

近畿地方旅客部門における CO₂ 排出削減のための 経済的手段の効果について

吉川直樹¹・島田幸司²・天野耕二³

¹学生会員 立命館大学大学院理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

²正会員 博(工) 立命館大学教授 経済学部経済学科(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

³正会員 工博 立命館大学教授 理工学部環境システム工学科(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

本研究では、旅客運輸部門の CO₂ 排出削減のための複数の経済的手段の効果について、交通経済・工学モデルを用い、近畿地方を対象として施策の組み合わせ効果も含め分析を行った。その結果、CO₂ 排出削減の面では、取得保有税増税より炭素税導入のほうが効果は大きいこと、税収による鉄道の利用促進は、CO₂ 排出削減効果とともに効用水準を増加させること、都市域流入交通へのロードプライシングにより、周辺部走行量は増加するが都市部では減少し、地域全体では CO₂ 排出削減効果を示すこと、消費者効用水準を高めつつ CO₂ 排出を相当程度削減するには、炭素税・ロードプライシングの導入とその収入による鉄道利用促進策が有効であることが明らかとなった。

Key words: carbon dioxide, road transport, car-related taxation, carbon tax, road pricing

1. はじめに

京都議定書が発効し、日本は第 1 約束期間(2008～2012 年)に 90 年比-6%の温室効果ガスの排出削減義務が生じることとなった。政府が 2005 年 4 月に閣議決定した京都議定書目標達成計画では、運輸部門で 90 年比+15.1%が目標値として示された。しかし、2003 年度における運輸部門での CO₂ 排出量は 90 年比+19.8%となっており、目標達成には追加的な対策が求められている。

運輸部門に関連した追加対策としては、既存税制のグリーン化に加え、現在環境税導入の検討も本格化している。本研究で着目した旅客部門に関しては、景気低迷に関わらず排出量の伸びが著しい。特に都市部の交通渋滞に改善の兆しは見られず、地域特性を踏まえたロードプライシングなどの施策を展開する必要がある。

本研究では、運輸部門のうち旅客部門における経済的手段の効果について、施策の組み合わせ効果も含め分析する。なお地域としては、大量の旅客交通量を有するいくつかの大都市域が比較的に独立した位置に存在し、ロードプライシング等の地域施策の導入が想定される近畿地方を対象とする。

2. 分析の方法

本研究では、世帯の自動車保有・使用行動と各種税制や事業者(自動車メーカー、鉄道)の行動の間の構造を表現したモデルである、谷下・鹿島(2002)が開発した交通経済・工学モデルである CHUO モデル¹⁾をベースに都市部でのロードプライシングが表現できるよう修正を加えて分析を行う。対象地域は近畿地方全域とし、それを都市域(京都市・大阪市・神戸市)とそれ以外の周辺域の 2 地域に分割する(表-1)。旅客部門の各種施策による世帯の行動変化と、それに付随する CO₂ 排出削減効果を地域別・シナリオ別に分析する。

(1) CHUO モデルの詳細

このモデルは、消費によって自らの効用を最大化しようとする世帯、自動車の供給を通して利潤を最大化しようとする自動車メーカー、料金収入を用いて輸送サービスを提供する鉄道事業者、道路整備を行うとともに税制の変更によって世帯や企業の行動を間接的に変化させることのできる政府、という 4 つの主体の行動間の関係を記述したものである(図 1)。

a) 世帯の行動

まず世帯の所得は、表 2 に示すとおり都市域で高

表-1 対象地域の概要(2002年度)

	都市域	周辺域
該当市町村	京都市 大阪市 神戸市	近畿地方(2府4県)のうち左記以外の市町村
面積(km ²)	1,381	25,789
人口(千人)	5,350	15,270
乗用車台数(千台)	1,520	5,917
鉄道営業延長(km)	699	2,508

く周辺域で低く設定し、各地域内では一定と仮定する。各世帯は、初期の乗用車の保有状況を所与として、所得と可処分時間の制約下で効用を最大化するように、各期(1期を3年とする)の乗用車の保有台数(0・1・2台)・保有車種・車令および乗用車と鉄道それぞれによる利用距離を選択するものとする。そのうち、乗用車は、地域ごとの走行量(域内走行か域外への走行か)についても選択を行うものとする。

世帯が得られる効用は乗用車を保有すること自体の効用(保有効用)と乗用車・鉄道利用による効用(使用効用)の和からなるものとする。

まず、使用効用は、予算を所与として決定される。これを乗用車走行・鉄道利用・その他の財の各消費量によるCES型やロジット型の4段階の効用関数で表現している(図-2)。

第1段階では交通とその他の財の消費量が決定される。第2段階では交通への支出額をもとに鉄道と乗用車の利用量が決められる。第3段階は、本研究において新たに加えたものである。この段階では乗用車の総利用距離を都市部での走行と周辺域走行に配分する。さらに、2台保有世帯については、それぞれの走行距離を、保有する2台の乗用車にどれだけ割り振るかを第4段階において決定する。

1台保有世帯の場合は、第1から第3段階までの関数に基づいて行動する。第k段階の効用最大化行動は次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{Max } X_{k-1,1} &= (a_{k,1}^{1/\sigma_k} X_{k,1}^{1-1/\sigma_k} + a_{k,2}^{1/\sigma_k} X_{i,2}^{1-1/\sigma_k})^{\sigma_k/(\sigma_k-1)} \\ \text{st. } C_{k,1} X_{k,1} + C_{k,2} X_{k,2} &= I_{k-1} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

$X_{k,i}$: 財 k,i の消費量

k : 世帯行動の段階(1,2,3), i : 財の種類(1,2)

$C_{k,i}$: 財 k,i の一般化費用(kmあたり貨幣的費用 + kmあたり移動時間×時間費用)

I_{k-1} : 第k段階における2財の合計支出額

$a_{k,i}$ k : パラメータ

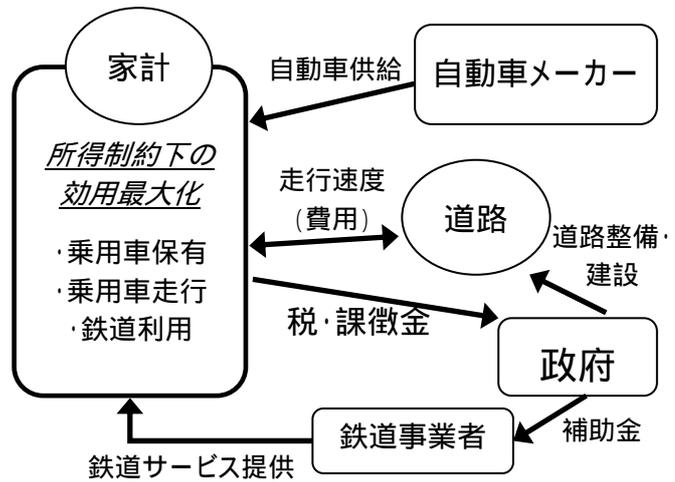


図-1 モデルの構造

この最適化問題を、支出額を I とおいて最下位から解いていくと、各段階の消費量は

$$X_{k,i} = \frac{a_{k,i}}{C_{2,i}^{\sigma_k}} (a_{k,1} C_{k,1}^{1-\sigma_k} + a_{k,2} C_{k,2}^{1-\sigma_k}) I_{k-1} \quad (2)$$

と表され、その上位の財1単位あたりの費用は

$$C_{k-1,1} = I_{k-1} / X_{k-1,1} \quad (3)$$

であることから、

$$C_{k-1,1} = (a_{k,1} C_{k,1}^{1-\sigma_k} + a_{k,2} C_{k,2}^{1-\sigma_k})^{1-(1-\sigma_k)} \quad (4)$$

となる。この費用の値を用いて上位の最大化問題を解いていく。第1段階の支出額 I_0 は、総所得 FI (所得+可処分時間×時間費用) から自動車維持費用 D_n を除いた費用

$$I_0 = FI - D_n \quad (5)$$

であり、この段階の結果から下位の支出額が求まり、各財の消費量が確定する。また、使用効用 VU は第1段階の最適化問題の目的関数の値に等しく、

$$VU = X_{0,1} \quad (6)$$

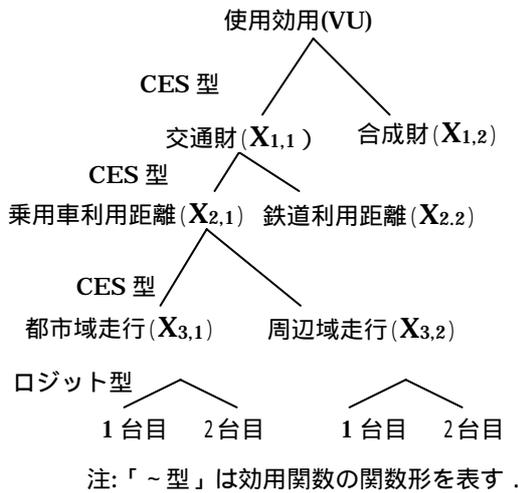
となる。

なお、乗用車2台保有世帯は、自動車移動距離を決定したとき、これを2台に分配する必要があるが、 j 台目の走行量比率 Pa_j を次のロジットモデルで定式化する。

$$Pa_j = \frac{\exp(VO_j - Ca_j)}{\sum_{j=1}^2 \exp(VO_j - Ca_j)} \quad (7)$$

VO_j : j 台目の保有効用(後述)

Ca_j : j 台目の乗用車使用の一般化費用



注:「~型」は効用関数の関数形を表す。
図-2 世帯の消費行動(効用関数)

これによって乗用車利用1単位あたりの費用が導出され、これが $C_{3,1}$ 、 $C_{3,2}$ となる。

$$C_{3,i} = \ln\left(\sum_{j=1}^2 \exp(Ca_j)\right) \quad (8)$$

j 台保有する消費者が得る効用 V_j は、車種別に設定される定数である保有効用 VO と使用効用 VU の合計で表される。

$$V_j = VU_j + VO_j + \eta \quad (9)$$

このとき、誤差項 η がガンベル分布で表されるとすると、 j 台保有する確率 P_j は

$$P_j = \frac{\exp(-V_j)}{\sum_{j=0}^2 \exp(-V_j)} \quad (10)$$

：パラメータとなる。

b) 自動車メーカー

自動車メーカー(車種別に代表的企業を想定)は、前期の売上高の一定割合(4%と仮定)を研究開発投資 D に充てると仮定する。投資の結果、単体燃費 e が向上した新車を当期に供給する。自動車メーカーは独占的競争下(中古車市場との競争がある)での利潤最大化行動をとるものとする。長期均衡においては独占的競争企業の超過利潤は0となるので、次の2条件が導出される。

$$p = AC = (C(q) + D)/q \quad (11)$$

$$MR(q) = MC(q) \quad (12)$$

p : 自動車課税前価格, AC : 平均費用, q : 生産量
 $C(q)$: 生産費用関数, D : 燃費改善投資額,
 $MR(q)$: 限界収入, $MC(q)$: 限界費用
 生産費用関数は CHUO モデルと同一の以下の式で表す。

$$C(q) = q \cdot (\alpha \exp(-\beta \cdot q) + r) \quad (13)$$

投資 D と単体燃費 e_t の関係も CHUO モデルに従い以下の式で表現する。

$$e_t = e_{t-1} \cdot \delta (1 + \varepsilon \ln(D)) \quad (14)$$

e_{t-1} : 1期前の単体燃費

、 δ 、 ε 、 r 、 α 、 β : 車種ごとに設定されたパラメータ
 乗用車の消費者価格 pc は以下のとおりとなる。

$$pc = (1 + tn)p \quad (15)$$

tn : 自動車取得税率

以上の消費者行動と自動車メーカーの行動の結果、市場が均衡し、生産者価格 p 、生産量 q の組み合わせが決まる。

c) 道路サービス水準

乗用車の平均速度 S (km/h)は、道路面積 R と自動車総走行量 Q を用いて次のように表現する。

$$S = 43.15 - 8.36 \cdot 10^{-8} \frac{Q}{R} \quad (16)$$

次期の道路面積(ストック) R_{t+1} は、道路特定財源、財政投融资、一般財源の合計である道路投資額 TR_t から維持管理費を引いた額が新規の投資に充てられるものとする。

$$R_{t+1} = R_t + (TR_t - CR \cdot R_t) / CRC \quad (17)$$

CR : 道路の維持管理単価

CRC : 1km²あたり道路建設費

d) 鉄道事業者

鉄道事業者は、政府からの補助金のない限り、現行の運賃水準を維持したまま鉄道輸送サービスを提供するものと仮定する。 t 期の運賃水準 TF_t は次式のように表される。

$$TF_t = 15.1 - RS_t / RU_t \quad (18)$$

TF_t : 鉄道運賃水準(円/人キロ), RS_t : 補助金額(円), RU_t : 鉄道輸送人キロ($X_{2,2}$ の全世帯合計)
 事業者は、当期の料金収入を全て次期の運行費用に充当するものとする。

すなわち、次期の列車キロ F_{t+1} は、

$$C(F_{t+1}) = 15.1 \cdot RU_t \quad (19)$$

$C(F)$: 運行費用関数

となるように決定される。

なお、鉄道事業者は対象地域(近畿)に1社とし、全収入を都市域に0.55、周辺域に0.45の割合で配分すると仮定した。

このモデルでは地域の別なく列車キロ当たりの運行費用は等しいとし、以下の式で与える。

$$C(F_t) = 1.8 \cdot 10^{-5} F_t^2 + 5.5 \cdot 10^{10} \quad (20)$$

表-2 推計の主要な前提条件

前提条件		初期 (’87-’89年)	最新期 (’99-’01年)	目標期 (’11-’13年)
世帯数 (千世帯)	都市	2,010	2,340	2,377
	周辺	4,663	5,566	5,751
所得 (千円/月)	都市	526	614	652
	周辺	449	590	639
ガソリン本体価格(円/l)		85	52	52

表-3 推計の初期値(’87年~’89年)

	乗用車台数(千台)	道路面積(km ²)	小型ガソリン車単体燃費(km/l)
都市	1,009	85	14.3
周辺	3,245	458	

e) CO₂排出量

乗用車の走行燃費 er (km/l)は,単体燃費 e (10・15モード燃費)と速度 S (km/h)を用いて次式で与えた.

$$er = 60.97(356.9/S - 1.706S + 0.0128S^2 + 105.2)e, \quad (21)$$

走行量(km)を走行燃費(km/l)で除して燃料消費量を求め,CO₂排出係数(ガソリン 2.35kg-CO₂/l,軽油 2.64kg-CO₂/l)を乗ずることにより排出量が算出される.

(2)推計の前提条件

a) モデルの入力データ

本推計にあたっては,世帯数や所得・ガソリン本体価格のデータは数値を外生的に与え(表-2),乗用車台数・道路面積²⁾・車種別単体燃費等については初期値を設定した上で,シミュレーションを行った.所得データは家計調査年報³⁾における勤労者世帯の所得を,乗用車台数は自動車保有車両数⁴⁾,単体燃費は自動車ガイドブック⁵⁾から代表車種の値をとった(表-3).

b) 設定した政策・シナリオ

シミュレーションでは,表-4に示した4種類の経済的施策を設定した.

モデル上では,炭素税は燃料課税によって自動車の走行費用を上昇させ,自動車走行の需要を抑制するとともに,燃費のよい小型の乗用車へのシフトを促す.取得保有税の増税は,自動車の消費者価格を上昇させ,自動車保有台数の増加を抑制する効果をもつ.道路財源の鉄道補助金への転用は,鉄道利用の一般化費用を減少させ,鉄道利用者の増加と自動車

表-4 設定した施策

施策	概要
環境税の導入	炭素含有量に応じた新たな燃料課税(2.8, 5.5, 8.2 千円/t-CO ₂)
取得保有税の増税	乗用車の取得・保有に関する税の増税(現行税率の 1.1, 1.2, 1.3 倍)
ロードプライシング	周辺域から都市域への流入車に対し課金(250, 500, 750 円/台・回)
鉄道の運賃補助	税収の一定部分を鉄道運賃へ補助(現特定財源の 10, 20, 30%を転用)

表-5 設定したシナリオ

シナリオ	概要
シナリオ 1	環境税(5.5 千円/t-CO ₂) + 環境税の税収総額で鉄道運賃への補助
シナリオ 2	環境税(5.5 千円/t-CO ₂) + 1台・回あたり 500 円のロードプライシング
シナリオ 3	環境税(5.5 千円/t-CO ₂) + 1台・回あたり 500 円のロードプライシング + 収入総額による鉄道運賃への補助
シナリオ 4	環境税(5.5 千円/t-CO ₂) + 同額の取得保有課税の減税

利用の削減につながりうる.都心部へのロードプライシングは,地方世帯の都心部での km あたり走行費用を増加させる.ここでは,三大都市の主要な国道での市境から中心部への平均距離が約 8km であることから流入 1 回あたりの走行距離を 16km とし,課金によって km あたり費用が課金額を 16 で除した分だけ上昇するものとして推計を行った.

本研究では,各政策の税率等を数段階設定してシミュレーションを行った.環境税では,CO₂1tあたり 2.8, 5.5, 8.2 千円の税率とした.取得保有税では現行税額の 1.1~1.3 倍に増税し,ロードプライシングでは流入車 1 台 1 回あたり 250 円~750 円を徴収した場合を設定した.道路財源の鉄道運賃補助への転用では,現特定財源の 10~30%を転用するものとした.また,ロードプライシングの効果については地域別の比較も行った.施策の組み合わせでは,表-5に示した4つのシナリオに基づき環境税(5.5 千円/t-CO₂)のみの課税の場合と併せて推計した.

c) 現況再現性

シミュレーション初期から最新年までの CO₂ 排出量の推計値と実際値との比較を図 3 に示した.初期において推計値と実績値の間に若干の差がみられるが,それ以降は比較的高い現況再現性が得られた.

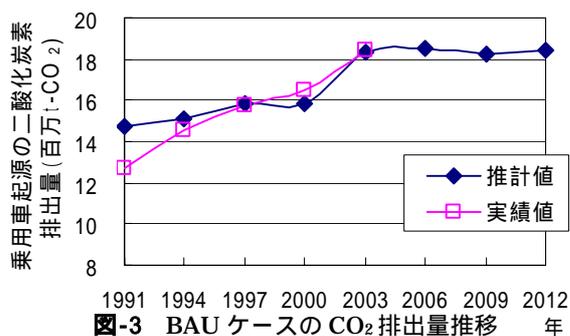


図-3 BAU ケースの CO₂ 排出量推移 年

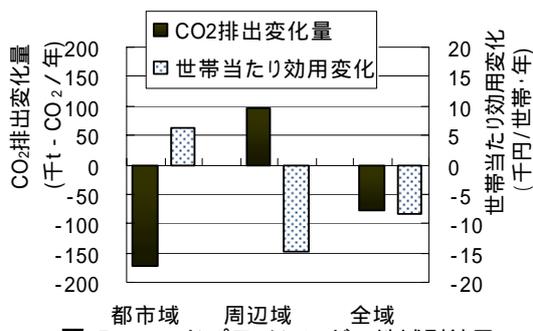


図-5 ロードプライシングの地域別効果 (BAU ケース比)

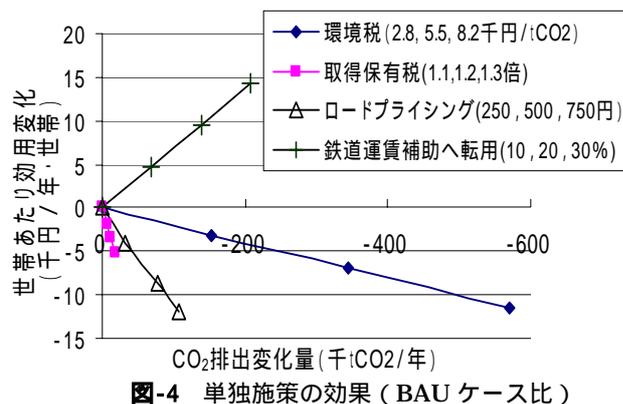
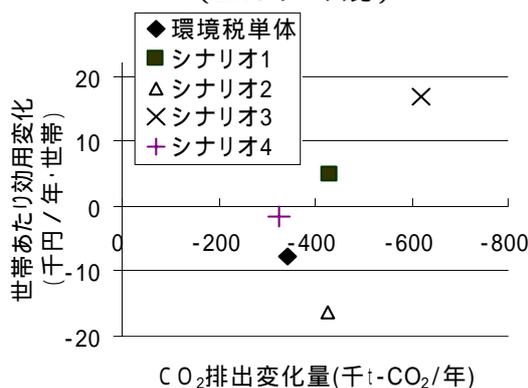


図-4 単独施策の効果 (BAU ケース比)



3. 推計結果と考察

(1) BAU ケース

図-3に、経済的手段を講じないケース(BAU ケース)における近畿地方の乗用車起源の CO₂ 排出量の推計値を示す。2003 年度の排出量は 1850 万 t-CO₂ だった。推計によると、今後はこのままほぼ横ばいとなる。走行量はその後 10 年で 3.7% 増加するものの、式(14)に示した単体燃費の向上と式(15)に示した道路面積の増加による走行環境の改善とあわせ CO₂ 排出量の増加は 0.6% 程度となるものと予測される。この値は、90 年比で +45.0% にあたる。

(2) 単独施策

図-4 は、表-4 に示した各単独施策の BAU ケースからの CO₂ 排出削減効果と効用変化を示している。まず、環境税は税率に応じて一定の削減効果が得られるが、税率を上げるとその分消費者の得る効用の低下がみられる。5.5 千円/t-CO₂ の環境税を導入し道路財源に充てた場合、BAU ケースより年間 344 千 t-CO₂ 削減されるが効用水準は世帯あたり年間約 6.9 千円のマイナスとなる。8.2 千円/t-CO₂ になると 344 千 t-CO₂ 削減であるが、11.4 千円相当の効用の低下となる。

一方、取得保有税の増税では CO₂ 排出削減の効果はほとんどみられない。取得保有税の負担増により乗用車台数は BAU ケースより減少するものの、1 台あたりの走行量が増加するためである。ロードプライシングを実施すると、CO₂ はある程度削減され

るものの単独施策では効用水準の低下が大きい。道路財源の鉄道運賃補助への転用では効用水準の上昇がみられるとともに CO₂ 排出が削減されるものの、転用額が大きい割に効果は大きくない。30% の転用でも 209 千 t-CO₂ 程度の削減となっている。したがって、より大きな削減のためには追加的なインセンティブが必要であると考えられる。

(3) ロードプライシングの地域別効果

ここでは、ロードプライシングの CO₂ 排出削減効果について地域別の比較を行う。図-5 に、流入車 1 回 1 台あたり 500 円のロードプライシングを実施した場合の地域別の効果を BAU ケース比で示す。

都市部では、周辺からの流入車の減少により CO₂ 排出量が減少し、都市部の住民にとっても走行環境が改善するため効用を得ることができる。

一方、周辺部においては、都市部への流入していた車の一部が周辺部へ走行地域を変更するため CO₂ 排出量は増大する。その結果、全域で見ると CO₂ の排出削減幅は 78 千 t-CO₂ 程度と小さくなり、全世界帯平均の効用水準は 8.5 千円/年・世帯の低下となる。よって、ロードプライシングを CO₂ 排出削減の手段としてみた場合、周辺部の世帯の効用水準低下の少ない追加的施策と組み合わせる必要がある。

(4) 組み合わせ施策

図-6 に、表-5 に示した施策の組み合わせの効果を BAU ケース比で示す。まず、環境税の増税分を

鉄道運賃補助に充てたシナリオ 1 では約 431 千 t-CO₂ の削減であり、環境税単独よりも削減効果は大きく、消費者の効用水準も世帯当たり年間 5 千円程度増加している。環境税にロードプライシングを加えたシナリオ 2 では、シナリオ 1 とほぼ同等の削減効果はあるが、効用水準は大きく減少している。シナリオ 2 による増税分を鉄道運賃補助に当てるシナリオ 3 では、シナリオ 2 よりも削減率が大きくなるとともに効用水準も増加した。このシナリオでは 618 千 t-CO₂ の削減効果と約 16.9 千円/世帯・年の効用水準上昇が得られる。環境税増税分を取得保有税減税に充てる税制中立シナリオのシナリオ 4 では、環境税単独よりも効用水準の減少は少ないが、同時に削減率もわずかに小さくなる。

一連の結果は、乗用車利用の経済的手段による抑制と鉄道利用へのインセンティブの付与という組み合わせの有効性が高いことを示している。環境税とロードプライシングの併用とその収入による鉄道利用の促進を行うことで、平均的な世帯効用水準の増加と CO₂ 排出量のある程度の削減が得られ、経済・環境の両面から最も効果的であるといえる。なお、これらの複合的な対策によっても BAU ケースからの CO₂ 排出削減率は 3.4%にとどまっており、BAU ケースは 90 年比で 45.0%増となっていることを勘案すれば、より一層厳しい対策が求められることに留意を要する。

4.まとめ

本研究では、近畿地方における旅客運輸部門の CO₂

排出削減のための経済的手段の効果についてモデルによるシミュレーションを行った。得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) CO₂ 排出削減の観点からは、取得保有税より環境税(炭素税)が大きな効果を発揮する。
- 2) 税金による鉄道の利用促進は、CO₂ 排出削減効果とともに効用水準を増加させる。
- 3) 都市域流入交通へのロードプライシングは、周辺部での走行量の増加を招くものの、都市部において CO₂ 排出削減効果があり、地域全体として削減効果を示す。
- 4) 消費者効用水準を高めつつ CO₂ 排出量を相当程度削減するには、環境税・ロードプライシングとその収入による鉄道の利用促進策が有効である。

謝辞：本研究の遂行にあたり頂戴した、中央大学理工学部鹿島教授・谷下助教授のご理解と貴重なコメントに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 谷下雅義・鹿島茂：自動車関連税制が乗用車の保有・利用に及ぼす影響の分析，土木学会論文集 No.709/4-56, pp39-49, 2002.
- 2) 国土交通省道路局：道路統計年報,1978-2002.
- 3) 総務省統計局：家計調査年報，1978-2002.
- 4) 自動車検査登録協会：自動車保有車両数，1978-2002.
- 5) 自動車工業振興会：自動車ガイドブック，1980-2001.

EFFECTS OF ECONOMIC INSTRUMENTS FOR REDUCING CO₂ EMISSION FROM PASSENGER TRANSPORT SECTOR IN KINKI AREA

Naoki YOSHIKAWA, Koji SHIMADA, Koji AMANO

This study aims to evaluate the effects of economic instruments for reducing CO₂ emission from passenger transport sector in Kinki area, Japan. Four types of instruments (carbon tax, car purchase and possession tax, road pricing in large city, subsidy for a railway company to reduce fare level) and their combination were analyzed. To estimate the effects of them, a traffic economic and engineering model was used.

As results of this study, for points were found out. Firstly, carbon tax is effective than car purchase and possession tax. Secondly, subsidy for railway from tax revenue can reduce CO₂ emission and increase utility of consumers. Thirdly, road pricing for cars which running into large cities reduces the emission in city, in contrast, causes an increase of traffic in suburb areas; in total the emission is reduced a little, and utility is decreased. At last, a combination of carbon tax, road pricing and subsidy for railway from two instruments were found to be most effective to reduce CO₂ emission and increase utility.