

# 都市交通の環境負荷制御システムに関する基礎的研究

研究代表者 学習院大学 経済学部教授 岩田規久男

A Development of the Urban Traffic System for Improvement of Environment Quality

Kikuo Iwata, *Research Director of CREST*

Dep. of Economics, Gakushuin University

## 1. 研究の概要

本研究の目的は、経済的インセンティブ手段と新しい交通システムの導入とを結合することによって、交通に起因する混雑と汚染を削減するような都市交通システムを開発することにある。経済的インセンティブ手段とは、混雑税や汚染排出税などによって、混雑や汚染による外部不経済費用を汚染者に負担させようとするものである。他方、電気自動車を用いた新しい交通システムは、汚染排出物をもっとも効果的に削減することを可能にする。しかし、電気自動車は高コストのために現在ほとんど普及していない。したがって、それを普及させるためには何らかの経済的インセンティブ手段が必要である。そこで、本研究では、電気自動車の開発とともに、次のような問題を研究する。

(1)経済的インセンティブ手段の導入によって都市交通システムと土地利用はどのように変化するか、(2)その結果、交通に起因する混雑と汚染及びそれらによる外部不経済費用はどれだけ削減されるか。これらの研究を通して最終的には、最適な交通政策を提案する。

本研究は、「環境低負荷型の交通システムを研究するグループ」と「電気自動車を開発するグループ」とに分かれている。前者はさらに、「マクロ的、ないしは部分均衡論的に研究するグループ」と「首都圏の交通システムに注目して分析するグループ」とに分かれる。以下、グループごとにこれまでの中間成果を報告する。

## 2. 現在までの中間成果報告

### 2-1 成果内容の要約

#### I 交通手段・自動車車種選択グループ

本研究グループは、経済的インセンティブ手段の導入は、交通・輸送手段（鉄道、自動車、船舶）や自動車の車種選択等の変化を通じて、汚染物質の排出量をどれだけ削減し、どのような経済的影響をもたらすかを分析する。これまでの研究は、ミクロ的な研究とマクロ的な研究に分けられる。

(1)マクロ的な研究は、①応用一般均衡環境経済モデルと②応用一般均衡交通モデルとから構成される。①では、2010年以降の日本のCO<sub>2</sub>排出量を1990年の6%削減のレベルに安定化させるための炭素税の導入が、産業構造の変化を通じて、貨物輸送や旅客輸送に及ぼす影響を、一般均衡のフレームワークを用いて分析する。

他方、②応用一般均衡交通モデルは、運輸産業や自動車関連産業の利潤最大化行動、及び家計の自動車トリップ消費の効用最大化行動を内生化し、資本ストックの蓄積だけでなく、自動車保有台数の増加もモデルから内生的に求められるように構築されている。特に、低公害車の普及に係わるモデル化では、低公害車が普及していくことに伴ってその価格が

低下していくという、低公害車生産技術の習熟効果をモデル化することにより、その普及政策の評価が可能になっている。

自動車燃料税増徴策と自動車重量税増徴策および低公害車普及政策のそれぞれの望ましさを、家計の効用増加の大きさを基準に評価した。これらの政策を実施した場合、外部不経済が削減されることによって、すべての家計の効用が増大する効果が生じる反面、交通利用に伴う私的便益に対しては負の影響がもたらされる。今年度までの研究では、静学分析の枠組みでは、自動車燃料税増徴策が、動学分析の枠組みでは、自動車重量税増徴策が、それぞれ最も効率的であるとの結論が得られた。また、低公害車普及政策については、補助金を支給することが有効な政策となりうることが示された。

(2)ミクロ的な研究では、中古車市場を分析することにより、炭素税の導入が、車種選択（燃費の悪い車から燃費のよい車への選択）の変化や車の需要の減少を通して、汚染物質の排出量削減効果を分析する。

新車および中古車のデータ（車の仕様、価格、中古車の走行距離など）を整備し、分析のためのデータベースを構築した。このデータベースを使って、中古車の価格関数を推計した。推定結果は、

$$\log(\text{価格}) = -6.089328 - 0.002754 \log(\text{走行km}) + 1.213292 \log(\text{排気量}) - 0.000779(\text{燃費})$$

(-124.03)
(-1.71)
(191.44)
(-5.32)

$R^2 = 0.8376, N = 7585$

である。中古価格は、車種固有の特徴である排気量に対しては(+)、燃費に対しては(-)となっており、燃費と排気量の逆相関の関係が存在している。また、中古車の特徴である走行距離に関しては、(-)となっている。

## II 鉄道・道路混雑グループ

鉄道と首都高速道路を対象に、鉄道と道路交通の混雑費用を推計した。今後は、この推計を利用して、鉄道や高速道路の通行車両に混雑料金を課すことによって、通行量がどの程度変化し、その結果、環境負荷がどのように変化するかを検討する。

### ①自動車の需要関数と速度関数の理論的検討

自動車の混雑費用を需要関数と速度関数を直接推計することによって算出した。高速道路の通過自動車台数は高速道路の混雑率に依存すると考えて、次式のように、高速道路のスピード（S）は時間当たりの走行台数（N）と高速道路のキャパシティ（K）によって決定されると仮定する。

$$\text{速度関数： } S = F(N, K) \quad (1)$$

当該区間の通過自動車需要は、次式のように、その区間のスピード（S）、金銭的費用（料金+ガソリン代；P）とその他の経済要因（y）によって決まると仮定する。

$$\text{需要関数： } N^D = D(P, S, y, \dots) = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \left( P + \frac{\hat{\alpha}_2}{\hat{\alpha}_1} S \right) + \hat{\alpha}_3 y + \dots \quad (2)$$

その結果、混雑による外部費用（金銭評価）は  $\frac{\hat{\alpha}_2}{\hat{\alpha}_1} \frac{dS}{dN} N$  となる。したがって、(1)と

(2)式を回帰方程式を用いて推計することによって混雑費用を計算することができる。

## ② 自動車の混雑費用推計の実証分析

①で理論的に分析した自動車の混雑費用を、首都高速道路を対象に実証分析した。具体的には、供給関数については、『首都高速道路通過台数データ』の時間別データをもとに速度関数を推計した。需要関数は、『首都高速道路交通起終点調査』のランプ間交通量と、『首都高速道路通過台数データ』の区間別スピードをもとに車両種別に推計した。現段階では首都高速道路総ランプの約2/3のデータを基に、混雑費用を推定した。実証結果では、混雑費用が有意に検出され、普通乗用車で一回（平均17キロメートル走行）当たり約300円の混雑費用が発生していることが判明した。

### III 土地利用・道路環境・法制グループ

本研究では、首都圏において、ロード・プライシング(以下RP)によって汚染排出税と混雑税を課した場合に、首都圏にもたらされる環境上の便益と費用とを比較する。さらに、RPの実現の為の政治的、法制的な条件も明らかにする。

本研究は次の3ブロックから成り立っている。

第1に、RPの方法によって汚染排出税および混雑税をかけたとき、どれだけ有害物質の排出が削減されるかを、長期・短期にわたって測定する。具体的には次の分析を行う。

(1) 交通需要モデルによって、これらの課金がどこからどこへの交通量をどれだけ変化させるかを分析する(道路環境G)。(2) 上の交通需要モデルの前提になっている、首都圏に於ける土地利用状況自体が、交通費の変化によってどのような影響を受けるかを分析する(土地利用G)。(3) この結果を5年ごとに交通需要モデルにフィードバックさせることによって、20年間に渡ってRPが最終的にどれだけ排気ガスを削減するかを分析する(土地利用G・道路環境G)。(4) 様々な混雑度のもとで、交通量の増加による排出量への影響を分析する(道路環境G)。

第2に、上の測定をもとに、汚染排出税や混雑税の課金が及ぼす全体的な費用便益効果を分析する。その際には、そのような課金が引き起こす生産の縮小効果を測定し、さらに混雑料金をかけることによって可能になる都心の容積率規制の緩和による生産力増大効果をも測定する。具体的には、まず、自動車の排気ガスの外部不経済効果の金銭換算を行う(道路環境グループ・および八田・久米グループ)。つぎに、汚染排出税と混雑税が都心の土地利用に及ぼす影響を、容積率規制がある場合と、緩和される場合について分析する〔土地利用グループ〕。次に、両方の場合について、都心での就業者密度の増加が引き起こす生産性の増加を分析する。〔八田〕

第3に、汚染排出税や混雑税、あるいは容積率の緩和等の実現には、政治的・法律的に、様々な困難が予想される。海外の経験をも参考に、これらの実現を可能にする政治的・法律的条件が何かを分析する。

現在までの成果内容は次のとおりである。

(1)交通需要予測モデルの開発 RPの課金が道路交通量(発生・集中交通量、分布交通量、機関分担、および配分交通量)におよぼす影響を評価するモデルを作成し、茨城南部を対象として効果を分析した。(2)土地利用・都市構造予測モデルの開発 東京大都市圏(茨城

南部、埼玉、千葉、東京及び神奈川の計 131 ゾーン) を対象として交通量の変化に対応した住宅立地・中枢型業務立地・近隣型業務の土地利用予測モジュールモデルを完成した。(3)道路環境評価モデルの開発 自動車交通による健康被害への影響を、これまではヘドニック法やCVM法などの標準的手法によって測定してきた。(4)都心の集積の利益の測定 東京都における主要業務地区への近接性の利益と集積の利益をオフィス賃料関数を用いて測定した。(5)法制分析 RPに係る料金を既存の自動車保有税と一体的に徴収する料金徴収制度を設計した。さらに、海外調査をもとに、RP導入のための社会的合意形成のための方策を分析した。

#### IV 電気自動車グループ

本グループは電気自動車普及のために、その高性能化、高機能化をすることを目的としている。この目的のもとで、本研究では新たに1輪の大きな車輪を2つの小さな車輪で置き換えるタンデムホイール式サスペンション(以下TWSと略す)と称する新たな構造体を創案した。このシステムにより、電気自動車は利用者が有効に使える空間を大幅に拡大することが出来ると同時に、コーナリング特性の大幅な向上や乗り心地性能の格段の強化を期待することが出来る。本研究ではこのシステムを設計し、実車に組み込むことにより、その可能性を確認することを主なねらいとしていた。現在までの中間成果は以下の通りである。

TWSの概念設計ではまず基本的なサスペンションシステムとしてダブルウィッシュボーン式を採用することとした。これは、接地性、走行安定性を第1義に考慮したものである。その上で、2つの小径の車輪を互いに関連づけるシステムとして、サスペンションの油圧システムを互いに細管で結合し、片方の車輪への入力をもう一方の車輪で受け止める構造を創案した。この方式により、大きな重量増の犠牲を払うことなく、乗り心地特性の良いサスペンションを実現することが期待される。

TWSの基本設計の結果を受けて、これを搭載して効果を確認するための試験用台車の設計を行った。ここでは駆動方式としてインホイールドライブ方式及び床下に電池を収納するバッテリービルトイン式フレームを利用し、さらにTWSを組み合わせた車体の実現を目的とした。これらの技術を組み合わせた車体の大きな特徴は、これまでの車に比べて、有効に使うことが出来る空間が大幅に拡大できることと、広く、低い床面を構成できること、極めて低重心の車体の実現できることである。この新たな機能が有効に生かせる車として、多目的な乗用車両が適当と判断し、この様な車両を想定した台車の設計を行った。本車両は前2軸と最後尾の車軸を操舵可能な構造としてある。

試験用台車の試作はイタリアの自動車開発専門会社のIDEA社に委託した。この車に必要な電気関係の部品は日本で開発した。製作期間は1999年11月までの15か月間で、最後の3か月は日本からスタッフを派遣して電気関係の部品を組み付け、調整と車体全体のテストを行った。

2000年2月22日までの間に都合6回のテストを実施し、ほぼ所期の性能を得ることに成功した。

さらに、TWS の乗り心地性能の有効性を確認するため、機構解析言語 DADS を用いてシミュレーションモデルを作成、解析を加えた。結果として、TWS はピッチングやバウンスといった低周波域での振動を大幅に低減する効果があり、乗り心地性能の向上に大変効果があることが認められた。

## 2-2 既発表論文等の記載

### (1) (提出先) 麗澤大学国際研究センター

(論文名) 日引聡「環境政策とその経済への影響」

応用一般均衡モデルを用いて、2010 年以降の日本の CO<sub>2</sub> 排出量を 1990 年の 6% 削減のレベルに安定化させるための炭素税の導入と税収還流方法の違いが、経済および輸送部門(旅客輸送、貨物輸送)にどのように異なった影響を及ぼすかを分析している。税収を政府支出増加に使うと、2010 年において課すべき炭素税額は 25,000/炭素トン、実質 GDP は 0.05% 減少し、旅客輸送と貨物輸送の生産量は、それぞれ、5.0%、4.2% 減少する。所得税基礎控除の引き上げによる税還付に使うと、税額は 26,000 円/炭素トン、実質 GDP は 0.2% 減少し、旅客輸送と貨物輸送の生産量は、それぞれ、4.3%、3.9% 減少する。財政赤字を削減するならば、税額は 27,000 円/炭素トン、実質 GDP は 0.15% 増加し、旅客輸送と貨物輸送の生産量は、それぞれ、4.9%、3.7% 減少する。

### (2) (提出先) 第 19 回交通工学研究発表会論文報告集(pp. 145-148)

(論文名) 武藤慎一 「低公害車普及政策評価のための動学的応用一般均衡モデルの開発」  
概要は、上記 2-1、I(1)の②を参照。

### (3) (提出先) 『季刊住宅土地経済』第 34 号、1999 年 10 月号。

(論文名) 山崎福寿・浅田義久、「鉄道の混雑から発生する社会的費用の計測と最適運賃について」

鉄道サービスの混雑現象による社会的費用を付け値地代と交通費の関係から理論的に導出した。また、実際に首都圏の鉄道を対象として、社会的費用を計測し、その混雑解消のための最適運賃を計測した。

### (4)(提出先) 『都市住宅学』28 号。

(論文名) 久米良昭・福井秀夫 (1999) 「混雑料金型ロードプライシングと都市住宅政策」

北欧における R P 導入の成功及び失敗の要因は、道路整備財源の地域別配分に係る是正措置の有無にある。その政策効果を高めるためには、さらに容積率制限の撤廃、鉄道混雑料金制度の導入、土地課税及び収用・再開発法政の適正化を併せて講じる必要がある。

### (5)(提出先) 『季刊住宅土地経済』夏号。

(論文名) 八田達夫・唐渡広志 (1999) 「都心のオフィス賃料と集積の利益」

都心では、フェイス・トゥ・フェイス・コンタクトが容易になるため、集積の経済と呼ばれる便益が発生する。高集積地点では、多くの企業が立地を求め、その結果、オフィス賃料水準は相対的に高くなる。就業者密度を変数に含む賃料関数を推定することによって、生産関数を測定した。これにより、例えば渋谷から、賃料が倍の大手町へのオフィス移転に

よって、一日約 40 分の時間節約ができていることがわかる。

電気自動車グループは、特許取得の関係から論文発表は控えてきた。特許の案件がまとまり次第、広く発表を行う。

### 3. 今後の研究の方向

#### I 交通手段・車種選択グループ

車とそれ以外の交通手段（鉄道や船舶輸送）の選択を分析するための計量モデルを構築し、環境税の導入によるモーダルシフトの効果と汚染物質削減効果について分析する。また、動学的応用一般均衡交通モデルを精緻化する。現在のモデルは、外部不経済削減政策の実施が自動車利用抑制を通じて、社会経済に与える影響を分析することに着目したため、自動車の乗り換え行動や自動車燃料種別排出量に応じた政策の議論等には対応できない部分があった。しかし、車種別あるいは燃料種別に政策を課すという政策の方が現実的であり、そのためのモデルの詳細化、および計算システムの開発を行うことが今後の課題である。

ミクロ的研究である、車種選択と車需要に関する研究については、(1) より多くの変数（自動車の属性変数など）を使い、新車および中古車の価格関数をより厳密に推計し、各属性変数の金銭評価について分析する。(2) 上の結果を拡張し、自動車選択の決定要因についての計量モデルを構築し、炭素税等の導入が車の選択に及ぼす影響について分析する。

#### II 鉄道・道路混雑グループ

これまでの推計結果を用いて、混雑料金を課した場合の混雑率低下による自動車平均速度の変化と走行台数の変化を試算し、環境汚染物質排出量の変化を予測する。また鉄道では、混雑の緩和によってもたらされる輸送費の低下や都市構造の変化が、電力消費の節減を通じて、どの程度 CO<sub>2</sub> の排出量に影響を及ぼすかについてのモデルを検討する。

#### III 土地利用・道路環境・法制グループ

(1)交通予測モデルを東京大都市圏全体へ拡張する。(2)立地モデルの予測モジュールを統合する。(3)交通量モデルと立地モデルを統合し動学的な予測を行う。(4)NO<sub>x</sub>やSPMによる健康被害等を、医療費の増大によって計測する新たな手法を開発する。(5)ガソリン税および高速道路通行料から、炭素税+混雑税への移行の地域間所得再分配に及ぼす影響を計量的に分析する。

#### IV 電気自動車グループ

これまでに開発した試験用台車をもとに、これにボディーを架装し、実走行が可能な状態に作り上げる。また、ドライブシステムをさらに改良して、より高回転、高トルクが可能で、かつパワーウエイトレシオの大きいシステムを開発する。さらに、シミュレーションによる最適セッティングの模索、ステアリング系の改良、コントロールシステムの改良をした上で、総合試験を行う。