

## ピークロードプライシングの 渋滞緩和特性に関する分析\*

柳沢 吉保\*\*・飯田 恭敬\*\*\*・内田 敬\*\*\*\*

(平成8年9月30日 受理)

### Pricing Policies of Peak Period Traffic Congestion

Yoshiyasu YANAGISAWA, Yasunori IIDA, Takashi UCHIDA

This paper examines the problem of peak-hours traffic congestion and the analysis of alternatives congestion relief methods. It presents a dynamic travel behavior of commuters, and system performance function considering the uncertainty of travel time and commuter's utility. The model consists of a dynamic travel flow model and a model of the departure time and route choice as a function of effective travel time and schedule delay penalty. The model is used to study the impacts of the pricing policies.

### 1. はじめに

今日の通勤時の慢性的な交通渋滞は、都市内の交通を妨げるだけでなく、経済的損失、大気などの環境問題、エネルギー問題への影響が深刻となっている。これに対し、従来のような交通施設の整備を中心とした対応策は、都市空間の物理的な制約や財源的な問題から、積極的な実施が困難となっている。そこで交通需要を管理することによって、既存の施設を有効利用し、交通渋滞や交通公害から都市の生活環境を保護する交通需要マネジメント (TDM: Transportation Demand Management) が今日の交通問題の主要な対応策と考えられるようになった<sup>1)-3)</sup>。TDMには、生起している問題の状況に応じていくつかの対応策があるが、近年では渋滞回避のための戦略的アプローチとしてロードプライシングの導入が注目されている。この手法は、混雑に応じた通行料金をドライバーに賦課することによって交通需要を直接的にコントロールできること、徴収した料金を財源として道路整備などに利用できることなどが利点であり、特に渋滞緩和を主目的として実際に実施されている都市がいくつかある<sup>4),5)</sup>。

ロードプライシングを導入するにあたっては、社会的公正化の問題、料金の徴収方法、また実施後の代替利用交通機関の整備など課題がいくつかある。しかしこうした課題を解決し

---

\* 平成7年12月第18回土木計画学研究講演会にて一部発表

平成7年度教育研究特別経費の補助を受けた

\*\* 環境都市工学科 講師

\*\*\* 京都大学工学部 教授

\*\*\*\* 東北大学工学部 助教授

て実際に導入されても、渋滞緩和の目標効果が達成されない例も多くあることから、計画された料金に関する実施可能性を検討する前に、料金の設定と交通需要との関係を詳細に分析する必要性が指摘されている<sup>1)</sup>。またピーク需要コントロール策は渋滞緩和効果を主たる目的として実施する方が効率的であることを指摘した研究<sup>6)</sup>もあるが、渋滞緩和を主目的とした場合、どのような実施方法が効果があるのか、またその適用限界など実際に導入するにあたっての指針が必要となる。こうした点で従来の導入例は、料金設定と渋滞緩和効果の関係に関する理論的検討による裏付けが十分になされた上で実施されているとは言えない。今後、渋滞の激しい都心部においてロードプライシングの導入を促進し、交通渋滞に十分な効果を上げるためにも、以上の点を把握しておく必要がある。

本研究では特に渋滞の激しい通勤時において、賦課する料金によって引き起こされる交通現象が、どのような渋滞緩和効果を生じさせるのかを明らかにし、効果的なロードプライシング実施方法を理論モデルを用いた数値実験によって検討することを目的とする。

## 2. 本研究の枠組みと位置づけ

ロードプライシングには交通需要の分散に対し大きく分けて2とおりの効果がある。1つはネットワーク中の混雑している道路を利用するドライバーに適切な料金を賦課し、当該道路の交通需要を他の経路や機関に分散させる効果である。2つめは混雑を起こす道路でもピーク時とオフピーク時では交通需要にかなりの差が生じている可能性があることから、交通需要の大きさに対応した通行料を賦課し、交通需要を時間軸上で分散させる効果である。前者のアプローチに関して従来の研究では経路選択を数理計画問題として定式化し、総走行時間を最小化するような交通流へ誘導するための料金の設定方法が議論されてきた<sup>7)</sup>。しかし適正経路分担問題として定式化を容易にするため、交通フローは静的に扱われ、決定される料金も時間軸上で不変で平均的なものとなる。通勤時のように交通需要が大きく変動していたり、ネットワーク容量以上の需要が発生している場合は、経路分担だけを考慮した前者のアプローチから得られた指針だけでは渋滞緩和の方策立案に不十分である。通勤時間帯での交通需要の平準化も目指すためには、後者のアプローチによってピーク時とオフピーク時の通勤行動特性も考え合わせた分析を行う必要がある。交通フローの変化に対応した料金設定を行う場合、時間軸上で時々刻々と変化する交通量を再現・考慮しなければならない難解さがあり、こうした点で従来の研究では後者のアプローチに対する理論的検討はかならずしも十分行われてきたとは言えない。

従来の通勤交通の不効用に対応したロードプライシングの理論的検討は、Hendrickson<sup>8)</sup>やLaih<sup>9)</sup>の研究が代表的であるが、その基本的な考え方では、発生時刻分布は効用関数値により確定的に再現されるため、トリップは待ち時間の生じているピーク時の一部の時間帯のみ一様に発生することになり、非現実的である。実際にはピーク時以外で発生するトリップも交通行動に大きく影響するが、その点は考慮することができない。通勤行動をより現実的に再現するため Ben-Akiva<sup>10),11)</sup>は Hendrickson が提案した効用関数を用いたロジットモデルによって1 OD 複数経路の出発時刻選択行動モデルを構築した。さらに Vythoulkas<sup>12)</sup>は複数OD 複数経路のネットワークに適用できるように交通流モデルを拡張し、経路選択に関する均衡条件を求めている。以上のモデルの交通フローはI/Oモデルを適用したもので、

リンク内フロー再現のための時刻きざみとリンク内所要時間との整合性, First-in First-out 原則の成立が明確ではない。動的均衡条件の厳密解を求めた研究もあるが, そこでは通勤行動特性は考慮されていないことと適用ネットワークが限られている<sup>13)</sup>。交通政策の導入効果の分析において工学上有益なデータを得ること, また実際のネットワークへ応用することを考えると, 限られたネットワークだけに適用できる数理計画モデルで評価するよりも, 通勤現象メカニズムが明確に説明でき, 一般ネットワークで通勤行動が再現できる操作性の高いモデルで評価する必要があると考えられる。

前項で述べたとおり通勤時の渋滞状態に対応したロードプライシング方策を検討するにあたり, ①通勤時の交通行動を再現する, ②ロードプライシング方策を行動モデルの中に反映させやすい, ③方策導入後の通勤行動の変化を詳細に説明することができる, ことに重点を置き, 方策の評価モデルは飯田, 柳沢, 内田の提案するモデル<sup>14), 15)</sup>を用いる。そして通勤効用にロードプライシングによる不効用項を組み込み, 導入後の各出発時刻の発生トリップ数と所要時間を詳細に把握する。料金設定については, 従来の分析では料金の大きさが主に議論されていたが, 交通需要を動的にとらえた場合, 変動する交通需要に対して, ロードプライシングの実施時刻やその時間帯長なども深く関わるものが考えられる。ロードプライシング方策は大きく分けて, (1)料金を賦課する時間帯を決めて, その時間帯において一定の料金を賦課する固定型ロードプライシングと(2)道路上の混雑状況に応じ賦課する料金を変更する変動型ロードプライシング, の2つが考えられる。前者の方法(1)は, 変動型ロードプライシングと比較し料金徴収が行いやすく, 最も導入されやすい方法である。この方法では, 料金を賦課する時間帯の長さ, 混雑を起こしている時間帯とロードプライシングを導入する時間帯との関係, 賦課する料金の大きさが検討事項となる。後者の混雑状況に応じた変動型ロードプライシングは, どのような交通状態を基準に料金の大きさを設定したらよいか, 設定した料金がドライバーの通勤不効用へ及ぼす影響, また一般有料道路などでオフピーク時の料金は低く, ピーク時の料金は高く賦課することによって道路管理者の料金収入に及ぼす影響について検討する必要がある。この方法は, ドライバーが料金所を通過する時刻によって, 徴収する料金が連続的に変更されるので, 固定型ロードプライシングよりも高度な料金徴収技術を必要とする。ただしここでは料金徴収システムの実施可能性については考慮しない。以上の検討項目について数値実験により, 渋滞緩和効果の一般特性を明らかにする。

### 3. 通勤交通行動の評価システム

#### 3-1 通勤行動のモデル化

時間損失に絞って通勤行動を考えると, 通勤者は出発してから始業時刻までの実効旅行時間と所要時間の変動によって生じる遅刻確率のトレードオフを考慮していると考えられる<sup>15)</sup>。またロードプライシングに関する不効用は, 各出発時刻の交通状態に応じて設定することを考え  $C(r, t_s)$  とすると, 効用関数は(1)式のように表すことができる。

$$V(r, t_s | t_d) = \beta(t_d - t_s) + \gamma F(t_d | r, t_s) + C(r, t_s) \quad (1)$$

$r, t_s, t_d$ : 経路, 出発時刻, 始業時刻     $(t_d - t_s)$ : 実効旅行時間

$F(\cdot)$ : 時刻  $t_s$  に出発したドライバーが始業時刻  $t_d$  に遅刻する確率

通勤ドライバーの選択可能な出発時刻  $t_s = \{t_0, \dots, T\}$  と経路  $r = \{1, \dots, R\}$  の選択行動は(1)式

の通勤不効用をもとにNLモデルを用いて記述する<sup>15)</sup>。

### 3-2 通勤行動の再現と評価方法

本研究の分析に用いる通勤行動再現システムは、リンク上の交通状態を短い時間間隔で動的に再現する部分と、その通勤行動が日々の更新を繰り返し、ある状態に収束する部分からなる。リンク上の交通状態の再現では、前項で得られた各出発時刻のトリップ数を、ボックス型の動的交通流モデル<sup>16),17)</sup>に入力することにより、各選択肢の所要時間を算出する。収束状態の再現では経路配分の均衡問題の近似解法として用いられているIA法の考え方を適用する。第1段階として、総トリップ数 $X$ を(2)式に示すように $N$ 等分に分割する。分割トリップ数 $\Delta X$ は(3)式によって、利用可能経路の各出発時刻に動的交通流モデルを用いて所要時間を修正しながら、計算回数 $N$ まで除々にかけていく。ただし、(4)式を満たす。

$$\Delta X = \frac{X}{N} \quad (2)$$

$$X(r, t_s, k) = X(r, t_s, k-1) + \Delta X \times P(r, t_s, k) \quad (3)$$

$X(r, t_s, k)$ : 計算回数 $k$ の各選択肢のトリップ数

$P(r, t_s, k)$ : (1)式の通勤効用にもとづく各選択肢の選択確率

$$\sum_r \sum_{t_s} X(r, t_s, k) = \Delta X \quad (4)$$

このままでは初期に配分したトリップの不効用が大きくなってしまう場合がある。そこで第2段階では少しずつ各選択肢の不効用を修正しながら、各時刻の発生トリップを変更していく。まず発生トリップの微小変更割合を $\delta$ (=一定)とし、1回の修正計算における微小変更量を $\delta \cdot X$ とする。これを各選択肢の所要時間をもとに選択確率を修正しながら、(5)式によって前回の発生トリップを修正する。 $\omega+1$ 回目の修正トリップ数は、

$$\begin{aligned} X(r, t_s, \omega+1) &= (1-\delta) X(r, t_s, \omega) + \delta X \times P(r, t_s, \omega) \\ &= X(r, t_s, \omega) + \delta \times \{X \cdot P(r, t_s, \omega) - X(r, t_s, \omega)\} \end{aligned} \quad (5)$$

そして前回と今回の発生トリップ数を比較し、ある誤差 $\varepsilon$ 内になるまで繰り返す。

$$|X(r, t_s, \omega) - X(r, t_s, \omega-1)| \leq \varepsilon \quad (6)$$

以上の方法は、収束までの日々の交通行動の変更過程を明確に反映したものではないが、方策の導入に伴って変化する通勤効用に応じた通勤行動を記述できる。また交通状態の初期値の与え方は収束状態に影響を与えられられるが、第1段階は初期値の与え方について1つの合理的な方法を示していると考えられる。よって本方法は完全情報の仮定のもとで交通状態の収束状態を簡単なアルゴリズムで求められるので実用的な方法と考えられる。

方策の評価手順は次のとおりである。ロードプライシングの料金の大きさや実施時間帯長などを政策変数とする。この政策変数を操作決定し、そのときの通勤者の出発時刻分布を上述の通勤行動の再現アルゴリズムより求める。そして再現された交通状態を総所要時間と総不効用によって、合理的な道路利用と、ドライバーの効用の両面から評価を行う。

## 4. 例題の基本設定

本研究の例題のネットワークは1OD1経路とする。通勤交通の場合、1点集中型のネットワークが多く、1OD1経路の単純なネットワークが集中したものと考えられる。したが

って本例題のような設定において得られた結果には一般性があると考えられる。

交通条件は以下のとおりに与える。

出発時間帯 6:00から10:00までの4時間とし、この出発時間帯をさらに5分間隔に分割する。トリップは離散化された時間間隔ごとに集計する。

動的交通流モデルの諸条件 ネットワークの

リンクの容量と、自由走行時間を表-1に示す。(1)式の実効旅行時間損失に関するパラメータ $\beta$ は、出発時刻の分布形に大きな影響を与える。平成2年度長野都市圏PT調査データを用いた実証的な分析より、一般道路では $\beta^{(15)}$ は0.05前後であることが分かっている。そこで効用パラメータは表-1のように仮想的に与えた。

表-1 リンクの特性と効用パラメータ

リンクの特性		効用パラメータ	
$V_0$	C	$\beta$	$\gamma$
40	80	-0.05	-10.00

$V_0$ : 自由走行時間(分)

C: 容量(台/5台)

## 5. 固定型ロードプライシングの効果分析

本分析では、実施時間帯範囲内で一定の料金を道路利用者から徴収する場合を考える。方策実施時間帯を $(\tilde{t}, \tilde{t})$ とすると、(1)式の料金の項は(7)式のように表すことができる。

$$C(t_s) = \begin{cases} C_p; \tilde{t} \leq t_s \leq \tilde{t} \\ 0; t_s < \tilde{t}, t_s > \tilde{t} \end{cases} \quad (7)$$

### 5-1 料金の大きさが渋滞緩和効果に及ぼす影響

料金不効用 $C_p$ を、-0.5、-0.2、-4.0と変化させたときの総所要時間を比較する。本例題の実施前の出発分布を調べた結果、道路容量を超えた混雑時間帯は7:50から8:15までであった。混雑期に集中しているトリップを分散することを考え、ロードプライシング実施時間帯は7:50から8:15までとした。計算結果を図-1に示す。 $C_p$ が-0.5と-4.0のときは大きな効果が得られていない。賦課する料金が大きすぎると、実施時間帯以外の不効用の小さい時刻にトリップが大きく集中し、混雑を引き起こすことが予想される。逆に賦課する料金が小さすぎると、混雑期に集中しているトリップが分散する量が小さく混雑は改善されないことも分かる。

### 5-2 実施時間帯と混雑緩和効果との関係

ここでは実施時間帯とその長さをいくつか設定して数値計算を行う。実施時間帯の長さは道路容量よりも発生トリップ数が多い混雑時間帯に対し、①混雑時間帯の長さより短い8:00—8:10、②混雑時間帯の長さと同じい7:50—8:15、③混雑時間帯より長い6:45—8:50の3つを設定する。また時間帯の設

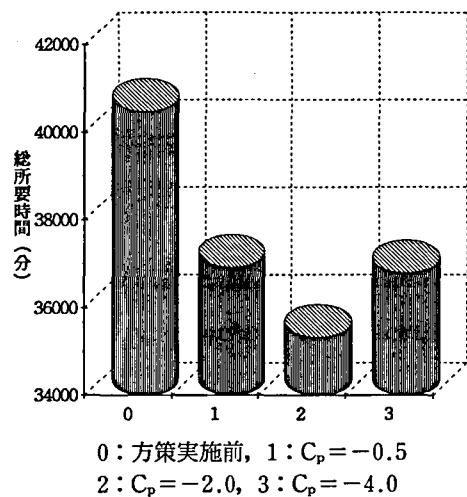
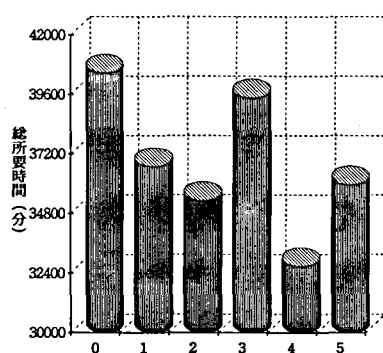
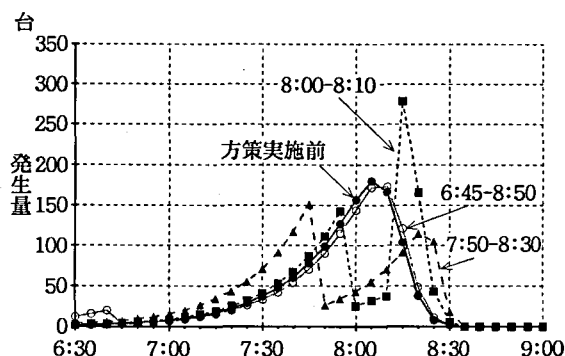


図-1 料金と所要時間の関係



0：方策実施前，1：8：00—8：10，  
2：7：50—8：15，3：6：45—8：50，  
4：7：50—8：30，5：7：30—8：15

図－2 実施時間帯と総所要時間との関係



図－3 実施時間帯と出発時刻分布との関係

定は④遅めの時間帯7：50—8：30に延長する，⑤早めの時間帯7：30—8：15に延長する，の2つを設定する。料金不効用  $C_p$  は-2.0を用いる。それぞれの総所要時間と出発時刻分布を図－2，3に示す。

渋滞緩和効果は，ロードプライシング実施時間帯を混雑時間帯よりも遅めの時刻に延長した設定④場合が最も効果が高かった。この理由を混雑時間帯に料金を賦課する設定②と比較し考察する。通勤者は料金が賦課されている時間帯を避けるよう行動するが，設定②の場合は方策実施後渋滞が緩和し，実施時間帯よりもさらに遅い出発時間帯でも始業時刻ぎりぎりに到着可能となるので，図－3に示すようにこの時間帯にトリップが集中し，大きな渋滞が生じやすいことが分かる。これは固定型ロードプライシングの実施にともなって起きやすい交通現象の大きな特徴で，通勤者は実施時間帯を避け，他の出発時刻と比較して相対的に不効用が低い実施時間帯の直前直後の出発時刻に集中するため，シンガポールで実際に起きた現象である。そこで設定④のように，方策実施で渋滞が緩和されたことによって始業時刻ぎりぎりに到着できるようになった時間帯にも料金を賦課すると，遅めの時刻に生じるピークトリップも分散することができる。

実施時間帯長による渋滞緩和効果は，混雑期間長よりも短すぎても長すぎても十分な混雑緩和効果が得られないことが示されている。設定①のように実施時間帯が短く設定されると，混雑時間帯に集中しているトリップを十分に分散できない。また設定③のように実施時間帯が広すぎると，実施時間帯以外の選択可能な出発時刻が極端に早いか，あるいは遅くなってしまふことから，方策を実施しても通勤者は出発時刻選択行動を変更しない可能性がある。

## 6. 変動型ロードプライシングの効果分析

本分析では混雑の度合いに応じた料金を設定することを考える。そして通勤時間帯を通し混雑による待ち時間をなくし，すべての出発時刻で自由走行時間が実現することを目指す。ロードプライシングの設定方法として以下の3つの方式を提案し，その妥当性を検討する。  
混雑待ち時間による方法：待ち時間の大きさを混雑の度合いとして料金を設定する直感的な

方法である。具体的には方策実施前の各出発時刻のトリップの所要時間から自由走行時間を引いた混雑待ち時間に、不効用換算係数を乗じた料金不効用を用いる。(1)式の利用金の項は(8)式となる。

$$C(t_s) = \xi \cdot \{t_v(t_s) - t_F\} \quad (8)$$

$t_v(t_s)$ : 方策実施前の出発時刻  $t_s$  の所要時間

$t_F$ : 自由走行時間

$\xi$ : 料金不効用換算係数

遅刻確立差による方法: 通勤不効用が小さい出発時刻にトリップが集中すると考えられることから各時刻の不効用の大きさに応じて料金を設定する。そこで方策実施前の各出発時刻の通勤不効用から、通勤時間帯を通し自由走行が実現したときの通勤不効用  $V_o(t_s)$  を引いた値を用いる。実効旅行時間の損失コストの大きさは交通状態に依存しないので、自由走行が可能なときの遅刻確率を  $F_o(t_d | t_s)$  とすると、料金不効用は(9)式のように遅刻確率差で表せる。

$$\begin{aligned} C(t_s) &= \{V(t_s) - V_o(t_s)\} \\ &= \gamma \cdot \{F(t_d | t_s) - F_o(t_d | t_s)\} \end{aligned} \quad (9)$$

システム最適方式: 通勤時間帯の各出発時刻の発生トリップ数を道路容量  $s$  以下に押さえる方策を考える。トリップ数が  $s$  になる不効用を  $V^*$  とすると、発生トリップが  $s$  以下となるためには各時刻の通勤不効用が  $V^*$  以上となればよい。この状態は、通勤不効用が  $V(t_s)$  のときロジットモデルによる出発時刻選択確率を  $p\{V(t_s)\}$ 、総トリップ数を  $X$  とすると、

$$s = X \cdot p(V^*) \quad (10)$$

$$V(t_s) \leq V^* \quad ; (t_s = t_0, \dots, T) \quad (11)$$

$$s \geq X \cdot p\{V(t_s)\} \quad ; (t_s = t_0, \dots, T) \quad (12)$$

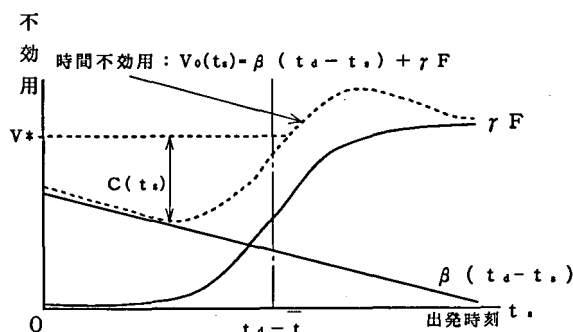
のように表せる。発生したトリップがすべて道路容量と等しくなると実施時間帯は短く、時間損失に関する総不効用も小さくなる。そこで各時刻のトリップが道路容量と等しくなるような効率的な分散を目指し、図-4の概念図に示すように料金を賦課する。

$$V(t_s) = V_o(t_s) + C(t_s) \quad (13)$$

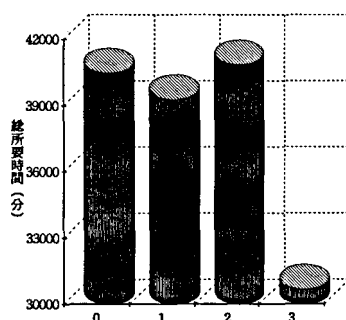
$$C(t_s) = \begin{cases} V^* - V_o(t_s) & ; V^* \leq V_o(t_s) \\ 0 & ; V^* > V_o(t_s) \end{cases} \quad (14)$$

$V^*$  は解析的に求めるのは困難なので、 $V^*$  を小刻みに変化させながら、(10)から(12)式で示される交通状態が成立するときの  $C(t_s)$  を求めることにする。

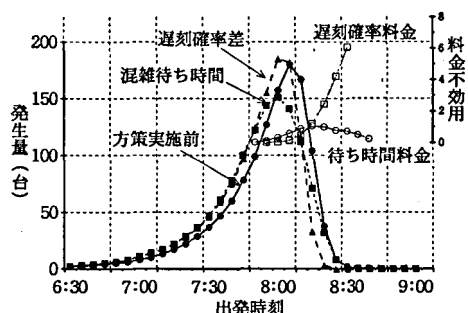
以上3つの方式の渋滞緩和効果の比較を行った計算結果を図-5に示す。現状の交通状態をもとに料金を設定した前者2つの方法は、十分な渋滞緩和効果が得られなかった。混雑待ち時間による方法の図-6の発生時刻分布を見ると、方策実施前よりも早めの時刻でピークが発生している。所要時間の大きさに応じて料金を設定しているが、各発生時刻の所要時間は前時刻までに発生したトリップの待ち行列長に依存する。そのため現状のピークトリップの発生時刻以降に最大料金が賦課され、遅めの時刻での出発が制限されてしまう可能性がある。遅刻確率差の場合も、方策実施前よりも早めの時刻でピークが発生している。自由走行時の遅刻確率分布は方策実施前と比較し所要時間が小さいため、遅い時刻で大きくなる。しかし方策実施前の遅刻確率分布はピーク発生時刻以降急激に大きくなる。よって料金不効用



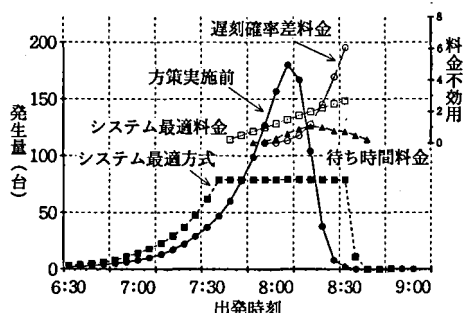
図一4 システム最適方式の料金設定方法の概念



0: 方策実施前, 1: 混雑待ち時間法  
2: 遅刻確率差法, 3: システム最適方式  
図一5 変動型の各方式の所要時間の比較



図一6 混雑待ち時間法と遅刻確率法の出発時刻分布と料金不効用



図一7 システム最適方式の出発時刻分布と各方式の料金不効用の比較

は実施前のピーク時刻以降に大きく、遅めの出発時刻が制限されてしまう。以上、料金の設定は方策実施後のトリップの変化に対応させる必要があることが分かる。

システム最適方式による料金の設定を見ると、図一7より前者2つの方法よりも実施時間帯が広く、早い時刻から実施されている。この設定はピーク時のトリップ数をピーク時以外の時間帯にも多く分散させることと、実施時間帯以外の時刻で時間損失不効用が極端に小さく、トリップが大きく集中しないためである。また実効旅行時間は小さいほど通勤不効用は小さくなるので、これに応じて料金は遅い時刻ほど大きく設定している。本例題では、発生トリップを道路容量以下に抑えることを目指した極端な例を示したが、一般的に渋滞を緩和する場合、以上示した料金の設定効果を考慮する必要がある。

## 7. おわりに

本研究は、料金政策による出発時刻分布の変化を動的に再現した。そして交通状態を所要時間と不効用関数を用い、道路管理者と利用者の2面からみた導入効果を評価した。

数値実験によって、一般的なロードプライシングの効果特性をいくつか抽出した。これらは単純なネットワークへは比較的容易に反映できるが、ここで行った分析方法と効果特性は、



一般的なネットワークにおいて有効なロードプライシングを立案するために、考慮しなければならない項目である。以下明らかにした特性を述べる。

固定型ロードプライシングの導入効果の一般特性を述べる。

- (1) 導入後の出発分布の特徴は、賦課時間帯の直前直後の時刻が、他の時刻の不効用と比較して相対的に低いため、賦課時間帯の直前と直後にトリップが大きく集中する可能性がある。
  - (2) 導入後の出発分布の特徴から、料金は大きすぎても小さすぎても、トリップは効果的に分散されない。また実施時間帯が広すぎると、通勤行動が実施以前と選択行動が変わらないため、渋滞緩和効果が小さい、始業時刻ぎりぎりに到着できる遅めの出発時間帯に適正な料金を賦課すると、通勤時間帯の最大と最小の不効用差が小さくなり、出発分布は各時刻に分散するので、混雑も緩和されることが分かった。
- 交通状態に応じた変動型ロードプライシングの導入効果の一般特性を述べる。
- (3) 方策実施前の所要時間や不効用に応じて料金を設定すると、ピークの発生時刻以降の遅い出発時刻に大きな料金が賦課されやすく、ピーク需要を効率的に分散することはできない。
  - (4) 通勤時間帯を通して自由走行を実現するためには、料金は不効用が極端に小さい時刻が生じないように早い時刻から料金を賦課しなければならない。そして実効旅行時間が小さいほど通勤不効用は小さくなるので、遅い時刻ほど料金を大きくする必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 原田 昇：アメリカの交通需要管理—混雑緩和と大気保全の効果，交通工学 No.2 Vol.27 pp.59-63 1992
- 2) 藤本 聡，塚田幸広：郊外における交通渋滞の管理：郊外のモビリティ戦略，交通工学 No.5 Vol.27 pp.53-62 1992
- 3) 毛利雄一：交通渋滞軽減のための道工具箱，交通工学 No.6 Vol.27 pp.47-54 1992
- 4) 矢野代二郎，鎌田譲治，駒田牧夫：ノルウェーの有料道路制と料金自動収受システムについて，交通工学 No.4 Vol.26 pp.29-35 1991
- 5) 田中直樹：フランスの高速道路における渋滞対策を目的とした変動料金制度とバリ環状道路における所要時間の提供について，交通工学 No.6 Vol.30 pp.53-63 1995
- 6) 宮城俊彦，浅井敦司，岡 昭二：フレックスタイム制導入に伴う道路交通環境変化のネットワークシミュレーション分析，交通工学 No.1 Vol.31 pp.35-43 1996
- 7) 飯田恭敬編：交通工学，オーム社，1992
- 8) C. Hendrickson, G. Kocur: Schedule Delay and Departure Time Decision in a Deterministic Model, Transn. Sci Vol.15, No.1, February, 1981
- 9) Laih, CH: Queueing at a Bottleneck with Single and Multi-Step Tolls, Transpn. Res. -A. Vol.28A, No.3, pp197-208, 1994
- 10) M.Ben-Akiva, A. D. Palma and P. Kanaroglou: Dynamic Model of Peak Period Traffic with Elastic Arrival Rates, Trans. Sci. Vol.20. No.2. pp.164-181, 1986.
- 11) M. Ben-Akiva, D. Palma and P. Kanaroglou: Effects of Capacity Constraints on Peak-Period Traffic Congestion, Transpn. Res. Record 1085, pp.16-26

- 12) Vythoukask, P. C: Two Model for Predicting Dynamic Stochastic Equilibria in Urban Transportation Networks, Proc. of the 11th Intern. Symp. on Transpn and Traffic Theory Yokohama, pp253-272, 1990
- 13) 赤松 隆: 動的配分理論の現状と役割, 土木計画学研究・講演集 No.17 pp.1138-1140, 1995年1月
- 14) 飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田 敬: 通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法, 土木計画学研究・論文集, No.9 pp.93-100, 1991年11月
- 15) 柳沢吉保, 飯田恭敬, 内田 敬: 通勤ドライバーの出発時刻と経路の同時選択に関する行動分析, 交通工学, Vol.28, No.6, 1993
- 16) 鷹尾和亨: 経路選択シミュレーションによる動的交通量配分, 土木学会第45回年次学術講演会 IV, 1990年10月
- 17) 飯田恭敬, 内田 敬, 藤井 聡, 鷹尾和亨: 渋滞の延伸を考慮した動的交通流シミュレーション, 土木計画学研究・講演集, No.14(1) 1991年11月