

2016 年度 卒業論文

都市間における鉄道と他の交通機関の競争

慶應義塾大学 経済学部
石橋孝次研究会 第 17 期生

藤田 翔也

はしがき

本稿では「鉄道」、特に新幹線と他の交通機関（「飛行機」・「自動車」・「高速バス」）の競争に関して分析を行う。いずれの交通機関においても最近の 10 年間に於いて激変がみられ、今後も更なる変化が起これると考えられる。

鉄道に関しては、2015 年に北陸新幹線「長野・金沢間」が開業し、2016 年に北海道新幹線「新青森・新函館北斗間」が開業した。2022 年に九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」、2042 年に北海道新幹線「新函館北斗・札幌間」もそれぞれ開業する予定である。また、リニア中央新幹線も 2027 年に「東京・名古屋間」、2050 年に「東京・大阪間」の開業が予定されている。飛行機に関しては、2010 年には日本航空が経営破綻、2015 年にはスカイマークが民事再生法を適用し、国内市場においても 2012 年に LCC の参入が本格化した。自動車に関しては、自家用乗用車の保有割合が 1 世帯あたり平均で 1.61 台となっており、高速道路のネットワーク網の拡大により利便性が増加している。高速バスに関しては、きめ細やかなネットワーク網と低運賃を強みとして需要を取り込んでおり、事業者数の大幅な増加がみられる。

以上のように、いずれの交通機関においても激変がみられる中で、今後も激しい競争が行われると考えられる。本稿では都市間における鉄道と他の交通機関の競争に着目し、需要サイドと供給サイドの両側面からの分析を行い、競争の実態を明らかにしたいと考える。その分析において、本研究会で学んでいるミクロ経済学の応用分野である、産業組織論の手法を活かしたいと考える。

目次

序章	1
第1章 国内の交通市場の現状分析	2
1.1 国内旅客流動量の概要	
1.2 交通ネットワークの状況	
1.2.1 鉄道ネットワーク	
1.2.2 航空ネットワーク	
1.2.3 道路ネットワーク	
1.3 他の交通機関と比較した鉄道の利便性	
1.3.1 対飛行機	
1.3.2 対自動車	
1.3.3 対高速バス	
1.4 考察	
第2章 需要関数の推定	10
2.1 需要関数の推定方法 (Berry (1994))	
2.1.1 ロジットモデル	
2.1.2 入れ子ロジットモデル	
2.2 先行研究 (McCarthy (1997))	
2.3 国内の都市間における交通機関の需要関数の推定	
2.3.1 推定モデル	
2.3.2 需要関数の推定結果	
2.3.3 自己価格弾力性・交差価格弾力性	
2.3.4 消費者余剰	
2.4 考察	
第3章 費用関数の推定、規模の経済性・範囲の経済性の分析	24
3.1 先行研究 (Caves <i>et al.</i> (1984))	
3.2 国内の鉄道に関する密度の経済性・規模の経済性の分析	

3.2.1	推定モデル	
3.2.2	費用関数の推定結果	
3.3	考察	
第4章	費用便益分析	31
4.1	費用便益分析方法	
4.2	九州新幹線延伸に伴う費用便益分析	
4.2.1	基本的な設定および需要予測	
4.2.2	総便益および総費用の試算	
4.2.3	費用便益分析の結果	
4.3	考察	
第5章	結論と考察	39
	参考文献	41

あとがき

序章

本章では本稿全体の構成を示す。本稿では、都市間における、鉄道と他の交通機関（「飛行機」・「自動車」・「高速バス」）の競争の実態に関して分析を行う。需要サイドおよび供給サイドの両側面からの分析を行い、新幹線の延伸プロジェクトを扱った費用便益分析を行いたいと考える。

第1章では、国土交通省（2012a）に基づき、各交通機関の輸送量や分担率、交通ネットワークに関する分析を行う。また、交通機関を選択する際の消費者の選好に関する分析を行う。第2章では、需要サイドからの分析を行う。Berry（1994）に基づき需要関数の推定方法を確認し、McCarthy（1997）に基づいて国内の主要都市間における需要関数を推定した上で、自己価格弾力性、交差価格弾力性および消費者余剰を導出する。第3章では、供給サイドからの分析を行う。Caves *et al.*（1984）に基づき、新幹線を保有するJR各社を対象都市、費用関数を推定する。その上で、密度の経済性、規模の経済性に関する分析を行う。第4章では、国土交通省鉄道局（2012a）および国土交通省鉄道局（2012b）に基づき、新幹線の延伸というプロジェクトに焦点を当て、九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」の費用便益分析を行う。第5章では、本論文全体としての結論を述べ、都市間における鉄道と他の交通機関の実態に関して考察する。

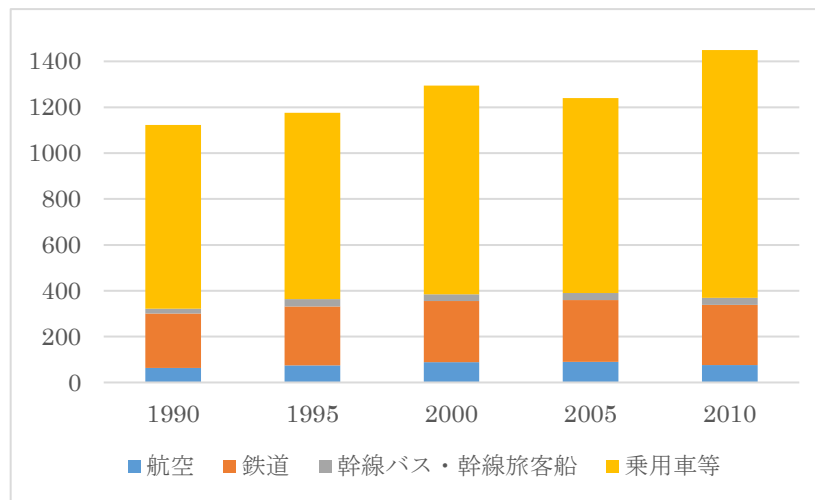
第 1 章 国内の交通市場の現状分析

本章の第 1 節では鉄道を含めた各交通機関の旅客流動量や分担率に関して、第 2 節ではネットワークの状況に関して分析を行う。また、第 3 節では他の交通機関と比較した鉄道の利便性に関して述べる。

1.1 国内旅客流動量の概要

本節では、国土交通省総合政策局（2010）に基づき幹線旅客流動（都道府県をまたぐもの）の実態に関して分析を行う。年間の旅客流動量は約 15 億人であり、国民 1 人あたりに換算すると、年間約 13 回利用していることになる。交通機関の分担率は、乗用車等が約 77%と最も大きく、鉄道が約 18%、航空が約 5%と続く。旅客流動量に関しては、1990 年から現在まで増加の傾向があることを次の図より確認できる。（図 1-1）。

図 1-1 代表交通機関別幹線旅客流動量・分担率の推移



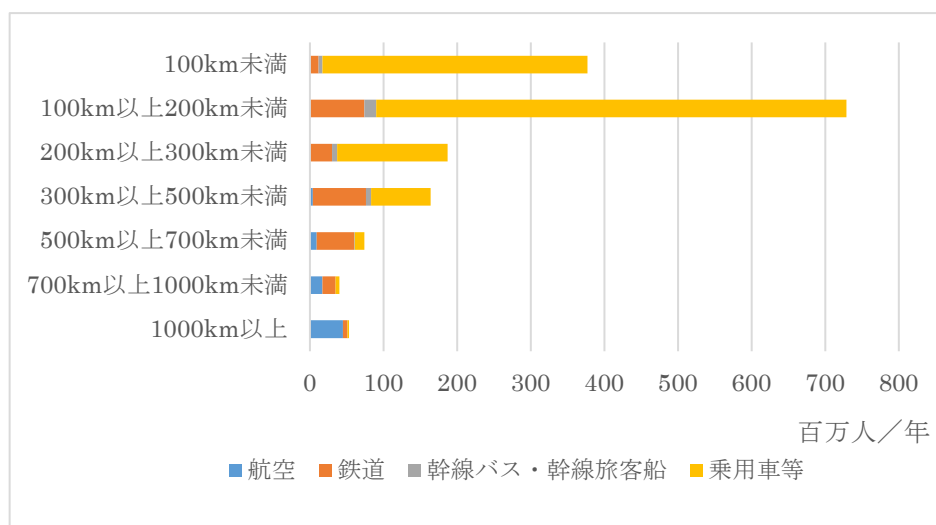
出所：国土交通省総合政策局（2010）より作成

次に日本国内の各交通機関の旅客輸送量に関して述べる。鉄道、特に新幹線の旅客輸送量は 1964 年の東海道新幹線の開業以降着実に増加し、1970 年代後半から料金の値上げに伴い一時的に減少したものの、その後は一貫して増加の傾向にあり、2013 年度は年間約 3.7 億人を輸送している。飛行機に関しては、燃油価格高騰の影響により

2007年度より減退し、2008年のリーマンショック以降の景気後退や2011年の東日本大震災の影響を受け減少傾向にあったが、東日本大震災からの復興需要やLCC参入による需要量の増加により、2012年度から旅客輸送量は増加に転じている。高速バスに関しては、きめ細やかなネットワークと低運賃や各種の運賃割引等の強みや高速道路の延長等も背景に着実に輸送人員の増加につなげており、輸送人員は2011年度の約11,000万人が、2020年度には約12,000万人に増加すると予想される。自動車に関しては、モータリゼーションの進展に伴い1960年代後半から2005年にかけて自家用乗用車の保有台数が増加した他、高速道路の延長等の傾向がみられる。

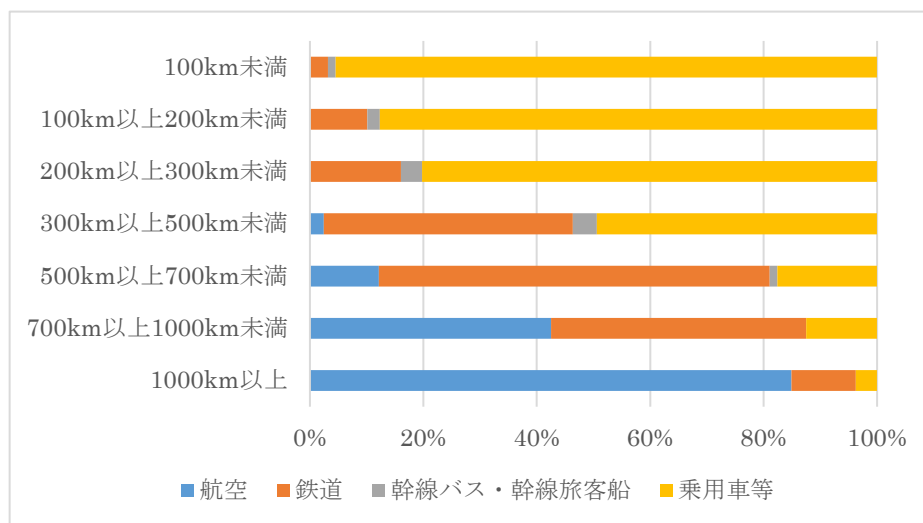
次に距離帯別代表交通機関別旅客流動量、およびその分担率に関して確認する。乗用車等は300km未満の区間で過半を分担している。鉄道は300km以上700km未満の区間でシェアの大きな割合を分担しており、航空は1,000km以上の区間で過半を分担している。また幹線バスおよび幹線旅客船の合計は、距離帯によらず1,000km未満まで一定のシェアをもっていることもわかる。(図1-2、図1-3)

図1-2 距離帯別代表交通機関別旅客流動量



出所：国土交通省総合政策局（2010）より作成

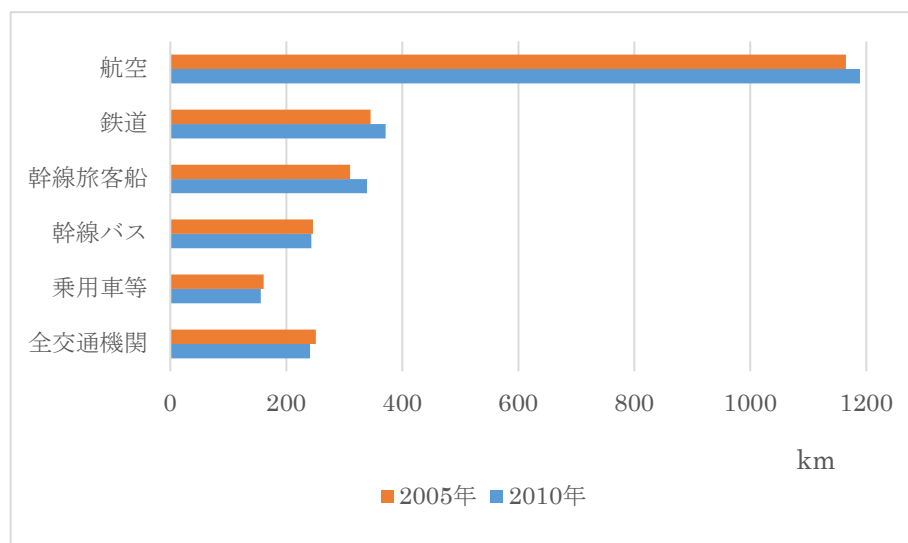
図 1-3 距離帯別代表交通機関別分担率



出所：国土交通省総合政策局（2010）より作成

次に、代表交通機関別平均トリップ長さを確認する。航空、鉄道が比較的長い距離帯の交通を担い、乗用車等が短い距離帯の交通を担う。航空の平均トリップ長さは他の交通機関の3倍以上となっている。また2005年と比較すると、2010年は流動量の多い乗用車等のトリップ長さの短縮が影響し、全交通機関の平均のトリップ長さは短くなっている。（図 1-4）

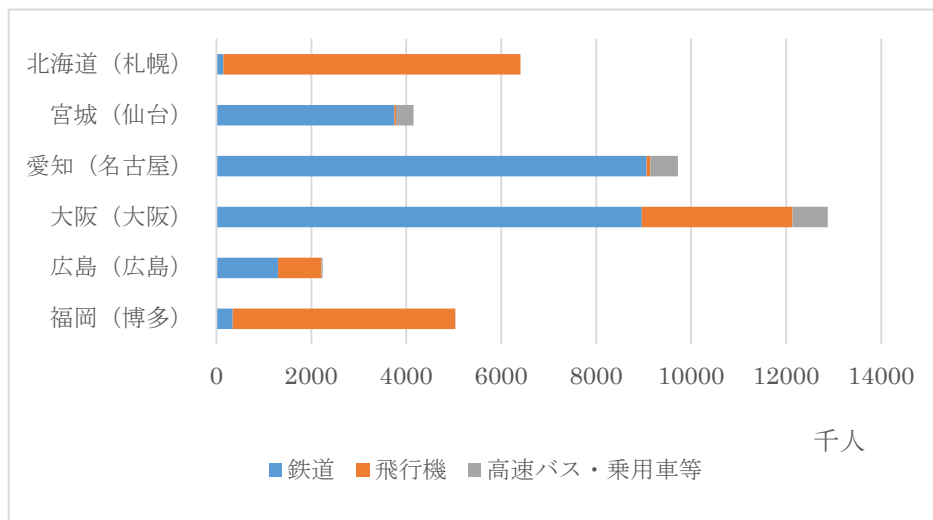
図 1-4 代表交通機関別平均トリップ長さ



出所：国土交通省総合政策局（2010）より作成

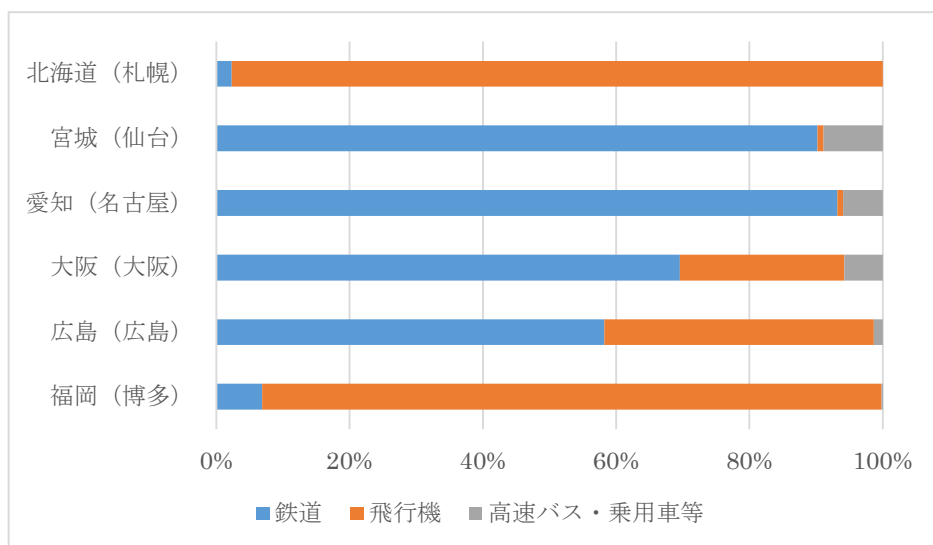
次に 2014 年度における東京と大都市・地方中核都市を結ぶ国内旅客流動量の実態に関してみる。図 1-5 および図 1-6 は、東京と札幌（北海道）・仙台（宮城）・名古屋（愛知）・大阪（大阪）・広島（広島）・博多（福岡）とを結ぶ交通機関の旅客流動量および代表交通機関別の分担率をそれぞれ表す。これらは、図 1-2 および図 1-3 との整合性がとれていることもまた確認できる。（図 1-5, 図 1-6）

図 1-5：東京と主要都市を結ぶ交通機関別の旅客流動量



出所：国土交通省ホームページより作成

図 1-6：東京と主要都市を結ぶ交通機関別の分担率



出所：国土交通省ホームページより作成

1.2 交通ネットワークの状況

本節では、国土交通省総合政策局（2016）に基づき、鉄道、航空、道路のネットワークの状況を確認する。2015年度においても、北海道新幹線「新青森・新函館北斗間」の開業、圏央道「神崎 IC・大栄 JCT」、「桶川北本 IC・白岡菖蒲 IC」、および新東名高速「浜松いなさ JCT・豊田東 JCT」の開通など、様々な面で交通ネットワークの充実化が図られた。

1.2.1 鉄道ネットワーク

1964年に東海道新幹線が導入されて以降新幹線網は拡大しており、現在営業中の新幹線および整備新幹線は、東海道新幹線「東京・新大阪間（552.6km）」、山陽新幹線「新大阪・博多間（622.3km）」、東北新幹線「東京・新青森間（713.7km）」、上越新幹線「大宮・新潟間（303.6km）」、北陸新幹線「高崎・金沢間（345.5km）」、九州新幹線（鹿児島ルート）「博多・鹿児島中央間（256.8km）」および北海道新幹線「新青森・新函館北斗間（148.8km）」であり、営業距離の合計は2943.3kmである。

現在進められている主なネットワーク整備には、整備新幹線および中央新幹線がある。整備新幹線とは、「全国新幹線鉄道整備法」に基づく1973年の「整備計画」により整備が行われている路線のことである。具体的には、北海道新幹線「新青森・札幌間」、東北新幹線「盛岡・新青森間」、北陸新幹線「東京・大阪間」、九州新幹線（鹿児島ルート）「博多・鹿児島中央間」、九州新幹線（長崎ルート）「博多・長崎間」の5つの路線である。2010年に東北新幹線「八戸・新青森間」、2011年に九州新幹線（鹿児島ルート）「博多・新八代間」、2015年に北陸新幹線「長野・金沢間」、2016年に北海道新幹線「新青森・新函館北斗間」がそれぞれ開業した。2012年に着工した区間は開業時期の前倒しが決定され、北海道新幹線「新函館北斗・札幌間」、北陸新幹線「金沢・敦賀間」はそれぞれ2040年度末、2032年度末の完成・開業を目指す。九州新幹線「武雄温泉・長崎間」は完成・開業時期を2022年度末から可能な限り前倒しするということが決定された。中央新幹線とは「全国新幹線鉄道整備法」に基づいて計画された、東京都を起点、大阪市を終点とする新幹線鉄道である。2027年に「東京・名古屋間」、2045年に「名古屋・大阪間」の開業を目指している。また、超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）や軌間可変電車（フリーゲージトレイン）といった技術促進の開発も進められ、さらなる交通網の充実化が図られる予定である。

1.2.2 航空ネットワーク

国内航空政策においては、空港整備等のハード面の施策と規制緩和による競争促進等のソフト施策を組み合わせ、ネットワークの拡充を図っている。日本では 2015 年度末時点で、97 の空港が存在する。最近の 10 年間では、2005 年に中部国際空港の開港、2007 年に関西国際空港第 2 滑走路の供用開始、2009 年に成田国際空港第 2 滑走路供用開始、2010 年に東京国際空港 D 滑走路・国際線地区運用開始、2012 年に関西国際空港第 2 旅客ターミナル供用開始、2014 年に東京国際空港 C 滑走路 3,360 メートル化等のハード面の充実化が図られた。結果的に現在は、日本の全人口のうちほぼ 100% の割合で、最寄りの空港までのアクセス所要時間が 2 時間以内となっており、配置的な側面からは航空ネットワークの整備が完成している。規制緩和による競争促進に関しては、2012 年の LCC 事業の開始が挙げられる。2016 年 3 月時点で、ピーチアビエーションは国内 14 路線、ジェットスター・ジャパンは国内 16 路線、バニラ・エアは国内 3 路線、春秋航空日本は国内 2 路線へネットワークを展開しており、エアアジア・ジャパンの新規就航も予定されており、国内旅客のうち LCC 旅客の占める割合が約 10% となっている。それに伴い、2015 年に成田国際空港第 3 旅客ターミナルの整備が完了し、関西国際空港では 2016 年度、中部国際空港では 2019 年度の供用開始に向け LCC ターミナルの整備に着手している。

1.2.3 道路ネットワーク

道路ネットワークの整備は、「第 1 次道路整備五箇年計画」が策定された 1954 年以来、現在に至るまで進められている。最近の主な道路整備の動きとしては、2015 年に圏央道「神崎 IC・大栄 JCT」開通、2015 年 7 月に京都縦貫自動車道が全線開通、2015 年に圏央道「桶川北本 IC・白岡菖蒲 IC」開通、2016 年に新東名高速「浜松いなさ JCT・豊田東 JCT」開通等が挙げられる。2016 年時点の高規格幹線道路の整備状況として、総延長は約 14,000km、供用延長は 11,271km であり、進捗率は 80% である。都市間連絡速度をみると幹線道路ネットワークが未整備の地域では遅い傾向にあり、日本は平均で時速 59km であり、諸外国と比較すると全体的に低い水準にある¹。そのため渋滞ボトルネック箇所への集中的対策を推進し、道路による都市間速達性の確保率は 52% となった。他にネットワークに関する取り組みとして、建設・管理コストの削減が可能なスマートインターチェンジ（ETC 専用インターチェンジ）の導入が進

¹都市間連絡速度とは、都市間の最短道路距離を最短所要時間で除したものを表す。

められており 2016 年時点で、全国で 84 箇所が開通している。

日本バス協会（2014）によると、2014 年度の高速バスの会社数は 313 社、運行系統数は 4,818 本、1 日の運行回数は 1 日 12,666 回、輸送人数は 1 年間で 103,737 人となっており、増加の傾向がみられる。また、連節バス、公共車両優先システム、バス専用道等を組み合わせた BRP（バス高速輸送システム）が現在国内 17 箇所を導入されており、高速バスの定時性の確保、速達性の向上や輸送能力の増大が期待される。

1.3 他の交通機関と比較した鉄道の利便性

本節では、武藤・柴田（2010）に基づき、他の交通機関と比較した鉄道の利便性に関して論じる。鉄道、特に新幹線は日本における基幹的な高速輸送体系であり、地域間の移動時間を大幅に短縮させた。また、1964 年の東海道新幹線の開業以来、乗客の死亡事故はゼロであり安全であるだけでなく、二酸化炭素の排出原単位が航空の 5 分の 1、自家用車の 8 分の 1 であり環境にもやさしいという特性をもっている。近年の新幹線は 1 列車あたりの平均遅延時分が 1 分以下という極めて低い値で安定しており、定時性という大きな特徴もある。

1.3.1 対飛行機

飛行機の最大の特徴は速達性にあり、特に 1,000km を超える長距離帯では圧倒的な分担率を占める。アクセス・イグレス交通機関利用時は、ラインホール交通機関利用時よりも数倍程度の肉体的・精神的な負担があるとされているが、飛行機の場合は出発地や目的地から空港が離れている場合、アクセス・イグレス交通機関の時間が長くなる傾向がある²。一方で鉄道、特に新幹線利用の場合は各地域から新幹線駅へのアクセス・イグレス交通機関の時間は空港までのその時間よりも短いことが多い。1 日の便数などの運行頻度も交通機関の選択に関わる要因であり、新幹線の運行本数の増大は飛行機と比較した際に、更なる利便性の向上につながると考えられる。

1.3.2 対自動車

自動車の最大の特徴は、旅行者自身が行き先、経路、出発時刻等を決め、自らが運

² 移動で主となる幹線交通機関のことをラインホール交通機関と言う。一方で、端末交通機関乗り継ぎにおいて、出発地側から幹線交通機関に乗るまでの交通機関をアクセス交通機関、幹線交通機関を降りた後に目的地までの交通機関をイグレス交通機関と言う。

転し目的地へ向かう私的交通手段であるという点である。そのため、鉄道、飛行機、高速バスなどの公共交通手段との交通機関選択における意思決定手段が異なる。運賃・費用に関しては、自動車に複数人が乗車する場合、鉄道に比べて1人当たりの旅行費用が安くなりがちである（廉価性）。所要時間に関しては、自動車がドアツードアで移動できるのに対して、鉄道の場合はターミナル駅へのアクセス交通機関、目的地の最寄り駅からのイグレス交通機関からのイグレス交通機関の利用に時間を要するため、全所要時間でみればかならずしも鉄道が有利というわけではない。その他に自動車の利便性として、随時性（出発時刻を自由に選べる）・機動性（目的地エリアで自由に移動できる）・運搬性（荷物を自由に運搬できる）があげられる。一方、鉄道の強みとしては、定時性や交通事故に対する安全性があげられ、自動車のように激しい渋滞に巻き込まれることや交通事故を起こすリスクが減少する。以上のように、対自動車を見た鉄道の強みは、定時性、安全性である一方、弱みである機動性や運搬性の確保には、「レール&レンタカー」「宅配便割引サービス」などの付帯サービスにより利便性を向上させる施策が必要である。

1.3.3 対高速バス

高速バスの最大の特徴はきめ細やかなネットワークと低運賃である。一方で、鉄道は高速バスに比べて所要時間が短いことが多い。そのため鉄道と高速バスの交通機関選択問題では、基本的に所要時間の短さを重視する旅客は鉄道を選択し、運賃の安さを重視する旅客は高速バスを選択するという意思決定構造になっている。対高速バスとの交通機関の選択行動には、定時性、速達性、廉価性の他、景観性やパークアンドライドといった要因も重要となる。

1.4 考察

本章では、国内の交通機関の流動に関する分析を行い、距離帯別の需要量や分担率から、各交通機関の特性に関する分析を行った。鉄道と他の交通機関の利便性の比較では、消費者が交通機関を選択する際にどの要素を重視するかを確認し、それぞれの交通機関の特性・強みに関して分析を行うことができた。鉄道に関しては、300～700kmの距離帯で大きなシェアを分担しており、新幹線の延伸に伴いネットワーク網が拡大していることも確認できた。また、消費者が交通機関として鉄道を選択する要因としては、速達性、定時性および安全性が大きく関わるという結果を得た。

第2章 需要関数の推定

本章では、需要サイドの分析を行う。第1節では、Berry (1994) に基づき需要関数の推定方法を紹介する。第2節では、アメリカの主要都市間における交通機関の競争の分析を行っている先行研究 McCarthy (1997) を紹介する。第3節では、国内の主要都市間における交通機関の需要関数を推定し、それぞれの交通機関の自己価格弾力性、交差価格弾力性および消費者余剰を導出する。本章は、第3章における供給サイドからの分析と合わせ、第4章の費用便益分析への橋渡しとする。

2.1 需要関数の推定方法 (Berry (1994))

本節では、需要関数の推定方法に関する理論を、Berry (1994) に基づいて論じる³。J種類の差別化された財の需要関数を推定する際、財jの需要に対して、財j自身の価格のみならず財j以外の価格の影響も受けるとき、それぞれの財の需要関数を推定する際にJ-1個の交差価格弾力性を示すパラメータを追加的に推定する必要がある。このとき自己価格弾力性と交差価格弾力性をあわせて各財についてJ個のパラメータが必要であり、全ての財について弾力性の推定を行うにはJ²個のパラメータが必要となる。そのため、パラメータの数が膨大となり自由度の問題が生じる。この問題に対処するため Berry (1994) 等では、財の代替関係に制約を置き、推定の必要のあるパラメータの数を減らす方法がとられている。2.1.1項ではロジットモデル、2.1.2項では入れ子ロジットモデルをそれぞれ紹介する。

2.1.1 ロジットモデル

ロジットモデルは最も基本的な離散選択モデルである。市場にはJ種類の差別化された財が供給されているとする。離散選択モデルでは各消費者は自らが直面する選択肢の中から最も高い効用を実現するものを選択する状況を考え、市場において消費者iが財jを選んだときの効用を u_{ij} とする。このとき消費者iは、次の式を満たす財jを選択する⁴。

$$u_{ij} \geq u_{ij'}, \quad \forall j' = 0, 1, \dots, J$$

³ 差別化された財の需要関数の推定方法に関しては、北野 (2012) も参照した。

⁴ 選択肢0は、財を購入しないという選択肢を表し、アウトサイドオプション (outside option) と呼ばれる。

消費者*i*が財*j*を選択したときの効用 u_{ij} を次の式で表す。

$$u_{ij} = x_j\beta + \xi_j - \alpha P_j + v_{ij}$$

ここで、 x_j は観察される財の特性、 ξ_j は観察されない財の特性である。 β は消費者の選好パラメータの平均である。 P_j は財の価格を表し、価格のパラメータ α は消費者間で同一であると仮定する。 v_{ijt} は消費者ごと、財ごとにランダムに定まる確率項 (random term) である。本節で紹介するロジットモデルおよび入れ子ロジットモデルでは、消費者の属性と財の品質によって定まる効用関数上の確定項 (deterministic term) を、次のように定式化する。

$$\delta_j \equiv x_j\beta - \alpha P_j + \xi_j$$

ロジットモデルでは、 v_{ij} は独立に同一の第 1 種極値分布 (independently and identically distributed (i.i.d.) type 1 extreme value distribution) に従うと仮定する。このとき消費者*i*が財*j*を選択する確率および財*j*のシェアは、それぞれ次の式で表せる。

$$\text{prob}(u_{ij} \geq u_{ij'}, \forall j' = 1, \dots, J) = \frac{e^{\delta_j}}{(\sum_{k=0}^N e^{\delta_k})}, \quad (2.1)$$

$$s_j(\delta) = \frac{e^{\delta_j}}{(\sum_{k=0}^N e^{\delta_k})} \quad (2.2)$$

選択確率は平均効用のみの関数として表されているため、全ての消費者の選択確率は共通となるので、個人の選択確率は市場全体で財*j*が選択されている割合 (シェア s_{jt}) と一致する。このとき、財*j*に対する需要関数は次の式で表せる⁵。

$$q_j = M \cdot s_j(\delta)$$

それぞれの財とアウトサイドオプションのシェアの比 ((2.2)式) を対数変換し、 $\delta_0 = 0$ と基準化を行うことでロジットモデルの推定式は導出でき、次の式で表せる⁶

$$\ln(s_j) - \ln(s_0) = \delta_j \equiv x_j\beta - \alpha P_j + \xi_j \quad (2.3)$$

このとき、ロジットモデルにおける自己価格弾力性および交差価格弾力性は次の式で表せる。

$$\frac{\partial s_j}{\partial p_r} \frac{p_r}{s_j} = \begin{cases} -\alpha p_j (1 - s_j) & \text{if } j = r \\ \alpha p_{rt} s_r & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

(2.4)式より、ロジットモデルにおいては財の多さによらず、価格のパラメータ α によ

⁵ M は市場に存在する消費者の総数であり、市場規模を表す。

⁶ δ_0 はアウトサイドオプションを選択したとき得られる効用を 0 と基準化したものである。

って価格弾力性を全て導出することができるため、財の代替関係において非常に強い制約がある。(2.1)式より、財 j と財 l のシェアの比率は次の式となる。

$$\frac{s_j}{s_l} = \frac{e^{\delta_j}}{e^{\delta_l}}$$

この式では、財 j と財 l のシェアの比は、この 2 つの財の平均効用（品質や価格）に依存して定まる。そのため、財 j 、財 l 以外の財 r の価格や品質が変化したとしてもこれら 2 つの財のシェアの比には影響を与えない。このような性質は、無関係な選択肢からの独立性（Independence of Irrespective Alternative, IIA）と呼ばれる。

2.1.2 入れ子ロジットモデル

入れ子ロジットモデル（Nested Logit Model）は、ロジットモデルにおける IIA の問題を緩和するため、財 r の価格変化に対して財 j と財 l が異なる交差弾力性をもつことを許容するモデルである。入れ子ロジットモデルは財を $G + 1$ 個のグループに分け（ $g = 0, 1, \dots, G$ ）、第 1 段階の選択として消費者は $G + 1$ 個の中から 1 つのグループを選択する。入れ子ロジットモデルは、 ϵ_{ij} は一般化極値分布（Generalized Extreme Value, GEV）に従うと仮定する。このとき、入れ子ロジットモデルの場合は効用 u_{ij} を次の式で表せる。

$$u_{ij} = \delta_j + \zeta_{ig} + (1 - \sigma)\epsilon_{ij} \quad (2.5)$$

ζ_{ig} は消費者が財に対してもつ共通の要因である。(2.5)式では、 $\zeta_{ig} + (1 - \sigma)\epsilon_{ij}$ が誤差項であり、 ϵ_{ij} が一般化極値分布に従うため、 $\zeta_{ig} + (1 - \sigma)\epsilon_{ij}$ も同様に従う。また、McFadden (1978) に示されているように、入れ子ロジットモデルが効用最大化問題と整合的となるには、 σ は 0 から 1 の間の値をとる必要がある。 $0 < \sigma < 1$ のとき、財の代替関係は所属するグループに依存する。 $\sigma \rightarrow 1$ のときはグループ内の効用水準の相関は 0 となる一方、 $\sigma \rightarrow 0$ のときはグループ内の効用水準の相関は 1 となる。特に $\sigma = 0$ のとき、入れ子ロジットモデルは通常のロジットモデルに一致する。グループ g から財 j を選択する確率（グループ内シェア）は次の式で表せる。

$$\bar{s}_{j/g}(\delta, \sigma) = [e^{\delta_j/(1-\sigma)}] / D_g, \quad (2.6)$$

$$D_g \equiv \sum_{j \in J} e^{\delta_j/(1-\sigma)}$$

また、グループ g を選択する確率は、次の式で表せる。

$$\bar{s}_g(\delta, \sigma) = \frac{D_g^{(1-\sigma)}}{[\sum_g D_g^{(1-\sigma)}]} \quad (2.7)$$

従って(2.6),(2.7)式より、財 j の市場全体でのシェアは、次の式で表せる。

$$\bar{s}_j(\delta, \sigma) = \bar{s}_{j/g}(\delta, \sigma) \bar{s}_g(\delta, \sigma) = \frac{e^{\delta_j/(1-\sigma)}}{D_g^\sigma [\sum_g D_g^{(1-\sigma)}]} \quad (2.8)$$

g_0 にはアウトサイドオプションのみが含まれるとすると、 $\delta_0 \equiv 0$ 、 $D_0 = 1$ であり、 $\bar{s}_0(\delta, \sigma) = 1/[\sum_g D_g^{(1-\sigma)}]$ となる。(2.8)式の市場シェアに関して対数変換を行うと次の式が得られる。

$$\ln(\bar{s}_j) - \ln(\bar{s}_0) = \delta_j/(1-\sigma) - \sigma \ln(D_g) \quad (2.9)$$

観察されるグループのシェアを \bar{s}_g とし、実際のグループシェアの対数をとると、次の式で表せる。

$$\ln(D_g) = [\ln(\bar{s}_g) - \ln(\bar{s}_0)] / (1-\sigma) \quad (2.10)$$

(2.10)式を(2.9)式に代入し、逆関数をとると、次の式となる。

$$\delta_j(\mathbf{s}, \sigma) = \ln(\bar{s}_0) - \sigma \ln(\bar{s}_{j/g}) - \ln(\bar{s}_0) \quad (2.11)$$

(2.11)式に、 $\delta_j = x_j \beta - \alpha p_j + \xi_j$ を代入すると、入れ子ロジットモデルの推定式が得られ、次の式で表せる。

$$\ln(\bar{s}_j) - \ln(\bar{s}_0) = x_j \beta - \alpha p_j + \sigma \ln(\bar{s}_{j/g}) + \xi_j \quad (2.12)$$

このとき、入れ子ロジットモデルにおける自己価格弾力性・交差価格弾力性は次の式で表せる。

$$\frac{\partial \bar{s}_j}{\partial p_r} \frac{p_r}{\bar{s}_j} = \begin{cases} -\alpha p_j \left[\frac{1}{1-\sigma} - \left(\frac{\sigma}{1-\sigma} \right) \bar{s}_{j/g(j)} - \bar{s}_j \right] & \text{if } j = r \\ \alpha p_j \left[\left(\frac{\sigma}{1-\sigma} \right) \bar{s}_{r/g(r)} + \bar{s}_r \right] & \text{if } j \neq r, j \in g(r) \\ \alpha p_r \bar{s}_r & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.13)$$

右辺の第1式は自己価格弾力性、第2式は2財が同じグループに所属している場合の交差弾力性、第3式は2財が異なるグループに所属している場合の交差弾力性を表す。2財が同一のグループあるいは異なるグループに属しているか否かで代替構造が異なり、IIAの問題を緩和している。一方で、異なる2つのグループのシェアの比は同様に、その2つのグループに属する財の品質のみに依存して定まるという性質があり、同じグループに属する財間では依然としてIIAの問題が生じるという点で入れ子ロジットモデルにおいても問題は存在する。このような入れ子ロジットモデルの性質は、無関係な入れ子からの独立性 (Independence of Irrespective Nests, IIN) と呼ばれる。この問題を解決する方法としては、ランダム係数ロジットモデルを用いる方法が

ある。ランダム係数ロジットモデルは、観察される財の特性 x_j の財間の近さに応じて代替関係が異なることを許容するモデルであり、より現実的な需要関数の推定を可能とする。本稿の実証分析では、データの制約により当該モデルは扱わないため、詳しくは Berry *et al.* (1995) や Nevo (2000) を参照されたい。

次に、消費者余剰の分析に関して紹介する。Small and Rosen (1981) に基づき、市場 t における消費者余剰を導出することができる。財の価格の変化、あるいは財の品質の変化が消費者余剰に与える影響について考える。離散選択モデルにおいて品質や価格の変化は平均効用の変化としてとらえることができるので、変化前を $\delta_t \equiv (\delta_{1t}, \dots, \delta_{jt})$ 、変化後を $\delta'_t \equiv (\delta'_{1t}, \dots, \delta'_{jt})$ とすると、入れ子ロジットモデルにおける前後の消費者余剰の変化は次の式で表せる。

$$\Delta CS_t = \frac{\ln(1 + \sum_{g \in G} (\sum_{l \in g} e^{\delta_{lt}/1-\sigma})^{1-\sigma}) - \ln(1 + \sum_{g' \in G} (\sum_{l \in g'} e^{\delta'_{lt}/1-\sigma})^{1-\sigma})}{\alpha}$$

入れ子ロジットモデルは $\sigma = 0$ のとき、ロジットモデルと一致する。そのためロジットモデルにおける消費者余剰の評価は、上式において $\sigma = 0$ の場合であるため、次の式で表せる。

$$\Delta CS_t = \frac{\ln(1 + \sum_{j \in J_t} e^{\delta_{jt}}) - \ln(1 + \sum_{j \in J'_t} e^{\delta'_{jt}})}{\alpha}$$

市場全体で生じる消費者余剰の水準は、財が市場に存在しない状況との対比を考えればよく、 J' が空集合であることを意味している。したがって、入れ子ロジットモデル、ロジットモデルにおける消費者余剰はそれぞれ、次の式で表せる。

$$CS_t = \frac{\ln(1 + \sum_{g \in G} (\sum_{l \in g} e^{\delta_{lt}/1-\sigma})^{1-\sigma})}{\alpha}, \quad (2.14)$$

$$CS_t = \frac{\ln(1 + \sum_{j \in g} e^{\delta_{jt}})}{\alpha}$$

2.2 先行研究 (McCarthy (1997))

McCarthy (1997) では、ロジットモデルをもとに需要関数を推定し、消費者の交通機関の選択に影響を与える要因に関する分析を行っている。アメリカの交通機関の市場に関して、「飛行機」・「都市間バス」・「鉄道」・「自動車」の4つのモード、1960～1991の32年間を対象として分析を行っている。用いる主な変数に関する説明は次の表の通りである。(表 2-1)

表 2-1：主な変数に関する説明

変数名	説明
<i>Modal Share</i>	各交通機関のモードごとのシェア
<i>Travel Cost</i>	1 マイルあたり旅客 1 人あたりの平均料金
<i>Travel Time</i>	平均所要時間
<i>Fatality Rate</i>	死亡率
<i>Mileage</i>	航空および鉄道のマイレージ
<i>Metropolitan Pop</i>	首都圏在住の人口の割合
<i>Older Pop</i>	65 歳以上の人口の割合
<i>GDP</i>	1 人あたり実質 GDP
<i>Air Deregulation</i>	航空の規制緩和のダミー
<i>Amtrak</i>	アムトラック（鉄道旅客輸送を運営する公共企業体）のダミー
<i>Bus Deregulation</i>	バスの規制緩和のダミー
<i>Time Trend</i>	年によるダミー

出所：McCarthy (1997) より作成

McCarthy (1997) による推定結果の解釈を行う。平均所要時間、平均料金および死亡率は、1%水準で負に有意となった。航空マイレージおよび鉄道マイレージはそれぞれ 1%水準で正に有意となった。1 人当たり実質 GDP の係数は、飛行機よりも鉄道の方が大きくなっており、飛行機のシェア、鉄道のシェアに対してそれぞれ 10%水準、5%水準で正に有意となった。65 歳以上の人口の割合および首都圏人口の割合の増加は、他の交通機関に比べて、飛行機のシェアを大きく減少させており、1%水準で負に有意な結果を得ている。航空の規制緩和およびアムトラックの導入はそれぞれのシェアに 1%水準で正に有意な影響を与えたが、バスの規制緩和に関しては、特に効果が見られず、有意な結果を得られなかった。各交通機関の年によるダミーはすべて 1%水準で有意な結果を得られた。McCarthy (1997) による推定結果は次の表の通りである。(表 2-2)

表 2-2 : 需要関数の推定結果 (McCarthy (1997))

変数	項目	ロジットモデル	変数	項目	ロジットモデル
<i>Travel Time</i>	<i>All</i>	-0.061*** (0.0232)	<i>Air</i>	<i>Air</i>	0.209*** (0.048)
<i>Travel Cost</i>	<i>All</i>	-0.025*** (0.002)	<i>Amtrak</i>	<i>Rail</i>	0.287*** (0.077)
<i>Fatality Rate</i>	<i>All</i>	-0.412*** (0.152)	<i>Bus</i>	<i>Bus</i>	-0.015 (0.035)
<i>Airline</i>	<i>Air</i>	3.30E-06*** (1.13E-06)	<i>Time Trend</i>	<i>Air</i>	0.107*** (0.013)
<i>Rail Mileage</i>	<i>Rail</i>	3.65E-05*** (1.69E-06)	<i>Time Trend</i>	<i>Rail</i>	0.012*** (0.003)
<i>Older Pop</i>	<i>Air</i>	-62.0*** (8.147)	<i>Time Trend</i>	<i>Bus</i>	-0.018*** (0.002)
<i>Metropolitan</i>	<i>Air</i>	-0.025* (0.014)	<i>Constant</i>	<i>Air</i>	-206.6*** (24.023)
<i>GDP</i>	<i>Air</i>	8.41E-06* (4.55E-06)	<i>Constant</i>	<i>Rail</i>	-30.5*** (5.820)
<i>GDP</i>	<i>Rail</i>	1.47E-05*** (4.19E-06)	<i>Constant</i>	<i>Bus</i>	32.1*** (3.535)
<i>GDP</i>	<i>Bus</i>	5.38E-06 (4.14E-06)	<i>Box-cox</i>	<i>All</i>	0.950*** (0.258)
			<i>Parameter</i>		

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 1%有意水準を示す。

括弧内の数値は標準誤差を表す。

出所 : McCarthy (1997) より作成

2.3 国内の主要都市間における交通機関の需要関数の推定

本節では、2010～2014 年度の国内の主要都市間における交通機関の需要関数の推定を行う。大都市および地方中核都市に着目し、東京と 6 つの都市間（札幌・仙台・名古屋・大阪・広島・博多）を結ぶ交通機関を分析対象とする。対象とする交通機関

は「飛行機」・「鉄道」・「自動車」・「高速バス」の4つとする。需要関数の推定方法に関しては第1節で紹介した Berry (1994) および第2節で紹介した McCarthy (1997) に従う。需要関数を推定した上で、自己価格弾力性、交差価格弾力性および消費者余剰を導出する。

2.3.1 推定モデル

需要関数に関しては第1節で紹介した Berry (1994) に従い、3つのモデルでの推定を行う。3つのモデル、用いる主な変数に関する説明および記述統計はそれぞれ以下の表の通りである⁷。(表2-3, 表2-4, 表2-5)

表 2-3：需要関数の推定における3つのモデル

MODEL1	ロジットモデルにより推定を行うモデル。OLS と 2SLS それぞれの場合の推定を行う ⁸ 。
MODEL2	入れ子ロジットモデルにより推定を行うモデル。入れ子の経路として、第1段階で「東京⇄札幌」・「東京⇄仙台」・「東京⇄名古屋」・「東京⇄大阪」・「東京⇄広島」・「東京⇄博多」の6つの中から路線を1つ選択し、第2段階で交通機関のモードとして、「飛行機」・「新幹線」・「自動車」・「高速バス」の4つの中から1つを選択するモデルである。OLS と 2SLS それぞれの場合の推定を行う。OLS と 2SLS それぞれの場合の推定を行う。
MODEL3	入れ子ロジットモデルにより推定を行うモデル。入れ子の経路として、第1段階で交通機関のモードを1つ選択し、第2段階で路線を1つ選択するモデルである。OLS と 2SLS それぞれの場合の推定を行う。

⁷ 都道府県間の旅客流動量に関しては、国土交通省ホームページを参照した。運賃および座席数に関しては、各社ホームページおよびプレスリリースを参照した。所要時間、運行距離および運行頻度に関しては、ナビタイムホームページを参照した。都道府県人口に関しては総務省ホームページを参照した。また、料金および所要時間に関しては、それぞれラインホール交通機関のものと、アグレス交通機関およびイグレス交通機関のもの合計とした。自動車の場合の料金は、高速道路代金およびガソリン代金の合計とし、平均乗車人数で除したものをを用いる。ガソリン価格に関しては経済産業省エネルギー庁のホームページを参照している。

⁸ OLS は最小二乗法による推定であり、2SLS は2段階最小二乗法（操作変数を含めたもの）による推定である。

表 2-4：主な変数に関する説明

変数名	変数の説明
<i>price</i>	運賃を含む料金の合計（円）
<i>time</i>	所要時間（分）
<i>distance</i>	運行距離（km）
<i>population</i>	出発地および目的地の都道府県人口（千人）
<i>seat</i>	平均座席数（席）
<i>frequency</i>	運行頻度の逆数。運行間隔。（0～1 の間の数）

表 2-5：記述統計

変数名	標本数	平均	標準偏差	最小	最大
<i>price</i>	220	19771.77	9642.464	7070	41425
<i>time</i>	220	346.2068	211.628	97	857
<i>distance</i>	220	668.8727	282.984	351.8	1174.9
<i>population</i>	220	18592.85	2422.593	15507	22258
<i>seat</i>	220	452.8101	498.2968	5	1323
<i>frequency</i>	220	0.097091	0.2235715	0	1

(2.3),(2.12)式をもとに、ロジットモデル、および入れ子ロジットモデルにおける推定式をそれぞれ次の式で表す。MODEL1 の推定式は、(2.13)式であり、MODEL2 および MODEL3 の推定式は、(2.14)式となる。(2.14)式は、(2.13)式にグループ内シェアの項が加わっている。

$$\ln(s_j) - \ln(s_0) = \alpha price_j + \beta_1 time_j + \beta_2 distance_j + \beta_3 population_j + \xi_j \quad (2.13)$$

$$\ln(s_j) - \ln(s_0) = \alpha price_j + \beta_1 time_j + \beta_2 distance_j + \beta_3 population_j + \sigma \ln(\bar{s}_{j/g}) + \xi_j \quad (2.14)$$

次に操作変数に関する設定を行う。被説明変数であるシェア（需要量）と、価格やグループ内シェアの間で内生性の問題が存在すると考えられるからである。そこで価格、グループ内シェアをそれぞれ被説明変数として回帰をした結果から、「座席数」および「運行頻度の逆数（運行間隔）」を操作変数として用いることとする。需要関数の推定において予想される説明変数の符号は次の表の通りである。（表 2-6）

表 2-6：予想される説明変数の符号

説明変数	<i>Price</i>	<i>time</i>	<i>distance</i>	<i>population</i>
符号	－	－	－	＋

2.3.2 需要関数の推定結果

各モデルに基づく需要関数の推定結果の解釈を行う。MODEL1 は、ロジットモデルによる推定を行ったが、OLS および 2SLS のどちらの推定においても、運行距離を除き、期待通りの符号が得られ、1%水準において有意な結果が得られた。MODEL2 は各路線のグループ内シェアを加えた入れ子ロジットモデルによる推定を行ったが、OLS および 2SLS のどちらの推定においても、期待通りの符号が得られ、1%水準において有意な結果が得られた（2SLS における運行距離は 10%水準において有意）。MODEL3 は各交通機関のグループ内シェアを加えた、入れ子ロジットモデルによる推定を行ったが、運行距離を除き期待通りの符号が得られ、1%水準において有意な結果が得られた（人口に関しては、OLS では 10%水準で有意であり、2SLS では有意ではない）。MODEL2 および MODEL3 の価格の係数に着目すると、2SLS による推定（操作変数を用いた推定）の方の OLS による推定よりも係数が大きいため、操作変数に関しても適切であると考えられる。また、MODEL2 および MODEL3 のどちらの場合においても、グループ内シェアの係数から計算できる σ が 0 から 1 の間の値をとっているため、入れ子ロジットモデルの推定結果は効用最大化問題と整合的な結果を示している。また、 σ の値は統計的に有意に 1 と異なるので、需要の構造はロジットモデルとは異なり、グループ間での IIA は成立しないこともわかる。従って、交通機関の利用者が第 1 段階で路線を選択するモデル (MODEL2) および第 1 段階で交通機関を選択するモデル (MODEL3) のどちらも入れ子の構造として正しいと考えられる。各モデルの推定結果は以下の表の通りである。(表 2-7, 表 2-8, 表 2-9)

表 2-7 : ロジットモデル (MODEL1) における需要関数の推定結果

説明変数	ロジットモデル			
	OLS		2SLS	
	推定値	標準誤差	推定値	標準誤差
<i>Price</i>	-0.000096***	0.000022	-0.000178***	0.000034
<i>Time</i>	-0.007871***	0.000718	-0.009469***	0.000889
<i>Distance</i>	0.003958***	0.000820	0.006382***	0.001128
<i>Population</i>	0.000185***	0.000052	0.000183***	0.000054
<i>Constant</i>	-6.591960***	1.081755	-6.081881***	1.125727
Number of obs	220		220	
Adjusted R-sq	0.4002		0.3632	

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 1%有意水準を示す。

表 2-8 : 入れ子ロジットモデル (MODEL2) における需要関数の推定結果

説明変数	入れ子ロジットモデル			
	OLS		2SLS	
	推定値	標準誤差	推定値	標準誤差
<i>Price</i>	-6.51e-06***	2.20e-06	-0.000110**	4.76e-06
<i>Time</i>	-0.000240*	0.0000842	-0.000662***	0.000185
<i>Distance</i>	-0.000287*	0.0000825	-0.000069	0.000168
<i>population</i>	0.000208**	4.49e-06	0.000207***	5.79e-06
σ	0.986063***	0.006406	0.929260***	0.016755
<i>Constant</i>	-5.442076***	0.121619	-5.512208***	0.121619
Number of obs	220		220	
Adjusted R-sq	0.9946		0.9926	

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 1%有意水準を示す。

表 2-9：入れ子ロジットモデル (MODEL3) における需要関数の推定結果

説明変数	入れ子ロジットモデル			
	OLS		2SLS	
	推定値	標準誤差	推定値	標準誤差
<i>Price</i>	-0.000048***	7.18e-06	-0.000145***	0.000016
<i>Time</i>	-0.006704***	0.000250	-0.008562***	0.000425
<i>Distance</i>	0.003715***	0.000284	0.006787***	0.000533
<i>population</i>	0.000033*	0.000019	9.70e-06	0.000029
σ	0.857930***	0.021558	0.976099***	0.077008
<i>Constant</i>	-1.648001***	0.387461	-1.378858**	0.647187
Number of obs	220		220	
Adjusted R-sq	0.9283		0.8587	

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 1%有意水準を示す。

2.3.3 自己価格弾力性・交差価格弾力性

本節では、MODEL2 (表 2-8) の推定結果をもとに、主要都市間における各交通機関の自己価格弾力性および交差価格弾力性を分析する。交差価格弾力性に関しては同じグループ内 (同じ路線内) のものと、他グループ内 (他路線内) のものの 2 つを導出する。入れ子ロジットモデルの場合、導出方法は(2.13)式に従う。

鉄道は、仙台間・名古屋間・大阪間など 300~700km の距離帯では自己価格弾力性の値が小さく、自動車や高速バスといった他の交通機関との競争度合が小さい。一方で、札幌間・博多間など 700km 以上の距離帯となると、飛行機との厳しい競争にあることがうかがえる。自動車は、交通機関の選択において私的交通手段であるという特質 (他は公共交通機関) から、自己価格弾力性の値が低くなっていると考えられる。入れ子ロジットモデルでは IIA の問題を解決しており、同じグループ間の交差価格弾力性と比較して、異なるグループ間に属する交差価格弾力性が小さくなっていることが確認でき、現実との整合性が確認できる。自己価格弾力性・交差価格弾力性の結果は次の表の通りである。(表 2-10 の (i,j) 要素はモデル i の 1% 価格上昇についてモデル j の需要の増加率を表す。表の太文字は自己価格弾力性、薄いグレーは同じ路線内の交差価格弾力性、濃いグレーは他路線内の交差価格弾力性をそれぞれ表す。)

表 2-10：主要都市間における交通機関の自己価格弾力性・交差価格弾力性

東京⇄札幌	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-0.4314	4.9403	—	—	0.0436
鉄道	0.0859	-4.7263	—	—	0.0008
東京⇄仙台	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-3.0969	0.0278	0.0278	0.0278	0.0002
鉄道	1.4589	-0.2514	1.4589	1.4589	0.0118
自動車	0.0533	0.0533	-0.5826	0.0533	0.0004
高速バス	0.0627	0.0627	0.0627	-1.0607	0.0008
東京⇄名古屋	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-3.2726	0.0274	0.0274	0.0274	0.0005
鉄道	1.4944	-0.1988	1.4944	1.4944	0.0282
自動車	0.0354	0.0354	-0.5947	0.0354	0.0007
高速バス	0.0607	0.0607	0.0607	-1.0187	0.0011
東京⇄大阪	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-2.7689	0.8511	0.8511	0.8511	0.0211
鉄道	1.4628	-0.7435	1.4628	1.4628	0.0363
自動車	0.0495	0.0495	-0.8543	0.0495	0.0012
高速バス	0.0602	0.0602	0.0602	-1.3187	0.0015
東京⇄広島	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-3.4739	2.1070	2.1070	2.1070	0.0093
鉄道	1.5828	-1.3301	1.5828	1.5828	0.0070
自動車	0.0169	0.0169	-1.3413	0.0169	0.0001
高速バス	0.0242	0.0242	0.0242	-1.9146	0.0001
東京⇄博多	飛行機	鉄道	自動車	高速バス	他路線
飛行機	-0.8098	5.5147	5.5147	5.5147	0.0544
鉄道	0.2260	-3.2780	0.2260	0.2260	0.0022
自動車	0.0100	0.0100	-1.7895	0.0100	0.0001
高速バス	0.0044	0.0044	0.0044	-2.2856	0.0000

2.3.4 消費者余剰

(2.14)式に従い、2014年度の東京と各主要都市を結ぶ各交通機関の消費者余剰を導出した。路線別の消費者余剰では、大阪間および名古屋間の大都市圏の値が最も大きく、現実との整合性が得られている。また、交通機関別の消費者余剰に関しては、他の交通機関と比較して鉄道の余剰が最も大きくなっている。主要都市間における路線別・交通機関別の消費者余剰の導出結果は次の表の通りである⁹。(表 2-11, 表 2-12)

表 2-11：主要都市間における路線別の消費者余剰

⇔札幌	⇔仙台	⇔名古屋	⇔大阪	⇔広島	⇔博多
892.94	586.94	3760.98	4680.20	185.95	870.36

表 2-12：主要都市間における交通機関別の消費者余剰

飛行機	鉄道	自動車	高速バス
2646.18	9072.02	62.94	46.58

2.4 考察

本章では、Berry (1994) および McCarthy (1997) に基づき、国内の主要都市間における需要関数の推定を行った。消費者が交通機関を選択する際に価格、所要時間および運行距離の3つの要素が重要であることが明らかになった。また、自己価格弾力性や交差価格弾力性を導出することで、主要都市間における鉄道と他の交通機関の競争度合いに関する分析を行った。鉄道に関しては、300km～700kmの距離帯で比較的他の交通機関との競争度合いが小さいが、700km以上の距離帯では飛行機との厳しい競争にあり、第1章の現状分析と整合性のある結果となった。消費者余剰の導出も行ったが、対象とした区間では新幹線のネットワーク網が発達していることもあり、鉄道の消費者余剰の合計は他の交通機関と比較して、最も大きな値となった。

⁹ 表 2-11 および表 2-12 の数値の単位は「億円」である。

第3章 費用関数の推定、規模の経済性・範囲の経済性の分析

本章では、費用関数を推定した上で、密度の経済性 (economies of density) および規模の経済性 (economies of scale) に関する分析を行う。第1節では先行研究 Caves *et al.* (1984) を紹介する。第2節では、先行研究に基づき、新幹線を保有する日本の鉄道会社を対象に費用関数を推定し、供給サイドのネットワーク網拡大のインセンティブに関して分析する。第3節では考察を述べる。第2章では、需要サイドからの分析を行ったが、本章では供給サイドからの分析を行い、第4章への橋渡しとする。

3.1 先行研究 (Caves *et al.* (1984))

Caves *et al.* (1984) はアメリカの航空市場を対象とし、規模の経済性および範囲の経済性に関する分析を行っている。密度の経済性 (Return to Density, RTD) および、規模の経済性 (Return to Scale, RTS) に関する定義は先行研究により異なるが、本稿では、Caves *et al.* (1984) に従い次のように定義する。

$$RTD = \frac{1}{\varepsilon_y}, \quad (3.1)$$

$$RTS = \frac{1}{\varepsilon_y + \varepsilon_p} \quad (3.2)$$

ここで、 ε_y は総費用の産出量に対する弾力性、 ε_p は総費用のネットワークの大きさ（運行地点数）に対する弾力性を表す¹⁰。ここで、費用関数を次の式で表す。

$$CT = f(Y, P, W, Z, T, F) \quad (3.3)$$

CT は総費用、 f はトランスログ型の関数、 Y は産出量、 P はネットワークの大きさ（運行地点の数）、 W は投入要素価（賃金・燃料・航空設備・資本）、 Z は制御変数（座席利用率・運行距離）、 T は時間ごとの特性、 F は会社ごとの特性を表す。

費用関数に関してはトランスログ型の費用関数を用い、次の式で表せる¹¹。

¹⁰ Caves *et al.* (1984) の航空市場の分析における、密度に関する経済性とは、既存の航空便の座席数等を増やすことにより、1単位あたりのコストが逓減するか否かであり、規模に関する経済性とは、新たな路線の便を追加的に就航することにより、1単位あたりのコストが逓減するか否かである。

¹¹ トランスログ型の費用関数は、対数値の1次の項、2乗の項、交差項をそれぞれ説明変数に取っている。未知の費用関数に対して、2次の近似を行うことができる特徴もあり、交通経済学の費用に関する分析では、最も一般的に用いられている費用関数の型である。

$$\begin{aligned}
\ln CT = & \alpha_0 + \sum_T \alpha_T + \sum_F \alpha_F + \alpha_Y \ln Y + \alpha_N \ln N + \sum_i \beta_i \ln W_i + \sum_i \phi_i \ln Z_i \\
& + (1/2)\delta_{YY}(\ln Y)^2 + (1/2)\theta_{NN}(\ln N)^2 + (1/2) \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln W_i \ln W_j \\
& + (1/2) \sum_i \sum_j \psi_{ij} \ln Z_i \ln Z_j + \sum_i \rho_{Yi} \ln Y \ln W_i + \sum_i \mu_{Yi} \ln Y \ln Z_i \\
& + \sum_i \zeta_{Ni} \ln N \ln W_i + \sum_i \eta_{Ni} \ln N \ln Z_i + \sum_i \sum_j \lambda_{ij} \ln W_i \ln Z_j
\end{aligned} \tag{3.4}$$

また、トランスログ型の費用関数では投入要素価格の1次同次性より次の式の制約がある。

$$\sum_i \beta_i = 1, \sum_i \gamma_{ij} = \sum_j \gamma_{ji} = 0, \sum_i \rho_{Yi} = 0, \sum_i \lambda_{ij} = 0 \tag{3.5}$$

シェパードの補題より、投入要素のシェアは、費用関数の一部をとった形として次の式で表せる。

$$C_i = \beta_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln W_j + \rho_{Yi} \ln Y + \sum_j \lambda_{ij} \ln Z_j \tag{3.6}$$

Caves *et al.* (1984) の分析は1970～1981年のアメリカにおける12の大手航空会社と9の地方航空会社を対象としており、標本数は合計で208となる。費用関数の推定に関しては、以下の4つのモデルで回帰を行っている。推定を行う4つのモデル、用いる主な変数に関する説明は次の表の通りである。(表3-1, 表3-2)

表 3-1 : 推定を行う 4 つのモデル

MODELA	総費用を被説明変数にとり、制約なしのトランスログ型で回帰
MODEL B	1 次の項だけを説明変数にとり線形で回帰
MODEL C	変動費用を被説明変数にとり、制約なしのトランスログ型で回帰
MODEL D	会社ダミーを用いずにトランスログ型で回帰

出所 : Caves *et al.* (1984) より作成

表 3-2 : 主な変数に関する説明

変数名	説明
<i>Outputs</i>	産出量。乗客 1 人 1 マイル当たりの収入。
<i>Points Served</i>	運行地点数
<i>Stage Length</i>	運行距離
<i>Load Factor</i>	座席利用率
<i>Labor Price</i>	平均賃金
<i>Fuel Price</i>	燃料価格
<i>Capital-Materials Price</i>	資本価格
<i>Capacity</i>	容積

出所 : Caves *et al.* (1984) より作成

総費用を被説明変数にとり、制約なしのトランスログ型で回帰した結果 (MODEL A) の解釈を行う。総費用および各変数は対数の形をとり基準化されているため、1 次の項の係数は費用の弾力性の値となる。また、投入要素価格の弾力性は、総費用のシェアの割合に等しくなっているため、労働賃金、燃料、資本はそれぞれ総費用の約 36%、約 17%、約 48% の割合を占める。産出量、運行地点数の 1% の増加は、それぞれ費用の 0.804%、0.132% の増加につながる。(3.1) 式および (3.2) 式に基づき、密度に関する収穫は $1/0.804 = 1.243$ 、規模に関する収穫は $1/(0.804 + 0.132) = 1.068$ であるため、規模に関しては収穫一定、密度に関しては収穫逓増という結果が得られた。この結果より、Caves *et al.* (1984) では、アメリカの航空市場において、密度の増加は費用の逓減につながるものの、ネットワークの増加は費用の逓減にはつながらないという結論を導いている。費用関数の推定結果は以下の表の通りである。(表 3-2。1 次の項のみを抜粋して記載している)

表 3-2 : 費用関数の推定結果

変数名	MODEL A	MODEL B	MODEL C	MODEL D
<i>Outputs</i>	0.804*** (0.034)	0.824*** (0.029)	0.719*** (0.043)	0.922*** (0.019)
<i>Points Served</i>	0.132*** (0.031)	0.128*** (0.029)	0.139*** (0.033)	0.155*** (0.024)
<i>Stage Length</i>	-1.48*** (0.054)	-1.40*** (0.039)	-0.46*** (0.055)	-2.20*** (0.024)
<i>Load Factor</i>	-2.64*** (0.070)	-2.61*** (0.066)	-1.45*** (0.071)	-2.84*** (0.079)
<i>Labor Price</i>	0.356*** (0.002)	0.357*** (0.003)	0.422*** (0.002)	0.357*** (0.018)
<i>Fuel Price</i>	0.166*** (0.001)	0.478*** (0.003)	0.196*** (0.001)	0.166*** (0.001)
<i>Capital-Materials Price</i>	0.478*** (0.002)	0.478*** (0.003)	0.382*** (0.002)	0.477*** (0.02)
<i>Capacity</i>	—	—	0.153*** (0.045)	—

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 10%有意水準を示す。

括弧内の数値は標準誤差を表す。

出所 : Caves *et al.* (1984) より作成

3.2 国内の鉄道に関する密度の経済性・規模の経済性の分析

3.2.1 推定モデル

前節で紹介した Caves *et al.* (1984) に基づき、国内の鉄道を対象とし、密度の経済性および規模の経済性に関する分析を行う。密度の経済性および規模の経済性の分析に用いる費用関数をはじめに導出する。データセットは 2000~2014 年度の国内における新幹線を保有する鉄道会社を対象とする。具体的には、東海旅客鉄道、東日本旅

客鉄道、西日本旅客鉄道、九州旅客鉄道の4社を対象とした¹²。費用関数は、(3.1)式を想定し、(3.4)式と同じくトランスログ型のものを用い、(3.5)式の投入要素価格に関する1次同次性についても考慮する。変数には、総費用、産出量、ネットワークの大きさ、輸送効率、人件費、燃料価格および資本価格を用いる¹³。また年次ダミーとして、 D_{2002} 、 D_{2010} の2つを考え、それぞれの年度以降1をとる変数であるとする。それぞれ新幹線の延伸が行われた年であるためであり、2002年度は東北新幹線「盛岡・八戸間」、2010年度は東北新幹線「八戸・新青森間」である。企業ダミーに関しても、各企業の場合を考えた。主な変数に関する説明および記述統計それぞれ以下の表の通りである¹⁴。(表3-3, 表3-4)

表3-3：主な変数に関する説明

変数名	変数名	変数名	変数名
Y	産出量	$W1$	人件費
N	ネットワークの大きさ	$W2$	燃料価格
Z	輸送効率	$W3$	資本価格（減価償却費）

表3-4：記述統計

変数名	標本数	平均	標準偏差	最小	最大
Y	54	23.89524	3.276774	20.68909	44.248146
N	54	712.5778	267.5668	288.9	1194.2
$W1$	54	171895.9	90625.35	23767	342041
$W2$	54	41277.42	14759.35	7259.3	71577
$W3$	54	179604.2	83299.82	24957	280627
Z	54	53.7904	7.677246	40.6	67.7

¹² 九州旅客鉄道に関しては、データの制約により、2010～2014年度の5年間とし、北海道旅客鉄道に関しては新幹線の保有開始年度が2015年であるため、対象外とした。

¹³ 用いる変数のデータは全て、各企業の有価証券報告書および国土交通省ホームページを参照している。また、変数の設定に関しては、Caves *et al.* (1984) および Ida and Suda (2004) に倣った。

¹⁴ 産出量に関しては旅客収入を旅客人キロで除したもの（人キロ当たりの収入）を用いる。ネットワークの大きさは営業キロを用いる。また、燃料価格に関するデータは直接得られなかったため、動力費を旅客車キロで除したものを代用する。制御変数としては輸送効率（座席利用率）を用いる。

3.2.2 費用関数の推定結果

費用関数の推定結果に関する解釈を行う。先行研究と同様に、推定値は対数の形をとり、かつ平均により基準化を行っているため、各要素の1%の増加が総費用の何%の増加につながるかをそのまま読み取れる。1次の項に着目するとすべて期待通りの符号が有意に得られた。産出量の1%の増加は総費用の0.60%の増加につながる。ネットワークの大きさに関しては、1%の増加は費用の0.33%の増加につながる。また、投入要素価格に関して1次同次性より、人件費、燃料価格および設備費がそれぞれ、総費用の45.79%、17.94%、36.27%を占めることが分かる。制御変数として用いた座席利用率は、期待通り負に有意となった。2乗の項および交差項に関しても、11個の項で有意な結果が得られており、トランスログ型の関数を用いたことが適切であったことも確認できる。ダミー変数に関しては、他の係数が最も有意になった D_{2010} のみを用い、1%水準において負に有意な結果を得た。これは東北新幹線の延伸に伴い、従来の在来線特急を廃止することができ、効率的な旅客輸送を実現でき費用の低下につながっていることが考えられる。企業ダミーに関しては、有意な結果が得られなかったため説明変数には含めなかった。費用関数の推定結果は表3-5の通りである。

次に、推定した値をもとに、密度の経済性および規模の経済性に関する分析を行う¹⁵。(3.1)式より密度に関する収穫は、 $RTD = 1/0.60 = 1.67$ であるため、密度の経済性が確認できる。すなわち、運行頻度や座席数を増加させた方が、費用の逓減につながることをわかる。また、(3.2)式より規模に関する収穫は、 $RTS = 1/(0.60 + 0.33) = 1.08$ であるため、規模の経済性に関して確認できる。すなわち、新幹線のネットワーク網を拡大したほうが、費用の逓減につながることもまた確認できる。

¹⁵ 新幹線に関する密度の経済性が存在するとは、運行頻度や座席数の増加（産出量の増加）に伴い費用の逓減があることを表す。規模の経済性が存在するとは、ネットワーク網の拡大に伴い、費用の逓減があることを表す。また、範囲の経済性とは、新幹線および在来線の兼営を兼営することにより費用の低下が見込めることである。具体的には、 $SC^A = SC^B = \{C(Y^A) + C(Y^B) - C(Y^D)\}/C(Y^D)$ の値が正のときに1企業ですべてを生産したほうが費用は低くなるため、範囲の経済性が存在することとなる（ $C(Y)$ は費用関数を表し、 $A \cup B = D$ $A \cap B = \emptyset$ を満たす）。日本の都市間鉄道に関する範囲の経済性の分析はIda and Suda (2004)が行っており、JRの本州3社に関して範囲の経済性の存在を確認している。

表 3-5 : 費用関数の推定結果

	推定値	標準誤差		推定値	標準誤差
α_Y	0.595842*	0.310239	ψ_{z1z1}	12.42056	9.306102
α_N	0.333573***	0.122046	ρ_{Y1W1}	-1.378944	0.983969
β_{w1}	0.457912***	0.067440	ρ_{YW2}	0.5598256	0.948051
β_{w2}	0.179360**	0.079359	ρ_{YW3}	0.8191184	0.875804
β_{w3}	0.362728***	0.072679	μ_{YZ}	-2.550217	1.721073
ϕ_{z1}	-0.715599*	0.398589	ζ_{NW1}	1.748425***	0.459478
δ_{YY}	1.918098	1.606923	ζ_{NW2}	-3.13299***	0.647274
θ_{NN}	1.354353	1.140340	ζ_{NW3}	1.384566***	0.473703
γ_{w1w1}	0.541029	0.381326	η_{NZ}	-3.785443	3.036562
γ_{w2w2}	2.054728***	0.583657	λ_{W1Z}	-4.206637***	1.450267
γ_{w3w3}	0.042236	0.220817	λ_{W2Z}	8.653964***	2.022849
γ_{w1w2}	-1.276760***	0.447695	λ_{W3Z}	-4.447328***	1.071530
γ_{w2w3}	-0.777968**	0.289913	D2010	-0.0576928***	0.017630
γ_{w3w1}	0.735731***	0.189816	α_0	0.0015076	0.035896

***は 1%水準、**は 5%水準、*は 10%水準で有意を表す。

3.3 考察

本章では、新幹線を保有する鉄道会社を対象に費用関数の推定を行った。産出量やネットワークの大きさに着目し、密度の経済性および規模の経済性があることを確認できた。すなわち、新幹線の運行頻度の増大やネットワーク網の拡大をすることのインセンティブが供給サイドにあるということが明らかになった。今回の結果は、先行研究とも整合性のある結果となった。

4章 費用便益分析

第2章では需要関数を推定することで、需要サイドの観点から各交通機関の競争の実態を確認した。第3章では、供給サイドの観点から、費用関数を推定し密度の経済性・規模の経済性に関する分析を行い、ネットワーク網の拡大は費用の通減につながるという結果を得た。本章では、需要サイドおよび供給サイドの両側面が深く関係する、よりミクロ的なプロジェクトに焦点をあて、費用便益分析を行うことで、鉄道と他の交通機関に関する競争の分析を行う。第1節では費用便益分析の方法を紹介する。第2節では九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」の延伸プロジェクトの費用便益分析を行い、第3節で考察を述べる。本章におけるプロジェクトの評価の方法は、国土交通省鉄道局（2012a）および国土交通省鉄道局（2012b）に従う。

4.1 費用便益分析の方法

プロジェクトを評価する際の費用便益分析の指標は、費用便益比、純現在価値および経済的内部収益率の3つがある。費用便益比（*CBR* : Cost-Benefit Ratio）は、 $CBR = B/C$ で表され、費用に対する便益の相対的な大きさを比で表したものである¹⁶。純現在価値（*NPV* : Net Present Value）は、 $NPV = B - C$ で表され、便益から費用を差し引いたものである。経済的内部収益率（*EIRR* : Economic Internal Rate of Return）は、 $EIRR =$ 純現在価値*NPV*が0となる利率*i*で表され、「投資した資本を計算期間内で生じる便益で逐次返済する場合に返済利率がどの程度までなら収支が見合うか」を考えたときの収支が見合う限度の利率のことである。便益および費用はそれぞれ次の式で表せる¹⁷。

$$B = \sum_{tb=1}^Z \left(\frac{B_{tb}}{(1+i)^{T^0+tb-T^C}} \right) + \frac{SV}{(1+i)^{T^0+Z-T^C}}, \quad (4.1)$$

¹⁶ *B* は総便益を表し、現在価値化した各年度の便益の合計である。*C* は総費用を表し、現在価値化した各年度の費用の合計である。

¹⁷ *B* は総便益[円]、*C* は総費用[円]、*B_{tb}* は*tb*期の便益[円/年]、*CC_{tc}* は*tc*期の費用[円/年]、*tb* は供用開始年度を1とする各年度、*tc* は建設開始年度を1とする各年度、*SV* は計算期末の残存価値[円]、*Z* は供用開始年度を1とする計算期末の年度、*T⁰* は建設開始年度を1とする建設完了の年度、*T^C* は建設開始年度を1とする評価時点の年度、*i* は社会的割引率である。

$$C = \sum_{tc=1}^{T^0+Z} \left(\frac{CC_{tc}}{(1+i)^{tc-T^c}} \right) \quad (4.2)$$

本稿では、便益に関しては、「利用者便益」・「供給者便益」・「環境改善便益」・「残存価値」の4つを考える。一方で、費用に関しては、「建設投資額」・「維持改良費」・「再投資費」の3つを考える。

4.2 九州新幹線延伸に伴う費用便益分析

4.2.1 基本的な設定および需要予測

具体的な事例として、九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」の延伸に関する費用便益分析を行う。総便益および総費用を試算した上で、費用便益比および純現在価値を導出し、プロジェクトの投資効果を確認する。基本的な設定は国土交通省（2012a）に基づき、便益及び費用それぞれについて **with**（整備事業の実施あり）と **without**（整備事業の実施なし）の状況を比較して算定する。九州新幹線（長崎ルート）は、2012年度に「諫早・長崎間」の建設が開始し、2022年中の「武雄温泉・長崎間」の営業開始を目指している。計算期間は、建設期間に加えて開業年度から50年とするため2012～2071年度とし、現在価値化の基準年度は、2011年度（設開始年度の前年度）とする。社会的割引率は、国土交通省（2009）を参考に4%とする。人件費、運賃および物価の変動分を考慮せず、評価時点の実質価格で評価する。また、将来時点の便益の想定にあたり今後の人口減少を考慮する¹⁸。

新幹線の営業が予定されているのは「武雄温泉・長崎間」の69.7kmである。一方で「新鳥栖・武雄温泉間」に関しては、フル規格で整備し、フリーゲージトレインで運行し直通運転を行う場合、武雄温泉で在来線特急と新幹線の対面乗り換えを行う場合の2通りの方法が検討されている。本稿の分析ではフル規格で整備した場合の費用便益分析を行う。長崎市のホームページに基づく、九州新幹線（長崎ルート）開通後の「博多・長崎間」は28分短縮され、運行本数は速達型が16本、緩行型が15本の合計31本となる予定である。

新幹線の開通に伴う需要予測を行うために、長崎と各都市を結ぶ交通機関を対象に需要関数の推定を行う。「飛行機」・「鉄道」・「自動車」・「高速バス」の4つのモードを

¹⁸ 将来人口の予測に関しては、国立社会保障・人口問題研究所（2013）による中位推計に基づき設定する。

対象に 2010～2014 年度の期間で分析を行う¹⁹。需要関数推定の際に用いる変数に関しては、第 2 章と同じく、被説明変数にシェア（需要量）、説明変数に価格・所要時間・運行距離・人口を用い、操作変数としては座席数および運行頻度の逆数（運行間隔）を用いる。鉄道と他の交通機関の競争を考慮し、消費者が第 1 段階で目的地を選択し、第 2 段階で交通手段を選択する入れ子ロジットモデルを用い、推定式についても(2.14)式と同様のものを用いる。入れ子ロジットモデルにより推定を行った結果（2SLS）が次の表である。（表 4-1）

表 4-1：需要関数の推定結果（2SLS）

	推定値	標準誤差
<i>price</i>	-0.000141***	0.000052
<i>time</i>	-0.007637***	0.001878
<i>distance</i>	0.0006987	0.001745
<i>pop</i>	0.000388***	0.000039
σ	0.442167***	0.154270
<i>constant</i>	-2.866624***	0.233813
Number of obs	580	
Adjusted R-sq	0.6050	

***は 1%有意、**は 5%有意、*は 10%有意水準を示す。

表 4-1 の需要関数の推定結果の解釈を行う。価格および所要時間に関しては、1%水準において負に有意となり、期待通りの結果となった。人口に関しても、1%水準において正に有意となり、期待通りの結果となった。運行距離に関しては期待とは逆の符号となり、有意にもならなかった。 σ の値は、0～1 の間の値をとっており、有意に $\sigma = 0$ とは異なるため、入れ子ロジットモデルの構造も適当であると考えられる。また、決定係数の値からも、説明変数が適当であると考えられる。

九州新幹線の開通に伴い、「費用低下」・「時間短縮」・「乗換回数減少」の 3 つの効果

¹⁹ 日本全国を 50 のゾーン（北海道に関しては道北・道東・道央・道南）に分割し、長崎と各都道府県のゾーンを結ぶ路線を対象とする。需要人数が 1 日当たり 1 人以上であることを満たす 58 路線を対象とした。またフェリーに関しては、島内での移動が考えられ、直接の競争相手とはならない場合があるため分析の対象外とした。

をそれぞれ貨幣換算することで一般化費用を求め、その上で需要量の変化分を導出する²⁰。表 4-1 の需要関数の推定結果をもとに、(2.13)式に従い価格弾力性を導出し、需要量の増加分および増加率を予測した結果が次の表である。(表 4-2)

表 4-2：各都市から長崎への鉄道の需要量の増加分および増加率

	増加分	増加率		増加分	増加率
埼玉	391 人	39.06%	和歌山	742 人	39.05%
千葉	585 人	39.06%	鳥取	976 人	38.89%
東京	11,444 人	69.36%	島根	781 人	38.61%
神奈川	3,082 人	39.02%	岡山	9,452 人	38.90%
富山	625 人	39.06%	広島	24,481 人	38.61%
石川	781 人	39.06%	山口	8,794 人	38.91%
福井	1,054 人	39.05%	徳島	664 人	39.06%
長野	430 人	39.05%	香川	3,394 人	39.00%
岐阜	1,406 人	39.06%	愛媛	742 人	39.06%
静岡	3,666 人	39.00%	高知	469 人	39.06%
愛知	25,985 人	59.19%	福岡	489,942 人	34.37%
三重	234 人	39.07%	佐賀	118,790 人	39.14%
滋賀	1,484 人	39.05%	熊本	22,856 人	52.54%
京都	15,003 人	45.60%	大分	8,641 人	49.66%
大阪	52,307 人	61.54%	宮崎	658 人	54.84%
兵庫	24,750 人	61.11%	鹿児島	20,601 人	47.25%
奈良	430 人	39.06%			

九州新幹線（長崎ルート）の開通に伴い、営業キロの増加分は 69.7km となる。また、需要予測結果に基づく鉄道の輸送人の増加分は 1753.67 千人であり、旅客人キロの増

²⁰ 鉄道・運輸機構（2008）に基づき、時間価値を 77.8円/分とし、乗換回数を説明変数とする鉄道経路モデルを参考に乗換時間は 27分/回とする。また、誘発需要に関しては 1%存在すると仮定する。今回のモデルでは、九州新幹線（長崎ルート）の開通に伴い、飛行機、自動車、高速バスといった他の交通機関が対抗戦略をとらない場合を想定する。

加分は 984.02 百万人キロである。

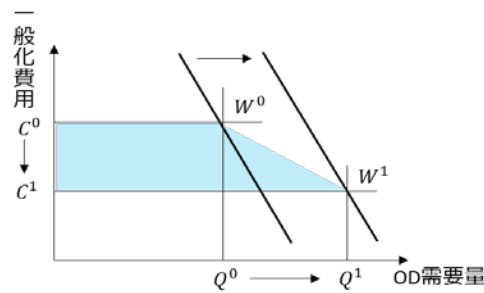
4.2.2 総便益および総費用の試算

総便益は、利用者便益・供給者便益・環境改善便益・残存価値の 4 つを考える。

まずは利用者便益を求める。利用者便益としては、総所要時間の短縮、交通費用の減少、乗換利便性の向上、運行頻度の向上を貨幣換算して考え、消費者余剰を計算することにより計測できる。消費者余剰は図 4-1 の台形 $C^0C^1W^1W^0$ の面積を計算することにより導出でき、次の式で表せる²¹。

$$UB_{tb} = \sum_{i,j} \frac{1}{2} (Q_{ij}^0 + Q_{ij}^1) (C_{ij}^0 - C_{ij}^1) \quad (4.3)$$

図 4-1：利用者便益の計測



次に供給者便益を求める。供給者便益としては、需要量増加に伴う運賃収入の増加が考えられ、次の式により計算する²²。

$$SB_{tb} = PR_{tb}^1 - PR_{tb}^0, \quad (4.4)$$

$$PR_{tb}^i = IN_{tb}^i - OE_{tb}^i \quad (4.5)$$

(4.4),(4.5)式より、供給者便益は、全国の収益増加分から営業費増加分を差し引いた

²¹ 新幹線整備有無に関し、 $i = 0$ は整備無を表し、 $i = 1$ は整備有を表す。 UB は各年の利用者便益、 Q_{ij}^0 は鉄道整備無のゾーン*i*からゾーン*j*へのOD交通量[人/年]、 Q_{ij}^1 は鉄道整備有のゾーン*i*からゾーン*j*へのOD交通量[人/年]、 C_{ij}^0 は鉄道整備無のゾーン*i*からゾーン*j*への一般化費用[円]、 C_{ij}^1 は鉄道整備有のゾーン*i*からゾーン*j*への一般化費用[円]である。

²² SB_{tb} は各*tb*年の供給者便益[円/年]、 PR_{tb}^1 は新幹線整備有の各*tb*年の利益[円/年]、 PR_{tb}^0 は新幹線整備無の各*tb*年の利益[円/年]、 PR_{tb}^i は新幹線整備有無の各*tb*年の利益[円/年]、 IN_{tb}^i は、新幹線整備有無の各*tb*年の全供給者の消費税率除外済みの実質価格で計上した営業収入[円/年]、 OE_{tb}^i 新幹線整備有無の各*tb*年の全供給者の消費税率除外済みの実質価格で計上した営業支出[円/年]を表す。

ものである。全国の収益増加分に関しては、需要推計をもとにした収益増減額および運輸雑収入を合計した額であるとする。営業費用増加分は固定費および変動費の合計である。需要予測に基づく表 4-2 の結果から、収益増加分は 3468.68 億円となった。運輸雑収入に関しては、国土交通省ホームページを参考に、JR6 社の平均値の 1.24 円/人キロを用いる。需要予測結果に基づき旅客人キロの増加分は 984.02 百万人キロであるため、運輸雑収入の総額は、230.22 億円である。営業費の増加分は固定費と変動費に分けて考える²³。固定費および変動費の計算に際しては、国土交通省のホームページを参考に JR6 社の平均を用い、原単位を算出する。固定費は、単位営業キロあたり 85,708 千円、変動費は、旅客人キロあたり 3.91 円であるとする。営業キロの増加分は 69.7km であるため、固定費の総額は 866.96 億円である。需要予測結果に基づく旅客人キロの増加分は 984.02 百万人キロであるため、変動費の総額は 558.37 億円である。従って、供給者便益の総額は 2,326.13 億円となる。

次に環境改善便益を求める。環境改善便益は、二酸化炭素の排出量の減少を貨幣換算したものを用いる。CO₂ の単位削減量の貨幣換算値は、交通エコロジー・モビリティ財団（2007）に基づき、10,600 円/トン-CO₂ である。各交通機関の二酸化炭素排出量を貨幣換算すると、鉄道は 19g-CO₂/人キロ、飛行機は 109g-CO₂/人キロ、自動車は 173g-CO₂/人キロ、高速バスは 51g-CO₂/人キロであるため、鉄道の需要量増加および他の交通機関の需要量減少に伴う二酸化炭素排出量の計算を行う。需要予測の結果に基づく環境改善便益の総額は、99.46 億円である。

次に残存価値を求める。残存価値とは、企業会計上で非償却資産にあたる用地、償却資産にあたる建設費、維持改良費・再投資に対応する資産を対象として、計算期末に便益として計算を行う。用地関係費に関しては取得費の 65%、建設費の 10%、車両費は耐用年数を 15 年とし、それぞれ計算期末に計上した結果、164.00 億円となる²⁴。

総費用は、建設投資額・維持改良費・再投資費の 3 つを考慮する。建設投資額は 3,692 億円であり、維持改良費・再投資費は 515.00 億円である。従って、総費用は 4,206.00 億円となる。

²³ 固定費は、線路保存費・電路保存費・運輸費・輸送管理費・一般管理費を考え、変動費は車両保存費・運転費・輸送管理費・一般管理費を考える。

²⁴ 残存価値および費用に関する各項目は十分なデータが入手できないため、国土交通省鉄道局（2012）の試算結果をそのまま採用する。

4.2.3 費用便益分析の結果

前節の便益および費用の試算結果より、総便益は 4,399.42 億円、総費用は 4206.00 億円となった。九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」における総便益・総費用・費用便益比・純現在価値に関してまとめた結果が次の表である。（表 4-3）

表 4-3：費用便益分析の結果

総便益 (B)	4399.42 億円	
	利用者便益	1,809.83 億円
	供給者便益	2,326.13 億円
	環境便益	99.46 億円
	残存価値	164.00 億円
総費用 (C)	4,206.00 億円	
	建設投資額	3,692.00 億円
	維持改良費・再投資費	515.00 億円
費用便益比 (CBR = B/C)	1.05	
純現在価値 (NPV = B - C)	193.42 億円	

4.3 考察

本章では、新幹線の延伸というよりミクロなプロジェクトに焦点を当て、都市間における鉄道と他の交通機関の競争に関して分析を行った。分析の結果、九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」の費用便益比は 1.05、純現在価値は 193.42 億円となった。国土交通省鉄道局（2012）の試算結果では費用便益比が 1.09、純現在価値がと 388 億円になっており、その値と比較しても整合性がとれたものとなっている²⁵。一方で、フリーゲージトレインの技術を用いることができず、武雄温泉で在来線特急と新幹線の対面乗り換えを行う場合では、費用便益比が 1 を大きく下回る結果となった。これは、武雄温泉駅での在来特急から新幹線の対面乗換の費用が増加することや、山

²⁵ 他の整備新幹線プロジェクトに関する国土交通省鉄道局（2012）の費用便益比の試算結果では、北海道新幹線「新青森・札幌間」が 1.0、北陸新幹線「敦賀・京都間」が 1.0～1.1 という結果になっている。

陽新幹線からの直通運転を行えないことに伴う利便性の低下が大きな原因であると考えられる。九州新幹線（長崎ルート）整備前の「博多・長崎間」および「新鳥栖・長崎間」は在来線特急が走っており、「武雄温泉・長崎間」における新幹線開通後（フリーゲージトレインの整備後）も、「新鳥栖・武雄温泉間」の速度が最大で時速 130km となっているため、「博多・長崎間」の時間短縮が最大で 28 分であることも、費用便益費の値が小さくなる原因であると考えられる。一方で、他の整備新幹線の延伸プロジェクトやリニア中央新幹線開業等の更なるネットワーク網の発達に伴う誘発需要の増加等次第では、費用便益比や純現在価値の値がさらに大きくなるという可能性も考えられる。また、費用便益比という投資効果に着目するだけでなく、経済波及効果等も考慮すると、新幹線のネットワーク網の拡大（延伸）は十分に意義があると考えられる。

第5章 結論と考察

本稿では、都市間における鉄道と他の交通機関の競争の実態に関して、需要サイドおよび供給サイドの両側面から分析を行った。

第1章では、国内における交通機関別の旅客流動量や分担率の実態、交通ネットワーク網の現状に関する分析を行った。鉄道に関しては、300～700kmの距離帯で需要量の大きなシェアを分担しており、消費者が交通機関として鉄道を選択する要因としては、速達性、定時性および安全性が大きく関わるという分析結果が得られた。また、鉄道ネットワーク網に関しては、整備新幹線事業や中央新幹線事業により今後更なる拡大が見込まれることも確認できた。

第2章では Berry (1994) および McCarthy (1997) に基づき、国内の交通市場を対象に需要サイドからの分析を行った。需要関数の推定を行った結果、消費者が交通機関の選択をする際に、価格、所要時間および運行距離の3要素を重視していることが、3つのモデルから明らかになった。また、消費者が第1段階で目的地を選択する場合および第1段階で交通機関を選択する場合のどちらのモデルも考えられることが、MODEL2 および MODEL3 の分析結果から明らかになった。自己交差価格および交差価格の分析より、鉄道は、300km～700kmの距離帯では自己価格弾力性の値が比較的小さく、他の交通機関との競争の度合いが小さくなっているものの、700km以上の距離帯では、飛行機との厳しい競争にあることがうかがえる。この結果は第1章での距離帯別の交通機関の分担率と整合性のある結果となっている。また、主要都市間における交通機関の消費者余剰は、鉄道が他の交通機関と比較して最も大きな値という結果になった。

第3章では Caves *et al.* (1984) に基づき供給者サイドからの分析を行った。トランスログ型の費用関数のもとで、新幹線を保有する鉄道会社を対象に費用関数の推定を行った。産出量、ネットワークの大きさの1%の増加がそれぞれ総費用の0.60%、0.33%の増加につながるという結果から、密度の経済性および規模の経済性の存在に関して確認することができた。すなわち、運行頻度や座席数の増加、ネットワーク網の拡大はそれぞれ費用の逓減につながるということであり、先行研究とも整合性のある結果を得られた。鉄道ネットワーク網の拡大は需要者のみならず、供給者にとっても意義があると考えられ、第1章のネットワーク網に関する分析ともまた整合性のある結果を得られた。

第4章では、需要サイドから鉄道と他の交通機関の競争を分析した第2章の分析及びネットワーク網の拡大は費用の逡減につながるという第3章の分析をふまえ、新幹線の延伸プロジェクトに関する費用便益分析を行った。九州新幹線（長崎ルート）「武雄温泉・長崎間」の事業に焦点を当て、第2章の分析と同じく入れ子ロジットモデルを用い新幹線の開通に伴う需要予測を行い、費用便益を算出した。結果、利用者便益および供給者便益等の便益の合計が総費用を上回る結果（費用便益比が1.05、純現在価値が193.42億円）となり、鉄道と他の交通機関との競争の中で、鉄道ネットワーク網の拡大が需要者および消費者の双方にとって意義があるという結果を得た。

以上のように、本稿全体を通して需要サイドおよび供給サイドの両側面からの分析を行い、都市間における鉄道と他の交通機関の競争に関する実態を明らかにすることができた。また、他の交通機関との競争の中で、鉄道ネットワーク網の拡大は、需要者のみならず、供給者にも意義があるという結果も得ることができた。

本稿が更なる発展した研究に寄与することを願う。

参考文献

- 北野泰樹 (2012), 「需要関数の推定」 CPRC ハンドブックシリーズ No. 3.
- 交通エコロジー・モビリティ財団 (2007), 「運輸・交通と環境」 交通エコロジー・モビリティ財団.
- 国土交通省 (2009), 「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」 国土交通省.
- 国土交通省 (2015), 「国土交通白書」 国土交通省.
- 国土交通省航空局 (2012), 「航空を取り巻く社会情勢等について」 国土交通省.
- 国土交通省総合政策局 (2010), 「幹線旅客流動の実態」 国土交通省.
- 国土交通省総合政策局 (2016), 「交通政策白書」 国土交通省.
- 国土交通省鉄道局 (2010), 「費用便益分析における将来交通需要推計手法の改善について」 国土交通省.
- 国土交通省鉄道局 (2012a), 「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル」 国土交通省.
- 国土交通省鉄道局 (2012b), 「投資効果及び収支採算性に関する詳細資料」 国土交通省.
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2013), 「日本の将来推計人口」 国立社会保障・人口問題研究所.
- 鉄道・運輸機構 (2008) 「九州新幹線（新八代・鹿児島中央間） 参考資料」 鉄道・運輸機構.
- 日本バス協会 (2014), 「日本のバス事業」 日本バス協会.
- 武藤・柴田 (2010), 「鉄道の利便性～他の交通機関と比較して」 鉄道総合技術研究所.
- Basso, L., and S. Jara-Díaz, (2005), “Calculation of Economies of Spatial Scope from Transport Cost Functions with Aggregate Output with an Application to the Airline Industry,” *Journal of Transport Economics and Policy*, **39**(1), 25-52.
- Berry, S., (1994), “Estimating Discrete-Choice Models of Product Differentiation,” *RAND Journal of Economics*, **25**(2), 242-262.
- Berry, S., J. Levinsohn and A. Pakes, (1995), “Automobile Prices in Market Equilibrium,” *Econometrica*, **63**, 841-890.
- Caves, D. W., L. R. Christensen, and M. W. Tretheway, (1984), “Economies of Density versus Economies of Scale : Why Trunk and Local Service Airline

- Costs Differ,” *RAND Journal of Economics*, **15**(4), 471–489.
- Ida, T., and M. Suda, (2004), “The Cost Structure of the Japanese Railway Industry : The Economies of Network Density and of Scope and the Cost Gap Between Japan's Regional Railways After Privatization,” *International Journal of Transport Economics*, **31**(1), 23-37.
- Ivaldi, M. and C. Vibes, (2008), “Price Competition in the Intercity Passenger Transport Market: A Simulation Model,” *Journal of Transport Economics and Policy*, **42**(2), 225-254.
- McCarthy, P. S., (1997), “The Role of Captivity in Aggregate Share Models of Intercity Passenger Travel,” *Journal of Transport Economics and Policy*, **31**(3), 293-308.
- McFadden, D., (1978), “Modelling the Choice of Residential Location,” in: A. Karlqvist, L. Lundqvist, F. Snickars, and J. W. Weibull (eds.), *Spatial Interaction Theory and Planning Models*, North-Holland, 75-96.
- Nevo, A., (2000b), “A Practitioner’s Guide to Estimation of Random-Coefficient Logit Models of Demand,” *Journal of Economics and Management Strategy*, **9**, 513-548.
- Small, K. A. and H. S. Rosen, (1981), “Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models,” *Econometrica*, **49**(1), 105–130.
- 九州旅客鉄道ホームページ <http://www.jrkyushu.co.jp/>
- 経済産業省エネルギー庁ホームページ <http://www.enecho.meti.go.jp/>
- 国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp>
- 全日本空輸ホームページ <http://www.ana.co.jp>
- 総務省ホームページ <http://www.soumu.go.jp>
- 東海旅客鉄道株式会社ホームページ <http://jr-central.co.jp/>
- ナビタイムホームページ <https://www.navitime.co.jp/>
- 西日本旅客鉄道株式会社ホームページ <https://www.westjr.co.jp/>
- 日本航空ホームページ <http://www.jal.co.jp>
- 東日本旅客鉄道株式会社ホームページ <http://www.jreast.co.jp/>
- 北海道旅客鉄道株式会社ホームページ <http://www.jrhokkaido.co.jp/>

あとがき

新幹線の延伸プロジェクトをニュースで知り、交通機関の選択や競争の実態に関心を持ったが、身近なテーマを選択したことで興味をもちながら卒業論文に取り組むことができたことは良かったと考える。「相応の覚悟」をもち卒業論文の執筆にのぞんだが、先行研究が難解であること、データがすべて手打ちであること、実証分析で期待通りの結果がなかなか出ないこと等により想像以上に苦労を強いられた。だが、大学生活 4 年間の集大成の卒業論文として、鉄道と他の交通機関の競争に関する分析で、一定の成果を得られたことを誇りに思う。また、就職活動や資格試験の勉強と両立しながら、一本の論文を執筆することができたことは今後の自信になると考える。

本稿の執筆に関しては苦労の思い出が大半だが、ゼミの活動の一環として、学生生活において自らを鍛錬する最後の機会を提供していただいたことに感謝を申し上げたい。また、自身が行いたいと考える研究に関する文献が豊富にあり、研究に専念できる環境があったことにも感謝をしたい。

最後に、大学生活 4 年間、ゼミ生活 2 年間の集大成として本稿を執筆するにあたり多くの方々に感謝の意を表したい。2 年間ご指導いただいた本研究会の指導教官である石橋孝次先生、切磋琢磨し活動に取り組み互いに励まし合った同期、中間発表の際に適切なアドバイスをくれた後輩、学費を払ってくれた両親に感謝を申し上げたい。皆さま、本当にありがとうございました。