



道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
N o . 26-3

研究テーマ

首都圏三環状概成時を念頭においた
料金施策と ITS 施策による非常時を含む
総合的交通マネジメント方策の実用化

研究代表者：一橋大学教授 根本 敏則
共同研究者：首都大学東京教授 清水 哲夫
政策研究大学院大学教授 家田 仁
ITS JAPAN 専務理事 天野 肇
東京大学教授 羽藤 英二
京都大学教授 宇野 伸宏
東京大学助教 相 尚寿
慶応大学教授 田邊 勝巳
近畿大学教授 後藤 孝夫
流通経済大学助教 宮武 宏輔

平成 29 年 7 月

新道路技術会議

目次

研究概要.....	1
第1章 研究目的, 内容, 体制.....	3
1. 1 研究背景.....	3
1. 2 研究目的.....	3
1. 3 研究内容.....	3
1. 4 研究体制.....	4
第2章 交通工学アプローチによる首都圏高速道路ネットワークにおける料金設定戦略の分析	6
2. 1 研究背景と目的.....	6
2. 2 利用者均衡配分手法を用いた首都圏三環状ネットワークの料金施策評価.....	7
2. 3 ETC-OD マッチングデータを用いた 首都圏三環状ネットワークの経路選択行動特性分析.....	10
2. 4 首都圏三環状ネットワークにおける料金体系の戦略的展開の考え方.....	16
2. 5 本章の結論.....	19
参考文献.....	19
第3章 首都高における距離帯別料金制導入の効果に関する研究.....	21
3. 1 はじめに.....	21
3. 2 対距離料金施策による交通流変化及び社会的余剰増加効果の検証.....	21
3. 3 料金体系の段階的検討についての分析～新料金制の評価～.....	28
参考文献.....	30
第4章 首都高における混雑課金導入に効果に関する研究.....	31
4. 1 詳細データを用いた, 余剰評価モデルの開発.....	31
4. 2 混雑課金導入の効果検証.....	35
4. 3 分析モデルの改良及び応用.....	37
4. 4 分析結果.....	37
4. 5 中長期の2つのシナリオ.....	38
4. 6 まとめ.....	40
参考文献.....	40
第5章 損傷者負担を考慮した高速道路料金の検討.....	41
5. 1 本研究の背景と目的.....	41
5. 2 日本および諸外国の高速道路料金制度.....	41
5. 3 経済学からみた高速道路料金のあり方.....	44
5. 4 先行研究における重量料金の考え方.....	45

5. 5	重量料金導入の試算例	45
5. 6	結論と今後の課題	47
	参考文献	48
第6章	まとめ	49
6. 1	ITS 及び TDM の利活用に関する研究	49
6. 2	料金施策による道路の効率運用に関する研究	49
6. 3	今後の研究に向けて	50

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成26年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.26-3	首都圏三環状概成時を念頭においた料金施策と ITS 施策による非常時を含む総合的交通マネジメント方策の実用化	一橋大学 教授 根本敏則

日常のみならずイベント時において道路ネットワークの効率的な利用を実現する料金施策の提案を研究目的として、料金施策の要素を理論的に検討するとともに、それら料金施策を経済モデル、利用者均衡配分モデルなどを活用して評価した。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

首都圏三環状ネットワークの概成が視野に入り、適切な料金設定により広域ネットワークを最大限有効活用する方策の検討が求められている。本研究は、モデル開発を中心とする「ITS&TDM 研究」と、料金施策のいくつかの要素について、単純化したモデルを用いて、その導入効果の評価を行う「料金施策研究」を通じて、イベント時を含めたネットワーク運用を可能とする「料金施策による総合交通運用マネジメントシステム」の施策提案を行う。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

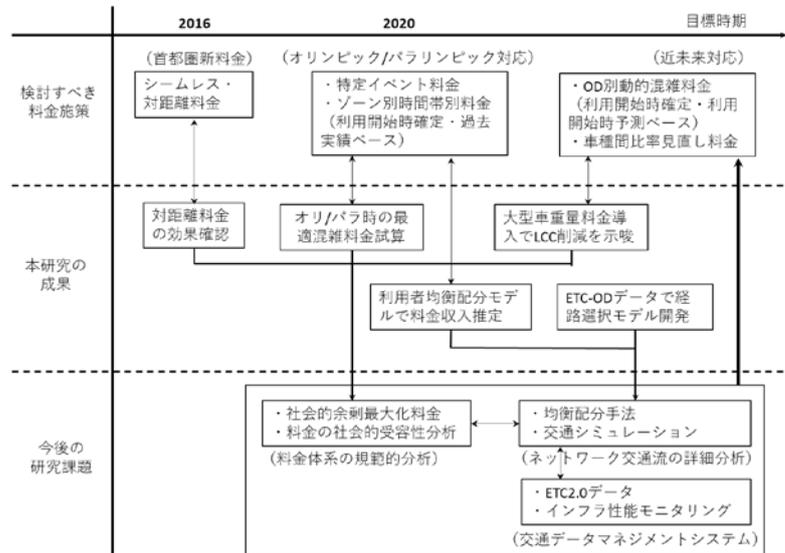
検討すべき料金施策、本研究の成果、今後の研究課題について右図に整理する。

【料金施策研究】

- 課金理論の整理，料金施策の検討，導入手法・手順検討
- 首都高距離別料金による社会的余剰の検証
- オリンピック/パラリンピック時を含め，混雑を考慮した料金の評価
- 道路の維持更新時代における大型車課金の評価

【ITS&TDM 研究】

- 首都圏三環状ネットワーク概成を見据え，新たな料金体系のあり方について検討する基礎資料を得るための交通工学的アプローチに基づく分析
- 上記分析を踏まえた，ネットワーク概成時の効率的交通管理，オリンピック/パラリンピック対応等に資する戦略的料金シナリオの提言



3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

【料金施策研究】

- 首都高における，平成24年導入の距離帯別料金制，平成28年導入のシームレス・対距離料金が社会的余剰を増加させることを確認。
- 現状，オリンピック/パラリンピック，人口減少時の交通量を想定し，首都高で混雑課金を実施した場合の社会的余剰を分析した結果，交通量が多いケースでの最適混雑課金は現行対距離単価と同程度と試算。
- 大型車重量課金の理論的意義を確認し，損傷者負担原則に基づく重量課金を試算しその導入効果を検証したが，同課金により損傷に強い郊外部の高速道路(圏央道)へ大型車交通が誘導され，ネットワーク全体(首都高と圏央道)の維持管理費が削減されることを示した。

【ITS&TDM研究】

- ・利用者均衡配分モデルを用いた料金体系変更の影響分析
首都圏三環状ネットワークの2012年当時の料金体系（ケース0）に対して、全社共通料率による対距離制料金（ケース1）およびこれを基本に都心部での割増料金（ケース2）を導入した場合、高速道路会社全体での料金収入は現状維持もしくは微増するとの試算結果を得た。すなわち、今後の料金施策展開として都心部割増料金の有用性が確認できた。
- ・ETC-OD マッチングデータを用いた首都圏三環状ネットワークの経路選択行動特性分析
圏央道が選択経路として定着しているとともに、広域的な視点では利用者は合理的な経路選択を行っているが、複数選択肢間で効用が拮抗する場合は必ずしも料金や平均的な所要時間の実績、期待値によって説明できず、混雑状況などリアルタイムな所要時間情報により経路選択が行われている可能性があることが分かった。
以上の結果を総合して、首都圏三環状ネットワークの今後の料金体系の考え方について考察・提言した。

4. 主な発表論文（研究代表者はゴシック、研究分担者は下線）

- 1) Tetsuo SHIMIZU; “An Analysis of route choice behavior in expressway network”, The 12th Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (Hochiminh, 2017/9/18-21), (投稿中)
- 2) OTAKI I., IMANISHI Y., MIYATAKE K., NEMOTO T., UCHIYAMA N. "Effects of the change of toll system on social surplus: A case study of distance-based toll in Tokyo Metropolitan Expressway," Transportation Research Procedia, Volume 25, 2017, Pages 2927–2937
- 3) 大瀧逸朗・今西芳一・内山直浩・根本敏則・宮武宏輔「首都高における混雑課金導入及び将来交通需要変動による余剰への影響分析」, 日本交通学会第76回研究報告会, 和歌山大学（和歌山市）, 2017/10, (投稿中)
- 4) WAKISHIMA H., MATSUI R., GOTO T., NEMOTO T. “Study of heavy vehicle toll management with ITS technology”, The Proceedings of 23rd World Congress of Intelligent Transport System (Paper number ITS-AP-TP0213), 2016/10

5. 今後の展望（研究成果の活用や発展性、今後の課題等）

- ・本研究で検証したゾーン別・区間別の基本料金を、社会的余剰最大化に基づいて確定。
- ・時間帯別料金の、オリンピック/パラリンピック開催に併せた導入の検討。
- ・時間帯別料金の評価が可能な時間帯別均衡配分手法、もしくは交通シミュレーション技術の開発。
- ・2020年以降の大規模修繕等を考慮した維持更新費用を調達できる最適な料金車種間比率の確定。
- ・戦略的区間閉塞の実現に必要な混雑料金の導入に関する具体的検討。
- ・混雑料金決定のための、広域でのリアルタイム交通観測態勢を構築の検討。

6. 道路政策の質の向上への寄与（研究成果の実務への反映見込み等）

高速道路ネットワークでの経路選択傾向の分析では、道路利用者の経路選択における混雑などの即時的情報が与える影響が大きいことを確認し、平成28年4月実施の同一起終点同一料金の次の段階として、都心部の混雑課金や混雑状況に応じた動的課金への展開が重要であることを示唆した。

混雑外部性の内部化を通じて消費者余剰も増加させる混雑課金の効果を示すことで、混雑料金の社会的受容性を高められることをしめした。また、オリンピック/パラリンピック時と将来人口減少時といった人口変動にあわせた評価を行い、将来的な料金政策への示唆を得た。

さらに、大型車重量課金に関する国際的な取り組みをサーベイしたうえで、同課金による圏央道への誘導効果を道路の維持費用の点から分析したことで、道路構造物の寿命を伸ばすことでLCC削減を目指すという考え方を示した。

7. ホームページ等（関連ウェブサイト等） なし

第1章 研究目的, 内容, 体制

1.1 研究背景

首都圏三環状の概成が視野に入り、適切な料金設定により広域ネットワークを最大限有効活用する方策の検討が求められている。その際、社会資本整備審議会・道路分科会・基本政策部会ならびに国土幹線道路部会においても議論されているように、三環状および放射道路への需要の総体とインフラとしての道路容量を考慮して、ネットワーク全体として最適な料金を戦略的に設定していくことが必要となる。

検討に必要な料金施策の要素は、①会社別料金（ターミナルチャージ加算）から、会社通算する「シームレス料金」、②会社ごと、路線ごとの不均一料率（均一区間含む）から、「対距離料金」、③混雑時間帯に混雑区間で課す「混雑料金」、④5車種の負担割合を見直す「車種別料金」、⑤オリンピック/パラリンピック、道路更新/災害時対応「特定イベント料金」である。

また、これら料金施策代替案の評価に用いるモデルは、理想的には、①高速道路だけでなく「高速道路＋一般道路ネットワーク」を対象として、②乗用車だけでなく「全車種別交通」、③日交通量だけでなく「時間交通量」を再現するもので、データとしては、④集約化した高速ランプ間OD表ではなく「首都圏の詳細OD表」、⑤トラカンデータなどの断面交通量だけでなく、ETC2.0などの「経路が判別できるデータ」の利活用が望まれる。しかし、これら①から⑤をすべて満足する手法は開発されていない。したがって、研究に際しては特定の料金施策の要素を取り出し、再現する交通現象も限定して、制約された条件下で巧みに評価を行っていく工夫が必要である。

1.2 研究目的

本研究は、首都圏三環状概成時において、望ましい料金を設定するための方法論の開発を目的とする。ただし、上で述べたように料金施策のすべての要

素を、その評価に適した詳細かつ大規模なモデルをもちいて評価するのは困難である。そこで、研究推進にあたっては交通現象の再現、モデル開発を中心とする「ITS&TDM研究」と、料金のいくつかの要素について、単純化したモデルを用いて、その導入効果の評価を行う「料金施策研究」に分かれて研究を進めることとした（図1-1）。

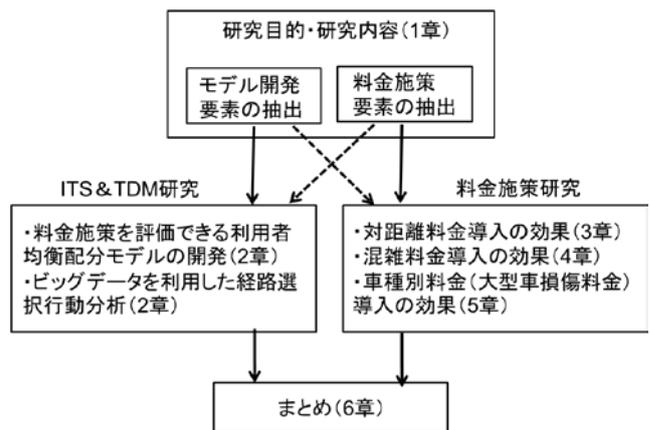


図1-1 研究の構成

1.3 研究内容

本研究では高速道路会社共通の距離別料金体系の実施を前提とした、最適な料金料率の考え方を整理・検討する。また、「混雑を考慮した課金シナリオ」、「賢い道路利用のための経路選択」、「TDMなどのソフト施策」の観点から、料金施策、ITS施策に関する検討を行う。

a) ITSとTDMの利活用に関する研究

料金施策の改善点について、工学的分析に基づき、その実用性について確認する。

この際、関越道と東北道の圏央道区間が接続された最新ETC-ODマッチングデータに基づいて、圏央道の整備効果を検証する。さらに、同一ODで経路料金が大きく異なるケースを全国から抽出して、経路選択特性を詳細に分析する。

これら分析を通じて、大量経路データから車種、時間帯、OD、エリア別の時間価値分布を把握することにより、将来の戦略的料金の導入効果を定量的・客観的に推測する。

将来の戦略的料金の実施に際し、利用者への混雑や料金の伝達方法のリクワイアメントを整理する。

中長期的に取り組むべき効率的な動的料金施策それを実現するETC2.0を利活用方策の提言を行う（三環状概成時、オリンピック・パラリンピック、大規模改修、災害時など）。

b) 料金施策を核とした効率運用に関する研究

課金理論をレビューするとともに、料金施策代替案を、経済モデルなどを用いて分析、評価する。

具体的には、まず平成24年に首都高速道路で導入された「距離対別料金制」と平成28年4月に新たに導入されたシームレス距離対別料金制について、利用者の時間価値に基づく高速道路と一般道路の選択モデルから、社会的余剰分析を行い、施策の評価を行う。

次に、そこで開発した社会的余剰の分析モデルを発展させ、首都高速道路の中央環状線内側で混雑課金を行った場合の社会的余剰分析を行い、混雑課金制の評価を行う。さらに、今後予想される交通需要の変化時における、混雑課金の効果についての評価を行うため、交通需要の一時的な増加が予測される2020年の東京オリンピック/パラリンピック開催時と、2040年以降の人口減少時を想定したシナリオに

ついても、混雑課金の導入効果を検証する。

そして、維持管理・更新のための費用負担問題に関して、将来的な車種別料金比率の見直しも考慮するために、大型車重量料金制の検証を行う。そのためにまず、諸外国での高速道路料金制度について、経済理論的な意義を整理した上で、損傷者負担原則に着目し、重量料金制による経路選択の変化を考慮した、道路の維持管理費を含むライフサイクルコスト（LCC）を最小にする課金方法を検討する。

1.4 研究体制

研究方針の検討においては、表1-1に示すメンバーが中心となり本質的な議論を行った。研究体制としては、大きく「料金施策を核とした効率運用に関する研究」、「ITS&TDM利活用に関する研究」の2つのワーキンググループ(WG)に分け実施した(図1-2)。

本研究は、より実践的研究とすべく、道路事業者や道路管理者などとの強い連携による研究推進、実務を考慮した提案、及びフィードバックなどが大きな特徴となっている。また、交通経済及び交通工学の分野の有識者、さらにはITSの実務者が協働で「料金施策とITS&TDM研究」に取り組んでいること、実践的研究とすべく道路管理者との連携による研究推進、施策へのフィードバック等が、本研究の大きな特徴である。

表 1-1 研究メンバーリスト

研究者氏名	研究WG		所属・役職
	料金施策	ITS&TDM利用	
研究総括 根本敏則			一橋大 教授
清水 哲夫		○	首都大学東京 教授
家田 仁		○	政策研究大学院大学 教授
天野 肇		○	ITS JAPAN 専務理事
羽藤 英二		○	東京大学 教授
宇野 伸宏		○	京都大学 教授
相 尚寿		○	東京大学 助教
田邊 勝巳	○		慶応大学 教授
後藤 孝夫	○		近畿大学 教授
宮武 宏輔	○		流通経済大学 助教

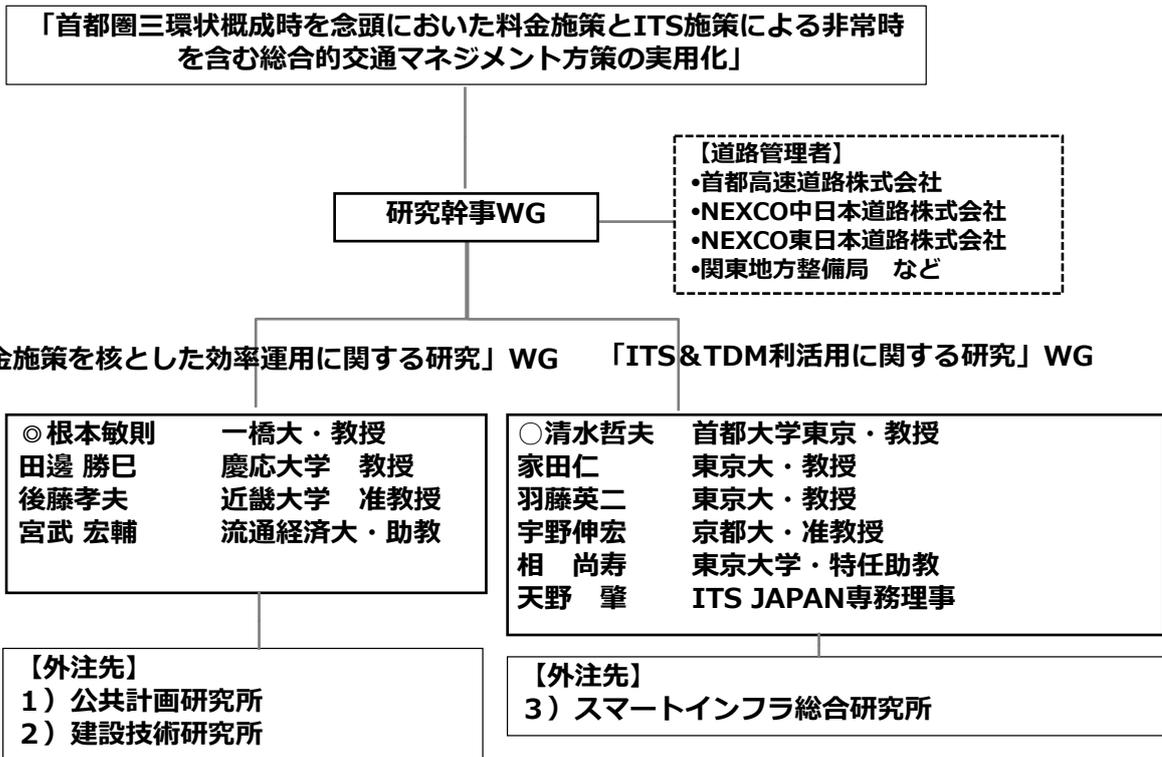


図1-2 研究組織と体制

第2章 交通工学アプローチによる首都圏高速道路ネットワークにおける料金設定戦略の分析

2.1 研究の背景と目的

(1)首都圏高速道路ネットワーク概成時の新たな高速道路料金体系の必要性

三環状九放射構造の計画を持つ東京首都圏の高速道路ネットワーク（以下、首都圏三環状ネットワークと称す）では、近年、第一環状線である首都高中央環状線と第三環状線である首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の整備が進み、2017年3月現在で中央環状線は全線開通し、圏央道は東名高速道路から東関東自動車道までの区間が接続され、首都圏三環状ネットワーク上の多くのランプ間で複数経路の選択が可能となった。

首都圏三環状ネットワークは3つの高速道路会社が管理し、2016年3月までは均一区間や料率の異なる距離別料金区間、といった多様な料金体系が混在していた。圏央道は、首都圏郊外同士のランプ間ODにおいて、有力な利用経路候補となりうるが、従前の料金体系では周辺の有料道路区間と比べて料率設定が高く設定され、これらランプ間ODの圏央道経由の走行距離は必然的に長くなることから、通行料金は高くなってしまふ欠点があった。

この場合、圏央道に期待される、混雑する首都高の迂回経路としての機能が十分に発揮されない恐れがあり、社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会は、2015年7月に『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」』の中間答申¹⁾を公表し、首都圏の高速道路を賢く使うための料金体系として、圏域共通の公平で分かりやすい料金体系を導入するとともに、混雑状況に応じた料金を検討するなど、政策的な料金体系を検討すべきと提言した。引き続き2015年9月には『首都圏の新たな高速道路料金に関する具体方針(案)』²⁾が公表され、2016年4月からの具体方針として、料金水準を現行の高速自動車国道の大都市近郊区間の水準に統一すること（一部区間で激変緩和措置を導入）、車種区分を5車種に統一する

こと、起終点を基本とした継ぎ目のない料金を実現すること、を提示した。この方針を受けて、高速道路会社3社と(独)日本高速道路保有・債務返済機構は2015年9月に連名で『「首都圏の新たな高速道路料金の具体案」について』³⁾の中で具体的な料金水準を決定し、2016年4月にそれが導入された。その結果、走行距離が長くなる傾向にある圏央道と東京外環自動車道（外環道）が利用経路候補となるランプ間ODについては、首都高経由料金よりも高くなる場合には首都高経由料金と同額とすることになり、首都圏郊外同士ランプ間OD交通の積極的な環状線利用を促すことが期待できる料金体系となった。

この新たな料金体系の初期の導入効果については、既に国土交通省から報告されている⁴⁾。それによると、料金変更1ヶ月後時点で、①首都高の交通量が約1%減少したこと、②首都高の短距離利用が1~4%増加したこと、③圏央道交通量が約3割増加したこと、が報告されている。ただし、これはあくまで速報的な情報であるし、2016年度中にも圏央道の新規区間供用があり、ネットワーク環境が変化しているために、料金体系変更の影響の把握には依然として精査が必要な状況である。

(2)高速道路料金を巡る技術動向

国土交通省の報告⁵⁾では、2017年4月現在のETC利用率は全国で90%を超えており、首都高は95%に達している。すなわち、日本の高速道路利用はほぼETC車となっていると考えることができ、近い将来にその利用を義務化すべき領域に達していると言えよう。

さらに、新たなETCとしてETC2.0の運用が2016年4月から本格的に開始され、上記報告では運用開始後1年である2017年4月現在で、全国で13.1%、首都高で16.1%がETC2.0利用となっており、今後順調にETC2.0へ転換していくことが想定される。

ETC2.0はスポット型のサービスであり、スポットを通過した車両に対して、対応車載器に様々な情報

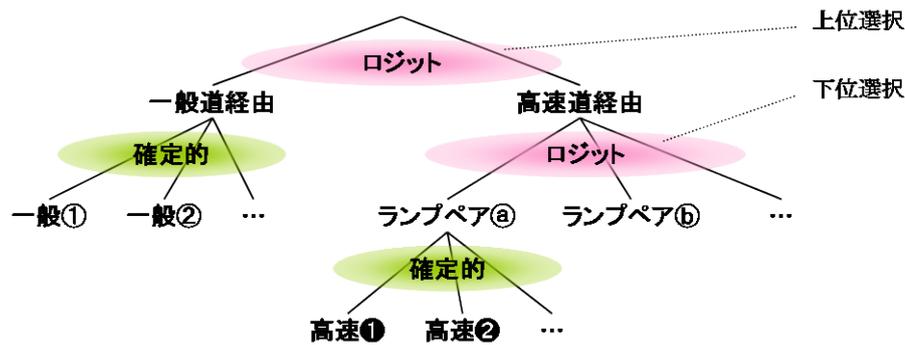


図 2-1 利用者均衡配分モデルの経路選択構造

が提供される仕組みとなっている⁶⁾。さらに車載器がプローブ機能を有しているため、走行データをシステムに戻すことが可能となっている。高速道路料金についてもこれらの機能を活用して、ETC2.0限定の料金体系を導入することも技術的には可能である。具体的には通行経路が特定されることから、例えば、首都圏三環状ネットワークでは圏央道利用時の通行料金が20%割引が適用されている。さらに、渋滞回避のための経路変更に対する料金優遇などの実施も検討されている⁶⁾。

一方、シンガポールでは「次世代ERP」と呼ばれる道路課金システムが始まろうとしている⁷⁾。現状のERPシステムでは、都心部への流入ポイントにガントリーが設置され、そこを通過する際に過去の渋滞実績に基づいて時間帯に応じて予め設定された料金を自動的に引き落とす仕組みである。次世代ERPはガントリー形式を廃止し、GPSベースで任意の区間で課金できる仕組みである。ただし、導入当初はガントリー部分での課金に留める、すなわちERPの課金方法を純粋に引き継ぐ方針のようである。

日本の場合には、高速道路だけの課金で、複雑な混雑料金体系を導入しない限りは、現状のETCもしくはETC2.0のようなスポットベースの課金システムで当面は十分であると考えられる。したがって、本章の以降の分析では、ETC型スポット課金システムを前提とした議論を展開する。

(3)研究目的

本章では、首都圏三環状ネットワークにおける今後の料金体系のあり方を基礎的に考察するために、交通工学的アプローチに基づく、具体的にはネットワーク交通流分析技術とETC利用ビッグデータ解析技術を活用した分析を展開する。

2.2 利用者均衡配分手法を用いた首都圏三環状ネットワークの料金施策評価

(1)本節の目的

本節では、首都圏三環状ネットワークの料金体系変更がネットワーク内の交通流や高速道路会社の収

入の変化に及ぼす影響を大局的に理解するための分析を実施する。

(2)利用者均衡配分モデルの概要

a)本節で用いる配分手法の考え方

政策実施効果を評価するためのネットワーク交通流分析手法については、大別して交通量配分手法とシミュレーション手法があるが、「政策の影響を大局的に理解する」目的達成のためには、交通量配分手法の適用で十分であり、本章では利用者均衡配分手法を適用する。

本節で評価する料金体系は、終日変化しない基本料金体系として、現時点では混雑料金や時間帯別料金のような変動型体系は考慮しない。そのため、全日を対象とした利用者均衡配分手法を適用する。

b)全日利用者均衡配分の既往研究

高速道路ネットワークの料金政策を評価する利用者均衡配分手法の実用化を目指した既往研究は、松井・藤田⁸⁾による実用的モデルの開発を契機として、既に一定数存在している。基本的には、高速道路と一般道路の選択を表現したモデルを内在した「高速転換率内生モデル」が用いられることが多い。この転換率モデルを工夫する研究事例は多く、例えば三輪・森川⁹⁾や井上¹⁰⁾は高速道路入口・出口ペア選択モデルを追加した転換率モデルを提案している。

一方、乗用車と大型車の料金感度の違いを考慮するため、車種区分を考慮するモデルの開発も進められている。例えば、古賀¹¹⁾は車種別転換率モデルを提案し、三輪¹²⁾は車種別高速道路経路選択モデルを検討している。また、山本¹³⁾は車種間の所要時間や料金の差を考慮するために速度比や料金比を導入する工夫を行っている。

c)本節における利用者均衡配分モデル

本節では、首都高速道路の交通量配分を目的とした井上¹⁰⁾のモデルを応用し、これを首都圏三環状ネットワークに拡張する。図2-1にモデルの経路選択構造を示す。高速利用と一般道利用の選択は確率的な転換率モデルで表現し、高速利用の場合にはオンランプ・オフランプペアを確率的に選択する。一般道利用の経路と高速道路ランプペアの経路について

は、最短経路を確定的に選択とする。なお、車種の考慮については、依然として実用的利用に課題が大きく、今回は考慮しない。

上位の転換率モデルは以下の式を用いる。

$$\frac{u_{rs}^E}{q_{rs}} = \frac{1}{1 + \exp\{\phi \cdot (\sigma_{rs} \cdot C_{rs}^G - S_{rs}^E) + \psi_{rs}\}} \quad (1a)$$

$$S_{rs}^E = \ln \sum_{ij} \exp\left(\sigma_{rs} \cdot t_{rs}^{ij} + \frac{\rho_{rs}^{ij}}{S} \cdot \pi_{rs}^{ij}\right) \quad (1b)$$

ここで、 q_{rs} はODペア rs 間のOD交通量、 u_{rs}^E は rs 間の高速道路利用交通量、 C_{rs}^G は rs 間の一般道路利用最小旅行時間（道路料金時間換算分を含む）、 S_{rs}^E は rs 間の高速道路利用期待最大効用、 t_{rs}^{ij} は rs 間のランプペア ij を通る経路の旅行時間、 π_{rs}^{ij} は rs 間のランプペア ij を通る経路の道路料金、 S は基準年に対する推計年次のGDP伸び率、 $\phi, \psi_{rs}, \sigma_{rs}, \rho_{rs}^{ij}$ はパラメータである。

下位のランプ間選択モデルは以下の式を用いる。

$$\Pr(ij|rs) = \frac{\exp\left(\sigma_{rs} \cdot t_{rs}^{ij} + \frac{\rho_{rs}^{ij}}{S} \cdot \pi_{rs}^{ij}\right)}{\sum_{ij} \exp\left(\sigma_{rs} \cdot t_{rs}^{ij} + \frac{\rho_{rs}^{ij}}{S} \cdot \pi_{rs}^{ij}\right)} \quad (2)$$

ここで、 $\Pr(ij|rs)$ は rs 間高速道路利用トリップのランプペア ij 選択確率である。

パラメータのうち $\psi_{rs}, \sigma_{rs}, \rho_{rs}^{ij}$ については、ODにより変化するものと仮定する。

$$\psi_{rs} = n + p \cdot \exp(q \cdot L_{rs}) + R_L \quad (3)$$

$$\sigma_{rs} = a + b \cdot \exp(c \cdot L_{rs}) \quad (4)$$

$$\rho_{rs}^{ij} = d + e \cdot \exp(f \cdot \ell_{ij}) \quad (5)$$

ここで、 L_{rs} は rs 間距離（高速道路を含む配分用ネットワーク上で探索された最短距離）、 R_L は実績交通量再現のためのパラメータ現況補正項、 ℓ_{ij} はランプペア最短距離、 $n, p, q, a, b, c, d, e, f$ はパラメータである。 ψ_{rs} については、高速転換率のOD間距離依存性を構造化している。 σ_{rs} については、OD間距離が長いほど旅行時間の認知誤差が大きくなる仮説に基づき、単調増加関数として構造化した。 ρ_{rs}^{ij} については、ランプペア距離が短い場合の高速道路利用抵抗を大きくするために設定するもので、同様に単調増加関数として構造化した。

d) パラメータ推定結果

式(1)~(5)に含まれる $n, p, q, \phi, a, b, c, d, e, f$ のパラメータを利用実績データから推定する。使用データは、旧料金体系時である2012年の第28回首都高速道路交通基終点調査の内々利用サンプル、2010年NEXCO高速OD調査の首都高・NEXCO乗継、NEXCO利用サンプル、2010年道路センサスOD調査の一般道利用サン

表2-1 パラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t値	
定数項	n	1.6617	18.45
	p	1.6488	4.10
	q	-0.1797	-4.10
下位選択効用	ϕ	0.5473	29.16
旅行時間	a	-0.0730	-2.91
	b	-0.3544	-18.99
	c	-0.0275	-5.20
料金	d	-0.001588	-12.99
	e	-0.013144	-13.09
	f	-0.1587	-12.81

表2-2 パラメータ現況補正項 R_L

OD間距離帯	R_L
0~5km	-0.0361
5~10km	-0.3521
10~15km	-0.3671
15~20km	-0.3662
20~25km	-0.1574
25~30km	-0.3806
30~35km	-0.3259
35~40km	-0.1196
40~50km	0.0533
50~60km	-0.6561
60~70km	0.0884
70~80km	-1.3238
80km~	0.2270

プルをそれぞれランダムに10,000サンプル抽出して組み合わせたものである。

表2-1にパラメータ推定結果を示す。各データソースの抽出率を考慮して、重み付き最尤推定法を用いている。パラメータの()内はt値であり、いずれも有意な推定結果となっており、符号も仮説通りとなっている。表2-2にOD間距離帯別の R_L を示す。

なお、パラメータ計算時のOD間距離は80kmを上限とした。その理由は、後述の配分ネットワークでは域外ネットワークが集約されているためネットワーク上の距離に意味がないこと、推定用データにOD間距離が80kmを超えるデータが少ないためパラメータの精度が確保されないこと、である。

(3) 利用者均衡配分モデルによる料金体系変更の感度分析

a) 利用者均衡配分モデルの各種設定

OD交通量については、平成22年道路センサスを用いる。ゾーニングは関東地方整備局Bゾーンをベースに、首都高速道路リンクを含むゾーンは細分化し、逆に首都圏三環状ネットワークを形成する高速道路リンクから遠いゾーンは統合し、最終的に870ゾーンとした。

配分対象とする道路ネットワークについては、2020年の首都圏三環状ネットワーク概成時として、

表2-3 分析対象とする料金シナリオ

ケース名	シナリオ概要
ケース(0)	2012年時点の料金体系（ただし消費税は2020年で想定される10%）
ケース(1)	全社共通対距離料金 実走行距離に対して32.472円/kmの距離料率を適用，ターミナルチャージは1回のみ165円を徴収
ケース(2)	東京都心部割増 ケース(1)をベースに，中央環状線以内（中央環状線を含む）の距離料率を10%割増
ケース(3)	東京都心部割増＋郊外部割引 ケース(2)をベースに，外環道より外側（外環道は含まない）の距離料率を10%割引

ノード数9,430，リンク数14,113，高速道路ランプ数1,085とした．リンクパフォーマンス関数には標準的なBPR型関数を採用し，道路区間別の特徴を踏まえて自由走行速度，容量，パラメータ値を設定した．

なお，式(1)および(2)に含まれる S については，パラメータ推定データの2012年と，配分年次である2020年の間のGDP伸び率として，1.117と設定した．すなわち，表-1の推定パラメータのうち d と e については，それぞれ1.117で除した値を用いる．

ランプペア経路選択モデルでは，予めその選択肢集合を設定する必要がある．はじめに，各ランプペアにおいて不自然な経路を除外する．具体的には，OD距離が10kmを超える場合に，ランプのアクセス・イグレス距離のいずれかが50kmを超える経路，アプローチ距離（アクセス・イグレス距離の合計）が一般道経路距離の1.0倍以上の経路，高速経路距離が一般道経路距離の2.0倍以上の経路は選択肢集合から除外した．次に，除外されない経路集合から，一般化時間の短い順に20経路を抽出し，これを選択肢集合とした．

収束判定については，ネットワーク規模が大きいため計算時間が掛かることから，100回の繰り返し計算終了時点で収束したものと判断する．

b) 分析のシナリオ設定

分析のシナリオは以下の表2.3に示すように4つ設定する．ケース(0)をリファレンスポイントとして，各ケースとの差異を分析する．ケース(1)は首都圏三環状ネットワーク全体で大都市近郊区間の距離単価である29.52円/km，ターミナルチャージ150円に消費税10%を課した標準ケースで現行料金を模したものであるが，各種の激変緩和措置や同一起終点同一料金制を考慮していない点に注意が必要である．ケース(2)は，東京都心部の距離料率の増加による外環道や圏央道への迂回促進効果を検証するため，ケース(3)は圏央道への迂回をより強力に促進するためのものである．

表2-4 高速道路会社の交通状況および料金収入

	路線/区間	ケース(0)	ケース(1)	ケース(2)	ケース(3)
		現況	均一	都心割増	郊外割引
利用台数 [台/日]	首都高速	1,026,849	1.26	1.24	1.24
	NEXCO	2,302,907	0.98	0.98	1.00
	中環以内	797,556	1.10	1.08	1.08
	外環以内	1,118,185	1.15	1.14	1.14
	圏央以内	2,756,484	1.04	1.03	1.04
走行台キロ [千台km/日]	首都高速	20,356	0.87	0.85	0.85
	NEXCO	41,258	1.03	1.03	1.05
	中環以内	8,710	0.85	0.81	0.81
	外環以内	19,542	0.89	0.87	0.87
	圏央以内	61,614	0.98	0.97	0.98
平均走行距離 [km]	首都高速	19.82	0.69	0.68	0.68
	NEXCO	17.92	1.05	1.05	1.06
	中環以内	10.92	0.77	0.75	0.75
	外環以内	17.48	0.78	0.76	0.77
	圏央以内	22.35	0.94	0.94	0.95
料金収入 [万円/日]	首都高速	78,343	0.93	0.94	0.94
	NEXCO	163,527	1.03	1.04	0.98

c) 料金シナリオが区間交通量に与える影響

図2-2にケース(1)の首都圏三環状ネットワークの区間交通量について，ケース(0)との比率を示している．圏央道の料金がケース(0)よりも安くなっており，特に外環道が接続されていない西部区間において交通量増加効果が見られる．一方，首都高は，長距離利用時の料金が高く設定されることから，交通量は全体的に減少する．さらに，外環道は均一料金から対距離料金になることで料金が割高になり，同様に交通量は減少する．また，会社境のターミナルチャージを撤廃することから，首都高とNEXCOの会社境や，均一料金区間と対距離料金区間の境界では，交通量の増加が見られる．

次に，ケース(1)をベースに地域により距離料率を変更することの影響を分析する．図2.3はケース(1)とケース(2)およびケース(3)の交通量比を示す．ケース(2)では首都高の距離料率増加の影響により東京都心部の交通量が減少する一方で，圏央道への迂回交通の増減は見られず，首都高からの転換交通の一部が外環道を利用することでその交通量が若干増加する．ケース(3)では，東京都心部はケース(2)の傾向を引き継ぎ，圏央道を含めた郊外部の高速道路利用台数が大きく増加する．

d) 料金シナリオが高速道路会社の収入に与える影響

最後に，各高速道路会社の利用台数，走行台キロ，および料金収入が料金シナリオでどのように変化するかを確認する．表2.4に各ケースの利用台数，走行台キロ，平均走行距離，料金収入の結果を示すケース(1)～(3)はケース(0)との比で表している．なお，NEXCOは圏央道以内（圏央道を含む）のNEXCO区間全体のことを指す．

首都高では利用台数が25%程度増加する．これは割安となる短距離利用が増加するためである．しかし，長距離利用時の料金が增加することから，平均走行距離が30%以上減少する．これらの結果，走行台キロと料金収入が減少していることが分かる．

一方NEXCOは，利用台数は微減，平均走行距離が増加するため，走行台キロ，料金収入は微増となる．

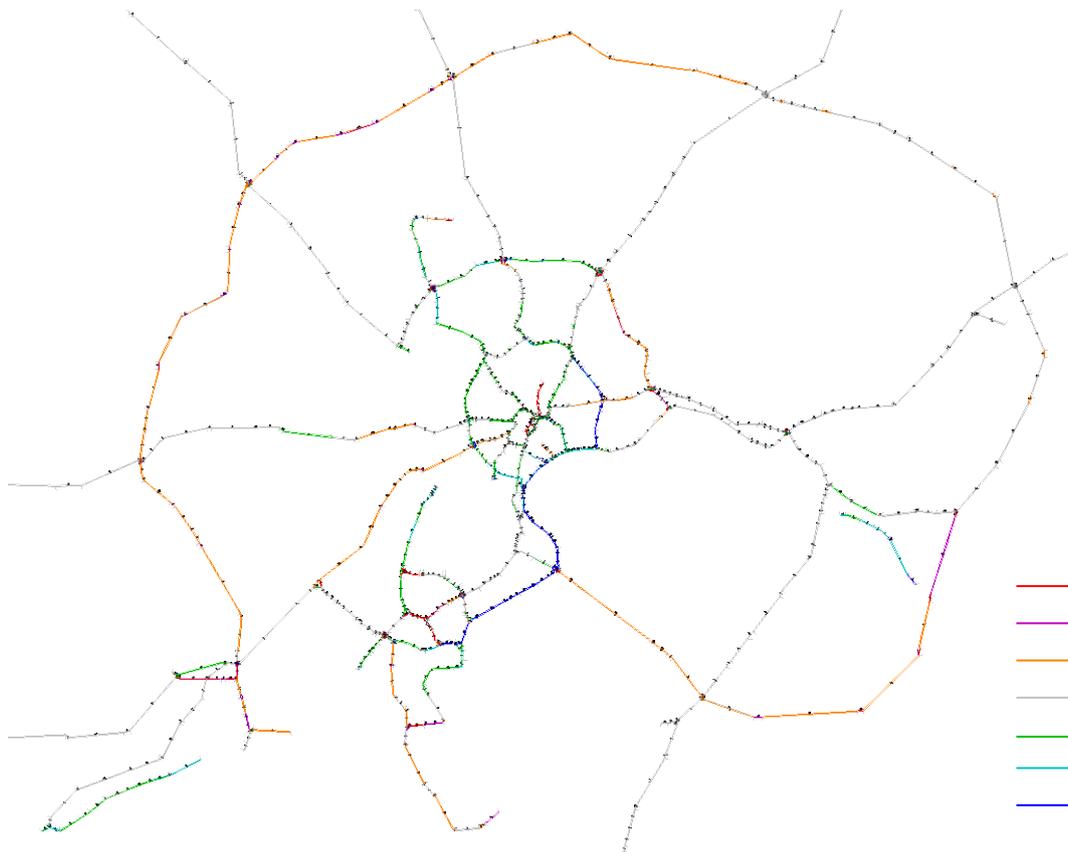


図 2-2 首都圏三環状ネットワークの区間交通量（ケース(1)/ケース(0)）

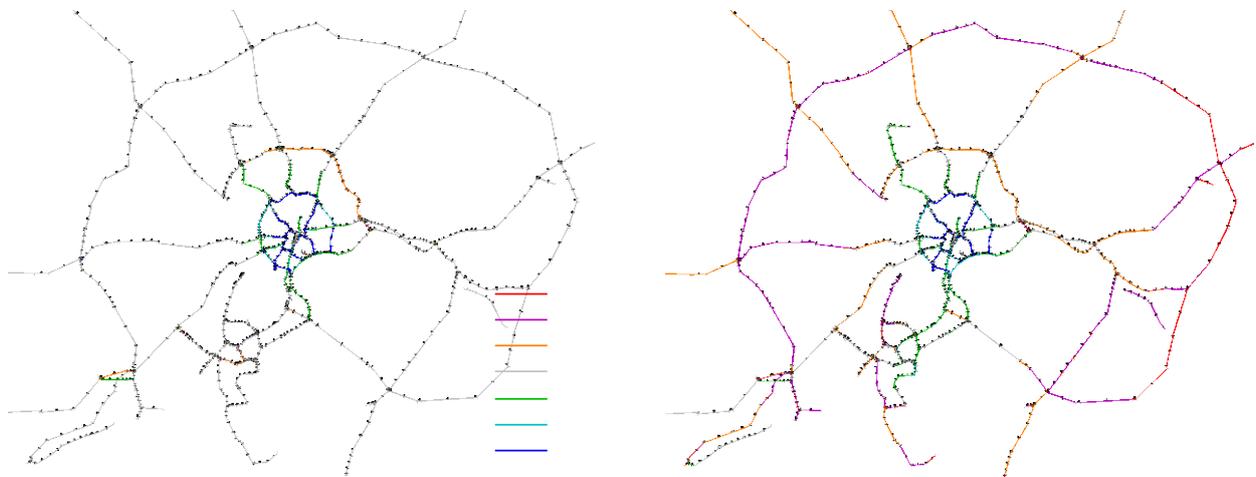


図 2-3 首都圏三環状ネットワークの区間交通量（ケース(2)/ケース(1)およびケース(3)/ケース(1)）

平均走行距離が増加した要因として、交通量が比較的少ない圏央道等において、料金が安くなることで長距離利用が増加した影響が考えられる。ただし、外環道外側の距離料率が10%割引となるケース(3)ではNEXCOは減収となる。以上の結果から考察すると、首都圏三環状ネットワークにおける高速利用時の料金弾性値は1未満であり、その大きさはNEXCOの方がより小さい可能性

NEXCOと首都高を合計した高速道路会社全体の料金収入は、ケース(0)では24.2億円/日だったものが、ケース(1)でも24.2億円/日と、ほぼ変化しない。ケース(2)では首都高は1%の増収、NEXCOも微増収となり、高速道路会社全体の料金収入は24.3億円/日と若

干増加する。ケース(3)では首都高速は微減収、NEXCOは5%減収となり、高速道路会社全体の料金収入は23.4億円/日と、ケース(2)よりも4%減少する。

がある。首都高の距離料率が高くなったとしても、周辺的一般道路も混雑しており、結果的に料金が高くても高速道路を利用せざるを得ない状況であるためであると推測される。

2.3 ETC-ODマッチングデータを用いた首都圏三環状ネットワークの経路選択行動特性分析

(1)本節の目的

本節では、首都圏三環状ネットワークでの大量か

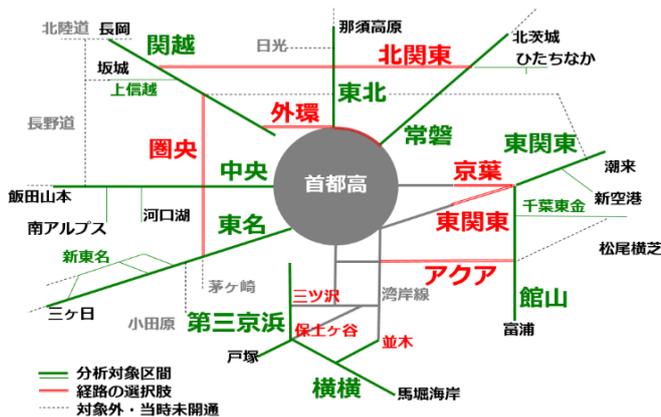


図 2-4 分析対象路線と区間

つ詳細な走行実績データを分析することで、ネットワーク上での経路選択特性の把握と時間評価値の算出し、環状高速道路整備効果を検証する。

(2)都市圏高速道路ネットワークにおける経路選択特性に関する既往研究

高速道路上での経路選択行動を取り扱った研究は、かつてはSPアンケート調査データを用いたもの¹⁴⁾が主流であったが、実際の選択行動との関係性が不明であることやデータ数の少なく信頼性が高くないことが大きな欠点であった。なお、料金体系が経路選択行動に与える影響を分析したもの¹⁵⁾はあるが、その数は限定的である。

上記のSPアンケート調査データの欠点を解消するものとして、ETCデータや本研究でも用いるETC-ODデータが利用されるようになり、これを利用して経路選択行動を分析する研究も登場した。例えば秋元ら¹⁶⁾はETCデータと個人IDから、首都高速道路の利用頻度が高い利用者が出口ランプに応じて入口ランプをどのように選択するか示したものの、その選択要因は今後の分析課題と述べている。永井ら¹⁷⁾はETC-ODデータと車両感知器データを用い、また遠藤ら¹⁸⁾はこれら2つにフリーフローETCデータを加えて首都高速道路の経路選択行動を分析している。しかし、これらの研究は経路所要時間や渋滞距離と経路選択率の関係に分析の着眼点があり、料金の影響を取り扱ったものではない。このほかにもETC-ODデータを活用した研究は存在するものの、ランプ間交通量の日変動や時間帯変動に関するもの¹⁹⁾、OD間所要時間の分布形から経路ごとの旅行時間分布の推定を行ったもの²⁰⁾などが存在するものの、経路選択よりは交通流動把握に重点が置かれている。

(3)分析に使用するデータ

本節で用いるデータは、2013年11月および2014年11月のETC-ODマッチングデータから首都圏を通行したものを抽出したデータである。首都圏の通行は、首都高または外環道の通行、あるいは北関東道以南、中央道大月IC以東、東名大井松田IC以東のICでの流入もしくは流出と定義した。ETCデータは料金決済を単位として走行履歴が分割されてしまい、高速道

路ネットワーク内の一連の走行が単一のトリップとして抽出できない可能性がある。そこで料金体系の異なる高速道路が隣接する区間のICや本線料金所間の通過所要時間と車載器ICを用いてマッチング処理を行い、首都高とNEXCO管轄区間など料金体系の異なる区間を連続走行した一連のトリップとしてデータを作成した。

また、データを抽出した時期は、首都高が料金圏別均一料金から距離別料金に移行した後であり、一方で2016年4月から首都圏で導入された同一起終点同一料金とするための料金調整の実施前であることから、同一ランプ間ODの複数経路で通行料金が異なるケースが見られた時期である。

上記のETC-ODマッチングデータの特徴は次のように整理できる。①料金体系が異なる高速道路を利用しても一連のトリップとして分析可能である、②料金体系が異なる場合に限定されるが利用経路の特定が可能である、③当該通行の車種、曜日時刻、適用料金制度、所要時間が把握可能である、④元データがETCであるため普及率が高くデータの代表性が高い。

(4)分析対象の区間

本節では、第一に、圏央道をはじめとする環状方向の高速道路で接続された放射状高速道路路線相互間の通行における経路選択率を分析することで、環状方向の高速道路網の整備効果を検証する。第二に、第一の例と同様に同一ランプ間ODでありながら選択経路により通行料金が異なるものを首都圏三環状ネットワークから抽出し、その経路選択特性を把握することで、環状道路整備で冗長性が増した高速道路ネットワークの有効活用に資する基礎知見を得ることを目指す。

分析対象区間として、第一の目的と関連して、環状方向の高速道路整備により首都高を經由せず往来することが可能である放射状高速道路の組み合わせとして以下の「西方面」と「北方面」、第二の目的と関連して、首都高と郊外部を往来する際に首都高への接続地点が複数存在する組み合わせとして以下の「東方面」と「南方面」に着目する。

西方面は、東名、中央道、関越道相互間の通行において、圏央道と首都高の選択に着目する。なお、2013年11月時点では中央道と関越道のみが接続されており、2014年11月時点では上記3路線が接続されている。

北方面は、外環道と北関東道、または外環道と首都高の間で経路選択が可能な関越道、東北道、常磐道相互間および首都高川口線と向島線、三郷線を発着する通行に着目する。なお、2014年11月時点には関越道、東北道、常磐道は圏央道では接続されていない。関越道、東北道、常磐道相互間の通行における外環道と北関東道の選択を北方面(1)、東北道～首都高向島線、三郷線と常磐道～首都高川口線相互間の通行における外環道と首都高中央環状線の経路選択を北方面(2)と便宜的に分類する。

表2-5 中央道→関越道の走行における圏央道選択割合の時系列変化

	2013年11月									2014年11月								
	所沢	三芳	川越	鶴ヶ島	坂戸西	東松山	嵐山小川	花園	本庄児玉	所沢	三芳	川越	鶴ヶ島	坂戸西	東松山	嵐山小川	花園	本庄児玉
調布	83	100	95	98	99	100	98	99	99	69	100	93	96	100	99	99	99	99
国立府中	77	100	95	98	100	100	99	99	100	90	100	99	100	100	100	100	99	100
八王子	99	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	99	100	100	100	100	100	100
相模湖	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
上野原	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
大月	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

東方面は、首都高各線と千葉以東の東関道や千葉以南の京葉道、館山道との相互間の通行において、京葉道、東関道、アクアラインの間での選択に着目する。

南方面は、第三京浜および横浜横須賀道路と首都高各線との相互間の通行において、三ツ沢線、狩場線、湾岸線のいずれから首都高に流出入するかに着目する。

分析対象区間の遠方側、郊外側の終端は、放射状高速道路間が再び合流する箇所、長野道や磐越道など首都圏外で放射状高速道路間を連絡する路線が接続する箇所などを考慮して図2-4のように設定した。

(5)環状路線整備効果の検証

a)西方面における経路選択の分析

圏央道の整備効果を把握するため、東名、中央道、関越道の放射路線相互間を発着するランプ間ODについて、圏央道経由の選択割合を集計した。先述のとおり、2013年11月時点では圏央道は東名と接続していないため、まず中央道と関越道相互間のランプ間ODに対して2013年11月と2014年11月時点での経路選択割合を比較した(表2-5)。その結果、①発着地の一方でも圏央道の外側(相模湖ICおよび鶴ヶ島IC以西)であれば当該ランプ間ODトリップはほぼ全数が圏央道を選択すること、②発着地の双方が圏央道の内側であるランプ間ODであってもトリップの過半が圏央道選択であること、③上記2つの傾向は2013年、2014年いずれの時点にも共通していることが読み取れた。①の場合は圏央道が短絡路の役割を果たしていると考えられ、②の場合は必ずしも圏央道経由が最短距離とはならないものの混雑する

表2-6 東名→関越道の圏央道選択割合(2014/11)

東名→関越 圏央道経由 ODの割合	所沢	川越	鶴ヶ島	坂戸西	東松山	小嵐山	花園	児本玉庄
東名川崎	10	35	52	52	65	67	74	68
横浜青葉	22	73	82	94	86	95	92	88
横浜町田	63	93	97	100	98	97	98	98
厚木	97	98	100	97	100	100	100	100
秦野中井	97	100	100	95	100	96	100	100
大井松田	96	99	100	100	100	100	100	100

都心部を通過する首都高経由に対して圏央道が代替経路として認識されていると考察できる。また、ETC利用の場合に圏央道経由を促進する割引制度が存在することも影響していると考えられる。一方、割引制度が存在しながら圏央道経由の選択割合が100%とならないことから、走行距離によって経路を選択している利用者もいることが読み取れる。さらに、③の結果から短絡路や代替経路としての圏央道の存在は開通後早期に定着したと考えられる。

表2-6は東名から関越道への通行における圏央道の選択割合を示した。圏央道により東名と関越道が接続されたのは2014年6月であり、表2-6は2014年11月のデータを集計したものである。ここでも発着地の一方でも圏央道よりも外側(東名では厚木IC以西)であれば大半のランプ間ODにおいて圏央道の選択割合が9割を超えている。ただし、東名川崎IC発の場合を中心に圏央道選択割合が低い例が見られる。これは中央道と関越道相互間の場合と比べ、東名と関越道相互間では環状路線である圏央道を経由した場合に走行距離が長くなり、短絡路として機能しにく

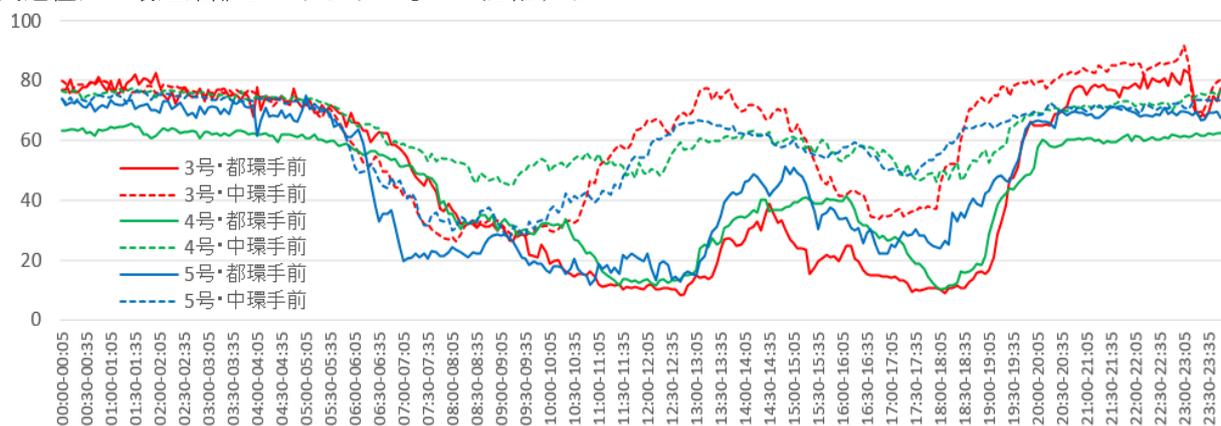


図2-5 首都高3号・4号・5号線上りの平日時間帯別平均旅行速度(km/h)

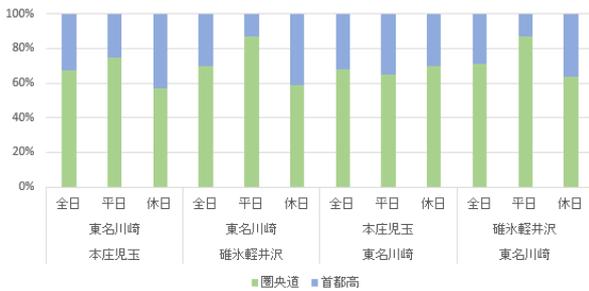


図2-6 西方面 平休別経路選択傾向 (2014/11)

いことに起因していると考えられる。

東名川崎から所沢, 川越までのODについて平日朝(6~10時)に限定した圏央道選択割合は前者が20%, 後者が92%となり, 全日の各々10%と35%から大きく圏央道選択が増えることが読み取れる. 図2.5にトラカンデータを平休別に集計して放射路線から直結する首都高各路線の上り方向における環状線分岐直前の旅行速度を5分ごとに示した. 平日朝に中央環状線手前, 都心環状線手前のいずれでも旅行速度低下が見られ, 東名, 中央道, 関越道相互間の通行において首都高経由では首都高ネットワーク内の経路選択に関わらず混雑の影響を受けるため, 圏央道が迂回路として選択されている可能性を示唆するものである. 平日の日中や夕方では中央環状線手前の旅行速度が回復しており, 中央環状線経由であれば混雑の影響をさほど受けることなく東名, 中央道, 関越道相互間の往来が可能であることから全日集計では走行距離の長くなる圏央道選択の割合が低下していると考えられる.

同様の傾向は平休別に経路選択傾向を集計した図2.6でも確認でき, 一定のトリップ数が確保できるランプ間ODが限定されているものの, 多くの場合に平日の方の圏央道選択割合が高まることが確認できる. 本分析結果が圏央道の東名~中央道間開通の4か月後のものであることを考慮すると, かなり早い段階で圏央道経由が選択肢として定着したことがうかがえる.

b)北方面における経路選択の分析

2014年11月時点では関越道, 東北道, 常磐道を連絡する区間において圏央道は開通しておらず, 一方で首都圏三環状において圏央道よりも内側に相当する外環道が当該3放射路線を連絡している. また, 北関道もこれらの放射路線を連絡しており, 三環状には含めないものの実質的な環状路線として機能している側面を持つ.

北方面(1)では関越道, 東北道, 常磐道相互間の連絡において, 外環道を経由するか北関道を経由するかを選択に着目する. 通行台数が多いランプ間ODが含まれることも影響していると考えられるものの, 平休別での経路選択傾向の差異は少ない. これは経路の選択肢に首都高が含まれず, 平日の渋滞による経路選択への影響が少ないためと考えられる.

北方面(2)では東北道と直結する首都高川口線および常磐道と直結する首都高三郷線, 向島線の相互間において外環道の内側と外側とを跨いで通行する

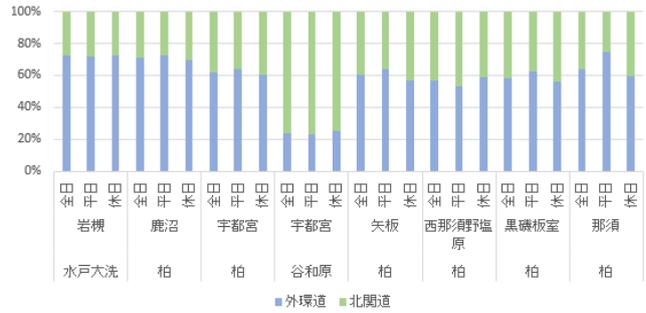


図 2-7 東北道→常磐道 平休別経路選択傾向

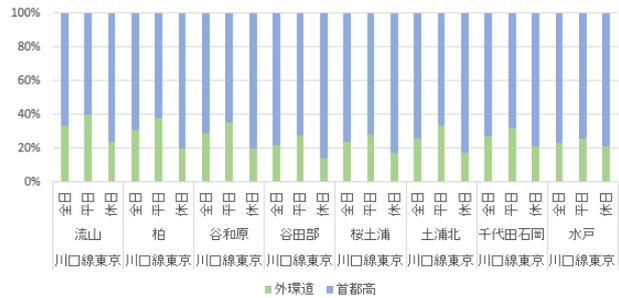


図 2-8 常磐道→首都高川口線 平休別経路選択傾向

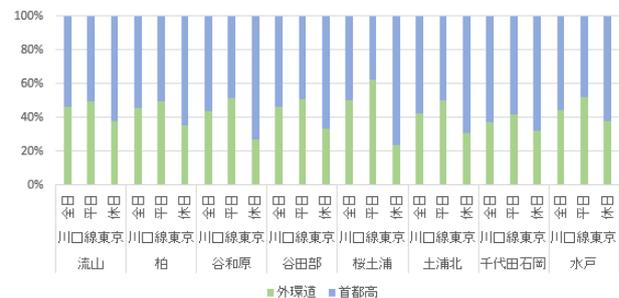


図 2-9 首都高川口線→常磐道 平休別経路選択傾向

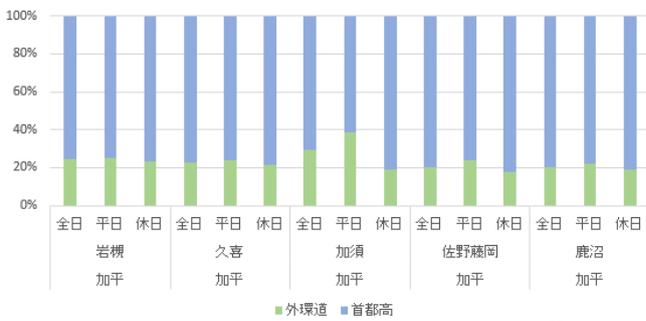


図 2-10 東北道→首都高三郷線 平休別経路選択傾向

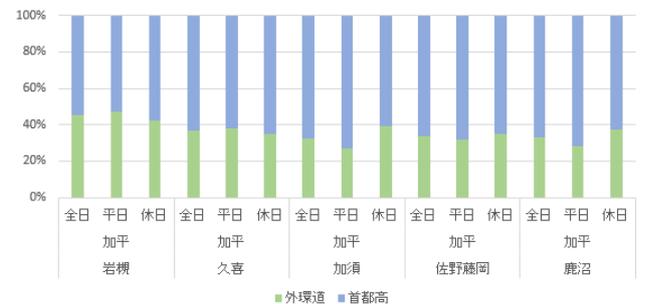


図 2-11 首都高三郷線→東北道 平休別経路選択傾向

ときの首都高と外環道との経路選択に着目する. ここで特徴的なのは首都高発の下り方向のトリップよりも首都高着の上り方向のトリップで首都高選択割

表 2-7 首都高および神奈川方面から房総半島各地までの経路選択傾向 (2013/11)

発ランプゾーン	着ランプゾーン								
	東関東自動車道(宮野木JCT以东)			館山自動車道(木更津JCT以北)			富津館山自動車道		
	京葉道経由	東関道経由	アクア経由	京葉道経由	東関道経由	アクア経由	京葉道経由	東関道経由	アクア経由
3号渋谷線上り外側	0.086	0.913	0.000	0.153	0.378	0.469	0.007	0.057	0.936
4号新宿線上り外側	0.181	0.818	0.000	0.230	0.403	0.367	0.023	0.042	0.935
5号池袋線上り内側	0.244	0.756	0.000	0.387	0.405	0.208	0.051	0.044	0.905
都心環状線内回り南西部	0.023	0.977	0.000	0.036	0.440	0.524	0.000	0.019	0.981
都心環状線外回り南西部	0.312	0.688	0.000	0.457	0.443	0.100	0.000	0.333	0.667
神奈川1号横羽線	0.007	0.984	0.009	0.000	0.047	0.952	0.001	0.023	0.976
湾岸線神奈川線	0.004	0.976	0.020	0.000	0.026	0.974	0.000	0.013	0.987
第三京浜	0.004	0.968	0.028	0.001	0.034	0.966	0.000	0.010	0.990

発ランプゾーン	着ランプゾーン								
	3号渋谷線下り外側			5号池袋線下り内側			神奈川1号横羽線		
	京葉道経由	東関道経由	アクア経由	京葉道経由	東関道経由	アクア経由	京葉道経由	東関道経由	アクア経由
東関東自動車道(宮野木JCT以东)	0.093	0.907	0.000	0.285	0.715	0.000	0.009	0.973	0.018
京葉道路(宮野木JCT以南)	0.213	0.786	0.001	0.531	0.468	0.000	0.018	0.804	0.178
館山自動車道(木更津JCT以北)	0.131	0.440	0.429	0.434	0.324	0.242	0.000	0.009	0.991
館山自動車道(木更津JCT以南)	0.006	0.042	0.952	0.060	0.038	0.902	0.000	0.002	0.998
富津館山自動車道	0.010	0.020	0.970	0.085	0.021	0.893	0.000	0.001	0.999
千葉東金道路	0.206	0.788	0.006	0.545	0.450	0.005	0.005	0.564	0.431
首都圏中央連絡自動車道(東金第一IC以北)	0.210	0.770	0.020	0.470	0.500	0.030	0.004	0.144	0.852
首都圏中央連絡自動車道(木更津JCT~茂原北IC)	0.018	0.076	0.906	0.088	0.100	0.812	0.000	0.001	0.999

表 2-8 首都高用賀ランプから房総半島主要 IC までの距離と ETC 料金 (2013/11)

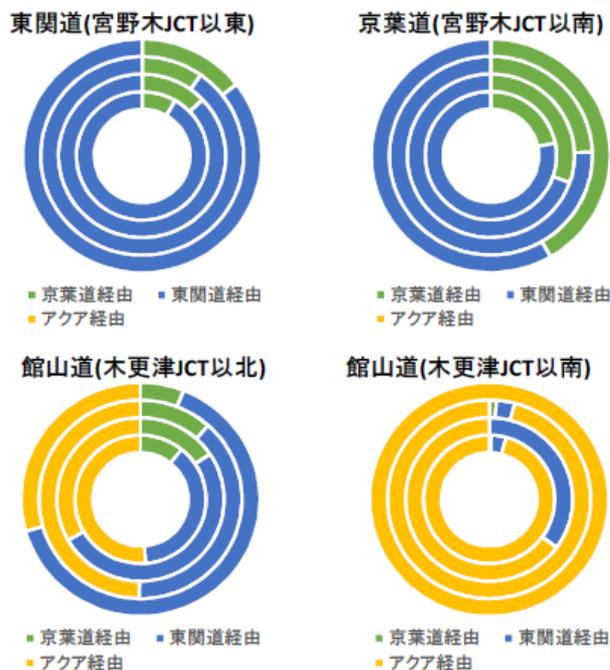
用賀から	成田まで			穴川まで			市原まで			君津まで		
	距離 (km)	料金(円)										
		普通車	大型車									
京葉道経由	76.9	2,300	3,950	55.0	1,400	2,550	73.4	2,000	3,400	100.1	2,650	4,500
東関道経由	83.2	2,450	4,250	58.8	1,500	2,800	77.2	2,150	3,700	104.0	2,850	4,800
アクア経由	128.3	4,100	6,900	99.5	3,100	5,300	79.0	2,650	4,600	68.1	2,400	4,100

合が高まる点である。この要因としては経路選択のタイミングが考えられる。下りは首都高にハーフインターが多いため流入時に経路がほぼ確定するのに対し、上りは首都高と接するJCTまで経路選択の猶予があり、渋滞情報などを考慮して首都高がそれほど混雑しない時間帯に首都高選択の割合が上昇すると考えられる。

(6)首都圏高速道路ネットワークにおける経路選択特性の把握

a)東方面における経路選択の分析

東方面は首都高対房総半島での高速道路通行における経路選択の分析である。3経路のいずれも一定割合で選択されるのは館山道木更津JCT以北に存在する市原IC、姉ヶ崎崎ヶ浦ICに限られており、この点は2013年11月、2014年11月いずれの時点においても共通する。この区間より北では経路選択は実質的に京葉道と東関道の2択となり、一方この区間より南ではアクアライン選択が卓越する(図2-12)ことから、ドライバーは大局的な観点から所要時間と通行料金を勘案してかなり合理的な経路選択をしていると考えられる。表2.7に示したように発着ゾーンの差により大きく経路選択傾向が異なることもこの考え方を支持するものといえる。一方、複数の選択肢間で所要時間や通行料金といった効用が拮抗する場合は一方の経路選択肢における混雑や渋滞によって容易に所要時間の有利不利が逆転するとともに、ETCの多様な割引制度によって通行料金の逆転も起こりうる。このような状況下で複数の経路選択肢でシェアが分



内側から平日普通車、平日大型車、休日普通車、休日大型車の順
図2-12 首都高対房総半島の経路選択 (2013/11)

かれる結果が観察されていると考えられる。例えば図2-12右下に示した館山道木更津JCT以南発着の場合の経路選択(普通車)で若干ながら東関道経由が見られるのは、走行距離や料金の観点から東関道経由が不利であってもアクアラインの混雑を避けている利用者がいるためであると考えられる。

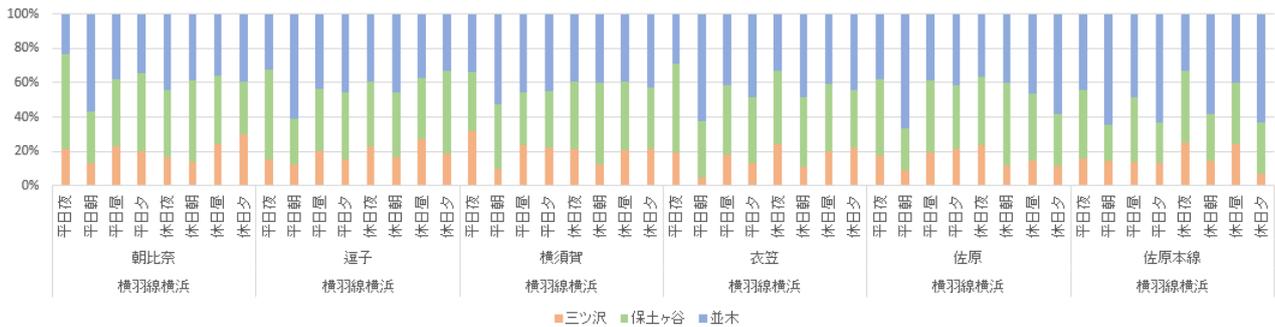


図 2-13 横浜横須賀道路→首都高横羽線 時間帯別経路選択傾向

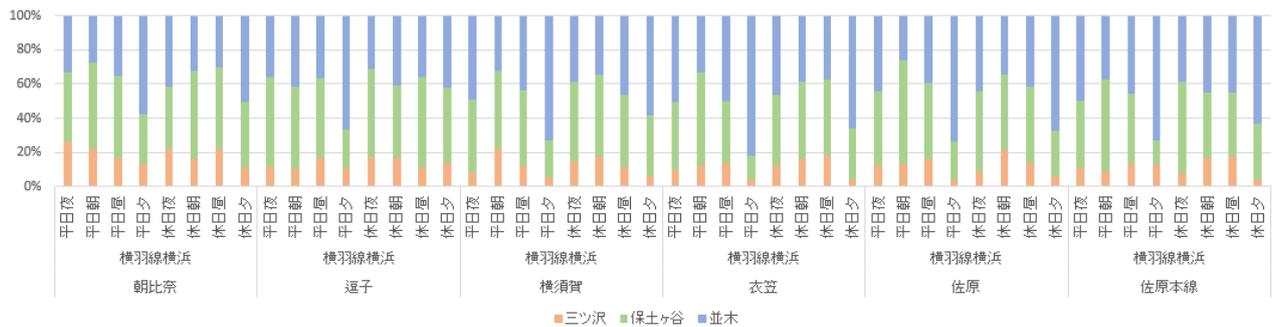


図 2-14 首都高横羽線→横浜横須賀道路 時間帯別経路選択傾向

b)南方面における経路選択の分析

南方面も東方面と同様に経路選択肢が3つ存在する。このうち三ツ沢線経由と狩場線経由の2つは横浜都心部を經由し、比較的混雑しやすいJCTを經由する一方、湾岸線経由はやや走行距離が長くなるものの、横浜都心部を通過することなく東京方面への通行も可能である。ランプ間ODペアによって差異は見られるものの、平日には横浜都心部に近い保土ヶ谷JCT経由の選択が減少し、代わって湾岸線と接続する並木JCTの選択が増加する傾向がある。西方面や北方面(2)の場合と同様に、横浜都心部における首都高の混雑状況によって経路が選択されているものと考えられる。図2-13および14に示す通り、時間帯別に観察するとこの傾向がさらに顕著となり、平日朝に横須賀から横浜、東京方面、平日夕に東京、横浜方面から横須賀への通行でのみ湾岸線経由が増加する傾向が見られた。これはラッシュ主方向と一致しており、前記の仮説を支持するものである。また、同一ランプ間ODでありながら通行方向によって経路選択に差異が生じやすいのは、港南台ICから横羽線川崎地区相互間の組み合わせであった。これは港南台ICからの流入時は上下どちらの方向に流入するかで並木JCT経由を選択できるか否かが確定するのに対し、横羽線川崎地区から流入する際は大黒線経由などにより、走行中に經由するJCTを選択できること、すなわち経路選択のタイミングが流入時か走行途中かの差異が表れている例と考えられる。

(7)経路選択モデルの構築と時間評価値の算出

本研究ではETCでの決済記録をもとにした走行実績データを用いているため、全ての時間帯について全ての経路選択肢での走行実績を確保することは困

難であることから、経路選択モデル構築と時間評価値の算出にあたっては集計ロジットモデルを用いることとした。

分析対象とするランプ間ODにおいて、経路ごとの平均所要時間と平均通行料金をETC-ODマッチングデータより算出し、集計ロジットモデルを用いて各経路の効用に与える所要時間および通行料金のパラメータおよび他の要素を包含する経路ごとの定数項を導出した。十分なデータ数を確保するため、分析対象は普通車のデータに限定されたものの、通勤や業務を目的としたトリップとレジャーなどの私事トリップとでは経路選択傾向に差異が見られる可能性も想定されるため、パラメータ算出は平休別に行った。

図2-15に示した結果を概観すると、東方面と南方面における経路の選好を表す定数項のみが有意であるとの結果であり、所要時間や通行料金のパラメータが正值となっている場合や時間評価値が負値となっている場合も存在する。また、所要時間や通行料金のパラメータの絶対値が非常に小さいことから、これらの差異が経路選択に与える影響は比較的小さいことが示唆される。

以上の結果から、集計ロジットモデルによりパラメータ推定は必ずしも成功したとはいえない結果となった。この要因として、分析対象としたランプ間ODにおける経路選択肢間では先述の通り所要時間や通行料金の観点から効用が拮抗しており、それらの優劣が混雑状況やETC割引制度により容易に逆転しうる状況であることが考えられる。すなわち平休別の平均的な効用では、現実における経路選択の状況での効用を正確に表現しきれていなかった可能性が高い。今回の分析では1か月分のデータを使用したとはいえ、分析対象を各ランプ間ODとし、平休別に

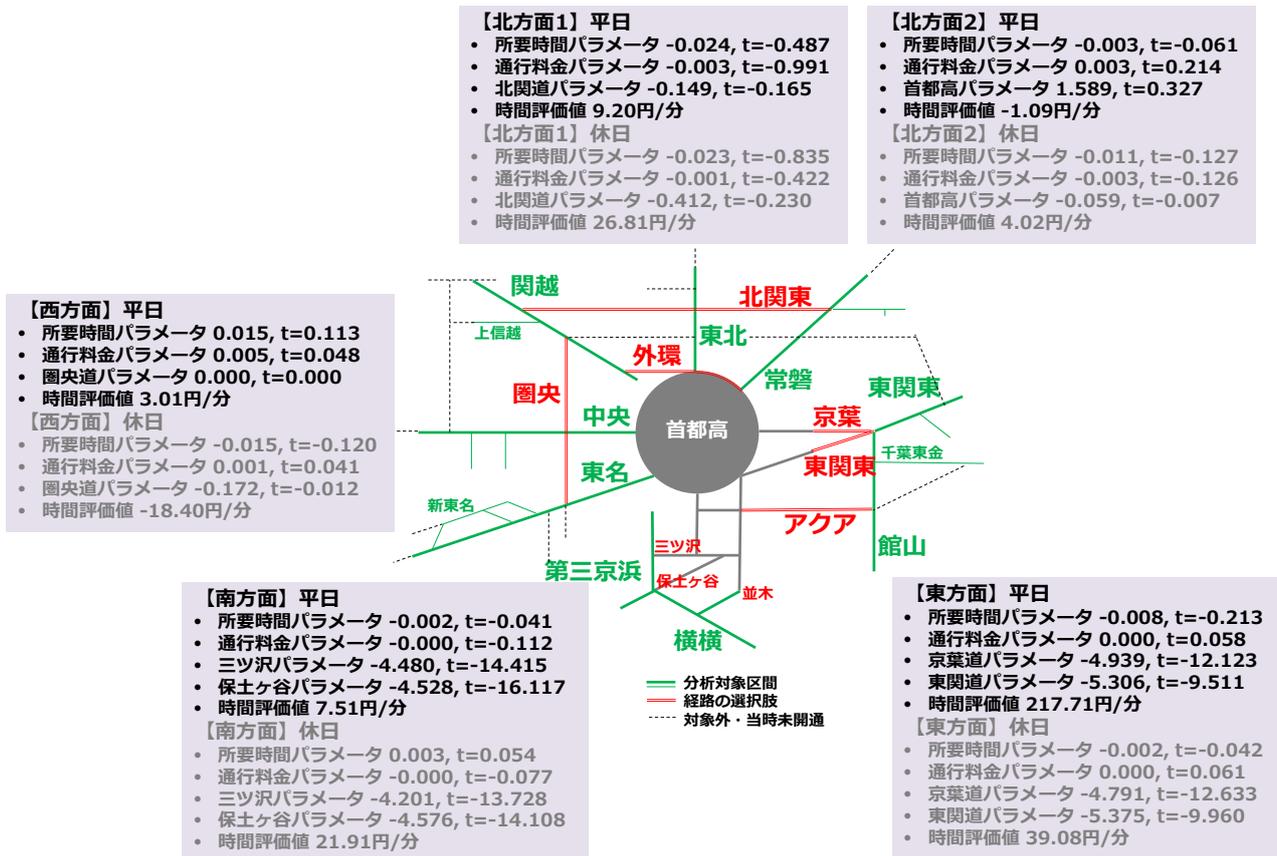


図2-15 方面別・平休別 集計ロジットモデルのパラメータ推定結果

加えて時間帯別に細分化して効用を算出することは困難であった。また、分析対象となるランプ間ODでは、経路選択肢間で所要時間や通行料金が拮抗しているため、ランプ間ODをゾーン集計してゾーンごとの平均的な効用を算出することも誤差を生じる要因になるとの考えから、ゾーン集計を行わず各ランプ間ODを分析の単位とした。平休別だけでなく時間帯別などの細分化された条件で平均的な効用を算出できる十分なトリップ数を含むデータを確保することが課題と言える。

2.4 首都圏三環状ネットワークにおける料金体系の戦略的展開の考え方

(1)本節の目的

本節では、ここまでの分析結果を踏まえ、かつ今後の社会経済動向や道路管理技術動向を踏まえて、首都圏三環状ネットワークの今後の料金体系の考え方について考察・提言する。

(2)今後の料金体系の戦略的展開の考え方

a) 全体的な方向性

図2-16に首都圏で想定される高速道路ネットワークを巡る道路政策ニーズと、その実現に資する料金体系と総合交通マネジメント、および必要な研究開発項目の対応関係を提示する。

先述の『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」』によれば、今後15年程度の政策ニーズとして、

- ①ネットワーク概成時に利用効率を最大化するマネジメント方法の提案、
 - ②2020年東京オリンピック/パラリンピック対応、
 - ③戦略的なネットワーク維持管理・修繕・更新が可能なマネジメント方法の提案、
 - ④災害時の一時的なネットワーク損傷に臨機応変に対応するマネジメント手法の提案、
- が挙げられる。

料金体系については、2016年4月から導入された現行の料金体系の効果や影響を継続的にモニタリングし、2020年頃を予定するネットワーク概成時を目処に基本料金体系を確立させることが必要であると考えられる。その上で、より戦略的な料金体系の構築に向けて、交通が集中する箇所・時間帯に対応する混雑管理のための付加的な料金制度を早期に試行的に導入する必要がある。この試行において料金変動に対する利用者の反応や効果等についてのデータを実地で収集し、オリンピック/パラリンピックに対応する期間特別料金制度の設計へと応用することが求められる。このような過程を経て、交通流状況により料金変動することに対する利用者の受容性を高めていき、将来的には混雑管理のための料金体系の本格導入が可能となると考える。

ここで、高速道路料金を利用者、道路会社双方の立場で捉えてみると、利用者にとっては高速道路利用による一般道路利用と比較したときの時間短縮効果への対価であり、道路会社にとっては速達性のある道路網および走行環境を維持するための原資である。前者の観点からは、交通容量を超える利用者が殺到した場合には利用者が速達性を享受できなくなると

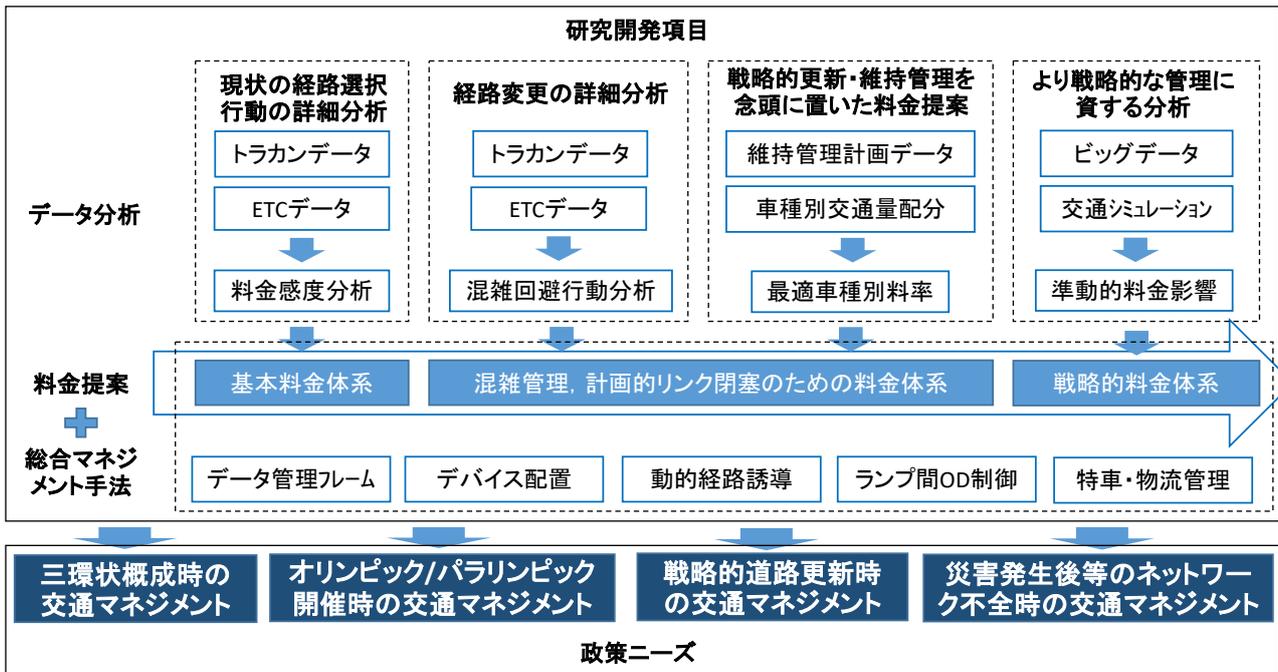


図 2-16 首都圏三環状ネットワークの料金体系の戦略的展開の考え方

いう観点から、需要量に応じた価格変動，すなわち混雑時課金の根拠となる。後者には新路線建設費用に留まらず、老朽化した構造物の補修や更新に関する費用も含まれると考えられ、新規開通路線や大規模修繕を行う路線の料率を割り増す根拠ともなりうる。しかし、補修や更新による工事で高速道路利用の速達性が損なわれる場合には、利用者の支払意思額が低下する可能性があること、および高速道路料金の実勢価格が支払意思額を上回る利用者が旅行を取りやめるのではなく一般道路に影響を及ぼす可能性があることに留意しなければならない。

b) 大規模更新など区間の計画的閉鎖に対する料金施策の考え方

オリンピック/パラリンピック終了後は、首都圏三環状ネットワークのうち初期に建設された区間の大規模更新を視野に入れる必要があると見られる。ネットワークの概成によって迂回経路を複数提供することが可能となっており、計画的な長期部分閉鎖による対応が可能となるかもしれない。このとき、2.2節の分析で、東京都心部の料金割増が高速道路交通量減少に及ぼす影響は相対的に小さいことが示唆されたことから、かつ、2.3節の分析で、高速道路の経路選択の効用関数で費用パラメータの感度が非常に小さい結果が得られていることから、例えば、長期閉塞区間周辺の区間の距離料率を割り増して、一般道路への転換を防ぎながら周辺ネットワークへ転換させ、これによる収入増を更新費用の一部に転用することは十分視野に入る。

さらに将来の維持管理費用削減やインフラ費用の低減を目標に大型車の通行可能区間を戦略的に設定することを検討すべきであろう。2.3節の分析において、大型車は料金割増に対してより敏感に反応する

傾向が示されていることから、環状路線は大型車料金を下げる一方で、構造物のダメージ軽減を目的に首都高の大型車料金を上げるような戦略的料金設定が必要となると考える。この応用として、災害後一時的にネットワークの一部区間で長期閉塞を余儀なくされるような局面での戦略的料金設定も十分に可能となると考えられる。

c) 混雑管理に対する料金施策の考え方

2.3節の分析では、料金パラメータ感度が非常に小さいため、現状では料金変化による機動的な経路変更の可能性はあるとは言えない状況であり、高速道路ネットワーク上の経路選択・変更のトリガーは主として予測または知覚所要時間となっていると考えられる。しかし経路選択が可能でランプ間ODが限定的であり、多様なランプ間ODで経路別に料金が異なり、そのことが利用者に十分に浸透している環境では、料金パラメータの感度が高くなる可能性はある。

もちろん、ETCに基づく料金收受システムでは、渋滞などの突発的現象に対応して料金を変動させるような機動的な料金施策の適用は可能である。2.2節の分析結果を参考に、例えば、首都圏三環状ネットワークを、首都高都心環状線と三環状を境界線とするゾーンに分け、各ゾーン内における過去の平休別時間帯別の渋滞実績やリアルタイムの通行台数をもとに、ゾーン内に進入した時点で設定された金額を徴収あるいは料金收受時に適用される割増率を設定する方法は、導入初期の有力な料金制度として一考に値しよう。これはすでにシンガポールERPなどで運用されている方式に近いものであり、本線上にフリーフローETCスポットを各環状線のジャンクション接続路に整備すれば、比較的容易に実現可能である。

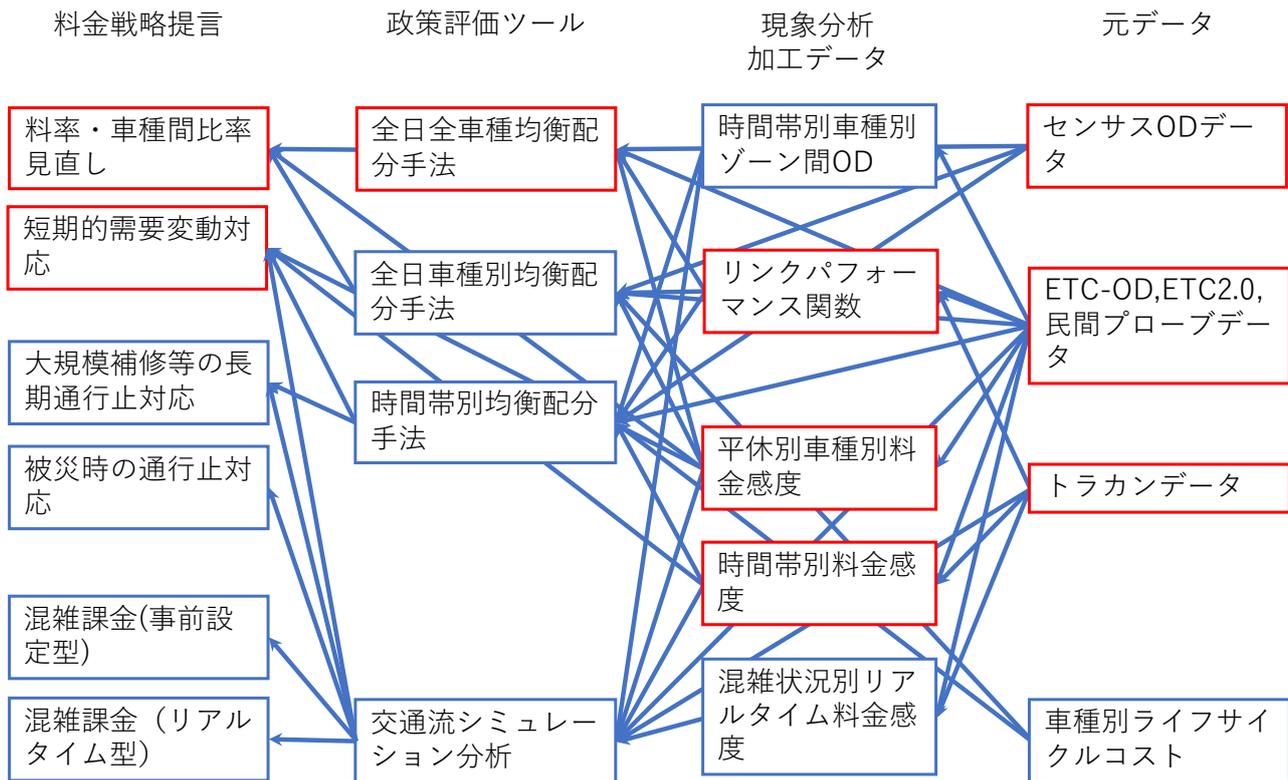


図 2-17 首都圏三環状ネットワークの料金体系の戦略的展開の資する研究の体系

(3)料金体系の戦略的展開のための技術ニーズ

図2-16のような料金体系の戦略展開をサポートするための技術ニーズとしては、次のような論点が提示できる。

第一に、ETC、ETC2.0、トラカン、商用プローブデータ等の交通データを統合的に管理する仕組みの導入が必要である。特に、基本料金体系を超えて時間帯別料金や混雑料金を柔軟に効果的に設定していくためには、これまで以上に豊富なデータを通じて、きめ細かい経路利用特性やその要因を理解することが不可欠である。2.3節で実施したような2ヶ月間程度のETC-ODマッチングデータの量では、特に大型車のランプ間ODの経路選択分析は統計的に不可能であるため、少なくとも数年間オーダーのデータを蓄積する必要があると見られる。さらにETCだけでは一般道路との転換を把握することができないため、ETC2.0や商用プローブデータの利用が不可欠であるが、プローブ数の増加が大きな課題である。一方、経路選択要因を分析する際に、選択されなかった経路を走行した場合の交通状況は把握できないため、トラカンデータの融合は依然として不可避であると考えられる。

第二に、第一の技術ニーズと関係するが、交通データを取得するデバイスの適切な配置を検討する必要がある。一般道路を含めた首都圏三環状ネットワークの料金設定を通じた交通管理に向けて、ETC2.0を活用することを念頭に置く場合、高速道路利用頻度の低い層の走行データを無駄なく取得するための

スポット整備を早急に考える必要がある。

第三に、料金変化による動的経路誘導の技術である。具体的には、時間帯別料金や混雑料金を導入する場合に、どのようなデバイスやインターフェースで料金変化の情報を伝達するかを検討する必要がある。利用者の受容性を詳細に検討するとともに、社会実験を通じて反応を見ることも必要である。本章の分析では、経路選択における料金感度が小さいものの、料金に変更されることを前提していない利用時の分析であるため、時間帯別料金や混雑料金が導入された場合の料金感度よりは十分に小さい可能性はあると考えられる。その他、ランプ間OD制御や特殊車両・物流車両の移動管理に関する技術も重要となる。

(4)戦略的料金体系評価に必要な研究項目

首都圏三環状ネットワークの戦略的料金を評価するために必要な研究項目について、データと評価ツールとの対応関係を図2-17に示す。なお、本章で対応した項目については赤枠で囲んでいるが、戦略的料金体系の提案に向けた第一歩に過ぎないことが見て取れる。

本章で使用した全日全車種均衡配分手法については、基本料金体系の設定には適用可能であるが、車種区分による料金比率の評価には、最低限車種別均衡配分手法が必要である。時間帯料金の評価には、時間帯別均衡配分手法の適用が必要となる。これら手法の実用的開発に向けては、時間帯別・車種別のゾーン間OD交通量と経路選択比率のデータが不可

欠であり、そのためにはETC2.0の普及と、データを頻繁に吸い上げるスポットの充実化が避けて通れない。料金の車種間比率の設定に、車種が道路の損傷に与える影響を反映する場合には、ライフサイクルコストに関するデータが必要となることは言うまでもない。

さらに、混雑料金の評価には、混雑の影響を上手に考慮できない均衡配分手法では本質的に評価が難しく、交通シミュレーションの利用がより適切である。この場合、交通シミュレーション内の経路選択メカニズムについて、動的な料金変化に対する感度を表現可能な構造とする必要がある。

2.5 本章の結論

本章では、首都圏三環状ネットワークが概成する時点以降を見据え、新たな料金体系のあり方について検討する基礎資料を得るための分析を展開した。首都圏三環状ネットワークは2020年頃には概成すると見込まれ、同年には東京でオリンピック/パラリンピック大会が開催されるため、会期中は高速道路を活用した関係者輸送による一般車両への影響が予想される。また、建設初期の高速道路は大規模修繕や長寿命化が必要な時期に達しているものの、冗長性のあるネットワークを活用することで、工事箇所区間の一定期間閉鎖などの措置により効果的な施工が行える可能性もある。

このような状況下で道路ネットワークを賢く使うための交通誘導策の一つとして料金施策が考えられるため、本章では利用者均衡配分モデルを用いた料金体系変更の影響分析と、ETC-ODマッチングデータを用いた経路選択特性の把握を行った。前者では、2012年当時の料金体系（ケース0）に対して、全社共通料率による対距離制料金（ケース1）およびこれを基本に都心部での割増料金（ケース2）を導入した場合、高速道路会社全体での料金収入は現状維持もしくは微増するとの試算結果を得た。2016年4月以降の同一起終点同一料金の料金体系はケース1に近いものであり、今後の料金施策展開として、都心部で割増料金を導入して外側の環状道路の利用を促進しても高速道路会社全体では減収としない可能性を示唆している。一方で、圏央道を含む外環道外側のネットワークの利用促進を目指してその距離料率を下げた場合は、微減収となる可能性がある点には注意が必要である。

一方、ETC-ODマッチングデータの分析からは、開通後数か月で圏央道利用が定着し、多くのランプ間ODで圏央道の選択割合が高くなっているなど、環状路線の整備効果が確認できた。また、経路選択特性に関して、広域的な視点では、利用者は走行距離や所要時間などの観点から最短の経路を合理的に選択している傾向にあり、複数の選択肢間で効用が拮抗する場合のみ多様な選択が見られることが読み取れた。経路選択確率の集計ロジットモデルの推定結果から、このような状況下における経路選択は、必

ずしも料金や平均的な所要時間の実績、期待値によって説明できず、混雑状況などリアルタイムな所要時間情報により経路選択が行われている可能性があることが分かった。

以上の分析結果を踏まえ、首都圏三環状ネットワークの今後の料金体系の考え方について考察・提言した。例えば、近い将来に想定される大規模更新に対応するための該当区間の計画的閉塞に対応する料金施策として、閉鎖区間周辺の距離料率を上げて当該区間の迂回を促せる可能性があること、混雑管理に対応する料金施策としては環状路線をコードンラインとしたゾーン料金が一例として考えられることを示した。

最後に、上記の戦略的料金体系を実現する技術シーズと継続検討が必要な研究開発項目について考察した。具体的には交通データマネジメントスキームの検討、受容性の高い経路誘導技術の開発、時間帯料金・車種別料金・混雑料金を評価できるより高度なネットワーク交通流分析手法の開発の必要性を述べた。特に喫緊の課題は、時間帯別・車種別の経路選択傾向を多様なランプ間ODで把握するためのETC-ODマッチングデータを長期間に渡り整備することが挙げられる。

参考文献(URLは2017年7月10日現在)

- 1) 社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会中間
答申：高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の
基本方針，2015.
<http://www.mlit.go.jp/common/001098868.pdf>
- 2) 国土交通省道路局：首都圏の新たな高速道路料金に関す
る具体方針(案)，2015.
<http://www.mlit.go.jp/common/001104396.pdf>
- 3) (独)日本高速道路保有・債務返済機構ほか：「首都圏の新
たな高速道路料金の具体案」について，2015.
http://www.shutoko.co.jp/company/press/h27/data/09/18_publiccomment/
- 4) 国土交通省道路局：首都圏の新たな高速道路料金導入後
1ヶ月の効果について，2016.
http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000685.html
- 5) 国土交通量道路局：ETCの利用状況，
<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/etc/riyou/index.html>
- 6) 一般財団法人 ITS 高度化サービス機構 ETC 総合情報ポ
ータルサイト：ETC2.0の概要，
<https://www.go-etc.jp/etc2/etc2/index.html>
- 7) この段落は、執筆者が2015年11月にシンガポール陸上
交通局(Land Transport Authority)で実施したヒアリング
調査に基づいて記述している。
- 8) 松井寛，藤田素弘：高速道路を含む都市圏道路網におけ
る利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究，土木学
会論文集，No. 653，pp 85-94，2000.
- 9) 三輪富生，森川高行：複数の高速道路経路を考慮した確
率的均衡配分法に関する研究，土木計画学研究・講演
集，Vol. 23(2)，pp.739-742，2000.
- 10) 井上伸一，山口修一，鈴木裕介，円山琢也，森田綽之：
高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配
分モデルの実証的研究，土木学会論文集D3，Vol.67，No. 5，
pp 779-786，2011.
- 11) 古賀浩樹，鈴木裕介，加藤昌樹，森田綽之：首都高速
道路における車種別利用者均衡配分モデルの適用検討，
第31回交通工学研究発表会論文集，pp.261-266，2011.
- 12) 三輪富生，山本俊行，森川高行：多様な高速道路料金
施策の分析に向けた交通均衡配分モデルの構築，高速道
路と自動車，Vol.57，No.3，pp.23-31，2014.
- 13) 山本隆：利用者均衡配分に基づく全国高速道路の交通
量推計手法に関する研究，土木学会論文集D3，Vol.72，
No.2，pp.153-172，2016.
- 14) 大口敬，羽藤英二，谷口正明，吉井稔雄，桑原雅夫，
森田綽之：首都高速道路における経路選択行動に関する
実態調査，土木学会論文集，No.590，pp.87-95，1998.
- 15) 清水哲夫：効率的な車両空間配分による都市高速道路
の交通流円滑化に関する研究，東京工業大学博士論文，
2002.
- 16) 秋元健吾，小根山裕之，西内裕晶，割田博，桑原雅夫：
ETCデータを用いた首都高速道路のランプ入口・出口選
択行動に関する実証分析，土木計画学研究・講演集，37，
2008.
- 17) 永井政伸，日比野直彦，森地茂：ETC-ODデータを用い
た都市高速道路の経路選択行動に関する研究，土木学会
論文集D3，Vol.67，No.5，pp.589-597，2011.
- 18) 遠藤学史，日比野直彦，森地茂：フリーフローETCデ
ータを用いた都市高速道路経路選択行動分析への一般
化平均概念適用，土木学会論文集D3，Vol.69，No.5，
pp.523-532，2013.
- 19) 西内裕晶，吉井稔雄，桑原雅夫，Marc MISHKA，割田博：
ETC-ODデータを用いた首都高速道路におけるランプ間
OD交通量の変動特性分析，土木計画学研究・論文集，
Vol.27，No.5，2010.
- 20) 田中厚，森地茂，日比野直彦：都市高速道路における
ETC-ODデータの利用可能性に関する一考察，土木計画
学研究・講演集，39，2009.
- 21) 清水哲夫，吉田正：ETC利用データを用いた首都圏高
速道路ネットワークにおける経路選択特性分析，土木計
画学研究・講演集，No.51，2015.
- 22) 相尚寿，清水哲夫，吉田正：ETC-ODマッチングデー
タを用いた首都圏高速道路ネットワークにおける経路選
択行動および時間価値の詳細分析，土木計画学研究・講
演集，No.55，2017.

第3章 首都高における距離帯別料金制導入の効果に関する研究

3.1 はじめに

(1) 本章の内容

本章では、平成24年始に首都高速道路（以下、首都高、と称す）で導入された距離帯別料金制について、導入前後の距離帯別の走行台数データを用いて、その効果を社会的余剰の観点から分析する。研究の目的、それ以前の料金圏別一律料金制との料金制度の相違点、分析の考え方、モデルの説明、分析結果、及び課題・考察等について以下で述べる。

(2) 政府の方針

高速道路のネットワーク整備が進みつつある中で、それらの賢い効率的な利用に向けて、国土交通省は『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針』¹⁾を平成27年1月に公表し、これを踏まえ、『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の中間答申』を平成27年7月に公表した。この中で、「首都圏料金の賢い3原則」及びその「実現に向けた取組」を表1のように整理している。

さらに、これらの取組について、「三環状を中心としたネットワーク整備の進展に合わせて、東京オリンピック・パラリンピックの開催時期を念頭におきながら、抜本的な見直しにより賢く使うための料金体系へと変革すべきである」と述べている。

(3) 分析方針

以上のように、高速道路の賢い使い方について、特に料金施策の面での検討、分析、知見の提供が急務であると考えられる。そこで、表3-1の下線部、すなわち「シームレス対距離料金施策」及び「混雑料金施策」について本章で着目することとする。

すなわち、将来のシステム運用へ向けた、料金施策を核とした効率運用に関する研究の基礎研究とし

て、対距離料金施策による交通流変化や社会的余剰増加効果を検証するためのモデル構築と分析を行う。

表3-1 「首都圏料金の賢い3原則」

3原則	説明	実現に向けた取組
①利用度合いに応じた公平な料金体系	受益者負担の考え方に立ち、対距離制を基本とした公平な料金体系	料金体系の整理・統一： <u>料金水準や車種区分について、対距離制を基本としつつ、首都圏における統一を図るべき</u>
②管理主体を超えたシームレスな料金体系	管理主体間の継ぎ目を感じることなく利用することが可能となる、シームレスな料金体系	起終点を基本とした継ぎ目のない料金の実現：首都圏道路ネットワークを一体として捉え、外側の環状道路の利用が料金面において不利にならないよう、 <u>経路によらず起終点間の最短距離を基本に料金を決定すべき</u>
③交通流動の最適化のための戦略的な料金体系	高速道路及び一般道路により構成されるネットワーク全体を交通状況に応じて効率的かつ柔軟に利用するための戦略的な料金体系	政策的・戦略的な料金の導入： <u>混雑状況に応じた料金施策</u> 、災害・事故発生時等における柔軟な料金施策、大型車の効果的・効率的な利用を促すための料金施策を実施することが必要

出典：国土交通省報道発表資料より作成

3.2 対距離料金施策による交通流変化及び社会的余剰増加効果の検証

(1) 先行研究整理

高速道路における料金施策と交通マネジメントとの関連については多くの先行研究が存在する。それらの基盤となっているのはMohring (1976) ²⁾の成果である。最適な混雑料金を課し、その収入で道路整備を行う場合、料金収入と道路整備費用が等しい時、最適な道路整備水準が達成されることを示し、分析手法・結果は後の研究に大きな影響を与えている。

根本・味水 (2008) ³⁾によれば、現在のインフラ水準を所与とした総交通費用最小化を図る観点からは短期限界費用による料金設定が推奨され、そのように決定された料金は非渋滞時では利用台数が1台増加する場合の維持管理費用と同水準である。味水 (2014) ⁴⁾は、対距離料金制度はそのような状態の実現に適した手段であると述べている。

実際の対距離課金についての研究は、太田 (2011) ⁵⁾が首都高の対距離料金制導入の背景や根拠について整理している。

均一料金制から対距離料金制への移行による便益変化に関する研究は少ない。奥嶋・秋山 (2006) ⁶⁾は、均一料金制度と対距離料金制度について一般道を含めた都市道路網を対象として交通均衡分析を行い、料率が38円/km以下であれば均一料金制よりも対距離料金制の方が利用者便益（走行時間短縮便益と料金収入の増分の差）が高くなると推計した。また、秋山ほか (2014) ⁷⁾は、首都高と同時期に料金圏内均一料金性から距離帯別料金制に以降した阪神高速道路のネットワーク（一般道、都市間高速道路を含む）において、現状の階段型の距離帯別料金の他、上限・下限付直線型、逕増逕減型、及び非線形関数型の計4種類の料金設定に基づき、需要変動型利用者均衡配分計算を行った。シミュレーションにより、料金収入や利用台数は階段型が最も少なく、非

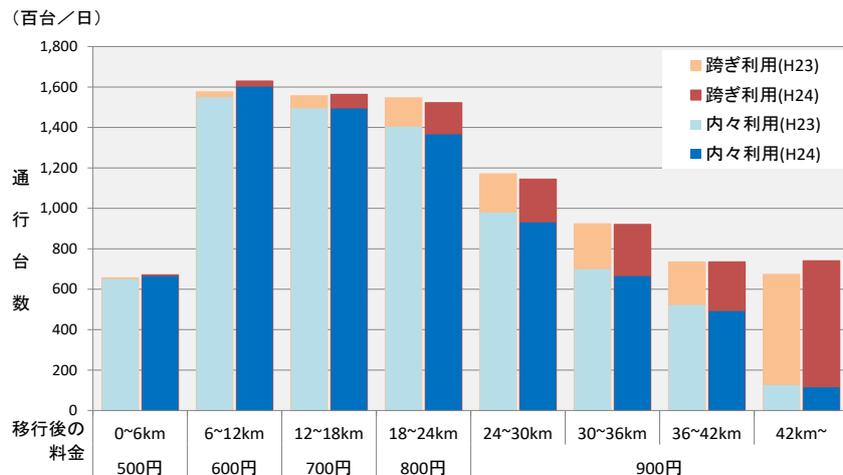
線形関数型の料金設定で総走行時間短縮便益が最大となることを示した。上記はいずれも交通量均衡配分分析であり、また、ミクロ経済学でしばしば用いられる消費者余剰等余剰の概念が用いられていない。本節においては、実際に観測された距離帯別（及び料金圏内々利用・跨ぎ利用別）交通量を用いて余剰の概念を用いて変化の推計を行う。

(2) 距離帯別料金導入による交通変化

首都高において2012年1月から導入された距離帯別料金制度では、最初の6kmまでが500円、以降6km毎に100円が加算され、24km超の場合は一律900円の利用料金が徴収される。この新たな料金体系の導入前後で、交通状況に変化が生じた（図3-1）。

全体で見ると97.1万台/日から95.3万台/日と約2%の減少となっている（首都高速道路株式会社 (2013) ⁸⁾）。距離帯別に比較してみると、旧料金圏の内々利用について均一料金と比べて値上がりとなった18km超の長距離交通は減少し、値下がりとなった12km以下の短距離交通は増加しており、料金の変化に応じて交通量の変化に違いが生じている。また、全体で見ると長距離交通の中でも36kmを超える利用については増加している。その背景には、跨ぎ利用については料金が値下げとなっていることに加え、900円を上限としていることが影響していると考えられる。

なお、料金収入については首都高速道路株式会社発表の速報 (2011年1月と2012年1月との比較) では、4%の増収となっているが、平日に限っては1%の減収であり、料金収入は大きな変化がなかった（首都高速株式会社 (2012) ⁹⁾）。また、ETC車のみを対象とした図1の数値を用い、交通量は全て普通車であると想定した試算を行うと、一日当たり約22百万円の減少（約3%の減少）という試算結果が得られ、収入に大きな変化は生じなかったと言える（表3-2）



※1: ETC車に限定
 ※2: 移行後の料金は、消費税増税前のETC利用の普通車料金を表示(大型車は2倍)
 ※3: 1. 2月及び6~12月の平日(月~土)の平均台数を表示
 出所: 首都高速道路株式会社 (2013) を基に作成⁴⁾

図3-1 距離別料金制移行前の料金体系

表3-2 距離帯別料金導入による総料金収入の変化の試算

走行距離帯	H23 利用台数		H23 合計料金収入 (推計値)	H24 内々及び跨ぎ利用		H24 合計料金収入 (推計値)	H23 から H24 への収入増減 (推計値)
	内々利用	跨ぎ利用		料金	利用台数		
0~6km	65	0.6	46,280	500	67.1	33,550	-12,730
6~12km	155	2.6	111,880	600	162.9	97,740	-14,140
12~18km	149.5	6.1	112,580	700	156.3	109,410	-3,170
18~24km	140.4	14.2	116,740	800	152.2	121,760	5,020
24~30km	98	19	93,300	900	114.4	102,960	9,660
30~36km	69.9	22.4	78,050		92	82,800	4,750
36~42km	52.2	21.2	64,100		73.5	66,150	2,050
42km~	12.6	54.7	79,930		74	66,600	-13,330
合計	742.6	140.8	702,860	—	892.4	680,970	-21,890

【単位】 料金：円/台，台数：千台/日，収入：千円/日）
出典：首都高速道路株式会社（2013）を元に作成

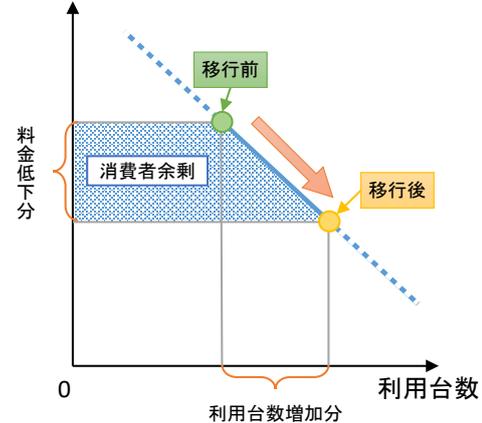
表3-3 試算時に想定する条件

- ① 首都高と一般道の二種類の道路で構成；一直線の高速道路（首都高）と、通行料金が課されず首都高に並行する同延長の一般道
- ② 交通は全て普通車であり，ガソリン自動車(2010年式の乗用車)
- ③ 各距離帯の首都高と並行一般道の合計利用台数は，料金制変更前後で一定
- ④ 料金制変更前後の利用台数変化による，平均旅行速度の変化を推計
- ⑤ 首都高の距離帯別利用台数は，観測された距離帯別料金導入前後の値を使用
- ⑥ 一般道の距離帯別利用台数は，H23（距離帯別料金制移行前）については，所得分布から推計した時間価値分布を用いて推計（年間労働時間は2,080時間と想定）し，H24（距離帯別料金制移行後）については，③及び⑤の条件を用いて算出
- ⑦ 料金制変更前の内々利用は旧東京料金圏（700円），跨ぎ利用は旧東京料金圏と旧神奈川料金圏（計1,300円）を利用
- ⑧ 一般化費用は，通行料金，時間費用，及び燃料費用で構成
- ⑨ 一般道利用者の消費者余剰は，総一般化費用(符号は負)で表現
- ⑩ 政府は燃料費用の一部を成す燃料税を徴収（首都高利用者，一般道利用者の両方から）
- ⑪ 首都高の限界費用（台キロあたり費用）は実際の維持修繕費用データを使用して推計
- ⑫ 時間価値原単位は距離帯別に異なるが，平均旅行速度はどの距離帯でも同一

(2) 距離帯別料金導入による交通変化

首都高の距離帯別料金の導入によって，短距離の利用が増加し，長距離利用者は減少した。距離帯別料金の導入による社会的余剰の変化は，各距離帯の利用者が描く需要曲線によって変わる。そこで，本節においては仮想的なモデルを構築して，距離帯別料金の導入による社会的余剰の変化を検証する。本節では，表3-3の条件を想定し，図3-1に示した距離帯別料金導入前後の距離帯別交通量を用い，消費者余剰アプローチによって，距離帯別料金の導入に伴う社会的余剰を試算する。

一般化費用



- ※1：一般化費用＝通行料金＋時間費用＋燃料費用
- ※2：時間費用＝時間価値原単位÷旅行速度×走行距離
- ※3：燃料費用＝燃料単価×燃料消費率×走行距離
- ※4：時間価値原単位は利用道路，距離帯毎に異なる
- ※5：旅行速度はH22センサス等からQ-V式（非渋滞部）を推計して算出
- ※6：燃料消費率は国総研資料671号（2012）より回帰式を推定して算出

図3-2 消費者余剰の把握（首都高利用者，値下がりケース）

(3) 社会的余剰の把握方法

社会的余剰の変化は，旧料金圏内々利用者にとっての余剰の変化と，旧料金圏を跨ぐ利用者にとっての余剰の変化の合計である消費者余剰の変化分と生産者余剰の変化分を合計して推計する。これは，金本（1996）¹⁰等で示される消費者余剰アプローチ（図3-2）をベースに，供給者側の項を考慮したものと言える。すなわち，消費者余剰と生産者余剰（＝総料金収入－総維持修繕費）を合算したものを社会的余剰として，従前の均一料金制における料金と距離帯別制に移行した後の料金，移行前後の交通量，時間費用等によって，下記の式(1)で試算する。一行目の右辺の1/2が掛けられた項が消費者余剰の変化分，その他の項が生産者余剰の変化分を表している。

$$\begin{aligned}
 ASS_e &= \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2} (P_{e,i}^B - P_{e,i}^A) (Q_{e,i}^B - Q_{e,i}^A) T_{e,i} (Q_{e,i}^B - Q_{e,i}^A) \right. \\
 &\quad \left. + (P_{e,i}^A - MC_i) (Q_{e,i}^B - Q_{e,i}^A) - (P_{e,i}^B - P_{e,i}^A) Q_{e,i}^B \right\} \\
 &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (P_{e,i}^A + P_{e,i}^B + 2T_{e,i} - 2MC_i) (Q_{e,i}^B - Q_{e,i}^A) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、記号の意味は以下の通りである。また、 n は距離帯*i*の内々・跨ぎ区分別の区分数(8)である。

$P_{e,i}^B$ ：距離帯*i*の、旧料金制下での首都高利用者の一般化費用

$P_{e,i}^A$ ：距離帯*i*の、新料金制下での首都高利用者の一般化費用

$Q_{e,i}^B$ ：距離帯*i*の、旧料金制下での首都高利用台数

$Q_{e,i}^A$ ：距離帯*i*の、新料金制下での首都高利用台数

$T_{e,i}$ ：距離帯*i*の走行時に生じる燃料税

MC_i ：距離帯*i*の限界費用

限界費用は、条件①より、首都高の維持修繕費を基に設定している。2008~2012年度の維持修繕費と走行台キロから、台キロ当たりの維持費を3.2円/台キロと推計し、距離帯別の限界費用を下の式(2)に従い算出すると、表3-4の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 \text{距離帯別限界費用 (3)} &= \text{平均トリップ長 (1)} \\
 &\quad \times \text{台キロ当たり維持費 (2)} \quad (2)
 \end{aligned}$$

ここで、42km~の平均トリップ長①(49km)は、同距離帯の走行台キロが、全車種走行台キロ(219,178百台/日)×H24.1のETC利用率(90.6%)=198,575百台/日に近似するように設定した。

なお、上記の台キロ当たり維持費は費用の平均値として算出したものであるが、一般的に規模の経済が一定であるときの長期の最適点では(社会的)限界費用と(社会的)平均費用は一致することが知られており(Mohring(1976)等)、首都高においても規模の経済が一定であると想定する。そして、台キロ当たり維持費に各距離帯の平均トリップ長を乗じたものが、その距離帯における限界費用であると見なすこととする。

一方、一般化費用は通行料金に時間費用と燃料費用を加えたものとする。時間費用は、各距離帯の平均トリップ長を平均旅行速度で除した値に時間価値原単位を乗じて算出する。平均旅行速度は設定④により、距離別料金制移行前後で異なる。距離別料金制移行前は、平成22年度道路交通センサスの公表値を使用する。料金制移行後は、自由走行速度をセンサス区間の規制速度の平均としてQ-V式を推計し、料金制移行後の利用台数から平均旅行速度を推計する(表3-5)。

燃料費用は、距離当たり燃料費用に各距離帯の平均トリップ長(表3-4)を乗じて推計する。距離当たり燃料費用(円/km)は、平均旅行速度によって異なる水準の燃料消費率(L/km)にガソリン小売価格(東京都区部の平成23年1月~平成24年12月の平均：145円/L)を乗じて算出する。ここで、燃料消

費率は国土技術政策総合研究所の資料(2012)¹¹⁾から下の式(3)を推定し、表7の平均旅行速度(下式(3)におけるx)を用いて推計したものを使用する。

表3-4 首都高における距離帯別の限界費用

距離帯	平均トリップ長 (①)	台キロ当たり維持費 (②)	距離帯別限界費用 (③=①×②)
0~6km	3	3.2	9.5
6~12km	9	3.2	28.4
12~18km	15	3.2	47.3
18~24km	21	3.2	66.2
24~30km	27	3.2	85.2
30~36km	33	3.2	104.1
36~42km	39	3.2	123.0
42km~	49	3.2	154.5

表3-5 旅行速度の設定・推計

利用区分	自由走行速度	Q-V式の傾き	H23平均旅行速度	H24平均旅行速度
首都高	59.6km/h	-0.00006	48.8km/h	48.7km/h
一般道	45.9km/h	-0.00023	20.0km/h	20.6km/h

$$\begin{aligned}
 \text{燃料消費率} \left(\frac{L}{\text{km}} \right) &= \frac{0.715875}{x} - 0.000419x \\
 &\quad + 0.0000046x^2 + 0.038759 \quad (3)
 \end{aligned}$$

なお、燃料税は燃料価格のうち、ガソリン税(本則及び暫定)及び石油石炭税を指し、平成24年時点では55.84円/Lの従量税が課されている。この税に、上記の燃料消費率及びトリップ長を乗じることで、距離帯別一台当たりの燃料税収を算出する。

次に、一般道利用台数について検討する。一般道は、首都高と並行して通っていると想定するが、利用台数についてはデータが存在しない。そこで、首都高利用と一般道利用とでの一般化費用の差と時間価値分布との関係から、距離帯別に首都高分担率を算出することで一般道利用台数を推計する(条件⑥)。まず、首都高利用の場合の一般化費用と、一般道利用の場合の一般化費用が同一となる時間価値を「均衡時間価値」と定義し、内々・跨ぎ別、及び距離帯別に算出する(表3-6)。表の値より大きい時間価値の人は首都高を利用し、小さい時間価値の人は一般道を利用していると想定する。例えば、『費用便益分析マニュアル』(国土交通省)¹²⁾で示されている乗用車類の時間価値である45.78円/分と等しい時間価値の利用者は、跨ぎ利用をする場合、18km以下の距離帯では一般道を利用するが、18km超の距離帯では首都高利用を選択する。

次に、2012年の国民生活基礎調査による世帯所得の分布より、対数正規分布を仮定して時間価値分布を推計する(対数表示での時間価値の平均3.47、標準偏差0.84)(図3-3、図3-4)。

推計された時間価値分布において、時間価値が0

から均衡時間価値までの利用者の割合を一般道分担率とすることにより、首都高利用台数実績値を用いて一般道利用台数を距離帯別、内々・跨ぎ別に推計する(表3-7)。この分布によると、上記マニュアルの乗用車類の時間価値として設定された45.78円/分以下の利用者は、全体の約3分の2を占めることになる。また、首都高分担率は長距離帯であるほど高く、内々利用の方が跨ぎ利用よりも高く、妥当な設定であると言える。

表3-6 均衡時間価値 (単位: 円/分)

距離帯	内々利用	跨ぎ利用
0~6km	129.82	242.78
6~12km	41.96	79.61
12~18km	24.38	46.98
18~24km	16.85	32.99
24~30km	12.67	25.22
30~36km	10.01	20.28
36~42km	8.16	16.85
42km~	6.09	13.01

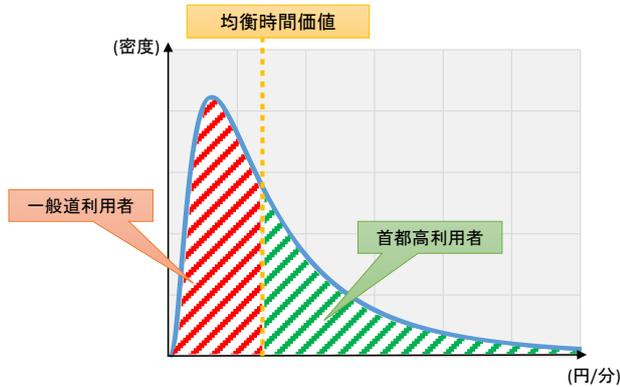


図3-3 時間価値分布と首都高分担のイメージ

表3-7 首都高分担率

距離帯	内々利用	跨ぎ利用
0~6km	4.8%	0.8%
6~12km	37.4%	14.0%
12~18km	62.6%	32.4%
18~24km	77.7%	48.5%
24~30km	86.4%	61.1%
30~36km	91.6%	70.6%
36~42km	94.7%	77.7%
42km~	97.5%	85.7%

表3-8 各距離帯における代表時間価値 (各グループの中央値) (単位: 円/分)

離帯	首都高利用者		一般道利用者	
	内々利用	跨ぎ利用	内々利用	跨ぎ利用
0~6km	169.02	298.08	30.40	31.72
6~12km	67.70	111.08	21.22	27.58
12~18km	48.22	73.43	15.11	22.49
18~24km	40.64	57.59	11.47	18.47
24~30km	36.96	49.11	9.10	15.48
30~36km	34.96	43.98	7.46	13.22
36~42km	33.82	40.64	6.24	11.47
42km~	32.83	37.23	4.81	9.31

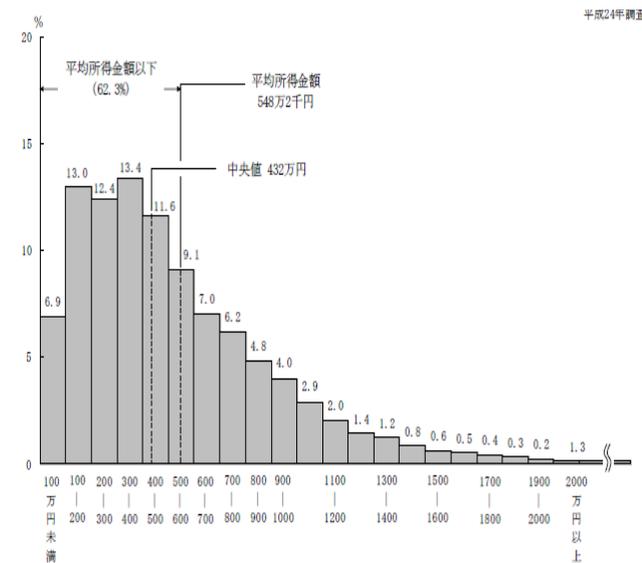
なお、余剰計算の際に使用する時間価値の値は、全首都高利用者の時間価値の中央値、全一般道利用者の時間価値の中央値とする(例えば、首都高分担率が62.6%の場合、すなわち一般道分担率が37.4%の場合、累積密度が18.7% (= 37.4% / 2) になる時間価値を一般道利用者の時間価値とし、累積密度が68.7% (= 62.6% / 2 + 37.4%) になる時間価値を首都高利用者の時間価値とする。) (表3-8)。この値は、距離帯が長いほど小さく、一般道利用者よりも首都高利用者の方が大きく、また、内々利用よりも跨ぎ利用の方が大きい。

最後に、条件③により、H23の合計通行台数及びH24の首都高利用台数実績値を用いて、H24の一般道利用台数を推計する。すなわち、距離帯毎に移動の需要は固定であり、距離別料金が導入されても同じODを一般道利用か首都高利用のいずれかを選択するといった、分担のみが変化すると想定する。

(4) 社会的余剰の試算結果

以上の設定のもとで社会的余剰を試算した結果を表3-9に示す。

内々利用については値下がりとなった12km以下の区間で社会的余剰が増加したが、それ以外の距離帯で減少したために内々利用全体でも0.5%の減少と試算された。特に長距離であるほど減少幅が大きい傾向が見て取れる。これは、図3-1より、24km超の区間では長距離であるほど利用台数の減少幅が小さく、多くの長距離利用者が料金増による負担増を被っていることが一因だと考えられる。跨ぎ利用については内々利用とは対照的である。全ての距離帯で値下がりによって利用台数が増加したことを受け、全ての距離帯で社会的余剰が増加した。また、長距



注: 福島県を除いたものである。

出所: 厚生労働省 (2013) 「平成24年 国民生活基礎調査の概況」¹³⁾

図3-4 世帯所得分布

離であるほど増加幅が大きい傾向にある。これは、表3-9より、6km超の距離帯では長距離であるほど利用台数の増加幅が大きく、多くの長距離利用者が料金減による負担軽減を享受していることが一因だと考えられる。

表3-9 距離帯別の社会的余剰の変化率

距離帯	内々利用	跨ぎ利用	首都高計	並行一般道	合計
0～6km	0.2%	-	0.2%	3.0%	24.0%
6～12km	0.9%	0.3%	0.9%	4.7%	6.1%
12～18km	-0.1%	3.5%	0.1%	3.7%	1.0%
18～24km	-0.9%	2.6%	-0.4%	0.2%	-0.5%
24～30km	-1.6%	4.3%	-0.6%	-0.9%	-0.7%
30～36km	-1.5%	5.3%	0.1%	9.9%	1.0%
36～42km	-2.0%	5.7%	0.3%	18.3%	1.7%
42km～	-3.9%	5.5%	4.2%	77.3%	12.5%
全距離帯	-0.5%	4.5%	0.3%	5.0%	2.8%

※1:0～6kmの跨ぎ利用は距離別料金移行前後で利用台数に変化がなく、需要曲線が垂直と推定されるため、試算対象外とした。

※2:0～6kmでは距離別料金移行前後ともに並行一般道の社会的余剰（負値）が大きく試算されたため、首都高と合計した場合の社会的余剰も負値と試算された。

表3-10 余剰区分別の社会的余剰の変化

	消費者余剰	生産者余剰	社会的余剰
変化量	+70,188千円/日	-23,276千円/日	+46,912千円/日
変化率	+7.3%	-3.2%	+2.8%

一方、一般道の社会的余剰は24～30kmの区間でのみ減少し、その他の区間では増加した。首都高及び一般道を合わせた全体としての社会的余剰は2.8%増加した（表3-9）。すなわち、平成24年の1年間で、前年比で1日あたり約47百万円分多くの社会的余剰が発生していたことを意味する。

余剰区分別の内訳を見ると（表3-10）、消費者余剰は7.3%の増加であったが、生産者余剰は3.2%の減少であった。生産者余剰の大半を占める項目である首都高会社の料金収入が約3%減少したことが生産者余剰の低下理由である。首都高会社の収入減少を首都高利用者及び一般道利用者の消費者余剰の増加分が上回っていたため、全体としての社会的余剰が増加した。距離別料金制への移行により、首都高会社は収入面では損失を被ったと試算は示しているが、距離別料金制移行後をベースとして収入をこれ以上減らさずに社会的余剰を増加可能な料金体系は存在するのだろうか。これを分析する考え方がラムゼイ・プライシングと呼ばれるものである。以降では、ラムゼイ・プライシングを用いて、首都高において社会的余剰の観点からより良い料金体系を探る。

(5) ラムゼイ・プライシングの適用の試み

上記の試算では、距離帯別制の導入により、社会的余剰が増加したことを把握した。ところが、表3-10で示した通り、生産者余剰には減少が見られた。さ

らに、距離帯別制導入直後は料金が100円単位で設定され、首都高会社が提示した対距離料金体系である「200円+29円×距離」（税抜）と実際の距離帯別料金とは乖離がある。現状、距離帯別料金はETC車に限定して適用されるものであるが、利用台数の9割以上がETC利用である首都高においては、鉄道系ICカード（PASMOやSuica等）でなされているように、より細かい料金設定にも対応可能であると考えられる。そこで、本節では、距離帯別制が導入された直後の料金体系をベースに、首都高会社の料金収入を変えることなく1円単位の料金設定により社会的余剰を増加できる可能性を探る。

弾力性の大きさに応じて料金を変更するラムゼイ・ルールに従い、このような料金設定を探る。

図3-5に内々利用・跨ぎ利用別に距離帯別の需要の価格弾力性をみる。12km超の距離帯では内々利用よりも跨ぎ利用の場合の弾力性が大きい。これは、料金圏境界が首都高の有効な利用にとって障害となっていたことを示唆している。弾力性は、価格が1%変化した際の需要の変化率であるが、同じ距離帯で内々利用よりも跨ぎ利用の方が大きい弾力性を示しているということは、例えば、東京線内々利用の新宿～羽田間（約24km）と東京線・神奈川線跨ぎ利用の平和島～横浜公園（約24km）とでは、後者の方が価格変化により敏感ということである。前者と後者の違いは（モデル上は）料金圏を跨ぐか跨がないかだけである。

一方で、距離帯毎の違いを見ると、跨ぎ利用は長距離であるほど弾力性が高い傾向にあるが、内々利用では一定の傾向が見られない。しかし、利用の多い内々利用の6km超36km以下の区間に着目すると、距離帯が長いほど弾力性が小さい傾向が見られる。したがって、この区間では長距離帯で料金を上げ、短距離帯で料金を下げることで、料金収入を一定に保つことができる。以下では、6km超36km以下の距離帯に限定し、同距離帯の内々利用における価格弾力性を用いてラムゼイ・ルールに従った料金体系を求めると。

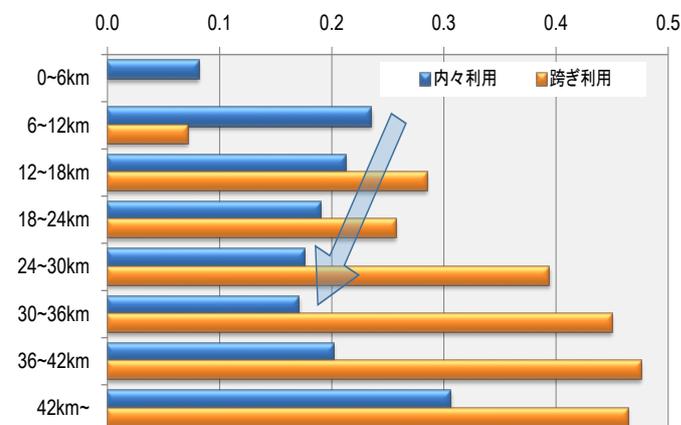


図3-5 距離帯別、内々・跨ぎ利用別の価格弾力性

表3-11 各距離帯の限界費用

距離帯	平均トリップ長	限界費用(=210+31×平均トリップ長)
6~12km	9 km	489 円
12~18km	15 km	675 円
18~24km	21 km	861 円
24~30km	27 km	1,047 円
30~36km	33 km	1,233 円

ここでは、距離帯別制導入直後の料金体系及び利用台数分布を初期状態とする。この下で、料金収入が不変として社会的余剰を最大化する。すなわち、解くべき問題は以下に定式化できる。なお、距離帯 2 は 6~12km、距離帯 6 は 30~36km を表す。式(4)で、下添字が e ではなく g である変数は一般道の変数を表す。

$$\max_{Q_{e,i}} \sum_{i=2}^6 \int_0^{Q_{e,i}} P_{e,i}(Q_{e,i}) dQ_e - \sum_{i=2}^6 P_{g,i} Q_{g,i} + \sum_{i=2}^6 (T_{e,i} Q_{e,i} + T_{g,i} Q_{g,i}) - C(Q_{e,2}, \dots, Q_{e,6}) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=2}^6 P_{e,i}(Q_{e,i}) Q_{e,i} - C(Q_{e,2}, \dots, Q_{e,6}) = 0 \quad (5)$$

$$\Rightarrow \frac{P_{e,i} - MC_i + \alpha_i}{P_{e,i}} = \frac{\lambda}{1 + \lambda} \cdot \frac{1}{\varepsilon_i} \quad (6)$$

$$\left(MC_i = \frac{\partial C(Q_{e,2}, \dots, Q_{e,6})}{\partial Q_{e,i}}, \alpha_i = \frac{T_{e,i}}{1 + \lambda} + \frac{\partial Q_{g,i}(T_{g,i} - P_{g,i})}{\partial Q_{e,i} (1 + \lambda)} \right) \quad (7)$$

1 階条件を見ると、通常のラムゼイ価格の最適条件に燃料税収入等を表す α_i の項が左辺に加わった。なお、燃料税収入は、首都高の旧料金圏内々利用者の他、それに対応した一般道利用者（首都高分担率から算出）からの収入も含む。また、 λ は収支均衡達成の困難さを表す未知のパラメータであり、 ε_i は距離帯 i 毎に予め推計された弾力性である。 MC_i は $C(\cdot)$ を各距離帯の利用台数で偏微分した限界費用であるが、 $C(\cdot)$ については一般に知られていない。ここでは、現状の道路整備が最適水準であると仮定し、Mohring (1976) 等で示されているように料金収入と費用は等しいとすると、 MC_i を首都高の料金算定式である「200+29X距離帯 i の平均トリップ長」(税抜) で代用する(表 3-11)。

ラムゼイ価格を求めるためには料金変更後の利用台数が分かっている必要がある。利用台数 Q_e は価格弾力性の導出式より式(8)のように表現できるため、変数から消えることとなる。以降では、 P_e は一般化費用を表し、それに対応して ε_i は一般化費用弾力性を表す。なお、ハット付きの変数は距離帯別制導入直後の値(初期値)を表すとする。

表3-12 ラムゼイ価格及び社会的余剰の変化の推計結果

距離帯	距離帯別料金制	ラムゼイ価格
6~12km	600 円	190 円
12~18km	700 円	808 円
18~24km	800 円	844 円
24~30km	900 円	1,182 円
30~36km	900 円	1,427 円
社会的余剰の変化	ベース	+0.4%
通行料金収入の変化	ベース	±0.0%

$$Q_e = \widehat{Q}_e \times \left\{ 1 - \varepsilon_i \times \frac{(P_e - \widehat{P}_e)}{\widehat{P}_e} \right\} \quad (8)$$

料金変化により一般化費用が変化することで利用台数が変化しますが、本来であれば一般化費用に含まれる時間費用及び燃料費用も利用台数に依存して決まる。これは、以前までは走行速度を利用台数の関数としていたためであるが、本節においては方程式が非線形となることを避けるため、時間費用及び燃料費用は距離帯別制導入直後の水準が維持されるものとして試算する。

同様に初期値を利用すると、収支均衡条件の右辺は式(9)を満たすため、定数として扱うことができる。

$$C(Q_{e,2}, \dots, Q_{e,6}) = \widehat{P}_{e,2} \times \widehat{Q}_{e,2} + \dots + \widehat{P}_{e,6} \times \widehat{Q}_{e,6} \quad (9)$$

以上より、条件式を整理すると以下の通りである。

$$P_{e,i} = \frac{(1 + \lambda)MC_i - T_{e,i} - (T_{l,i} - P_{l,i}) \frac{\partial Q_{g,i}}{\partial Q_{e,i}}}{1 + \lambda - \lambda/\varepsilon_i} \quad (10)$$

$$P_{e,2} \times Q_{e,2} + \dots + P_{e,6} \times Q_{e,6} = C(Q_{e,2}, \dots, Q_{e,6}) = \widehat{P}_{e,2} \times \widehat{Q}_{e,2} + \dots + \widehat{P}_{e,6} \times \widehat{Q}_{e,6} \quad (11)$$

さらに、「距離帯の短いほど通行料金が高い」という不公平な状態を排除するための条件も加える。

以上を解くことによりラムゼイ価格が得られる。表3-12では、推計されたラムゼイ価格、及びそれを適用した場合の社会的余剰の変化の試算結果を示している。ラムゼイ・プライシングにより、首都高会社の料金収入を保ちつつ、現状よりも社会的余剰を増加(+0.4%)させることができることを示唆している。料金の幅に着目すると、距離帯別料金制では600~900円と300円の幅であるのに対し、ラムゼイ価格では190~1,427円と1,200円以上の幅がある。現状の距離別料金では旧料金圏別均一制からの激変緩和措置がとられた分、社会的余剰の観点からは効率性が損なわれ、距離に応じてはつきりと料金に差

を付けることで社会的余剰が増加することができる。すなわち、より利用に応じた料金設定に近付けることが望ましいと言えよう。その場合でも需要の価格弾力性の大きさに応じて料金を設定し、首都高会社の料金収入を減少させないことが前提となる。

(6) 本節の課題

本節での分析は、距離帯別の集計データを用いた分析であり、距離帯別交通量の変化が料金設定の変化によって具体的に発生している状況までは把握していない。具体的なOD間における、ETC-ODデータ等による分析を通して、料金設定の変化が変わり得るという実態を把握することも必要である。

また、本節や今西ほか（2016）¹²⁾及びOtakiほか（2017）¹³⁾モデルでは、首都高及び一般道の利用者は普通車のみであると仮定していた。大型車マネジメントの重要性が増しているなかで、大型車を考慮した分析の検討が必要である。具体的には、小型・大型車別及び内々・跨ぎ利用別のデータを用い、対距離制導入、首都圏一体新料金制導入による余剰変化をより精緻に評価する方法を検討する必要がある。

3.3 料金体系の段階的検討についての分析～新料金制の評価～

本節では、交通量推計モデルを用い、シームレス料金等の社会的効果の検討についての分析を行う。

(1) 本節の分析の背景

首都高では平成28年度から、NEXCO等の他の首都圏高速道路と同一基準での対距離制（新料金制）に移行された。新料金制は最終的な料金体系ではなく、今後に向けた更なる改善・改良が望まれるであろう。そこで、前節のモデルを用いた首都高における新料金制の評価を通じ、新料金制に対する改善案の提案を行う。すなわち、新料金制導入による距離帯別交通量の変化を推計することにより、新料金制導入効果を社会的余剰の観点から評価する。

(2) モデル

前節で使用したモデルと同一のモデルを使用し、平成28年度に導入された新料金制度の評価を行う。すなわち、現行の6km単位での距離別料金をベースとし、1km単位での距離別料金に移行した場合の各1km帯における料金及び通行台数の変化から、消費者余剰、生産者余剰を推計することによって社会的余剰の観点から新料金制を評価する。

(3) 新料金制について

首都高では、国土交通省が発表した『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針』（2015）を踏まえ、現状の「2車種、6km毎510～930円」から「5車種、0.1km毎10円単位300～1,300円」

の料金体系（ETC利用の普通車の場合）に移行することを発表した（表3-13）。下限・上限の幅が拡大することにより、大雑把に言えば、短距離利用は値下がり、長距離利用は値上がりとなる。上述のラムゼイ・プライシングに関する議論から、6～36kmの内々利用については、長距離であるほど弾力性が小さい（前節の図3-5）。弾力性が小さい距離帯（長距離）で料金を上げ、一方で弾力性の大きい距離帯（短距離）で料金を下げる、というラムゼイ・ルールの方え方に基づくと、新料金制への移行は社会的余剰の観点から望ましい方向に向かうと予想される。

表3-13 料金施策シナリオ案

	現状	新料金制度
基本料金算定式(税抜表示)	200+29.52*km	150+29.52*km
課金距離単位	6km	0.1km
課金単位	5段階 (510～930円)	10円単位 (300～1,300円)
車種区分	2車種 (普通車, 大型車)	5車種(軽・二輪, 普通車, 中型車, 大型車, 特大型車)
車種区分に応じた料金倍率	1(普通車), 2(大型車)	0.8(軽・二輪) ~2.14(特大型車)

※基本料金算定式及び課金単位はETC利用の普通車の場合（非ETC利用者の場合は特定区間を除き、当該車種の上限料金が徴収される）

出所：首都高速道路株式会社HP「4月（予定）からの首都高の新たな料金（案）について」¹⁴⁾を基に作成

首都圏で平成28年4月以降に導入された料金体系は、圏央道を含むその内側の高速道路の料金水準が現行の「高速自動車国道の大都市近郊区間」の水準に統一された。第三京浜道路や京葉道路等の一部の路線では激変緩和措置がとられ、高速自動車国道の普通区間を目安として設定されるものの、基本的には圏央道の内側の料金体系は統一された。この変化は、首都高における平成24年始の距離別料金導入の変化と状況が類似している。首都高では3つの独立した料金圏でそれぞれ異なる料金を課していたが、距離別料金制に移行したことにより、単一の料金体系が適用された。ここでは、前節での分析を応用し、平成28年度以降の首都圏道路網において期待できる効果について考察を加えたい。

(4) 新料金制導入による社会的余剰の変化の試算

距離別料金制導入効果を試算した前節と同様のモデルで試算を行う。ここでは、モデルの簡略化のため、0.1km 毎ではなく 1km ごとで新料金制導入の効果を試算する。結果を表 3-14 に示す。「H24→新料金制」の列が、距離別料金制移行後をベースとして新料金制に移行した場合の余剰の変化率を、「新料金制→1円毎」の列が、徴収単位が10円単位と予定されている新料金制から1円単位で徴収されることによる余剰の変化率をそれぞれ表している。なお、首都高利用台数は1.1%の増加、一般道利用台数は1.5%

の減少と推計された。

表3-14 新料金制導入効果（余剰変化率）の試算

分類	道路	H24→新料金制	新料金制→1円
消費者 余剰	首都高	+1.2%	+0.04%
	一般道	+0.2%	-0.03%
	合計	+1.4%	+0.06%
生産者 余剰	首都高	-1.7%	-0.09%
	一般道	+1.9%	-0.04%
	合計	-1.6%	-0.09%
社会的 余剰	首都高	+0.4%	+0.01%
	一般道	-0.1%	-0.03%
	合計	+0.4%	+0.01%
首都高会社の 通行料金収入		-1.7%	-0.1%

試算結果は、予想していたように新料金制導入により社会的余剰はわずかではあるが増加を示した。さらに、10円単位ではなく1円単位で徴収することによってわずかながら社会的余剰が増加することも示している。しかし、距離別料金制移行時と同じように、余剰変化の内訳をみると、消費者余剰は増加するが生産者余剰は減少すると試算された。特に、首都高会社の通行料金収入は、新料金制導入により1.7%減少すると試算された。また、消費者余剰の変化をみると、首都高利用者の方が一般道利用者よりも増加率が高い。新料金制の導入によって、首都高利用者にとっては便益が大きい、一般道利用者や首都高会社にとってはよい効果が得られない可能性があることを示している。しかしこのことは一方で、高速道路の効率的な利用と社会的余剰の観点からは望ましいと言える。

今回の試算に用いたモデルは首都高とそれと並行する一般道しか考慮していないものではあるが、首都圏高速道路全体の料金体系・施策を考える上で次のことを示唆している。

- ・ 利用に応じて料金をきめ細やかに設定することで、高速道路の適切な利用を促し、社会的余剰が増加する
- ・ ターミナルチャージの二重徴収は高速道路の効率的な利用の障壁となる
- ・ 通行料金収入の減少は、弾力性の大きさに応じた料金の微調整により対応の余地がある

(5) 試算結果から示される、賢く使うための料金施策

以上の分析結果から、今後の道路ネットワークを賢く使うための料金施策について二つの提案を行う。

まず一つに、道路の利用に応じてきめ細やかで、かつメリハリのある料金設定が望ましいと言えよう。平成28年度以降の新料金制では基本的には対距離料金ではあるものの、区間によっては均一であったり、激変緩和措置のために距離単価が基本（高速自動車国道の大都市近郊区間の料金水準）より低く設定さ

れたりしている。このような例外区間についても長期的には他と料金水準を揃え、対距離料金とすべきである。そのためにも、環状高速道路等のネットワーク整備やミッシング・リンクの解消は必須である。ネットワーク整備が不十分であれば、高速道路があるにもかかわらず一般道が利用されるという状況、すなわち、均衡時間価値が高水準で高速道路分担率が最適水準を下回る状況が発生しかねない。

次に、高速道路会社間でのターミナルチャージの二重徴収の解消が望まれる。整備重視から利用重視への転換を進めるのであれば、ターミナルチャージは1回とすべきである。複数のターミナルチャージの存在は自動車専用道路を連続して走行している利用者にとっては、特に時間価値の低い利用者にとっては高速道路の利用をためらう一因となりうる。すなわち、複数のターミナルチャージの存在は、高速道路会社間を跨いで利用する場合の均衡時間価値を高める要因となり、結果として高速道路の分担が低下してしまうと考えられる。ただし、1回のターミナルチャージ徴収分を高速道路間でどのように配分すればよいかについては考え方が未だ整理されておらず、議論・分析を今後深めていく必要がある。

新料金制はまだ導入されておらず、実際の導入効果については今後のデータ蓄積及び解析・分析が求められる。複数の高速道路会社間での共通の料金水準が導入されることになるため、高速道路会社内で完結されたデータのみならず、効果の検証にはETC-ODデータやETC2.0プローブデータ、民間プローブデータ等のビッグデータによる分析等、複数のアプローチによる研究の進展が待たれる。

(6) 本節の課題

高速道路ネットワーク整備の進展により複数経路の選択が可能となるケースが増加してきた。同一起終点同一料金が基本である首都圏一体的料金制下では、道路利用者は所要時間によって経路を選択することが想定される。その中で、混雑状況に応じた課金施策による経路選択の変化、さらには、その結果もたらされる社会的余剰の変化について新たな知見が必要とされている。そこで、例えば首都高を混雑ゾーン、非混雑ゾーンと二分する等、仮想的な状況を設定することによって、混雑課金による効果を社会的余剰の観点から評価する方法を検討予定である。具体的には、全トリップのうち一定割合が混雑ゾーンを通行すると想定し、混雑ゾーン通行車両に対する①一律課金、あるいは②対距離課金を想定し、各課金パターンにおける社会的余剰の評価・比較の検討が必要である。

(7) 本節のまとめ

本章での分析によって得られた成果及び知見を以下に整理する。

a) 成果

首都高と並行する一般道を考慮し、より現実に即

したモデルを用いて、シームレス対距離料金の導入により社会的余剰が2.8%増加したことを確認した。これは1日あたり約4.7千万円に相当する。

また、ラムゼイ・プライシングの適用により、現状の首都高会社の料金収入を減らさずに、さらに社会的余剰を0.41%増加可能である料金体系(ラムゼイ価格)が存在することを明らかにした。

さらに、平成28年度から首都圏高速道路で導入された新料金制について、首都高(及び並行一般道)を対象として社会的余剰の変化を予測した。1km毎に10円単位の細かい料金設定となることで、現状の料金制度下の社会的余剰を0.43%増加させることを試算により明らかにした。

b) 知見

ラムゼイ・プライシングの分析を通じ、ラムゼイ価格下では、現状よりも料金設定の幅が広いことから、利用に応じてメリハリのある課金を行うことで、高速道路の適切な利用を促し、社会的余剰を増加できることを示唆した。

また、首都高の内々利用・跨ぎ利用別の価格弾力性を分析することにより、ターミナルチャージの二重徴収が高速道路の効率的な利用の障壁となる可能性を指摘した。

さらに、平成28年度から首都圏高速道路で導入された新料金制について、1円単位での料金徴収の場合の社会的余剰を分析した。10円単位から1円単位と細かく料金徴収することによりわずかながら社会的余剰が増加することも示し、利用重視の料金施策の重要性を改めて指摘する結果となった。

参考文献

- 1) 国土交通省：高速道路を中心とした『道路を賢く使う取組』の基本方針，2015。
- 2) Mohring, H. : *Transportation Economics*, Cambridge Mels., 1976.
- 3) 根本敏則，味水佑毅：対距離課金による道路整備，日本交通政策研究会研究双書24，勁草書房，2008。
- 4) 味水佑毅：燃料税に代わる対距離料金制度の可能性—正統性の獲得と社会的価値の創出—，国際交通安全学会誌，38，pp.223-230，2014。
- 5) 太田和博：都市高速道路の対距離料金制への移行の理論的基礎と政策的含意—首都高速道路を例として—，公益事業研究，63，pp.19-30，2011。
- 6) 奥嶋政嗣，秋山孝正：交通均衡分析を用いた都市高速道路の対距離料金制度の検討，交通学研究，49，pp.81-90，2006。
- 7) 秋山孝正，井ノ口弘昭，浅原麗，藤井勇樹：都市高速道路の弾力的な対距離料金設定についての研究，平成26年度土木学会関西支部年次学術講演会 第IV部門，pp. IV-9-10，2014。
- 8) 首都高速道路株式会社：距離別料金移行に伴う首都高速道路の交通状況の変化，高速道路と自動車，56，pp.45-48，2013。
- 9) 首都高速道路株式会社：距離別料金移行後の利用台数・料金収入の状況について [速報]，2012。
- 10) 金本良嗣：交通投資の便益評価—消費者余剰アプロー

チー，日交研Aシリーズ，日本交通政策研究会，1996。

- 11) 土肥学，曾根真理，瀧本真理，小川智弘，並河良治：道路環境影響評価等に用いる自動車排出係数の算定根拠(平成22年度版)，国総研資料，第671号，2012。
- 12) 今西芳一，内山直浩，大瀧逸朗，中拂論，根本敏則：料金体系変更による社会的余剰への影響—首都高の距離別料金導入をケーススタディとして—，計画行政，Vol.39-2，2016。
- 13) Otaki, I., Y. Imanishi, K. Miyatake, T. Nemoto, N. Uchiyama : Effects of the change of toll system on social surplus: A case study of distance-based toll in Tokyo Metropolitan Expressway, *Transportation Research Procedia*, Vol.25, pp.2927—2937, 2017.
- 14) 首都高速道路株式会社HP：4月(予定)からの首都高の新たな料金(案)について。

第4章 首都高における混雑課金導入の効果に関する研究

本章では、前章のモデルをベースとして、首都高において仮に混雑課金が課された場合の社会的余剰の変化について、いくつかのパターンを想定して分析する。さらに、東京オリンピック・パラリンピック実施時、今後の人口減少時において予測される交通量への影響を想定し、社会的余剰の観点から分析を行う。

前章での分析とは、使用するデータが異なる。ともに距離帯別料金制導入前後のデータであるが、前章のデータが6km帯毎であるのに対し、本章のデータは2km帯毎に得られたものである。さらに、本章では、旧料金圏の違いが考慮されており（どの料金圏での走行か判別可能）、車種（普通車・大型車等）の区別も可能となっているほか、ランプ間及び複数ランプをひとまとめにしたランプブロック間のOD表をベースとして算出した走行台数を用いている。

4.1 詳細データを用いた、余剰評価モデルの開発

(1) はじめに

本節では、混雑課金の評価が実施可能な評価モデルを開発する。(3)で詳述する通り、首都高の複雑なODの組合せを、中央環状線を境界として①内内、②内外、③外外、及び④その他、の4つに分類した上で、中央環状線の内側に対して混雑課金を課す、という状況を想定する。具体的には、走行区間を、中央環状線の内側（首都高と一般道）、中央環状線及び中央環状線の外側に分類し、中央環状線の内側の首都高部分の走行に対して混雑課金を課す。

このような混雑課金の考えのもと、本節では前章でのモデルを改良し、混雑課金導入による効果を社会的余剰の観点から評価する。

まず、新料金制導入時における首都圏の高速道路のネットワークについて整理する。その上で、分析

対象とするネットワーク、及び、分析する上で必要な簡略版ネットワークを示す。次に、新料金制の評価を行うに際し、混雑課金の分析可能性を考慮して開発したモデルの詳細を説明する。最後に、開発したモデルを用いて距離帯別料金制及び新料金制の導入効果を分析し、結果と考察を示す。

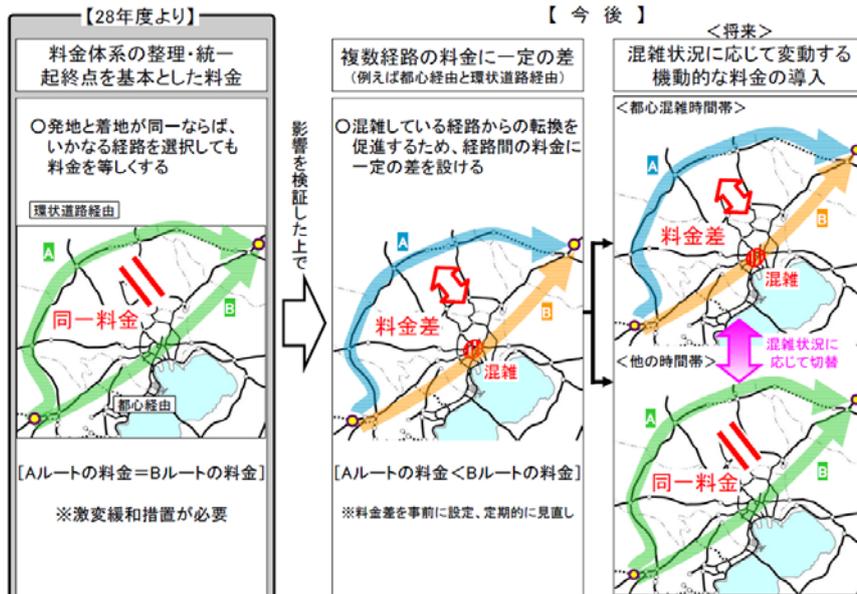
(2) ネットワークの整理

平成28年4月から首都圏の高速道路では新料金制が導入された。これまで道路会社や路線によって異なっていた料金体系が原則として統一され、走行距離に応じた、かつ、同一起終点間で同一の料金制度となった。

新料金制導入によって発現した効果について発表した国土交通省（2016）¹⁾の資料には、「①都心通過から外側の環状道路へ交通が転換し、首都高速の渋滞が緩和」、「②首都高速の短距離利用増加で、一般道が円滑化」の効果が示されている。前者については、環状道路の利用が増えることで都心交通が減少し、渋滞損失時間が減少したことを示している。後者は、前者による都心交通の減少に加えて短距離利用の料金引き下げによって都心における短距離利用が増加し、都心部での一般道の渋滞が緩和したことを示している。すなわち、これらの現象は、料金制度の変更がドライバーの経路選択に影響しうることを示している。このように一定の効果が見られた新料金制ではあるが、現行制度が完成ではない。国土交通省の資料（2015）²⁾では、図1のように今後は渋滞状況に応じて経路間に料金差を設けたり、リアルタイムで料金差を設定したりすることで、段階的に料金体系を見直すことを検討している。

新料金制による効果が確認されてきてはいるものの、今後導入を検討している経路間の料金差については新たな知見が求められている。首都高において

(参考)首都圏の料金体系の段階的な見直し(イメージ)



出典：国土交通省道路局資料（2015）

図4-1 首都圏の料金体系の段階的な見直し（イメージ）

は新料金制によって渋滞損失時間が約9%減少したと上記資料では示されているが、1日あたり29,700台・時間もの渋滞損失時間が発生している。この多くが都心に近い区間で発生している渋滞によってもたらされていると考えられる。実際に、平成27年3月の中央環状線全通によって、中央環状線内側の利用交通量が約5%減少したことにより、渋滞損失時間が約半減され（首都高速道路株式会社（2015））、中央環状線内側の交通が渋滞に大きな影響を与えていることが考えられる。

そこで、首都高において中央環状線の内側を混雑エリアと見なし、中央環状線の内側に混雑課金が課された場合の影響を分析する。一連の研究（今西ほか（2016）³⁾、大瀧ほか（2015）⁴⁾、Otaki, et.al（2017）⁵⁾）を踏まえ、首都高において距離帯別料金制が導入された前後の利用台数データ（首都高速道路株式会

社（2013⁶⁾、2014⁷⁾）を用いて、ドライバーの迂回行動を考慮に入れ、現行の新料金制に混雑課金が導入された場合の影響を余剰の観点から分析を行う。

対象とするネットワークは、首都高の料金圏別均一制における東京線である。使用する上記首都高データは、『首都高速道路交通起終点調査』（以下、『OD調査報告書』と称す）であり、H24の料金圏撤廃及び距離帯別制導入による交通流の変化を追うことができるものとなっている。概要を表2に示す。

同資料では、以前の東京線・神奈川線・埼玉線、さらには各跨ぎ利用のそれぞれについて通行台数の調査結果が記されている。この中で、通行台数の約7割を占める東京線のみを対象とする。

さらに、分析結果の分かりやすさ、及び分析の簡便性のため、ネットワークの簡略化を試みた。これについては分析モデルの説明の際に述べる。

表4-1 首都高OD調査報告書の概要

	第27回	第28回
調査日	2011/11/9(水) 9AM ~ 10(木) 9AM	2012/11/1(木) ~ 30(金) の平日
OD 再現日	—	2012/11/7(水) 9AM ~ 8(木) 9AM
天候	晴れ	晴れ (OD 再現日)
共用区間延長	301.3km	301.3km (新規共用路線なし)
調査方法	Web アンケート(ETC 車：調査 PR カードの事前配付, 現金車：料金所での調査 PR カードの当日配布)	
調査項目	1. 首都高速道路の利用日, 利用時間 (料金所通過時間帯), 2. 出発地・目的地, 3. 入口・経路・出口, 4. 利用目的, 5. 車種, 6. 積荷, 7. 積載重量, 8. 乗車人数, 9. 料金支払手段, 10. 性別・年齢, 11. 利用 PA, PA 利用目的, PA 滞在時間 (第27回調査の PC 版のみ), 12. 復路利用	
拡大方法	○ETC 車：全入口及び全出口における ETC 通過台数 (ETC データ) を母数とし、有効回答票から得られた各種データを ETC データに貼り付ける方法 (ETC 車の拡大係数は1) とした。 ○現金車：全入口及び全出口における現金車通過台数を母数として、有効回答票に対する比率を拡大係数とした。	
有効サンプル数	27,214 (往復)	50,194 (往復) ※復路は往路と同じルート

出典：『首都高速道路交通起終点調査』（首都高速道路株式会社）より作成

表4-2 首都高OD調査報告書におけるブロック

凡例							
東京線							
神奈川線							
埼玉線							
1	都心環状線東部	8	3号渋谷線内部	15	6号向島線北部	26	川口線
2	都心環状線南部	9	3号渋谷線外部	16	7号小松川線	27	神1号横羽線北部
3	都心環状線西部	10	4号新宿線内部	17	9号深川線	28	神1号横羽線南部
4	都心環状線北部	11	4号新宿線外部	18	湾岸線西部	29	神2号三ツ沢線
5	1号上野線	12	5号池袋線内部	19	湾岸線中部・晴海線・台場線	30	神3号狩場線西部
6	1号羽田線	13	5号池袋線外部	20	湾岸線東部	31	神3号狩場線東部
7	2号目黒線	14	6号向島線南部	21	中央環状線(東側)	32	神湾岸線東部・神5号大黒線
				22	中央環状王子線	33	神湾岸線西部
				23	中央環状新宿線(熊野町-西新宿間)	34	神6号川崎線
				24	中央環状新宿線(西新宿-大橋間)	35	埼玉大宮線
				25	6号三郷線	36	埼玉新都心線

出典：第28回首都高OD調査報告書

(3) 分析モデル

これまで、首都高全体の距離帯別利用台数データを用いて分析を行った。すなわち、距離帯の数だけ市場が存在し、ドライバーは各距離帯の市場において、その距離帯を首都高を走行するか、または一般道を走行するかのいずれかを選択している、という状況を想定していた。このモデルでは、料金変更による利用距離や利用経路の変更を反映することができなかった。また、使用したデータが首都高全体の距離帯別利用台数であり、利用した路線（旧料金圏である東京線、神奈川線、及び埼玉線）や利用出入口が分からなかった。

本研究ではこれまでとは異なるデータを使用する。首都高速道路株式会社が発行した「首都高速道路交通起終点調査 報告書」の第27回及び第28回報告書では、首都高のネットワークは同一であるが、距離帯別制の導入前後のOD間利用台数が掲載されている。さらに、各ODについての通行台数に加え、複数のODをひとまとめにしてブロック化した場合の通行台数も記録されている。都心環状線東部、「中央環状王子線」、「4号新宿線内部」、「神3号狩場線西部」等、ブロックは首都高全体を36に分割している(表3)。

本研究では後者のランプブロック間OD表のデータを用いて分析する。

ここでは、後の混雑課金分析と合わせて分析が可能であるように、首都高の実際のネットワークを可能な限り単純化して分析を行う。想定する混雑課金の対象エリアは C2 内側のみであり、極端に示せば図4のようなネットワークで分析する。

すなわち、ネットワークの中心部分を走行する場合、混雑する区間を走行する直線コースと、交通容量に比較的余裕のある迂回コースの2種類が存在すると考える。A地点からB地点への移動を図示しているが、ドライバーによっては目的地が混雑する区間の内側にあるかもしれないし、出発地・目的地がともに混雑する区間の内側にあるかもしれない。一方、混雑する区間をそもそも通らないA地点付近の短距離利用も考えられる。本研究では、首都高利用の大半を占める、旧料金圏における東京線の利用のみを対象とし、表5に示すように、①内々利用、②内外利用、③外外利用、及び④その他利用の4つに分類する。

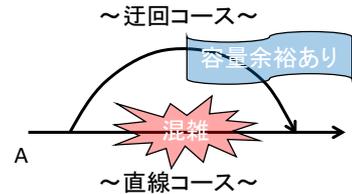


図4-2 最も簡略化した首都高ネットワーク

表4-3 利用パターンの分類表

利用パターン	説明
①内内利用	OD がともに混雑課金対象区間内にある
②内外利用	O が混雑区間外にあり D が混雑区間内にある (反対方向の移動も含む)
③外外利用	OD が混雑区間を跨いでともに混雑区間外にある
④その他利用	OD がともに混雑課金対象区間外であり、かつ同一ランプブロック間の移動である場合や、神奈川線及び埼玉線の利用

OD調査報告書のランプブロック間OD表を用いて、各ODペアに該当する利用パターンを割り当てる。さらに、これら各利用パターンについて、図4-3及び表4-4に示すように利用者の選択肢を2つずつ設定する。

すなわち、利用パターン別の選択肢の内容は下表に示す通りである。なお、東京線の利用のみに限定する理由は以下の通りである。複数の路線を対象とした場合、距離帯別制導入前に同一走行距離でも路線毎に料金が異なり、弾力性や需要関数等の推計の際に多くの場合分けが必要になるが、東京線のみに限定しても全利用台数の約7割を占めるため、首都高の多くの部分を説明できると考えられるためである。

上で示したように、首都高の利用を4パターンに分類し、そのうちの①～③の3パターンについてのみ分析対象とする。これら3パターンは、全ランプブロック間ODペアのうち約半分を占め、利用台数ベースでは約3分の2を占め、1日あたり約66万台(距離帯別制導入前)のボリュームである。

余剰の分析にあたり、各利用パターンの各選択肢について、走行距離及び旅行速度を設定する必要がある。以下で設定の考え方及び方法を述べる。

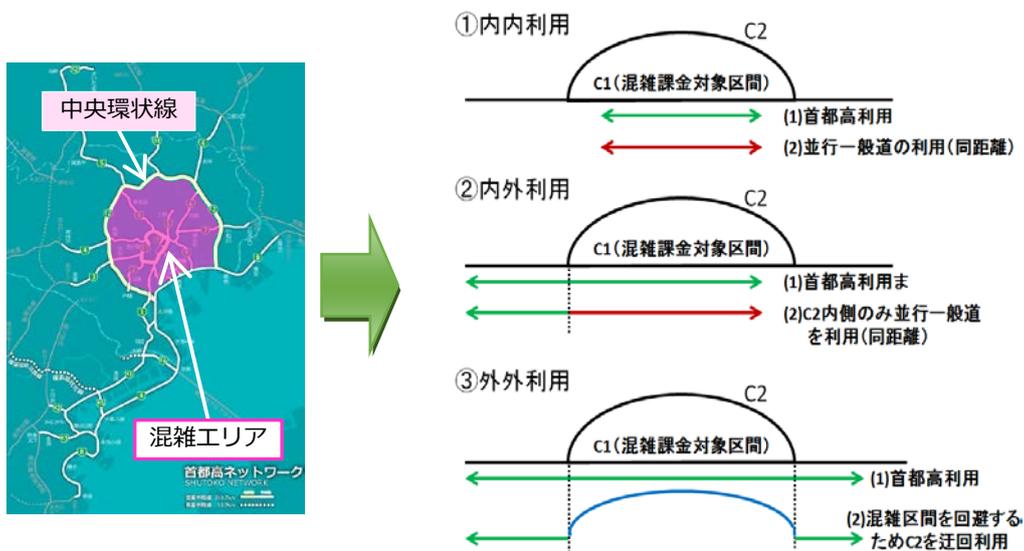


図4-3 利用パターン別のドライバーの選択肢

表4-4 各利用パターンのドライバーの行動の選択肢

利用パターン	選択肢
①内内利用	(1)首都高を利用する (2)並行一般道を利用する (同距離)
②内外利用	(1)首都高を利用する (2)C2 外側のみ首都高を利用し、C2 内側は並行一般道を利用する (同距離)
③外外利用	(1)首都高を利用する (混雑区間利用) (2)首都高を利用するが、混雑区間を回避するために C2 を利用する
④その他利用	分析対象外とする

表4-5 各利用パターンの選択肢別区間別走行距離設定値

利用パターン		全走行距離 (km)					
		うち首都高		うち一般道			
		C2内側	C2迂回	C2外側			
①内内利用	(1)首都高	9.6	9.6	9.6	-	-	-
	(2)一般道	9.6	-	-	-	-	9.6
②内外利用	(1)首都高	18.2	18.2	10.8	-	7.4	-
	(2)首都高+一般道	18.2	7.4	-	-	7.4	10.8
③外外利用	(1)首都高	25.1	25.1	20.1	-	5.0	-
	(2)首都高+C2迂回	26.8	26.8	-	21.8	5.0	-

・ 走行距離

走行距離は利用パターン別に2段階のプロセスで算出する。まず、各ランプブロックにおいて代表的な出入口を設定し、代表出入口間の距離を検索する。距離の検索は首都高会社HPを用い、当時のネットワークを想定して行う。そして、各ランプブロックの利用台数で加重した走行距離の平均値を利用パターン別に算出する。次に、算出した平均走行距離を、C2内側、C2外側、C2、一般道に配分する。以上の結果、表4-5に示す走行距離の設定値を算出した。

・ 平均速度

平均旅行速度の算出方法を述べる前に、速度変化の可能性について説明する。本章では、距離帯別制導入、新料金制導入及び混雑課金制導入の3度の料金体系変更による影響を分析対象としているが、距離

帯別制導入及び新料金制導入の前後では旅行速度が変化するほどの交通量の変化が生じなかったと仮定する。すなわち、混雑課金制導入によって、旅行速度が変化するほどの交通量の変化が生じ、それは混雑課金制導入以前に混雑状況にあるC2内側の速度のみが変化(上昇)すると仮定する。

以上を踏まえ、平成22年度道路交通センサス(国土交通省HP)⁸⁾の箇所別基本表(東京都分)を用いて、利用パターン別、行動選択肢別、混雑課金前後別に3段階のプロセスで平均旅行速度を算出する。まず、箇所別基本表の各レコードに、「C2内側」、「C2外側」及び「C2」の情報を付与する。一般道の場合は、区の面積の半分以上がC2内側に含まれている千代田区や中央区等の全11区内に観測地点があるレコードを「C2内側」と判断した。

次に、区間距離と平均旅行速度の数値を用いて各レコードに旅行時間の情報を付与する。課金前後の情報が必要となるため、算出の際に使用する平均旅行速度は、課金前の状況として「混雑時の上下線のうち遅い方の速度」、課金後の状況として「昼間非混雑時の上下線のうち遅い方の速度」とする。

第3段階として、利用パターン別、選択肢別、課金前後別に合計区間延長及び合計旅行時間を算出することで平均旅行速度を算出する。ここで、C2内側の課金後の旅行速度については、混雑課金によって首都高全体の平均速度になると仮定して算出する。以上の結果を表4-6に示す。

表4-6 各利用パターンの選択肢別区間別旅行速度設定値

利用パターン		選択肢(1)	選択肢(2)
①内内利用	C2内側(課金前)	26.6	15.1
	C2内側(課金後)	47.0	15.1
②内外利用	C2内側(課金前)	26.6	15.1
	C2内側(課金後)	47.0	15.1
	C2外側	52.2	52.2
③外外利用	C2内側(課金前)	26.6	-
	C2内側(課金後)	47.0	-
	C2外側	52.2	52.2
	C2	-	46.5

・選択肢別の利用台数の算出方法

本研究で使用するデータはランプブロック間OD利用台数であり、並行一般道の利用台数や、途中で一般道に降りた台数、C2に迂回した台数は把握できない。そこで、把握できている利用台数がOD間の移動に占める割合、①内内利用では首都高分担率を算出することによってそれらを推計する。

分担率の算出は前章と同様に時間価値分布を考慮することで検討した。

・余剰の計算方法

社会的余剰を消費者余剰と生産者余剰との和として表現する。選択肢(1)については前章と基本的には同じ算出方法である。前章と異なる点は、生産者余剰は課金がなされる場合に混雑課金収入分が加えられる点である。

一方で選択肢(2)の利用者（一般道利用者、一部一般道利用者、C2迂回利用者）については、利用台数の算出方法が選択肢(1)利用台数に依存しているため、需要曲線が不明であるため、消費者余剰については一般化費用の合計を負値で表現し、この低下によって消費者余剰の増加を表現するものとする。生産者余剰については、燃料税収入を基本とするが、②内外利用及び③外外利用については首都高を利用した距離に関して料金収入と維持修繕費用が発生するとした。以上を整理すると表4-7の通りである。

(4) 分析結果と考察

以上で開発したモデルを用いて、2012年始に導入された距離帯別制、及び2016年4月に導入された新料金制の評価を行う。試算結果を表4-11に示す。

まず、距離帯別制導入によって社会的余剰は1.9%減少した。これは、対象を値上げ区間が多かった東京線のみを対象としていることが大きく影響し、消費者余剰が7.5%減少した一方で、生産者余剰は13.5%増加した。

次に、新料金制によって社会的余剰は0.6%増加した。短距離ドライバーにとっては値下げ効果があり、①内内利用と②内外利用では消費者余剰の増加と生産者余剰の減少が見られた。一方で、長距離の③外外利用の消費者余剰は減少し生産者余剰は増加したが、前者の効果が大きく、全体としては消費者余剰が増加し、生産者余剰は減少した。

表4-7 社会的余剰の内訳

計上対象	消費者余剰	生産者余剰	
		首都高会社	政府
選択肢(1) 首都高利用者	需要関数から推計	料金収入+混雑課金収入-維持修繕費用	燃料税収入
選択肢(2) 一般道利用者等	総一般化費用(負値)	料金収入-維持修繕費用(首都高利用の場合のみ)	燃料税収入

表4-8 距離帯別制・新料金制導入による余剰の変化率

利用パターン	余剰の内訳	距離帯別制	新料金制
①内内利用	消費者余剰	2.1%	2.8%
	生産者余剰	-12.5%	-18.8%
	社会的余剰	0.2%	0.3%
②内外利用	消費者余剰	-21.1%	15.7%
	生産者余剰	12.9%	-7.5%
	社会的余剰	-4.8%	2.5%
③外外利用	消費者余剰	-13.1%	-4.3%
	生産者余剰	28.5%	6.7%
	社会的余剰	-2.1%	-0.5%
合計	消費者余剰	-7.5%	2.5%
	生産者余剰	13.5%	-3.6%
	社会的余剰	-1.9%	0.6%

4.2 混雑課金導入の効果検証

本節では、前節で開発した混雑課金モデルを用い、混雑課金導入の効果を社会的余剰の観点から評価し、さらに、東京オリンピック・パラリンピック開催時のような一時的に需要が増加した場合のシミュレーションや、超長期的に東京都の人口が一定程度減少した場合のシミュレーションも行う。以上により、余剰の観点から好ましい混雑課金水準や料金水準について検討する。

(1) 混雑課金の考え方

混雑課金の導入による効果を分析するに際し、まずは混雑課金額の設定が必要である。そこで、実際に運用されている海外における事例を参考にする。

米国のメトロ・エクスプレスレーン（カリフォルニア州ロサンゼルス）では、料金は交通量に応じ、速度が75km/hとなるようにリアルタイムに変動している。料金の設定範囲は約18~94円/kmである(図4-4)。

一方、米国のSR-91では、エクスプレスレーン（カリフォルニア州オレンジ郡）という課金対象区間が延長約16kmにわたって存在している。料金は曜日・時間・方向により変動するが、深夜等の閑散時で約10円/km、最高で約70円/kmが設定されている(図4-5)。

注意すべき点は、以上の例は、日本のように通行料金を既に徴収しているうえで、さらに混雑課金を行う状況とは異なる、という点である。

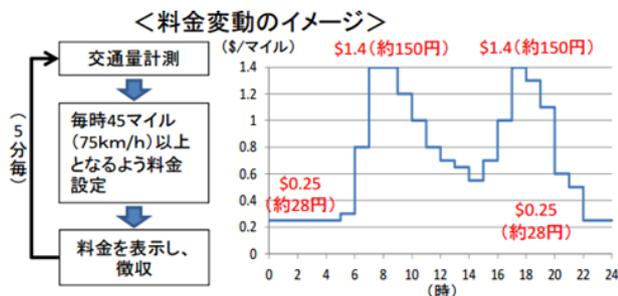


図4-4 メトロ・エクスプレスレーンの混雑課金設定

料金表 (2017年7月～)

	Sun	Mon	Tue	Wed	Thur	Fri	Sat
Midnight	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
1:00 AM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
2:00 AM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
3:00 AM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
4:00 AM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
5:00 AM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60
6:00 AM	\$1.60	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$1.60
7:00 AM	\$1.60	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$1.60
8:00 AM	\$1.95	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40
9:00 AM	\$1.95	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40
10:00 AM	\$3.10	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$3.10
11:00 AM	\$3.10	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$3.10
NOON	\$3.60	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$3.70	\$3.60
1:00 PM	\$3.60	\$3.45	\$3.45	\$3.45	\$3.70	\$5.80	\$3.60
2:00 PM	\$3.60	\$4.95	\$4.95	\$4.95	\$5.10	\$3.35	\$3.60
3:00 PM	\$3.10	\$5.30	\$4.65	\$4.25	\$5.00	\$10.65	\$3.60
4:00 PM	\$3.10	\$4.50	\$6.50	\$7.75	\$10.30	\$10.45	\$3.60
5:00 PM	\$3.10	\$5.10	\$5.80	\$7.25	\$9.50	\$6.75	\$3.60
6:00 PM	\$3.10	\$5.30	\$3.75	\$3.75	\$4.65	\$6.25	\$3.10
7:00 PM	\$3.10	\$3.70	\$3.70	\$3.70	\$5.40	\$5.85	\$2.40
8:00 PM	\$3.10	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$3.45	\$5.40	\$2.40
9:00 PM	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$3.45	\$2.40
10:00 PM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$2.40	\$1.60
11:00 PM	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60	\$1.60

□ : 料金が低い時間帯
□ : 料金が低い時間帯

出典 : <https://www.octa.net/91-Express-Lanes/Toll-Schedules/>
図4-5 SR-91エクスプレスレーンの混雑課金設定

表4-9 混雑課金の設定

利用パターン	①内々利用	②内外利用	③外々利用
全走行距離	9.6km	18.2km	26.8km
通常通行料金	470円	740円	960円
課金対象区間	9.6km	10.8km	20.1km
混雑課金額	+480円	+540円	1,010円
合計通行料金	950円	1,280円	1,970円

(2) 分析結果

ここで、我が国では既に1kmあたり29.52円の通行料金が課されており、上記2事例と近い水準とするために、本研究では混雑課金額を50円/kmと設定する。この場合、①内々利用は480円、②内外利用は540円、③外々利用は1,010円が課されることになる(表4-9)。

上記の設定により混雑課金制導入による社会的余剰の変化について試算結果を示す(図4-6)。

混雑課金制導入により、社会的余剰は13.0%増加した。この内訳をみると、消費者余剰が13.3%減少し、生産者余剰が75.5%増加したことから、混雑課金収入によるところが大きいと考えられる。混雑課金によって都心の利用台数が減少することで得られる、旅行速度の上昇(本章では26.6km/hから47.0km/hに上昇すると設定)による時間費用の減少分が、利用台数減少による消費者余剰減少分を打ち消す水準には至らなかった。この場合、混雑課金制の導入に対してドライバーから理解を得ることが難しいと考えられるが、一方で、得られた混雑課金収入を何らかの形でドライバーに還元することで、理解の促進は可能であると考えられる。例えば、ネットワーク整備やボトルネック箇所の拡幅、ランプ増設、深夜割引等が挙げられる。

本節のモデルでは混雑課金制によって社会的余剰は増加した。一方で、②内外利用においては、混雑課金が課される区間の直前で首都高を降りて一般道を利用する人や、③外々交通においては、混雑課金

利用パターン	余剰の内訳	余剰の変化率
①内々利用	消費者余剰	+0.1%
	生産者余剰	+88.2%
	社会的余剰	+8.3%
②内外利用	消費者余剰	-35.4%
	生産者余剰	+58.1%
③外々利用	消費者余剰	-23.1%
	生産者余剰	+89.4%
合計	消費者余剰	-13.3%
	生産者余剰	+75.5%
	社会的余剰	+13.0%

図4-6 混雑課金制導入による余剰の変化率(表)

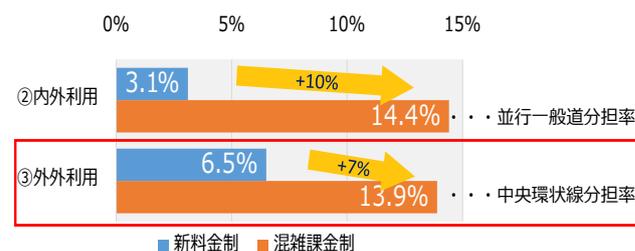


図4-7 混雑課金制導入による余剰の変化率(グラフ)

区間を経由せずにC2を利用して迂回行動をとる利用者が増加すると考えられる。図4-7でこのような行動をとった利用者の割合を示す。橙色の線がC2迂回利用者割合を示すが、混雑課金導入前までは6.5%であったが、導入後に2倍強の13.9%に上昇した。混雑課金によって都心通過路線から迂回路線への転換が生じ、結果として社会的余剰が増加したと言える。

これまで、首都高の中央環状線の内側において混雑課金を課した場合の影響について、首都高の東京線（旧料金圏の区分）利用者を3つの利用パターンに分類し、社会的余剰、及び都心環状線を回避して中央環状線で迂回する利用者の割合の変化を分析した。

混雑課金額を米国の事例を参考に1kmあたり50円と設定して試算した結果、混雑課金制の導入により社会的余剰は増加し、中央環状線を迂回利用する車両の割合は2倍強の約14%に増加した。

この結果から得られる、混雑課金制導入による効果を以下に整理する。

- ・社会的余剰は増加した。
- ・消費者余剰は減少したため、新たに加えられた混雑課金収入をドライバーに還元することが制度導入に向けて必要である。
- ・都心に発着地を持たないが都心を通行（通過）する車両を減らすことができる。
- ・中央環状線内側の旅行速度が課金前後で上昇幅が大きいほど、社会的余剰の増加幅は大きく、中央環状線迂回割合は低くなると想定される。
- ・課金額を高く設定するほど、社会的余剰の増加幅は小さく、C2迂回割合は高くなると想定される。

4.3 分析モデルの改良及び応用

(1) 料金収入の設定方法の改良

これまでの分析では首都高会社による料金収入に制限を設けていなかった。試算結果の「社会的余剰13%増加」の内訳は、消費者余剰が13%減少、生産者余剰が76%増加、であった。首都高の収入（通行料金収入+混雑課金収入）が大きく増加したことが社会的余剰増加につながっていることが考えられる。そこで、「混雑課金導入前後で首都高の収入を一定とする」という収入中立制約を課したモデルを解くことを試みる（図4-8）。その際、混雑課金水準に限らず、混雑エリアに関わらず発生する対距離部分の料金単価についても変更を検討する。

(2) 速度の設定方法の改良

これまでの分析では、旅行速度は予め所与とした値を用いていたため、交通量に応じた速度変化及びそれに伴う旅行時間変化・時間費用変化が考慮されていなかった。そこで、平成22年度道路交通センサスの箇所別基本表及び時間帯別交通量表を用いてQ-V関係を導出し、交通量に応じた速度の設定、すなわち速度の内生化を試みる（図4-9）。

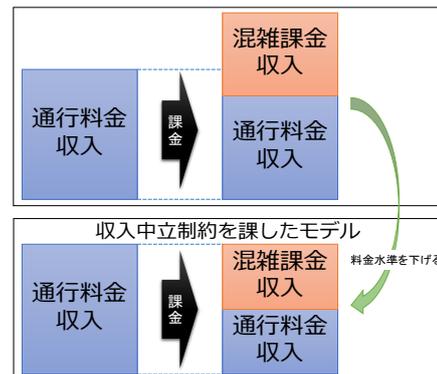


図4-8 収入中立制約のイメージ

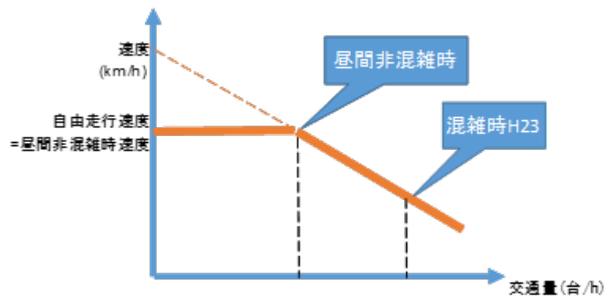


図4-9 Q-V関係のイメージ図

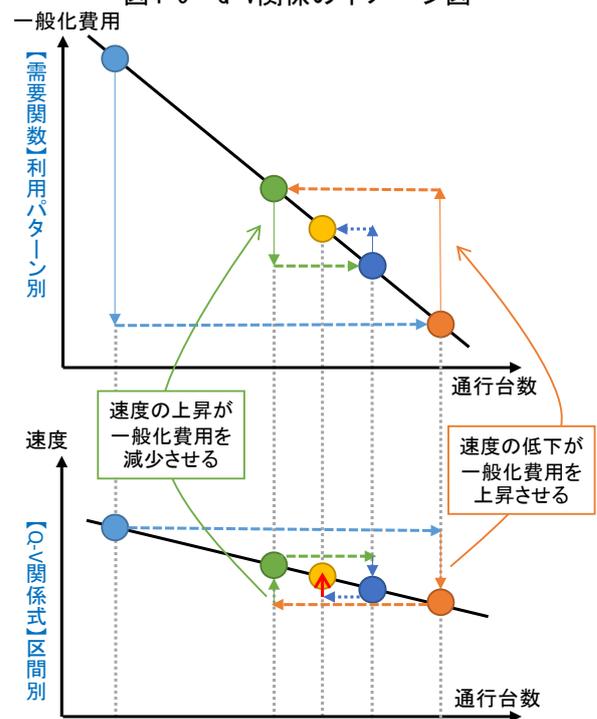


図4-10 速度と通行台数の収束計算イメージ図

具体的には、C2内側・外側の混雑時・昼間非混雑時について、それぞれ対象区間のセンサ区間を集計し、平均交通量（総台キロ÷総延長）と平均旅行速度を算出することでQV関係式を得る。しかし、この関係式はセンサ交通量ベースでの関係であり、首都高OD調査報告書とはオーダーが異なる。そこで、OD報告書のH23の台数が、センサの混雑時の平均交通量だと見なして計算し、OD報告書の台数レベルでのQ-V関係式を下式(1)及び(2)の通り設定した。

$$C2\text{内側} : V = 99.48 - 0.00011 * Q \quad (1)$$

$$C2\text{外側} : V = 185.3 - 0.00028 * Q \quad (2)$$

旅行速度の内生化は、利用パターン別及び走行区間別に、上記Q-V関係式と需要関数を用いた収束計算により行う（図4-10）。

4.4 分析結果

改良したモデルによる混雑課金導入の余剰変化の試算結果を表4-10、図4-11に示す。

混雑課金が0円で、通常対距離課金単価が現行の29.52円/kmである状況を出発点とし、混雑課金単価を5円/kmずつ増やしていく。そのとき、料金収入中立制約を達成する対距離課金単価のもとでの社会的余剰変化率を、当該混雑課金単価による効果と見な

す。表20では、5円ずつ混雑課金単価が増えるにつれ、料金収入中立制約を満たす対距離課金単価が減少し、かつ、社会的余剰変化率が増加する傾向が分かる。さらに、混雑課金単価を横軸として縦軸に社会的余剰変化率（折れ線）及び対距離課金単価（縦棒）を示した図4-11から、社会的余剰変化率の増加傾向は、混雑課金単価が増加するにつれ緩やかになる状況を把握できる。最終的に、対距離課金単価が0円/kmで混雑課金単価が39.5円/kmであるときに、社会的余剰が最大化されると試算された。これは、端点解であり、対距離課金単価がマイナスである非現実的な状況下で、社会的余剰は計算上最大化または収束されることが推測される。なお、図表には示していないが、混雑課金単価が課されている状況では、消費者余剰変化率はプラスであり、社会的余剰が最大化されるときに4.1%増で最大となる。

表4-10 改良混雑課金モデルによる分析結果（表）

ノーマル										単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	35	39.5	円/km
対距離課金単価	29.52	26.10	23.1	20.0	17.1	14.3	11.4	8.5	0.0	円/km
外外利用料金（都心）	960	971	991	1,002	1,032	1,053	1,073	1,094	1,094	円/台
外外利用料金（迂回）	960	870	790	700	630	550	470	390	300	円/台
<混雑課金額>	0	101	201	302	402	503	603	704	794	円/台
社会的余剰変化率	0.0%	1.0%	1.7%	2.2%	2.6%	2.9%	3.1%	3.3%	3.4%	%

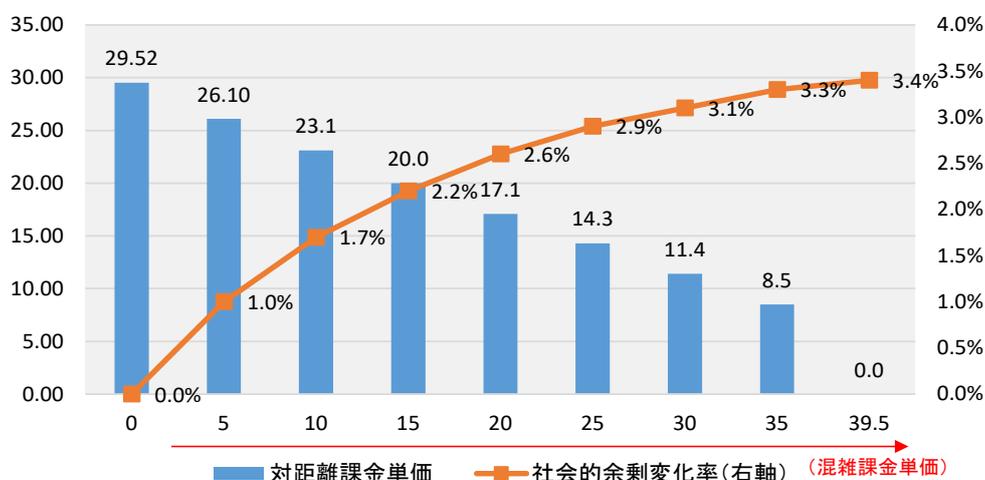


図4-11 改良混雑課金モデルによる分析結果（グラフ）

4.5 中長期の2つのシナリオ

(1) 東京オリンピック・パラリンピック開催時

2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催時に混雑課金を導入した場合の効果を試算する。オリンピック会場予定地の多くが、中央環状線と湾岸線で囲まれるエリアに位置しているため（図4-12）、内内利用、内外利用について、通行台数が仮に10%増加した場合の社会的余剰を試算する。ここでは、実際に通行台数が増加した状態において、混雑課金がない場合の社会的余剰と、課金がない場合の社会的余剰とを比較して変化率を算出する。



出典：東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会HPを加工

図4-12 中央環状線エリアとオリンピック予定地との関係

表4-11 改良混雑課金モデルによる分析結果（東京オリンピック・パラリンピック開催時）（表）

東京オリパラ									単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	34.8	円/km
対距離課金単価	29.52	26.10	23.0	19.6	16.4	13.1	9.7	0.0	円/km
外外利用料金(都心)	960	971	991	992	1,012	1,023	1,023	999	円/台
外外利用料金(迂回)	960	870	790	690	610	520	420	300	円/台
<混雑課金額>	0	101	201	302	402	503	603	699	円/台
社会的余剰変化率	0.0%	1.4%	2.5%	3.3%	3.9%	4.4%	4.7%	5.0%	%

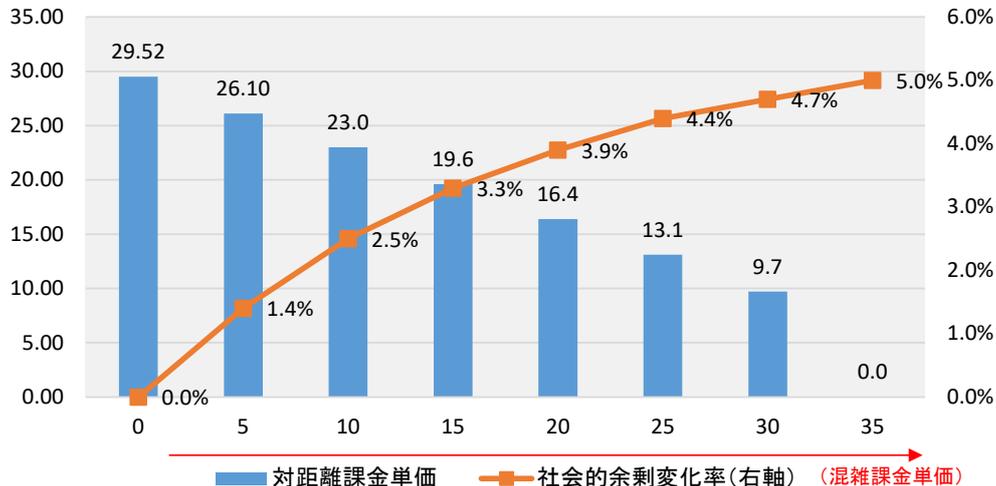


図4-13 改良混雑課金モデルによる分析結果（東京オリンピック・パラリンピック開催時）（グラフ）

試算結果を表4-11、図4-13に示す。通常バージョン（表4-10、図4-11）の傾向とほぼ同じで端点解を示しているが、同一混雑課金単価での社会的余剰の変化率が高い。これは、交通需要が大きく混雑状況が激化している状況では、課金による通行台数減少効果・都心速度改善効果がより高くなっていることを示唆している。

(2) 将来人口減少時

全国的に人口が減少局面に突入しており、東京都についても長期的には減少が予想されている。国立社会保障・人口問題研究所の推計によれば、東京都は2040年に2010年比で人口が6.5%減少、20~64歳に限れば20.5%減少と推計されている（表25）。そこで、全利用パターンの台数が20%減少すると仮定して社会的余剰を試算する。

表4-13、図4-14に分析結果を示す。通常バージョン

ン及び(1)の試算結果と同様に、全体的に混雑課金単価が高いほど社会的余剰の増加率が高いが、一方で、端点解ではなく内点解を示している。すなわち、対距離課金単価が0円/kmとなる水準ではなく、そのやや手前で混雑課金単価が30円/kmの付近で社会的余剰が最大化されると試算された。ただし、通常バージョンや(1)の場合と比較すると増加率は低く、交通需要が小さい状況では、混雑課金による社会的余剰改善効果が縮小されることが示唆された。

表4-12 人口推計結果（東京都）

	2010年	2040年	変化率
全年齢	13,159,388	12,307,641	-6.5%
20~64歳	8,442,289	6,713,838	-20.5%

出典：国立社会保障・人口問題研究所『日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）』

表4-13 改良混雑課金モデルによる分析結果（将来人口減少時）（表）

人口減少時									単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	34.8	円/km
対距離課金単価	29.52	26.10	22.9	19.6	16.4	13.0	9.4	0.0	円/km
外外利用料金(都心)	960	971	981	992	1,012	1,013	1,023	999	円/台
外外利用料金(迂回)	960	870	780	690	610	510	420	300	円/台
<混雑課金額>	0	101	201	302	402	503	603	699	円/台
社会的余剰変化率	0.00%	0.07%	0.12%	0.16%	0.17%	0.183%	0.187%	0.181%	%

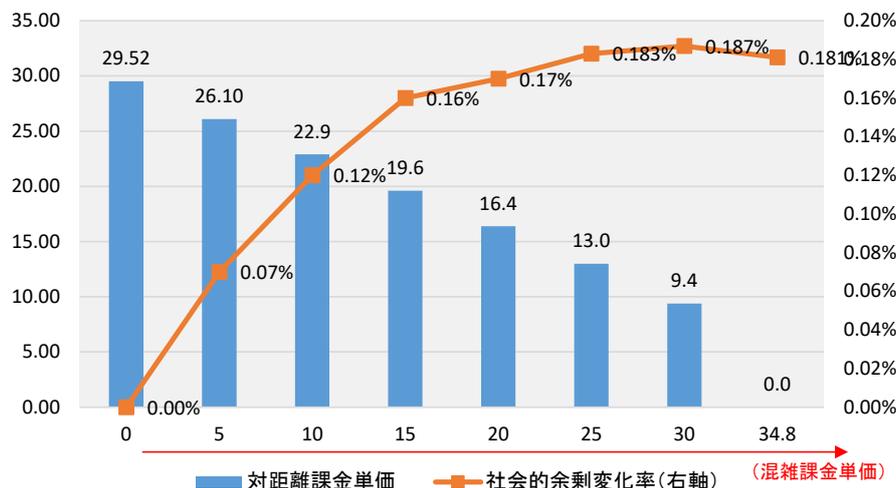


図4-14 改良混雑課金モデルによる分析結果（将来人口減少時）（グラフ）

4.6 まとめ

以上の研究で得られた成果を以下にとりまとめる。

本章では、首都高の中央環状線の内側を混雑区間と見なし、C2内側の走行距離に応じて通常の通行料金に加え混雑課金が徴収されると想定した社会的余剰分析モデルを開発した。混雑課金導入により交通需要がマネジメントされ、C2内側からC2への迂回が促進され、C2内側の混雑（低速度）状態が改善され、さらに、通行料金収入に加え混雑課金収入が追加されることで社会的余剰が増加するという試算結果が得られた。

混雑課金の導入により、都心部に発着地を持たない通過交通の経路を環状道路に転換させることができ、それによる社会全体的な効果もプラスに働くと予測されることが示された。

また、モデルを改良することで、混雑課金によって、消費者余剰の増加と収入中立制約を満たしつつ、社会的余剰の増加が達成されることを示した。

さらに、本モデルを応用することで、東京オリンピック・パラリンピックのような短期的に一部の地域に需要が集中する場合や、将来的に人口減少により交通量の減少が見込まれる時点における余剰の推計が可能であることも示した。東京オリパラ開催時には、都心部で増大する交通需要による混雑を空間的課金によって緩和させることで社会的余剰のさらなる増加が見込まれる。一方で、全体的に交通需要が減少する場合には混雑課金による社会的余剰の増加効果が薄いことが予測される。

以上より、現行の料金制で課されている通常の対距離単価を下げ、混雑区間に対して距離単価を高くすることで、迂回行動を取らせるインセンティブを生み出し、それが首都高関係者各主体に不利な状況をもたらさずに社会的余剰の増加に結び付けることが得られた。試算結果では、通常の対距離単価を0円/kmに近づけ、混雑区間には30円/km程度の課金を課すことで、社会的余剰が最大化することを示した。

今後は、限界費用の観点から死荷重の解消による

社会的余剰改善効果等の、別の観点からの評価を行うことで、混雑課金の導入効果を検討することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：首都圏の新たな高速道路料金導入後1ヶ月の効果について、2016。
- 2) 国土交通省道路局：首都圏の新たな高速道路料金に関する具体方針（案）、2015。
- 3) 今西芳一、内山直浩、大瀧逸朗、中拂諭、根本敏則：料金体系変更による社会的余剰への影響～首都高の距離別料金導入をケーススタディとして～、計画行政、第39巻第2号、pp.49~55、2016。
- 4) 大瀧逸朗、今西芳一、内山直浩、中拂諭、根本敏則：高速道路料金体系変更による一般道を含めた余剰への影響～首都高の距離別料金導入に伴う社会的余剰変化～、第13回ITSシンポジウム、2015.12.3~4、首都大学東京、2015。
- 5) Otaki, I., Y. Imanishi, K. Miyatake, T. Nemoto, N. Uchiyama :Effects of the change of toll system on social surplus: A case study of distance-based toll in Tokyo Metropolitan Expressway, *Transportation Research Procedia*, Vol.25, pp.2927—2937, 2017.
- 6) 首都高速道路株式会社：第27回首都高速道路交通起終点調査 報告書 平成23年11月 調査、2013。
- 7) 首都高速道路株式会社：第28回首都高速道路交通起終点調査 報告書 平成23年11月 調査、2014。
- 8) 国土交通省 HP：平成22年度 全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査 集計表、箇所別基本表、<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>。

第5章 損傷者負担を考慮した高速道路料金の検討

5.1 本研究の背景と目的

2013年6月に、社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会が中間答申を公表した。この中間答申では、今後の高速道路のあり方に関して、以下の4点の方向性が示された。

- 高速道路ネットワークの強化・利用のあり方
- 維持管理・更新への取組
- 料金制度のあり方
- 大都市圏の料金体系のあり方

そして、整備重視から利用重視の料金への転換が大きな課題としたうえで、とくに大都市圏の料金体系の目指すべき方向性として、①管理主体を超えたシームレスな料金体系、②都心通過交通の抑制、および③非常時におけるネットワークの有効活用の3点を中間答申で示した。

さらに、2015年7月に国土幹線道路部会が上記方向性に沿って、中間答申『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」』を公表し、「首都圏の高速道路を賢く使うための料金体系」も提言した。このような状況を踏まえて、首都圏では、2016年4月から新たな高速道路料金が導入された。

日本が高速道路政策において大きな転換点を迎えたことは間違いないが、一方で検討すべき課題もまだ残っている。その1つが上であげた維持管理・更新への取組みの一環として検討が必要な高速道路料金における費用負担問題である。

そこで本章では、新たな高速道路料金制度や諸外国での高速道路料金制度を整理した上で、とくに損傷者負担原則に着目して、経済理論からみた高速道路の費用と負担のあり方について検討する。

より具体的には、道路舗装の合理的な維持・修繕管理をめざして、道路の維持管理費を含むライフサイクルコスト（LCC）を最小にするように、損傷者

負担課金を導入することで、都心通過交通の抑制しつつ、損傷に強い道路へ交通誘導し、LCCを低減する課金方法を検討する。

5.2 日本および諸外国の高速道路料金制度

a) 現行の高速道路料金制度と大型車の位置づけ

高速道路料金制度は2016年4月から変更があり、東京近郊の複雑な高速道路料金の整理・統一が図られた。これまでは高速道路の建設を重視した料金体系であったが、環状道路の整備が進み同一起終点で代替的なルートが選択できるようになったことから、利用を重視した料金体系に変更された。具体的には、対距離制を基本とするとともに車種区分も統一された。

また、東京都心部の渋滞を減少させるために、首都圏の交通流動の最適化を目指し、外側の環状道路をより活用する料金体系が導入された。

このような「シームレスな同一起終点・同一料金」は、首都高経由の経路と比べてときに、圏央道経由の経路の利用が少なくとも料金面で不利にならないように、料金を決定するという考え方である。この指針は混雑緩和を目的として導入されている。

しかし、同指針はネットワーク全体のLCCを低減すべく、建設からの経過年数が長く設計基準の低い経路から、建設からの経過年数が短く設計基準の高い経路へと、交通量を転換する政策変更と解釈することもできる。

そこで本章では、高速道路のLCCの低減を目的とした、道路の損傷度合いに応じた高速道路料金のあり方についてさらに検討する。

一方、統一された対距離料金は、利用1回当たりのターミナルチャージ150円に大都市近郊区間は29.52円/km、そして普通区間は24.6円/kmとなっている。さらに、表-1のように、高速道路により異なっていた車種区分が5車種に統一され利便性が図られた。

道路構造物に大きな影響を及ぼすと思われる大型車・特大車と普通車との料率をみると、表1のように大型車は普通車の1.65倍であり、特大車は2.75倍である。

大型車・特大車がもたらすアスファルト舗装や橋りょう床版への影響は車両重量の累乗倍に比例するといわれており、その費用と負担には乖離があると思われる。さらに走行頻度の高い運送会社等へは最大40%の多頻度大口割引制度が適用されており、上記の乖離を大きくしている可能性が高い。

表5-1 車種区分の統一と料率

車種区分	統一前				統一後
	総重量	2車種	3車種	5車種	
軽自動車等	1t未満	1.0	1.0	0.8	0.8
普通車	2t			1.0	
中型車	8未満			1.2	
大型車	25t以下	2.0	1.5	1.65	1.65
特大車	44t以下		3.5	2.75	

出典：国土交通省道路局資料「首都圏の新たな高速道路料金について」

<http://www.mlit.go.jp/common/001121325.pdf> (2017年7月23日最終アクセス) より抜粋。

図5-1は、ドイツ・フランス・イギリスの欧州各国と日本における車両総重量20tの貨物車(単車)の自動車関係税等の年間負担額を比較したものである。

これをみると、諸外国と比較して、日本の大型車の負担はかなり低いことがわかる。あわせて、諸外

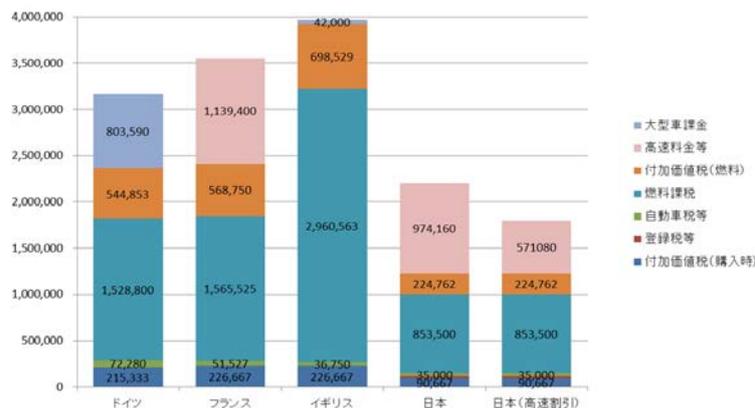


図5-1 車両総重量20tの貨物車(単車)の自動車関係税等の年間負担額 (円/年)

出典：公共計画研究所 (2016) ¹⁾, p.2-44より抜粋

表5-2 諸外国の有料道路料金 (2011年1月時点)

	フランス	イタリア	スペイン	ポルトガル	韓国	中国
高速道路延長	11,163 km	6,661 km	15,621 km	2,737 km	3,775 km	65,055 km
有料道路延長	8,431 km	5,724 km	3,016 km	1,924 km	3,357 km	61,802 km
乗用車料金	7~13 円/km	7 円/km	15 円/km	9 円/km	5 円/km	4 円/km
大型車料金	23~44 円/km	14 円/km	20~25 円/km	16~23 円/km	5~7.5 円/km	6~10 円/km

出典：脇嶋・松井他 (2016) ²⁾より抜粋。

課金方法としては、①対距離課金システム（無線方式などにより、通行距離に応じて課金）（導入国：ドイツ・スイス・オーストリア）と②ビニエツト方式（ステッカー購入などにより、一定期間の利用に課金）（導入国：ベルギー・スウェーデン・デンマーク・ハンガリー・ポーランド・ブルガリア）がある。

このように、道路の維持管理が求められる欧米の多くの国々では、大型車に対する道路料金に対して、重量などに基づく損傷者負担原則を採用していることがわかる。

さらに、表5-3は重量貨物車対距離課金を導入した国の事例を整理したものである。いち早く重量貨物車への対距離課金を検討したドイツでは、1926年以降、アウトバーンは無料で建設・管理してきた。

しかし、1995年に道路修繕費用の負担を目的として、ビニエツト方式課金制度を導入し、2005年に無線方式の対距離課金体系へ移行した。そして2007年1月には課金回避のためにトラックが迂回したことで大幅な交通の増加が認められた全国的道路（高速道路と並行し、高速道路に類似した規格で、時間的に同様の効率性がある道路）の一部路線にも課金を実施した。

根本・味水（2008）³⁾によれば、そもそも対距離課金には2つの目的がある。第1の目的は、混雑緩和、環境改善、交通ルートの誘導あるいは他モードへのシフトなどの「交通需要管理」である。第2の目的は、受益と負担を一致させることによって財源を確保し、交通需要に適合した過不足のない道路容量を実現することである。

道路料金に対して、重量に基づく原因者負担原則の採用に加えて、上記の目的に沿った対距離課金による料金徴収を行っている諸外国の事例を踏まえて、今後の日本の高速道路料金のあり方を検討する必要があるだろう。

他方、アジアでも大型車に対する重量料金の取り組みがなされている。経済発展が急激に進んでいる中国では、物流量の増加に伴い高速道路の整備が進んでいるが、高速道路料金に対する割高感があり、大型車が重量を過小申告し、重量超過状態で走行する大型車が増加した結果、道路構造物への影響が危惧されている。

このような状況下で高速道路の建設費の返済と通常の維持管理費用を確保するために、長期的なガバナンスを実施し、江蘇省、広東省、四川省、および青海省では車両の大きさではなく総重量に基づく高速料金を導入している。

同制度は料金を節約するために過積載をするインセンティブを削ぐこととなったが、同時に道路構造物への損傷度合いが小さな空車状態の大型車の料金は割安となった。なお、中国国内の高速道路を走行する車両の25%が空車状態である。

2003年3月からの試行において、重量超過状態で走行する車両への料金徴収を実施した結果、9ヶ月後には、違反車両は2.47%から0.2%に減少し、正式に採用することとなった。

図5-2に広東省における総重量に応じた料金制度を示す。ISO規格40フィート海上コンテナのフル積載総重量44トン想定し、図中では、トラクタ7トン、トレーラ5トン、コンテナ（空）5トンの計17トンを差し引いた実重量27トンを超えると過積載となる。これをみると、40%超過から課金単価が高くなっていることがわかる。

このように、ドイツのように不正走行対策を充実させ、かつ代替的な一般道路まで対距離重量料金制度を導入している場合をのぞくと、中国のように重量に応じた課金設定を行うことで、損傷者負担原則と大型車の高速道路利用促進のバランスをとることは、日本での高速道路料金を検討する際には一考の

表5-3 諸外国における重量貨物車対距離課金

	ドイツ	スイス	オーストリア
導入時期	2005年1月	2001年1月	2004年1月
課金目的	・アウトバーン維持・建設費の確保 ・インフラコストの適正負担	・貨物輸送による外部費用の内部化 ・新規鉄道トンネルの整備費用の確保	・高速道路建設費の確保
対象車両	・総重量が12トン以上のトラック	・総重量が3.5トン以上のトラック	・総重量が3.5トン以上のトラック
対象道路	・アウトバーン ・連邦道路（2011年7月以降）（一部区間を除く）	・公共道路網全体	・高速道路
課金方法	・GPSを活用して走行距離を計測して課金（料金所なし） ・ターミナルやインターネット等による料金支払い（前納制）も可能	・TRIPON（車載器）を活用し、ゲート通過時に課金額を計算 ・ターミナルでの料金支払い（前納制）も可能	・GO-BOX（車載器）を活用し、ゲート通過時に課金額を計算
課金額 1ユーロ＝110円 1センチメートル＝1円と	・0.141～0.288 ユーロ/km（円換算：約15～約32円/km） ・走行距離、車軸数、排出性能で差別化	・2.26～3.07 サンチーム/t・km（円換算：約2～約3円/t・km） ・走行距離、排出性能、総重量で差別化	・0.146～0.374 ユーロ/km（円換算：約16～約41円/km） ・走行距離 車軸数で差別化

収入使途	<ul style="list-style-type: none"> ・アウトバーンの維持 ・建設・交通インフラ（道路、鉄道、水路）の改善のための投資 	<ul style="list-style-type: none"> ・道路交通による騒音や大気汚染などの公害対策 ・大規模鉄道プロジェクトへの投資 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速道路建設，維持，補修
------	---	--	---

出典：国土交通省社会資本整備審議会道路分科会第3回国土幹線道路部会配布資料「諸外国における高速道路料金の状況」
<http://www.mlit.go.jp/common/000986069.pdf>（2017年7月23日最終アクセス）より抜粋。

価値があると思われる。

なぜなら、日本では、重量超過状態で走行する大型車には罰則で対応するため（本章での議論の対象としないが）、大型車への損傷者負担原則に基づく料金の値上げに伴い、代替的な一般道路へ大型車の交通量が移転することが十分考えられるためである。

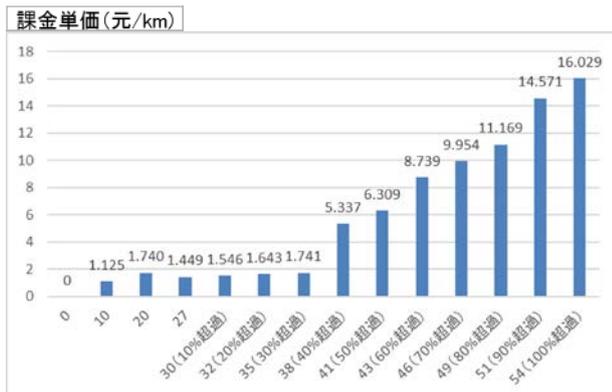


図5-2 広東省における総重量による料金制度
 出典：脇嶋・松井他（2016）²⁾より抜粋。

5.3 経済学からみた高速道路料金のあり方

それでは、経済理論からみた望ましい高速道路料金とはどのようなものだろうか。経済理論からみた短期の高速道路料金の考え方として、資源配分上もっとも望ましいものは、需要と供給を一致させて、かつ限界費用と等しくなるように設定する限界費用価格形成原理である。

しかし、限界費用価格形成原理を実際に採用すると、いくつかの問題が生じることが指摘されている。その1つが、供給側の欠損発生の場合である。道路のようなインフラで、混雑が生じていない場合には、平均費用を下回る費用しか回収できないことが理論的にわかっている。つまり、欠損が発生してしまう。このときの欠損は内部補助あるいは外部補助により穴埋めされることが期待できるが、その際にも資源配分上の歪みが生じることがわかっている。

そこで、収支均衡を条件とした料金の考え方として、需要と供給を一致させて、かつ平均費用と等しくなるように設定する平均費用価格形成原理が広く知られている。日本の交通・公益事業分野ではこの方式を「総括原価方式」ともよび、道路事業では償還主義に基づく高速道路料金設定の際に採用されている。

しかし、平均費用価格形成原理を実際に採用すると、常に収支均衡が達成されるように料金設定が行われるため、供給者側の費用最小化に対するインセ

ンティブが失われてしまい、非効率な生産となることが指摘されている。

以上の議論を踏まえて、次善の価格形成原理として登場したのが、(1)のようなラムゼイ・ルールに基づく価格形成原理である。ここで、 p_i 、 MC_i 、 e_i はそれぞれ市場*i*での価格、限界費用、需要の価格弾力性を表しており、 k は定数である。

$$\frac{p_i - MC_i}{p_i} = \frac{k}{e_i} \quad (1)$$

ラムゼイ価格形成原理は、収支均衡を条件として社会的余剰を最大化するための料金設定方式であり、1つの示唆として、需要の価格弾力性が低い財ほど価格を高く設定するということがある。

しかし、ラムゼイ価格形成原理にもいくつかの問題が生じることが指摘されている。そのうちの1つが、サービスからの受益に応じてその費用負担すべきであるという応益原則を反映できないという点である。

なお、車種別にラムゼイ価格形成原理を当てはめると、味水他（2015）⁴⁾が示したように、一般的に乗用車に比べて大型車の価格弾力性は低いため、結果としてラムゼイ価格形成によっても大型車の費用負担は増える可能性は高い。

ここまでは主に内部費用を前提として検討を進めてきたが、図5-3のように外部費用を含んだ社会的限界費用をもとに価格を設定することが資源配分上より望ましい。

図5-3が意味することは、自由放任の場合、点Aで市場均衡をむかえるが、点Aの状態は経済学的には資源配分上非効率である。つまり、社会的余剰が最適な状態のときと比較して少ない。なぜなら、 ΔAEF の面積分の死重的損失が発生しているためである。

本来、図5-3のなかで最適な資源配分が行われている状態は点Eであるが、経済取引を行う主体は、自分が取引を行うことによって第三者に技術的外部不経済を発生させている認識がないため、自由放任のもとでは自律的に点Eでの取引が行われない。

したがって、とくに市場を介さない混雑や環境問題といった技術的外部効果が発生している場合には、市場メカニズムそれ自体に前述した問題を修正する機能がないため、政府の市場介入により外部不経済の内部化を行う必要がある。つまり、図5-3のEB間の混雑税あるいは環境税が徴収されることで、資源配分の効率性が改善される。

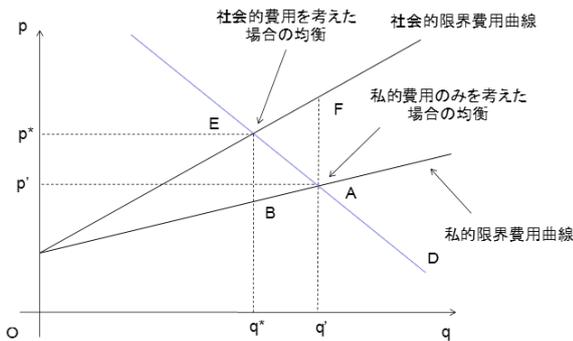


図5-3 混雑税・環境税の概念

出典：藤井・中条編（1992）⁵⁾より抜粋

以上の議論から、道路水準を所与とした場合の高速道路料金の考え方として、資源配分上もっとも望ましいものは、社会的費用に基づく限界費用価格形成原理である。

これは、道路への損傷度合いに応じて費用負担をしてもらうという原則にもかなうものである。くわえて、交通量の多い混雑道路に対して混雑税を導入することで、道路容量一定のもとでの最適道路利用が実現することがわかっており、かつ均衡点が費用逓増状態のところに位置するため、少なくとも欠損は発生しない。

しかし、交通量が少ない高速道路の場合では、社会的費用に基づく限界費用価格形成原理を導入すると、費用逓減状態での均衡となり、欠損が生じる可能性が高い。

そのため、少なくとも収支均衡が条件となり、かつ外部補助が期待できない状態では、次善の策として固定費用分に対しては平均費用価格形成原理の枠組みを守りながら、維持管理費用の車種別負担比率の決定に関して道路への損傷度合いも加味した限界費用価格形成の考え方を取り入れるという、いわば二部料金に近い料金設定を導入することが資源配分上相対的に望ましい。

5.4 先行研究における重量料金の考え方

これまでのLCC最小化の対策は、事前に点検し、異常が確認または予測された場合、致命的欠陥が発現する前に速やかに措置するという「予防保全的管理」が中心であり、寿命を伸ばすことでLCCを低減することを目的とした。

それでは、諸外国でも導入されているような重量に基づく課金を採用することで、LCCを低減させることはできるのだろうか。

自動車の道路利用では、前節でも説明した道路混雑や大気汚染などの外部不経済が発生するため、内部化する方策について膨大な理論的研究が蓄積されてきた。しかし、瀬木他（2014）⁶⁾によれば、本研究の対象である維持管理費用を明示的に考慮した高速道路料金に関する研究は数少ない。

ただ、Newbery（1988a）⁷⁾でも指摘されたように、ある車両の通行が道路へ損傷を与え、結果として他

の車両が直面する維持管理費が増加するならば、道路損傷の外部性が生じていることになる。

つまり、道路の損傷に対しても、図-6で説明した外部不経済の内部化の議論が援用できることになる。いかえれば、混雑料金と同様に、諸外国でも導入されているような損傷者負担に基づく料金の採用が資源配分上望ましいことになる。

以上の議論を踏まえて、Small and Winston（1988）⁸⁾やNewbery（1988b）⁹⁾は、道路建設費や維持管理費用の一部を一括税（lump-sum税）により調達できることを前提として、道路損傷の外部性を内部化する目的の限界費用価格形成原理に基づく道路料金について分析している。

また、Chu and Tsai（2004）¹⁰⁾では、混雑料金と維持管理費用を踏まえた2車種の道路料金について検討を加えている。

しかし、日本の制度下での現実的な政策への知見を導出するには、少なくとも高速道路事業者が建設費および維持管理費用のすべてを料金収入で賄わなければならないという現状を踏まえる必要がある。

そこで、瀬木他（2014）⁶⁾では、Chu and Tsai（2004）¹⁰⁾での議論を拡張して、高速道路と一般道路が並列するネットワークを対象として、道路利用がもたらす混雑と道路構造物への損傷という外部不経済を内部化する高速道路料金について理論的に分析した。

とくに、大型車と普通車によって道路構造物への損傷の度合いが異なることと一般道路と高速道路間で構造物の耐荷力が異なることに着目した結果、道路間の限界維持管理費用の差が料金設定に反映されていない場合は、その差額を大型車料金に反映する（すなわち大型車の料金を安くする）ことで、大型車の経路誘導を通じた維持管理費用の軽減効果が存在することを明らかにした。

しかし、損傷者負担原則に則った制度設計を目指すのであれば、大型車の一般道での課金、軽油引取税の増税などを検討すべきであろう。本章はその第1歩として、代替的な高速道路ルートが存在するときに、損傷者負担原則に則った料金を課すことで、高速道路全体のLCCの一部である維持管理費用が削減できる方向性を示したい。

5.5 重量料金導入の試算例

a) 重量料金導入試算例の概要

本章では、都心分の環状道路（首都高）経由と郊外部の環状道路（圏央道）経由の2区間の交通をシンプルに想定し、図5-4のようなモデルを使用して、重量料金導入前後の交通量の変化と維持管理費の変化を検討する。

都心分の環状道路（首都高）はほぼ橋梁区間であること、また郊外部の環状道路（圏央道）はほぼ土工区間であることから、走行経路と料金単価を単純化するために、都心分の環状道路（首都高）区間はすべて橋梁区間および郊外部の環状道路（圏央道）区間はすべて土工区間と仮定する。

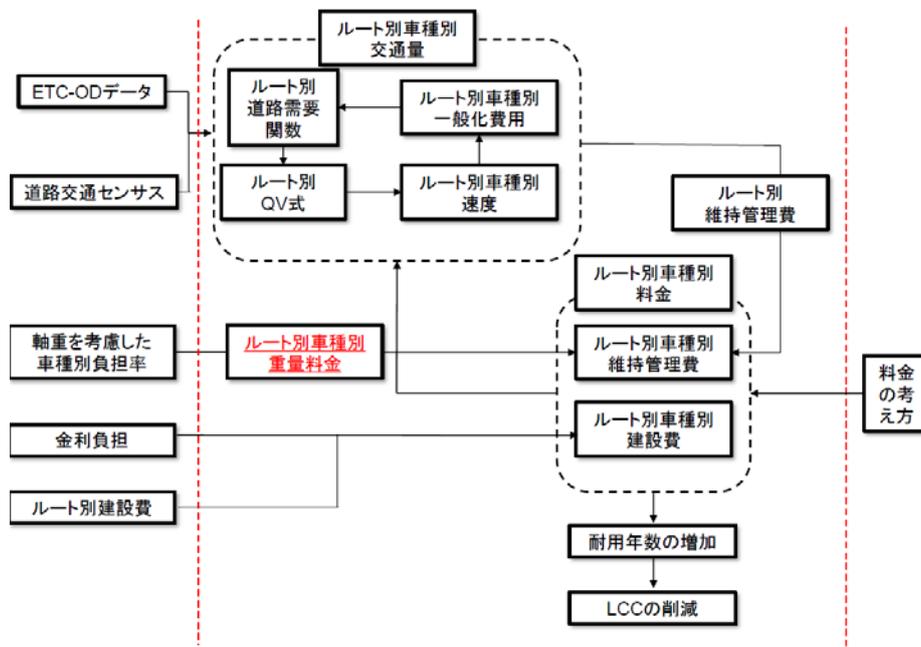


図5-4 重量料金モデルの概要

b) 道路構造物への影響を考慮した車種別重量料金の算出方法

区間ごとの建設費に対する車種別費用負担額（支払利息も含む）については、以下の（2）と（3）の算出結果の合計とする。

$$\begin{aligned}
 & \text{(1 トリップあたり建設費の車種別費用負担額)} = \\
 & \text{(平均トリップ長あたり建設費 (円))} \div \text{(道路の耐用年数 (年))} \div 365 \text{日} \times \text{車種別料金比率} \div \Sigma (\text{車種別料金比率}) \times (\text{車種別断面交通量 (台/日)}) \div \text{車種別断面交通量 (台/日)} \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{(1 トリップあたり建設費の支払利息に対する車種別費用負担額)} = \text{(平均トリップ長あたり建設費 (円))} \div \text{(道路の耐用年数 (年))} \div 365 \text{日} \times \text{車種別料金比率} \div \Sigma (\text{車種別料金比率}) \times (\text{車種別断面交通量 (台/日)}) \div \text{車種別断面交通量 (台/日)} \quad (3)
 \end{aligned}$$

一方、区間ごとの維持管理費に対する車種別費用負担額については、以下の（4）のように算出する。

$$\begin{aligned}
 & \text{(1 トリップあたり維持管理費の車種別費用負担額)} = \text{(平均トリップ長あたり維持管理費 (円))} \div 365 \text{日} \times (\text{車種別負担量}) \div \Sigma (\text{車種別負担量}) \div (\text{車種別断面交通量 (台/日)}) \quad (4)
 \end{aligned}$$

c) 平均トリップ長および車種別断面交通量

ここでは平均トリップ長および車種別断面交通量を求める。まず首都高速の平均交通量は、975,577 台/日である。

首都高速によると、1台あたり日平均料金収入は約700円となり、これは現行の料率では15kmに該当するため、以降首都高速の平均トリップ長を15kmとする。このとき、首都高速の平均断面交通量は48,568

台/日となる。

車種別の断面交通量は、首都高速と圏央道に接続する高速道路の車種別交通量の構成比を各高速道路の交通量により加重平均して求め、首都高速における車種別交通量の構成比とした。

次に、ここでは圏央道の平均トリップ長および車種別断面交通量を求めていこう。しかし、データの不足により首都高速と同様に平均トリップ長が算出できない。そこで、本章では圏央道の代表区間の公表されている断面交通量を平均化して、平均断面交通量を46,000（台/日）と算出した。車種別の断面交通量を求める際に、首都高速のとくと同様に求め、圏央道における車種別の交通量の構成比とした。

d) 建設費用の車種別負担

ここでは、建設費の車種別負担額を算出する。首都高速道路の償還計画によると、首都高速の建設費は約5.4兆円であり、供用延長は287.7 kmであった。

したがって、首都高速道路の平均トリップ長あたり建設費は2,820億円となる。平均耐用年数は50年と仮定する。

次に、圏央道における建設費の車種別負担額を算出する。圏央道の償還計画によると、圏央道の建設費は約3.0兆円であり、供用延長は約300 kmである。

したがって、圏央道の平均トリップ長(15.765km)あたり建設費はおおよそ1,576.5億円と算出できる。平均耐用年数は、土工区間が多いこと、そして橋梁は新しい設計が採用されていることを考慮して100年と仮定した。

e) 支払利息の車種別負担

ここでは、建設費の支払利息に対する車種別負担額を算出する。首都高速道路の平均トリップ長あたり建設費は2,820億円とすると、借入期間を50年、借入金利を4%とした場合の建設費の支払利息は3,700億円となり、車種別負担額は（2）をもとに算出し

た。

次に、圏央道の建設費の支払利息に対する車種別負担額を算出する。圏央道の平均トリップ長あたり建設費は1,576.5億円とすると、借入期間を100年、借入金利を4%とした場合の建設費の支払利息は4,848億円となり、車種別負担額は(2)をもとに算出した。

f) 維持管理費の車種別負担

最後に、維持管理費の車種別負担額を算出する。各道路の維持管理費は、以下の3種類に分類できる。

- ① 道路構造物への影響を考慮した点検・補修等の維持管理費（軸重の影響を考慮し、車種別負担額を決定）
- ② 清掃費、点検費、光熱水費等の費用（全車両に均等に負担）
- ③ 各事業主体の人件費など計画管理費（全車両に均等に負担）

このとき、首都高速の維持管理費は380億円であり、過去の実績から、維持管理費のうち70%の266億円を①の割合とする。①を1トリップあたりの費用に換算すると、13.3億円となり、車種別負担額を(4)より算出する。

次に、過去の実績から、維持管理費のうち30%である114億円が②の割合となる。①と同様に1トリップあたり費用に換算すると5.7億円となった。これを断面交通量で均等負担とすると、1トリップ・1台あたり32円となる。

最後に、③は計画管理費の845億円として、②と同様に1トリップあたりの費用に換算すると42.25億円となる。これを断面交通量で均等負担とすると、1トリップ・1台あたり238円となる。

同様に、圏央道における維持管理費の車種別負担額を算出する。ただし、圏央道の維持管理費は公表されていないため、NEXCO東日本の管理費を援用する。

NEXCO東日本の維持修繕費775億円のうち、①に該当する部分は、保全点検業務および土木構造物修繕業務にかかわる259億円となる。①は、供用延長3,842kmに対する費用であるため、1トリップあたりの費用に換算すると、1.1億円となり、車種別負担額を(4)より算出した。

次に、②に該当する部分は、維持修繕費全体から①の259億円を除いた516億円とする。同様に、1トリップあたりの費用に換算すると2.1億円となった。これを断面交通量で均等負担とすると、1トリップ・1台あたり13円となる。

最後に、③に該当する部分は、NEXCO東日本では管理業務費と一般管理費等に相当し、合計980億円となるため、1トリップあたりの費用に換算すると4億円となる。これを断面交通量で均等負担とすると、1トリップ・1台あたり24円となる。

g) 試算結果

以上を踏まえて、都心分の環状道路（首都高）経

由と郊外部の環状道路（圏央道）経由の車種別料金を試算したものが表5-4と表5-5である。ここで示す料金は建設費と維持管理費のすべてを料金で回収するという条件を満たしつつ（平均費用価格形成）、維持管理費に関しては車種別の損傷度合いを反映する（限界費用価格形成）、一種の二部料金となっている。表中の「参考」は現行の料率で求めた1トリップあたりの料金を示している。

表5-4をみると、現行料率で計算した料金（参考）と比較して、道路構造物への影響を考慮した場合、首都高速ではたとえば大型車では約120%の料金の値上げとなる。

次に、表5-5をみると、現行料率で計算した料金（参考）と比較して、道路構造物への影響を考慮した場合、圏央道ではたとえば大型車では約10%の料金の値下げとなる。

また、各区間の料金を比較すると、たとえば大型車では、1トリップあたり圏央道の料金よりも首都高速のほうが2.49倍も高いことがわかる。現行の料金（参考）と同様に比較すると約2%しか異なっていないため、道路構造物への影響を考慮した場合は相対的に圏央道の料金が割安になることがわかる。

これにより、首都高速から圏央道へ交通量が転換すれば、首都高速と圏央道全体の道路構造物の維持管理費削減にもつながると思われる。

それでは、上記試算結果により、2区間合計の維持管理費がどの程度削減されるのだろうか。表5-6は、表5-4および表5-5の重量料金の試算結果を踏まえて、重量料金導入前後の交通量の比較と維持管理費の比較を表したものである。これをみると、重量料金導入による交通量の変化によって、2区間合計で年間約1.5億円の維持管理費削減の効果があることがわかった。

5.6 結論と今後の課題

本章では、新たな高速道路料金制度や諸外国での高速道路料金制度を整理した上で、とくに損傷者負担原則に着目して、経済理論からみた高速道路の費用と負担のあり方について検討した。

日本でも高速道路料金体系の統一化は図られたが、維持管理時代を迎えた日本の道路構造物に影響を及ぼす大型車の料金は車両の総重量やアスファルト舗装や橋梁床版への累乗倍による影響に比べると割安感があることがわかった。

一方、諸外国の高速道路料金の現状について整理した結果、諸外国の高速道路料金では、建設時代から維持管理時代へ移行している状況を踏まえて、建設費と維持管理費を原因者負担原則で大型車に負担を求めるといった考え方が定着しつつあることがわかった。

そのため、欧州でも導入されているような二部料金制度の応用として、平均費用価格形成の枠組みを守りながら、維持管理費用の車種別負担比率の決定に関して、損傷者負担原則に基づく限界費用価格形

成の考え方を取り入れた方式について検討し、試算を行った。

試算の結果、重量料金を導入することで、都心分の環状道路（首都高）経由から郊外部の環状道路（圏央道）経由へ交通量が移転し、結果として2区間の

維持管理費が減少する可能性が示唆された。

今後の主な研究課題として、①対象区間をより現実近づけるなどの重量料金モデルの精緻化、および②①を反映した重量料金導入前後でのLCC変化の分析評価などがあげられる。

表5-4 試算結果（都心分の環状道路（首都高）経由）

車種区分	橋梁区間(首都高)										
	初期建設費(50年で完済)			維持管理費(年間費用)					計	【参考1】 現行料金	【参考2】 重量を考慮しない料金
	区分比率	建設費	利息(4%, 50年)	総重量(t)	道路構造物への影響比率	維持管理費①	維持管理費②	維持管理費③			
費用(億円)		3,760	4,941	-	-	13.8	5.6	24.4			
軽自動車	0.8	239	314	0.85	6.945E-17	0	24	106	683	540	755
普通車	1.0	299	392	2.00	2.000E-12	0	24	106	821	640	893
中型車	1.2	358	471	8.00	3.355E-05	0	24	106	959	670	1031
大型車	1.65	493	647	23.40	1.521E-01	826	24	106	2096	950	1342
特大車	2.75	821	1079	26.00	2.275E-02	123	24	106	2153	1190	2102

表5-5 試算結果（郊外部の環状道路（圏央道）経由）

車種区分	土工区間(圏央道)										
	初期建設費(100年で完済)			維持管理費(年間費用)					計	【参考1】 現行料金	【参考2】 重量を考慮しない料金
	区分比率	建設費	利息(4%, 100年)	総重量(t)	道路構造物への影響比率	維持管理費①	維持管理費②	維持管理費③			
費用(億円)		2,102.0	6,464	-	-	1.4	2.8	5.3			
軽自動車	0.8	88	272	0.85	6.525E-06	0	16	31	407	452	410
普通車	1.0	111	340	2.00	2.000E-04	0	16	31	498	566	501
中型車	1.2	133	408	8.00	5.120E-02	2	16	31	590	679	591
大型車	1.65	182	561	23.40	1.110E+00	50	16	31	840	933	793
特大車	2.75	304	935	26.00	7.140E-01	32	16	31	1318	1555	1289

表5-6 重量料金導入による維持管理費削減効果（日平均交通量：台）

車種別	圏央道					首都高				
	交通量(日平均断面交通量)			1台あたり車種別 維持管理費(円)	年間維持管理費 増減分(円)	交通量(日平均断面交通量)			1台あたり車種別 維持管理費(円)	年間維持管理費 増減分(円)
	料金変更後	変更前	差額			料金変更後	変更前	差額		
軽自動車	6,674	5,959	715	4.84306E-05	12,639,186.44	4,811	5,526	-715	0.000400671	-104,565,058
普通車	40,185	39,280	905	0.001484446	490,349,726.3	41,992	42,897	-905	0.012316314	-4068,386,452
中型車	7,208	5,763	1,445	0.380018255	200,431,127.9	6,128	7,573	-1,445	3.901775342	-205,789,866
大型車	9,773	9,268	505,206	8.242029476	151,983,180.1	5,046	5,551	-505,206	763,779,029	-140,840,998.1
特大車	1,326	1,230	95,818.5	5.299658871	185,348,957.7	1,154	1,250	-95,818.5	170,314,816.4	-595,654,823.7
合計	65,166	61,500	3,666		1,906,115	59,131	62,797	-3,666		-148,859,613

参考文献

- 1) 公共計画研究所：諸外国の大型車施策に関する調査検討業務，p.2-44，2016。
- 2) 脇嶋秀行，松井竜太郎，後藤孝夫，根本敏則：維持更新時代における高速道路料金体系の再検討，日本交通学会第75回研究報告会予稿集，2016。
- 3) 根本敏則，味水佑毅編著：対距離料金による道路整備，勁草書房，2008。
- 4) 味水佑毅，脇嶋秀行，松井竜太郎他：道路の維持更新時代における大型車走行規制の評価，交通学研究，第58号，pp.81-88，2015。
- 5) 藤井彌太郎，中条潮編：現代交通政策，東京大学出版会，1992。

- 6) 瀬木俊輔，小林潔司，田上貴士：維持補修費用を考慮した次善高速道路料金，土木学会論文集D3（土木計画学），第70巻第3号，pp.145-160，2014。
- 7) Newbery, D. M. : Road damage externalities and road user charges, *Economica*, Vol.56, No.2, pp.295-316, 1988a.
- 8) Small, K. A. and Winston, C. : Optimal highway durability, *The American Economic Review*, Vol.78, No.3, pp.560-569, 1988.
- 9) Newbery, D. M. : Cost recovery from optimally designed roads, *Economica*, Vol.56, No.222, pp.165-185, 1988b.
- 10) Chu, C. P. and Tsai, J. F. : Road pricing models with maintenance cost, *Transportation*, Vol.31, No.4, pp.457-477, 2004.

第6章 まとめ

6.1 ITS及びTDMの利活用に関する研究

本研究では、首都圏三環状ネットワークにおける今後の料金体系のあり方を基礎的に考察するために、ネットワーク交通流分析技術とETC利用ビッグデータ解析技術を活用した交通工学的アプローチの分析を実施した。

利用者均衡配分モデルを用いた料金体系変更の影響分析では、2012年当時の会社別の料金体系をベースケースとして、そこから全社共通料率による対距離制料金とゾーンによる料率変更の3ケースの試算を行った。その結果、高速道路会社全体での料金収入は現状維持もしくは微増するとの試算結果を得た。一方で、圏央道を含む外環道外側のネットワークの利用促進を目指してその距離料率を下げた場合は、微減収となる可能性があることも分かった。

ETC-ODマッチングデータの分析からは、圏央道を代替経路に含むランプ間ODの多くで圏央道の選択割合が高くなっており、環状路線の整備効果が確認できた。またネットワーク全体の経路選択の傾向としては、利用者は走行距離や所要時間などの観点から最短の経路を合理的に選択していることが分かった。

6.2 料金施策による道路の効率運用に関する研究

本研究では、まず平成24年の距離帯別料金と平成28年開始の首都高速道路の新料金制度を基にした分析から、道路ネットワークを賢く使うための料金施策について、ラムゼイ価格を基準としたきめ細かく、かつメリハリのある料金設定、高速道路会社間でのターミナルチャージの二重徴収の解消という二つの提案を行った。

また、首都高の中央環状線の内側を混雑区間と見なし、混雑課金導入により交通需要が適切にマネジメントされ（具体的にはC2内側からC2への迂回が促進され、C2内側の混雑（低速度）状態が改善され）、さらに、通行料金収入に加え混雑課金収入が追加さ

れることで社会的余剰が増加するという試算結果が得られた。即ち、混雑課金の導入により、都心部に発着地を持たない通過交通の経路を環状道路に転換させることができ、それによる社会全体的な効果もプラスに働くことが示された。さらに、モデルを改良することで、混雑課金によって、消費者余剰の増加と収入中立制約を満たしつつ、社会的余剰の増加が達成されることを示した。そして、本モデルを応用することで、東京オリンピック・パラリンピックのような短期的に一部の地域に需要が集中する場合や、将来的に人口減少により交通量の減少が見込まれる時点における余剰の推計が可能であることも示した。

以上のような料金施策に関する研究から、現行の料金制で課されている通常の対距離単価を下げ、混雑区間に対して距離単価を高くすることで、迂回行動を取らせるインセンティブを生み出し、それが首都高関係者各主体に不利な状況をもたらさずに社会的余剰の増加に結び付けることが得られた。

また大型車重量課金においては、新たな高速道路料金制度や諸外国での高速道路料金制度を整理したうえで、とくに損傷者負担原則に着目して、経済理論からみた高速道路の費用と負担のあり方について検討した。維持管理時代を迎えた日本の道路構造物に影響を及ぼす大型車の料金は、車両の総重量、アスファルト舗装や橋梁床板への累乗倍による影響に比べると割安感があることが分かった。一方、諸外国の高速道路料金では、建設時代から維持管理時代へ移行している状況を踏まえて、建設費と維持管理費を原因者負担原則で大型車に負担を求めるという考え方が定着しつつあることが分かった。

以上を踏まえ、欧州でも導入されているような二部料金制度の応用として、平均費用価格形成の枠組みを守りながら、維持管理費用の車種別負担比率の決定に関して、損傷者負担原則に基づく限界費用書かう形成の考え方を取り入れた方式について検討し、試算を行った。その結果、重量課金を導入することで、都心部の環状道路（首都高想定）経由から、郊

外部の環状道路（圏央道想定）経由へ交通量が移転し、結果として2区間合計の維持管理費用が減少する可能性が示唆された。

6.3 今後の研究に向けて

既に三社共通の新料金制度が導入されたものの、様々な社会的ニーズに対応するために継続的な見直しが必要となると考えられる。図6.1に、本研究の成果を踏まえ、今後検討すべき料金施策と研究課題について簡単に整理した。

本研究からシームレスな対距離料金の効果が示されており、その実践導入に向けた取り組みが、今後望ましい料金施策導入への第一歩となるものと考えられる。その上で、2020年のオリンピック/パラリンピックの開催時に予想される、広域の交通規制に伴う渋滞の激化に対応するための特定イベント料金や、本研究で検証したような都心部割増料金の実施が必要となる。

その後は、ネットワークの大規模修繕による断続的なネットワーク区間閉塞による局所的混雑に対応するために、OD別のきめの細かい混雑料金を導入し、本研究でも検証したような、ライフサイクルコストを低減できる料金の車種間比率の見直しを図っていくことが望ましい。

上記の料金施策の実現を学術的にサポートするために、交通経済学と交通工学による研究連携をより

一層深め、モデルネットワークによる料金の理論的妥当性検証と、実ネットワーク規模による交通流分析を通じた料金の運用面での妥当性検証を行うことが今後の課題である。

交通経済学の今後の課題として料金の社会的受容性の分析がある。特に、ラムゼイ・プライシングは社会的余剰を増加させるわけだが、不公平と批判を受ける「価格非弾力的な道路利用者の料金をあげる」ことが、実は本研究で示されてように「対距離制の徹底」「混雑外部性の内部化」「損傷者負担の徹底」の結果であることをわかりやすく丁寧に説明する論理を組み立てていく必要がある。

併せて、交通工学的アプローチに基づくネットワーク交通流分析技術の高度化のために、ネットワーク上の車両位置・挙動情報を高い時空間解像度で取得・管理・分析する技術についての研究の進展が欠かせない。本研究では2ヶ月分のETC-ODマッチングデータを活用した詳細なネットワーク上の経路選択特性の分析を実施したが、この程度のデータ量では、通行実績の少ないODや大型車の経路選択要因の特定は困難であるとともに、一般道路との分担関係についてはそもそも把握不能である。さらに、ETCの決済データが会社別に管理され、一連のトリップチェーンとして保管されていない点は、早急に解決すべき問題であると考えられる。

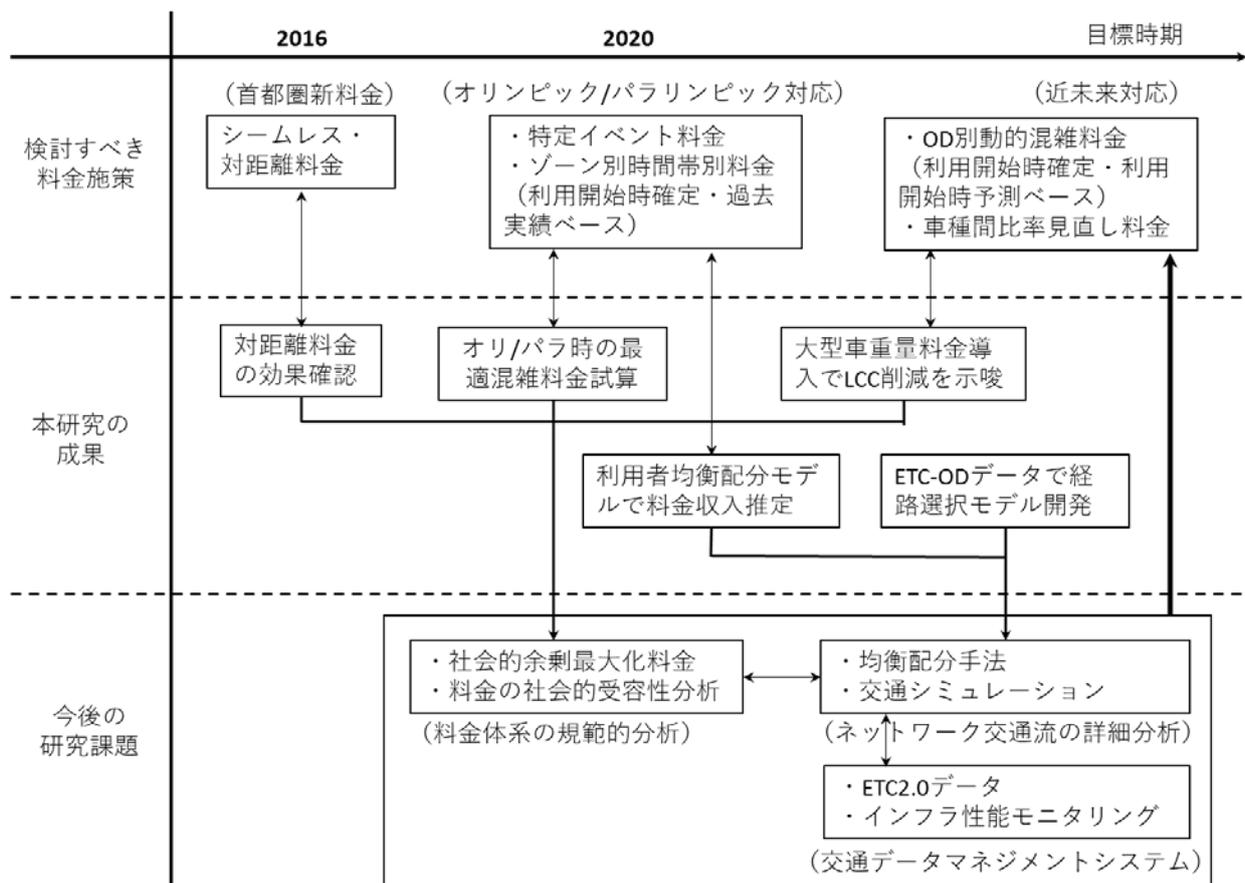


図6-1 本研究の成果と今後の課題