

# エリア型課金デポジット制度の提案及びその評価モデル\*

## Proposal of Area-based Pricing Deposit System and its Modelling \*

円山 琢也\*\*・溝上 章志\*\*\*・柿本 竜治\*\*

By Takuya MARUYAMA\*\*・Shoshi MIZOKAMI\*\*\*・Ryuji KAKIMOTO\*\*

### 1. はじめに

都心部の交通混雑を緩和するための新たなプライシング政策としてエリア型課金デポジット制度 (APD, 仮称) を提案する。料金変化により交通混雑の解消を目指す施策は多いが、既存の料金の値上げ・新規課金の導入は、利用者の反対に直面し、一般に導入は困難とされている。例えば、高速道路の社会実験はもっぱら料金割引のみが対象となっている。しかし、料金値上げを回避している施策の効果は限定的なものとなっている可能性が高い。

筆者の一人は、先に、ピーク・ロード・デポジット制度 (PLD) という新たな課金スキームを提案している<sup>1)</sup>。本稿では、その制度と原理的には類似しているが、都心部の限定された地域への適用を念頭においた、新たな施策を提案する。

本研究では、この施策を評価するための一つのネットワーク・モデルとして、一週間単位のトリップ・チェーン (以下 TC) を考慮した交通均衡モデルを提示し、今後の研究展開などを議論する。

### 2. 新しいプライシング施策に関する先行研究レビュー

混雑課金政策については、それが社会全体で見ると望ましい状態を導くと主張されても、課金により利用者の負担は増加するため、導入には住民の反対が避けられない。ここでは、政策の受容性の向上等を目的として、最近新たに提案されてきたプライシング施策に特に着目しながら、関連の先行研究をレビューすることを試みる。

DeCorla-Souza<sup>2)</sup> は、FAIR (Fast and Intertwined Regular) レーンと呼ぶ新たな仕組みを提案している。FAIR レーンとは、まず道路区間を「高速レーン」と「通常レーン」に区分する。そして高速レーンでは、動的に変化する課金がされる。その一方で、通常レーンを走行する車両には、同時刻の課金額に基づくクレジットが与えられるという仕組みである。このクレジットは、それを累積することで、翌日以降、高速レーンの料金や、公共交通機関

の料金として利用できるという仕組みである。

Daganzo<sup>3)</sup>, Daganzo and Gracia<sup>4)</sup> は、課金と割当制の組み合わせによるパレート改善型混雑課金について単一ボトルネックを対象に分析している。早崎・赤松<sup>5)</sup> は、一般ネットワーク上で、彼らのモデルを経路選択行動に応用した分析フレームを提示している。Nakamura and Kockelman<sup>6)</sup> は、San Francisco Bay Bridge を対象に Daganzo<sup>3)</sup> モデルの実証研究を試みている。これらの研究では、利用者を、課金を支払う必要の無いグループと支払う必要があるグループの2つに分け、課金によってもすべての利用者の効用水準が向上するような仕組みを探っている。ただ、これらの研究では、どのように課金対象利用者を2つのグループに割当てるかについては、研究の焦点とはなっていない。

また、クレジット型混雑課金という政策も提案され、実都市圏での分析も進められている<sup>7), 8), 9)</sup>。この課金システムは、対象都市圏で登録された車両の所有者に、月単位で交通補助金がクレジットとして支給され、利用する道路区間の混雑外部不経済に応じた額が、クレジットから差し引かれていくという仕組みである。混雑課金の収入総額が、車両保有者に均等に分配され、課金の一部を相殺しているとみなすことができる。

さらに駐車デポジットシステムと呼ぶ新たな課金政策も提案されている。これは、課金対象地域に流入する全車両に対し、一時的に課金を徴収するが、地域内で買い物また駐車場に駐車したドライバーには、それらの代金の一部に充当するように、課金分から返金が行われるという仕組みである。このシステムは、受容性の向上を目指した課金政策の一例であり<sup>10)</sup>、大規模なモデルを用いた導入評価も行われている<sup>11)</sup>。

関連した最近の研究では、ボトルネック通行権取引制度<sup>12), 13)</sup> が提案されている。この制度は、特定のボトルネックを特定の時刻のみに通行できる権利を道路管理者が設定・発行し、その通行権を道路利用者が市場で自由に売買取引するものである。この制度は、需要関数などの利用者情報を利用せずに、渋滞の解消を目指すという、大変興味深いシステムであるが、今すぐに実装できる制度ではないであろう。

これらに対して、円山<sup>1)</sup> は、以下のような新たな課金制度を提案している。

\*キーワード: TDM, 交通ネットワーク分析

\*\* 正会員, 博, 熊本大学 政策創造研究教育センター

(〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1, Fax: 096-342-2042)

\*\*\*正会員, 工博, 熊本大学大学院自然科学研究科

### ピーク・ロード・デポジット制度 (PLD)

ピーク時の料金値上げを実施するが、その値上げ分を利用者にデポジットとして付与し、そのデポジット額は、そのまま翌日以降のオフ・ピーク利用時の料金の割引に使用できるとする。

この制度は、利用可能時間を限定しながらも、料金値上げ分を利用者に完全に還元することで、受容性が高いプライシング施策を目指している。同時に、ピーク時利用者について、1週間のうち数日のみをオフ・ピーク利用に転換してもらうことで、ピーク時の混雑緩和を目指す施策である。ETC や IC カード型乗車券の仕組みを少し改良すれば、既存の交通施設を利用しながら、すぐに実装できる点が特徴である。

### 3. エリア型課金デポジット制度の提案と本研究のモデルの基礎となるトリップ・チェーン均衡モデル

本研究で提案するエリア型課金デポジット制度 (APD) は、まず、既存のコードン/エリア課金と同様に、都心部に課金対象地域を設定する。その課金区域を目的地とする公共交通機関は整備されており、課金区域の外で自動車からその公共交通機関に乗り換えることのできる Park & Ride (P&R) 駐車場も整備されるものとする。そして、以下のような課金・デポジット制度を設計する。

#### エリア型課金デポジット制度 (APD)

課金区域に流入する車両に、流入毎 (or 1日単位) に課金を行う。ただし、その課金の全額または一部は、その車両 (もしくは個人に) デポジットされ、その額は、翌日以降、対象地域流入時の公共交通機関、P&R 駐車場の料金の一部に充当できる。

この制度は、先述した駐車デポジット制度<sup>10), 11)</sup>の考え方と一部類似するところがあるが、複数日での課金・返金を行っている点が最大の違いである。各利用者がトータルで支払う課金額はデポジットによって異なることになる。利用者の金銭負担増加を限定しながら、都心部の混雑の緩和を期待する施策である。

一般に、コードン/エリア課金のどちらも、都心部に課金区域を設定することで、その地域を目的地とする魅力が低下する可能性が指摘されている。実際、エリア課金が導入されたロンドン都心部の店舗の売り上げ減も報告<sup>14), 15)</sup>されている。それに対して、今回提案する APD は、例えば、ある週末に都心に自動車で購入物にきた利用者が、次の週末にも公共交通機関を利用して再度都心に来る効果が期待できる。また、平日、車で都心に通勤 (or 業務活動) している人が、週末家族と都心に公共交通機関で購入物に来る効果も期待できる。

デポジットの技術的実現方法としては、まずは、ETC の利用が考えられる。ETC にデポジットされた額を、公共交通機関事業者に移管する仕組みを構築する必要がある。同一交通機関での課金・返金を前提とした PLD よりは、少し複雑な制度になる。ただし、基本的に、すべての関係者にメリットが生じうる仕組みなので、この実現は不可能ではないと思われる。

他の方式としては、課金時は、流入車両の一台単位で課金するが、デポジットは、個人の GPS 機能付携帯電話に、個人単位で与えるというアイデアもある。車両単位で課金して、デポジット (インセンティブ) は個人にという考えである。この場合でも、コードン/エリア型課金であれば、自動車利用が増えることは考えにくく、また、その方式が、インセンティブとなり相乗りが増加すれば、それは社会的にプラスとみなせよう。

以下、本研究では、筆者らが先行研究<sup>16), 17), 18)</sup>で構築した TC 型ネットワーク均衡モデルを改良することで、この制度の評価モデルの一試案を示していく。

筆者らの先行研究<sup>16), 17)</sup>のモデルは、まず、TC を一日単位で、人が一連の活動を行うために必ず経由するノード集合で定義している。一日の移動を完結するためには、そのノード集合を経由しての、さまざまな経路がありうるが、それらの経路を TC 経路とその研究では定義している。そして、エリア課金が非加法型 TC 経路コストとして表現できることを明らかにしている。そして、それを考慮したモデルには、以下のような等価最適化問題が存在することが示されている<sup>16), 17)</sup>。

$$\min . Z_1(\mathbf{x}(\mathbf{g}), \mathbf{h}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_n \sum_{m \in M} \tau g_n^m - \sum_n \int_0^{h_n} D_n^{-1}(\omega) d\omega \quad (1)$$

subject to

$$h_n = \sum_m g_n^m, \quad \forall n, \quad (2)$$

$$x_a = \sum_{m,n} \delta_{a,n}^m g_n^m, \quad \forall a, \quad (3)$$

$$x_a \geq 0, h_n \geq 0, g_n^m \geq 0. \quad (4)$$

ここで、

$x_a$  : リンク  $a$  の交通量;

$t_a(\cdot)$  : リンク  $a$  のリンクコスト関数;

$\tau$  : (所要時間単位に変換された) 課金額;

$g_n^m$  : TC  $n$  における TC 経路  $m$  の交通量;

$M$  : 課金される TC 経路集合;

$h_n$  : TC  $n$  の交通量;

$D_n^{-1}(\cdot)$  : TC  $n$  に対応した逆需要関数;

$\delta_{a,n}^m$  : TC  $n$  における TC 経路  $m$  にリンク  $a$  が含まれれば 1, それ以外では 0 を取る変数;

とする。

#### 4. 1週間単位の時空間ネットワーク均衡モデル

##### (1) 1週間単位の時空間ネットワーク

さて、デポジットによる効果を分析したいため、1週間単位の利用者の行動とそれによる交通均衡を考える。この単位を1ヶ月・1年単位等と読み替えても、以下の議論に本質的な差は生じない。

まず、対象都市圏のネットワークを一週間の各曜日に対応するように複製したものを準備する。デポジットによる料金値下げ対象とする公共交通機関も含めて、P&Rの利用も考えることのできる、Mixedモード型のネットワークを想定する<sup>19)</sup>。

ある一日のトリップのネットワークの終点ノードを翌日のネットワークの起点ノードにつなげる。これを繰り返すことで、図-1のような時空間ネットワークが構築される。この図では単純ため、IODペアの場合を示しているが、複数ODペアを考慮する場合にも、本研究のモデルは適用できる。また、1日のトリップ・チェーンを考えることもでき、本来そのほうが自然であるが、説明を単純にするためIODペア別につなげた図を示している。

##### (2) 利用者の行動・均衡と支払い料金額

各利用者は、交通時間、交通費用をもとに、1週間単位の時空間パス(Weekly-based Time-Space Pass; 以降、WTSP)の最適な選択行動を行うものとする。

また、1週間単位の時空間チェーンをWTSC(Weekly-based Time-Space Chain)と表記する。このWTSCは、先述したTC型ネットワーク均衡モデルにおけるTCに相当するため、そのモデルと同様な枠組みが適用できる。

以下、説明を容易にするため、課金対象が一地域の場合を考える。そして、課金区域への流入料金は、基本料金 $\tau_1$ であるとし、公共交通機関(P&R駐車場含む)の料金は、 $\tau_2$ であるとしよう。1週間のうち、対象地域への自動車での流入回数を $X$ 、同じく公共交通機関での流入回数を $Y$ とする。ここで、「課金パターン」として、1週間あたりの総支払い額によってWTSPを分類する変数 $p$ を導入する。この $p$ は、 $X, Y$ に依存するので、 $p(X, Y)$ と記述できる。

1週間単位の利用者の選択行動が繰り返された結果、定常状態に達し、その均衡状態を記述すると考える。すると、1週間で支払う自動車の流入料金の総計は、 $\tau_1 X$ と

なる。公共交通機関利用時の料金の総計は、デポジット分 $\tau_1 X$ が一部充当できることを踏まえると、

$$\max.(0, \tau_2 Y - \tau_1 X) \quad (5)$$

と表現でき、結局、課金パターン $p$ の1週間合計の料金支払い額 $\tau_p$ は、

$$\tau_{p(X, Y)} = \tau_1 X + \max.(0, \tau_2 Y - \tau_1 X) \quad (6)$$

と表現できる。

##### (3) 等価最適化問題

本モデルは、先行研究のTC型モデルを改良したものであるため、以下のような等価最適化問題が構成できる。

$$\min. Z_2(\mathbf{x}(\mathbf{f})) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_l \sum_p \sum_{k \in M_p} \tau_p f_{l,k} \quad (7)$$

subject to

$$q_l = \sum_k f_{l,k}, \quad \forall l, \quad (8)$$

$$x_a = \sum_{k,l} \delta_{a,l}^k f_{l,k}, \quad \forall a, \quad (9)$$

$$x_a \geq 0, f_{l,k} \geq 0. \quad (10)$$

ここで、

$f_{l,k}$  : WTSC  $l$ , WTSP  $k$  の交通量;

$M_p$  : 課金パターン  $p$  が賦課される WTSP 集合;

$\tau_p$  : 課金パターン  $p$  の一週間合計の料金支払い額;

$q_l$  : WTSC  $l$  の交通量 (所与);

$\delta_{a,l}^k$  : WTSP  $k$  にリンク  $a$  が含まれれば 1, それ以外では 0 を取る変数;

とする。

##### (4) アルゴリズム

アルゴリズムも先行研究<sup>16), 17)</sup>と同様に部分線形化法が利用できる。 $f_{l,k}$ のうち課金パターン $p$ が賦課される交通量の合計を

$$d_{l,p} = \sum_{k \in M_p} f_{l,k}, \quad \forall l, p, \quad (11)$$

と定義すると、式(7)は、WTSP変数を利用せずとも表現でき、大規模ネットワークでも計算可能となる。

#### 5. 議論と今後の展開

PLDとAPDの課金額の設定については、以下のような点が、共通して指摘できると思われる。

シンガポールの都心課金システム(紹介として、例えば、20), 21))のように、数ヶ月ごとに、前期間の区域内

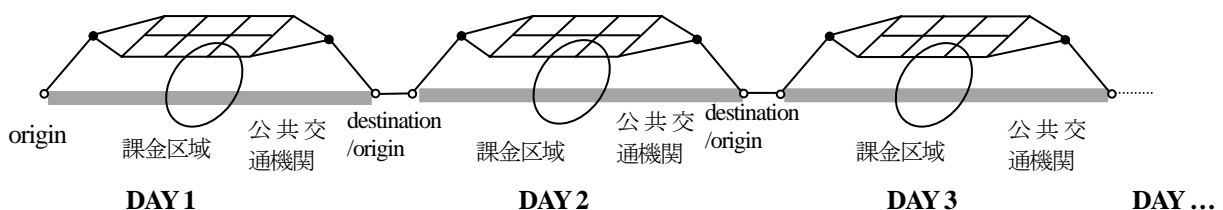


図-1 1週間単位の時空間ネットワーク

の平均速度を元に、時間帯別の料金を変更するという制度が有効に機能しうる。PLDであれば、ピーク時に混雑が発生しない程度まで、APDであれば、区域内に混雑が発生しない程度に、課金額を値上げするという考えである。かなりの高額な値上げになる可能性もあるが、デポジットとして、利用者に一部を還元する仕組みを作ることで、受容性も高まると考えられる。

関連して、正確な需要関数の情報なしに、試行錯誤的に課金額を変更するという課金システムについての研究は、Yang *et al.*<sup>22)</sup>をはじめとして、数多くされている<sup>23), 24), 25), 26)</sup>。これらの研究を参考に、PLD, APDの課金額の設定を、試行錯誤的に実行しても、次善のシステム最適状態に導けるのかについての理論分析、また、より急速に最適状態を導く方法<sup>27)</sup>についても検討したい。

また、PLDの場合は、デポジット額を何日後のオフ・ピークの割引に用いるのかは、利用者の自由な選択に任されている。APDについても同様なことがいえる。前者は、ピークとオフ・ピークの需要の時間分散を、後者は、手段間等の需要分散施策を、複数日にまたがる課金システムで実現している。このことは、例えば、既存の割当制<sup>3), 4), 5)</sup>、あるいはナンバープレート規制のように、利用者への課金 (or 通行規制) の有無を強制的に行う施策よりも、社会的に効率的といえる可能性が高い。

さらに、一般的な最適課金として知られるネットワーク上の全リンクへの限界費用課金と比べて、本制度は次善課金の一種類といえる。この場合、最適課金による社会的余剰の最適値と比較して、本制度がどの程度効率的といえるのかどうか、限界があるのかどうかを、実証的に明らかにしておく価値は高いと思われる。

これらの点について、今後分析を進めたい。

## 参考文献

- 1) 山田琢也: ピーク・ロード・デポジット制度の提案及びその評価モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM, #306, 2008.
- 2) DeCorla-Souza, P.: FAIR lanes: A new approach to managing traffic congestion, *ITS Quarterly*, 8, 5-13, 2000.
- 3) Daganzo, C. F.: A pareto optimum congestion reduction scheme, *Transportation Research Part B*, Vol. 29, Issue 2, pp. 139-154, 1995.
- 4) Daganzo, C.F. and Gracia, R.C.: A pareto improving strategy for the time-dependent morning commuter problem, *Transportation Science*, Vol. 34, No.3, pp. 303-310, 2000.
- 5) 早崎俊和, 赤松隆: 混雑料金と割り当て制の合成スキームによるパレート改善, MPEC 研究会 編: MPEC にもとづく交通・地域政策分析, 中京大学経済学部附属経済研究所研究叢書, 第9輯, 第3章, pp.37-59, 2003.
- 6) Nakamura, K. and Kockelman, K. M.: Congestion pricing and road space rationing: an application to the San Francisco Bay Bridge corridor, *Transportation Research Part A*, Vol. 36, Issue 5, pp. 403-417, 2002.
- 7) Kalmanje, S. and Kockelman, K.M.: Credit-based congestion pricing: travel, land value and welfare impacts, *Transportation Research Record*, 1864, pp. 45-53, 2004.

- 8) Kockelman, K. M. and Kalmanje, S.: Credit-based congestion pricing: A policy proposal and the public's response, *Transportation Research Part A*, Vol. 39, Issues 7-9, pp. 671-690, 2005.
- 9) Gulipalli, P. K. and Kockelman, K.M.: Credit-based congestion pricing: A Dallas-Fort Worth application, *Transport Policy*, Vol. 15, Issue 1, pp. 23-32, 2008.
- 10) 安藤章, 森川高行, 三輪富生, 山本俊行: ロードプライシングの受容意識構造を踏まえた駐車デポジットシステム (PDS) の有効性の検証, 都市計画学会論文集, No.42-3, pp.907-912, 2007.
- 11) 金森亮, 森川高行, 山本俊行, 三輪富生: 時間帯別・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.
- 12) 赤松隆, 佐藤慎太郎, Long, N.X.: 時間帯別ボトルネック通行権取引制度に関する研究, 土木学会論文集D, Vol. 62, No. 4, pp. 605-620, 2006.
- 13) 赤松隆: 一般ネットワークにおけるボトルネック通行権取引制度, 土木学会論文集D, Vol. 63, No. 3, pp.287-301, 2007.
- 14) Quddus, M.A., Bell, M.G.H., Schmöcker, J.-D. and Fonzone, A.: The impact of the congestion charge on the retail business in London: An econometric analysis, *Transport Policy*, Vol. 14, Issue 5, pp. 433-444, 2007.
- 15) Quddus, M. A.; Carmel, A. and Bell, M.G.H.: The impact of the congestion charge on retail: The London experience, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 41, No 1, pp. 113-133, 2007.
- 16) Maruyama, T. and Harata, N.: Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: Investigation by trip-chain-based network equilibrium model with non-additive path costs, *Transportation Research Record*, No. 1964, pp.1-8, 2006.
- 17) Maruyama, T. and Sumalee, A.: Efficiency and equity comparison of cordon- and area-based road pricing schemes using a trip-chain equilibrium model, *Transportation Research Part A*, Vol. 41, Issue 7, pp. 655-671, 2007.
- 18) 山田琢也: エリア・プライシング政策の評価技術, 都市計画, 264, pp. 42-47, 2006.
- 19) 溝上章志, 河内誠: Mixed Mode ネットワーク均衡モデルによるP&R システムの需要予測, 土木計画学研究・論文集, No. 17, pp. 613-622, 2000.
- 20) Santos, G., Li, W. W. and Koh, W.T.H: Transport policies in Singapore, *Research in Transportation Economics*, Vol. 9, Santos (ed.) *Road Pricing: Theory and Evidence*, pp. 209-235, 2004.
- 21) Santos, G.: Urban congestion charging: A comparison between London and Singapore, *Transport Reviews*, Vol. 25, No. 5, pp. 511 - 534, 2005.
- 22) Yang, H., Meng, Q. and Lee, D.-H.: Trial-and-error implementation of marginal-cost pricing on networks in the absence of demand functions, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, Issue 6, pp. 477-493, 2004.
- 23) Meng, Q. Xu, W. and Yang, H.: Trial-and-Error Procedure for Implementing a Road-Pricing Scheme, *Transportation Research Record*, No. 1923, pp. 103-109, 2005.
- 24) Yang, H., Xu, W. and Meng, Q.: A sequential experimental approach for analyzing second-best road pricing with unknown demand functions, in Mahmassani (ed.) *Transportation and Traffic Theory: Flow, Dynamics and Human Interaction*, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Chapter 2, pp. 23-42, Elsevier, 2005.
- 25) Zhao, Y. and Kockelman, K.M.: On-line marginal cost pricing across networks: incorporating heterogeneous users and stochastic equilibria, *Transportation Research Part B*, Vol.40, Issue 5, pp. 424-435, 2006.
- 26) Han, D. and Yang, H.: Congestion pricing in the absence of demand functions, *Transportation Research Part E*, in press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2008.03.002>
- 27) Yang, F., Yin, Y. and Lu, J.: Steepest descent day-to-day dynamic toll, *Transportation Research Record*, No. 2039, pp 83-90, 2007.