

高速道路の新料金制度の提案とシミュレーション分析

松浦 廣 樹[†] 鈴木 祐 太^{††} 井庭 崇[†]

本論文の目的は、ドライバーが高速道路をより円滑に、かつ満足して利用するための新料金制度を提案することである。本論文において提案する新料金制度とは、高速道路の交通量に応じた変動料金を課金するという制度であり、高速道路の交通量が増えれば安くなり、逆に減れば高くなるという特徴を持つ。そしてこの課金制度の特徴を明らかにするため、ドライバーの経路選択行動が高速道路と一般道路の交通流に与える影響をシミュレーションを用いて分析する。

Simulation Analysis for A New Expressway Charge System

HIROKI MATSUURA,[†] YUTA SUZUKI^{††} and TAKASHI IBA[†]

The purpose of this paper is to suggest a new expressway charge system in which drivers use expressway more smoothly and more satisfied. A new expressway charge system we suggest in this paper is a charge system that we add basic charge to fluctuating charge changed by the number of cars on the expressway. This fluctuating charge has a characteristic that the charge will be expensive if the traffic on the expressway is heavy, on the other hand, it will be cheap if the traffic is light. We analyze the influence that driver's actions of selecting the route affect the traffic flow, expressways and roads, with using a simulation to show the characteristic of this charge system.

1. はじめに

有料道路の料金制度は、交通技術の進歩（ETC や VICS 等）や社会的要請（料金体系の公平化等）を受けて、ETC を用いた新しい料金制度を導入する試みが始まっている*。本論文では、このような背景を受けて、ドライバーが高速道路をより円滑に、かつ満足して利用するための新しい料金制度を提案・検討したい。その料金制度とは、固定料金に高速道路の交通量に応じて価格が変化する変動料金を一定区間ごとに加算するという「変動料金制度」である。変動料金は、高速道路の交通量が増えれば安くなり、逆に減れば高くなるという特徴を持つ。この特徴は、経済学において一般的に考えられている「需要が多いほど、価格は高くなる」という理論とは正反対のものである。本論文では、変動料金制度を導入した場合、高速道路と一般道路のそれぞれの交通流に与える影響を分析するため、マルチエージェントモデルでこれらを表現し、シミュレーションによって分析する¹⁾。

2. 本研究の手法

本研究で用いるのは、待ち行列型のマルチエージェントモデルである。マルチエージェントモデルとは、ある行動ルールをもった多数のエージェント（自律主体）が相互作用するモデルである。待ち行列とは、待ち行列理論にもとづく流れと滞りのモデルであり、交通流モデルにおいても確率論的なアプローチとしてよく用いられるものである²⁾。本研究では、この2つの手法を融合して、シミュレーションモデルを作成した。

3. 変動料金制度の提案

本論文で提案する「変動料金制度」は、固定料金に高速道路の交通量に応じて価格が変化する変動料金を一定区間ごとに加算するというものである。変動料金は、高速道路の交通量が増えれば安くなり、逆に減れば高くなるという特徴を持つ。この変動料金制度は、交通量が増えれば安くなるという特徴から、混雑時のドライバーの不満を抑制する働きがある料金制度と言

[†] 慶應義塾大学 総合政策学部
Faculty of Policy Management
^{††} 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environmental Information

* その新しい料金制度とは、2005年11月に首都高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社の2社から提案された「対距離料金制度」である³⁾。短距離を利用するドライバーが増え、逆に渋滞が頻発するなどの声もあり、未だ多くの問題を抱えている。



図1 変動料金制度のイメージ図

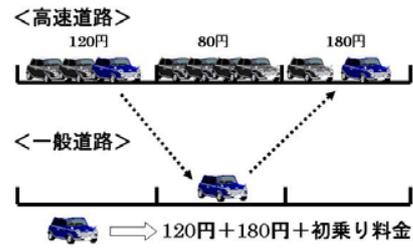


図2 車エージェントの経路選択のイメージ図

える。図1は、本論文が提案する変動料金制度の大まかなイメージである。ここでは、区間料金の最大金額を200円としており、道路が混雑していない状況では最大金額200円を課金するが、混雑している区間は、最大料金の200円からその区間の交通量に応じて課金額が変化する。課金額計算は、各区間ごとに行う。

4. シミュレーション・モデル

4.1 モデルの要素

変動料金制度を導入した際の高速道路と一般道路の交通流をシミュレートするために、次の6種類のエージェントをモデル化した。まず、待ち行列を発生させるエージェントが、「料金所」、「出口」、「信号」である。本論文では、これらを総称して「サーバー・エージェント」と呼ぶことにする^{*}。次に、道路を利用する車エージェントが、「ETC車」と「非ETC車」である。そして、車の作成と初期設定を担う裏方のエージェントが、「行動と情報の管理者」である。

4.2 シミュレーション全体の流れ

次にシミュレーション全体の流れは次のようになる。まず「行動と情報の管理者」は、サーバー・エージェントの初期設定(数と位置情報)と、車エージェントの生成を担う。生成された車エージェントは目的地情報を持っており、その目的地(出口か信号)に到達するまで、毎回次の区間の混雑情報と料金情報を調べ、次の区間において高速道路か一般道路のどちらを利用するかを決定して進む。図2は、生成された一台の車がどのように経路選択を行い、目的地まで到達するかを示すイメージ図である。図2の場合、車は次の区間における混雑情報と料金情報を調べ、高速道路を降りる経路選択を行い、さらに次の区間では、高速道路へ再び乗る経路選択を行っている。

以下では、それぞれのエージェントがどのように行動するかを、個別に説明することにする。

4.3 行動と情報の管理者の行動

「行動と情報の管理者」は、シミュレーション実行の最初に、料金所、出口、信号の行動と位置情報を与える。その後、ポアソン分布に従った一定のタイミングで、車(ETC車と非ETC車)を生成し、行動と情報(目的地、一般道路の一区間を通過する時間、高速道路の一区間を通過する時間、料金所を通過する時間)を与えるという行動を繰り返す。

4.4 料金所・出口・信号の行動

「出口」は高速道路の待ち行列を発生させ、「信号」は一般道路の待ち行列を発生させるエージェントである。「料金所」は、一般道路から高速道路に乗る際に、待ち行列を発生させるエージェントである。これら3つのエージェントの行動は、基本的には同じで、車が到着すると、車を順番に並ばせ、一定の時間が経過すると車を通過させる処理を繰り返す。ただし、「出口」と「信号」は、これに加えて、車の目的地到着処理がある。これは、車の目的地番号(i)と自分の区間番号(j)が一致している場合は、車が目的地に到着したと判断し、車の退出処理を行なうというものである。

4.5 ETC車・非ETC車の行動

各区間の高速道路料金(y)は、変動料金が車の台数によってどの程度増減するかを表す値(a)、車の台数(x)、そして一区間の基準料金(b)から計算する。この計算は指定範囲内においては $y = ax + b$ の関数によって計算される。各車は、目的地に到着するまで、高速道路における次の区間の料金(y)と混雑度(z)^{**}を調べ、次の区間で高速道路と一般道路のどちらを利用するかを決定する。経路選択行動の具体的な計算方法は、 $Y(Y = cz + b)$ と y の値を比較し、 $Y \geq y$ ならば高速道路に向かい、逆ならば一般道路へ向かうよう(図3)。なお、 c の値は、各車の経路選択行動における嗜好を表している。

^{*} 待ち行列モデルでは、サービスを提供する要素のことをサーバーと呼ぶ。

^{**} 混雑度(z)は、ある台数まで特定値を算出する仕組み。その台数の最大値、最小値は手動で設定可能。

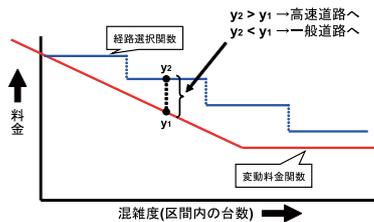


図3 経路選択行動のルール

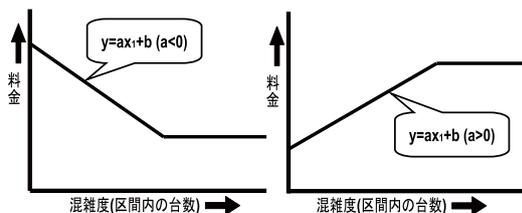


図4 提案制度(交通量増→料金安:左図)と経済学的制度(交通量増→料金高:右図)における変動料金関数

4.6 変動料金関数

本論文で提案する「交通量が増加すると、料金が安くなる」変動料金は、図4の左のような関数で計算される。経済学理論に基づく「交通量が増加すると、料金が高くなる」変動料金は、図4の右の関数で計算される。本論文では、この2つの変動料金関数と4.5において述べた経路選択関数を用いて、実験を行う。

5. シミュレーション実験

5.1 実験設定

ここでは、「交通量が増加すると、料金が安くなる」設定では $a = -2$, $b = 200$ とし、「交通量が増加すると、料金が高くなる」では、 $a = 2$, $b = 100$ とした。また、経路選択行動のための設定値は、 $c = -20$ から -25 までの乱数とし、混雑度 (z) は、0 から 10 台の場合に 0, 11 台から 20 台の場合に 1, というように設定する。高速道路一区間を通過するのに要する時間(ステップ数)は 10 から 12 までの乱数、一般道路を通過するのに要する時間(ステップ数)は 20 から 24 までの乱数とした。また、料金所を通過するのに要する時間(ステップ数)は、ETC 車は 1 から 2 までの乱数、非 ETC 車は 2 から 4 の乱数とした。全車のなかで ETC 車の割合を、現在の首都高速道路における ETC 利用率と同じ 65% とした⁴⁾。

5.2 実験結果と分析

シミュレーションを 10000 ステップ実行した結果が、図5から図8である。図5は、「交通量が増加すると、料金が安くなる」変動料金制度の場合の区間別交通量

の推移である。この場合、車の経路選択決定の一次関数と変動料金の一次関数の傾きが同じため、各区間ごとの交通量および料金に応じて、車は最適な経路選択を行い、車は双方の道路へと分散している。また、図7から、料金の推移は、第三・第四区間において交通量が多かったため、比較的安い金額に落ち着いている。

一方で、図6は、「交通量が増加すると、料金が高くなる」変動料金制度の場合の区間別交通量の推移である。この場合、車の経路選択決定の関数と変動料金の関数の傾きが逆であるため、関数の交わる点に収束しようとする傾向がある。それまでの間は、車は高速道路へと集中することになる。また、図8から、料金はほぼ横ばいの推移を示すことが確認できる。

この2つの結果を比較すると、「交通量が増加すると、料金が安くなる」変動料金は、車に適切な経路選択を促し、道路全体としても交通量は一定に落ち着く傾向にあるため、ドライバーの不満はそれほど招かないといえる。しかし、「交通量が増加すると、料金が高くなる」変動料金は、常に高速道路の各区間が一定の交通量で満たされ、高速道路および一般道路全体としての交通量が増加傾向に向かってしまうため、ドライバーの不満を招く恐れがあることがわかる。

6. おわりに

本論文では、ドライバーの不満を軽減することを重視した変動料金制度を提案し、シミュレーション分析を行った。この変動料金制度はシステムは、発想はシンプルであるが、現実世界への導入には技術的な課題も多い。しかし、新しい制度をシミュレーションによってイメージしやすくすることは重要だと考え、本研究を行ってきた。公平かつドライバーの不満を招かない料金制度実現に向けて、今回の研究が何らかの参考になれば嬉しい限りである。

参考文献

- 1) 松浦廣樹: 高速道路の新料金制度の提案: マルチエージェントシミュレーションによる分析, 慶應義塾大学総合政策学部 卒業制作論文 (2005).
- 2) Ueda, F.: 交通渋滞研究の現状について (2002). <http://www.motion.ne.jp/~nakani06/RPFP-1-1.html>.
- 3) 首都高速道路株式会社: 首都高速における対距離料金制のイメージ (2005). http://www.shutoko.jp/news/bosyu/cus_voll_res/index.html.
- 4) 国土交通省道路局: ETCの普及・利用状況について (2/16 現在) (2006). <http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>.

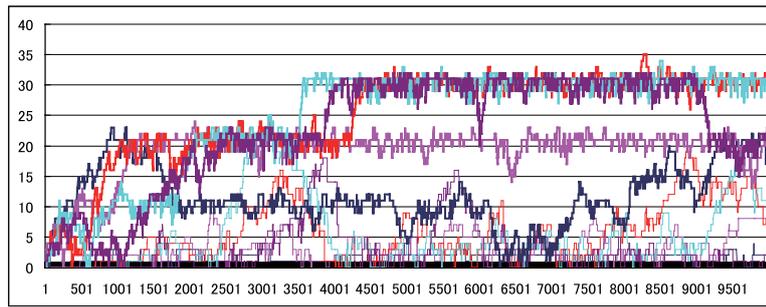


図5 高速道路と一般道路における交通量の推移：提案制度（交通量多→料金安）の場合（細線：高速道路，太線：一般道路）

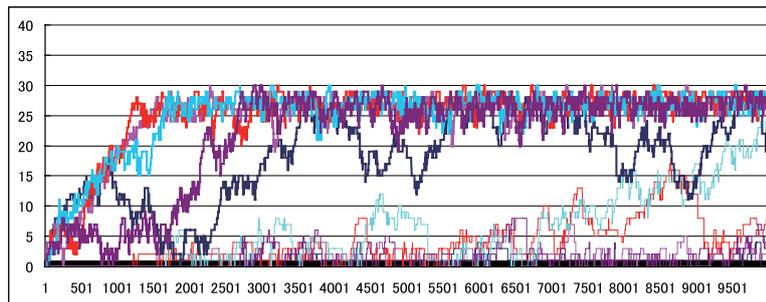


図6 高速道路と一般道路における交通量の推移：経済学的制度（交通量多→料金高）の場合（細線：高速道路，太線：一般道路）

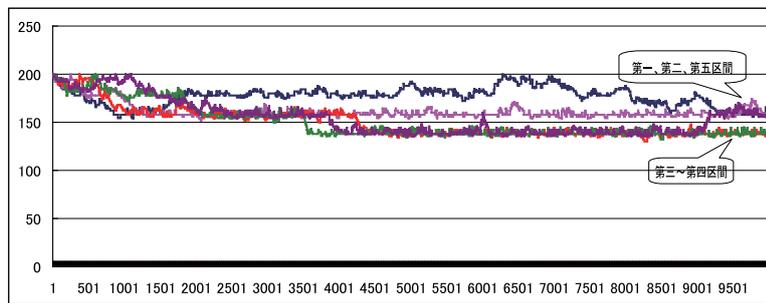


図7 高速道路料金の推移：提案制度（交通量多→料金安）の場合

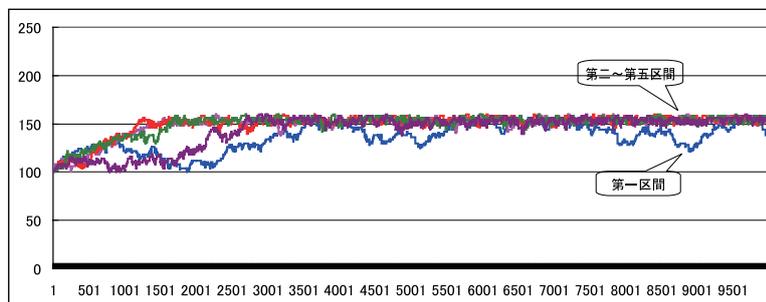


図8 高速道路料金の推移：経済学的制度（交通量多→料金高）の場合