

ロードプライシングによる渋滞緩和の効果分析

Pricing Policies of Peak Period Traffic Congestion

飯田恭敬*, 柳沢吉保**, 内田 敬***

by Yasunori IIDA, Yoshiyasu YANAGISAWA and Takashi UCHIDA

1. はじめに

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。しかし実際の導入例において、渋滞緩和の目標効果が達成されない場合が多く、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¹⁾。

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することを目的とする。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従来のアプローチ^{2), 3)}では現実の渋滞を緩和することは困難と思われる。そこでピーク時とオフピーク時の通勤効用も考え合わせ、通勤時間帯での交通需要の平準化を目指す。

従来の料金政策では、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間帯やその長さなども深く関与することが考えられる。本研究では、(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つの方策について渋滞の緩和効果の基本特性について分析を行う。ここでは方策の導入効果が明確に現れるようにネットワークは1OD1経路と単純化する。通勤交通は1点集中型が多いことから、この例題設定の一般性がある。

2. 通勤交通行動の評価システム

通勤における出発時刻選択行動の決定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により行われる⁴⁾。通行料金に関する項を $C(t_s)$ とすると、通勤による効用関数は(1)式のように表すことができる。

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

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

β, γ, ξ : 不効用に関するパラメータ

ドライバーの選択可能な出発時刻 $t_s = \{t_0, \dots, T\}$ の選択行動は(1)式の通勤不効用をもとにロジットモデルを用いて記述する。

方策の評価手順は、賦課する料金の大きさや実施時間帯長などを政策変数として操作し、決定した政策に対する通勤者の出発時刻分布を通勤行動の再現アルゴリズムより求める⁵⁾。

3. 固定型ロードプライシングの効果分析

ここでは、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 (T_1, T_2) とすると、(1)式の料金不効用の項は(2)式のように表すことができる。

$$\xi C(t_s) = \begin{cases} C_p & ; T_1 \leq t_s \leq T_2 \\ 0 & ; t_s < T_1, t_s > T_2 \end{cases} \quad (2)$$

ここで用いる料金不効用 C_p は不効用変換係数{不効用/料金(円)}に料金(円)を乗じたものである。リンク特性については表-1に示したとおりである。

(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-1.0, -2.0, -3.0, -4.0と変化させたときの総所要時間を比較する。ロードプライシ

キーワード: 交通管理, 交通渋滞対策

* 正会員 工博 京都大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

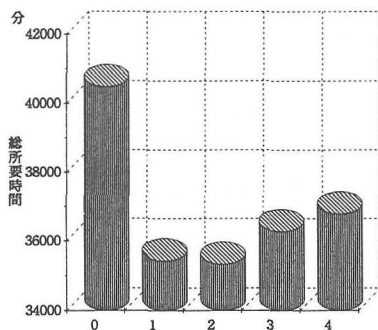
** 正会員 工博 長野工業高等専門学校講師 環境都市工学科
(〒381 長野市徳間716)

*** 正会員 工博 東北大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

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	β	γ
40	80	-0.05	-10.00

V_0 : 自由走行時間 (分), C: 容量(台/5分)



0: 方策実施前, 1: $C_p = -1$, 2: $C_p = -2$, 3: $C_p = -3$, 4: $C_p = -4$

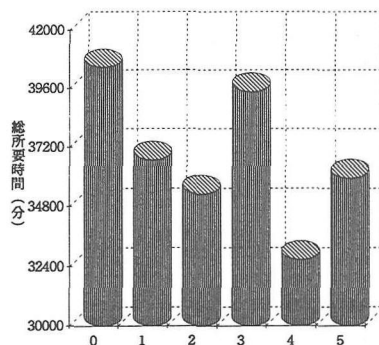
図-1 料金不効用と総所要時間の関係

ング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-4.0のときのように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 C_p が-1.0のように賦課する料金が小さいと、混雑期に集中しているトリップが方策実施後に他の時間帯に分散する量が小さく混雑は改善されないことが予想できる。

(2) 実施時間帯と混雑緩和効果との関係

実施時間帯の設定は7:50-8:15の混雑時間帯に対し、①混雑時間帯より短い8:00-8:10、②混雑時間帯と等しい7:50-8:15、③混雑時間帯より長い6:45-8:50、④混雑時間帯よりも遅めの、自由走行時間で始業時刻ぎりぎりに到着できる時間帯7:50-8:30に延長する、⑤混雑時間帯よりも早めの時間帯7:30-8:15に延長する、の5つを設定する。料金不効用 C_p は-2.0とした。総所要時間と出発時刻分布を図-2, 3に示す。

渋滞緩和効果は設定④が最も高かった。この理由を設定②と比較し考察する。通勤者は料金が賦課さ



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

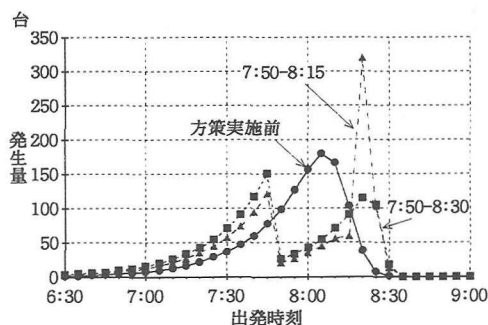


図-3 実施時間帯と出発時刻分布との関係

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。そこで設定④のように、方策実施後に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、設定①のように実施時間帯が短く設定されると、混雑期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、方策実施後も出発時刻選択行動を変更しない可能性がある。

4. 変動型ロードプライシングの効果分析

次に混雑の度合いに応じた料金を設定することを考える。ロードプライシングの設定方法として以下に示す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)式の料金不効用の項は(3)式で表される。

$$\xi C(t_s) = \zeta \cdot \{t_v(t_s) - t_f\} \quad (3)$$

$t_v(t_s)$: 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

ζ : 料金不効用換算係数

ここで ζ は時間損失に関する不効用パラメータ β の値と等しく設定した。

遅刻確率差による方法：通勤不効用の小さい出発時刻にトリップが集中すると考えられる。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時間損失に関する通勤不効用 $V_0(t_s)$ を引いた値を用いる。出発してから始業時刻までの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 $F_0(t_d|t_s)$ とすると、料金不効用は(4)式のように遅刻確率差で表される。

$$\begin{aligned} \xi C(t_s) &= \{V(t_s) - V_0(t_s)\} \\ &= \gamma \cdot \{F(t_d|t_s) - F_0(t_d|t_s)\} \end{aligned} \quad (4)$$

総所要時間最小化による方法：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。発生トリップ数が s になる不効用を V^* とすると、発生トリップ数が 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、次のように表せる。

$$s = X \cdot p(V^*) \quad (5)$$

$$V(t_s) \leq V^* \quad ; (t_s = t_0, \dots, T) \quad (6)$$

$$s \geq X \cdot p\{V(t_s)\} \quad ; (t_s = t_0, \dots, T) \quad (7)$$

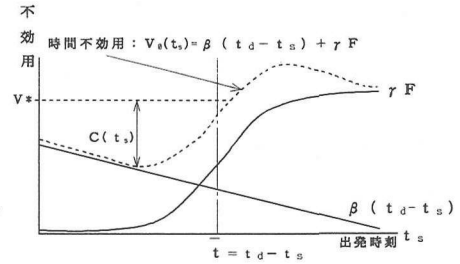
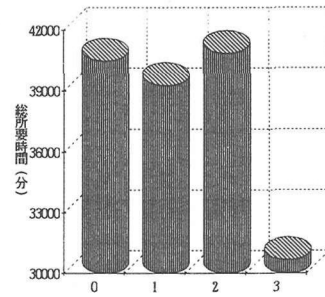


図-4 総所要時間最小化の料金設定方法の概念



0: 方策実施前, 1: 混雑待ち時間法, 2: 遅刻確率差法

3: 総所要時間最小化法

図-5 変動型の各方法の所要時間の比較

ところで発生したトリップがすべて道路容量と等しくなると方策実施時間帯は短くてすみ、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ことを目指し、図-4の概念図に示すように料金を賦課する。自由走行時の時間損失に関する不効用を $V_0(t_s)$ とすると、賦課する料金は次のように表せる。

$$V(t_s) = V_0(t_s) + \xi C(t_s) \quad (8)$$

$$\xi C(t_s) = \begin{cases} V^* - V_0(t_s) & ; V^* \leq V_0(t_s) \\ 0 & ; V^* > V_0(t_s) \end{cases} \quad (9)$$

V^* は厳密に求めるのは困難なので、 V^* を小刻みに変化させながら、ピーク発生トリップ数が道路容量と等しくなるような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混雑待ち時間と遅刻確率差の方法は、十分な渋滞緩和効果が得られなかった。いずれの方法

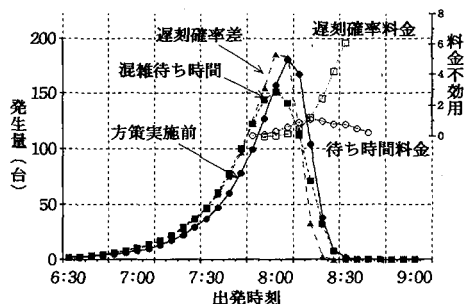


図-6 混雑待ち時間法と遅刻確率法の出発時刻分布と料金不効用

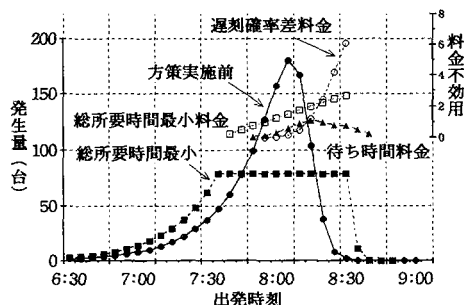


図-7 総所要時間最小化の出発時刻分布と各方式の料金不効用の比較

も方策実施前の交通状態に基づいて料金を設定している。図-6に示されるように料金不効用は方策実施前のピークトリップの発生時刻以降に大きく賦課されるため、ドライバーはこれを避けるように方策実施前よりも早めの時刻でピークが発生している。混雑緩和効果を得るためには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。

総所要時間最小化による料金の設定を見ると、前者2つの方法よりも実施時間帯が広く、早い時刻から料金が賦課されていることが図-7よりわかる。この設定によりピーク時の発生トリップ数をピーク時以外の時間帯にも多く分散できることと、方策実施時間帯以外の時間帯で時間損失不効用が極端に小さくならず、トリップが特定の時刻に大きく集中することがない。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

刻ほど大きくなっている。

5. 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。

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) 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。

(2) 実施時間帯長は方策実施前の混雑時間帯よりも長すぎても、また短すぎても渋滞緩和効果が小さい。

(3) ロードプライシングによって渋滞が緩和すると、方策実施前の混雑時間帯よりも遅い時間帯でも始業時刻に間に合う時刻が存在し、一部の出発時刻でトリップが集中し大きな渋滞が起きる。そこで方策実施前の混雑時間帯よりもさらに遅めの出発時間帯に適正な料金を賦課すると、渋滞緩和に効果的である。

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。

(4) 方策実施前の所要時間や通勤不効用に応じて料金を設定すると、ピーク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、ピーク需要を効果的に分散することはできない。

(5) 全通勤時間帯を通して自由走行時間を実現し、総所要時間を最小化するためには、料金は通勤不効用が極端に小さく、トリップが極端に集中する出発時刻が生じないように早い時刻から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、遅い出発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) 飯田恭敬編：交通工学，オーム社，1992
- 3) 文 世一：混雑料金と交通量配分，土木計画学研究・論文集 No. 11 pp113-120, 1993年12月
- 4) 飯田恭敬，柳沢吉保，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
- 5) 飯田恭敬，柳沢吉保，内田 敬：時差出勤が通勤ドライバーの出発時刻と経路選択に及ぼす影響，第16回土木計画学研究講演集，pp165-172, 1993年12月