

2008 年度東京大学大学院公共政策学教育部

リサーチペーパー

題目「日本の都市間交通における競争分析」

公共政策学専攻経済政策コース専門職学位課程

渡邊謙太

学籍番号：51-078075

<u>論文要旨</u>	…3
<u>第1章 研究の概要</u>	…5
1-1. 問題意識と研究の目的	
1-2. 研究の手法と主要な結果	
<u>第2章 日本の都市間交通</u>	…8
2-1. 日本の航空産業	
2-2. 日本の鉄道事業	
<u>第3章 需要関数の導出</u>	…14
3-1. 93路線データと四段階推定法	
3-2. 分布交通量の予測	
3-3. 機関分担交通量の予測	
3-4. 航空・鉄道の需要関数	
<u>第4章 規制撤廃下の価格競争モデル</u>	…19
4-1. 利潤最大化と費用の仮定	
4-2. 市場均衡解の導出	
4-3. 消費者余剰・社会的余剰の変化	
<u>第5章 政策シミュレーション</u>	…25
5-1. 環境税の導入	
5-2. LCCの参入	
5-3. 中央リニア新幹線の開通	
<u>第6章 結論</u>	…35
<u>謝辞</u>	…37
<u>参考文献</u>	…38
<u>Appendix</u>	…40

論文要旨

世界の都市間交通市場は近年、大きな変化を経験しており、日本もその例外ではない。特に航空の規制緩和を契機に、都市間交通の競争は深化しており、日本においても戦後約 50 年にわたって維持された航空法が 2000 年に改正・施行され、本格的な自由化時代に突入した。

本研究では、都市間交通に関する様々な政策について、社会的便益や外部費用などに着目した定量的な分析を主として行い、構造的な変化が生じる日本の都市間交通市場が向かう今後の方向性や政策のあり方について考察するための一助となることを目的とする。

まず日本の国内 93 路線に関する航空・鉄道のデータに基づき、両交通機関の将来需要を予測するための需要関数をそれぞれ導出した。価格と所要時間を変数とするこの需要関数に基づき、都市間交通に影響を与えうると想定した四つの政策についてシミュレーションを行った。需要関数の導出に当たって使用したデータは 2003 年および 2005 年に実施された国土交通省の「航空旅客動態調査」等に基づいており、以下のシミュレーションは当該時点で政策や競争環境の変化が生じたと仮定した場合の分析である。

第一のシミュレーションでは、価格の上限規制や混雑空港の容量制約など自由化後も航空・鉄道が直面する企業行動の制約を仮想的に撤廃し、企業が価格を自由に設定し利潤最大化を行うと仮定した場合の試算を行った。航空・鉄道ともに全路線で価格が上昇し、年間旅客需要は約 35%減少したほか、一人あたりの消費者余剰や社会的余剰も大きく減少した。このことから、現行の規制下で航空・鉄道の価格が一定程度低く抑えられていることが示唆された。

次に、近年の世界的な温室効果ガスの排出削減に向けた取り組みなどを背景に注目が集まる「炭素税」を導入するケースを分析した結果、一人あたり消費者余剰のわずかな減少（一移動あたり 3.2 円～115.8 円）に対し、はるかに大規模な社会的余剰の増加（年間 2007 億円～2 兆 563 億円）がもたらされることが予測され、実効性の観点からも社会的に望ま

しい政策であることが示された。

さらに、航空の競争力を向上させる低価格航空企業が新規参入した場合、鉄道の競争力を向上させる中央リニア新幹線が開通した場合についてもそれぞれ検討した。消費者余剰や社会的余剰は、両ケースとも大きく増加し、本研究で用いた仮定の強さを考慮しても、ともに社会的に推進すべき政策となり得ることがわかった

以上の分析から、我が国の都市間交通市場において、規制の完全な撤廃は社会的に望ましくない影響をもたらす可能性があるものの、規制緩和や新規参入企業の促進等を通じてより競争的な市場を育成するとともに、温室効果ガス排出など企業行動がもたらす環境面の外部費用に適正な課税を賦課することによって、より望ましい社会厚生を達成し得ることが明らかになった。

第 1 章 研究の概要

1-1. 問題意識と研究の目的

世界の都市間交通市場は近年、大きな変化を経験しており、我が国もその例外ではない。特に各国で進む航空の規制緩和により競争は深化しており、日本においても戦後 50 年にわたって維持された航空法が改正・施行され、本格的な自由化時代が始まった。航空と競合する鉄道についても超電導リニア技術を使った世界最速の中央リニア新幹線計画が現実味を帯びるなど、都市間交通市場に構造的な変化が進行してきたといえる。

航空や鉄道など都市間交通産業は、離島や過疎地域へのアクセスなど社会インフラとしての公共性をその特質としており、比較的強い規制の下にある「規制産業」の側面を持つ。この規制産業としての側面と、自由化時代の競争産業としての側面を調和させ、社会的な効率性をより高める環境を整備することが公共政策からみた課題だといえる。本研究では様々な政策について、社会的便益や外部費用などに着目した定量的な分析を主として行い、日本の都市間交通市場が今後どのような方向に進むべきかを考えるための一助となることを目的とする。

特に、地球温暖化問題が近年注目を集めるなか、先進諸国では温室効果ガスの排出抑制のため二酸化炭素（CO₂）排出量に対し環境税を課そうという機運が高まり、企業側も排出量取引市場を活用し始めるなど、環境面の外部費用を金銭換算し市場価格に反映させようという潮流が強まりつつある。日本においてもその是非が本格的に議論され始めた「炭素税」導入に関して都市間交通市場への影響を分析することは、今後の環境政策を考える上でも有益であり、本研究の主要な目的の一つと位置づける。

1-2. 研究の手法と主要な結果.

日本の航空路線が存在する 42 区間 93 路線に関するデータに基づき、第 3 章において、

四段階推定法に従い、ロジットモデルによる航空・鉄道の機関分担率¹を定式化したうえで、それぞれの需要関数を導出した。

第4章では、鉄道における運賃の上限規制や、羽田空港など混雑空港の容量制約による発着枠の不足など、企業行動における各種の制約を外し、企業が価格を自由に設定し利潤最大化を行うと仮定した際の生産者余剰や社会的余剰の変化について試算した。その結果、航空・鉄道ともに全路線で価格が上昇し、年間の旅客需要は約35%減少した。消費者余剰は一年換算で約9264億円の減少となり、一人一移動あたりの消費者余剰の減少額も4523円から19373円と大きな額となることがわかった。価格のつり上げにより生産者余剰は増加するものの、消費者余剰の減少が巨額であるため、両余剰の和である社会的余剰は年間7101億円の減少が予測された。

第5章では、企業が直面する各種の規制・制約を撤廃することを想定する第4章と異なり、特定の政策を変化させた場合の三通りのシミュレーションを実施した。まず、温室効果ガスの排出量に応じて課税する「炭素税」を導入するケースでは、一人一移動あたりの消費者余剰の減少は、最大で115.8円、最小では3.2円と非常に少額にとどまるのに対し、社会全体では年間2007億円～2兆563億円と大規模な余剰の増加が見込まれることが明らかになった。

航空の競争力を向上させる低価格航空企業（Low Cost Carrier、以下LCC）が新規参入した場合の分析からは、消費者余剰と社会的余剰がそれぞれ一年あたり合計で6922億円～7361億円、7577億円～8179億円増加するという結果が予測された。一人一移動あたりの消費者余剰増加額（中位ケース）は、全路線平均は5362円であるのに対し、最大の東京－函館で5万428円、最小の東京－山形で852円となり、路線によって消費者が政策から得る果実の大きさに大きな開きが出ることもわかった。

一方、鉄道の利便性と競争力を大きく向上させる中央リニア新幹線を新設したケースで

¹ 本研究では交通機関として、航空と鉄道のみを考え、自家用車や長距離バスによる自動車交通は除いている。

は、東海道新幹線の旅客需要の 53.1%～72.8%が中央リニアにシフトし、消費者余剰は年間 227 億円～1517 億円、社会的余剰は年間 249 億円～1684 億円といずれも大きな増加が見込まれるという結果が得られた。

第2章 日本の都市間交通

米国で1970年代にスタートした航空自由化の流れは欧州に波及し、日本でも1980年代半ばから航空行政は規制緩和に舵を切った。2000年には改正航空法が施行されて自由化は大きな区切りを迎え、従来は行政の規制下で縛られていた運賃設定と路線選択が原則自由になると、航空企業の戦略的な行動の余地が大幅に増え、鉄道、特に新幹線との競争は一層激しさを増した。

対する鉄道は、1987年の国鉄分割・民営化後、割引運賃の導入に加え、設備や技術への投資を拡大させ、700系など新型車両の投入による新幹線のスピードアップ²に加え、ダイヤ設計の工夫による運行本数増大に努め、消費者の利便性向上に努めてきた。

近年では、鉄道が環境へのやさしさをビジネス利用者にアピールする一方、航空も燃費のよい新型機体の拡充により、温室効果ガスの排出効率を高めており、両者の競合関係は価格、時間にとどまらず、環境面にまで及んできたといえる。

航空・鉄道サービスは、日本では現在、民間企業によって提供されているものの、特に離島・過疎地域路線など社会インフラとしての公共性も持つ。両交通機関ともに規制産業としての側面と、競争産業としての側面を調和させ、社会的な効率性をより高める環境を整備することが公共政策からみた課題だといえる。

2-1. 日本の航空産業

2-1-1. 航空法改正に至る制度・政策の変遷

日本の航空産業において企業の戦略的行動が大きな意味を持つようになったのは、近年のことである。

塩見 [2001] によると、我が国の戦後航空政策は、大きく分けて、①戦後の再開・成長

² 東海旅客鉄道株式会社（以下、JR 東海）は、2007年12月25日、2025年に東京一名古屋間に超電導リニアモーターを使用した中央リニア新幹線を自己負担によって開通させる計画を発表した。計画が実現すれば最高時速は500km/hを超え、東京一名古屋間を現行より約1時間短い40分程度で結ぶことになり、航空-鉄道の競争に大きな変化をもたらす可能性がある。本研究では第5章のシミュレーションで分析する。

期、②45・47体制による調整期、③競争促進期という三段階の経過をたどってきた。

②期は、1970年（昭和45年）の「航空企業の運営体制」閣議了解、1972年（昭和47年）、の運輸大臣示達によって成立した「45・47体制」と称される調整政策の時代であり、今日の航空産業の経営基盤、寡占的産業組織、航空路線の基本構造にとりわけ大きな影響を与えた。「航空憲法」とも称された45・47体制による行政分野の調整に加え、1952年に施行された航空法によって需給調整を内容とする参入規制が行われ、新規参入はさらに制限された。運賃は硬直的な認可制度によって、同一路線同一額と定められ、参入規制、運賃規制ともに非常に厳格な時代であったといえる。

しかし、1978年に米国が国内規制の緩和、撤廃に踏み切り、国際線でも自由化を目指したオープンスカイ政策に舵を切ると、欧米での規制緩和の流れは日本にも波及し、1985年、運輸政策審議会答申、閣議了解を受けて45・47体制は公式に廃止され、競争促進への政策転換が打ち出された。参入規制や価格規制の面で自由化が段階的に進み、最終的に約50年に渡って維持された航空法が1999年6月に改正され、翌2000年2月に改正航空法として施行されることで、本格的な自由化時代に突入した。

2-1-2. 改正航空法と競争環境の変化

改正航空法は、①需給調整規制の撤廃、②運賃の認可制の廃止と事前届出制、③運行計画の事前届出制という三つの柱からなる。

参入規制については、路線免許制から事業単位許可制へと変更がなされ、定期・不定期の事業別規制は一本化され、路線・便数設定とその変更も自由化された。また、運賃は事前届出制への移行とともに、上限・下限規制も撤廃され、自由な運賃設定³が可能となった。

航空企業各社は、季節や路線（ex. 新幹線との競争状況）、時間帯などに基づく多様なバ

³ただし、航空法第105条では、差別的取扱いや不当な競争の恐れ等の場合の変更命令が規定されており、企業が完全な価格設定の自由を有するわけではない。

リエーションを持つ運賃体系を導入する一方、国内路線については、直近では折からの原油高もあり運休・廃止を含む路線再編成を急ピッチで進めてきた。

また、2002年10月には株式会社日本航空インターナショナルと株式会社日本エアシステムとの経営統合により、2004年に株式会社日本航空（以下、JAL）が誕生し、主要航空企業数は3から2に減少したほか、全日本空輸株式会社（以下、ANA）も新規参入航空企業をグループ化するなど、市場の寡占化が進行してきている。

2-1-3. 欧米と日本における自由化後の差異

先行して自由化が進んだ欧米では自由化後、路線ネットワークについて大手航空企業は路線網を再編成し、いわゆるハブ・アンド・スポーク型（hub-and-spoke）ネットワークを形成した。規制撤廃で内部補助が不可能になると、航空企業は不採算路線から撤退し、採算がとれる路線にのみ集中するだろうと予測も多かったが、現実には需要が少ない路線からの撤退は少なく、新しいネットワークの中で、ハブ空港と地方都市を結ぶスポーク路線として機能するようになった。

一方、新規参入業者は著しく増加し、米国のサウスウエスト航空⁴やアイルランドを本拠地とするライアンエアに代表されるLCCは、離発着料が安く混雑の少ない二次空港を利用して直行便で各拠点を結ぶポイント・トゥー・ポイント型（point-to-point）の路線網を発展させるなど、路線戦略の大きな変化が起こった。LCCは機材の統一化や機内サービスの簡素化など徹底した合理化策によって大幅な低運賃を実現し、市場拡大に大きく寄与する⁵とともに、既存の大手航空企業を上回るまでに急速にシェアを伸ばしてきた。

⁴ 塩見[2003]は低コスト企業の代表格である同社の「サウスウエスト・モデル」の特徴として、短距離運行を中心に、制約のない低運賃、高頻度、定時性をもつサービスの提供を挙げ、混雑のない二次的な空港の利用、二点間輸送、整備費とレンタル費用の圧縮、生産性の高い労働力などの条件によって支えられているとしている。

⁵ ただし、航空企業の収益マージンの低下により倒産も相次ぎ、新規航空企業の中にも低運賃を武器に市場進出したものの、倒産したり、他社に吸収されたりする会社も多かった。

一方、日本では本格的なハブ・アンド・スポーク型路線網は形成されず⁶、また新規参入したスカイマーク（発足時の称号はスカイマークエアラインズ）や北海道国際航空も、国内に二次空港が存在しないこと、羽田の混雑で発着枠も十分確保できないこともあり、結局は大手航空と際だった路線戦略を描けなかった。従来型の路線網が維持され、LCCと呼び得る航空企業が台頭しなかったことは、欧米と日本との自由化後の一つの大きな差異として挙げられる。

2-2. 日本の鉄道事業

2-2-1. 新幹線

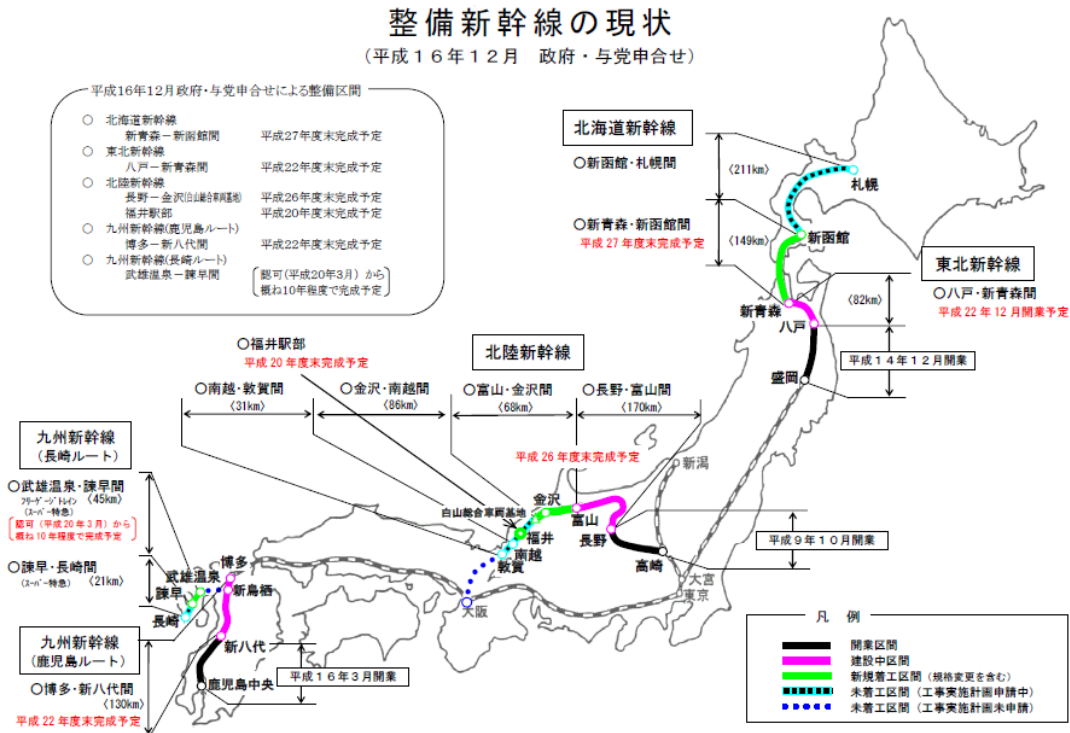
日本の都市間交通では、細長い国土に網の目のように張り巡らされた鉄道網が整備され、特に新幹線が航空との国内競争において強い競争力を持つことが、米国など大陸型諸国と比較した場合の大きな特徴として挙げられる。

新幹線については、全国新幹線鉄道整備法が1970年に成立、1971年から1973年にかけて同法第4条に基づき、「建設を開始すべき新幹線鉄道の路線を定める基本計画」として基本計画路線が定められ、第7条に基づく整備計画路線も決定された。財政的な制約⁷から整備計画路線全線が今のところ着工するには至ったわけではなく、図2-1が示す通り、北海道や九州、北陸において新たな延伸路線の建設工事が着工されるなど、新幹線整備は現在も進行中である。これに加え、さらに2007年12月にJR東海が公表した自己負担による中央リニア新幹線の建設が実現すれば、国内路線における鉄道の競争力はさらに強化されると予想される。

⁶ 榎原 [2001] はこの理由として、東北から南西にかけて細長く連なった国土に、鉄道網、道路網がくまなく張り巡らせ、新幹線の延長も続いていることをあげ、「国土のかたちと交通網のあり方は、ハブ・アンド・スポーク路線網の形成を困難にし、その経済性も失わせてしまうのである」と述べている。

⁷ 現在の整備新幹線建設の主要な原資の一つは、国鉄完全民営化時に国がJR各社に売却した新幹線の線路設備などについての再評価価格と簿価の差額である「既設新幹線譲渡収入」だが、新幹線整備に投じられる資金は2004年政府・与党申し合わせでほぼ使い切っており、新函館一札幌間など整備計画はあるものの資金手当が今のところ見通せない路線も存在する。

図 2-1. 「整備新幹線」の概要（出所：国土交通省）



2-2-2. 鉄道事業者の価格設定

前述の通り、航空企業は改正航空法施行後も、完全に自由な価格設定を行えるわけではないが、鉄道はむしろより厳しい価格規制下にあるといえる。

鉄道事業法は、第16条⁸で、鉄道事業者は運賃に上限を設定して認可を得ることを求め、第2項で「国土交通大臣は、前項の認可をしようとするときは、能率的な経営の下における適正な原価に適正な利潤を加えたものを超えないものであるかどうかを審査して、これをしなければならない」とするほか、第5項でも差別的取扱い等の場合の変更命令を規定している。

⁸ 抜粋（旅客の運賃及び料金）

第十六条 鉄道運送事業者は、旅客の運賃及び国土交通省令で定める旅客の料金（以下「旅客運賃等」という。）の上限を定め、国土交通大臣の認可を受けなければならない。これを変更しようとするときも、同様とする。

3 鉄道運送事業者は、第一項の認可を受けた旅客運賃等の上限の範囲内で旅客運賃等を定め、あらかじめ、その旨を国土交通大臣に届け出なければならない。これを変更しようとするときも、同様とする。

5 国土交通大臣は、第三項の旅客運賃等又は前項の旅客の料金が次の各号のいずれかに該当すると認めるときは、当該鉄道運送事業者に対し、期限を定めてその旅客運賃等又は旅客の料金を変更すべきことを命ずることができる。

一 特定の旅客に対し不当な差別的取扱いをするものであるとき。
 二 他の鉄道運送事業者との間に不当な競争を引き起こすおそれがあるものであるとき。

実際、自由化後、各種の割引運賃を導入する代わりに普通運賃を値上げした航空企業と異なり、JR 各社は国鉄分割・民営化後、上限運賃引き上げの認可申請をほぼ行っておらず、鉄道に関しては、運賃の値上げが事実上制限された状態になってきたとみることもできる。

第3章 需要関数の導出

3-1. 93 路線データと四段階推定法

交通需要推定モデルは、予測期間や用いるデータの種類、対象地域の広がり等によってさまざまに分類することができるが、集計型モデルと非集計型モデルに大きく分類することができる⁹。集計型モデルは、交通分析の基本単位を、地区や都道府県といった地理的広がりを持つ個人の集合体である「ゾーン」とするモデルであり、非集計型モデル¹⁰はゾーン単位に個人のデータを集計せず、基本単位を個人の交通行動とするモデルである。

本研究で使用する「93 路線データ¹¹」は、現在航空路線が存在する我が国の 93 路線について、その出発地・発着地を代表地点とした 42 区間（ゾーン）を設定したうえで、2003 年および 2005 年に実施された国土交通省の「航空旅客動態調査」から実勢運賃を推計した石岡・岡森・深山 [2007] などをもとに、路線ごとの総交通量や所要時間、所要費用などをまとめたものである。

そしてこの 93 路線データをもとに、集計型モデルの代表的な手法である四段階推定法に基づき、各交通機関の需要関数を推定する。

四段階推定法は、設定したゾーン内の域内総生産（Gross Regional Product、以下 GRP）や人口といった社会経済状況を前提に、①.発生・集中交通量¹²の予測、②.分布交通量の予測、③.機関分担交通量の予測、④.機関別の路線配分交通量の予測、と四段階に分けて推定する手法であり、航空需要の推定手法も四段階推定法を基本として開発されてきている。本稿では人口や GRP の変化などは考えず、また代表交通機関としての航空・鉄道の 93

⁹ 青山編 [2001] p128

¹⁰ 元田・岩立・上田 [2006] は非集計型モデルの特長として、以下の六点を挙げている。P49。

①個人の意志決定のプロセスをモデルに反映できる

②モデルによる現象の説明性が高い。

③交通政策に反映できるきめ細かな変数が導入できることで、政策の評価も可能となる。

④少ないサンプルでのモデル化が可能である。

⑤ある地域で作成したモデルを、若干修正すればほかの類似地域に適用できる。

⑥集計データはゾーンの平均値を用いるため真の相関が歪められる可能性があるが、非集計モデルではこれを回避できる。

¹¹ Copyright (c) 2008 All Rights Reserved to Graduate School of Public Policy / Graduate School of Economics, University of Tokyo.

¹² 各ゾーンを出発点とするのが発生交通量で、目的地とするのが集中交通量

路線を分析対象とするため、第一段階 (①)、第四段階 (④) は考慮せず、第二段階 (②) と第三段階 (③) について分析をおこなう。

3-2. 分布交通量の予測

元田・岩立・上田 [2006] によると、分布交通量、つまり OD 間の交通移動量の推計は、大別して現在パターン法と地域間流動モデル法に分けられる。前者は現在 OD 表¹³の交通分布パターンが将来も変化しないという前提にたつて、発生交通量、集中交通量を表の中に分布させる方法で、後者はゾーン間の距離と交通量との関係を数学モデルとして表現して用いるものである。

本研究では地域間流動モデル法の代表的な手法である、重力モデル法¹⁴により分布交通量の予測を行う。ここで、区間 ij のゾントリップ数を T_{ij} とおくと、

$$T_{ij} = k_{ij} \cdot \frac{G_i^\alpha \cdot A_j^\beta}{f(D_{ij})} \quad (1)$$

G_i : i 地点を起点として出発する交通量

A_j : j 地点を終点として到着する交通量

$f(D_{ij})$: ij 間の空間的隔たりを表す距離関数

k_{ij}, α, β : パラメーター

という関係が得られる。

93路線データにおいては、 ij 間の路線交通量について、出発・到着の区別がない。このため、地点 l を起点または終点とする総交通量 L について、

$$G_l = A_l = \frac{L}{2} \quad (2)$$

¹³ ゾーン間の交通分布の状況を表し、地域の交通特性を反映した基礎資料。

¹⁴ 元田・岩立・上田 [2006]、新谷 [2003]

として、離発着交通量が等しいと仮定する。

また、 ij 間の一般化費用 D_{ij} によって ij 間の空間的隔たりを表すものとし、

$$f(D_{ij}) = D_{ij}^{\gamma} \text{ とおく。}$$

(1)式の両辺の対数をとると、

$$\ln T_{ij} = \ln k_{ij} + \alpha \ln G_i + \beta \ln A_j - \gamma \ln D_{ij} \quad (3)$$

として、対数線形の式が得られる。これを 93 路線データを用いて回帰した結果が表 3-1 である。

表 3-1. 重力モデル法によるパラメーター推定結果¹⁶

回帰統計	
重決定 R2	0.68
補正 R2	0.67
標準誤差	0.75
観測数	93

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	3	107.32	35.77	64.00	3.81E-22
残差	89	49.75	0.56		
合計	92	157.07			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
lnk	10.71	4.50	2.38	0.02	1.76	19.65
α	0.63	0.06	11.25	8.63E-19	0.52	0.74
β	0.60	0.06	9.38	6.13E-15	0.47	0.73
γ	1.40	0.43	-3.53	6.64E-04	-2.38	-0.66

3-3. 機関分担交通量の予測

分布交通量を求めた後は、そのうち何%がどの交通機関を使って移動するかを求める必要がある。本研究では、各ゾーン間の交通量全体を代表交通機関である航空と鉄道が分担すると仮定し、ロジットモデルを適用する。

¹⁵ 新谷 [2003] p90。同書では D_{ij} としてゾーン ij 間の所要時間や一般化時間等を用いている。

¹⁶ $\ln k$ については、ここで求めた値から得られる予測値と現実の値が一致するように OD ごとに異なる補正がなされている。

このとき、各交通機関の選択確率は次式によって算出できる。

$$\text{区間 } ij \text{ における航空の選択確率 : } Z_{ij}^{Air} = \frac{\exp(V_{ij}^{Air})}{\exp(V_{ij}^{Air}) + \exp(V_{ij}^{Rail})} \quad (4)$$

$$\text{区間 } ij \text{ における鉄道選択確率 : } Z_{ij}^{Rail} = \frac{\exp(V_{ij}^{Rail})}{\exp(V_{ij}^{Air}) + \exp(V_{ij}^{Rail})} \quad (5)$$

ただし、

$$Z_{ij}^{Air} + Z_{ij}^{Rail} = 1 \quad (6)$$

$$V_{ij}^{Air} = \phi_{ij} + \psi p_{ij}^{Air} + \eta t_{ij}^{Air} \quad (7)$$

$$V_{ij}^{Rail} = \psi p_{ij}^{Rail} + \eta t_{ij}^{Rail} \quad (8)$$

$p_{ij}^m (m=1,2)$: 間の交通機関 の運賃 (代表地点までのアクセス・イグレス含む)

$t_{ij}^m (m=1,2)$: 間の交通機関 の所要時間 (代表地点までのアクセス・イグレス含む)

ϕ_{ij} : 各 ij 間で異なるパラメーター

ψ, η : 各 m 及び ij に共通のパラメーター

ここで、本分析で予測に用いられるパラメーターである ψ, η の値を 93 路線データから求める¹⁷と、以下の表 3-2 のようになる。いずれも統計的に有意に負の値をとることがわかる。

¹⁷ 導出については、Appendix を参照。

表 3-2. パラメーター ϕ, ψ, η の推定結果¹⁸

回帰統計	
重決定 R2	0.74
補正 R2	0.73
標準誤差	1.53
観測数	93

分散分析表					
	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	592.69	296.35	126.90	6.41985E-27
残差	90	210.18	2.34		
合計	92	802.87			

パラメーター	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
ϕ	0.02	0.32	0.05	0.96	-0.61	0.64
ψ	-2.25E-04	4.78E-05	-4.70	9.18608E-06	-3.20E-04	-1.30E-04
η	-5.57E-03	1.31E-03	-4.24	5.31161E-05	-8.18E-03	-2.96E-03

3-4. 航空・鉄道の需要関数

上記より、 ij 間における航空、鉄道それぞれの需要関数が以下のように定義できる。

$$\text{航空の需要関数： } Q_{ij}^{Air} = T_{ij} \cdot Z_{ij}^{Air} (p_{ij}^{Air}, p_{ij}^{Rail}, t_{ij}^{Air}, t_{ij}^{Rail}) \quad (9)$$

$$\text{鉄道の需要関数： } Q_{ij}^{Rail} = T_{ij} \cdot Z_{ij}^{Rail} (p_{ij}^{Rail}, p_{ij}^{Air}, t_{ij}^{Rail}, t_{ij}^{Air},) \quad (10)$$

¹⁸ ϕ については、ここで求めた値から得られる予測値と現実の値が一致するように OD ごとに異なる補正がなされている。

第4章 規制撤廃下の価格競争モデル

4-1. 利潤最大化と費用の仮定

本章においては、価格規制や混雑空港の容量不足など広義の規制が、企業の戦略的な行動をどの程度制約しているかについて分析する¹⁹。具体的には第3章において導出した需要関数を使い、航空・鉄道両機関が価格を変数とした寡占的競争を行った場合の価格や需要量、各余剰を現状と比較する。

需要予測を行うに当たり、以下の仮定をおいた。

① 航空、鉄道はそれぞれ各路線において利潤最大化するように運賃を設定する。

② 費用は航空、鉄道ともに2008年の現状価格の90%で一定とする。

ただし、①については、現実には航空の中でも JAL や ANA などがそれぞれ別の経済主体として利潤最大化行動を行っていることは考慮に入れておらず、本仮定では航空企業間の競争を結果に反映させることができない。

また、②については、航空企業や鉄道事業者の営業利益率に基づく概算として、費用を90%で一定とした²⁰が、現実には、交通機関や企業、路線に応じて、それぞれ費用構造は異なると考えられる。

4-2. 市場均衡解の導出

4-2-1. 航空・鉄道の利潤最大化行動

区間 ij における、航空企業、鉄道事業者の利潤はそれぞれ、下記のように得られる。

$$\text{航空企業の利潤関数： } \pi_{ij}^{Air} = (p_{ij}^{Air} - \bar{c}_{ij}^{Air}) \cdot Q_{ij}^{Air}(p_{ij}^{Air}, p_{ij}^{Rail}) \quad (11)$$

$$\text{鉄道事業者の利潤関数： } \pi_{ij}^{Rail} = (p_{ij}^{Rail} - \bar{c}_{ij}^{Rail}) \cdot Q_{ij2}(p_{ij}^{Air}, p_{ij}^{Rail}) \quad (12)$$

¹⁹ 第4章および第5章のシミュレーションは、需要関数導出に使用したデータに関する当該時点で政策や競争環境の変化が生じたと仮定した場合の分析である。

²⁰ JAL は『2008-2010年度 JAL グループ再生中期プラン』において計画最終年度(2010年度の営業利益率を4.2%とおき、ANA は『ANA グループ 2008~11年度 中期経営戦略』において2011年度の営業利益率は7.0%としている(いずれも連結)。ここでは、これらの数値に基づき人件費や機体の減価償却費などを考慮した結果、路線ごとの営業利益率を一律10%と仮定した。

このとき、航空企業、鉄道事業者の利潤最大化行動は以下のように定式化される。

$$\text{航空企業の利潤最大化問題：} \max_{P_{ij}^{Air}} \pi_{ij}^{Air} \quad (13)$$

$$\text{鉄道事業者の利潤最大化問題：} \max_{P_{ij}^{Rail}} \pi_{ij}^{Rail} \quad (14)$$

(13)、(14)両式について、各路線における均衡解を収束計算によって求め、年間の旅客需要が100万以上の27路線、および全93路線合計についてまとめたものが、表4-1である。

表4-1. 運賃・旅客需要・利潤の現状からの変化率

路線名		①運賃		②旅客需要		③利潤	
		航空	鉄道	航空	鉄道	航空	鉄道
東京	札幌	86.6%	11.3%	-55.2%	1015.2%	333.1%	2271.2%
東京	大阪	26.9%	55.8%	16.2%	-49.3%	328.6%	233.3%
東京	福岡	52.0%	13.6%	-47.1%	201.8%	704.0%	3329.4%
大阪	札幌	73.1%	5.7%	-52.7%	694.5%	718.5%	8295.9%
大阪	福岡	26.8%	52.3%	17.4%	-48.5%	1389.3%	685.1%
東京	函館	111.6%	14.7%	-56.6%	1291.8%	819.3%	15864.4%
東京	青森	22.6%	39.4%	-3.5%	-39.4%	1083.8%	744.8%
東京	秋田	30.8%	36.8%	-19.0%	-38.0%	959.2%	748.8%
東京	庄内	22.4%	70.2%	96.1%	-49.0%	2300.0%	768.3%
東京	富山	37.4%	50.4%	-33.2%	-37.9%	817.5%	834.2%
東京	金沢	47.5%	35.5%	-47.1%	6.2%	680.8%	1338.8%
東京	岡山	29.2%	38.0%	-13.3%	-40.2%	1020.6%	724.9%
東京	広島	27.2%	32.7%	-16.0%	-35.4%	968.2%	757.3%
東京	山口宇部	26.4%	23.7%	-27.2%	-19.1%	820.8%	901.1%
東京	高松	33.8%	26.5%	-38.0%	-7.5%	729.2%	1069.9%
東京	松山	43.0%	19.6%	-44.7%	40.1%	690.7%	1576.3%
東京	長崎	58.2%	11.4%	-48.8%	267.8%	710.3%	3997.1%
東京	熊本	63.6%	10.9%	-49.0%	450.8%	733.5%	6007.6%
東京	大分	50.3%	12.4%	-46.4%	209.6%	705.8%	3380.7%
東京	宮崎	96.4%	8.3%	-58.1%	1564.3%	723.8%	17931.7%
東京	鹿児島	90.4%	6.5%	-54.5%	2110.6%	766.6%	23448.9%
大阪	仙台	40.6%	18.3%	-43.5%	22.6%	694.2%	1350.5%
大阪	鹿児島	55.8%	15.0%	-48.2%	179.2%	706.9%	3109.1%
札幌	女満別	28.3%	92.2%	56.0%	-52.6%	1901.2%	810.3%
名古屋	札幌	103.8%	6.0%	-59.6%	1778.9%	724.1%	19817.0%
名古屋	福岡	38.1%	28.5%	-35.5%	-27.3%	791.0%	834.1%
鹿児島	福岡	31.2%	85.9%	18.8%	-54.8%	1459.1%	741.0%
93路線合計		-	-	-36.1%	-35.9%	677.9%	632.3%

4-2-2. 価格の変化

全路線で見ると、運賃については、航空で 22.4%（東京－庄内）～149.2%（福岡－札幌）、鉄道で 1.5%（福岡－札幌）～92.2%（札幌－女満別）と全路線で価格が上昇している。航空の値上げ率が最大の福岡－札幌路線において鉄道の値上げ率が最低となるなど、両機関とも距離などに基づき競争力の高い路線において大きく値上げし、競争力の弱い路線では値上げ率が小さい傾向が見てとれる。

また、93 路線の単純平均でみた場合、航空が 56.2%の値上げをしているのに対し、鉄道の値上げ幅は 24.2%と半分以下の水準にとどまっている。

4-2-3. 需要の変化

年間の交通需要については、航空が▲69.5%（松山－札幌）～96.1%（東京－庄内）、鉄道は▲54.9%（東京－山形）～15063.2%（151.6 倍、富山－札幌）と各機関とも、路線ごとに現状よりも需要が増加するケースと減少するケースがあり、その程度も様々である。両機関とも全体の需要量としては、全路線での価格上昇を反映し、航空で 36.1%、鉄道で 35.9%の減少となっている。企業の利潤最大化行動の結果、消費者の旅客需要が大幅に減少したことがわかる。

4-2-4. 利潤の変化

企業の一年あたりの利潤は全路線で増加している。増加率は、航空で 329%（東京－大阪）～2300%（24 倍、東京－庄内）、鉄道で 233%（東京－大阪）～159465%（1595.6 倍、富山－札幌）と路線によっては千倍を超える規模の利潤増であり、両機関それぞれの利潤の合計は、航空で約 7.8 倍に増加し、鉄道の利潤は 7.3 倍に増えている。

4-3. 消費者余剰・社会的余剰の変化

前節の結果より、航空、鉄道両機関が寡占的な価格競争を行うことで、価格の上昇、旅客需要の減少が起こり、企業利潤は大幅に増加することがわかった。

一方、所得の限界効用 φ 、現状および市場均衡における ij 間の全交通量（航空・鉄道の合計交通量）をそれぞれ Q_{ij}^{before} 、 Q_{ij}^{after} とおくと、消費者余剰 CS は、下式で定義される。

$$CS = -\frac{1}{\varphi} \frac{Q_{ij}^{before} + Q_{ij}^{after}}{2} \left\{ \ln \left[\exp(V_{ij}^{Air}) + \exp(V_{ij}^{Rail}) \right] \right\} \quad (15)$$

本章では、企業の利潤は生産者余剰 PS とみなし、政府収入（税金）や外部費用はともに考慮しないから、社会的余剰 SS について、

$$SS = CS + PS \quad (16)$$

が成り立ち、このとき、主要 27 路線と全 93 路線合計について、市場均衡後の消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰の変化をそれぞれ求めた結果が表 4-2 のようになる。

表 4-2. 主要 27 路線における消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰の変化

路線名		現状交通量 (万人)	△ CS (10億円)	△ CS/person (円)	△ PS (10億円)	△ SS (10億円)
東京	札幌	923.3	▲ 113.6	▲ 12299	62.7	▲ 95.6
東京	大阪	3881.5	▲ 212.1	▲ 5465	139.6	▲ 157.4
東京	福岡	863.3	▲ 69.9	▲ 8096	45.4	▲ 51.9
大阪	札幌	237.9	▲ 25.2	▲ 10599	14.3	▲ 20.5
大阪	福岡	662.5	▲ 36.1	▲ 5451	24.2	▲ 26.3
東京	函館	130.3	▲ 17.2	▲ 13192	9.6	▲ 15.1
東京	青森	205.7	▲ 10.1	▲ 4932	7.5	▲ 6.5
東京	秋田	206.6	▲ 9.7	▲ 4691	6.9	▲ 6.3
東京	庄内	277.8	▲ 19.2	▲ 6910	13.2	▲ 15.3
東京	富山	215.7	▲ 9.8	▲ 4554	6.7	▲ 7.1
東京	金沢	248.2	▲ 13.4	▲ 5413	8.9	▲ 9.7
東京	岡山	278.9	▲ 13.3	▲ 4778	9.5	▲ 8.7
東京	広島	278.9	▲ 20.5	▲ 7344	9.6	▲ 15.4
東京	山口宇部	156.5	▲ 7.3	▲ 4680	5.6	▲ 4.0
東京	高松	186.7	▲ 9.2	▲ 4933	6.6	▲ 5.8
東京	松山	166.1	▲ 9.9	▲ 5945	6.6	▲ 6.8
東京	長崎	150.0	▲ 13.0	▲ 8668	8.1	▲ 10.0
東京	熊本	188.0	▲ 18.8	▲ 9994	11.7	▲ 14.9
東京	大分	128.4	▲ 10.5	▲ 8143	6.8	▲ 7.7
東京	宮崎	139.4	▲ 18.5	▲ 13252	9.6	▲ 15.8
東京	鹿児島	226.9	▲ 32.1	▲ 14128	17.9	▲ 27.3
大阪	仙台	132.6	▲ 7.2	▲ 5455	4.9	▲ 4.8
大阪	鹿児島	125.4	▲ 10.0	▲ 7953	6.4	▲ 7.6
札幌	女満別	135.1	▲ 8.6	▲ 6330	5.7	▲ 7.1
名古屋	札幌	123.5	▲ 16.4	▲ 13301	8.3	▲ 14.2
名古屋	福岡	221.8	▲ 10.0	▲ 4523	7.0	▲ 6.5
鹿児島	福岡	158.2	▲ 8.9	▲ 5598	5.6	▲ 7.2
93路線合計		13013.0	▲ 926.4	▲ 7119	576.3	▲ 710.1

表 4-2 の主要 27 路線を含め、全 93 路線において消費者余剰、社会的余剰が減少した。

93 全路線については、一年あたりの消費者余剰の減少幅は▲4 億円（大阪－三沢、福岡－富山）～▲2121 億円（東京－大阪）で、合計では 9264 億円の損失となっている。

消費者余剰を現状の年間交通量とモデル予測値の平均で割り戻した一人一移動あたり消費者余剰の変化額をみると、(△CS/person)、減少幅が最小の名古屋－福岡間では 4523 円にとどまるのに対し、最大の富山－札幌間では 19373 円と現状の航空の価格（19789 円）に匹敵する大きな損失を被っていることが明らかになった。

また、生産者余剰と消費者余剰の和である社会的余剰もで、▲2 億円（大阪－三沢）～▲1574 億円（東京－大阪）と減少幅の差は大きく、年間合計で 7101 億円の減少となった。

現状の総交通量の 29.8%と圧倒的なシェアを占める東京－大阪間で、旅客需要は▲35% (年間 1367 万 3 千人) と大幅に減っており、社会的な損失の拡大につながっている。

以上より、本仮定のもとでは、規制や空港制約なしでの価格競争の結果もたらされる市場均衡は、社会的にみて現状よりも明らかに望ましくないことがわかる。つまり、鉄道事業における上限運賃の認可に伴う実質的な値上げ規制など、航空・鉄道両産業において、その程度は別として、規制の役割が一定程度存在する蓋然性が高いことがわかった。

第5章 政策シミュレーション

第4章では、価格規制や空港の容量制約を撤廃した場合に航空、鉄道の両機関の競争がどのような均衡に至るかについて分析した。

本章では同じく第3章で導出した需要関数を用いて、特定の政策や競争環境を外生的に変化させた場合、社会的余剰や需要量などがどのように変化するかをシミュレーションによって予測する。

具体的には、三通りのシミュレーションを行う。まず、欧米諸国で先行して導入され、日本においても導入機運が高まりつつある環境税を賦課するケースを分析する。次に、航空・鉄道それぞれが相対的な競争力を向上させる場合を検討する。具体的には航空に関してはLCCの新規参入、鉄道については中央リニア新幹線の新設によって起こる変化を分析する。

5-1. 環境税の導入

5-1-1. 環境意識の高まり

近年の世界的な環境意識の高まりを背景に、1997年12月11日に第3回気候変動枠組条約締約国会議で議決された京都議定書²¹では、第3条において、2008年から2012年までの期間中に先進国全体の温室効果ガスの合計排出量を基準年である1990年比で少なくとも5%削減する目的を定め、第4条では日本の6%を含め、各締約国の排出量についてその数値を超えないようにCO₂を削減することを求める割当量を定めている。

環境省は2004年に「我が国の削減約束(6%)を確実なものとするためには、規制的手法や自主的取組、経済的手法など様々な施策によって可能な限り排出削減を進めていく必要があり、目標と実際のギャップを埋めるために必要な約14%の温室効果ガスの排出量

²¹ 正式名称は、「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change)

のうち、約4%強程度の削減を環境税で確保する」²²として、2400円/C-tonの税率案を公表した。

そして政府は4年後の2008年6月27日閣議決定の「骨太の方針2008」²³において、「4. 税体系の抜本的な改革に向けて（税制改革の重点事項）」のなかで、「(4) 低炭素化促進の観点からの税制全般の見直し」を挙げ、環境税について初めて骨太方針などの税制改革重点事項等として明記された²⁴。

こうした環境意識と規制機運の高まりに対し、旅客・貨物ネットワークを担う航空・鉄道両事業者もその例外たり得ない。企業としても、JR 東海が所要時間や利便性に大差がなく、交通手段に複数の選択肢がある場合により環境負荷の低い交通手段を選択することを「Eco 出張」と名付け²⁵、新幹線を使った出張をアピールするなど、環境を事業戦略の一環に積極的に据える動きも生まれている。

本節では、環境税の中でも、CO₂など炭素化合物の排出量に対して税を賦課する「炭素税」を想定して、航空・鉄道の旅客需要や社会的余剰に与える影響を分析する。

5-1-2. 排出原単位の設定

航空・鉄道の各路線の排出原単位を、航空=30 C-g/人キロ、鉄道=6C-g/人キロ²⁶として、全93路線の路線距離や炭素排出量に基づいて炭素税を計算した結果が表5-1である。

²² 2 環境省『「環境税の具体案」について』 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=5422>

²³ 『経済財政改革の基本方針2008』 <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizai/kakugi/080627kettei.pdf>

²⁴ 環境省『税制のグリーン化について』 <http://www.env.go.jp/policy/tax/know/0811/0811a.pdf>

²⁵ <http://eco.jr-central.co.jp/ecoshuccho/about/definition.html>

²⁶ 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 [2007]

表 5-1. 93 路線別の炭素税 (円) と排出炭素トン (C-ton) の変化量

路線名	航空tax	鉄道tax	Δ C-ton	路線名	航空tax	鉄道tax	Δ C-ton
東京 札幌	64.4	17.4	▲ 904.7	大阪 長崎	47.5	11.3	▲ 62.8
東京 大阪	42.9	8.1	▲ 1344.1	大阪 熊本	48.5	10.9	▲ 62.3
東京 福岡	75.0	17.0	▲ 1066.0	大阪 大分	44.7	10.0	▲ 48.1
大阪 札幌	88.9	25.4	▲ 443.1	大阪 宮崎	33.3	13.0	▲ 23.4
大阪 福岡	40.7	9.1	▲ 225.2	大阪 鹿児島	39.3	13.3	▲ 45.7
福岡 札幌	116.2	34.3	▲ 214.2	関西 函館	45.6	20.9	▲ 11.4
東京 釧路	74.3	21.1	▲ 80.1	関西 女満別	86.2	30.1	▲ 23.1
東京 函館	56.6	12.8	▲ 109.9	札幌 釧路	114.4	5.0	▲ 78.5
東京 旭川	75.7	19.4	▲ 127.0	札幌 女満別	19.9	4.7	▲ 9.5
東京 帯広	71.9	19.3	▲ 60.9	札幌 青森	25.5	6.9	▲ 8.2
東京 女満別	83.2	23.1	▲ 90.3	札幌 花巻	22.1	9.7	▲ 2.9
東京 青森	49.7	10.5	▲ 119.3	札幌 秋田	33.6	9.6	▲ 5.4
東京 秋田	49.3	9.6	▲ 151.5	札幌 松本	31.9	20.6	▲ 1.4
東京 山形	40.0	5.2	▲ 8.4	仙台 札幌	64.0	12.4	▲ 110.1
東京 庄内	31.8	6.9	▲ 41.4	仙台 広島	47.8	18.0	▲ 6.9
東京 富山	35.2	6.1	▲ 80.7	福島 札幌	72.1	13.5	▲ 17.7
東京 金沢	41.0	6.7	▲ 122.4	新潟 札幌	51.8	21.4	▲ 13.5
東京 南紀白浜	38.0	9.2	▲ 11.6	富山 札幌	54.4	22.3	▲ 7.4
東京 鳥取	45.6	11.1	▲ 20.9	金沢 札幌	63.0	23.2	▲ 11.7
東京 米子	48.0	12.9	▲ 29.4	名古屋 釧路	69.0	26.5	▲ 8.1
東京 出雲	55.9	13.8	▲ 45.3	名古屋 函館	86.3	18.1	▲ 26.7
東京 岡山	57.7	10.7	▲ 255.8	名古屋 旭川	63.9	24.7	▲ 6.8
東京 広島	49.3	13.0	▲ 32070.6	名古屋 女満別	81.1	27.3	▲ 10.6
東京 山口宇部	56.9	15.1	▲ 138.7	名古屋 札幌	92.2	22.7	▲ 277.1
東京 徳島	67.3	12.8	▲ 103.3	名古屋 青森	72.0	15.8	▲ 23.9
東京 高松	50.6	11.7	▲ 132.7	名古屋 花巻	56.5	13.1	▲ 23.8
東京 松山	51.2	13.7	▲ 123.7	名古屋 仙台	50.7	10.4	▲ 53.9
東京 高知	61.8	13.2	▲ 86.9	名古屋 秋田	43.9	14.9	▲ 16.3
東京 北九州	59.3	1.6	▲ 20.7	名古屋 新潟	45.2	10.2	▲ 18.5
東京 佐賀	69.0	17.8	▲ 26.3	名古屋 福岡	35.6	11.8	▲ 96.7
東京 長崎	81.4	19.2	▲ 232.5	名古屋 長崎	54.0	13.9	▲ 21.2
東京 熊本	82.3	18.8	▲ 273.0	名古屋 熊本	61.3	13.5	▲ 27.9
東京 大分	78.2	18.0	▲ 171.2	名古屋 大分	57.2	12.7	▲ 16.0
東京 宮崎	66.8	20.9	▲ 151.3	名古屋 宮崎	45.9	15.7	▲ 10.1
東京 鹿児島	73.7	21.2	▲ 262.4	名古屋 鹿児島	53.1	15.9	▲ 36.6
大阪 青森	80.0	18.5	▲ 29.3	岡山 札幌	59.4	28.0	▲ 12.9
大阪 三沢	68.1	17.2	▲ 11.7	広島 札幌	91.2	30.3	▲ 44.7
大阪 花巻	70.9	15.8	▲ 39.1	松山 札幌	98.0	31.1	▲ 11.9
大阪 仙台	62.6	13.1	▲ 157.9	福岡 仙台	106.8	22.0	▲ 85.4
大阪 秋田	57.8	17.6	▲ 13.2	福岡 新潟	90.4	21.9	▲ 24.4
大阪 山形	62.4	13.3	▲ 6.7	福岡 富山	83.2	13.7	▲ 9.3
大阪 福島	52.6	12.0	▲ 21.7	福岡 金沢	68.3	12.8	▲ 35.0
大阪 新潟	47.7	12.9	▲ 55.2	福岡 松山	57.7	9.5	▲ 23.6
大阪 出雲	44.0	5.9	▲ 20.3	福岡 高知	23.0	9.0	▲ 1.0
大阪 松山	26.1	5.8	▲ 12.5	福岡 宮崎	30.2	5.9	▲ 19.9
大阪 高知	26.3	5.3	▲ 12.9	福岡 福岡	22.1	5.7	▲ 14.8
大阪 佐賀	21.6	9.9	▲ 2.3	合 計	5394.0	1388.1	▲ 41235.8

炭素税は航空で一人一移動あたり各路線について 21.6 円 (大阪-佐賀間、実勢運賃 16370 円の 0.13%) ~116.2 円 (福岡-札幌間、実勢運賃 18073 円の 0.64%)、鉄道については、1.6 円 (東京-北九州間、実勢運賃 21490 円の 0.007%) ~34.3 円 (福岡-札幌間、実勢運賃 39870 円の 0.09%) となり、非常に低額かつ低率であるにもかかわらず、炭素排出量の削減は、最大の東京-広島間で 3 万 2070C-ton、93 路線合計で 4 万 1235C-ton と大きな値となることわかる。

5-1-3. 外部費用の仮定と社会的余剰の比較

炭素税導入政策を定量的に評価するため、金本・蓮池・藤原 [2006] に基づき、炭素排出に関する外部費用の貨幣評価原単位を 30000 円/C-ton とし、外部費用の削減額 50 億円以上の 13 路線について、消費者余剰、外部費用、社会的余剰の変化額を示したものが表 5-2 である。

表 5-2. 外部費用削減額 50 億円以上の路線における変化（外部費用：30000 円/C-ton）

路線名		△ CS(10億円)	△ CS/person(円)	△ EC(10億円)	△ SS(10億円)
東京	札幌	▲ 0.6	▲ 63.8	▲ 27.1	27.1
東京	大阪	▲ 0.4	▲ 9.2	▲ 40.3	40.2
東京	福岡	▲ 0.6	▲ 70.2	▲ 32.0	31.9
大阪	札幌	▲ 0.2	▲ 88.0	▲ 13.3	13.3
大阪	福岡	▲ 0.1	▲ 9.3	▲ 6.8	6.7
福岡	札幌	▲ 0.1	▲ 115.8	▲ 6.4	6.4
東京	岡山	▲ 0.1	▲ 22.0	▲ 7.7	7.7
東京	広島	▲ 0.1	▲ 31.1	▲ 962.1	957.2
東京	長崎	▲ 0.1	▲ 78.2	▲ 7.0	7.0
東京	熊本	▲ 0.2	▲ 80.0	▲ 8.2	8.2
東京	大分	▲ 0.1	▲ 73.6	▲ 5.1	5.1
東京	鹿児島	▲ 0.2	▲ 73.3	▲ 7.9	7.9
名古屋	札幌	▲ 0.1	▲ 91.7	▲ 8.3	8.3
93路線合計		▲ 4.4	▲ 33.8	▲ 1237.1	1231.6

このほかの路線も含め、外部費用は全 93 路線において減少した。炭素税を負担する消費者の余剰は若干下がるものの、93 路線合計で年間 44 億円と、一年あたりの外部費用の削減額 1 兆 2371 億円、社会的余剰の増加額 1 兆 2316 億円に比べて 0.4%の規模である。一人あたり消費者余剰の減少幅は、一人一移動あたり最大で 115.8 円（福岡－札幌間）、最小では 3.2 円（札幌－女満別）、93 路線合計の平均では 33.8 円と非常に小さい値であり、個人からの広く薄い負担が、社会全体として非常に大きな正の効果を生んでいることがわかる。

さらに 30000 円/C-ton を外部費用の中位ケースと考え、感度分析として低位ケース（5000 円/C-ton）、高位ケース（50000 円/C-ton）の場合²⁷も試算した結果が表 5-3 となる。

²⁷ 金本・蓮池・藤原 [2006] p126

表 5-3. 外部費用、社会的余剰の変化（単位：10 億円）

	EC	Δ EC	SS	Δ SS
低位ケース (5千円/C-ton)	10127.7	▲ 206.2	▲ 12383.7	200.7
中位ケース (3万円/C-ton)	60766.3	▲ 1237.1	▲ 63022.3	1231.6
高位ケース (5万円/C-ton)	101277.1	▲ 2061.8	▲ 103533.1	2056.3

外部費用の減少額は年換算で 2062 億円～2 兆 618 億円に達し、社会的余剰の増加額は 2007 億円～2 兆 563 億円と大きな金額になることが分かる。

以上の結果より、航空・鉄道の路線ごとに炭素排出量に応じて税金を賦課することは社会的に望ましい政策であることがわかった。

5-2. LCC の参入

第 2 章で述べたように、欧米の航空市場に比べた日本市場の一つの特徴として、自由化後も低価格の路線戦略をとる本格的な LCC が存在しないことが挙げられる。

本節では、現行の路線価格の 7 割で航空路線を運行（費用は同じく価格の 90%）する LCC が 93 路線全線に新規参入するという仮定のもとで、シミュレーションを実施する。

具体的な計算方法としては、 ij 間で航空から得られる効用 V_{ij}^{Air} を LCC の効用 V_{ij}^{LCC} と既存の航空企業の効用 V_{ij}^{LEGACY} のログサムで再定義することで、上位モデルを航空と鉄道の選択、下位モデルを LCC と既存航空の選択とするネスティッド・ロジットモデルを用いた分析を行う。

このとき、城所・金本 [2006]により、 ij 間の航空の合成効用は

$$V_{ij}^{Air} = \lambda \ln \left[\exp\left(\frac{V_{ij}^{LCC}}{\lambda}\right) + \exp\left(\frac{V_{ij}^{LEGACY}}{\lambda}\right) \right] \quad (17)$$

として表され、航空の中で、LCC と既存の航空企業の選択確率は

$$W_{ij}^{\sigma} = \frac{\exp\left(\frac{V_{ij}^{\sigma}}{\lambda}\right)}{\exp\left(\frac{V_{ij}^{LCC}}{\lambda}\right) + \exp\left(\frac{V_{ij}^{LEGACY}}{\lambda}\right)} \quad \text{for } \sigma = LCC \text{ or } LEGACY \quad (18)$$

と定義できる。

LCC が存在しない現状の日本において、 λ を実際のデータからカリブレーションによって求めることはできないため、ここではドイツにおける Cologne—Berlin 間の航空（LCC と既存航空企業有り）・鉄道の都市間交通市場における価格競争を分析した Ivaldi and Vibes [2008] に依拠し、 $\lambda = 0.15$ （低位ケース）、 0.3 （中位ケース）、 0.5 （高位ケース）とする。

そして、93 路線データを用いて、現状の年間総交通量が 100 万人を超える主要 27 路線について LCC と既存航空の選択確率を求めた結果が表 5-4 である。

表 5-4. 主要 27 路線における LCC と既存航空の選択確率

路線名		現状交通量 (万人)	低位($\lambda = 0.15$)		中位($\lambda = 0.3$)		高位($\lambda = 0.5$)	
			LCC	既存	LCC	既存	LCC	既存
東京	札幌	923.3	100.0%	0.0%	98.8%	1.2%	93.2%	6.8%
東京	大阪	3881.5	99.9%	0.1%	96.7%	3.3%	88.3%	11.7%
東京	福岡	863.3	100.0%	0.0%	99.1%	0.9%	94.2%	5.8%
大阪	札幌	237.9	100.0%	0.0%	98.8%	1.2%	93.4%	6.6%
大阪	福岡	662.5	99.9%	0.1%	96.7%	3.3%	88.3%	11.7%
東京	函館	130.3	99.9%	0.1%	97.5%	2.5%	90.0%	10.0%
東京	青森	205.7	100.0%	0.0%	98.8%	1.2%	93.5%	6.5%
東京	秋田	206.6	99.9%	0.1%	97.2%	2.8%	89.5%	10.5%
東京	庄内	277.8	99.9%	0.1%	97.3%	2.7%	89.5%	10.5%
東京	富山	215.7	99.8%	0.2%	96.2%	3.8%	87.4%	12.6%
東京	金沢	248.2	99.9%	0.1%	97.2%	2.8%	89.4%	10.6%
東京	岡山	278.9	99.9%	0.1%	97.3%	2.7%	89.7%	10.3%
東京	広島	278.9	100.0%	0.0%	98.2%	1.8%	91.7%	8.3%
東京	山口宇部	156.5	100.0%	0.0%	99.1%	0.9%	94.4%	5.6%
東京	高松	186.7	100.0%	0.0%	98.6%	1.4%	92.8%	7.2%
東京	松山	166.1	100.0%	0.0%	98.5%	1.5%	92.5%	7.5%
東京	長崎	150.0	100.0%	0.0%	98.9%	1.1%	93.6%	6.4%
東京	熊本	188.0	100.0%	0.0%	99.1%	0.9%	94.3%	5.7%
東京	大分	128.4	100.0%	0.0%	99.2%	0.8%	94.7%	5.3%
東京	宮崎	139.4	100.0%	0.0%	98.7%	1.3%	93.0%	7.0%
東京	鹿児島	226.9	100.0%	0.0%	99.2%	0.8%	94.6%	5.4%
大阪	仙台	132.6	100.0%	0.0%	98.3%	1.7%	92.0%	8.0%
大阪	鹿児島	125.4	100.0%	0.0%	98.7%	1.3%	92.9%	7.1%
札幌	女満別	135.1	99.8%	0.2%	95.3%	4.7%	85.8%	14.2%
名古屋	札幌	123.5	100.0%	0.0%	98.3%	1.7%	92.1%	7.9%
名古屋	福岡	221.8	99.9%	0.1%	96.5%	3.5%	88.0%	12.0%
鹿児島	福岡	158.2	99.7%	0.3%	94.5%	5.5%	84.6%	15.4%

λ の値によって LCC—既存航空の分担率が変化することがわかる。たとえば、国内で最大の交通移動が発生する東京—大阪間において、LCC と既存航空の相関（類似性）が強い、つまり代替性が大きい低位ケース（ $\lambda = 0.15$ ）では、ほぼ 100%が LCC に移るのに対し、比較的相関が弱い、代替性が小さい高位ケース（ $\lambda = 0.5$ ）では、11.7%が既存航空に残ることがわかる²⁸。

このとき消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰の変化の総計は表 5-5 の通りとなる。

表 5-5. LCC 参入時の消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰の変化（単位：10 億円）

	ΔCS	ΔPS	ΔSS
低位ケース($\lambda = 0.15$)	692.2	65.6	757.7
中位ケース($\lambda = 0.3$)	697.7	68.3	766.0
高位ケース($\lambda = 0.5$)	736.1	81.8	817.9

消費者余剰と社会的余剰はいずれのケースでもそれぞれ全路線で増加し、一年あたりの合計で消費者余剰が 6922 億円～7361 億円、社会的余剰が 7577 億円～8179 億円の増加となっており、本仮定のもとでの LCC 参入は社会的に望ましいことがわかった。

さらに中位ケース（ $\lambda = 0.3$ ）で個別の路線についてみると、消費者余剰、社会的余剰ともに増加幅が最大の区間は、東京—札幌（ $\Delta CS=1062$ 億円、 $\Delta SS=1255$ 億円）、最小の区間は松山—札幌（ $\Delta CS=2$ 億 8 千万円、 $\Delta SS=2$ 億 8 千万円）だった。

このとき、消費者余剰の変化額を現状の総交通量で一人あたりに割り戻したもののうち、上位 10 路線と下位 10 路線を示したものが、表 5-6 である。

²⁸ ただし、本モデルの仮定では既存航空と LCC が同質財、つまり同じ水準のサービスを提供することが前提とされているが、実際には機内サービスの簡素化などを通じて低運賃を実現する LCC と既存の大手航空企業のサービスは異なるため、より多くの消費者が既存航空を選ぶ可能性があることには留意する必要がある。

表 5-6. LCC 参入時の一人一移動あたり消費者余剰の増加額（単位：円）

top	路線名		Δ CS/person	worst	路線名		Δ CS/person
1	東京	函館	50428	1	東京	山形	852
2	名古屋	函館	28818	2	札幌	女満別	871
3	富山	札幌	18024	3	東京	庄内	926
4	名古屋	宮崎	15614	4	鹿児島	福岡	991
5	大阪	山形	14722	5	札幌	青森	1102
6	東京	北九州	14154	6	札幌	釧路	1188
7	東京	鹿児島	13593	7	東京	大阪	1435
8	東京	札幌	11500	8	大阪	福岡	1480
9	東京	熊本	11321	9	大阪	出雲	2116
10	東京	宮崎	11012	10	名古屋	秋田	2172

全路線平均は 5362 円であるのに対し、最大の東京－函館で 5 万 428 円、最小の東京－山形で 852 円と一人あたりの消費者余剰増加額には非常に大きな開きがあることがわかる。特に上位 10 路線は大阪－山形間をのぞき、すべて本州と北海道・九州を結ぶ国内長距離路線であり、一方、下位 10 路線は比較的近距離路線が多いことがわかる。

また、生産者余剰については▲68 億円（東京－大阪）～273 億円（東京－函館）と路線によって余剰の増減が混在するものの、全体としては年間 683 億円のプラスとなった。生産者の内訳別では、LCC が 2274 億円の大幅な利潤増となる一方、航空の競争力向上により、鉄道事業者の余剰は、東京－函館など 8 路線を除いて全路線で減少し、計 311 億円の減少となった、LCC に顧客を奪われた既存航空も 5 路線を除いて減少し、計 1281 億円の利潤減少を被っている。

上記の仮定のもとで、既存の航空および鉄道の利潤減と引き換えに、低価格を実現した LCC の参入で需要が拡大し、消費者余剰・社会的余剰の大幅な増加につながったと評価できる。

5-3. 中央リニア新幹線の開通

第 3 節では第 2 節と対照的に、鉄道側の競争力向上のケースについて、中央リニア新幹線が東京－名古屋間で開通したケースについて分析する。

ここでは以下の 5 つの仮定をおく。

- ① 中央リニアの開通に伴い、東京－名古屋間の鉄道所要時間は 65 分短縮される。
- ② 名古屋における中央リニアと東海道新幹線の乗り換え時間を 15 分とする。
- ③ 中央リニアの運賃は、現在の東海道新幹線より東京－名古屋間で 800 円高いとする。
- ④ 中央リニア以外の鉄道路線については、中央リニア開通後も現状と変わらないとする。
- ⑤ 航空の運賃や就航頻度について、中央リニア開通後も現状と変わらないとする。

前節では航空機関内に既存の航空と LCC が存在する事例を考えたが、本節では鉄道機関内に既存の鉄道と中央リニアがあるとする。

このとき、 ij 間で鉄道から得られる効用 V_{ij}^{Rail} を中央リニアの効用 V_{ij}^{Linear} と既存の鉄道の効用 $V_{ij}^{Shinkansen}$ のログサムで再定義することで、上位モデルを航空と鉄道の選択、下位モデルを鉄道における中央リニアと、既存鉄道つまり東海道新幹線の選択とするネステッド・ロジットモデルを用いた分析を行う。

ij 間の鉄道の合成効用は

$$V_{ij}^{Rail} = \mu \ln \left[\exp\left(\frac{V_{ij}^{Linear}}{\mu}\right) + \exp\left(\frac{V_{ij}^{Shinkansen}}{\mu}\right) \right] \quad (19)$$

であり、鉄道機関内における中央リニアと東海道新幹線の選択確率は、

$$W_{ij}^{\theta} = \frac{\exp\left(\frac{V_{ij}^{\theta}}{\mu}\right)}{\exp\left(\frac{V_{ij}^{Linear}}{\mu}\right) + \exp\left(\frac{V_{ij}^{Shinkansen}}{\mu}\right)} \quad \text{for } \theta = \text{Linear or Shinkansen} \quad (20)$$

となる。

このとき、 μ の値について LCC より広い幅で高位ケース(0.8)、中位ケース (0.5)、低位ケース(0.1)として、鉄道内の分担率や、消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰について感度分析を行った結果が表 5-7、表 5-8 である。

表 5-7. μ の値に基づく中央リニア・東海道新幹線の分担率の変化

	リニア分担率	新幹線分担率
低位ケース($\mu = 0.1$)	72.8%	27.2%
中位ケース($\mu = 0.5$)	54.9%	45.1%
高位ケース($\mu = 0.8$)	53.1%	46.9%

表 5-8. 中央リニア開通後の消費者余剰、生産者余剰、社会的余剰の変化（単位：10 億円）

	Δ CS	Δ PS	Δ SS
低位ケース($\mu = 0.1$)	22.7	2.2	24.9
中位ケース($\mu = 0.5$)	74.2	7.6	81.8
高位ケース($\mu = 0.8$)	151.7	16.7	168.4

よって、消費者余剰は一年あたり 227 億円～1517 億円の増加、社会的余剰は 249 億円～1684 億円といずれのケースでも増加することがわかる。

また、 $\mu = 0.5$ の中位ケースについて個別路線の予測結果をみると、消費者余剰は中央リニアの関係する 47 路線全線で増加しているが、一人一移動あたりの消費者余剰増加額の上位 10 路線は下記の通りとなる。中央リニアの発着地である東京と名古屋を片方に含む路線が 9 線を占めていることが特徴的である。

表 5-9. 中央リニア開通時の一人一移動あたり消費者余剰の増加額上位 10 路線（単位：円）

順位	路線名		Δ CS/person
1	東京	大阪	1520
2	東京	岡山	1210
3	名古屋	秋田	1152
4	東京	広島	1125
5	名古屋	仙台	1006
6	名古屋	新潟	970
7	大阪	福島	942
8	東京	南紀白浜	925
9	名古屋	花巻	872
10	東京	山口宇部	861

μ の値と上記の結果からわかることは、 μ の値が小さい、つまり中央リニアと新幹線の相関性が強く代替性が大きい場合は、中央リニアの分担率が上昇し、両余剰の増加が小さく、逆に μ の値が大きい、つまり中央リニアと新幹線の代替性が小さい場合は、中央リニアの分担率が低下し、消費者余剰や社会的余剰の増加は大きくなることである。

第6章 結論

以上5章にわたって、日本の都市間交通市場について分析を行った。

第3章では、四段階推定法に従い需要関数を導出した上で、第4章、第5章において四つのケースを想定して、政策シミュレーションを実施した。

第4章の価格規制や空港容量制約を撤廃したケースの分析では、価格の上昇と需要の減少により生産者余剰のみが増加し、消費者余剰、社会的余剰は大きく減少することがわかった。このことから、地方路線維持の程度や運賃水準が羽田空港における路線配分時の判断材料となるなど、日本の現行の規制下において、航空・鉄道両企業の価格付けは一定程度低く抑えられていることが示唆された。

第5章では、特定の政策や競争環境の変化について、三通りのシミュレーションを行った。まず航空、鉄道の炭素排出量に応じて税金を課す「炭素税」を導入するケースを分析した。外部費用の貨幣評価原単位が炭素1トンあたり3000円、30000円、50000円の場合についてそれぞれ試算を行ったところ、いずれの場合もCO₂の排出抑制に貢献し、一年あたりの社会的余剰を2007億円～2兆563億円増加させる非常に有効な政策であることがわかった。

自民党税制調査会2008年12月、2009年度の税制改正大綱素案のなかで、CO₂の排出を基準に課税する「環境税」を長期的な検討課題と位置付け、2009年度の創設は見送った²⁹。一方、ANAは同月11日、政府の「排出量取引の国内統合市場の試行的実施」（通称：国内排出量取引制度）に運輸業界から初めて参加する方針を発表³⁰するなど、炭素排出量に関する外部費用を金銭的に評価する動きはすでに現実のものである。政府としても外部費用に税金を課し、適正な価格付けを促す環境税を積極的に導入すべきだと考える。

また、航空・鉄道それぞれの競争力向上時の変化を分析するため、LCCが国内線全路線に参入したケース、中央リニア新幹線が東京一名古屋間で開通したケースをそれぞれ検

²⁹ 12月2日産経ニュース <http://sankei.jp.msn.com/economy/finance/081202/fnc0812022141020-n1.htm>

³⁰ 12月12日ANAプレスリリースより <http://www.ana.co.jp/pr/index.html>

討した。LCC 参入については、既存の航空企業や鉄道事業者の生産者余剰は減少するものの、一年あたりの消費者余剰と社会的余剰は、それぞれ合計で 6922 億円～7361 億円、7577 億円～8179 億円の増加となった。中央リニアを新設した場合は、東海道新幹線の旅客需要の 53.1%～72.8%が中央リニアにシフトし、消費者余剰は年換算で 227 億円～1517 億円、社会的余剰は 249 億円～1684 億円の増加となることがわかった。

上記結果より、我が国の都市間交通市場において、規制の完全な撤廃は社会的に望ましくない影響をもたらす可能性があるものの、規制緩和や新規参入企業の促進等を通じ、より競争的な市場を育成するとともに、温室効果ガス排出など企業行動がもたらす環境面の外部費用に適正な課税を賦課することによって、より望ましい社会厚生を達成し得ることを指摘し、本稿の結びとしたい。

謝辞

本稿は、大橋弘・東京大学大学院経済学研究科准教授のご指導のもと作成した。大橋先生からは、需要予測モデルに関する指摘など研究上の指導に加え、論文作成に当たっての問題意識の重要性など多岐にわたり熱心なご指導をいただいた。また日原勝也・東京大学公共政策大学院特任教授、山口勝弘前特任教授（現・国土交通省政策統括官付参事官（物流政策））には、航空・鉄道産業など都市間交通市場に関する基礎的な知識を含め、様々なご教示をいただいた。

本研究は、日原先生、山口先生に加え、金本良嗣教授、石井喜三郎客員教授が担当された2008年度東京大学公共政策大学院「事例研究（ミクロ経済政策・解決策分析Ⅰ）」における都市間交通班報告書『中央リニア新幹線導入による外部効果の算出』³¹を土台に生まれたものである。このため、本研究と上記報告では、使用したデータや需要予測モデル、航空や鉄道の制度等に関する記述など多岐にわたって重複する箇所があることをお断りしておきたい。

上記報告をともに作成した都市間交通班の中心メンバーである野見山裕樹氏（同大学院公共政策学専攻経済政策コース専門職学位課程）からは本研究においても欠かすことができない有益な助言・助力をいただいた。遠山祐太氏（同）にもデータ分析で大きな助力をいただいた。皆様に対し、ここに重ねて御礼を申し上げたい。

なお当然のことながら、本研究におけるすべての誤りは筆者個人に帰するものである。

³¹温室効果ガスの排出量変化や競争政策上の課題など、中央リニア新幹線開通がもたらす外部効果に関する詳細な研究に興味をもたれる方は上記報告をご参照いただきたい。<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/research/prp/index.htm>

参考文献

- Adler, N., Nash, C., and Pels, E. [2007] “Air and Rail Transport in the Long Distance Passenger Market: Are the High Speed Rail Infrastructure Costs Justifiable?” Working Paper, Hebrew University Business School, Draft December 2007
- Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D. [2006] “Cost–Benefit Analysis (Third Edition)” Prentice Hall
- Ivaldi, M. and Vibes, C. [2008] “Price Competition in the Intercity Passenger Transport Market : A Simulation Model” Journal of Transport Economics and Policy, Volume 42, Part 2, p225-62
- Small, K.A. and Rosen, H.S. [1981] “Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models.” Econometrica, 49, pp. 105–130
- Steer Davies Gleave [2006] “Air and Rail Competition and Complementary” Final Report. Prepared for European Commission DG TREN
- 青山吉隆編 [2001] 「第 2 版 図説都市地域計画」、丸善
- 石岡佑太・岡森康倫・深山剛 [2007] 「JAL・JAS 合併は何をもたらしたか？ — 航空運賃の実証分析—」、東京大学公共政策大学院ワーキング・ペーパーシリーズ
- 伊藤元重・下井直毅 [2007] 「日本の空を問う なぜ世界から取り残されるのか」、日本経済新聞出版社
- 遠藤伸明 [2001] 「航空規制緩和と市場の変遷」、『運輸と経済』8月号、運輸調査局
- 小川博三 [1966] 「交通計画」、朝倉書店
- 価値総合研究所 [2008] 「航空と鉄道の LOS データ等の作成」
- 金本良嗣・蓮池勝人・藤原徹 [2006] 「政策評価ミクロモデル」、東洋経済新報社
- 城所幸弘・金本良嗣 [2006] 「ロジック型モデルと費用便益分析」、『環境問題に対応

する道路プライシングと自動車関係税制の研究』、日本交通政策研究会

- 国土交通省鉄道局監修「注解鉄道六法 平成 19 年版」、第一法規
- 榊原胖夫 [2001]「自由化 1 年後の航空輸送」、『運輸と経済』8 月号、運輸調査局
- 塩見英治 [2001]「改定航空法と競争促進の課題」、『運輸と経済』8 月号、運輸調査局
- 塩見英治 [2003]「規制緩和と低コスト企業の革新」、『運輸と経済』5 月号、運輸調査局
- 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 [2007]「平成 18 年度 LRT 整備による都市ならびに交通ネットワークへの影響調査報告書」
- 新谷洋二編 [2003]「都市交通計画（第 2 版）」、技術堂出版
- 村上英樹・加藤一誠・高橋望・榊原胖夫編 [2006]「航空の経済学」、ミネルヴァ書房
- 元田良孝・岩立忠夫・上田敏 [2006]「交通工学（第 2 版）」、森北出版
- 森地茂・山形耕一 [1993]「新体系土木工学 60 交通計画」、技術堂出版

Appendix

航空・鉄道の選択確率はそれぞれ以下で与えられるから、

$$Z_{ij}^{Air} = \frac{\exp(V_{ij}^{Rail})}{\exp(V_{ij}^{Air}) + \exp(V_{ij}^{Rail})}$$

$$Z_{ij}^{Rail} = \frac{\exp(V_{ij}^{Rail})}{\exp(V_{ij}^{Air}) + \exp(V_{ij}^{Rail})}$$

両者の比を変数とすると $V_{ij}^{Air} = \phi_{ij} + \psi p_{ij}^{Air} + \eta t_{ij}^{Air}$, $V_{ij}^{Rail} = \psi p_{ij}^{Rail} + \eta t_{ij}^{Rail}$ より、

$$\frac{Z_{ij}^{Rail}}{Z_{ij}^{Air}} = \frac{\exp(V_{ij}^{Rail})}{\exp(V_{ij}^{Air})} = \frac{\exp(\psi p_{ij}^{Rail} + \eta t_{ij}^{Rail})}{\exp(\phi_{ij} + \psi p_{ij}^{Air} + \eta t_{ij}^{Air})}$$

ここで、両辺の対数をとると、

$$\ln\left(\frac{Z_{ij}^{Rail}}{Z_{ij}^{Air}}\right) = \psi(p_{ij}^{Rail} - p_{ij}^{Air}) + \eta(t_{ij}^{Rail} - t_{ij}^{Air}) - \phi_{ij}$$

が得られる。

よって、航空・鉄道の選択確率の比の対数をとった値 $\ln\left(\frac{Z_{ij}^{Rail}}{Z_{ij}^{Air}}\right)$ を被説明変数、 ij 間の

鉄道・航空の運賃差 $p_{ij}^{Rail} - p_{ij}^{Air}$ 、 ij 間の鉄道・航空の時間差 $t_{ij}^{Rail} - t_{ij}^{Air}$ を 2 つの説明変数

として 93 路線データを用いて回帰することで、パラメーター ψ 、 η を推定することがで

きる。