

09 年度 卒業論文

# 道路交通における最適な料金設定

慶應義塾大学 経済学部  
石橋研究会 第 10 期生

種野 雄基

## はしがき

日本では昨年 9 月以降、高速道路の料金が各地で値下げされている。これまで日本の高速道路料金は国際的に高すぎると言われてきたことがこの値下げの一つの理由である。高速道路の料金設定においては政治的要素も大きく絡んでいるだろう。昨夏に行われた衆議院選挙では、民主党がマニフェストとして高速道路の無料化を盛り込んだ。このように道路料金について昨年以來、議論が盛んになっているが、ここで私自身、経済学的に望ましい料金設定はどういったものなのか、そして望ましい料金設定は成されているのかについて研究してみたいと考えた。本論文では高速道路を中心とした道路交通事業について料金設定の観点から理論・実証研究を行っていく。

道路交通という分野には市場はなく、商品の売買もない。したがってミクロ経済学的な分析は難しいように思われる。しかし、ミクロ経済学の市場の論理に従い、道路の利用も需要と供給の関係としてとらえることができる。自動車運転者は道路サービスを需要し、道路はそのサービスを提供する。そこには通常の売り買いのような貨幣を媒介とした取引はないが、利用者には何らかの形で費用が課せられる。需要が供給を上回った状態は渋滞といえる。本論文では、所属する研究会の活動を通じて学んできたミクロ経済学・産業組織論の知識、それに加えて計量経済学の知識を活かし、最適な料金設定について多角的に分析を行う。

## 目次

序章	1
<b>第 1 章 有料道路の料金設定とロードプライシングの導入</b>	<b>2</b>
1.1 日本の有料道路の料金設定	2
1.2 混雑料金と経済厚生	6
1.3 ロードプライシングの導入	8
<b>第 2 章 道路料金に関する理論分析</b>	<b>10</b>
2.1 最適な環境ロードプライシング	10
2.2 都市高速道路における最適料金格差	13
2.3 考察	17
<b>第 3 章 ラムゼイ理論に基づく最適な料金体系</b>	<b>18</b>
3.1 ラムゼイ理論	18
3.2 最適な車種間料金比率	22
<b>第 4 章 コードンプライシングとその効果</b>	<b>25</b>
4.1 モデル	25
4.2 実証分析における設定と評価方法	27
4.3 実証結果	30
<b>第 5 章 東京都 23 区における最適な混雑料金の推定</b>	<b>34</b>
5.1 道路混雑の現状	34
5.2 先行研究の分析	38
5.3 推定方法と結果	40
<b>第 6 章 結論</b>	<b>42</b>
参考文献	44

## 序章

第1章は道路料金制度についての現状分析を行う。まず、日本の有料道路の料金制度について整理・分析する。次にロードプライシング (Road Pricing) と呼ばれる料金制度に焦点を当てる。ロードプライシングに関しては、理論的な面から混雑料金という概念を分析した上で、導入事例とその効果について考察する。

第2章は最適な道路料金について、発展的な理論の分析をする。Stenman (2005) は道路料金について混雑による外部性だけでなく自動車の排気ガス等による外部性も考慮し、最適な料金を定式化した。また、竹内 (2001) は都市高速道路間の最適な料金格差について理論的に分析した。先行研究から、望ましい料金体系について考察する。

第3章は社会的総余剰を最大にする料金設定ではなく、収支均衡制約下での最適な料金設定、すなわちラムゼイ価格について考える。まずラムゼイ理論についての分析を行う。次に山内 (1987) が行ったラムゼイ料金の算出について考察する。

第4章ではコードンプライシングと呼ばれる料金制度に注目する。コードンプライシングは社会的に最適な料金ほど社会的総余剰を改善しないが、現実の道路への適用が容易な課金方法である。文・奥嶋 (2004) は最適なコードン料金の算出を行っており、モデルの分析・結果の考察を行う。

第5章は最適な混雑料金の導出についての先行研究の分析と、その研究に基づく実証分析を行う。先行研究としては、井上・志田・鈴木・山浦 (2005) が東京都23区における最適混雑料金の推定を行っており、それについて道路混雑の現状を踏まえた上で分析する。次に先行研究のモデルを用い、交通量等の最新のデータから最適混雑料金を導出する。

第6章では結論として第5章までの総括を行う。

## 第1章 有料道路の料金設定とロードプライシングの導入

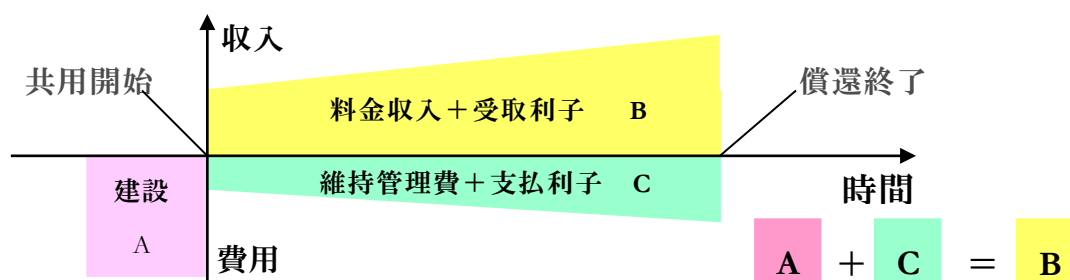
最適な道路料金について理論分析、実証分析をする前に、現実の有料道路における料金設定について整理する。1.1 節では日本の有料道路の料金設定に焦点を当て、海外の事例とも比較しつつ、現状を分析する。1.2 節、1.3 節では近年、世界各地で注目されているロードプライシングと呼ばれる料金政策に焦点を当てる。ロードプライシングは混雑料金という概念が基になっている。1.2 節においてはその混雑料金について理論的な面から分析する。1.3 節では世界各国のロードプライシングの導入事例を整理する。

### 1.1 日本の有料道路の料金設定

#### 1.1.1 償還主義

日本道路公団をはじめとする日本の有料道路の基本的な枠組みは、償還制と呼ばれる費用負担システムである。償還制は、道路建設を出資金および借入れによって行い、その建設費と共用開始以後に発生する維持管理費および借入金への支払利子を、一定期間（通常 30 年から 50 年）の料金収入およびそれに伴って発生する受取利子によって返済するシステムである。償還制の概念を示したのが図 1-1 である。

図 1-1：有料道路償還制の概念図



出所：山内（2002）

図に示されているように、償還制では、建設費（出資金および借入金、図の A の部分）およびその後発生する支払利子と維持管理費の部分（C の部分）との合計が、料金収入とその受取利子の合計（B の部分）と等しくなればよい。つまり、面積について  $A+C=B$  となることが要求される。

料金については、費用側では建設費と毎年の維持管理が想定され、利子率に一定の仮定をおくことによって毎年の償還額全体が計算でき、需要側では各年の需要予測値

が計算できるわけであるから、需要量に料率（1台キロ当たり料金）をかけた予想収入が一定期間内に償還額に等しくなるように計算すればよいことになる。この関係を式で表わせれば次のようになる。

$$\sum_{t=1}^T PD_t(P)(1+r)^{T-t} = K(1+r)^t + \sum_{t=1}^T O_t(1+r)^{t-y}$$

$t$ を年次( $t=1$ は供用年次)、 $T$ を償還期間、 $P$ を料率（1台キロ当たり料金）、 $D_t(P)$ を第 $t$ 年の需要関数（料率の関数）、 $r$ を利子率、 $K$ を建設費、 $O_t$ を第 $t$ 年の維持管理費としている。

償還制の大きな特徴は、利益概念が存在しないことである。そもそも道路は道路法上は無料であるべきとされ、有料道路は特別の措置によって有料とされている。償還制では、償還期間が終了すれば、その道路は原則として無料開放されることになっている。その際、道路という資産は、本来はそれを管理すべき主体（例えば高速自動車国道であれば国、地方道であれば該当する地方自治体）に無償で移管されることになる。

償還制は財政が逼迫している状態において、建設に要する資金を借入金と出資金で賄い、後年度の利用者がそれを支払うという方法で、早期道路整備に向けた資金調達上の効力を発揮してきた。しかし、償還期間が30～50年以上という長期にわたることから、需要をはじめとする将来推計の制度がきわめて重要である。

### 1.1.2 料金プール制

日本の有料道路制度において償還制と並ぶもう一つの柱は、料金プール制である。料金プール制とは、複数の路線の料金を合計し、そのネットワーク全体に償還制を適用する制度である。有料道路のうち、高速自動車国道に適用されている。ネットワーク全体を一体として償還することにより、比較的需要の少ない路線、それによって採算性の思わしくない路線についても、東名高速道路や名神高速道路のような通行量が多く採算のよい路線の稼ぎにより建設が可能になるという特徴を持っている。また、料金水準も全国均一になる。

### 1.1.3 日本の有料道路の料金体系

まず、高速自動車国道における料金体系を見ていく。高速自動車国道においては距離別料金制が取られている。具体的に料金は以下の式で表わされる。

- ・（150円＋距離×1kmあたりの料金）×1.05（消費税）

※端数については 24 捨 25 入し 50 円単位とする。

※一部の均一料金区間を除く

1km あたりの料金は、東京・大阪の大都市近郊区間については普通車 29.52 円となっている。また、100km を超える長距離を走行する場合、100km から 200km の部分については 25%割引、200km を超える部分については 30%割引をしている。

次に高速道路の料金施策の変遷を見ていく。高速道路の料金は前記の通り、償還制・料金プール制に基づき額が定められてきた。プール制導入時（昭和 47 年 10 月）に車種区分の簡素化が実施され、普通車は 8.0 円/km となった。表 1-1 を見ると分かるように以降、料率改定が実施されると共に、1km あたりの料金は高くなっている（単位は円）。これは、路線網の拡大に伴う費用増加が要因である。

表 1-1：1km あたり通行料金の推移（高速自動車国道／プール制導入以後）

改定時期	普通車		
昭和47.10.1	8.0		
昭和50. 4.1	13.0+100（ターミナルチャージ。以下同）		
昭和54. 8.1	16.6+100		
昭和57. 6.1	19.6+100		
昭和60.10.1	21.7+100		
	軽自動車等	普通車	中型車
平成元. 6.1	18.4+150	23.0+150	24.38+150
平成7. 4.10	19.68+150	24.6+150	26.076+150
平成8. 1.16	同上	同上	27.798+150
平成9. 4.1	同上	同上	29.52+150

出所：古川（2009）

高速自動車国道が距離別料金制であるのに対し、首都高速道路、阪神高速道路などいわゆる都市高速道路については固定料金制がとられている。首都高速道路の普通車の料金体系を表 1-2 に示した。表 1-2 を見て分かるように、区間、時間帯によって料金が異なり、近年では ETC 割引制度の導入により、料金体系は細分化されている。

表 1-2：首都高速道路・普通車の料金体系

曜日・時間帯 利用区間	基本 料金	ETC割引料金			
		日曜・祝日	平日・土曜		
			ピーク 6～11時前 15～18時前 日祝割 30%off	オフピーク 11～15時前 18～22時前 平日昼割 3%off	夜間 22～6時前 平日夜割 20%off
東京線	700	500	680	630	560
神奈川線	600	400	580	540	480
埼玉線	400	300	390	360	320

※大型車はそれぞれの金額の2倍  
 ※上記に加え、特定区間割引もある

出所：首都高速道路株式会社ホームページより作成

#### 1.1.4 海外との比較

日本の道路料金制度を見たところで、日本と海外主要国の高速道路の比較をしたい。表 1-3 を見ると、料金徴収の有無に関しては米国、英国においては大半の区間が無料であるのに対し、フランス、イタリアは、有料区間が大半を占めていることが分かる。

表 1-3：主要国の高速道路

	日本	米国	英国	フランス	ドイツ	イタリア
延長(km)	7,641	91,983	3,600	10,843	12,363	5,638
うち有料道路	7,605	6,112	-	8,233	-	5,638
有料道路 の比率(%)	99.5	6.6	-	76.0	-	82.4
料金水準 (円換算)	24.6 (+150円)	4.18	12.9	10.8～ 13.45	12.76～ 19.85	7.01

出所：古川 (2009)

近年においては、米国における混雑緩和のための有料制導入、ドイツにおける混雑緩和のための有料制導入、ドイツにおける大型車課金制度(1995年度)、英国における有料道路自動車専用道路の共用(2003年)等に見られるように、利用者に対する課金制度が拡大しつつある。



表 1-3 においては、日本の料金水準が相対的に他国を上回ることも分かる。その要因として、国土交通省による調査（高速道路建設コストの日米比較）によると国土の狭さ、人口密度や経済活動水準の高さが用地費に反映すること、地形が急峻であるためトンネル、橋梁等の構造比率が高いこと、世界有数の地震国であることに対応した道路構造の必要性等が建設費に影響を与えているとされる。しかしこのような要因よりも、前項で説明した償還主義が大きな要因となるであろう。高速道路の供用後にかかる維持管理費や資本コスト（負債利息等）のほか、道路建設にかかった土地代や建設費などすべての費用を一定期間で料金として回収することが、日本の道路料金の高さの一番の理由であると思われる。

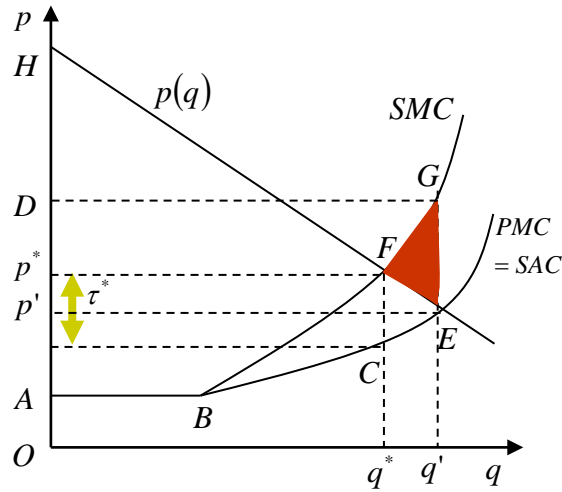
## 1.2 混雑料金と経済厚生

道路交通における経済的損失の大半は混雑によるものである。交通経済学においては交通渋滞を「超混雑」(hyper-congestion) と呼び、静学モデルに基づいた議論が行われてきた。混雑の経済損失とは、過大な交通量のために、社会的に効率的な交通量の場合よりも低い水準の社会的余剰しか達成できないことである。

資源配分から見て社会的に望ましい道路料金は限界費用に等しい値である。道路利用者は、もし道路の利用に関する情報が完全であるならば、自らが見かけ上負担する費用のみに基づいて道路利用の意思決定を行う。しかし、利用者全体で見た場合の限界費用は自らが道路に流入することによって生じる混雑による他の利用者の遅れの部分も含むものである。したがって、混雑が発生している際に道路利用が効率的に行われるためには、他の利用者の混雑による遅れの費用を利用者に課す必要がある。この部分が混雑料金である。

混雑料金とは経済学的には私的限界費用と社会的限界費用の差のことである。混雑料金を図 1-2 で理解していく。横軸を交通量、縦軸を価格・費用としている。

図 1-2 : 最適な混雑料金



出所 : Lindsey and Velhoef (2000)

私的限界費用を

$$PMC = C(q)$$

とすると社会的費用  $SC$  は  $SC = q \cdot C(q)$  より  $SMC$  は以下の式で表わされる。

$$SMC = \partial SC / \partial q = C(q) + \partial C(q) / \partial q$$

よって最適な混雑料金は以下のように表わされる。

$$\tau^* = SMC(q^*) - PMC(q^*) = q^* \cdot \partial C(q^*) / \partial q$$

上記は混雑により利用者全体で限界的に増加した費用であり、この分を混雑料金として利用者から徴収することが経済的に望ましい。

効率的道路利用のために混雑料金が設定されたとき、社会的余剰はどのようになっているかを分析する。図 1-5 において F 点で均衡が達成されている場合、社会的余剰は原点から  $q^*$  までの需要曲線の下での面積 ( $OHFq^*$ ) から同区間についての限界費用曲線の下での面積 ( $OAFq^*$ ) をマイナスした値、すなわち  $ABFH$  の面積によって示される。一方、混雑料金が課されていない場合の社会的総余剰は、 $HEq^*O - OAGq'$  ( $= ABFH - EFG$ ) である。つまり混雑料金が課されなければ  $EFG$  の面積だけ社会的総余剰が減少することになる。このことが経済理論から混雑料金が要請される一つの根拠となっている。

ただし、注意したい点は混雑料金の導入は社会全体の効率性を改善する一方、道路利用者の厚生を低下させるということである。図 1-5 において、社会的余剰は増加しているが、消費者余剰は減少することが容易に分かる (三角形  $HEp'$  から  $HFp^*$  への減少)。社会的観点では、消費者余剰の減少分を上回る料金収入を生むので、全体として

は経済厚生を改善する。一方、利用者にとっては混雑料金の導入によって交通混雑は減少するものの、金銭的負担が混雑緩和効果を上回ることで、厚生が低下することになるのである。

この問題を解決する一つの案として、得られる税収を利用者に還元することが挙げられる。これにはいくつかの方法がある。

一つ目に、税収を同じ混雑地域での代替的な交通手段であるバスや鉄道などの公共交通機関への補助に利用する方法がある。料金収入を財源とした補助金の交付によって、より公共交通機関が魅力的なものになれば、道路利用者は公共交通により転換することになる。したがって、この方法は道路混雑の緩和に相乗的な効果を及ぼすことになるので支持されやすい。

二つ目に、混雑料金の賦課によって過重な負担を強いられる道路利用者のために、自動車関係諸税の税率を下げた負担を軽減する方法が挙げられる。ただし、負担が軽くなった利用者が実質所得の増加分を再び自動車の利用に振り向けることで混雑緩和効果を低下させるおそれがあることが注意点となる。

三つ目に、混雑料金の収入を当該地域の道路の拡幅やネットワークの整備に向ける方法が挙げられる。道路が混雑しているということは道路が不足していることを意味するのであるから、道路容量を増やすために混雑料金収入を用いることは道路利用者の指示を得られやすいし、混雑緩和の相乗効果も期待される。理論的にも、長期的観点では、料金収入を用いて実施される交通容量の増加が費用便益基準を満たす場合、利用者の厚生は増加することが文（2004）によって示されている。

### 1.3 ロードプライシングの導入

1.2 節ではロードプライシングを理論的な面から捉えたが、ここでロードプライシングについて整理したい。ロードプライシングの定義は、特定の地域に進入または通行する車から料金を徴収することにより、道路混雑の激しい地域やその周辺の自動車交通量を抑制し、交通渋滞や大気環境の改善を図る制度である。課金の目的に応じて、混雑料金、あるいは環境ロードプライシングとも呼ばれる。日本の道路料金は 1.1 節で述べたように、基本的に有料道路の建設費用を回収する意味合いで徴収されているため、ロードプライシングではない点に注意したい。

世界のいくつかの都市では混雑対策や道路財源を目的として、ロードプライシングが実際に行われたり、計画されている。以下に一部を紹介したい。

シンガポールでは、1975 年に Area License Scheme と呼ばれる方式の課金を開始

した。これは都市中心部に規制区域を設定し、朝のラッシュ時間帯にその規制区域を通行する車両に事前に通行許可証を購入させ、それをフロントガラスに提示することを義務付けるものである。通行許可証を貼付していない場合には取り締まりの対象となり、罰金などの処罰が下される。導入後に行った調査では、導入前に比べて走行速度が平均で 22%増加したことが報告されている。現在では許可証からスマートカードという電子システム（日本での ETC がそれに相当する）に切り替えられ、それに伴い課金方式もコードン料金制に変更されている。コードン料金制とは課金される地域との境界線（コードン・ライン）をまたぐときに料金が課される方式をいう。電子システムの導入により、ロードプライシングの実行が非常に容易になった。

1995 年には、米国のカリフォルニア州で新設された高速道路（91 Express lanes）において、時間帯ごとに変動する料金が導入された。この道路は、既存の高速道路（無料）に新しく 2 車線を追加したものであるが、民間企業が運営している。ここでは HOV（2 人以上乗車する車）は常に無料であるが、それ以外の車両は時間帯によって 0.25～2.5 ドルに料金が変動する。

イギリス・ロンドンにおいては 2003 年 2 月 17 日から混雑料金制が開始された。月一金の朝 7 時から夕方 18 時までの間に都心部に流入する各車両に対し、1 日あたり 5 ポンド（約 1000 円）の料金が課された。導入二年後の報告書によると課金地域内の交通遅延が課金前に比べ 30%減少した、また、トリップの所要時間が平均 14%減少した。

上記以外にも、韓国のソウルやノルウェーの 3 都市においてもロードプライシングが実施されている。日本においても非常に限定的であるが、首都高速道路・阪神高速道路において、ロードプライシングが行われている。有料道路の料金に格差を設けることにより、湾岸部等へ大型車の交通を誘導し、住宅地等への交通の集中を緩和させる。それにより道路交通騒音・自動車排出ガス等の沿道環境への影響を防ぐことを目的としている。

## 第2章 道路料金に関する理論分析

この章では道路料金に関する国内外の論文を参考に、最適道路料金についての理論分析をする。第1章に分析した混雑料金の理論を道路料金についての基礎理論とすると、この章で分析する理論は応用理論といえる。2.1節では Stenman (2005) の理論に注目する。2.2節では竹内 (2001) の理論に注目する。そして、2.3節で2.1節と2.2節の考察をする。

### 2.1 最適な環境ロードプライシング

Stenman (2005) は最適な道路料金の設定に関して、従来ではあまり考慮されてこなかった環境要因を設定要因に含め、理論を展開した。混雑と環境の両面から最適なロードプライシングを分析しており、本論文で分析したい。

$q$ を走行距離、 $E$ を環境質（大気汚染・騒音などの外部性）、 $l$ を余暇、 $x$ を個人消費とし、代表的個人の効用を以下で表す。

$$U = u(q, E, l, x) \quad (2.1)$$

まず、労働時間  $L$  を所与とし、社会的（経済厚生的）に最適な状態を考える。政府の目標は時間制約と予算制約に従った上で、代表的個人の効用を最大化することである。 $\tau$ を1日の時間（24時間）、 $v$ を車の速度とすると、時間制約式は以下の式で表わされる。

$$l = \tau - L - \frac{q}{v} \quad (2.2)$$

$v$ は内生的に決定され、 $q/v$ は交通に費やす時間を示す。余暇  $l$  は1日の時間（24時間）から労働時間、交通所要時間を引いたものとして表わされている。

また、予算制約式は  $z$  を単位距離あたりの交通費用（燃費・磨耗）、 $w$  を内生的に与えられる賃金率とすると以下の式で表わされる。

$$x + zq = wL \quad (2.3)$$

個人消費と交通費用の合計が賃金（賃金率×労働時間）に等しいことを意味する。

単位距離あたりの交通費用  $z$  は、混雑の悪化に伴う車の速度  $v$  の減少により増加していく。両者は相関（ $dz/dv < 0$ ）があり、以下のように表わされる。

$$z = z(v) \quad (2.4)$$

また、 $\sigma$  を単位距離あたりの排出量（排出係数）、 $b$  を排出される環境汚染物質のうち、周囲に損失を与える度合いとすると、環境質  $E$  は以下の式で表わされる。

$$E = q\sigma b \quad (2.5)$$

単位距離あたりの排出量  $\sigma$  は車の平均速度や停止、加速の程度によって変化する。 $\sigma$  と車の速度  $v$  は相関 ( $d\sigma/dv < 0$ ) があり、以下の式で表わされる。

$$\sigma = \sigma(v) \quad (2.6)$$

$b$  は道路における交通密度  $\delta$  に依存 ( $db/d\delta > 0$ ) し、以下の式で表わされる。

$$b = b(\delta) \quad (2.7)$$

交通密度  $\delta$  は混雑の程度、車の平均速度に依存し、混雑が悪化するほど車の速度は低下し車間の距離は縮まる ( $d\delta/dv < 0$ )。  $\delta$  と  $v$  の関係は以下のように表わされる。

$$\delta = \delta(v) \quad (2.8)$$

さらに、車の速度  $v$  は走行距離  $q$  と相関がある ( $dv/dq < 0$ )。走行距離が長いほど、車は道路を長く走行していることになり、道路における平均交通密度が増加する。交通密度の増加は混雑の悪化をもたらす、車速  $v$  は低下する、ということを意味すると思われる。

(2.1)～(2.8)式から、効用  $U$  は  $q$  の関数として表わすことができる。

$$U = u\left(q, q\sigma(v(q))b(\delta(v(q))), \tau - L - \frac{q}{v(q)}, wL - z(v(q))q\right) \quad (2.9)$$

したがって、社会的に最適な効用水準をもたらす  $q$  は以下の式を満たす。

$$\frac{du}{dq} + \frac{du}{dE} \left( \sigma b + q \frac{d\sigma}{dv} \frac{dv}{dq} b + q \sigma \frac{db}{d\delta} \frac{d\delta}{dv} \frac{dv}{dq} \right) - \frac{du}{dl} \left( \frac{1}{v} - \frac{q}{v^2} \frac{dv}{dq} \right) - \frac{du}{dx} \left( \frac{dz}{dv} \frac{dv}{dq} q + z \right) = 0 \quad (2.10)$$

次に、非協力型のナッシュ均衡を想定し、個人にとって最適な  $q$  の水準を考える。効用最大化を目指す個人は他者にもたらす混雑・環境汚染の外部性を無視する。したがって、 $E$  と  $v$  は所与となる。また、政府によって課せられる一キロあたりの道路料金  $t$  を個人は考慮する。道路利用によって国が得る純収入（利益）は一括移転として道路利用者へ還元されるとすると、予算制約式は以下の式で表される。

$$x + (z(\bar{v}) + t)q = wL + R \quad (2.11)$$

$R$  は一括移転を示している。また、 $\bar{v}$  は車の速度が所与であることを示している。したがって、効用  $U$  は以下のように表わされる。

$$U = u\left(q, \bar{E}, \tau - L - \frac{q}{\bar{v}}, wL + R - z(\bar{v})q - tq\right) \quad (2.12)$$

(2.12)式を  $q$  に関して微分すると、個人にとって最適な効用水準をもたらす  $q$  は以下の式で表される。

$$\frac{\partial u}{\partial q} - \frac{\partial u}{\partial l} \frac{1}{v} - \frac{\partial u}{\partial x} (z+t) = 0 \quad (2.13)$$

(2.10)式と(2.13)式を合わせると最適な道路料金  $t$  が導かれる。

$$t = -\frac{\partial u/\partial l}{\partial u/\partial x} \frac{q}{v^2} \frac{dv}{dq} + q \frac{dz}{dv} \frac{dv}{dq} + MRS_{Ex} \left( \sigma b + q \frac{d\sigma}{dv} \frac{dv}{dq} b + q \sigma \frac{db}{d\delta} \frac{d\delta}{dv} \frac{dv}{dq} \right) \quad (2.14)$$

$MRS_{Ex}$  は車が排出する環境汚染物質 (NO<sub>x</sub> など) 1 単位の増加に対し、道路利用者が払ってもよい最大の金額を表わす。また、括弧内は環境質  $E$  を  $q$  で微分したものである。

この式 (括弧ははずして考える) を解釈していく。第 1 項は自らが他の利用者に限界的に課す時間費用を表わしている。第 2 項は追加的な車の流入による混雑の悪化がもたらす私的交通費用 (燃費・磨耗) の増分を表現している。第 3 項は自らの車が発生させる排気ガスがもたらす限界的な損失額を示している。損失が起こる対象は道路の利用者だけでなく、道路外も含んでいる。具体的に損失とは、排気ガスによる健康被害、騒音などが挙げられるだろう。続いて、第四項は他の利用者の流入による混雑の悪化によって、自らが追加的に発生させる排気ガスによる損失額を表わす。最後に第五項は他の利用者の流入による交通密度の増加によって、自らが発生させる排気ガスがもたらす損失の増分を金銭換算したものを表わす。

第 1 項と第 3 項は自らが他者に負の外部性を与えることによって、自らが負担しなければならない費用である。第 2 項、第 4 項、第 5 項は他者が自らに負の外部性をもたらすことによって、自らが負担しなければならない費用といえる。ここで、労働時間が内生的で個人によって最適な時間が選択されるならば、(2.12)式を  $L$  で微分することにより、以下の式が得られる。

$$\frac{\partial u/\partial l}{\partial u/\partial x} = w \quad (2.15)$$

(2.15)式から余暇の潜在価格は賃金率に等しいということがいえる。(2.15)式を(2.14)式に代入することで最適な道路料金は以下と表わされる。

$$t = -w \frac{q}{v^2} \frac{dv}{dq} + q \frac{dz}{dv} \frac{dv}{dq} + MRS_{Ex} \left( \sigma b + q \frac{d\sigma}{dv} \frac{dv}{dq} b + q \sigma \frac{db}{d\delta} \frac{d\delta}{dv} \frac{dv}{dq} \right) \quad (2.16)$$

外部費用を考慮した最適な道路料金についての理論は Pigou (1920) が最初に展開して以来、数多く成されている。今後は混雑の外部性に限らず、Stenman (2005) が取り入れた環境に関する外部性やその他の要因についても考慮された理論が示されていくと思われる。

## 2.2 都市高速道路における最適料金格差

これまで最適な道路料金の議論は、私的限界費用と社会的限界費用との乖離部分を料金として徴収するという、ピグー的課税の議論が主体であり、単一ルートを前提としたものであった。2.1 節で分析した理論も単一のルートを前提としていると言えよう。しかしながら、道路交通とはネットワークサービスである。単一のルートだけではなく、複数のルートが道路利用者の前に存在しているのが通常であり、道路利用者はその中から自分にとって最適なルートを選択する。それに加えて、通行料金の存在しない一般道路も代替的なルートとして機能している。このような状況下での道路利用者の最適なルートの選択に対し、Wardrop は一つの解答を与えている。Wardrop の原理に従えば、代替的な2つのルートがある場合には次のような定理が成立する。

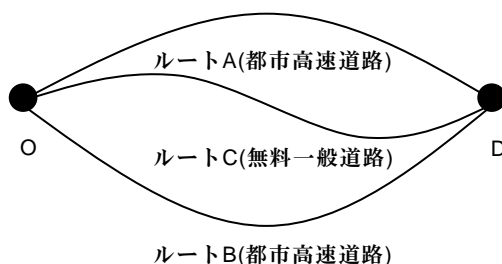
(1)起終点間に存在する可能な経路のうち、利用される経路については所要時間がみな等しく、利用されないどの経路のそれよりも小さい。

(2)道路網中の総走行時間は最小である。

これらはそれぞれ Wardrop の第1原理、第2原理と呼ばれるが、とりわけ重要なのは第1原理である。すなわち、複数ルートがある場合、道路利用者はその走行時間（費用）がより少ないルートを選択するが、道路利用者がそのように行動するならば、最終的には各ルートにおける走行時間（費用）は均等化し、そのようにして交通量は配分され、均衡に至る。もちろん車の走行は、沿線にSPMやNO<sub>x</sub>などの環境汚染（費用）を与えるが、それは道路利用者の考慮外におかれている。

竹内（2001）は都市高速道路ネットワークとそれと代替的な関係にある無料の一般道路を考え、都市高速道路の最適料金格差について理論分析を行った。具体的には図2-1のようなネットワークを考える。

図 2-1 交通ネットワークモデル



出所：竹内（2001）

道路利用者は起点の O 点から終点の D 点までのトリップを行うこととし、3つのルートが与えられているものとする。このうちルート A とルート B は都市高速道路であり、



同じ組織によって運営されているネットワークの一部である。ルート A は例えば、住宅地の中を走行する高速道路であり、そのため道路の形状がそれほど良くなく、同じ交通量でもルート B よりも多くの混雑を発生させ、時間費用の上昇が大きい。一方、ルート B は例えば湾岸部分を走行する高速道路であり、そのため道路の形状も良く、同じ交通量ならばルート A ほどの混雑費用の上昇を招かない。また、ルート C は都市高速道路と並行して走る無料の一般道路であり、料金を払いたくない道路利用者は一般道路を走行し、目的地の D 点まで走行することが可能である。ここでは道路利用者の道路サービス利用に関する需要が価格（費用）に関して弾力的であると仮定する。すなわち、道路利用者はこの 3 つのルートのどれかを選択することができると同時に、トリップそのものをあきらめることも可能である。また、逆に道路利用に関する費用が安ければ潜在的な道路利用者が顕在化することもある。つまり、転換交通だけではなく、発生交通も考慮に入れられる。

そうした中で、道路利用者は時間費用（所要走行時間）と金銭費用（道路利用料金）を合計した費用が最小になるルートを選択する。こうした道路利用者の行動の結果、最終的には全てのルートにおける費用が等しくなり、そのように交通量は配分される。これが Wardrop の原理（厳密にはその応用）である。

また、環境ロードプライシングは、当該道路における環境負荷を一定の水準以下に抑えるということを目的として行われるので、一定の交通量以下に当該ルートの交通量が抑制されるような料金水準を設定することが期待されることに留意したい。

以上のような交通量均衡の理論を基礎として、都市高速道路の料金格差は社会的な観点からどのようなものであるべきかについてモデルを構築し、定性的にその性質を調べる。

3 つのルート A, B, C を利用する道路利用者数をそれぞれ  $N_a, N_b, N_c$  とし、当該起終点間の総利用者数を  $N$  とすると、 $N = N_a + N_b + N_c$  となる。また、道路利用者の道路の利用に関する需要曲線を  $D(N)$  とする。ここで  $D(N)$  は見方を変えれば、各道路利用者のトリップに対する限界評価を示している。ルート A とルート B における道路利用者はそれぞれトリップの所要時間を時間価値で換算した時間費用と、高速道路利用料金である金銭費用の合計を費用として認識する。そして、自己の効用の最大化のためには自己の道路利用の費用がその限界評価と等しくなくてはならない。したがって以下の式が成立する。

$$D(N) = t_a(N_a) + f^a \quad (2.17)$$

$$D(N) = t_b(N_b) + f^b \quad (2.18)$$

また、無料の一般道路であるルート C においては、道路利用者は時間費用のみを負担すればよいから、次の式が成立する。

$$D(N) = t_c(N_c) \quad (2.19)$$

ここで  $t_a(N_a)$ ,  $t_b(N_b)$ ,  $t_c(N_c)$  はルート A, B, C において、車両 1 台が負担するそれぞれの時間費用である。時間費用は混雑によって増加するので、それぞれの時間費用はそのルート上の利用者数の関数であり、 $t_a'(N_a) > 0$ ,  $t_b'(N_b) > 0$ ,  $t_c'(N_c) > 0$  であると考えられる。また、 $f^a, f^b$  はルート A, B におけるそれぞれの高速道路利用料金である。現行の料金体系では通常、 $f^a = f^b$  であるが、料金格差があるときは  $f^a \neq f^b$  となる。(2.17)式、(2.18)式、(2.19)式の左辺はいずれも  $D(N)$  であるので、以下の式が成立する。

$$t_a(N_a) = t_b(N_b) + f^b = t_c(N_c) \quad (2.20)$$

これは各ルート間で利用者の費用が均等する点で交通量が配分されるという Wardrop の原理を示している。つまり外性的に  $f^a, f^b$  が与えられれば自動的に(2.20)式を満たすように交通量  $N_a, N_b, N_c$  が決定され、それが均衡交通量である。

また、ルート A とルート B は都市高速道路ネットワークの一部を形成している。わが国の都市高速道路においては第 1 章で述べたように償還主義が料金決定の原則となっており、それは都市高速道路の利用料金によってその建設に関する諸費用を回収することを目的としている。言い換えれば、これは都市高速道路ネットワーク内での内部補助を意味しており、この両ルートも償還主義の立場から一定の料金収入をあげなくてはならない、という要請を受けている。したがって、この両ルートによって回収されなくてはならない利用料金の総額を  $R$  とすると、当該都市高速道路には次のような関係が課されている。

$$N_a f^a + N_b f^b = R \quad (2.21)$$

いま、環境に関する規制がないとすると、資源配分上最も望ましいのは、道路利用者の支払い意思の合計から、各ルートに要する時間費用の合計と、環境費用の合計を差し引いた純便益を最大にすることである。したがって目的関数は以下となる。

$$\int_0^N D(N) dn - N_a t_a(N_a) - N_b t_b(N_b) - N_c t_c(N_c) - N_a k - N_b k - N_c k \quad (2.22)$$

ここで  $k$  は車両 1 台当りが発生させる環境費用である。(2.22)式からわかるように、このモデルでは各ルートにおける環境費用は道路利用者数に関して線形の関係にある。つまり、車両 1 台当りが発生させる環境汚染物質が全体としての環境費用を決定する。先に述べたルート A, B, C における利用者行動の式において、簡単化のために  $D(N)$

を消去しておく、最適な料金の決定のためには次のような制約条件付き極値問題を解けばよいことになる。

$$\max \int_0^N D(N)dn - N_a t_a(N_a) - N_b t_b(N_b) - N_c t_c(N_c) - N_a k - N_b k - N_c k \quad (2.23)$$

$$s.t. \quad t_a(N_a) = t_b(N_b) + f^b = t_c(N_c), \quad N_a f^a + N_b f^b = R$$

したがってラグランジュ関数は、

$$L = \int_0^N D(N)dn - N_a t_a(N_a) - N_b t_b(N_b) - N_c t_c(N_c) - N_a k - N_b k - N_c k \\ + \lambda_a [t_c(N_c) - t_a(N_a) - f^a] + \lambda_b [t_c(N_c) - t_b(N_b) - f^b] + \mu [N_a f^a + N_b f^b - R] \quad (2.24)$$

となる。ここで  $\lambda_a, \lambda_b, \mu$  はそれぞれラグランジュの未定乗数である。一階の条件を用いると次の式を求めることができる。

$$f^a - f^c = N_a t_a'(N_a) - N_b t_b'(N_b) \quad (2.25)$$

この式を解釈していく。ルート A, ルート B での社会的総費用 *STC* は

$$STC_a = N_a t_a(N_a) + N_a k, \quad STC_b = N_b t_b(N_b) + N_b k \quad (2.26)$$

であるから、それぞれの社会的限界費用 *SMC* は以下となる。

$$SMC_a = t_a(N_a) + N_a t_a'(N_a) + k, \quad SMC_b = t_b(N_b) + N_b t_b'(N_b) + k \quad (2.27)$$

また、それぞれの私的限界費用 *PMC* は、

$$PMC_a = t_a(N_a), \quad PMC_b = t_b(N_b) \quad (2.28)$$

であるから、(2.25)式の右辺第1項と第2項はそれぞれルート A, B の外部費用（混雑費用）であることがわかる。つまり、社会的余剰を最大化するような高速道路料金格差は、それぞれのルートで発生する混雑による時間費用の格差に等しい、ということが(2.25)式の意味である。この(2.25)式と都市高速道路の料金収入制約を連立させて解くと次式が得られる。

$$f^a = \frac{N_b}{N_a + N_b} [N_a t_a'(N_a) - N_b t_b'(N_b)] + \frac{1}{N_a + N_b} R \quad (2.29)$$

$$f^b = \frac{N_a}{N_a + N_b} [N_b t_b'(N_b) - N_a t_a'(N_a)] + \frac{1}{N_a + N_b} R \quad (2.30)$$

(2.29)式と(2.30)式の右辺第2項は当該都市高速道路における道路利用者1単位当りに必要とされる料金収入額であり、いわば平均収入である。また右辺第1項のカッコの中はそれぞれのルートにおける混雑の外部費用の差額分である。つまり、最適な料金とは、混雑の外部費用の格差を他方の高速道路利用者数で加重したものに平均収入を加えたものに等しい。もしルート A により多く混雑が発生しているならば、

$N_a t_a'(N_a) > N_b t_b'(N_b)$  が成り立つので、以下の関係が成り立つ。

$$f^a > \frac{1}{N_a + N_b} R > f^b \quad (2.31)$$

すなわち、両ルート of 最適料金は道路利用者 1 単位当りの収入をはさんでその上下に位置する。具体的にいえば、より混雑しており、その結果環境汚染もより大きく発生している道路では、混雑が発生していないときに支払うべき料金よりも高めの料金が設定され、より混雑が少なくその結果環境負担も少ないルートでは、混雑が発生していないときに支払うべき料金よりも低めの料金が設定される、ということである。

(2.29)式と(2.30)式の 2 式から得られる結論をまとめると以下となる。第一に、最適な料金設定に関して無料の一般道路の利用者数は影響を与えないということ、第二に、環境費用が線形の関数関係にある本モデルの場合、環境費用は最適な料金設定には直接の影響を与えないということ、第三に、道路利用者のトリップに関する需要の価格弾力性は最適な料金形成に影響を与えないということ、第四に、ルート A(B)の最適料金の決定には自ルートではなく、他ルートであるルート(B)A によって加重された混雑費用の格差が反映されるということ、である。

以上が定性的な最適料金格差に関する分析の結論である。実際にはデータの利用可能性もあり、不確実性も伴うので正確な料金格差を設定することはなかなか難しい。

### 2.3 考察

2.1、2.2 節で分析した理論はいずれも混雑の外部性と環境（排気ガス、騒音等）の外部性の要素が組み込まれていた。この二つの要素を取り入れた料金理論が今後も示されていき、そういった理論に基づいた最適料金が現実に適用されれば、混雑の緩和と環境負荷の軽減が同時に達成されることになる。しかし、このようなロードプライシングによって、最適な混雑水準と最適な環境水準が同時に達成されるかといえば、そうではないだろう。混雑の外部不経済を最適水準に内部化する交通量と、環境の外部不経済を最適水準に内部化する交通量は一致しないと思われる。また、両者の外部不経済を合計して全体としての最適水準を求めて内部化する交通量も個別に求めた最適な交通量とは一致しないと思われる。両者の外部不経済を合計した、全体としての最適水準を実現する料金を導くことができるという点は押さえる必要があるだろう。

## 第3章 ラムゼイ理論に基づく最適道路料金

第3章では、社会的総余剰を最大にする料金設定ではなく、収支均衡制約下での料金設定、すなわちラムゼイ価格について考える。日本の道路料金は第1章で述べた償還主義に基づき、道路の建設費用・維持管理費用を回収するよう設定される。したがって、一つの手段として道路料金にラムゼイ理論の適用をすることは意味があると思われる。ラムゼイ理論の分析にあたって、まず3.1節では限界費用価格形成の問題点について注目する。3.2節ではその問題を回避するための価格設定であるラムゼイ価格についての理論分析をする。3.3節では山内（1987）が行った高速道路のラムゼイ料金の算出について考察する。

### 3.1 ラムゼイ理論

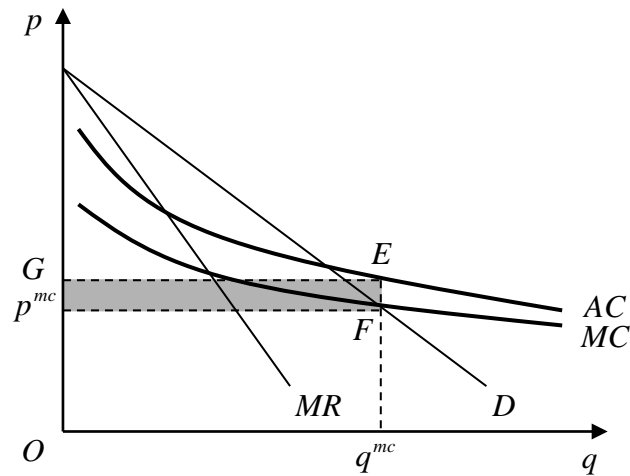
#### 3.1.1 限界費用価格形成の問題点

交通市場（自動車、航空、鉄道市場）の運賃・料金設定は社会的総余剰を最大化するために、限界費用に等しくなることが望ましい。しかし、交通市場は1.2節で議論した混雑の外部性など、市場の失敗が非常に起こりやすく、自由放任にしておくと、価格と限界費用が一致しないことが多くなる。そこで、人為的に価格と限界費用が等しくなるような価格設定を行う限界費用価格形成が交通市場において常に議論となる。限界費用価格形成は経済理論の視点から、運賃・料金のあるべき姿を示すものである。しかし、それを現実に当てはめる場合にはいくつかの問題点が指摘されている。

①まず、限界費用価格形成により最適な資源配分が達成されるのは、他の部門においても限界費用に等しい価格が実現している場合のみである。他のいずれかの部門で価格が限界費用に等しくなければ、特定の産業において価格規制によって  $p = MC$  を実現しても社会全体の資源配分効率が達成されるのは限らない。経済の他の分野で価格が限界費用から乖離していれば、それを考慮した価格付けが必要である。

②価格規制が必要とされるのは、多くの場合自然独占産業である。自然独占産業では、平均費用が逡減しているケースが多い。初期投資が巨大であり、需要がある程度水準に達しないと採算がとれないため、一企業が供給することが困難な産業は費用逡減産業であり、高速道路や空港、鉄道などの公共サービスが例として挙げられる。そのようなケースの場合、限界費用は平均費用以下であるから、限界費用価格形成によって必然的に欠損が生じることになる。

図 3-1：限界費用価格形成による欠損の発生



出所：山内・竹内（2002）

図 3-1 において、限界費用価格形成は需要曲線と限界費用が交わる点( $F$ )で決定されるが（価格は  $p^{mc}$ ）、このときの平均費用は  $GO$  の大きさであり、単位当たり  $Gp^{mc} = EF$  の赤字が生じる。生産量は  $q^{mc}$  であるから、全体では四角形  $GEFp^{mc}$  の欠損となる。この欠損を補助金によって賄おうとすれば、赤字を前提として企業運営がなされるという意味で、企業の生産効率性のインセンティブが損なわれる可能性が大きい。

③前期②において、仮に企業の生産効率へのインセンティブが損なわれなくても、欠損のための補助金をどのように調達するかという問題が残る。所得税を増税してこれを埋めることも考えられるが、所得課税の変化は人々の労働と余暇との間の選好をゆがめることから、資源配分上中立ではありえない。

④この問題と関連するが、限界費用価格形成は資源配分上の効率から導かれるものであり、所得配分の問題を考慮していない。この価格形成原理を採用することによって、所得配分上の不公平が助長されるかもしれない。

⑤短期と長期の問題がある。ミクロ経済学が教えるように、限界費用曲線には短期限界費用曲線と長期限界費用曲線がある。短期限界費用曲線は現行の設備を所与としている限界費用曲線であるから、現行の設備を所与として運賃を考えるのならば、短期限界費用に基づいて運賃が決定されるべきである。一方、長期限界費用曲線は固定費用が可変費用化するほどの長期を考えているので、既存設備の変更まで考慮に入れた最適な運賃のためには長期限界費用に基づいて運賃が決定されるべきである。もちろん、両者は異なった費用曲線であるから、それに基づいて運賃も異なる水準となる。また、現行の設備を所与とするべきかどうかについては先験的には決められない。

以上の①から⑤までの問題点の中で、最大の問題点は、②の費用削減状態の企業にこの原則を適用すれば必然的に欠損が生じることである。このような問題点を回避するための一つの考え方は、企業の収支均衡を制約としたうえで、資源配分の効率を求めることである。この場合の解は、理論上の資源配分の最適点から乖離する。したがって資源配分の観点からはロスが生じる。しかし、それは企業の収支制約という一つの目的を達成するための一つのコストと理解される。つまり、収支均衡を達成することは、ある程度の犠牲を払っても必要なことという理解のもとに立っている。制約なしに資源配分を最適化する解（限界費用価格形成）が「最善の解」（First Best）とすれば、制約付きの最適化は「次善の解」（Second Best）あるいは「次善の価格決定」と呼ばれるものである。

### 3.1.2 ラムゼイ価格の導出

費用逡減下にある独占企業が収支制約を満たした上で、資源配分率の歪みを最も小さくする「価格体系」は「ラムゼイ価格」として知られている。「ラムゼイ価格」は、1927年にF.ラムゼイが *Economic Journal* 誌に発表した論文にちなんだ呼び名である。ラムゼイはもともと財政学者であり、この論文は、資源配分が最適な状態にある経済において、一定額の税収を上げるために個別消費税（物品税）を課す場合、最も資源配分の歪みが小さくなる税体系を求めるものである。

ラムゼイが最適物品税について得た結論を先に述べれば、次のようになる。いま、社会全体で  $n$  種類の財があるとして、それらが全て完全競争市場で取引されており、その結果、価格は限界費用に等しくなっていたとする。この市場均衡のもとでの消費量（＝供給量）を  $q_i^f$  で表し、物品税が課された後での消費量を  $q_i^r$  で表す。このとき、ラムゼイは物品税が最適であるためには、 $n$  種類の財から任意の異なる 2 財を選んだ場合、

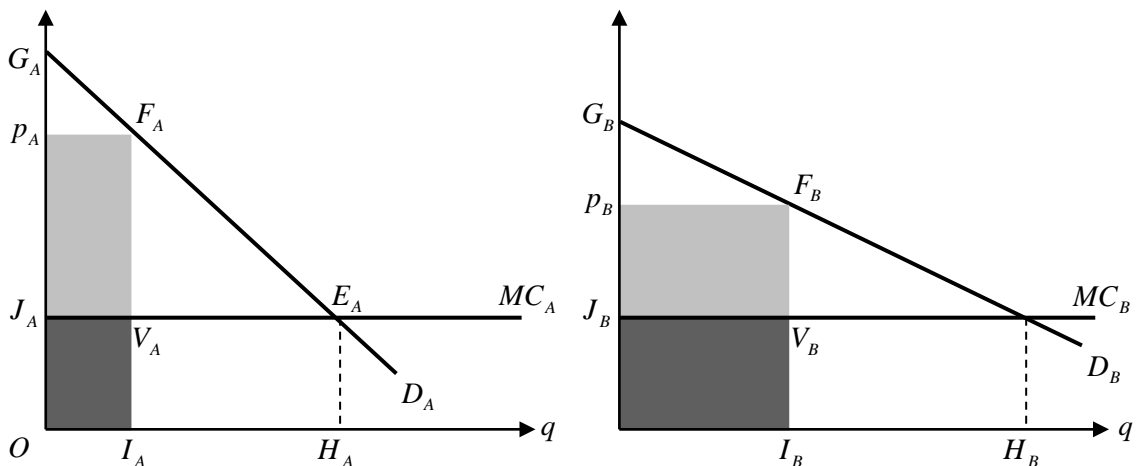
$$\frac{q_i^f}{q_j^f} = \frac{q_i^r}{q_j^r} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j \quad (3.1)$$

という関係が成立していなければならないことを示した。つまり、任意に選んだ 2 財について、課税後の消費量の比率が課税前の最適な消費量の比率に等しくなくてはならない、そして、それがすべての財の組み合わせについて成り立つということを示した。道路交通を例にとつて(3.1)式の具体的意味を考えると、課金前（あるいは課金比率改定前）の普通車の交通量が 1,000 台、大型車の交通量が 2,000 台だとすると両者の比率は 1:2 であるから、課金後（あるいは課金比率改定後）も 8,000 台と 16,000

台というように、この比率が守られる税率が選択されねばならないのである。ここで、普通車と大型車は料金に対する反応(需要の弾力性)が異なるであろうから、最適料金の計算に当たっては需要側の要因が重要になるといえる。

(3.1)式がどのような意味をもつか考える。二つの交通市場 A と B があり、ある交通企業はこの市場 A と市場 B の両方で交通サービスを提供しているものとする(例えば鉄道会社における旅客輸送の市場と貨物輸送の市場)。したがって、運賃について、この交通企業の両市場からの収入の合計が両市場で提供する交通サービスの費用とちょうど等しくなるという制約のもとで、できるだけ社会的余剰を大きくするような運賃が設定することが望ましい。図 3-2 の(a)において市場 A の状況が、(b)において市場 B の状況が描かれている。縦軸は費用および運賃  $p$  で、横軸はそれぞれ市場 A と B の需要曲線とする。そして、 $MC_A$ 、 $MC_B$ をそれぞれ市場 A と B の限界費用曲線で一定である(したがって、限界費用曲線は平均費用曲線と一致)とし、単純化のために両者の限界費用を等しいとする。

図 3-2 : ラムゼイ価格の導出



出所：竹内 (2008)

前述のラムゼイの最適課税の関係式から  $OI_A : OH_A = OI_B : OH_B$  の比率を維持するように、点  $F_A$  と点  $F_B$  はそれぞれ  $D_A$ 、 $D_B$  上を連動することがわかる。つまり以下の式が成り立つ。

$$OI_A : OH_A = G_A F_A : G_A E_A = OI_B : OH_B = G_B F_B : G_B E_B$$

このとき、収支は均衡しなくてはならないが、市場 A の  $OJ_A V_A I_A$  と市場 B の  $OJ_B V_B I_B$  はそれぞれ限界費用曲線の下側の面積であり、この面積  $OJ_A V_A I_A + OJ_B V_B I_B$  は可変費用となっている。一方、収入の合計は  $O p_A F_A I_A + O p_B F_B I_B$  である。



この収入の合計から可変費用相当分の  $OJ_A V_A I_A + OJ_B V_B I_B$  を引いた部分  $J_A p_A F_A V_A + J_B p_B F_B V_B$  がちょうど固定費用に等しくなっていれば収支均衡となるから、そのようにして点  $F_A$ 、 $F_B$  は決定される。そして、そのときの各市場のラムゼイ価格はそれぞれ  $p_A$ 、 $p_B$  である。

ラムゼイ価格が成立しているときは以下の関係式が成立している。

$$\frac{p_i - MC}{p_i} = \frac{k}{e_i} \quad (3.2)$$

$p_i$  は第  $i$  市場におけるラムゼイ価格、 $MC$  は各市場における限界費用（すべての市場で同一と仮定）、 $e_i$  は第  $i$  市場における需要の価格弾力性、そして  $k$  はラムゼイ指数である。(3.2)式の左辺は価格が限界費用からどれだけ離れているか（乖離率）を示しており、図 3-1 の  $(p_A - J_A)/J_A$  あるいは  $(p_B - J_B)/J_B$  を示している。これが需要の価格弾力性と反比例していることがラムゼイ価格の特徴である。ラムゼイ価格は限界費用価格形成ほど社会的余剰を大きくすることはできないものの、企業が交通サービスの供給を停止しない範囲内で最大の（次善の）余剰を実現できるという点で魅力的な価格形成の方法であるといえる。

ただし、理論と現実の乖離がある点には注意したい。ラムゼイ価格の関係式は簡潔であるが、こうした簡潔な関係式を導出できたのは、例えば需要の交差価格弾力性がゼロであると仮定したことなどによる。しかし、現実の世界を考えると、需要の交差価格弾力性をゼロにしてしまうことには無理があるであろう。実際にはさらに複雑な計算による価格形成が必要となる。

### 3.2 ラムゼイ価格と最適車間料金比率

道路は普通車や中型車、大型車などさまざまな車種が利用するが、償還制によって必要な収入が計算できれば、次にこの収入を得るために、異なった車種の間でどのような料金を設定するという問題が生じる。日本道路公団の料金区分では、現在車種は軽自動車等、普通車、中型車、大型車、特大車の 5 つであり、車種間料金比率は、0.8 : 1 : 1.06 : 1.55 : 2.75 となっている。しかし、車種間比率がどのように決定されるかは、それほど明確ではない。

車種間比率は車種別の費用、各車種が高速道路を走行する場合に専有する面積、あるいは一定の基準に基づいて計算される走行便益の大きさ等によって決定されている。決定要因として最も重要なのは車種別の費用であろう。道路は用地の上に土台を築きその上に舗装をしてできあがる。道路を破壊する力は車軸の重さの 4 乗に比例すると

されており、必要な舗装の厚さはその上を走る車両の重さによって決定される。つまり、大型車が多いほど費用は大きくなり、逆に、特大車が存在しなければその分舗装を薄くすることができるから、費用を削減できる。アメリカでも日本でも、各車種にどれだけの費用を課すかの計算が進んでおり、その割合は現行の車種間比率よりも大型車の比率が高くなる。

経済学的な観点から、料金区分には限界費用価格形成の適用が考えられる。しかし、3.1 節で述べたように、固定費用が存在し費用通減状態にある場合には、限界費用に等しい料金では総費用を賄うことができない。そこで、収支均衡のもとで資源配分を最適化する料金体系、すなわちラムゼイ価格を適用することが考えられる。

平成元年度の料金改定以前は、高速道路料金は普通車、大型車、特大車の3区分であり、その料金比率は1:1.5:2.75であった。山内(1987)はこれらの料金比率をラムゼイ・ルールに基づいて変更する場合の最適な料金比率を計算した。方法としては東名高速道路の需要関数、限界費用のデータを用い、需要の価格弾力性を需要関数から求めることで計算を行った。本論文では結果のみ記載したい。以下の表が計測結果である。

表 3-1：東名高速道路の弾力性を使ったラムゼイ価格の計算結果

	普通車	大型車	特大車
回避可能費用	3.433	7.792	10.822
料金弾力性	-0.269	-0.230	-0.241
現行料率	7.532	11.359	20.825
相対料率	1.000	1.500	2.750
ラムゼイ価格	6.135	16.070	21.287
相対価格	1.000	2.619	3.470
乖離率	0.440	0.515	0.492

※回避可能費用、現行料率、ラムゼイ価格は合キロ当たり円。

出所：山内(2002)

計測結果では、弾力性に大きな開きがないため、限界費用からの乖離率には大きな差が出ず、料率が回避可能費用（交通量を1単位削減したときに避けることのできる費用）の水準に依存する度合いが大きい。

償還制のもと、ある一定の収入を得るという前提で考えると、金額の比率が重要である。表 3-1 より、ラムゼイ価格の場合、車種間比率は1:2.62:3.47となり、現行

料金体系から普通車料金は約 19%程度の引き下げ、大型車・特大車の料金は引き上げになる。特に、大型車の負担を重くすることが提案されるが、表の結果は、この主張を理論的に裏付けるものである。

平成元年の普通車、大型車、特大車の料金比率は 1 : 1.5 : 2.75 であるのに対し、現在では 1 : 1.55 : 2.75 と現実には料金比率はほとんど変化していない。ラムゼイ理論から得られた最適車種間料金比率 1 : 2.62 : 3.47 は、算出の基となった需要関数のデータが古いとはいえ、平成 22 年現在の需要関数とそのデータから大きく変動していることは考えにくく、現実の比率とはかなり異なる結果となっている点からも参考になるのではないか。

## 第4章 コードンプライシングとその効果

この章ではコードンプライシングに焦点を当てる。コードンプライシングとは、第1章でも述べた通り、課金される地域との境界線（コードン・ライン）をまたぐときに料金が課される制度のことをいい、次善の道路料金制度である。文・奥嶋（2004）は大阪都市圏における最適なコードン料金を求めた。第4章ではこの実証を分析したい。

### 4.1 モデル

#### 4.1.1 社会的に最適な料金設定

都市空間は  $I$  個の離散的なゾーンに区分されているものと仮定する。都市内の道路ネットワークはノード（交差点その他道路網表現上の結節点）とそれらを結ぶリンク（道路）から構成されており、ゾーン間の交通はネットワークに沿って流れる。ネットワークには  $L$  本のリンクがあり、リンク  $a$  を流れる交通量を  $x_a$  と表す。交通需要は弾力的であり、ゾーン  $r$  から  $s$  への総交通量を  $Q_{rs}$  とすると逆需要関数は  $D_{rs}^{-1}(Q_{rs})$  と与えられる。ゾーン  $rs$  間には複数の経路が存在し、交通費用は経路上の走行時間費用と道路料金の和に等しいと仮定する。すなわち、

$$c_{rs}^j = \alpha t_{rs}^j + \tau_{rs}^j \quad (4.1)$$

ここで、 $t_{rs}^j$  と  $\tau_{rs}^j$  はそれぞれ  $rs$  間の  $j$  番目の経路を選んだ場合の所要時間と道路料金、そして  $\alpha$  は時間価値である。上式の右辺第1項は走行時間費用、第2項は道路料金であるが、いずれも選んだ経路（どのリンクを使っていくか）によって異なる。 $t_{rs}^j$  は経路上の各リンクの通過所要時間の和であるが、各リンクの通過所要時間はそのリンクを通る交通量の増加関数  $t_a(x_a)$  であると仮定する（以下これをリンク走行時間関数と呼ぶ）。したがって以下の式が成り立つ。

$$t_{rs}^j = \sum_{a \in R_{rs}^j} \delta_{ars}^j t_a(x_a) \quad (4.2)$$

$$\tau_{rs}^j = \sum_{a \in R_{rs}^j} \delta_{ars}^j \tau_a \quad (4.3)$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_j \delta_{ars}^j q_{rs}^j \quad (4.4)$$

ここで  $q_{rs}^j$  は O-D (Origin-Destination) ペア  $rs$  間の  $j$  番目経路の交通量、 $\delta_{ars}^j$  はリンク  $a$  が O-D ペア  $rs$  間の  $j$  番目経路上にある場合 1、それ以外は 0 の値をとる変数である。また  $\tau_a$  はリンク  $a$  に関する通行料金である。 $R_{rs}^j$  は  $rs$  間の  $j$  番目経路上にある

リンクの集合である。

また、各個人は道路を利用することによる私的便益（支払い意思額）が交通費用を上回る限り、道路を利用するが、均衡においては次の関係が成り立つように  $rs$  間の総 O-D 交通量  $Q_{rs}$  が決まる。すなわち、

$$D_{rs}^{-1}(Q_{rs}) = C_{rs}^* \quad (4.5)$$

一方、社会的に効率的な道路利用は、次に示すような社会的余剰最大化問題を解くことによって求められる。

$$\max_{q_{rs}^j} \sum_r \sum_s \int_0^{Q_{rs}(\tau)} D_{rs}^{-1}(z) dz - \alpha \sum_a t_a(x_a) x_a \quad (4.6)$$

$$s.t. \quad q_{rs}^j \geq 0, \quad Q_{rs} = \sum_{j \in A_{rs}} q_{rs}^j$$

最適化の 1 階の条件と (4.5) 式を対応させると各リンクにおける料金が以下のように設定されるとき、(4.6) で示した最適条件が実現することが分かる。

$$\tau_a = \alpha t_a'(x_a) x_a \quad (4.7)$$

社会的に効率的な道路利用を達成するためには、ネットワークのすべてのリンクにおいて、混雑の外部費用に等しい料金を課す必要がある。このような料金を実行することは困難なので、実際には一部のリンクのみ料金を徴収するシステムを採用せざるをえない。

#### 4.1.2 次善の料金政策

道路管理者は、料金徴収に伴う技術的、社会的制約のもとで、社会的余剰を最大化するよう、料金水準を定めるものとする。ここで考える次善の料金体系とは、ネットワークの一部のリンクでのみ料金が徴収可能であるという状況のもとで、それらのリンクにおける料金水準を最適に設定することである。料金が徴収されるリンクの集合は与えられるものとする。以上の定義に従うと、次善の料金体系は形式的には次の問題を解くことにより求められる。

$$\max_{\tau} \sum_r \sum_s \int_0^{Q_{rs}(\tau)} D_{rs}^{-1}(z) dz - \alpha \sum_{a \in A} t_a(x_a(\tau)) x_a(\tau) \quad (4.8)$$

$$s.t. \quad \tau_a \geq 0, \quad \text{for } a \in H \quad (4.9)$$

$$\tau_a = 0, \quad \text{for } a \notin H \quad (4.10)$$

ここで、 $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_L)$  であり、 $H$  は課金するリンクの集合（ただし  $H \subset A$ ）である。 $H$  に含まれるリンク以外では (4.10) のような制約が課せられているので、上の

問題の解はシステム最適よりも劣る次善の解となるのである。もし  $H = A$  であれば上の問題の解はシステム最適と一致する。今回の研究では代替的な次善料金方式として、単一コードンプライシング、多重コードンプライシング、そして高速道路におけるゾーン料金制を取り上げる。

単一のコードンプライシングでは、都市の中心部を取り囲むコードンを横切るすべてのリンクが課金されるリンク集合  $H$  の要素となり、それらのリンクではすべて同額  $\bar{\tau}^C$  の料金が課される。したがって(4.9)は次のように書き換えられる。

$$s.t. \quad \tau_a = \bar{\tau}^C, \quad \text{for } a \in H \quad (4.11)$$

多重コードンプライシングでは、 $M$  本のコードンラインが設定され、都市の中心部に近いものから  $1, 2, \dots, M$  のように番号がつけられているものとする。課金されるリンクの集合  $H$  は、 $M$  個の部分集合  $h_m, m=1, 2, \dots, M$  に分けられ、それぞれは  $m$  番目のコードンラインを横切るリンクの集合に対応する。そして  $h_m$  に含まれるすべてのリンクでは同額の料金  $\bar{\tau}^{Cm}$  が適用される。したがって(4.9)は次のように書き換えられる。

$$s.t. \quad \tau_a = \bar{\tau}^{Cm}, \quad \text{for } a \in h_m, \quad \bigcup_{m=1}^M h_m = H \quad (4.12)$$

## 4.2 実証分析における設定と評価方法

### 4.2.1 実証分析における設定

この研究では大阪市内の旧 27 区とその周辺の市町村を集約した 9 個のゾーンの合計 36 ゾーンを対象とする。道路ネットワークは阪神高速道路と一般道路を合わせて、241 ノード・630 リンクから成る。図 4-1 には後の分析で取り上げられるコードンの位置を太線で示している。

図 4-1：コードン区分—大阪市—



出所：文・奥嶋（2004）より作成

各リンクの走行時間関数を次のように特定化する。

$$t_a(x_a) = t_a^0 \left\{ 1 + \nu \left( \frac{x_a}{W_a} \right)^\beta \right\} \quad (4.13)$$

ここで  $t_a^0$  は自由走行状態でリンク  $a$  を通過するのに要する時間、 $W_a$  はリンク  $a$  の交通容量である。ここでは土木学会の交通需要予測小委員会が標準的な値として提案している、 $\nu = 0.48$ 、 $\beta = 2.82$  を用いることとする。

需要関数は次のように特定化する。

$$D_{rs}(C_{rs}) = d \cdot n_r \cdot n_s^{\theta_s} \cdot \exp(-\gamma \cdot C_{rs}) \quad (4.14)$$

ここで  $n_r, n_s$  は、それぞれ発ゾーン  $r$  および着ゾーン  $s$  における昼間人口である。

$d, \gamma, \theta_s$  はパラメータである。逆需要関数は次式のようになる。

$$D_{rs}^{-1}(Q_{rs}) = -\frac{1}{\gamma} \log \left( \frac{Q_{rs}}{d \cdot n_r \cdot n_s^{\theta_s}} \right) \quad (4.15)$$

また、時間費用と金銭的費用の和である交通費用のデータは以下のように作成した。

$$C_{rs} = \sum_{a \in A_{rs}^*} \{ \alpha t_a(\tilde{x}_a) + \tilde{\tau}_a \} \quad (4.16)$$

$\tilde{x}_a$ 、 $\tilde{\tau}_a$  は現状におけるリンク交通量の観測値と現行の道路料金（阪神高速道路）、 $A_{rs}^*$  は現状のリンク交通量と料金のもとで  $rs$  間の（時間単位の）交通費用が最小となる経路に含まれるリンクの集合である。なお時間価値  $\alpha$  は阪神高速道路公団節約時間便益計算等を参考に 60 円/分・台と仮定する。

需要関数のパラメータ推定結果は次のとおりである。

$$\begin{aligned} d &= 0.000024 \quad (15.0503) \\ \theta_s &= 0.6055 \quad (10.2505) \quad R^2 = 0.5430 \\ \gamma &= -0.00074 \quad (-24.8606) \end{aligned}$$

※カッコ内の数値は  $t$  値を示している。

#### 4.2.2 無料金均衡と社会的最適

大阪都市圏における昼間人口とネットワークの条件、そして上のように求めたパラメータをモデルに与えて、無料金均衡（どのリンクにおいても料金が徴収されない場合の均衡）と社会的最適（各リンクにおいて混雑外部効果に等しい料金を徴収する場合の均衡）について計算した結果が以下である。

表 4-1：無料金均衡と社会的最適に関する計算結果

	無料金	社会的最適	現行料金
総交通量（台）	2,352,145	1,919,533	2,244,128
総走行距離（台・キロ）	22,381,331	16,555,751	20,778,071
総走行時間（台・時間）	1,183,696	677,124	1,039,374
平均旅行時間（分）	30.2	21.2	27.8
平均料金支払額（円）	0	672	151
消費者余剰変化（100万円）		-696	-71
混雑料金収入（100万円）	0	1,291	338
混雑料金による厚生改善（100万円）		595	267

出所：文・奥嶋（2004）

表 4-1 を見るとシステム最適においては消費者余剰は無料金時に比べて減少する。しかしその減少分を上回る料金収入を上げることができるため、社会的余剰は増加する。このことは第 1 章で示した混雑料金の理論と合致する。

次善の料金政策の効果を評価する際には、次のように定義される指標、「相対的改善」



を用いることにする。

$$\text{相対的改善} = \frac{SS^{**} - SS^*}{SS^0 - SS^*} \quad (4.17)$$

ここで  $SS^*$ ,  $SS^0$ ,  $SS^{**}$  はそれぞれ、無料金、社会的最適、次善の料金のもとでの社会的余剰である。分子は次善の料金による厚生改善、分母はシステム最適により達成される厚生改善を表しているので、この指標は最大限可能な厚生改善に対する次善料金の達成度を表しており、1に近いほど次善料金がより有効であることを意味する。

表 4-1 には現行の料金（700 円の均一料金）に対する計算結果も示している。現行の料金のもとでは、無料金に比べて社会的余剰の値が 2 億 6700 万円だけ大きい。上の定義により相対的改善を計算すると、社会的最適の 44%に達する。現行の均一料金が混雑緩和に果たす役割は小さくないといえる。

### 4.3 実証結果

図 4-1 に示すように、内側から都心部コードン、都心周辺部コードン、大阪市全域コードンという 3 通りのコードンを設定したが、まずはこれらのうち 1 つのみで料金が徴収されるという、単一コードン料金制について検討する。前節の問題(4.8),(4.10),(4.11)のように社会的余剰を最大化するよう、それぞれの単一コードンにおいて徴収する料金額を求める。実際の適用を考慮すると、料金額を厳密に 1 円単位で求めることは現実的ではないので、100 円単位で料金額を変化させて利用者均衡を計算し、それらのうち社会的余剰の最大となる料金額を求めることとした。大阪市全域コードンの場合、料金額と社会的余剰の関係は表 4-2 のようになり、次善最適な料金は 700 円である。

都心コードン、都心周辺部コードン料金制を実施した場合も同様にして最適な料金を求めた。それらの結果も表 4-2 にまとめられている。都心コードンで料金を徴収する場合の最適料金は 300 円、都心周辺部の場合には 500 円である。社会的余剰は大阪市全域を囲むコードンの場合が最大であり、相対的改善は 65.58%である。

表 4-2 : 3 通りの単一コードンに関する結果の概要

	無料金	都 心 コードン	都心周辺 コードン	大阪市全域 コードン
最適コードン料金 (円)		300	500	700
総交通量 (台)	2,352,145	2,202,034	2,070,364	2,068,861
総走行距離 (台・キロ)	22,381,331	20,461,383	18,678,035	17,877,502
総走行時間 (台・時間)	1,183,696	1,043,001	913,443	809,984
平均旅行時間 (分)	30.2	28.4	26.5	23
平均料金支払額 (円)	0	148	276	367
消費者余剰変化 (100万円)		-160	-314	-369
混雑料金収入 (100万円)	0	325	571	760
混雑料金による厚生改善 (100万円)		165	258	390
相対的改善		27.74%	43.26%	65.58%

出所：文・奥嶋 (2004)

次に多重コードンの場合について検討する。上記の 3 通りのコードンで料金を徴収する場合の料金の最適な組合せを求める。それぞれのコードンにおいて 0~2000 円の間で料金水準を 100 円単位で動かすと、組合せの数は  $20^3 = 8000$  通りである。総当たりで計算を実行し、それを社会的余剰の高いものから順位付けし、上位の組合せに関する結果を表 4-3 にまとめている。

表 4-3 : 3 重コードンのもとで上位の料金案に関する結果

	1	2	3	4
都心コードンにおける料金 (円)	200	100	200	200
都心周辺コードンにおける料金 (円)	200	200	200	100
大阪市全域コードンにおける料金 (円)	600	600	500	600
総交通量 (台)	1,876,692	1,925,830	1,916,118	1,936,784
総走行距離 (台・キロ)	15,624,439	16,223,493	16,194,679	16,334,811
総走行時間 (台・時間)	677,818	712,530	717,560	721,810
平均旅行時間 (分)	21.7	22.2	22.5	22.4
平均料金支払額 (円)	552	511	510	499
消費者余剰変化 (100万円)	-578	-530	-524	-514
混雑料金収入 (100万円)	1,036	984	977	967
混雑料金による厚生改善 (100万円)	458	454	453	453
相対的改善	76.87%	76.31%	76.11%	76.07%

出所：文・奥嶋 (2004)

表 4-3 によると、上位の組合せ間で便益の差は小さく、料金についてもかなり似通っている。最も内側の都心部コードンで 100~200 円、都心周辺コードンで 100~200 円、そして大阪市全域コードンで 500~600 円となっている。大阪市外から都心部に入るため 3 つのコードンを通過すると、合計で 900~1000 円の料金を支払わねばならない。表 4-3 の最下段に示した、相対的改善の値を見ると、システム最適に対して 77%

の厚生改善効果が達成できる。

ここまでの分析で得られた単一コードンプライシング、多重コードンプライシングに基づく料金案は、いずれも高速道路であろうが一般道路であろうが、都市の中心部に流入するすべての車両が課金の対象であった。文・奥嶋（2004）は高速道路のみで料金を徴収する場合の料金案も算出している。

まず、現行のシステムと同じ高速道路の均一料金制のもとで社会的総余剰を最大化する料金水準を求める。表 4-4 の第 2 列に示すように、最適な料金水準は 900 円であった。現行の料金（700 円）より過小であることが分かる。

次に、先に示した 3 通りのコードンラインを用い、ゾーン料金制による料金水準を求める。ゾーン料金制はコードンラインを料金ゾーン境界とし、内側と外側で異なった料金を徴収する制度である。

まず、3 通りのコードンラインのうち、1 つを料金ゾーン境界とする 2 ゾーンシステムについて検討する。ここでは、都心部コードンを境界にするケースをゾーンシステム A、都心周辺コードンを境界にするケースをゾーンシステム B、大阪市全域コードンを境界とする場合をゾーンシステム C と呼ぶ。表 4-4 に示すように、ゾーンシステム C が最も効果的であり、相対的改善の水準は 53.8%に達する。

表 4-4：高速道路における混雑料金 I —均一料金と 2 ゾーンシステム—

	均一料金	ゾーンシステムA	ゾーンシステムB	ゾーンシステムC
均一料金 (円)	900			
内側ゾーンの料金 (円)		600	500	600
外側ゾーンの料金 (円)		200	200	500
総交通量 (台)	2,182,796	2,216,391	2,228,534	2,202,561
総走行距離 (台・キロ)	19,816,894	20,232,568	19,771,329	19,243,220
総走行時間 (台・時間)	991,673	1,009,733	991,471	957,026
平均旅行時間 (分)	27.3	27.3	26.7	26.1
平均料金支払額 (円)	185	174	182	213
消費者余剰変化 (100万円)	-128	-95	-102	-149
混雑料金収入 (100万円)	403	386	405	469
混雑料金による厚生改善 (100万円)	275	292	303	321
相対的改善	46.18%	49.00%	50.94%	53.87%

出所：文・奥嶋（2004）

次に 3 本のコードンラインを料金ゾーンの境界とする 4 ゾーンシステムについて検討する。1 位から 4 位までの料金案に関する結果を表 4-5 に示した。表 4-5 を見ると、都心やその周辺のゾーンにおける料金は低く、外縁部に行くほど高くなることが分か

る。各ゾーンの料金の合計は 1000～1100 円となっている。また、料金案 1 位の相対的改善の値は 61.65%であり、2 ゾーンシステムの最良案に対する 53.8%に比べると効果が大きく、消費者余剰の減少も 2 ゾーンシステムの最良案より小さく抑えられていること分かる。

表 4-5：高速道路における混雑料金Ⅱ -4 ゾーンシステム-

	1	2	3	4
都心部料金圏 (円)	200	100	0	200
都心周辺料金圏 (円)	0	100	100	0
大阪市内料金圏 (円)	400	300	300	300
大阪市外料金圏 (円)	500	500	600	600
総交通量 (台)	2,220,761	2,230,874	2,231,359	2,233,407
総走行距離 (台・キロ)	19,036,987	19,243,268	19,188,028	19,208,542
総走行時間 (台・時間)	950,729	961,587	957,930	959,797
平均旅行時間 (分)	25.7	25.9	25.8	25.8
平均料金支払額 (円)	215	209	207	211
消費者余剰変化 (100万円)	-111	-102	-98	-110
混雑料金収入 (100万円)	477	466	461	471
混雑料金による厚生改善 (100万円)	367	364	363	361
相対的改善	61.65%	61.15%	61.08%	60.71%

出所：文・奥嶋 (2004)

2 ゾーンシステムと 4 ゾーンシステムの比較は、より詳細な料金システムを設計すれば、利用者の損失を抑えながらより大きな混雑緩和効果を達成する可能性があることを示唆している。

## 第5章 東京都23区における最適な混雑料金の推定

東京において、道路混雑の慢性化が叫ばれて久しい。特に23区には政治・経済機能が集中しており、道路混雑の解消は機能の効率化にもつながるものとなる。しかし、今までに効果をあげるような施策が実施されていないのが現状である。原因としては道路供給側の限界、そして実証分析の困難さが挙げられる。道路供給に関しては、現状のインフラ整備はすでに飽和状態であり、これ以上の整備は現実的に不可能であるといわれている。そこで近年ではTDMと呼ばれる需要側からの道路混雑解消に対する理論的なアプローチが盛んになってきている。しかし、実証という点ではデータの不足といった分析の困難性から、その成果をあまりあげることができていないのが現状である。そこで、井上・志田・鈴木・山浦（2005）はTDMの中でもロードプライシングに着目し、混雑が激しい東京都23区におけるピーク時の混雑料金の算定を行った。

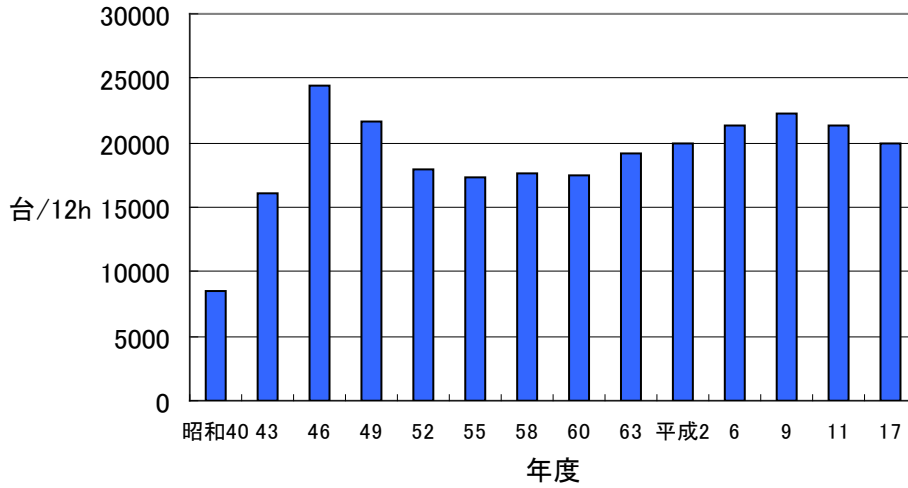
第1節ではまず、道路混雑の現状について、交通量についての回帰分析を交えながら独自に分析する。そして第2節において井上・志田・鈴木・山浦（2005）による混雑料金の導出についての実証研究を分析していく。この研究では林山・坂下（1993）のモデルを基に実証が行われている。第3節では、その先行研究に基づき、交通量等のデータを新しいものに置き換え、最適混雑料金を導出する。

### 5.1 道路混雑の現状

#### 5.1.1 交通量の推移

まず全国の道路混雑の現状を図を基に検証していく。図5-1は高速道路における12時間平均交通量である。昭和40年から昭和46年にかけて交通量は増加し、そこから昭和58年にかけて減少、平成9年にかけて増加し、現在にかけては減少している。高速道路の交通量からは混雑の悪化は推測できない。現実には経済成長に伴うモータリゼーションにより、交通需要は高まってきているが、それに応じて道路網の整備も進んでいるため、図5-1からは読み取れないと思われる。

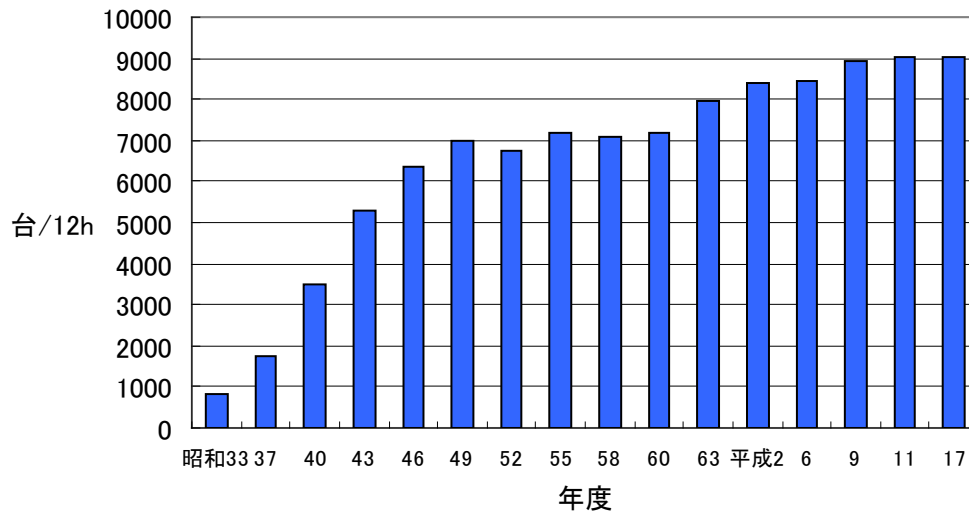
図 5-1 : 12 時間平均交通量 (高速道路)



出所：国土交通省道路局・道路交通センサスより作成

続いて、一般国道における 12 時間平均交通量の推移を分析する。

図 5-2 : 12 時間平均交通量 (一般国道)



出所：国土交通省道路局・道路交通センサスより作成

一般国道においては昭和 33 年以降、交通量はほぼ右肩上がりであり、道路混雑が悪化していることが推測される。結果として、道路種別に交通量の推移を分析すると、

一般国道において混雑悪化が推測されることが分かった。

道路混雑によってもたらされる経済的損失も、国土交通省の試算では大きな額にのぼっており、非常に深刻な問題と化してきている。1km 当たり渋滞損失額は全国で年間約 6200 万円にのぼる。渋滞損失額は以下の手順で求められる。

- ① 各道路区間において、昼間 12 時間（混雑時間帯）における旅行時間と渋滞がない場合の旅行時間の差を求める。
- ② 損失時間に交通量を掛けて損失台時を求める。
- ③ 1 台当たり時間価値（事業評価に用いる車種別時間価値を設定）を掛ける。

表 5-1 の都道府県別渋滞損失額順位表を見ると、1 位の東京都は約 4 億 3500 万、2 位の大阪府は約 3 億 3800 万、3 位の神奈川県は約 2 億 3700 万となっており、混雑は大都市に集中し、特に東京都の道路混雑は深刻であると言える。

表 5-1：1km あたり渋滞損失額都道府県順位表（上位 10 位都道府県）

順位	都道府県	1kmあたり損失額 (百万円/年間)
1	東京都	4 3 5
2	大阪府	3 3 8
3	神奈川県	2 3 7
4	埼玉県	1 7 1
5	愛知県	1 5 2
6	千葉県	1 2 8
7	沖縄県	1 1 5
8	静岡県	1 0 8
9	宮城県	1 0 4
10	京都府	9 5
全国		6 2

出所：国土交通省道路局・道路交通センサスより作成

### 5.1.2 交通量に影響を与える要因

5.1.1 では、道路混雑の現状を交通量から分析した。日本において、道路料金は基本的には償還主義に基づき決定される。しかし、道路料金の決定において当該道路の交通量のデータも一つの決定要因となるだろう。表 1-2 を見ても分かるように、首都高速道路の料金は交通量の多い昼の時間帯は他の時間帯より相対的に高く設定されてい

る。これは交通量の多い時間帯における渋滞の発生を防ぐために料金を高くし、交通量の抑制を図るという意味合いがあると考えられる。5.1.2 では道路料金制度を議論する上で重要な指標であるといえる交通量に注目し、その変動要因を分析した。

分析方法としては重回帰分析を用いた。モデル式は以下とした。

$$Q_t = \alpha + \beta P_t + \gamma G_t + \delta C_t + \varepsilon GDP_t$$

- ・  $Q_t$  は  $t$  年における全国の高速道路・一般国道における 12 時間平均交通量を表す。国土交通省・道路局、道路交通センサスからデータを入手した。
- ・  $P_t$  は  $t$  年における日本の総人口である。政府統計の総合窓口 e-stat よりデータを入手した。
- ・  $G_t$  は  $t$  年における東京都区部のガソリン小売価格（銘柄符号：7301）の年間平均値である。統計局・政策統括官（統計基準担当）・統計研修所よりデータを入手した。
- ・  $C_t$  は  $t$  年における全国の軽自動車を含む自動車保有台数である。財団法人・自動車検査登録情報協会よりデータを入手した。
- ・  $GDP_t$  は  $t$  年における日本の実質国内総所得である。内閣府・国民経済計算よりデータを入手した。

サンプル数は 16 である。交通量については高速道路の年間交通量など、別のデータを用いることも考えたが、サンプル数がさらに少なくなってしまうため 12 時間平均交通量を用いた。

被説明変数である 12 時間平均交通量と他の説明変数には線形の関係があると想定している。また、交通量と総人口・自動車保有台数・実質国内総生産との間には正の相関があり、ガソリン価格との間には負の相関があると想定した。

推定結果は以下となった。

$$Q_t = -13294.8 + 0.156592P_t - 8.84482G_t + 2.21 \times 10^{-5} C_t - 0.00243GDP_t$$

(-5.81)\*\*\*    (6.21)\*\*\*    (-3.16)\*\*\*    (1.62)    (-2.08)\*

$$\text{補正 } R^2 = 0.995179$$

カッコ内は  $t$  値、\*\*\*は 0.1% 有意、\*は 5% 有意であることを示す。

サンプル数は少ないが、決定係数がほぼ 1 であり、回帰式は変数の関係を十分に説明しているといえる。 $t$  値を見ると、人口、ガソリン価格の変動は交通量に強い影響を与えており、自動車保有台数の変動はほとんど影響を与えていないことが分かる。後者については予想と異なる結果となった。正負の相関については予想した通りとな



った。また、 $t$  値から  $GDP$  の変動はある程度、交通量に影響を与えることが示されたが、予想していた正の相関ではなかった。

結論として重回帰分析から、交通量は主に人口とガソリン価格の影響を受けることが示された。ガソリン価格については暫定税率の問題が話題になっている。今後、道路混雑の軽減という観点からも、この問題が解決されることが望ましいのではないか。

## 5.2 先行研究の分析

混雑料金は社会的限界費用と私的限界費用の差であるため、両費用のモデルを立て、算定を行っていく。算定する上では交通密度を算出することが求められる。林山・坂下 (1993) は以下の恒等式から交通密度を求めている。

$$F = D \cdot S \quad (5.1)$$

$F$  は交通流量 (台/h)、 $D$  は交通密度 (台/km)、 $S$  は走行速度 (km/h) である。また、走行時間  $T$  は、走行速度  $S$  の逆数であり、交通密度  $D$  の関数としている。 $D$  は、平成 11 年度全国道路交通情勢調査の混雑時交通量 (台/h) を混雑時平均速度 (km/h) のデータで割った値である。

自動車 1 台あたりが負担する機会費用を含めた全費用  $C$  は走行時間  $T$  と等しいと考える。また、 $T$  を交通密度  $D$  (台/km) の関数とし、一定の割合で増加するのではなく、指数関数の形で表わされ、逡増的に増加すると仮定する。すなわち平均費用関数 (私的費用関数) は以下の式で表わされる。

$$C = T = a \cdot \exp(\beta D) \quad a > 0, \beta > 0 \quad (5.2)$$

(5.2) 式を  $e^\alpha = a$  とすると、以下の式に変形できる。

$$\ln C = \alpha + \beta D \quad (5.3)$$

(5.3) 式を最小二乗法により求めると推定結果は以下のようになる。

$$\ln C = -3.478 + 0.0028 \cdot D$$

$$(-63.811) \quad *** (9.588) \quad *** \quad \text{補正 } R^2 = 0.429083$$

カッコ内は  $t$  値、\*\*\* は 0.1% 有意であることを示す。

$$\Leftrightarrow C = 0.03086 \cdot \exp(0.0028D) \quad (5.4)$$

データについては国土交通省の平成 11 年度全国道路交通情勢調査 (交通センサス) の東京都特別区・一般国道のものを使用している。なぜ一般国道のデータで算出した課金額を東京 23 区全域における課金額として採用するのかといえば、5.1 節で分析したように一般国道は交通が集中していて混雑が特にひどく、一般国道のデータを用いることで、自動車利用者の支払意思額に近づけると考えているためである。ここで

(5.3)式の左辺は正確には $\ln T$ ,すなわち hour/km 表示であるから、円/km 表示に直す。それには(5.3)式を minute/表示に直して、さらに機会費用（国民所得×総就業時間÷平均乗車人員）を乗じる必要がある。

これにより平均費用関数（私的費用関数）は以下となる。

$$C = 123.082 \cdot \exp(0.0028D) \quad (5.5)$$

次に、価格需要関数（社会的便益関数）は指数関数の形で以下のように表わされる。

$$P = b \cdot \exp(-\gamma \cdot D) \quad (5.6)$$

$b$ は交通密度  $D$  を 0 にしてしまう禁止的価格水準である。交通密度を 0 にしてしまうような事例はないが、ここでは交通量が計画より少なくて問題になった東京湾アクアラインの川崎浮島・木更津金田ルート of 1km あたり 199 円（≒200 円）を用いる。また  $C = P$  で均衡交通密度が得られるとすれば、 $D$  に東京都特別区一般国道における交通密度の平均値(=141.99)を代入し、(5.5)式と(5.6)式を連立することで  $\gamma = 0.00058$  が得られる。

社会的限界費用  $MSC$  は平均費用  $C$  に交通密度  $D$  を掛けたものを交通密度で微分することで得られる。

$$MSC = d(CD)/dD = a(1 + \beta D) \cdot \exp(\beta D) \quad (5.7)$$

最適交通密度  $D^*$  は社会的便益  $P =$  社会的限界費用  $MSC$  となる値であるため、

$$\begin{aligned} (1 + \beta D^*)^{-1} &= (a/b) \cdot \exp\{(\beta + \gamma)D^*\} \\ \Leftrightarrow D^* &\doteq 80.4 \text{ (台/km)} \end{aligned}$$

これにより社会的限界費用と私的限界費用の値が確定し、混雑料金が求まる。(5.6),(5.7)式から最適な混雑料金は以下となる。

$$\begin{aligned} P(= MSC) - C &= 200 \cdot \exp(0.00058 \times 80.4) - 123.082 \cdot \exp(0.0028 \times 80.4) \\ &\doteq 36.2 \text{ (円/km)} \end{aligned}$$

以上から 1km あたり 36.2 円を課金して、1km あたり平均して 61.5 台/km (= 141.9-80.4) の交通密度を減らすことで最適な交通を実現することができる。

なおこの実証研究は大久保・小原・酒井・先間・佐野・放生・宮原 (2006) も行っている。対象とする地域は大阪市である。大阪府における渋滞損失時間は東京に次いで全国第二位であり、主要渋滞ポイントは大阪府に集中している。分析においては平成 17 年度全国交通情勢調査（交通センサス）が作成したデータを用いている。結果としては 1km あたりの最適課金額は 28.00653 (円/km) となっている。また、混雑料金導入前の大阪市における交通密度は 114.2107 (台/km) であるのに対し、導入後の交通密度は 72.26875 (台/km) となり、混雑料金導入によって混雑が解消されるこ

とが分かった。

### 5.3 推定方法と結果

井上・志田・鈴木・山浦（2005）の先行実証研究を基にデータを最新である平成 17 年度全国交通情勢調査から入手し、最適道路料金を算出した。先行研究と同じく、東京都特別区、一般道路の混雑時平均速度・平日ピーク時間交通量のデータを使用して、私的限界費用関数を最小 2 乗法を用いて推定した際の推定結果は以下となった。

$$\ln C = -3.45848 + 0.0028 \cdot D$$

$$(-63.811)^{***} (9.588)^{***} \quad \text{補正 } R^2 = 0.436491$$

カッコ内は  $t$  値、\*\*\*は 0.1% 有意であることを示す。

$$\Leftrightarrow C = 0.03148 \cdot \exp(0.0028D) \quad (5.8)$$

この式の右辺に先行研究のモデルと同様に機会費用（平成 17 年国民所得 ÷ 平成 17 年度総就労時間 × 平均乗車人員）をかけ、単位を hour/km から円/km に直すと以下の式に直せる。

$$C = 124.713 \cdot \exp(0.0028) \quad (5.9)$$

価格費用関数についても(5.6)式のモデルを用い、 $b$ については東京湾アクアラインの川崎浮島・木更津金田ルートの 1km あたり 200 円を使用し、 $\gamma$ は均衡交通密度（データから得られた交通密度の平均値：160.48）を  $P = C$  に代入することで 0.00014 という値が求められる。したがって価格需要関数は以下の式で表わされる。

$$P = 200 \cdot \exp(-0.00014 \cdot D) \quad (5.10)$$

社会的限界費用関数については(5.7)式に得られた数値を代入して以下と表わされる。

$$MSC = 124.713(1 + 0.0028D) \cdot \exp(0.0028D) \quad (5.11)$$

最適交通密度を  $P = MSC$  から求める。(5.10)式と(5.11)式を用いて求めると以下となる。

$$(1 + \beta D^*)^{-1} = \frac{a}{b} \cdot \exp\{(\beta + \gamma)D^*\}$$

$$(1 + 0.0028D^*)^{-1} = \frac{124.713}{200} \exp\{(0.0028 + 0.00014)D^*\}$$

$$\Leftrightarrow D^* \doteq 86.7$$

よって、最適な課金額は以下となる。

$$P(MSC) - C = 200 \cdot \exp(0.00058 \times 86.7) - 123.082 \cdot \exp(0.0028 \times 86.7) \\ \doteq 38.6(\text{円}/\text{km})$$

先行研究の平成 11 年度データにおける最適課金額は 36.2 円であり、2.4 円の上昇となった。これは平成 11 年度以降の道路混雑の悪化を示しているといえる。平成 11 年度の平均交通密度は 141.99 台/km であるのに対し、平成 17 年度の平均交通密度は 160.48 台/km と増加している。また、現在の高速道路の 1km あたりの課金額は 24.6 円となっており、その値よりも高い金額を課すことが望ましいことが分かった。データが東京都特別区一般国道であり、混雑が他の地域と比べ激しい道路を対象にしていることから高い課金額になったのだと考える。

## 第6章 結論

第1章では主に現在の道路料金制度の現状を分析した。日本の現在の有料道路の料金制度は償還主義に基づき、道路の建設費用を賄う目的で設定されている。一方で、欧米等においては混雑の外部費用を賄う形での料金制度（ロードプライシング）が議論されている。シンガポールを始め、経済理論に基づく最適な料金ではないが次善の混雑料金制度を導入し、成果を上げている国も出てきている。日本での導入例はまだほとんどないが、今後、ロードプライシングの議論が進んでいくべきといえる。

第2章では混雑の外部性だけでなく排気ガス等の環境の外部性も考慮した道路料金理論を分析した。Stenman (2005) の理論では得られた最適料金に環境の外部性の要素が含まれたのに対し、竹内 (2001) では環境費用が最適料金には影響を与えないという結論が出た。環境の外部性を考慮した最適料金については、今後、議論を深めていけるといえる。また、竹内 (2001) が最適料金の導出において、単一ルートのみならず複数のルートに焦点を当てたように、道路料金についてのモデルは多様に設定でき、多様な面から議論されるべきであろう。

第3章では、社会的総余剰を最大にする料金設定ではなく、次善の料金設定として、ラムゼイ価格についての分析を行った。山内 (1987) では大型車の課金比率を普通車などと比べて現状より高くすべきという結論が示された。

第4章では、大阪における次善の料金制度（コードンプライシング）の効果を分析した。都心部、都心周辺部、大阪市全域を囲む3通りのコードンラインを設定した上で、3コードンのうち1つのコードンで料金を徴収する場合は、大阪市全域コードンにおいて700円を徴収することが最も高い厚生改善効果をもたらすことが示された。また3コードンで同時に料金を徴収する場合の最適な料金の組合せは都心部コードン、都心周辺部コードンでは200円、大阪市全域コードンでは600円となった。多重コードンプライシングの方が厚生改善も高くなった。一方、高速道路におけるゾーン料金制のもとでは、3コードンのうち1つを境界にし、それぞれのゾーンで異なる料金を徴収する2ゾーンシステムよりも、3コードンを境界にする4ゾーンシステムの方が厚生改善が大きく、消費者余剰の減少も少なくなった。より細分化された料金システムを構築することにより、利用者の損失を抑えつつ、より大きな厚生改善を達成する可能性が示された。

第5章では、東京都23区における最適な混雑料金を算出した。まず、道路混雑の現状分析から、道路種別では一般国道の交通量が増加しており、道路の混雑が推測さ

れることと、東京都の道路混雑は道府県と比較して深刻であることが分かった。実証分析においては、最新である平成 17 年度の交通量、混雑時の車速のデータを用いて算出された混雑料金は 1km あたり 38.6 円となった。先行研究においては平成 11 年度のデータに基づき、1km あたり 36.2 円と算出されており、2.4 円の上昇となった。混雑の程度を示す平均交通密度の値が平成 11 年から平成 17 年にかけて増えており、より高い料金を課して交通量を抑制する必要があることが示された。

高速道路無料化案が昨年来、話題となっているが、混雑の激しい大都市圏ではむしろ料金を現在より高くし、交通量を抑制することが望ましいといえるだろう。交通量の抑制により表 5-1 で明らかとなった多額の渋滞損失額を減らすことができる。第 4 章での大阪市におけるコードプライシングの分析で示された料金案は、どれも現行の料金(700 円)と等しいかそれ以上の金額となった。ロードプライシングの潮流に倣い、今後、新たな料金制度が考案されていくことが望ましいが、それが実現されるためにはいくつかの課題があるだろう。例えば、新しい料金システムの整備にかかる費用をどのように捻出するか、あるいは新しい料金制度に対して国民の理解を得ることができるか、といった課題が挙げられる。こうした課題を克服し、今後、道路利用者にとって、より利便性の高い道路交通が実現することを期待する。

## 参考文献

- 井上史佳・志田原瑛・鈴木裕太・山浦巧 (2005),「大都市交通政策－東京都 23 区における混雑料金の導入」慶應義塾大学 跡田直澄研究会 都市交通政策 A 分会.
- 大久保歩・小原育世・酒井紀孝・先間えり奈・佐野星一郎・放生絢子・宮原雄一 (2006),「社会的損失解消のための交通需要マネジメント」同志社大学 伊多波良雄研究会 WEST 研究発表会 2006.
- 竹内健蔵 (2001),「環境制約下における都市高速道路料金格差の経済分析」会計検査研究 No23,(2001.3).
- 竹内健蔵 (2008),「交通経済学入門」有斐閣アルマ.
- 林山泰久・坂下昇 (1993),「混雑料金導入による混雑緩和効果に関する研究」高速道路と自動車 Vol.36(1993 年 10 月) p27～p38 高速道路調査会.
- 古川浩太郎 (2009),「高速道路の通行料金制度－歴史と現状－」国土交通調査室.
- 文世一 (2005),「交通混雑の理論と政策 時間・都市・ネットワーク」東洋経済新社.
- 山内弘隆 (2002),「交通経済学」有斐閣アルマ.
- 山内弘隆 (1987),「道路の車種別費用負担について－高速道路料金へのラムゼイ価格の適用」「高速道路と自動車」第 30 巻第 9 号.
- Lindsey C Robin, Erik T. Verhoef (2000), “Traffic Congestion and Congestion Pricing” in Button, K.J. and D.A. Hensher (eds.), *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*, Oxford: Elsevier Science, pp.77-105.
- Ramsey, F.P. (1927), “A Contribution to the Theory of Taxation,” *Economic Journal*, Vol.71.
- Se-il Mun, Masashi Okushima (2004), “Second-Best Congestion Pricing in Urban Space: Cordon Pricing and its Alternatives” *Review of Network Economics*, Vol 3, pp.401-414.
- Stenman Olof Johansson (2005), “Optimal environmental road pricing” *Economic Letters*, Elsevier, vol. 90(2), pages 225-229.
- 高速道路機構 <http://www.jehdra.go.jp/index.html>
- 厚生労働省：毎月勤労統計調査 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/30-1.html>
- 国土交通省－道路局－<http://www.mlit.go.jp/road/index.html>
- 財団法人・自動車検査登録情報協会 <http://www.airia.or.jp/index.php>
- 首都高速道路株式会社 <http://www.shutoko.jp/>

総務省・統計局生活統計官(統計基準担当)・統計研究 <http://www.stat.go.jp/index.htm>

東京都の統計 <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/>

内閣府・国民経済計算 <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>

NEXCO 中日本 <http://www.c-nexco.co.jp/contact/faq/q-a-1.html>



## あとがき

昨春、ニュースでよく取り上げられていた高速道路無料化の話題から道路料金について純粹に関心をもったため、卒業論文において道路料金をテーマにした。私はその時点で道路料金について疎かったのだが、調べてみると道路料金は需給一致の観点から決定されるものではないと分かり、経済学的な分析が難しいかもしれないと思った。また、日本においては、どの高速道路も有料であるが、アメリカなどではほとんど無料であり、道路料金に関する参考文献は少ないと思っていた。しかし、探してみると数多くの経済学的な文献があり、研究する上でとても参考になった。

卒業論文を書くことを通じて、物事を正しく理解しようとする意識を持つことが大切だと改めて感じるようになった。この論文のテーマに沿った例でいえば、高速道路を無料化されると言われると、直感的には私たち道路利用者にとってメリットだと捉えてしまう。しかし、実際には、交通量が増加することで混雑が悪化し、道路が快適に利用できなくなるというデメリットがある。また、より深く考えると、料金収入が無くなることにより、道路整備等の財源はどうなるのか、という疑問が湧く。道路料金とは違う形で道路利用者が負担することになるとすれば、高速道路の無料化は利用者にとってメリットが無いのである。物事を正しく理解しようとする意識を今後も、もっていきたい。

最後に、卒業論文を書く上では、指導教官である石橋先生、研究会同期や研究会の先輩、後輩にお世話になった。石橋先生には二年間、親身に指導をしていただき、この論文に対しても細かい添削やアドバイスをいただいた。この場を借りて感謝の意を表したい。