

時間帯別・統合均衡モデルを用いた各種ロードプライシングの政策評価に関する研究*

An Evaluation of various Road Pricing Systems

by Semi-Dynamic Combined Stochastic Equilibrium Model*

金森 亮**・三輪富生***・森川高行****

By Ryo KANAMORI**・Tomio MIWA***・Takayuki MORIKAWA****

1. はじめに

自動車交通が集中する都市部などでは交通渋滞の慢性化、交通事故の増大、違法駐車、大気汚染や騒音などの問題が生じている。これらの問題の大部分は自動車利用の適正化・抑制によって解決することができるため、交通基盤施設整備に加えて、交通需要管理（TDM）施策を組み合わせて実施されることが多い。

TDM施策の1つであるロードプライシング（RP）は、ITS関連技術の進歩や海外事例報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾によって、注目を集めつつあり、我が国でも東京都にて導入検討⁵⁾⁶⁾がなされている。対象地区に流入/走行するドライバーが課金対象となるため、RP導入による交通行動変化は出発時刻変更、目的地変更、交通手段変更、経路変更が考えられる。これらの交通行動変化によって、2003年2月よりロンドンにて実施されているRP（エリア型、全車一律£5（2005年5月より£8）、平日午前7時～午後6時30分）では大幅な自動車交通量の削減と渋滞緩和（平均30%減少）が報告⁴⁾されており、RP導入の有効性が実証されている。

大きな導入効果を実証されているものの、RP導入に際して大きな障害となっているのが、公共受容性の低さによる合意形成の難しさ⁷⁾⁸⁾である。これは主に罰金的手法としての色彩が強いことに起因している。そのため、課金収入の用途を併せて説明することによる賛否意識の変化や要因分析⁷⁾、心理学的に居住地特性を考慮した説明方式⁸⁾など、RP導入に際する合意形成に関連する研究が進められている。また、公平性に関する研究⁹⁾¹⁰⁾も行われている。

ところで、RPは料金課金方式に応じて分類される。例えば、対象地区境界で流入時にその都度課金するコードン型、対象地区内での全ての走行に対して1日単位で課金するエリア型、対象地区内の走行距離に応じて課金する走行距離型など⁴⁾がある。これらのRP方式は課金収入を道路整備/改善や公共交通サービス充実などに充

てることでドライバー等の公共受容性を向上させることも考えられるが、直接的には罰金的な色彩が強く、合意形成は困難であろう。そのため、直接的な罰金的色彩を軽減し、公共受容性向上を狙ったRPの新たな方式として“駐車デポジット制度（PDS）¹¹⁾”が提案されている。PDSは対象地区に流入/走行する際にドライバーは課金されるが、地区内の駐車場に駐車した場合はデポジット金のように駐車料金の一部として利用でき、結局、通過交通と路上駐車ドライバーのみに課金されるシステムである。

以上のようにRP導入に際して、様々な方式や組み合わせパターンが考えられるが、各RP方式を導入した場合の効果や特性を評価することは重要であると考えられる。そこで本研究の目的は、名古屋都市圏においてコードン型、エリア型、コードン型+PDS、エリア型+PDSの4パターンのRPを実施した場合の交通状況の変化を比較し、効果や特性を評価することである。

2. RP評価に資する時間帯別・統合均衡モデルの構築

(1) 既存研究のレビュー等

交通行動変化による交通状況変化を把握する手法としては、交通均衡モデルと交通シミュレーションモデルが挙げられる。交通シミュレーションモデルはより詳細な交通行動モデルを容易に組み込むことができ、自動車の走行状況を動的に表現できるため、施策導入効果を的確に分析できる利点がある。しかし、RPのように手段分担やOD交通量が変動する可能性がある施策を評価する場合、適切な時間帯別・交通手段別OD交通量を設定する必要が生じる。このような場合、交通均衡モデルと整合的に組み合わせる¹²⁾ことが有効であると考えられるため、本研究では、適切なOD交通量を算出する目的からも、交通均衡モデルを用いることとした。

交通均衡モデルを用いたRP評価の既存研究としては、野村・秋山¹³⁾、円山ら¹⁴⁾、円山¹⁵⁾、古川ら¹⁶⁾がある。野村・秋山¹³⁾は遺伝的アルゴリズムを用いて1日単位のゾーン別最適課金パターンを算出している。円山ら¹⁴⁾はピーク時のNested Logit型需要関数（分担-配分統合型）における社会的余剰最大化による最適混雑料金を試算している。円山¹⁵⁾はエリア型課金を厳密に評価する

*キーワード：ロードプライシング，ネットワーク交通流

**学生会員，工修，名古屋大学大学院環境学研究所

（名古屋市千種区不老町，TEL052-789-3730，

E-mail：kanamori@trans.civil.nagoya-u.ac.jp）

***正会員，博（工），名古屋大学大学院環境学研究所

****正会員，Ph.D.，名古屋大学大学院環境学研究所

ためにトリップチェーンと非加算経路コストを考慮し、1日単位でコードン型とエリア型の社会的余剰等の変化を比較している。古川ら¹⁶⁾はRP導入時の貨物輸送の変化を考慮した貨物車ODを作成し、配分している。

本研究では図-1に示すように、時間帯別(1時間)に活動内容、活動場所、交通手段、利用経路の各選択行動を考慮した(確率的)交通均衡状態を再現するモデルに、渋滞状況を明示的に表現でき、自動車旅行時間の再現性向上が見込まれる時間帯別均衡配分モデル¹⁷⁾を組み合わせたモデルを構築し、RP評価に用いる。従って、RP導入による活動内容や活動場所の変更をも考慮することが可能となる(貨物車は除く)。加えて、ある基準時間帯(例えば午前3時)より逐次的に計算をすることで、近似的に時間軸と移動の空間的連続性を考慮することができるため、1日単位で課金するエリア型のRP評価にも適している。このような時間帯別・統合均衡モデルを用いたRP評価はなく、RPとPDSとを組み合わせた方式を評価することも可能である。

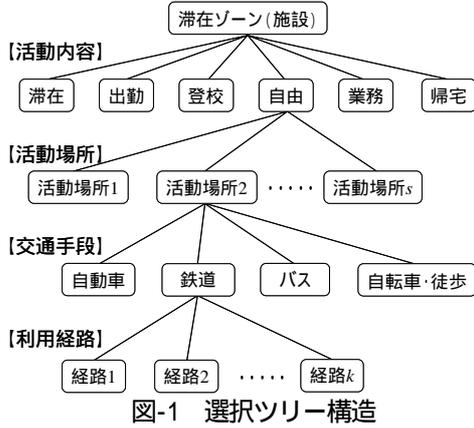


図-1 選択ツリー構造

(2) 時間帯別・統合均衡モデル

本研究で構築した時間帯別・統合均衡モデルは、金森ら¹⁸⁾のモデルを援用し、非加算経路コストを追加したものである。そのため、本稿では図-1の選択ツリー構造をNested Logitモデルで記述し、時間帯別のネットワーク均衡条件を満足する交通フローパターンを求める等価最適化問題のみを示す。(時間帯 t の添字は省略)

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_a X_a^2 / (2\mu_a) \\
 & + \sum_{i,rs,k} f_{C,k}^{i,rs} (P_k^{rs} + \hat{P}_k^{rs}) / \tau_C^i + \sum_{i,rs,m',k} f_{m',k}^{i,rs} C_{m',k}^{i,rs} \\
 & + \sum_{i,rs,m,k} \frac{1}{\theta_1} f_{m,k}^{i,rs} \ln(f_{m,k}^{i,rs} / q_m^{i,rs}) \\
 & + \sum_{i,rs,m} \frac{1}{\theta_2} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / Q_{rs}^i) + \sum_{i,rs,m} q_m^{i,rs} V_m^{i,rs} \\
 & + \sum_{i,rs} \frac{1}{\theta_3} Q_{rs}^i \ln(Q_{rs}^i / O_r^i) + \sum_{i,rs} Q_{rs}^i V_s^i \\
 & + \frac{1}{\theta_4} \sum_r [O_{r0} \ln(O_{r0} / N_r) + \sum_i O_r^i \ln(O_r^i / N_r)] + \sum_{i,r} O_r^i V_r^i
 \end{aligned} \quad (1a)$$

$$\text{subject to } x_a = \sum_{i,rs,k,a} f_{C,k}^{i,rs} \delta_{a,k}^{i,rs}, \quad \forall a \quad (1b)$$

$$(\mu_a - X_a^{t-1}) - (x_a - X_a) \geq 0, \quad \forall a \quad (1c)$$

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

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

$$\sum_s Q_{rs}^i = O_r^i, \quad \forall i,r \quad (1f)$$

$$\sum_i O_r^i + O_{r0} = N_r, \quad \forall r \quad (1g)$$

$$f_{m,k}^{i,rs} \geq 0, X_a^m \geq 0, q_m^{i,rs} \geq 0, \quad (1h)$$

$$Q_{rs}^i \geq 0, O_r^i \geq 0, O_{r0} \geq 0$$

$t_a(\cdot)$: 自動車リンク a の走行リンクの通過所要時間(BPR関数);

x_a : 自動車リンク a の流入率(台数);

X_a^t : 自動車リンク a の待ち行列台数(X_a^{t-1} は与件の定数);

μ_a : 自動車リンク a の(1時間当りの)最大流出率(台数);

$f_{m,k}^{i,rs}$: ODペア rs 間の活動内容 i 交通手段 m 経路 k の経路交通量;

$q_m^{i,rs}$: ODペア rs 間の活動内容 i 交通手段 m のOD交通量;

Q_{rs}^i : ODペア rs 間の活動内容 i のOD交通量;

O_r^i (O_{r0}): ゾーン r の活動内容 i (滞在の発生量);

N_r : ゾーン r の滞在者数(与件の定数);

P_k^{rs} : ODペア rs 間の高速度道路利用経路 k の通行料金;

\hat{P}_k^{rs} : ODペア rs 間の経路 k のRP課金額;

τ_C^i : 活動内容 i の時間価値(自動車利用者);

$C_{m',k}^{i,rs}$: ODペア rs 間の活動内容 i 交通手段 m' (自動車以外)経路 k の交通一般化費用(交通量によって変動なし);

$\delta_{a,k}^{i,rs}$: 自動車リンク a がODペア rs 間の活動内容 i 交通手段 m 経路 k に含まれるとき1, それ以外のダミー変数;

$V_m^{i,rs}, V_s^i, V_r^i$: 各選択段階における効用の確定項;

この問題の最適解が満足すべきKuhn-Tucker条件を求めると、Nested Logitモデルの方程式群を導出することができる。また、目的関数の凸性をみると、

$$t_a(x_a) > 0, \partial t_a(x_a) / \partial x_a > 0, \theta_1^m > \theta_2^{i,m} > \theta_3^i > \theta_4 > 0$$

の条件下で狭義凸関数となることがわかる。加えて、制約条件による実行可能領域は凸集合であることから、目的関数の解の一意性は保証される。

(3) 各RPの表現方法

各RPの課金状況は \hat{P}_k^{rs} を表-1の様に設定することで表現できる。時間価値はRP導入時の交通行動より算出されたものが望ましいが、そのようなデータがないため、高速道路利用状況から算出した値を利用する。

表-1 各RPの表現方法

RP方式	表現方法
コードン型	対象地区の流入リンクに課金額を設定(流入ごとに課金)
エリア型	対象地区の流入リンク、セントロイド接続リンクに課金額を設定(1日単位で課金)
PDS	交通手段選択モデルの駐車利用料金に返金額を設定(課金された度に設定)

3. モデル推定結果

構築した時間帯別・統合均衡モデルを名古屋都市圏（名古屋市周辺約20km地域）に適用するため、第4回中京都市圏PT調査データ（2001年）を用いてモデル推定を行った。ゾーンレベルはPT最小ゾーンである小ゾーンであり、ゾーン属性は平成12年国勢調査（2000年）、

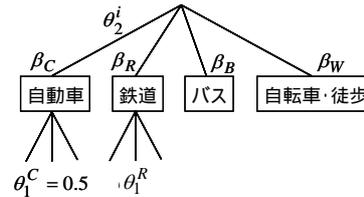
平成13年事業所・企業統計調査（2001年）から集計した。LOSは自動車は2002年プローブカ - 実験結果¹⁹⁾、鉄道・バスは2005年時点の時刻表より、2001年該当路線の1時間平均所要時間等を算出した。また、OD間距離やアクセス/イグレス距離はデジタル道路地図（DRM）を用いて算出している。

推定結果は以下の表の通りである。

表-2 交通手段・経路選択モデル推定結果

<経路選択モデル>

選択肢	変数名	推定値	t値
自動車	θ_1^C スケール(全目的)	0.50	-
	時間価値(円/分)	83.4	-
	[出勤・登校・業務目的] 時間価値(円/分) [自由・帰宅目的]	43.9	-
鉄道	θ_1^R スケール(全目的)	0.347	31.7
	乗車時間(時間)	-10.5	-21.4
	乗車外時間(時間)	-14.7	-19.6
	費用(百円)	-0.812	-16.7
	乗換回数(回)	-0.189	-2.6
	アクセス距離(km)	-2.21	-45.0
	イグレス距離(km)	-2.19	-47.2
バス	代表駅ダミー(アクセス側) 1	0.440	7.8
	スケール(全目的)	+	-
	乗車時間(時間)	-3.19	-8.0
	乗車外時間(時間)	-2.44	-4.6
	費用(百円)	-0.274	-3.1
自転車・徒歩	スケール(全目的)	+	-
	所要時間(時間)	-8.84	-45.4
	イグレス距離(km)	-0.592	-3.8



<交通手段選択モデル>

選択肢	変数名	出勤		登校		自由		業務		帰宅	
		推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
全手段	θ_2^i 期待最小費用	0.112	30.6	0.118	13.9	0.097	17.5	0.078	7.5	0.035	4.6
	直前トリップ利用手段ダミー 2	-	-	-	-	2.33	16.7	2.37	12.1	-	-
	自宅発手段依存ダミー 3	-	-	-	-	-	-	-	-	5.62	47.8
自動車	β_C 駐車料金(円) 4	-0.010	-10.8	-	-	-0.023	-7.3	-0.031	-5.5	-	-
	免許保有ダミー	2.98	16.7	1.86	7.9	2.06	20.5	3.15	8.8	1.52	6.4
	保有台数(台数)	0.696	15.8	0.461	4.5	0.617	11.4	0.612	2.4	-	-
	男性ダミー	0.745	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-
鉄道	$\theta_2^i \beta_R$ 定数項	3.67	16.8	4.13	14.3	0.848	4.4	0.948	2.6	-0.429	-2.0
	θ_1^R 65歳以上ダミー	-	-	-	-	0.381	2.7	-	-	-	-
バス	$\theta_2^i \beta_B$ 定数項	2.26	7.2	2.00	4.5	0.675	2.4	0.714	1.3	1.99	5.1
	θ_1^B 65歳以上ダミー	-	-	-	-	1.30	6.7	-	-	-	-
自転車・徒歩	$\theta_2^i \beta_W$ 定数項	5.22	25.6	5.82	14.4	3.94	29.7	3.84	10.8	4.14	23.2
	θ_1^W 15歳未満ダミー	-	-	0.871	2.6	-	-	-	-	-	-
全目的											
サンプル数		27,049									
初期尤度		-43,235									
最終尤度		-16,914									
自由度調整済み決定係数		0.608									

- 1: 代表駅ダミー: 乗換可能駅, 特急・急行等停車駅
- 2: 直前トリップ利用手段ダミー: 自宅出発以外において、直前トリップの利用交通手段と同じ場合「1」、それ以外「0」
- 3: 自宅発手段依存ダミー: 直近の自宅出発時の利用交通手段と同じ場合「1」、それ以外「0」
- 4: 駐車料金: 出勤目的は到着ゾーンの平均月額料金/20日, 自由・業務目的は平均時間賃料金(駐車場所構成(有料/無料)はPTデータよりゾーン別に集計し作成)
- 5: 都心部ダミー: 名古屋市内千種区, 東区, 中区, 昭和区, 瑞穂区, 中村区, 熱田区を出発/到着する場合「1」、それ以外「0」

表-3 活動場所選択モデル推定結果

<活動場所選択モデル>

変数名	出勤		登校		自由		業務	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
期待最小費用	0.009	5.4	0.025	5.8	0.029	11.6	0.012	5.1
OD間距離(km) 1	-1.96	-77.5	-1.88	-25.0	-2.33	-45.0	-1.47	-27.3
ln(ゾーン面積(ha))	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-
ln(就業人口密度(人/ha))	-0.220	-15.6	-	-	-	-	-	-
ln(就学人口密度(人/ha))	-	-	0.195	3.6	-	-	-	-
ln(従業人口密度(人/ha))	0.934	84.9	-	-	0.592	12.1	0.812	34.1
ln(店舗・飲食店密度(事業所/ha))	-	-	-	-	0.442	8.7	-	-
ln(事務所・営業所密度(事業所/ha))	-	-	-	-	-0.410	-7.6	-	-
ln(工場・作業所等密度(事業所/ha))	-	-	-0.368	-13.3	-0.226	-10.6	-	-
ln(学校・病院等密度(事業所/ha))	-	-	0.588	14.3	0.288	6.2	-	-
施設(学校)ダミー 2	-	-	0.722	4.2	-	-	-	-
施設(S.C)ダミー 3	-	-	-	-	0.648	12.1	-	-
サンプル数	6,781		1,670		4,482		1,563	
初期尤度	-23,332		-5,500		-15,894		-5,580	
最終尤度	-12,307		-2,650		-4,893		-3,278	
自由度調整済み決定係数	0.472		0.517		0.692		0.412	

- 1: OD間の最短経路距離(DRMより算出)
- 2: 施設(学校)ダミー: ゾーンに学校関連施設が地図検索対象施設としてある場合「1」、それ以外「0」
- 3: 施設(S.C)ダミー: ゾーンにショッピングセンターが地図検索対象施設としてある場合「1」、それ以外「0」

自動車経路選択に関して、PT調査データでは高速道路利用者が少ないため、別途、高速道路定数項を含めたパラメータより、時間価値を算出し、設定した。また、活動内容選択に関して、自宅からの出勤・登校は習慣行動²⁰⁾であるとみなし、期待最小費用の影響は受けないものとして推定している。推定結果に関する考察は、紙面の都合上省略するが、*t*値やモデル適合度も良好であり、推定精度は高いといえる。

4. 今後の方針

本稿では、既存のRPに加えて公共受容性向上が見込まれるPDSを組み合わせたRP評価を目的とし、時間帯別・統合均衡モデルを構築し、名古屋都市圏に適用するためにNested Logitモデルの推定を行った。今後は、時間帯別均衡配分を実施し、RP評価を行う。その結果については講演時に報告する予定である。RP評価指標としては、交通手段別交通量や平均速度、CO₂等の環境指標に加えて、来訪者数や平均滞在時間等を考えている。

参考文献

- 1) 新田保次:ヨーロッパにおけるロードプライシングをめぐる最近の動き、高速道路と自動車、第35巻 第7号、pp.30-34,1992.
- 2) 加藤浩徳、堀健一:都心部へのロードプライシング導入の合意形成に向けての議論に関する海外事例分析、土木計画学研究・講演集、Vol.22(1)、pp.25-28,1999.
- 3) 藤井聡:北欧におけるロードプライシングの試み:ノルウェーでの導入事例とスウェーデンでの失敗、運輸政策研究、Vol.2 No.2、pp.57-60,1999.
- 4) 太田勝敏:大都会におけるTDMとロードプライシング、高速道路と自動車、第48巻 第8号、pp.5-8,2005.
- 5) 東京都環境局HP
- 6) 渡辺明子、矢島充郎、谷崎馨一:ロードプライシングの交通・環境改善効果の推計、土木計画学研究・講演集、Vol.24,2001.
- 7) 新田保次、松村暢彦、森康男:パッケージアプローチによるロードプライシングの賛否意識の変化特性と効果分析、土木学会論文集、No.536/ -31、pp.23-35,1996.
- 8) 藤井聡:ロードプライシングの公共受容におけるフレーミング効果、土木学会論文集 (投稿中)
- 9) 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、Vol.16、pp.707-715,1999.
- 10) 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.
- 11) 森川高行:中京都市圏の交通 - 大いなる田舎型か未来型か、運輸と経済、第65巻 第7号、pp.13-20,2005.
- 12) 溝上章志、柿本竜治:時間帯別交通量配分とマイクロシミュレーション

表-4 活動内容選択モデル推定結果

<活動内容選択モデル>

選択肢	変数名	滞在箇所					
		自宅		通勤先・通学先		その他外出先	
		推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
	期待最小費用(滞在以外)	-	-	0.004	12.6	0.006	18.7
	期待最小費用(自由・業務目的)	0.001	1.9	-	-	-	-
	22~4時台ダミー(滞在以外)	-4.40	-37.1	-	-	-	-
	駐車料金(百円) ¹	-	-	-	-	-0.119	-2.4
	[自由・業務・帰宅目的]	-	-	-	-	-	-
滞在	定数項	0.00	-	0.00	-	0.00	-
出勤	定数項	-3.87	-58.7	-	-	-10.8	-26.0
	滞在時間(時間)	0.303	36.5	-	-	-	-
	6時台ダミー	0.798	13.4	-	-	-	-
	7~8時台ダミー	2.44	56.4	-	-	-	-
登校	定数項	-4.86	-34.5	-	-	-6.15	-10.4
	滞在時間(時間)	0.473	22.9	-	-	-	-
	7~8時台ダミー	3.00	34.1	-	-	-	-
自由	定数項	-6.30	-47.0	-8.62	-40.0	-5.32	-37.9
	滞在時間(時間)	0.372	57.6	0.211	8.8	-	-
	主婦・無職ダミー	0.713	16.7	-	-	-	-
	65歳以上・8~10時台ダミー	0.722	12.5	-	-	-	-
	女性・15~17時台ダミー	-	-	1.48	12.7	-	-
	非就業者・10~16時台ダミー	-	-	-	-	0.698	7.5
	9~11時台ダミー	1.43	35.5	-	-	-	-
	11~12時台ダミー	-	-	0.802	4.3	0.198	1.9
	16~18時台ダミー	-	-	-	-	0.288	2.4
	17~19時台ダミー	-	-	1.18	9.3	-	-
業務	定数項	-8.38	-23.6	-9.63	-30.6	-12.2	-29.0
	滞在時間(時間)	0.289	20.7	-	-	-	-
	男性就業者・滞在時間(時間)	-	-	0.045	2.4	-	-
	就業者ダミー	1.64	16.0	-	-	3.51	13.8
	男性ダミー	-	-	1.24	9.3	-	-
	7~9時台ダミー	1.28	15.0	-	-	-	-
	8~10時台ダミー	-	-	1.39	10.8	-	-
	10~12時台ダミー	-	-	-	-	1.03	6.1
	13時台ダミー	-	-	1.09	7.4	-	-
	13~14時台ダミー	-	-	-	-	1.13	6.6
	15~17時台ダミー	-	-	-	-	1.52	9.2
帰宅	定数項	-	-	-6.76	-61.4	-2.69	-22.0
	滞在時間(時間)	-	-	0.342	45.5	-	-
	女性・15~17時台ダミー	-	-	0.879	22.5	-	-
	男性・21~23時台ダミー	-	-	1.67	18.9	-	-
	65歳以上・10~12時台ダミー	-	-	-	-	0.130	1.7
	非就業者・10~16時台ダミー	-	-	-	-	1.10	20.3
	10~16時台ダミー	-	-	-	-	-0.696	-8.4
	15~16時台ダミー	-	-	0.476	8.6	-	-
	17~18時台ダミー	-	-	-	-	0.933	10.9
	17~20時台ダミー	-	-	1.60	28.7	-	-
	19~21時台ダミー	-	-	-	-	0.649	7.4
	ケース数 ²	182,566		81,453		14,006	
	初期尤度	-216,399		-112,917		-20,371	
	最終尤度	-29,783		-22,419		-12,093	
	自由度調整済み決定係数	0.862		0.801		0.405	

1: 駐車料金: 滞在箇所における平均時間賃料金×滞在時間

(ただし、1時間以上滞在中の自動車来訪者のみ)

2: ケース数: 各滞在箇所における時間帯別のトリップ発生選択回数の総和

(11,831人×24時間=283,944ケースの内、各時0分に移動中でないサンプル)

ヨンを結合した交通流動分析法の提案と適用、交通工学、Vol.40 No.3、pp.65-75,2005.

13) 野村貴博、秋山孝正: 遺伝的アルゴリズムによる都市道路網ゾーン別混雑料金の設定、土木計画学研究・論文集、Vol.18 No.3、pp.455-462,2001.

14) 円山琢也、原田昇、太田勝敏: Nested Logit型確率の利用者均衡条件化での最適混雑料金、土木計画学研究・論文集、Vol.20 No.3、pp.555-562,2003.

15) 円山琢也: ロードプライシング政策の比較分析-エリア課金vsコードン課金-、都市のORウィンターセミナー2006 in つくば、2006.

16) 古川雄一、円山琢也、原田昇: ロードプライシング実施時の貨物輸送の変化に関する研究、土木学会論文集、No.807/IV-70、pp.11-20,2006.

17) 赤松隆、牧野幸雄、高橋栄行: 時間帯別OD需要とリンクでの渋滞を内生化した準動的配分、土木計画学研究・論文集、Vol.15、pp.535-545,1998.

18) 金森亮、三輪富生、森川高行: 誘発交通を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築、土木計画学研究・講演集、Vol.32,2005.

19) Miwa, T. Sakai, T. and Morikawa, T.: Route Identification and Travel Time Prediction Using Probe-Car Data, International Journal of ITS Research, Vol.2 No.1, pp.21-28, 2004.

20) 北村隆一、森川高行他: 交通行動の分析とモデリング、技報堂出版、2002.