

(研究論文)

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*

大瀧逸朗 (公共計画研究所)¹

今西芳一 (公共計画研究所)

内山直浩 (公共計画研究所)

根本敏則 (敬愛大学)

宮武宏輔 (流通経済大学)

要旨

本研究では、首都高速道路において混雑課金制度が導入された場合の影響について、余剰の観点から分析を行い、混雑課金の効果を検証した。具体的には、都心に向かう交通による混雑状況が激しい中央環状線の内側を走行する車両に対して、通行料金に上乗せして混雑料金を徴収することを想定し、都心を通過する車両が環状道路を利用することによって都心の混雑状況が緩和され、社会的余剰（消費者余剰と生産者余剰の和）が改善される状況を分析した。さらに、東京オリンピック・パラリンピック、及び、人口減少社会といった、現在よりも需要が大きく変動した場合の混雑課金の効果について検証を行った。

Key Words: 高速道路料金制度、混雑課金、社会的余剰、シナリオ分析、首都高速道路

1. はじめに

1.1 首都圏の高速道路における料金制度

首都高速道路（以下、首都高と称す）を含む首都圏の高速道路では、平成 28 年 4 月から新たな料金制度（以下、新料金制と称す）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。

新料金制導入効果に関する国土交通省(2016)の資料には、「環状道路の利用増加により都心通過交通が減少し渋滞損失時間が減少した」という効果と、「前者による都心通過交通減少に加えて短距離利用の料金引き下げにより都心の短距離利用が増加し、都心部一般道の渋滞が緩和した」という効果が示されている。以上の現象は、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。国土交通省(2015)の資料によれば、今後は渋滞状況に応じて経路間に料金差を設ける等、段階的に料金体系を見直すことが検討されている。

以上のように、新料金制による効果が確認されてきてはいるが、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。首都高では新料金制により渋滞損失時間が約 9%減少した（国土交通省 2015）が、1 日あたり 29,700 台・時間もの渋滞損失時間の多くが都心での渋滞によるものと考えられる。実際に、平成 27 年 3 月の中央環状線（以下、C2 と称す）全通によって、C2 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（首都高会社 2015）、C2 内側の交通が渋滞状況を左右していることが考えられる。

そこで、首都高において C2 内側を混雑エリアと見なし、C2 内側に混雑課金が課された場合の影響を分析する。

*2017 年 10 月 30 日初原稿受理、2018 年 1 月 27 日採択。

¹ 問合せ先。〒101-0054 東京都千代田区神田錦町二丁目 5-16 名古路ビル新館 6 階 株式会社公共計画研究所副主任研究員 大瀧逸朗。E-mail: otaki@ppps.co.jp。

一連の研究（今西ほか 2016、大瀧ほか 2015、Otaki et. al 2017）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（首都高会社 2013、同 2014）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、平成 24 年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可能である。なお、一般道利用台数については、上記調査が実施された各時点でのデータが得られないため、2.1.3 に示す方法で首都高の利用台数データを元に推計することとした。

1.2 先行研究

本節では、高速道路の料金制度と経済効率性に関する代表的な先行研究の概要を整理する。

都市高速道路の料金や混雑料金の適用、都市圏へのモデルの適用については、円山ほか(2002)、Akiyama et al.(2004)及び文ほか(2007)等の既存研究が代表的である。特に Akiyama et al.(2004)では、大阪市全域をコードンプライシングの境界とした場合の料金水準について、700 円が最適であること等を示した。

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多くはない。奥嶋・秋山(2006)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)は、首都高と同時期に料金圏内均一料金制から距離帯別料金制に移行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、逡増逡減型等の計 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。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が示された。

これらの研究はいずれも交通量均衡配分分析である。均衡配分では OD 交通量の適切な配分に主眼が置かれており、多くの場合で需要は固定的に扱われている。一方で、上記の既存研究の多くで均衡配分に需要関数を取り入れて都市高速の料金に関する分析を行っており、希少な研究であると言える。

需要関数については、その設定によりミクロ経済学でしばしば用いられる消費者余剰等余剰を計算することが可能であるが、秋山ほか(2014)及び井ノ口ほか(2016)では総走行時間短縮便益の指標での評価にとどまっている。Akiyama et al.(2004)及び文ほか(2007)では、需要関数を道路交通センサスを用いて重力モデル型で推定している。

そこで、本研究では井ノ口ほか(2016)を参考に、実際に観測された距離帯別交通量を用いて需要関数を明示的に扱い、消費者余剰及び生産者余剰（両者の合計が社会的余剰となる）の概念を用いた経済学的分析を行う。

2. 分析方法

2.1 分析モデル

本研究では OD 調査報告書を基本データとして使用した。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 をひとまとめにブロック化した場合の通行台数（普通車・大型車の合計台数のみ）（ランプブロック間 OD 表）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」等、首都高全体を 36 のブロックに分割している。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、分析可能性を考慮して、首都高の実際のネットワークを可能な限り単純化する。想定する混雑課金の対象エリアは C2 内側のみであり、図 1 に示す模式化したネットワークを想定する。すなわち、ネットワークの中心部を走行する場合、混雑区間を走行する直線路と、交通容量に比較的余裕のある迂回路を想定する。A 地点から B 地点への移動を図示しているが、目的地が混雑区間内にある場合や、

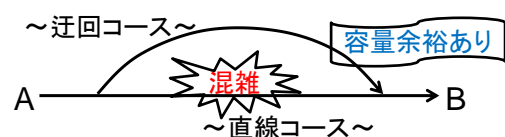


図 1 最も簡略化した首都高ネットワーク

出発地・目的地がともに混雑区間内側にある場合、混雑区間を通らないA地点付近での短距離利用も考えられる。そこで、本研究では、首都高の全ODペアを、表1に示すように①内内利用、②内外利用、③外外利用、及び④その他利用に分類した上で分析を行う。

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、分析の簡略化のため利用者の選択肢を2つずつ設定する。利用パターン別の選択肢とその内容は図2に示す通りである。

なお、本研究では、全首都高利用のうち東京線のみを利用する交通に限定する。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。一方、東京線のみ限定しても全利用台数の約7割を占め(距離帯別制導入前で1,035,056台/日中711,178台/日)、首都高の多くの部分を説明できると考えられる。

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パターンのみを分析対象とする。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(1,296ペア中665ペア)、利用台数ベースでは6割強を占める(距離帯別制導入前で1,035,056台/日中658,944台/日)。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等の設定の考え方及び方法を以下で述べる。

表1 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が混雑課金対象区間外にありDが混雑課金対象区間内にある(反対方向の移動も含む)
③外外利用	ODが混雑課金対象区間を跨いでもともに混雑課金対象区間外にある
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等の利用

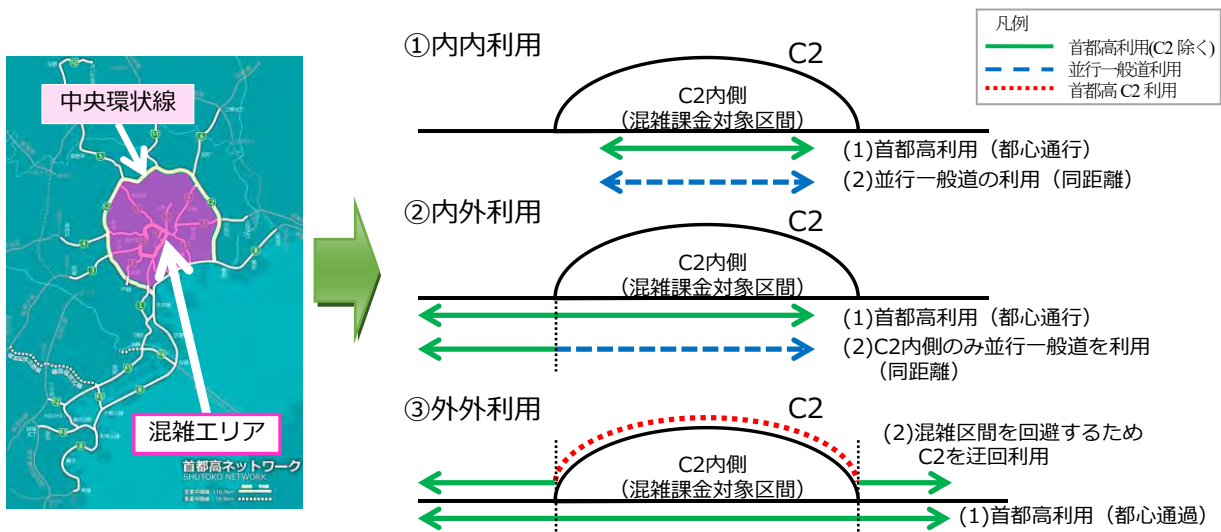


図2 利用パターン別のドライバーの選択肢(左図は首都高資料を加工)

2.1.1 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、一般道それぞれに設定する。なお、一般道の利用距離は、C2内側の一般道路は十分に整備されていると考え、全区間を首都高利用した場合と同一の距離を走行すると想定する。

2.1.2 速度

時間費用を計算する際に必要となる旅行速度の情報について、交通量に応じて変化する内生変数として扱う。平成22年度道路交通センサスの情報を用いて、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ス区間を集計し、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（通常のQV関係式ではなく、右下がりの非渋滞時の関係式）を得る（東京都内の首都高計189.4kmを対象）。C2内側で設定したQV式を用い、C2内側を走行した場合の所要時間が交通需要増加により増大する様子を図3に示す（利用距離の想定値：9.6km）。

一方、OD調査報告書により利用パターン別に需要関数を算出する。クロスセクションでの推定ではなく、料金体系の異なる二時点のデータを用いて直線として算出する。外外利用の場合は、「一般化費用（円）=5,179-0.011×利用台数（台/日）」という関係が得られた。

以上のQV式と需要関数を用い、図4に示すような繰り返し計算を行い、「速度の変化率が0.5%を下回る」という条件で利用台数を算出する。

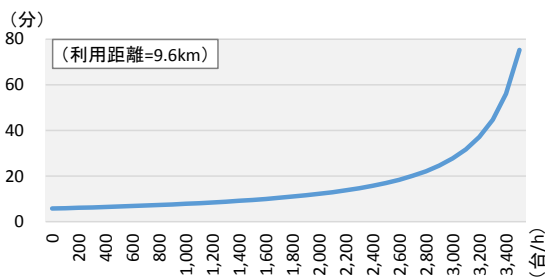


図3 利用台数の増加による所要時間増大

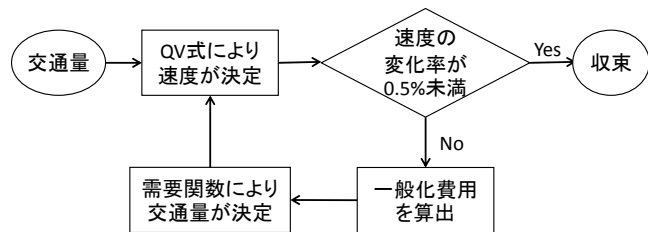


図4 収束計算のイメージ

2.1.3 選択枝別の利用台数

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。分担率の算出は時間価値分布を考えることで検討した。時間価値分布と分担率との関係について図5にイメージを示す。なお、混雑課金を課す前後で全体の利用台数（全利用パターン、全選択枝）は一定とする（各利用パターンの2つの選択枝の合計利用台数は、混雑課金を課す前後で不変であると仮定）。

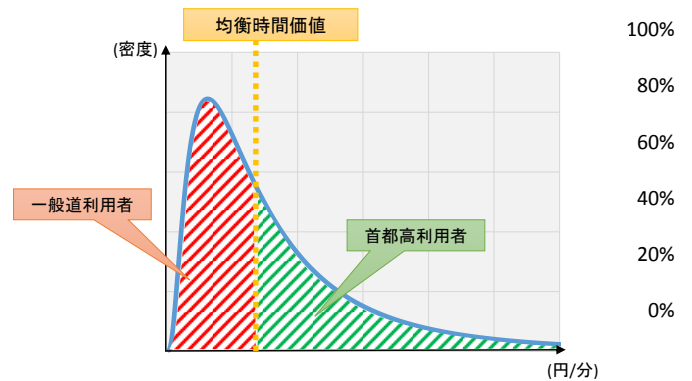


図5 時間価値分布と首都高分担のイメージ

2.1.4 社会的余剰の把握

社会的余剰の変化は、首都高ドライバーにとっての余剰の変化である消費者余剰の変化分と、主に料金収入から構成される生産者余剰の変化分を合計して推計する。これは、金本（1996）等で示される消費者余剰アプローチをベースに、供給者側の項を考慮したものとと言える。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する。ここで、消費者余剰は、時間短縮による効用増加を金銭化したものから通行料金を引いたものであり、生産者余剰は、首都高会社の純利益（料金収入+混雑課金収入-維持修繕費）と政府による燃料税収入の和と設定した。

2.1.5 首都高会社の料金収入中立条件

社会的余剰は、消費者余剰が低下したとしても、その低下分を上回る生産者余剰の増加が達成されれば全体としてプラスに変化する。しかし、混雑課金制度の受け入れやすさの観点から、このような状況は望ましくない。そこで、「混雑課金導入前後で首都高の収入は一定」という収入中立制約を課して分析することを試みる（図6）。

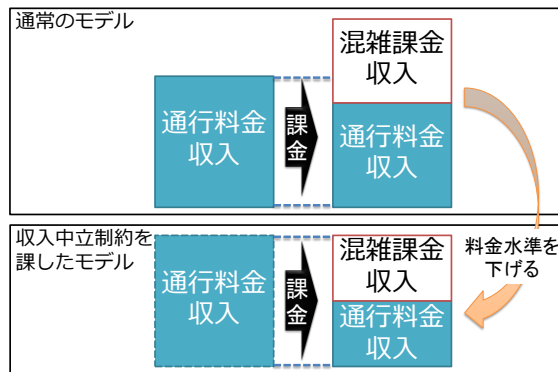


図6 収入中立制約のイメージ

2.2 混雑課金導入による効果の評価方法

首都高の C2 内側における混雑課金導入による効果を社会的余剰の指標を用いて評価するために、以下の手順

で分析を行う。まず、現行の新料金制度における社会的余剰を算出する。これには、2時点で実施された OD 調査報告書により算出した直線型需要関数を基にした推計利用台数を用いる。次に、C2 内側を走行する車両に対してのみ、通常の通行料金に加えて、C2 内側の走行距離に比例した混雑課金を追加した場合の通行台数を推計し、社会的余剰を算出する。このとき、2.1.5 で述べた首都高の料金収入中立条件を加味する。

以上より、新料金制下の社会的余剰から混雑課金制下の社会的余剰への変化率を算出し、これを混雑課金導入による効果と見なす。また、料金収入中立条件を満たすよう、現行の通常料金対距離単価（29.52 円/km）と混雑課金単価の両方のバランスを考え、「通常の対距離料金単価を少し下げ、混雑課金単価を低く設定する」という状況から「通常の対距離料金単価を大きく下げ、混雑課金単価を高く設定する」という状況まで、複数のケースを想定したうえで、社会的余剰の変化率が最大となる両単価の組み合わせを探る。

3. 分析結果

3.1 新料金制下での混雑課金導入効果

以上の設定により試算した混雑課金導入の余剰変化の結果について以下の図7及び表2に示す。

混雑課金が0円で、通常の対距離料金単価が現行の 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料金単価のもと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。

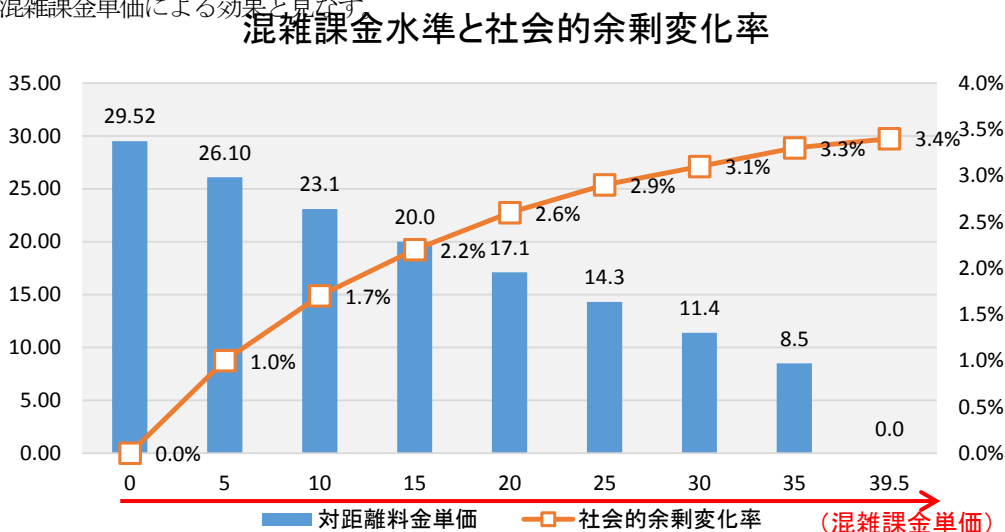


図7 改良混雑課金モデルによる分析結果

表2 改良混雑課金モデルによる分析結果

通常ケース	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	35	39.5	円/km
対距離料金単価	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%	%

表2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料金単価が減少し、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）及び対距離料金単価（縦棒）を示した図7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、対距離料金単価が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、対距離料金単価がマイナスである非現実的な状況下で、社会的余剰は計算されないが、混雑課金単価が課されているときに4.1%増で最大となる。

3.2 中長期の2つのシナリオ

3.2.1 東京オリンピック・パラリンピック

2020年の東京オリンピック・パラリンピック混雑課金を導入した場合の効果を試算するの多くが、C2と湾岸線で囲まれるエリアのため（図8）、内内利用、内外利用について仮に10%増加した場合の社会的余剰を試算は、実際に通行台数が増加した状態におかない場合の社会的余剰と、課金がなさない場合の社会的余剰とを比較して変化率を算出する。試算結果を図9及び表3に示す。3.1の社会的余剰の変化率が高い。これは、交通需要増・都心速度改善効果がより高くなって



図8 中央環状線エリアとオリンピック予定地との関係

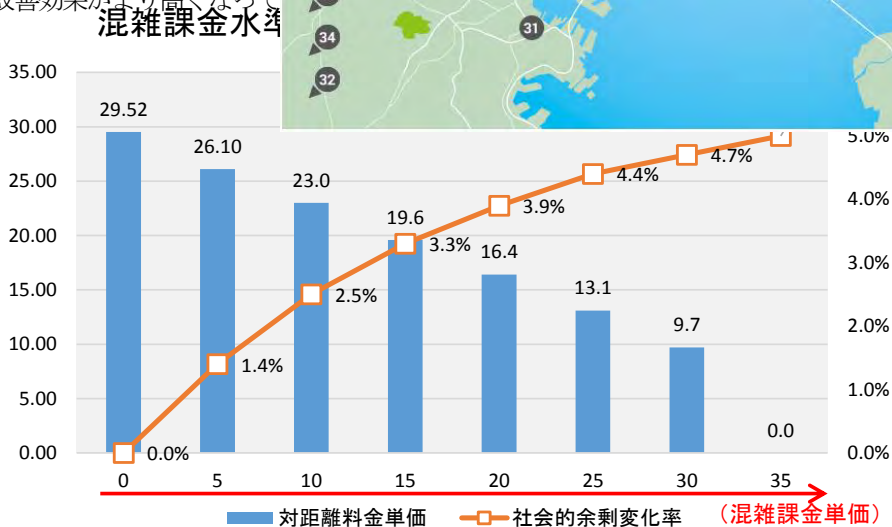


図9 改良混雑課金モデルによる分析結果（東京オリンピック・パラリンピック開催時）

表3 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）

東京オリパラ開催時	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	34.8	円/km
対距離料金単価	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%	%

3.2.2 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4)。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 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)』

図10及び表5に分析結果を示す。3.1及び3.2.1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、対距離料金単価が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、3.1や3.2.1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。

混雑課金水準と社会的余剰変化率(人口減少時)

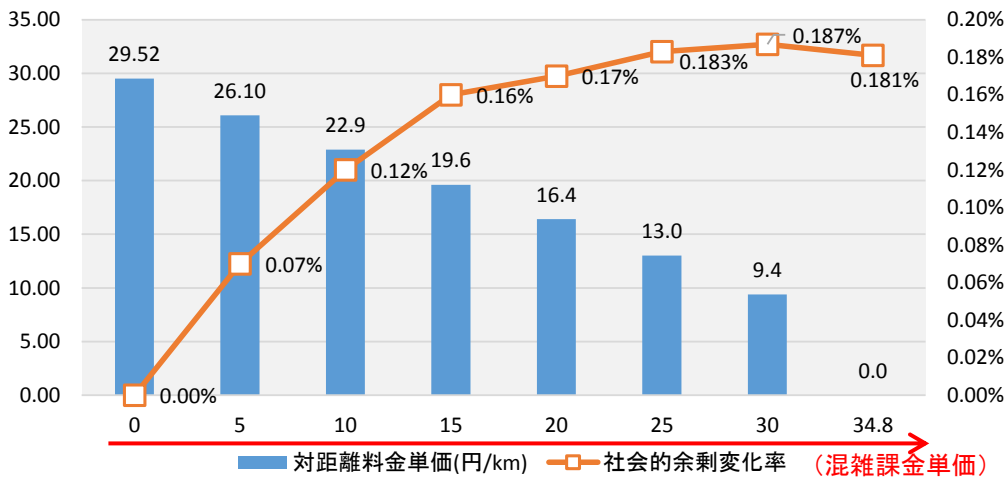


図10 改良混雑課金モデルによる分析結果(将来人口減少時)

表5 改良混雑課金モデルによる分析結果(将来人口減少時)

人口減少時	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	単位
混雑課金単価	0	5	10	15	20	25	30	34.8	円/km
対距離料金単価	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%	%

4. まとめ

本研究では、首都高の中央環状線（C2）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 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、社会的余剰が増加するという試算結果が得られた。すなわち、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と予測されることが示された。

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。東京オリンピック・パラリンピック開催時には、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くことが得られた。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 40 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。

参考文献

- Akiyama, T・M. Se-il・M・Okushima (2004) "Second-Best Congestion Pricing in Urban Space: Cordon Pricing and Its Alternatives," *Review of Network Economics*, Vol. 3, pp.401~414
- Otaki, I・Y. Imanishi・K. Miyatake・T. Nemoto・N. Uchiyama (2017) "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
- 秋山孝正・井ノ口弘昭・浅原麗・藤井勇樹 (2014) 「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.IV9-10
- 井ノ口弘昭・奥嶋政嗣・秋山孝正 (2016) 「都市高速道路における路線別対距離料金の適用可能性の検討」『交通工学論文集』Vol.2(2016)No.4 特集号、pp.A_9~A_15
- 今西芳一・内山直浩・大瀧逸朗・中拂論・根本敏則 (2016) 「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
- 大瀧逸朗・今西芳一・内山直浩・中拂論・根本敏則 (2015) 「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
- 奥嶋政嗣・秋山孝正 (2006) 「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
- 金本良嗣 (1996) 「交通投資の便益評価—消費者余剰アプローチ—」『日交研 A シリーズ』日本交通政策研究会
- 首都高速道路株式会社 (2015) 「中央環状線（高速湾岸線～高速 3 号渋谷線）開通後 6 ヶ月の整備効果について～中央環状線全線開通後、移動時間短縮によるストック効果が広域的に波及！～」ニュースリリース別添関連資料
- 円山琢也・原田昇・太田勝敏 (2002) 「大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用」『土木計画学研究・論文集』19、pp.551~560
- 文世一・秋山孝正・奥嶋政嗣 (2007) 「道路ネットワークにおける次善の混雑料金—都市高速道路の役割に着目して—」[応用地域学研究] 12、pp.15~25

以上