

道路課金政策の課金収入再分配に関する一考察*

A Study on Revenue Redistribution of Road Pricing*

金森 亮**・新井秀幸***・山本俊行****・森川高行*****

By Ryo KANAMORI**・Hideyuki ARAI***・Toshiyuki YAMAMOTO****・Takayuki MORIKAWA*****

1. はじめに

海外の成功事例報告もあり、低炭素社会の実現や原資確保に向けた効率的な政策として道路課金政策が注目されている。道路課金政策は交通混雑問題の解決策として理論的根拠があり、効率的であるが、いくつかの問題もある。それは、公平性や受容性に関するものである。公平性に関しては、所得逆進性や地域間格差などが生じることが問題として挙げられ¹⁾、柳ら²⁾や円山ら³⁾は個人の異質性を考慮した評価モデルを構築し定量的に分析している。しかし、公平性問題は課金収入を再分配することで緩和できるため、再分配前の状態（再分配を伴わない施策導入時）での効率性の大小で政策評価を行うことが標準的な考え方となっている。そのため、減税、道路建設や公共交通サービス改善などに課金収入を充てることが提案されている⁴⁾ものの、このような再分配に関連する施策も組み合わせて実施された道路課金政策評価は少ない。

本研究では、道路課金収入の再分配施策も組み合わせた道路課金政策の評価を行い、交通状況変化、効率性、公平性について考察する。対象とする道路課金施策は特定地区に流入する際に課金されるコードン型、課金対象エリア内での商業活動等に課金額の一部を利用できるコードン型PDS（駐車デポジット制度）^{5) 6)}であり、評価対象地域は名古屋都市圏である。

2. 評価モデルの概要

道路課金政策の評価を交通状況変化、効率性、公平性の視点から行うため、本研究では既存研究⁶⁾と同じく、所得に応じて異なる時間価値にて個人を区分する、マルチクラス交通ネットワーク均衡モデルを評価モデルとする。等価最適化問題は次式の通りである。

*キーワード：道路課金政策、再分配、公平性

**正員，博（工），東京大学大学院工学系研究科

（東京都文京区本郷7-3-1 工学部11号館4階020号室

TEL: 03-5841-0586, E-mail: kanamori@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

***正員，修（工），大成建設株式会社

****正員，博（工），名古屋大学大学院工学研究科

*****正員，Ph.D.，名古屋大学大学院環境学研究科

$$\begin{aligned} \min. Z = & \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{i,a} (p_a + \text{charge}) x_a^i / \tau_i \\ & + \sum_{i,rs,m,k} \frac{1}{\theta_1^m} f_{m,k}^{i,rs} \ln(f_{m,k}^{i,rs} / q_m^{i,rs}) + \sum_{i,rs,m',k} f_{m',k}^{i,rs} C_{m',k}^{i,rs} \quad (1a) \\ & + \sum_{i,rs,m} \frac{1}{\theta_2} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / Q_{rs}^i) + \sum_{i,rs,m} q_m^{i,rs} V_m^{i,rs} \end{aligned}$$

subject to

$$\sum_i x_a^i = x_a \quad \forall a \quad (1b)$$

$$x_a^i = \sum_{rs,k} f_{m,k}^{i,rs} \cdot \delta_{a,k}^{i,rs} \quad \forall i, a \quad (1c)$$

$$\sum_k f_{m,k}^{i,rs} = q_m^{i,rs} \quad \forall i, rs, m \quad (1d)$$

$$\sum_m q_m^{i,rs} = Q_{rs}^i \quad \forall i, rs \quad (1e)$$

$$f_{m,k}^{i,rs} \geq 0, \quad q_m^{i,rs} \geq 0, \quad Q_{rs}^i \geq 0 \quad \forall i, rs, m, k \quad (1f)$$

ここで、

$t_a(x_a)$: 自動車リンク a のリンクコスト関数

x_a : 自動車リンク a の交通量

x_a^i : 利用者クラス i の自動車リンク a の交通量

τ_i : 利用者クラス i の時間価値

p_a : 自動車リンク a の通行料金

charge : 課金額（実質課金額）

$f_{m,k}^{i,rs}$: 利用者クラス i の OD ペア rs 間の交通手段 m の経路 k の交通量

$q_m^{i,rs}$: 利用者クラス i の OD ペア rs 間の交通手段 m の交通量

Q_{rs}^i : 利用者クラス i の OD ペア rs 間の交通量

$C_{m',k}^{i,rs}$: 利用者クラス i の OD ペア rs 間の交通手段 m' （鉄道）の経路 k の交通一般化費用（説明変数として、

乗車時間、乗車外時間、アクセス/イグレス距離など）

$\delta_{a,k}^{i,rs}$: 自動車リンク経路の接続行列

$V_m^{i,rs}$: 利用者クラス i の OD ペア rs 間の交通手段 m を利用する際の確定効用項

θ_1^m, θ_2 : スケールパラメータ

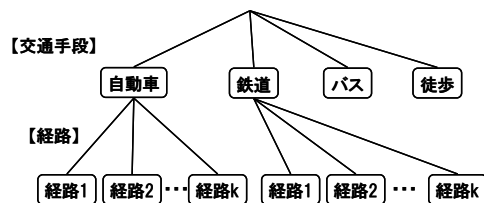


図-1 交通行動の選択ツリー構造

利用者クラスは、所得分布が対数正規分布に従うと仮定して算出した時間価値分布を用いて、生起確率1%以上、10円/分区分を基本として、最終的に時間価値が0~20、20~30、30~40、…、100~110、110~140、140~(円/分)の12区分している。また、評価モデルでは、各利用者の交通行動として交通手段-経路選択（図-1）の2レベルのNested Logitモデルを組み込んでおり、パラメータは第4回中京都市圏パーソントリップ（PT）調査データから推定している。パラメータ推定方法、推定結果、評価モデルの妥当性（現況再現性）など評価モデルの詳細については、既存研究⁶⁾を参照して頂きたい。

本評価モデルでは、限定的ではあるが、道路交通政策が導入された場合の交通行動変化、利用者便益などの効率性、利用者クラス間の公平性などについて定量的な指標を算出することができる。

3. 再分配を行わない道路課金政策の導入評価

一般的に行われているような課金収入の再分配を行わない道路課金政策の導入評価として、名古屋都心部（名古屋駅地区や栄地区を含む25km²）を課金対象エリア、表-1に示す課金額と返金額が異なるケースを設定した。ここで、case_0は2005年の交通ネットワーク整備下の交通状況である。また、対象時間帯は朝ピーク時（7~10時）であり、PT調査データからOD交通量を集計している。その他、各個人の時間価値、各交通手段のLOSデータの設定方法は既存研究^{6) 7)}と同じである。

cordon_53とcordon_55はPDSとなるが、通常のコードン型（cordon_50）のように課金対象エリアへの流入リンクに課金額を付加するだけでは課金システムの特徴を反映できない。そのため、PDSは自動車利用者の出発地と目的地が課金対象エリアであるか否かで4区分（内々OD・内外OD・外内OD・外外OD）し、それぞれの交通サービスレベルを適切に表現できるマルチクラス型に評価モデルを改良した。つまり、課金対象エリアを目的地

とする自動車利用者（外内OD）は実質課金額、それ以外の自動車利用者は課金額を流入リンクに付加している。

交通状況の変化として、課金対象エリアの集中交通量の交通手段構成をみると（図-2の分配前）、cordon_50では自動車の分担率が大きく低下し、鉄道やバスへモーダルシフトしていることが分かる。また表-2よりその多くが課金対象エリア外から対象エリア内へのトリップ（外内OD）であることが分かる。PDSに注目すると、返金額が大きくなると自動車利用の削減量は小さくなり、全額返金するcordon_55では施策導入前よりも増加する結果となった。この理由としては、実質課金額が0円であっても通過交通が排除されるため課金対象エリア内の自動車サービスレベルが向上したためと考えられる。

自動車交通に関する各種問題改善効果として、走行台キロ、平均速度、CO₂排出量を取り上げ、case_0からの増減率を課金対象エリア内、名古屋市全体にて整理したものが表-3（分配前）である。課金対象エリア内の自動車利用が増加したcordon_55も含め、全てのケースで自動車の走行距離台キロが減少している。特に通常の道路課金政策であるcordon_50では、都心部（課金対象エリア内）で50%以上もの削減がみられ、混雑改善に非常に大きな効果が得られることが分かる。またCO₂排出量も名古屋市全体、都心部ともに道路課金政策導入後に減少しており、環境改善効果もあることが確認できた。

次に各ケースの便益評価を表-4（分配前）に示す。本研究では、便益として走行時間短縮効果からなる利用者便益（消費者余剰）に加え、道路事業者の課金収入と高速道路利用者増加による通行料金収入、公共交通事業者の利用者数増加による運賃収入から算出することとする。また道路課金政策に関する費用をシンガポールの事例（ETC方式）を参考にし、建設費と運営費を併せ1,250百万円/年（8百万ユーロ/年）程度とし、対象時間帯分に換算している。ここで、利用者便益は個人の手段選択における期待最大効用を自動車の一般化所要時間のパラメータ-1.0（分）で除し、個々人の時間価値で貨幣換算している。

利用者便益に着目すると、全てのケースで施策導入前と比べて大きく減少する。ただしPDSでは返金額の増加によって改善し、実質課金0円の場合には通常の道路課金政策に比べて3倍程の改善がみられる。社会的余剰は、通常の道路課金政策が最も大きくなり、PDSは通常の道路課金政策に比べて小さくなり、全額返金ケースに至ってはマイナスとなった。

効率性に加えて公平性の観点から評価を行う。各ケースの利用者クラス別期待最大効用の変化をみると、既存研究⁶⁾で確認した通り、通常の道路課金政策では時間価値の低いクラスの人、つまり低所得層が高所得層に比

表-1 評価ケース

	case_0	cordon_50	cordon_53	cordon_55
課金額	0 円	500 円		
返金額	0 円	0 円	300 円	500 円
実質課金額	0 円	500 円	200 円	0 円

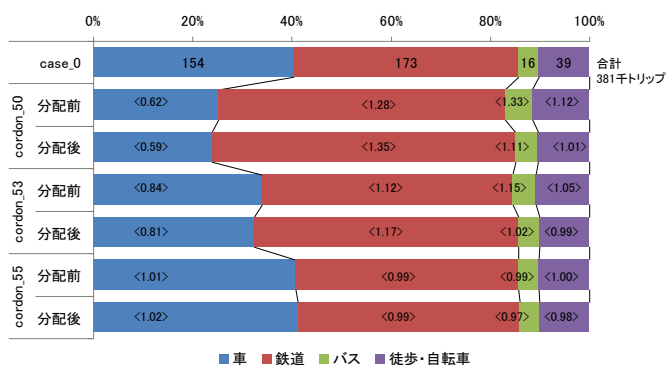


図-2 課金対象エリアの交通手段別集中交通量

表-2 方向別交通量の変動 (case_0 比)

再分配前		cordon 50		cordon 53		cordon 55	
		車	鉄道	車	鉄道	車	鉄道
対象エリア①	⇒①	1.01	0.99	1.01	0.99	1.00	1.00
	⇒②	1.01	0.99	1.01	0.99	1.00	0.99
	⇒③	1.01	0.97	1.01	0.98	1.01	0.98
名古屋市内②	⇒①	0.59	1.44	0.83	1.18	1.00	1.00
	⇒②	0.98	1.05	0.97	1.06	0.97	1.06
	⇒③	0.99	1.05	0.99	1.06	0.98	1.06
名古屋市外③	⇒①	0.57	1.20	0.82	1.09	1.03	0.98
	⇒②	0.98	1.02	0.97	1.03	0.96	1.04
	⇒③	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01

再分配後		cordon 50		cordon 53		cordon 55	
		車	鉄道	車	鉄道	車	鉄道
対象エリア①	⇒①	0.95	1.22	0.97	1.15	1.00	1.02
	⇒②	0.95	1.18	0.97	1.12	1.00	1.01
	⇒③	0.97	1.06	0.99	1.03	1.02	0.96
名古屋市内②	⇒①	0.55	1.59	0.79	1.29	1.01	1.00
	⇒②	0.94	1.26	0.95	1.20	0.97	1.08
	⇒③	0.96	1.18	0.97	1.14	0.99	1.06
名古屋市外③	⇒①	0.56	1.21	0.79	1.10	1.06	0.97
	⇒②	0.92	1.08	0.94	1.07	0.97	1.03
	⇒③	0.99	1.21	0.99	1.14	1.00	1.01

表-3 自動車交通関連指標の変化 (case_0 比)

	走行距離台キロ			平均速度		CO ₂ 排出量	
	名古屋市	都心部	高速道路	名古屋市	都心部	名古屋市	都心部
分配前							
cordon_50	-9%	-53%	12%	7%	53%	-1%	-26%
cordon_53	-5%	-44%	16%	8%	38%	-7%	-13%
cordon_55	-2%	-37%	19%	7%	32%	-6%	-14%
分配後							
cordon_50	-12%	-56%	43%	13%	56%	-7%	-31%
cordon_53	-7%	-47%	41%	9%	49%	-3%	-22%
cordon_55	-2%	-38%	51%	4%	33%	-3%	-12%

表-4 各便益と再分配による割引額

	鉄道割引額	高速料金割引額	利用者便益		課金収入	高速道路通行料金 公共交通運賃収入	運営費	社会的余剰
			住民	貨物自動車				
cordon_50	115円	275円	64.01	28.37	52.45	-46.68	-2.50	95.64
(再分配前)	-	-	(-59.1)	(-8.0)	(56.4)	(26.8)	(-2.5)	(13.6)
cordon_53	80円	185円	52.68	26.23	32.36	-29.58	-2.50	79.19
(再分配前)	-	-	(-36.0)	(-5.7)	(36.0)	(18.9)	(-2.5)	(10.7)
cordon_55	15円	190円	23.80	22.73	7.06	-2.50	-2.50	48.59
(再分配前)	-	-	(-18.1)	(-4.8)	(11.2)	(13.0)	(-2.5)	(-1.2)

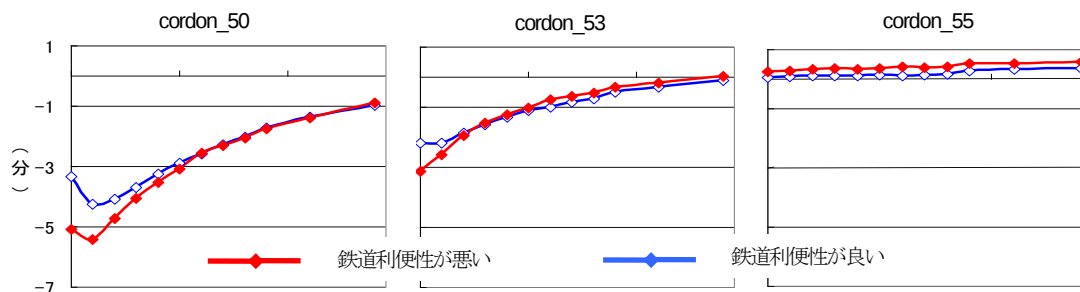


図-3 鉄道利便性別の効用水準の変化

べて政策実施後に効用水準が低下している。いわゆる所得逆進性の問題が生じているといえ、特に課金対象となる課金対象エリア外内ODでその傾向が強い。PDSでは、返金額が大きくなるにつれてクラス間の効用水準差は解消されていく。

ここで、道路課金政策の影響は自動車以外の代替手段の利便性が低いため、自動車を使わざるをえない人は不公平感を抱きやすいと仮定し、鉄道利便性の良し悪しでODパターンを区分し、利用者クラス間の効用水準差をみる。鉄道利便性は駅までのイグレス距離が1.0km以内であるか否かを基準とした。所得逆進性が最も強く表れた課金対象エリア外内ODの集計結果が図-3である。

cordon_50では、同じ利用者クラスでも鉄道利便性の悪い人と良い人では導入前後の効用水準変化に差があり、特に低所得者層でその差が大きいことが分かる。自動車以外に代替手段がない人に対して道路課金政策の影響はより強く、公平性問題が顕著に生じていることが確認された。また、全額返金をしないcordon_53では政策前後の効用水準変化に差が見られる。これよりPDSの返金は外内OD全体の公平性に関して緩和しうる傾向にあるが、鉄道利便性の悪い人、つまり自動車を使わざるをえない人までは対処しきれていない。

4. 再配分施策を組み合わせた道路課金政策の導入評価

(1) 課金収入再配分施策の検討

道路課金政策に対する受容性を高めるためにも不公平感をいかに解消するが重要であり、政策実施後に効用水準が低下する可能性が高い人に適切に対処していくことが必要である。その1つの方法として、PDSの返金を伴う課金システムのように新たな課金システムの考案は有効であった。ただし、全額返金でない場合は緩和効果が限定的であり、自動車を使わざるを得ないような人までは対処しきれていない状態である。そこで課金収入を原資とした再配分施策がやはり重要となり、様々な施策メニューが考えられるが、本研究では、自動車の代替手段への補助ができるような鉄道料金の割引、自動車利用者の課金対象エリア通過交通を補助するような高速道路の割引を同時に実行するパッケージ施策が望ましいと考え、これら両施策を課金収入再配分による施策メニューとして設定する。

(2) 課金収入再配分を実施した場合の解法手順

ある道路課金政策における社会的余剰を最大とする課金収入を原資とした施策への分配比率は、均衡問題を制約とした2段階最適化問題を解くことで求められる。2段階最適化問題の解法アルゴリズムとしては、分配比率の組合せをヒュリスティックスに求めていくGA（Genetic Algorithm：遺伝的アルゴリズム）やSA（Simulated Annealing：焼きなまし法）などの組合せ最適化アルゴリズムの適用が挙げられる。本研究でも組合せ最適化アルゴリズムの適用を試みたが、最適解を得るまでに膨大な計算時間が掛かることが判明したため、より簡易な解法手順にて最適解の近似値を得ることとした。代替解法手順は、課金収入の分配比率を事前に離散値の組合せとして複数ケースを設定し、各ケースにおいて式（1）の均衡問題を解くことで得られる社会的余剰を算出し、社会的余剰が最大値となる分配比率を最適分配比率とみなすものである。表-5は各施策への分配比率の組み合わせケースを示したものである。今回は各施策25%刻みの組合せを設定しているが、より詳細な組合せの設定や組合せ最適化アルゴリズムの適用、分配比率を連続変数として取り扱った効率的な解法適用は今後の課題である。

表-5 分配パターン（各施策への分配比率）

	case_1	case_2	case_3	case_4	case_5
鉄道運賃割引	100%	75%	50%	25%	0%
高速料金割引	0%	25%	50%	75%	100%

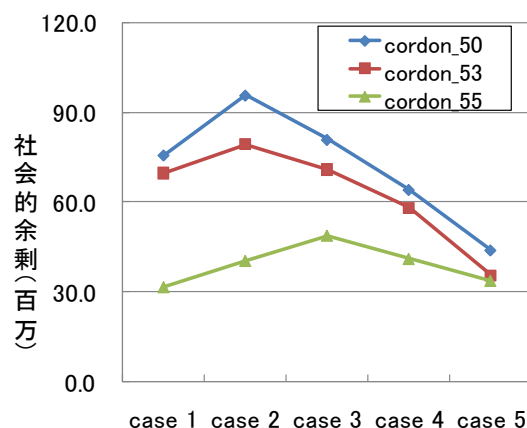


図-4 各分配パターンにおける社会的余剰

(3) 課金収入再配分を実施した場合の導入評価

各道路課金政策における分配パターン別の社会的余剰を図-4に示す。社会的余剰の算出方法は3.と同様である。cordon_50とcordon_53は分配パターンcase_2 [鉄道75%；高速25%]，cordon_55は分配パターンcase_3 [鉄道50%；高速50%] が最も効率的な分配方法であるとされ、通常道路課金政策とPDSでは分配比率が異なる結果となった。これは、再配分施策群に補填可能な金額（課金収入－運営費）の大小によってパッケージ施策としての相互作用が異なるためと考えられる。つまり、必ずしも一方への補填金額が多ければ多いほど効率性が向上するのではなく、多方面への補填が有効あり、導入都市の特徴を踏まえた課金収入の再分配比率に関する独自の検討が重要であることが分かる。

また、どの課金システムも再分配後の社会的余剰が分配前と比べて大きく向上していることが分かる（表-4参照）。これは再分配により、鉄道運賃や高速通行料金が割引かれ、利用者便益が増加したためである。また、再分配後においても通常道路課金政策とPDSの効率性の優劣は再分配前と同じであり、通常道路課金政策の方が効率性の観点では優れている。各分析ケースで最も効率的であった分配ケースの各種便益と割引価格については表-4にまとめている。

ここで、最も効率的であった分配比率によって再分配された交通状況を対象として、導入効果を分析していく。図-2より、PDSの全額返金ケースを除けば、いずれのケースも再分配前より、自動車利用が減少していることが読み取れる。また、表-2をみると特筆すべき大きな変化は生じていないが、再分配後は全体的に自動車利用が減少している傾向が読み取れる。これは、再分配による鉄道運賃割引によって鉄道利用の効用が向上したためと思われる。ただし、本研究の評価モデルでは鉄道利用が増えることによる悪影響、混雑に対する不効用を表現できていないため、分配後の鉄道分担率は過大である

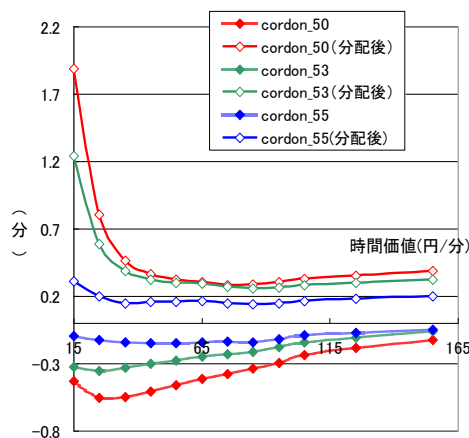


図-5 道路課金政策後の効用水準の変化

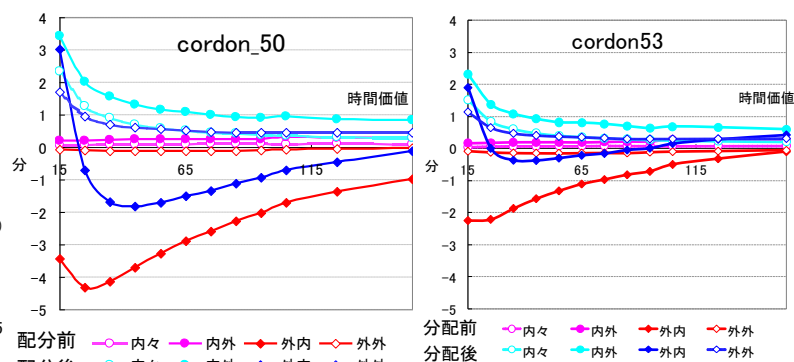


図-6 ODパターン別効用水準の変化

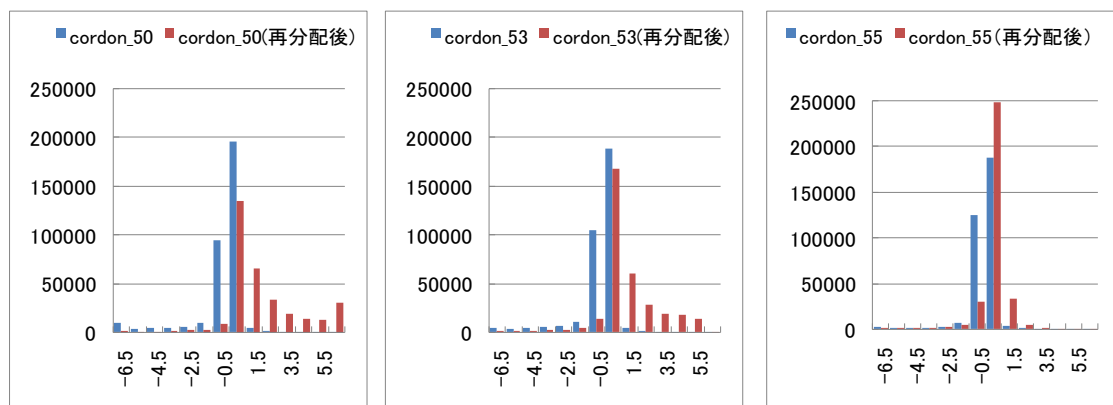


図-7 再分配前後の効用水準差別利用者数

可能性もあり、さらなるモデルの改良が必要である。また、自動車利用削減効果における通常の道路課金政策とPDSの比較は分配前と同じであり、PDSは返金額が増加するにつれてその効果が弱まっている。さらに、表-3に示す自動車交通関連指標をみても、上記と同様の傾向が確認できる。

以上より、課金収入再分配後においても道路課金政策は確かに効率的であり、実施することで都心部の混雑を十分緩和できると判断できる。またPDSでも返金額の大きさで変わるが、その効果は小さくないといえる。

次に公平性に関する考察を行う。利用者クラス別に効用水準の変化を示す図-5より、再分配後の状態は低所得者層の効用水準が大きく高まり、道路課金政策が抱えている所得逆進性の問題が改善されたことがわかる。また、再分配に補填できる課金収入が最も大きい通常の道路課金政策(cordon_50)は鉄道運賃の割引額可能額が大きく、元から自動車を使用していない人、つまり道路課金政策の影響を受けない人の効用を高めることから、再分配後に最も期待最大効用が高い結果となっている。

ここで、主に所得逆進性が生じていた外内ODに着目すると(図-6)、通常の道路課金政策では低所得者層の人は鉄道の割引により大幅に効用が高まっているが、まだ中間層の人たちの効用は高所得者層と比べ低く、公

平性の点で改善の余地がある。一方、PDSでは外内ODも含め所得に応じた利用者クラス間で大きな差はなく、公平性の観点から通常の道路課金政策より望ましい結果が得られる可能性が高いことが分かった。また、再分配後の各個人の政策前後の効用差レベル別に該当者数を集計した図-7をみると、通常の道路課金政策(cordon_50)に比べてPDSは効用差の少ない人が多く、利用者クラス間に加えて、個人の享受する効用差の観点からもより施策実施による歪みが小さい課金システムであるといえよう。

以上より、道路課金政策が持つ公平性問題を鉄道運賃値下げと高速道路通行料金の割引によるパッケージ施策により改善できることが定量的に示された。特に、通常の道路課金政策では自動車利用者の外内ODに対しての補償が十分ではなく、PDSのように直接補完できる道路課金政策が公平性の観点から望ましいことが示された。

5. おわりに

近年注目されつつある道路課金政策について、本研究では、課金収入を原資とした再分配施策を複数実施し、自動車利用削減量などの交通状況変化、効率性(社会的

余剰) , 公平性の視点から考察を行った。評価モデルとして所得階層(時間価値)別の交通手段-経路選択モデルを組み込んだマルチクラス型統合均衡モデルを構築し、名古屋都市圏に適用している。対象とした課金システムは通常のコードン型ロードプライシング、即時的かつ直接的な返金システムによって相対的に受容性が高くなる駐車デポジット制度(PDS)であり、さらに課金収入再分配のパッケージ施策メニューとして高速道路通行料金と鉄道運賃の割引を設定した。

課金システムにより再分配施策群への補填割合は異なるが、すべての課金システムで再分配施策を複合的に実施することで効率性と公平性は改善され、効率性は通常の課金システム(コードン型)、公平性はPDSが最も望ましい結果が得られた。

PDSは道路課金政策導入による課金対象エリアへの来訪者数減少を軽減する効果⁹⁾も確認されており、本研究の知見も踏まえると、従来の道路課金政策と比較して大きく受容性を改善できる課金システムであるといえる。今後は、PDS導入時の商業売上や物流への影響、課金対象エリアや課金額や返金額の最適な決定方法、課金収入の再分配施策メニューの検討、中長期的な運営方法(課金額と返金額の設定、再分配施策メニューの更新)、など取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) Levinson D.: Equity Effects of Road Pricing: A Review, *Transport Reviews*, Vol.30, No.1, pp.33-57, 2010.
- 2) 柳時均, 山本俊行, 北村隆一: ロードプライシングの公平性に関する研究, *土木計画学研究・論文集*, No.16, pp.707-715, 1999.
- 3) 円山琢也, 原田昇, 太田勝敏: ロードプライシングの所得逆進性とその緩和策に関する研究, *都市計画論文集*, No.37, pp.253-258, 2002.
- 4) Small, K.A.: Using the Revenues from Congestion Pricing, *Transportation* Vol.19, No.4, pp.359-381, 1992.
- 5) 森川高行: ITSで街をみがく~愛知・名古屋での取り組み, *交通工学*, Vol.38, No.4, pp.5-10, 2003.
- 6) 金森亮, 山本俊行, 森川高行: 駐車デポジットシステム(PDS)の効率性と公平性に関する分析, *都市計画論文集*, No.44-3, pp.115-120, 2009.
- 7) 金森亮, 森川高行, 山本俊行, 三輪富生: 総合交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発, *土木学会論文集D*, Vol.65, No.4, pp.503-518, 2009.
- 8) 金森亮, 森川高行, 山本俊行, 三輪富生: 時間常別・確率的統合均衡モデルを用いた駐車デポジットシステムの導入評価, *土木計画学研究・論文集*, Vol.24, No.4, pp.915-926, 2007.