.02	79.60	103.33	53.33	16.17	17.75	27.21	54.88	45.59	13.45	24.63	20.02	57.57	
14	Nakano	0.00	8.75	70.53	127.25	22.94	0.00	0.00	11.63	10.36	6.88	24.13	10.54	44.59	57.78	25.25	27.33	12.76	0.00	14.02	25.47	0.00	0.00	0.00	7.32	0.00	
15	Suginami	27.78	34.12	118.61	77.74	8.24	0.00	0.00	13.15	10.89	13.74	42.17	94.26	105.62	37.68	97.64	0.00	0.00	0.00	13.74	21.07	0.00	0.00	0.00	56.49	42.68	
16	Toshima	82.72	53.20	116.63	179.68	159.30	32.10	13.21	17.40	39.23	15.47	74.71	24.96	40.26	54.28	29.10	179.32	35.89	10.17	86.54	76.80	27.42	0.00	11.66	0.00	0.00	
17	Kita	10.78	0.00	9.06	6.20	41.98	0.00	12.23	0.00	0.00	10.91	0.00	0.00	0.00	7.01	16.84	22.85	50.04	7.74	32.60	0.00	16.44	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	Arakawa	20.77	16.31	13.67	26.06	43.43	55.48	26.32	6.38	0.00	0.00	0.00	13.14	9.63	0.00	0.00	10.25	10.97	37.10	5.76	0.00	30.66	13.61	0.00	0.00	0.00	
19	Itabashi	71.51	24.04	46.85	63.75	29.36	11.93	0.00	19.88	0.00	10.07	31.58	0.00	8.02	10.00	14.11	110.63	53.01	10.77	173.20	84.34	7.82	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	Nerima	8.09	0.00	10.35	31.72	0.00	9.55	0.00	0.00	0.00	0.00	15.68	0.00	14.28	7.92	23.97	15.94	11.59	0.00	48.65	38.56	0.00	0.00	0.00	44.25	0.00	
21	Adachi	53.79	31.94	28.95	29.08	7.45	64.32	19.82	24.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.89	29.55	0.00	11.30	60.24	43.88	14.11	0.00	0.00	
22	Katshhiaka	8.36	0.00	0.00	0.00	7.97	10.98	11.83	0.00	14.89	0.00	0.00	16.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.87	35.85	27.39	0.00	0.00	
23	Edogawa	8.35	8.14	0.00	0.00	0.00	0.00	9.84	15.17	0.00	0.00	18.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.27	29.75	0.00	0.00		
24	Musashino	35.73	0.00	38.92	25.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.79	17.74	39.21	19.94	25.09	109.02	0.00	0.00	0.00	0.00	117.93	0.00	0.00	0.00	66.62	267.06	
25	Mitaka	36.56	0.00	26.16	19.03	13.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.71	18.98	8.21	48.06	0.00	0.00	0.00	17.18	0.00	23.38	0.00	0.00	180.38	161.15		

5.A.2 旅行者とタクシーの待ち時間などに関する結果

本項では、旅行者とタクシーの待ち時間などに関する結果を図示する。図 5-4 は NRE（ベンチマーク）とその次善配分のマッチングフローの乖離率である。 ρ の値に関わらず、タクシーの運賃が高すぎるので、NRE の各地区における旅行者のフローは次善配分と比べて過小である。

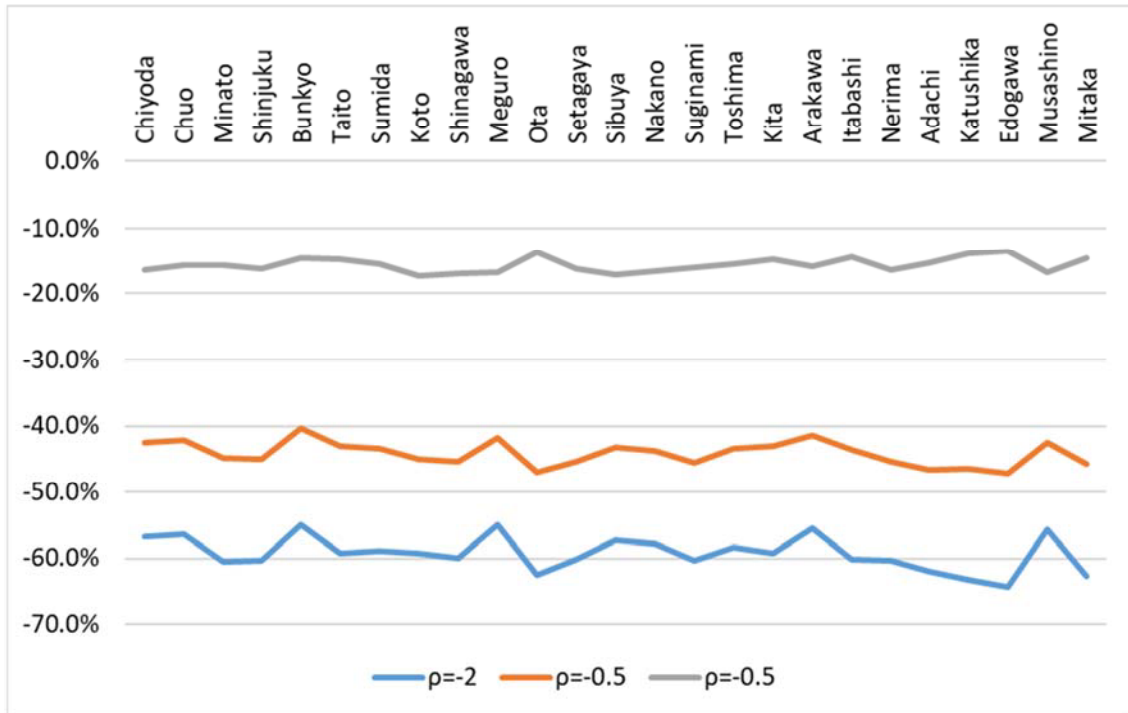


図 5-4 NRE とその次善配分におけるマッチングフローの乖離率

図 5-5～図 5-7 は、 $\rho = -2, -0.5, 0.5$ の場合の NRE における旅行者とタクシーの待ち時間である。

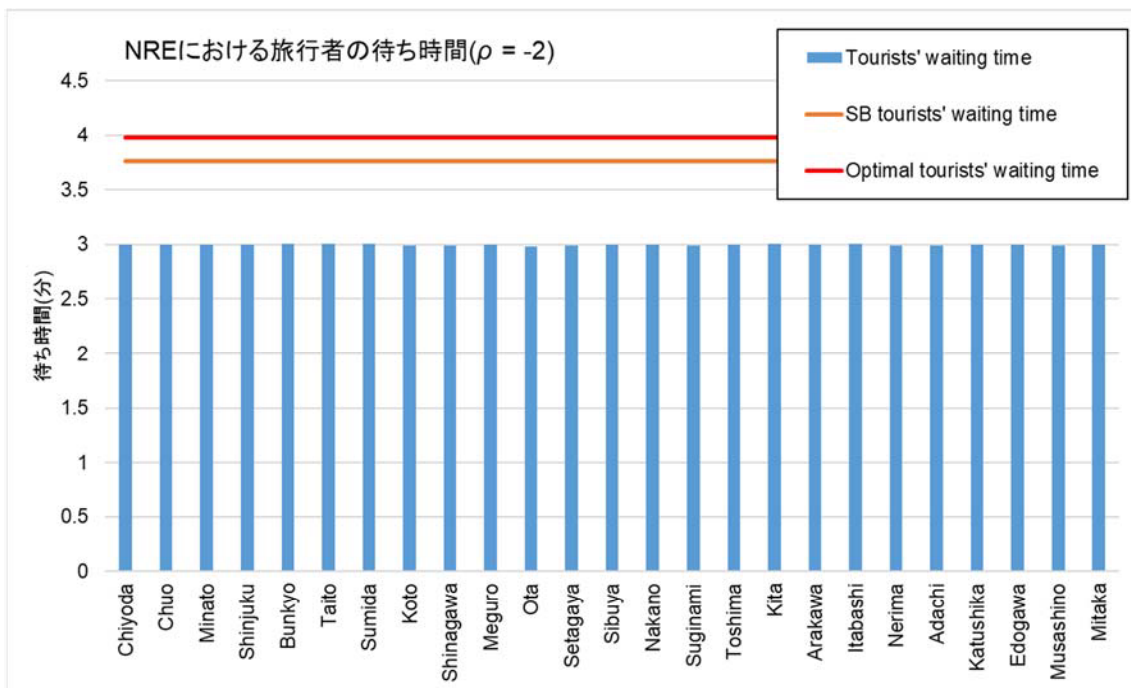
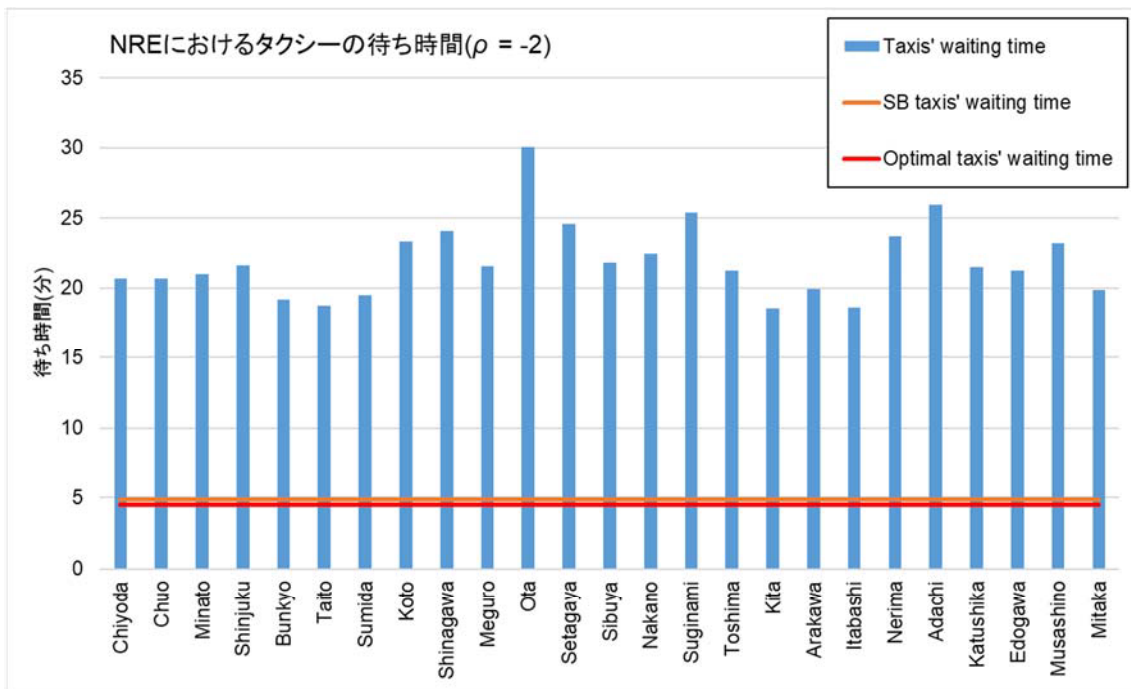


図 5-5 NRE におけるタクシーの待ち時間（上）と旅行者の待ち時間（下）($\rho = -2$)

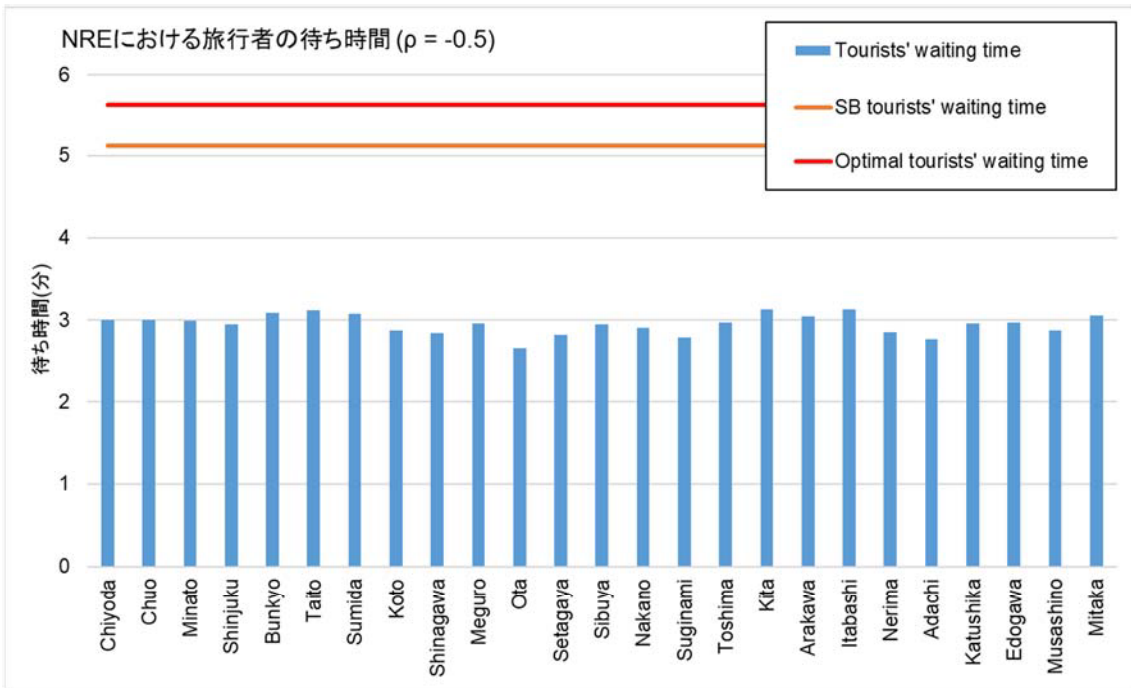
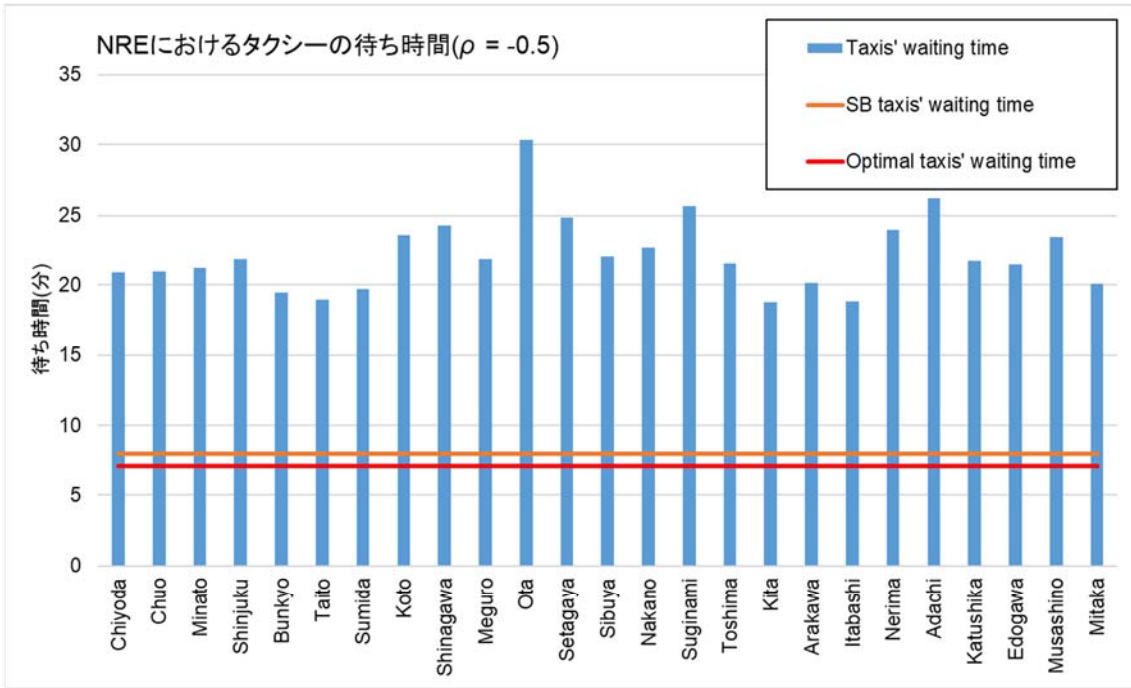


図 5-6 NRE におけるタクシーの待ち時間（上）と旅行者の待ち時間（下）($\rho = -0.5$)

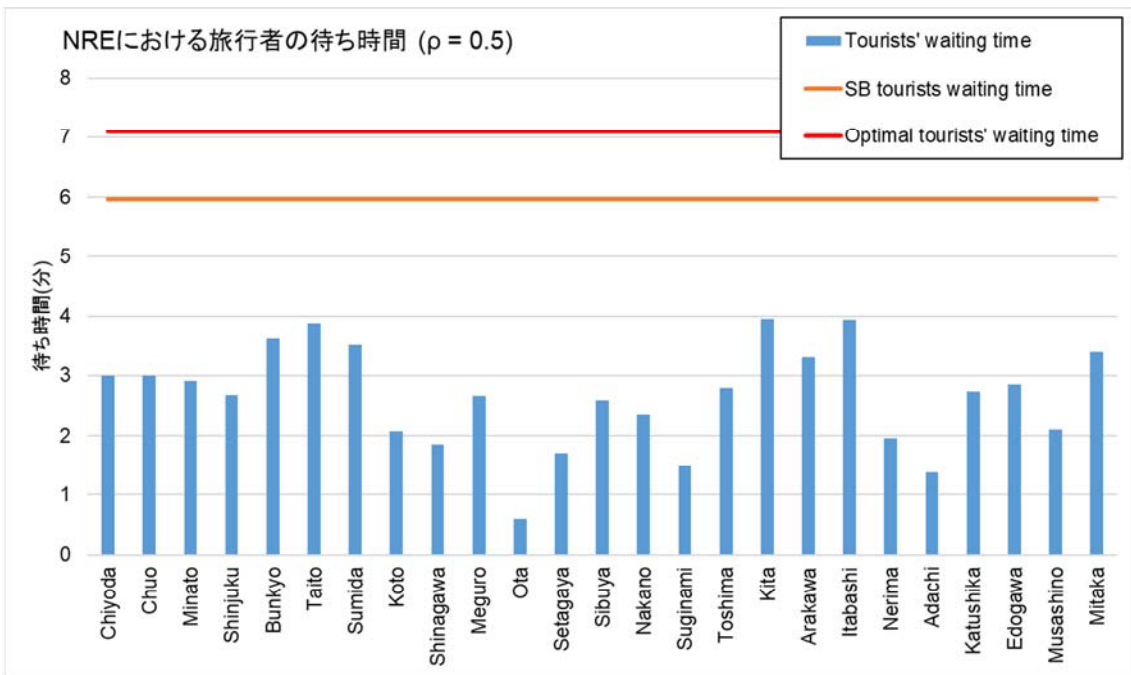
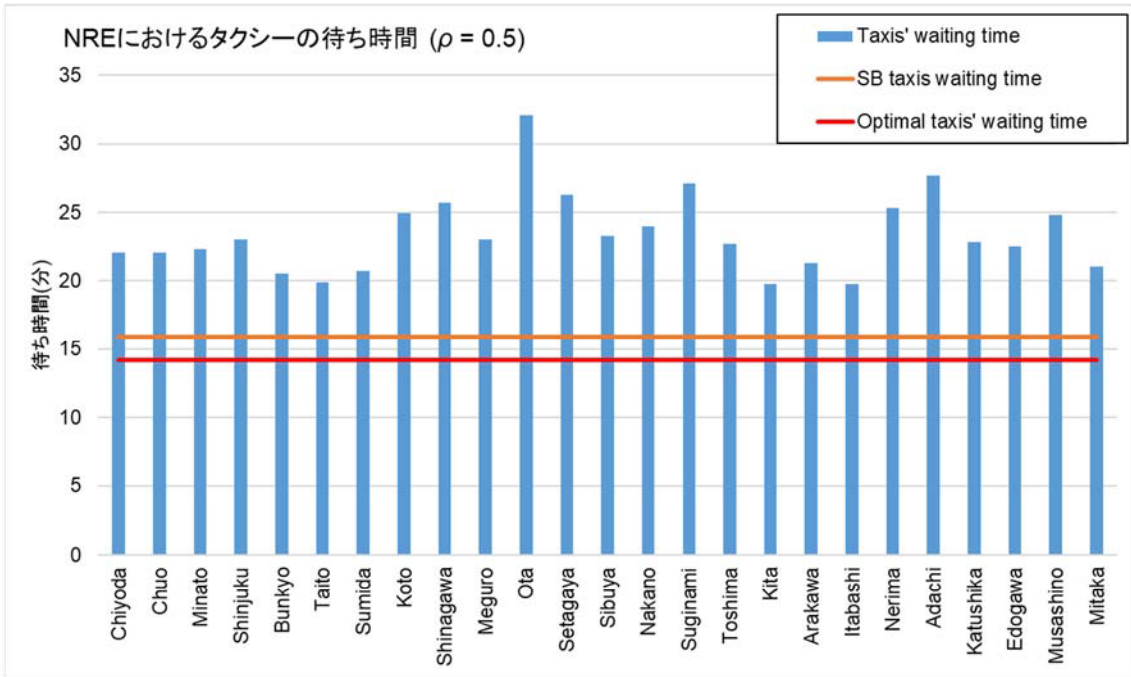


図 5-7 NRE におけるタクシーの待ち時間 (上) と旅行者の待ち時間 (下) ($\rho = 0.5$)

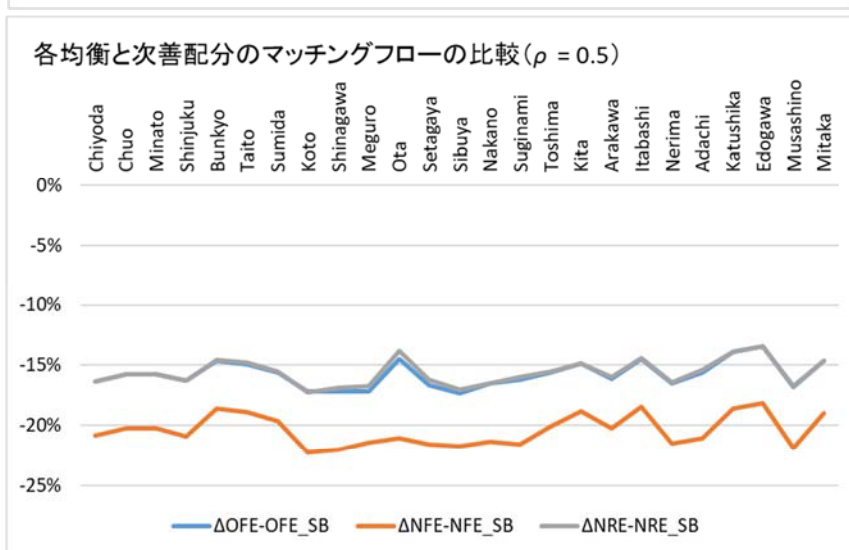
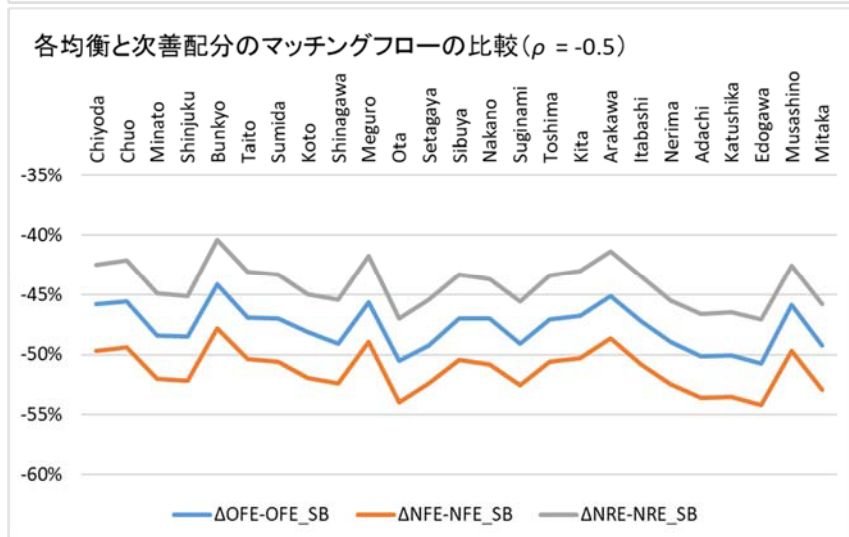
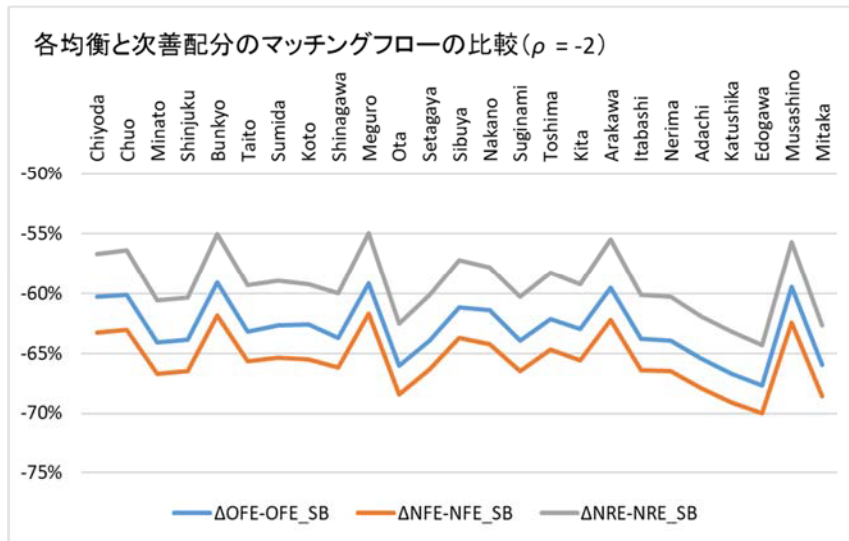


図 5-8 各均衡とそれぞれの次善配分のマッチングフローの乖離率

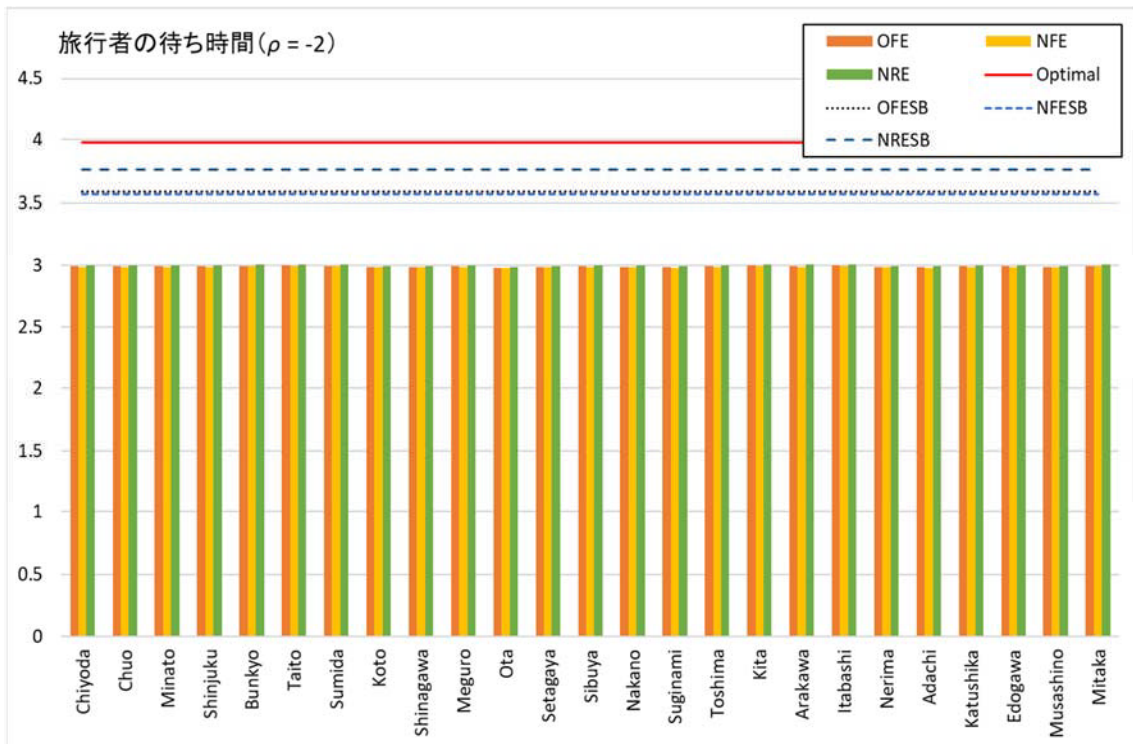
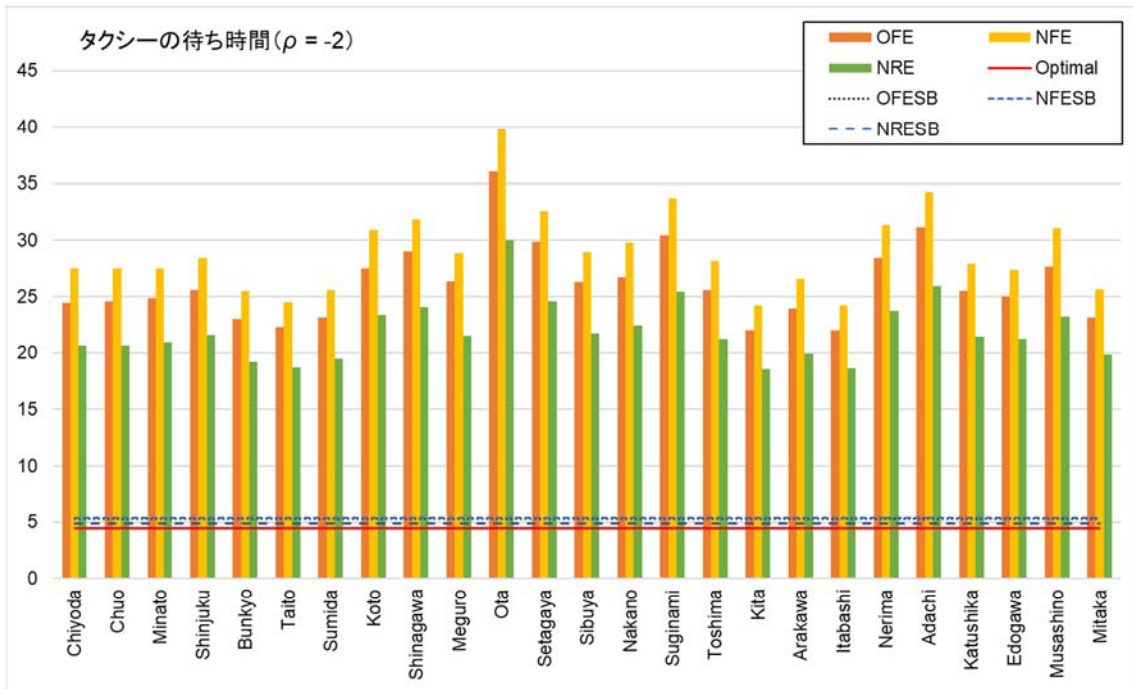


図 5-9 各均衡におけるタクシー(上)と旅行者(下)の待ち時間の比較 ($\rho = -2$)

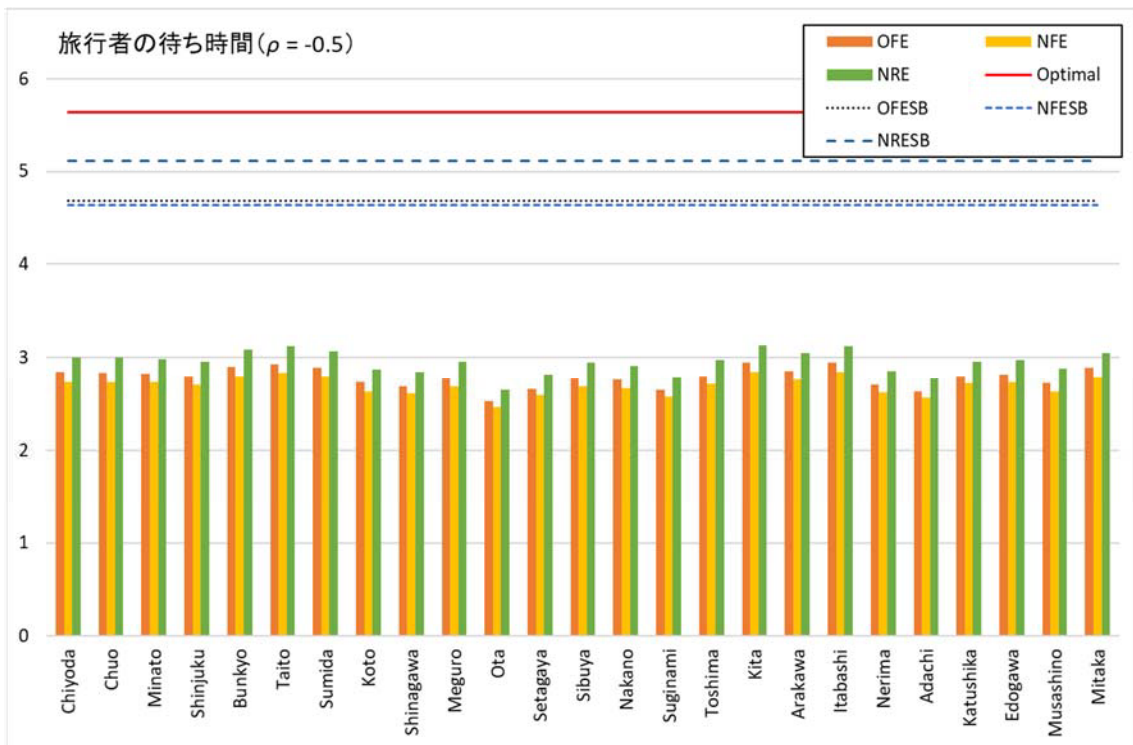
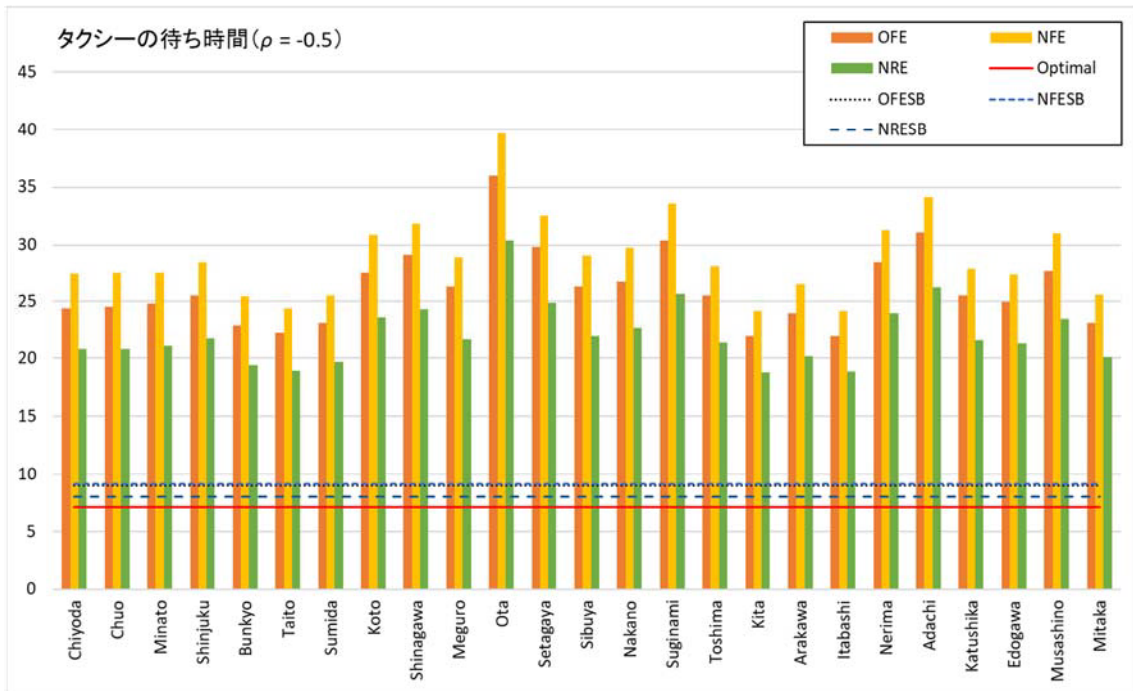


図 5-10 各均衡におけるタクシー（上）と旅行者（下）の待ち時間の比較($\rho = -0.5$)

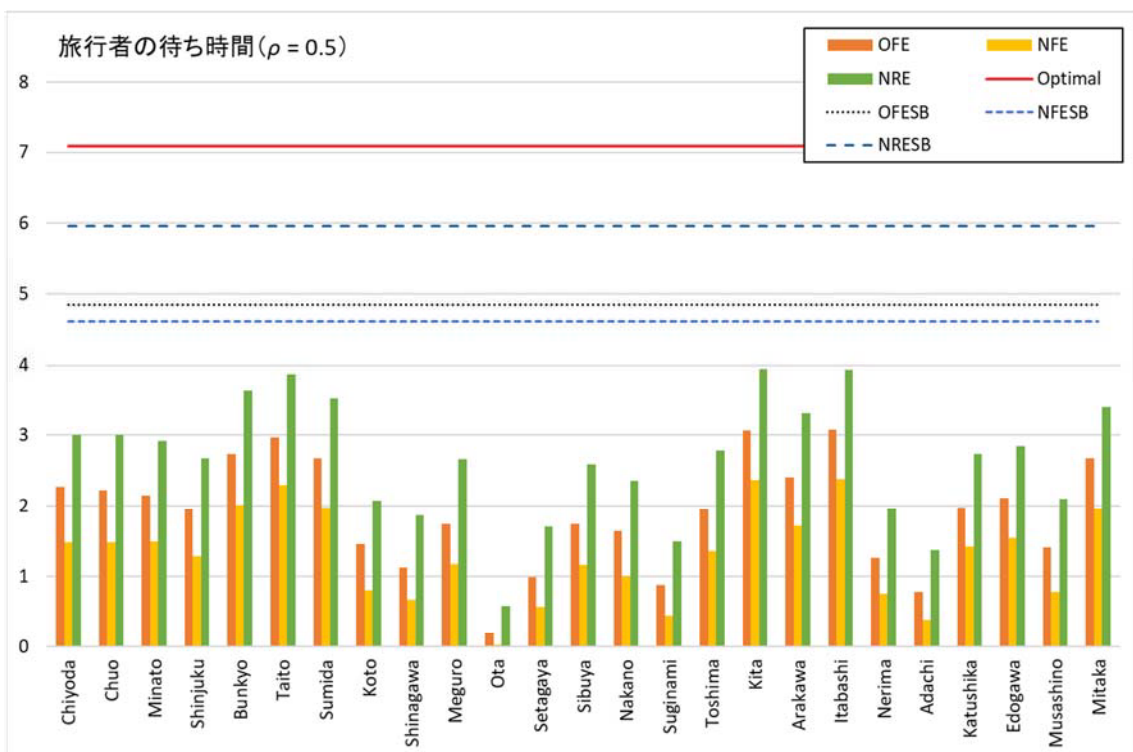
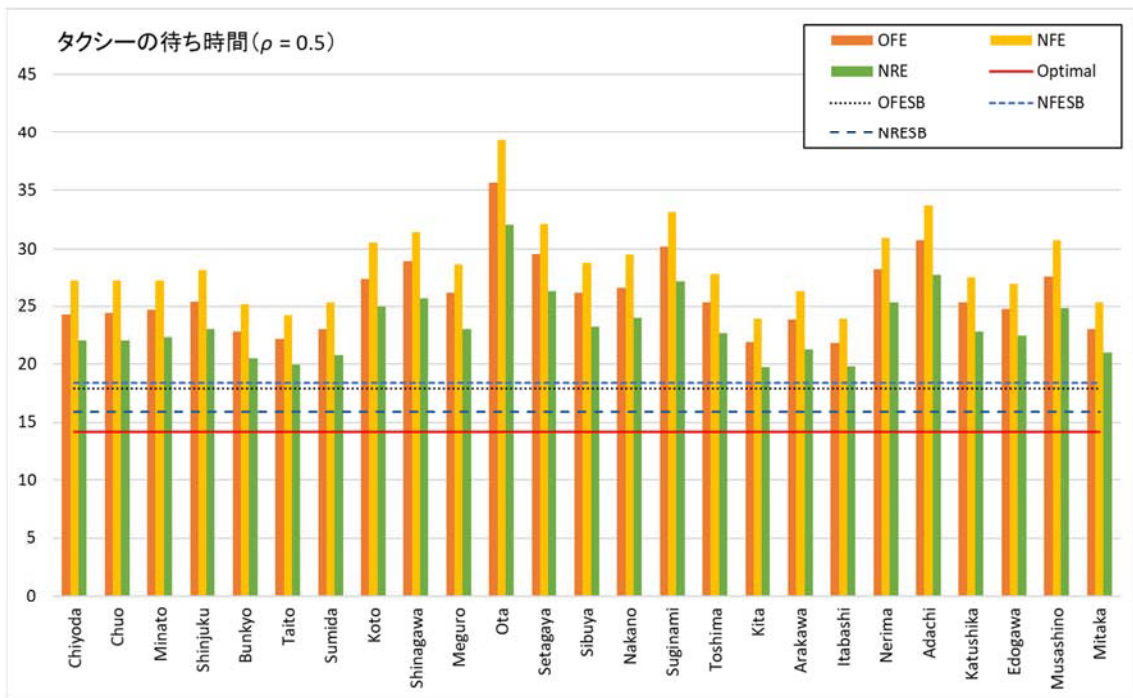


図 5-11 各均衡におけるタクシー（上）と旅行者（下）の待ち時間の比較($\rho = 0.5$)

5.A.3 Rプログラム

パラメーター設定

```
#Simulation in Tokyo bench mark case
#R program
rm(list=ls(all=TRUE))
#Data input Section
#parameter

# I: number of locations
# X: number of matching function parameter
# MAX:max iteration
# d: distance among locations
# w: time cost for tourist
# r: reservation wage for cab
# alpha: relative bargaining power for tourist
# v: driving speed
# WT: waiting time for tourist
# WC: waiting time for cab
# rhow: matching function parameter
# f :fare
# P :Total fare for each plan
# ep :effective price
# mT: number of moving

I <- 25; X <- 7; Max<-10

#Making map
d <- read.csv("map2.csv", header=F)
data.matrix(d)

v <- 0.35
t <- matrix(0, I, I)
pd<- matrix(0, I, I)
ch<- matrix(0, I, I)
f0 <- 710
```

```

f1 <- 90
f <- matrix(0, I, I)

for (i in 1:I)
{
  for (i2 in 1:I)
  {
    t[i, i2] <- d[i, i2]/v

    if(i != i2)
    {
      pd[i, i2] <- ((d[i, i2]-2)*1000)/288      #料金距離を求める
      ch[i, i2] <- trunc(pd[i, i2])           #端数を切り捨て
    }

    f[i, i2] <- f0 + f1*ch[i, i2]
  }
}

w <- 52.4; r <- 37.0;

rhow1 <- c(-2, -0.5, -0.1, 0.1, 0.4, 0.5, 0.6)

rhow2 <- numeric(X)

for (x in 1:X)
{
  rhow2[x] <- 1/rhow1[x]
}

a1 <- 0.5
a2 <- 0.5

A <- numeric(X)

u <- array(0, c(I, I, X))

```

```

V <- numeric(X)
W <- numeric(X)
CS <- numeric(X)
Q <- numeric(X)
Q <-c(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
TC <- numeric(X)
TC<-c(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
OT <-numeric(X)
rent <- numeric(X)
PS <- numeric(X)
SW <- numeric(X)
sigma <- numeric(X)
n <- read.csv("demand2.csv", header=F)
data.matrix(n)

n1 <- array(0, c(I, I, X))
for (x in 1:X)
  {for (i in 1:I)
    {
      for(i2 in 1:I)
        {n1[i, i2, x] <- n[i, i2]}
    }
  }

V <- c(43, 43, 43, 37, 37, 37, 37)

for (x in 1:X)
{
  while(Q[x]/TC[x]>0.82)
  {
    V[x]<-V[x]+1

    m <- numeric(I)
    MTii <- matrix(0, I, I)
    MT <- numeric(I)
    TM <- 0
  }
}

```

```

TMT <- 0
ST <- numeric(I)
SC <- numeric(I)
wait1 <- numeric(I)
wait2 <- numeric(I)

R <- matrix(0, I, I)
TR <- numeric(I)

for(i in 1:I)
{
  m[i] <- sum(n[i, ])
  for(i2 in 1:I)
  {
    R[i, i2] <- n[i, i2]*f[i, i2]
    MTii[i, i2] <- n[i, i2]*t[i, i2]
  }
  TR[i] <- sum(R[i, ])
  MT[i] <- sum(MTii[i, ])
  TM <- TM+m[i]
  TMT <- TMT+MT[i]
}

for(i in 1:I)
{
  for(i2 in 1:I)
  {
    SC[i] <- SC[i]+n[i, i2]*((f[i, i2]/V[x])-t[i, i2])
  }
}

Q1 <- 0
Q2 <- 0
A[x]<-0

Q1 <- 3*m[1]
Q2 <- SC[1]

```

```

A[x]<-m[1]/((a1*(Q1^rhow1[x])+a2*(Q2^rhow1[x]))^rhow2[x])

for(i in 1:I)
{
  ST[i] <- ((1/a1)*((m[i]/A[x])^(1/rhow2[x]))-
(a2/a1)*(SC[i]^rhow1[x]))^(1/rhow1[x])
  wait1[i] <- ST[i]/m[i]
  wait2[i] <- SC[i]/m[i]
}

ep <- matrix(0, I, I)
ave <- 0
sigma[x]<-0

for (i in 1:I)
{
  for (i2 in 1:I)
  {
    ep[i, i2] <- f[i, i2]+(wait1[i]+t[i, i2])*w
    ave <- ave+(f[i, i2]/ep[i, i2])*(n[i, i2]/TM)
    sigma[x] <- ave/0.81
  }
}

u[, , x]<- matrix(0, I, I)
CS[x]<-0

for(i in 1:I)
{
  for (i2 in 1:I)
  {
    u[i, i2, x]<- ep[i, i2]*(n[i, i2]^sigma[x])

    if (u[i, i2, x]!=0)
      {CS[x] <- CS[x] + (u[i, i2, x]/(1-sigma[x]))*(n[i, i2]^(1-sigma[x]))-
ep[i, i2]*n[i, i2]}
  }
}

```

```

    }
  }

TSC <- 0

for (i in 1:I)
  {
    TSC <- TSC+SC[i]
  }

Q[x]<-0
PS[x]<-0
W[x]<-0

Q[x] <-TSC+TMT
PS[x]<-Q[x]*(V[x]-r)
W[x]<- CS[x]+PS[x]

for (counter in 1:Max)
  {
    m <- numeric(I)
    MTii <- matrix(0, I, I)
    MT <- numeric(I)
    TMT <- 0
    ST <- numeric(I)
    SC <- numeric(I)
    wait1 <- numeric(I)
    wait2 <- numeric(I)
    R <- matrix(0, I, I)
    LR <- numeric(I)
    TLR<- 0

    for(i in 1:I)
      {
        m[i] <- sum(n1[i,,x])
        for(i2 in 1:I)

```

```

    {
      R[i, i2] <- R[i, i2] + n1[i, i2, x]*f[i, i2]
      MTii[i, i2] <- n1[i, i2, x]*t[i, i2]
    }
    LR[i] <- sum(R[i, ])
    MT[i] <- sum(MTii[i, ])
    TMT <- TMT+MT[i]
    TLR <- TLR+LR[i]
  }

for(i in 1:I)
{
  for(i2 in 1:I)
  {
    SC[i] <- SC[i]+n1[i, i2, x]*((f[i, i2]/r)-t[i, i2])
  }
  ST[i] <- ((1/a1)*((m[i]/A[x])^(1/rhow2[x]))-
(a2/a1)*(SC[i]^rhow1[x]))^(1/rhow1[x])
  wait1[i] <- ST[i]/m[i]
  wait2[i] <- SC[i]/m[i]
}

ep <- matrix(0, I, I)
n1[, , x] <- matrix(0, I, I)

for (i in 1:I)
{
  for (i2 in 1:I)
  {
    ep[i, i2] <- f[i, i2]+(wait1[i]+t[i, i2])*w
    n1[i, i2, x] <- (u[i, i2, x]/ep[i, i2])^(1/sigma[x])
  }
}

if (counter == (Max-1)) nlast <- n1
}

```

```
TSC <- 0

for (i in 1:I)
{
  TSC <- TSC+SC[i]
}

TC[x]<-0
TC[x] <-TSC+TMT
}
}
```


参考文献

- Arnott, R. (1996), "Taxi Travel Should Be Subsidized". *Journal of Urban Economics*. Vol.40, pp.316-333.
- Cairns, R. D. and Liston-Heyes, C. (1996), "Competition and regulation in the taxi industry". *Journal of Public Economics*. Vol.59, pp.1-15.
- De Vany, A. S., (1975), "Capacity utilization under alternative regulatory restraints: An analysis of taxi market", *Journal of Political Economy*, Vol.83, No.1, pp.83-94.
- Douglas, G. W., (1972), "Price Regulation and Optimal Service Standards: The Taxicab Industry", *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol.6. No.2, pp.116-127.
- Flath, D. (2006), "Taxicab regulation in Japan", *Journal of The Japanese and International Economics*. Vol.20, pp.288-304.
- Flores-Guri, D. (2003), "An economic analysis of regulated taxicab markets", *Review of Industrial Organization*, vol.23, pp.255-266.
- Lagos, R., (2000), "An alternative approach to search frictions", *Journal of Political Economy*. Vol.108. No.5, pp.851-873.
- Lagos, R., (2003), "An analysis of the market for taxicab rides in New York City", *International Economic Review*. Vol.44. No.2, pp.423-434.
- Schaller, B. (2007), "Entry controls in taxi regulation: Implication of US and Canadian experience for taxi regulation and deregulation", *Transport Policy*, Vol.14, pp.490-506.
- Teal, R. F. and Berglund, M. (1987), "The impact of taxicab deregulation in the USA", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.21, No.1, pp.37-56.
- 泊尚志 (2012) 「タクシー事業規制の変遷下での東京都心におけるタクシー交通需要の分析」『土木計画学研究・講演集』, CD-ROM
- 東京ハイヤー・タクシー協会 (2017), 『東京のタクシー』

第6章 結語

本論文では第2章から第5章にかけて、交通市場を対象に、外部性の価値の計測に伴う課題と外部性がある場合に交通政策が市場に与える影響などを分析した。以下では、各章の主な結論と政策的インプリケーションを述べる。

第2章では、ヘドニック法による航空機騒音のコストの推計において、騒音データの計測誤差がNDI（騒音が1dB変化による家賃の変化率）に与える影響を分析した。本章では、航空機騒音予測プログラムに直接アクセスすることが可能であったことから、福岡空港周辺の賃貸住宅、約21,000件について、騒音データの精度をコントロールし、計測誤差が騒音のコストの推計値に与える影響を分析した。具体的には、福岡空港を原点とした平面座標のメッシュポイントに計算された騒音データを物件と最も近い点に組み合わせる方法（方法1）、物件の四隅のメッシュポイントにおける騒音値を補完計算する方法を用いて物件データと組み合わせをした。そして、50mのメッシュ幅からはじめ、100m以降は100mごとにメッシュ幅を広くすることで、物件に組み合わせる騒音データの精度をコントロールし、回帰分析をした。また、計測誤差による内生性をコントロールするために、Lewbel (2012)の方法を用いて推計した。

その結果、方法1、方法2ともに騒音データのメッシュ幅が600mよりも大きくなると、NDIが0に近づく傾向が明確になることが分かった。これは、方法1を用いた場合には顕著である。例えば、方法1では、メッシュ幅が50mの騒音データを用いると L_{den} の1dBの上昇による家賃の減少は平均81円であるのが、600mでは平均55円であり、32%も過小に推計される。方法1はDekkers and van der Straaten (2009)のように、地域の代表的なポイントにおける騒音値を用いる状況を想定している。この結果は、方法1により騒音データと物件データを組み合わせる場合、計測誤差は、NDIの符号を変えるほどの影響は与えないかもしれない。しかし、NDIは過小に推計されている点に注意を要する。

一方で、方法2は方法1よりも騒音データのメッシュ幅が広がることによる、NDIの減衰が小さい。したがって、Brandt and Maennig (2011)やBoes and Nüesch (2011)のように、メッシュ形態の騒音データが入手できた場合、方法2のように補完計算をして組み合わせる方が計測誤差の影響を小さくできる。

Lewbel (2012)の方法による推計の結果、メッシュ幅や組み合わせ方法によるものの、OLSの推計値に比べて1.3倍から2.8倍も大きく推計される。特に50mメッシュのデータにおいてもLewbel (2012)の方法で推計したNDIはOLSによるものよりも大きい。これは、騒音予測プログラムで計算した騒音値には、気候や建物などの影響が十分に考慮できていないことによる誤差が含まれているためだと思われる。

本章の結果から得られる政策的なインプリケーションは以下の通りである。ヘドニック法は社会資本整備の費用便益分析のための手法の一つとして示されることが多い。この手法を用いて、滑走路増設などによる航空機騒音のコストを推計する場合、騒音のコストを過

小に見積もる恐れがあるので、可能な限り精度の高いデータを用いることが需要である。

第3章では、Mantin (2012)、Matsumura and Matsushima (2012)に航空機騒音を想定した外部不経済を導入したモデルにより、二国間の航空ネットワークにおける空港の運営形態競争を分析した。最初に他国の空港の着陸料を所与として、民営空港と公営空港が設定する着陸料を比較した。モデルにおいて、民営空港の目的は利潤最大化であり、公営空港の目的は自国の社会的余剰の最大化であった。民営空港と公営空港の設定する着陸料を比較した結果、他国の着陸料を所与とすると、民営空港が設定する着陸料が過大であるか、過小であるかは、騒音に対する周辺地域の負担の程度により変化することが明らかになった。騒音への負担の程度が十分に小さい場合、相対的に独占であることの弊害が大きく、民営空港が設定する着陸料は過大である。一方で、騒音への負担感が十分に大きい場合には、外部性のダメージを考慮しないことが相対的に問題であり、民営空港の着陸料は過小である。

続いて、航空機騒音による環境負荷がある下での、二国間の空港の運営形態競争を分析した。分析の結果、騒音への負担の程度により Nash 均衡は変化することが明らかになった。Mantin (2012)、Matsumura and Matsushima (2012)が示したような空港民営化が Nash 均衡となるのは、騒音への負担の程度が十分に小さい場合に限られる。また、騒音への負担の程度が大きくなると、両国が空港の公営化を選択する可能性が生まれる。しかし、それによって囚人のジレンマが直ちに解消されるわけではない。**同時に空港を民営化する場合に比べて、両国がともに公営を選択する方が、社会的余剰が小さく、囚人のジレンマに陥る場合がある**ことを示した。これは、Mantin (2012)、Matsumura and Matsushima (2012)に騒音のダメージを取り込むことで明らかになった結果である。

近年、我が国においては国際線が運航している主要空港の民営化が進んでいる。本論の結果から得られる空港民営化に関する政策的インプリケーションは以下の通りである。空港周辺地域の航空機騒音への負担の程度により、政府が選択すべき空港の運営形態は変化している。したがって、空港の運営形態の決定は、ヘドニック法などを用いて、空港周辺地域における騒音への負担を金銭的に評価に基づいて行われる必要がある。また、囚人のジレンマ型の Nash 均衡の存在は、空港民営化は一つの国の中だけで意思決定をするのではなく、国際的に協調した枠組みの中で決定することの必要性を示唆している。

第4章では、社会資本の耐久期間は経済活動に依存すること、政府の社会資本投資は新規の建設や改良だけでなく、基礎部分の補修や点検といった既存施設の耐久期間を延長させるような取り組みも含まれていることに着目し、社会資本の減価償却率が経済活動とメンテナンスに依存して内生的に決定する動学的一般均衡モデルを構築した。そして、日本の道路政策を対象として、道路の新規投資とメンテナンスの投資配分の変更がマクロ経済に与える影響を定量的に分析した。

統計データや実証研究の結果を用いてパラメーター設定し、シミュレーションをした。近年、道路のメンテナンス支出割合は増加傾向にあり、2006年に比べて2014年は10ポイントも上昇している。そこで、道路のメンテナンス支出割合を2011年から2015年（現状）の

平均値である 32.7%から、2006 年から 2010 年（過去）の平均値である 26.3%に変化させることが定常均衡のマクロ経済に与える影響を推計した。過去から現在にかけてのメンテナンス支出割合の約 6%増加により、既存施設の耐久期間が延びる効果が、新規投資が減少する効果を上回り、道路ストックの蓄積の効率性が改善した。その結果、GDP と経済厚生は約 1%改善した。しかし、メンテナンス支出を充実させることが常に経済厚生を改善させるとは限らない。メンテナンスに過大な支出がなされると、道路資本蓄積の効率性は低下し、GDP と経済厚生は低下する。

社会資本の減価償却率関数の効率性パラメーターについては、実証研究の結果などを用いて値を設定することができなかった。そのため、効率性パラメーターの変化が結果に与える影響を確認した。その結果、経済厚生を最大化させるメンテナンス支出割合は、効率性パラメーターの値に関して単調増加であることがわかった。これは、メンテナンス技術が向上するにつれて、メンテナンス支出に優先的に予算を配分することで、社会資本蓄積の効率性を向上させることができることを示唆している。

本章の政策的なインプリケーションを述べる。シミュレーションの結果は、道路投資にシフトするメンテナンス支出割合を変化させることで、経済厚生が変化しうることを示している。したがって、既存の道路を長持ちさせるような修繕や点検は例年決められた金額で実施するのではなく、新規の建設や改良とのバランスを図りながら投資額を決定し、実施することが重要である。また、最適なメンテナンス支出割合は社会資本の減価償却率関数の効率性パラメーターに依存して変化するので、施設を長持ちさせるような投資と施設の耐久期間の間の技術的な関係を実証的に計測する必要がある。

第 5 章では、動学的モデルにより、東京地区における 2002 年の規制緩和以降のタクシー規制改革（2007 年 12 月の運賃改定と 2008 年 7 月以降の減車政策）を定量的に評価した。本章のモデルは、Lagos (2000)によるタクシーが様々な場所における旅客の捉まえやすさとその場所から輸送する旅客から得られる収入の両方を考慮しながら旅客を求めて移動する状況を想定したモデルに、マッチング関数の一般化、家計が運賃だけでなく待ち時間と移動時間のコストを考慮して決定する需要の内生化などの修正を行った。そして、タクシー市場における社会的損失（Total loss）をタクシーの過剰性（過少性）によるロス（Capacity loss）と既存のタクシーストックが効率的に配置・利用されていないことのロス（Miss pricing loss）に分けて評価した。

シミュレーションの結果、減車政策以降のタクシー市場において生じている Total loss の大部分（90%以上）を Miss pricing loss が占めていることが明らかになった。これは主に規制運賃の水準が高すぎるため、タクシーの総ストックに対して需要が過少であり、各地区においてタクシーが旅行者の探索に過大な時間を費やしている一方で、旅行者の待ち時間が短すぎることから生じている。

また、2007 年 12 月の運賃改定によりタクシー市場における Total loss は、1900 円/分ほど拡大した。運賃改定により各地区間のツアーの運賃は平均で 7%ほど値上がりしたが、それ

によりタクシーの総ストックは2%ほど増加した。これによる **Capacity loss** の拡大は、およそ 260 円/分に過ぎない。一方で、運賃の値上げにより需要が減少し、タクシーの待ち時間が長くなったため、**Miss pricing loss** は 1670 円/分ほど拡大した。つまり、運賃改定による経済損失の大部分が **Miss pricing loss** の拡大である。

2008 年 7 月以降の減車政策（18%のタクシー総ストックの削減）によりタクシー市場の社会的厚生は 4500 円/分程度改善された。タクシーの過剰性が小さくなったことによる効果（**Capacity loss** の改善）が 1930 円/分、タクシーの待ち時間が長すぎることで改善されたことによる効果（**Miss pricing loss** の改善）が 2560 円/分であり、ほぼ同程度貢献している。

本章の政策的インプリケーションを述べる。シミュレーションの結果は、運賃改定、減車政策の前後を問わず、タクシー市場の社会的損失の大部分が **Miss pricing loss** であることを示している。これはタクシー運賃が高すぎるために、既存のタクシーが十分に利用されておらずタクシーが過大な時間を旅客の探索に費やしていることを要因としている。したがって、タクシー運賃を値下げし、よりタクシー需要の増加を促進させる必要がある。しかし、値下げに際しては、固定部分と距離比例部分のバランスを考慮しながら設定することに注意を要する。