

マルチクラス統合均衡モデルによる EV専用レーン及びEV/Tollレーンの導入評価

金森 亮¹・森川 高行²

¹正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-3 (651))
E-mail:kanamori@trans.civil.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-3 (651))
E-mail: morikawa@nagoya-u.jp

低炭素社会の早期実現に向けて、エコカー減税・補助金など低公害車の購入支援がなされているが、多くの財源を確保する必要がある、財政縮小化時代に持続性が高い方策とは言えない。本研究では、次世代自動車（電気自動車：EV）の普及促進に向けて、購入時に加えて利用時にも保有者に特典を与えることが購入インセンティブとなると考え、EV専用レーンとEV/Tollレーン（EVは無料であるが、その他の車両は通行料金が課される道路）の導入評価を行う。名古屋都市圏の通勤・通学交通を評価対象とし、EV保有者と非保有者を区別できるマルチクラス統合均衡モデルを構築し、EV普及率、EVレーンの設置状況、EV/Tollレーンの課金額を変化させ、交通状況やCO2排出量、EV保有インセンティブについて考察した。

Key Words : Electric Vehicle, EV/Toll Lane, Multi-class Network Equilibrium Model

1. はじめに

自動車利用増加に伴うCO2排出削減のため、エコドライブ促進や公共交通利用促進などの交通施策が実施されている。一方、将来の化石燃料枯渇への危機感や技術革新を背景として、電気を主動力とする自動車への転換が注目されつつある。

走行時にCO2を排出しない電気自動車（EV）は一般家庭コンセントからも充電可能となるなど、より身近な乗り物になりつつあるが、販売価格が一般車両と比べると高価であることが購入意欲を低下させる一因とされる。その対策として、補助金・減税の補助制度が導入されているが、多くの財源が必要となることから持続可能な次世代自動車普及施策としては不十分である。実際にエコカー補助金制度は予定よりも早くに打ち切られた。従って、補助制度頼りの普及促進からの脱却を目指した新たな次世代自動車市場形成が望まれる。つまり、次世代自動車の“購入時”の補助制度だけでなく、次世代自動車の“利用時”にも特典を与えられれば、次世代自動車の普及促進、ひいては低炭素社会への早期実現につながる。

本研究では、次世代自動車、特にEV利用時におけるインセンティブ創出として、EV専用レーンの導入評価を行う。また、EV専用レーン導入により生じる問題点を示し、その解決策としてEV以外の車両は通行料金を

払うことで専用レーンが利用可能となるEV/Tollレーンを提案し、その導入効果を分析する。

2. 評価手法

(1) マルチクラス統合均衡モデル

EV専用レーンの導入評価を行うため、本研究では利用者をEV保有者と非保有者とに区分するマルチクラス統合均衡モデルを評価モデルとして適用する。また、走行時のEVと一般車両の相互干渉はないと仮定する。各利用者の交通行動を図-1に示す通り、自動車、鉄道、バス、徒歩からなる交通手段と経路選択の2レベルのNested Logit モデルにて記述できると仮定すると、均衡モデルと等価な目的関数は式 (1) となる。

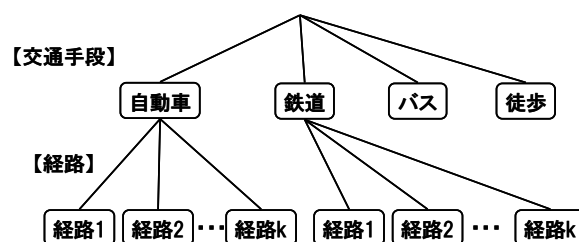


図-1 交通行動モデルの選択ツリー構造

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

subject to

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

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

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

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

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

- $t_a(x_a)$: 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

EV 利用時には専用レーンが無料で利用可能となるため、一般車両と (一般化) 所要時間が異なる。また、EV の走行費用は電気とガソリンの燃料費の差額分異なる。専用レーンについては、自動車ネットワークを EV 用と一般車両用に区別し、専用レーンの利用可否を考慮する。走行費用は既存情報¹⁾を参照し、EV と一般車両の走行費用を次のように設定し、EV 利用時の割安感を反映させる。

- EV : 走行性能 100Wh/km とし、2 円/km
(夜間電力の場合、0.7 円/km)
- 一般車両 : 燃費 8km/l, 1l=120 円 とし、15 円/km

また、本研究では各利用者が自動車を選択した場合、EV 保有者は EV 利用、非保有者は一般車両利用とする。

(2) 評価指標

EV 専用レーン導入の評価指標は、対象地域の自動車 (EV 含む) の走行台キロ、走行台時の他、環境改善効果を把握するため CO2 と NOx の排出量を算出する。CO2、NOx はともに EV 走行時に排出されないため、一般車両のみからの排出を加算する。算出式は土木研究センターの既存研究²⁾³⁾の速度別算出式から求める (ただし、勾配や車種の区別はなし)。また、EV は夜間自宅での充電を想定し、次式の使用端 CO2 排出原単位⁴⁾から発電関連の CO2 排出量を算出する。

- 自宅発電に係る CO2 排出量 : 51.5 g-CO2/km
(使用端 CO2 排出原単位 : 0.412 kg-CO2/kWh,
電費 : 8.0 円/kWh)

EV 保有のインセンティブは、同一 OD 条件下で利用者クラスの EV 保有別にログサム変数を算出し、その差分をインセンティブと定義する。つまり、EV 保有に伴う走行費用減少と所要時間短縮の効用差がインセンティブとなる。

3. EV 専用レーンの導入評価

(1) 評価対象地域と交通行動モデルパラメータ設定

本研究の EV 専用レーンの導入評価の対象地域は、名古屋都市圏 (名古屋市を中心として約 40km 圏域) である。評価対象 OD は通勤・通学交通とし、2005 年時点の推計値⁵⁾を用いる。また、通勤・通学 OD 交通量の推計値 (559 万人) は性・年齢階層別・職業別・免許有無別・自動車保有別になされており、本研究と同じ個人属性別の交通行動モデルにて算出されている。そのため、OD 交通量と共に交通行動モデルのパラメータも既存研究から援用する。

EV 保有者の設定は、通勤交通の個人属性別 OD 交通量に対して、一律 10% を EV 保有者とした。EV 保有者の交通行動は走行費用に対する感度など通常の一般車両保有者と異なる可能性もあるが、本研究では同一と仮定する。そのため、EV 保有者と非保有者の交通行動モデルのパラメータは同一となるが、走行費用や所要時間などの交通サービスレベルが両者では異なる。

(2) EV 専用レーンの設定

EV 専用レーンによる EV 保有者の所要時間短縮効果を分析するため、本研究では名古屋市内とその周辺地域の多車線主要道路 (国道など) からバランスを考慮して専用レーンを設定した。専用レーンの車線数は 1 車線であり、

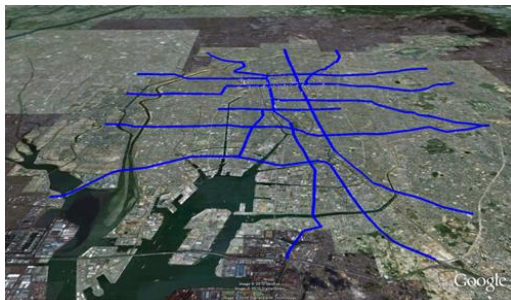
規制速度などの道路条件は競合するリンクと同じである。走行可能な車両はEVのみであり、バス路線であってもバスとの相互干渉は考慮していない。

また、専用レーンの配置の影響を把握するため、本研究では①環状線型、②放射線型、③環状+放射線型の3パターンの専用レーンを設定する。それぞれの設定状況は図-2の通りである。

＜環状型＞



＜放射型＞



＜環状+放射型＞

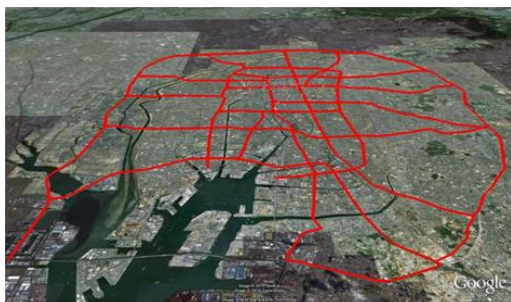


図-2 EV専用レーンの設定状況

(3) EV普及の影響分析

EV専用レーンの導入評価の基本ケースに相当する、EV普及（普及率10%）の影響分析を行う。なお、EV保有者は38万人（総数：559万人）となった。

交通手段分担率の変化は10%程度のEV普及率では大きな変化は見られなかったが、走行費用減少のため、自動車利用のみが微増する結果となった。自動車関連指標の走行台キロと走行台時をみると、ともに1%程度の増加が確認され、EV普及は自動車利用を誘発し、ネットワーク利用の効率性を低下させる可能性が示された。一方、CO2とNOxの排出量はそれぞれ約4%減、約7%減と

なり、EV普及は環境改善に役立つことを定量的に確認できた。

(4) EV専用レーンの導入評価

EV普及による自動車利用の微増、環境改善を確認したが、さらにEV専用レーン導入による都市交通への影響、EV保有のインセンティブ創出効果について分析する。

環状型、放射型、環状+放射型ともに自動車分担率に変化はなく、都市圏レベルではCO2、NOxの排出量にも変化は見られなかった。ただし、名古屋市でみると、走行台キロと走行台時は減少し、環状+放射型ではそれぞれEV普及率10%の導入前の状況から2%弱、4%強減少した。つまり、EV専用レーン導入により一般車両の所要時間が増加するため、鉄道などに手段転換しているものと思われる。また、CO2とNOxも名古屋市では、それぞれ3%弱の削減効果が確認された。

EV専用レーン導入によるインセンティブ創出効果を見ると（表-1）、保有者1人当たりのインセンティブは環状型で447円、放射型で462円、環状+放射型で474円となり、環状+放射型が最も高く、環状型よりも放射型の方が高くなった。これは名古屋市郊外から都心部方面への交通が多いためと思われる。なお、環状+放射型での利用時の保有インセンティブは1年間で11.8万円（473.8円×250日）となり、エコカー補助金・減税制度よりは小さいものの、無視できない額といえよう。

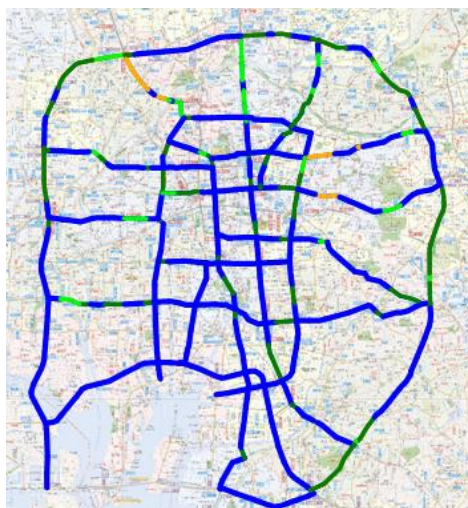
表-1 EV専用レーン導入によるインセンティブ創出

		普及率 10%			
		EVレーン 無し	環状方向	放射方向	環状+放射
EV 利用状況	EV保有者数(人)	382,435	382,435	382,435	382,435
	EV利用者数(人)	269,742	270,209	271,610	272,044
	利用率	70.5%	70.7%	71.0%	71.1%
EV保有の インセン ティブ	都市圏計(百万円)	166.5	171.1	176.5	181.2
	保有者あたり(円/人)	435.4	447.4	461.6	473.8
	導入効果		12.0	26.2	38.4
	利用者あたり(円/人)	617.3	633.2	649.9	666.1
	導入効果		15.9	32.6	48.8

(5) EV専用レーン導入の問題

EV専用レーン導入は特に名古屋市内で環境改善効果があり、インセンティブ創出効果もあることが確認された。しかし、EV専用レーンは大部分の一般車両保有者は利用できないため、社会全体としては非効率的な施策である可能性が高い。ここで、EV専用レーンの利用状況として専用レーンリンクとその競合リンクの混雑率（交通量/容量）をみる。図-3の環状+放射型のEVレーン導入時のリンク別混雑率から明らかであるが、10%程度のEV普及率では専用レーンの利用状況はかなり低く、自動車ネットワークとして有効に利用されていないことが分かる。実際にEV専用レーン導入前後の各リンクの

<EV 専用レーン>



<競合レーン>

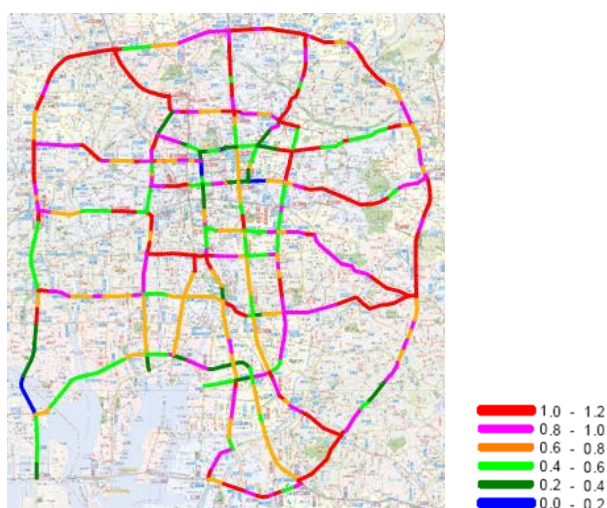


図-3 EV専用レーンとその競合リンクの混雑率（環境+放射型，上り方向）

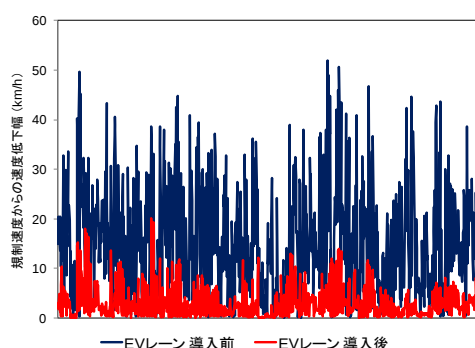


図-4 EV専用レーンのリンク速度低下

速度低下（規制速度からの低下幅）をみると（図-4），導入前は20km/h程度の低下であったが，導入後は5km/h程度しか低下していない。

4. EV/Tollレーンの導入評価

(1) EV/Tollレーンの概要

EV専用レーンの有効利用として，一般車両への利用開放を考える。ただし，環境改善効果が高いEV保有へのインセンティブ創出効果を相殺しないよう，一般車両には通行料金を課す。これはHOV（High Occupancy Vehicle）レーンの有効利用として提案されたHOT（High Occupancy Toll）レーンの考えに沿うものである。HOVレーンはアメリカで多く導入されているが，相乗りする相手を探すコスト（手間）が高いためHOVレーンの交通量は少なかったが，ネットワークの有効活用の観点からHOV以外にも通行料金を課すことでレーン利用を許可するシステムである。相乗りで自動車台数を物理的に減らすHOTレーンとの比較も興味深いが，本研究ではEV/Tollレーン導入による導入評価として，走行台キロ，

走行台時，CO₂やNO_x排出量の他，EV保有インセンティブや社会的便益について分析していく。

(2) EV/Tollレーンの導入評価

本研究ではEV/Tollレーンの通行料金を段階的に設定し，社会的便益の変化をみる。通行料金は50円/回～500円/回の間で，50円，100円，150円，200円，250円，500円の6パターンを設定した。また，対象とするEV専用レーンは環状+放射型とした。

はじめに通行料金別にEV/Tollレーン導入時の走行台キロ，走行台時，CO₂，NO_xの変化（EV普及率10%で専用レーン導入前を基準とする）をみる。図-5より，走行台キロは通行料金によって大きな変化は見られず，走行台時は通行料金を課すことで減少している。特にEV専用レーンの影響が強くでる名古屋市では，EV/Tollレーン導入によって2%程度減少し，自動車ネットワークをより有効に利用していることが確認できる。CO₂とNO_x排出量削減は共にEV/Tollレーン導入によって，若干の改善がみられる。すなわち，EV専用レーンと競合するリンクの走行速度が向上し，環境改善につながっている。ただし，通行料金によってそれほど大きな違いは見られず，更なる環境改善のためには，道路課金政策や公共交通利用促進などとのパッケージ施策の導入が必要である。

続いて，表-2の社会的便益をみていく。EV専用レーンのみの場合，EV保有者は走行費用減少や所要時間短縮のために利用者便益がプラスであるが，非保有者は通行不可のリンクが生じることで便益がマイナスになり，結果的に社会的便益は-31百万円となっている。つまり，EV専用レーンはEV普及率10%程度では，不効率な施策と判断される。一方，EV/Tollレーンは通行料金を支払ってでも所要時間短縮効果が得られるため，非保有者の利用者便益はマイナスではあるが改善し，通行料金の課金

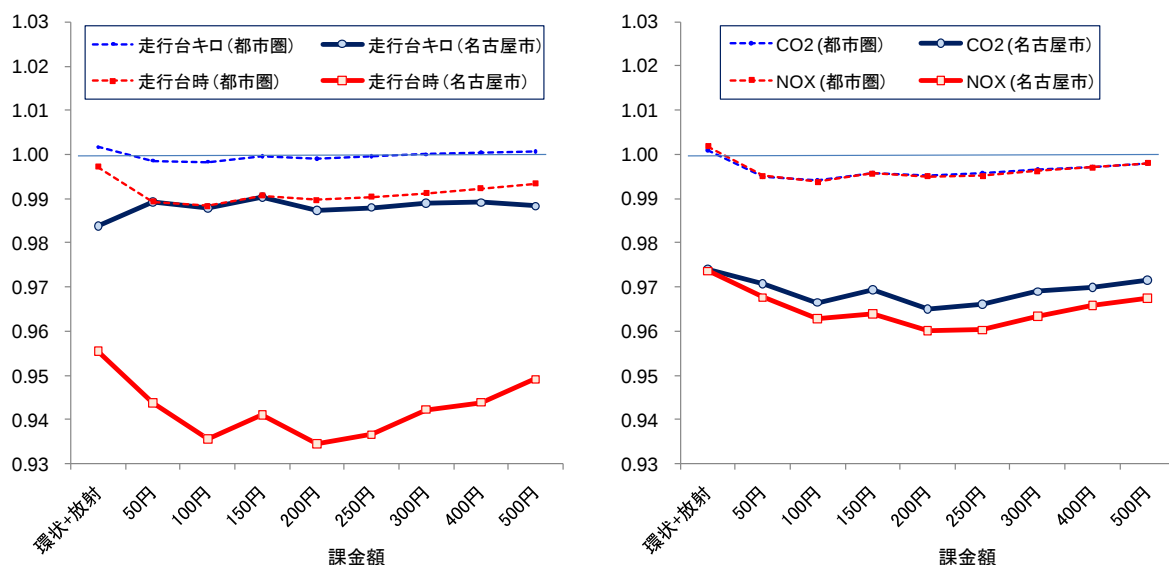


図-5 EV/Tollレーン導入時の自動車関連指標と環境改善効果

表-2 EV/Tollレーン導入時の社会的便益

単位：百万円/朝ピーク時

		課金額								
		環状+放射 (0円)	50円	100円	150円	200円	250円	300円	400円	500円
利用者	EV保有者	12.07	0.69	1.88	3.10	3.93	4.65	5.35	6.59	7.78
	EV非保有者	-42.41	-11.03	-13.83	-14.34	-15.94	-18.43	-21.43	-27.18	-31.25
	貨物車	-9.86	-2.58	-3.68	-4.56	-5.41	-6.16	-6.98	-8.35	-9.46
供給者	公共交通運賃	3.45	0.98	1.16	1.27	1.47	1.67	1.88	2.27	2.56
	高速道路通行料金	5.90	-0.81	-1.49	-2.67	-1.80	-0.93	-0.43	-0.15	0.89
	課金収入	0.00	23.42	34.10	41.47	43.75	45.06	45.26	42.48	37.50
環境負荷	CO2	-0.01	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
合計		-30.87	10.72	18.22	24.32	26.05	25.91	23.70	15.69	8.04

収入によって社会的便益は50円～500円ではプラスに転じる。しかし、EV保有者の利用者便益はEV専用レーンを独占できないため所要時間短縮効果が減少し、EV/Tollレーン導入によって減少していることが分かる。

社会的便益の最大化の視点からみると、今回の導入ケースではEV/Tollレーンの最適な通行料金は200円/回となり、課金収入は44百万円と見込まれる。この課金収入は専用レーンの維持管理費に充てる他、更なる環境改善を目指した交通施策実施の補填に再分配することができ、例えば、EV購入時の補助制度に充てることでEV普及のさらなる促進につながる。

ここで、EV保有のインセンティブ創出効果を確認する。EV専用レーンの導入前、導入後、通行料金200円/回のEV/Tollレーン導入の場合のインセンティブ創出状況を表-3に整理した。保有者1人当たりの保有インセンティブはEV専用レーン導入前は435円、導入後は474円、EV/Tollレーン導入後は448円となり、専用レーンのみと比べると26円小さくなるが、専用レーン導入前よりは13円高くなる。また、専用レーン設置による所要時間短縮効果を楽しむEV利用者分布をみると（図-6）、専用レーンのみでは最大10分以上短縮できる保有者がいるが、

表-3 EV/Tollレーン導入によるインセンティブ創出

		普及率 10%		
		EVレーン 無し	環状+放射	EVT_200
EV 利用状況	EV保有者数(人)	382,435	382,435	382,435
	EV利用者数(人)	269,742	272,044	270,491
	利用率	70.5%	71.1%	70.7%
EV保有の インセン ティブ	都市圏計(百万円)	166.5	181.2	171.4
	保有者あたり(円/人)	435.4	473.8	448.1
	導入効果		38.4	12.7
	利用者あたり(円/人)	617.3	666.1	633.6
	導入効果		48.8	16.3

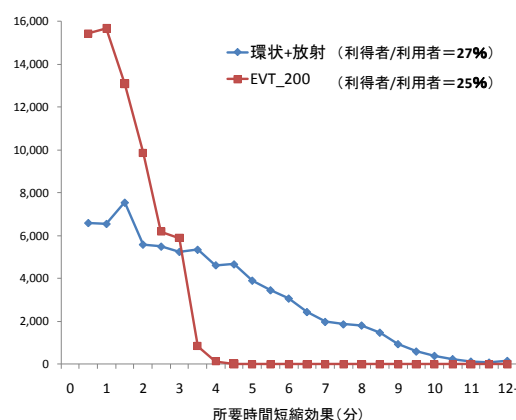


図-6 EV利用者の所要時間短縮効果の分布

EV/Tollレーン導入下では最大4分程度の短縮となり、不公平感も小さくなっているといえる。

以上より、EV/Tollレーンは社会的便益を損なうことなくEV保有者に利用時のインセンティブ創出が可能であり、かつ環境改善もできることが明らかになり、次世代自動車普及施策として有効であるといえる。

5. まとめ

本研究では、マルチクラス統合均衡モデルによるEV専用レーン及びEV/Tollレーンの導入評価として、名古屋都市圏に適用した結果、以下のことを明らかにした。

- ✓ EV普及による環境改善効果を定量的に示し、さらにEV専用レーン導入時は都市圏レベルでは変化が無いが、名古屋市では走行台キロと走行台時は減少傾向にあり、CO₂、NO_x排出量も導入前から2～4%削減された
- ✓ EV保有インセンティブはEV専用レーン（環状+放射型）では、所要時間短縮効果が加味されて走行費用減少効果のみの導入前よりも保有者あたり38円/人増加（435円/人→474円/人）。ただし、社会的便益はマイナスとなる
- ✓ EV専用レーンの効率的な活用を目指し、一般車両利用者に別途通行料金を徴収するEV/Tollレーンを導入すると、一般車両の走行環境改善により、CO₂とNO_x排出量は減少し、EV保有インセンティブもEV専用レーン導入前より保有者あたり13円増加（435円/

人→448円/人）

- ✓ EV/Tollレーンの通行料金200円/回の課金収入は44百万/朝ピーク時であり、新たな購入補助金、充電施設整備費に利用することで、EV保有インセンティブはさらに向上すると期待できる

今後は、評価モデルの精緻化（交通行動モデルのパラメータ推定、他車種との相互干渉の考慮など）、1日単位での評価など行っていく必要がある。

謝辞：本研究は環境省の環境研究総合推進費（E-1003）により実施された研究内容の一部である。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 次世代自動車振興センターHP（<http://www.cev-pc.or.jp>），2010.
- 2) 大城温，小根山裕之，山田俊哉，大西博文：沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について，土木技術資料，Vol.42. No.1，pp.60-63，2000.
- 3) 大城温，松下雅行，並河良治，大西博文：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，Vol.43. No.11，pp.186-191，2001.
- 4) 電気事業連合会：電気事業における環境行動計画，2010.
- 5) 金森亮：従業地側人口制約を緩和した個人属性別居住地-従業地分布の推計手法，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM，2010.