

料金所渋滞のシミュレーションによる ETC 普及効果の評価

根笹 賢一 宮岡 伸一郎

東京工科大学メディア学部メディア学科

1. はじめに

高速道路での渋滞は大きな社会問題となっており、道路の拡幅工事などにより積極的に渋滞解消への取り組みがなされてきた。その中で、渋滞の原因の約 3 割をしめる料金所付近の渋滞を解消するために、自動料金収受システムETCが開発されてきた^[1]。無線通信を利用するETCによって料金所での料金支払いは自動化され、停車時間をなくすことにより渋滞が解消されるというものである。

このETCと料金所渋滞については多くの研究がなされているが、ブースの配置方法や、現在のETC利用率に基づく運用方法の検討が主である^[2]。

高速道路の本線料金所は、通過する全ての車両が通り料金を支払うため、通常の出口料金所より多くの料金所ブースが並んでいる。しかし、ETCの普及によって支払い時間が短縮されれば、必要となるブースの数が少なくなるのではないかと考えた。そこで、関越自動車道新座本線料金所(上り)をモデル料金所としてシミュレーションを行い、ETCの普及率による渋滞の変化を比較、評価し、必要となるブースの数を導く。この結果は、新規料金所を設置する際に必要となるブースの数を求めることに適用できる。

2. 料金所のモデル化

2.1 待ち行列モデル

料金所において、ブースに到着する車およびブースにおける料金の収受を表現するには、待ち行列モデルを用いることができる。料金所への車両の到着はランダム到着とし、以下のポアソン分布を用いる。

$$p(n) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!} \quad (1)$$

ここで、 λ : 一定時間に到着する車両数、 n : 単位時間あたりに到着する車両数とする。

また、ブースでのサービス時間を調査すると、一定の時間帯に分布していることがわかる。ただし、多くの車のサービス時間は全体の平均時間よりも短い時間帯に分布が偏っており、この時間分布は対数正規分布で近似することができる。実測値をもとにこの分布を求めると、平均 2.7、標準偏差 0.2 の対数正規分布に近似できる。これをブースでのサービス時間のモデルとする。

2.2 追従モデル

ブースへの待ち行列に到達するまでの車の挙動は追従モデルを用いて表現することができる^[3]。ところが、料金所付近を走行する車の特徴として、基本的に減速するだけであること、停車中の車は前車の前進に従って動くだけであることから、通常使用される追従モデルを用いるのは不自然である。そこで、この減速をモデル化した追従減速モデルを導入する。

2.3 追従減速モデル

料金所のモデル化に必要な車両の挙動には、大きく分けて 2 種類がある。それぞれの場合について車両の挙動を考える。

(1) 先行車両がなく直接ブースに進入する場合。

走行速度 v_0 、加速度 a 、目的速度 v 、ブースまでの距離 x とすると、次の関係式が成り立つ。

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (2)$$

加速度を一定として、ブースの $x_0(m)$ 手前までに減速を完了すると仮定すると、(2)式より

$$x = x_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (3)$$

の関係式が得られる。ここで x は、減速を開始する地点である。

(2) 先行車両の後ろを追従走行する場合。

車両発生時の自車の走行速度 v_0 と、そのときの前車の速度 v_1 の間には、

$$v_0 \geq v_1 \quad (4)$$

の関係式が成り立つ。従って、前車が加速度 $a[m/s^2]$ で減速している場合は、自車の加速

Evaluation of the ETC effects, by traffic jams simulation at toll booth.

Kenichi NEZASA, Shinichiro MIYAOKA
Media Science, Tokyo University of Technology

度を $a'[m/s^2]$ ($|a'| > |a|$) として前車に追突しないよう減速する必要がある。また、前車と速度が等しくなった後は、前車に従って加速度 $a[m/s^2]$ で減速するものとする。

3. モデル料金所の構成

今回のシミュレーション実験においてモデルとする関越自動車道新座本線料金所は、図 1 のようなブース構成となっている。

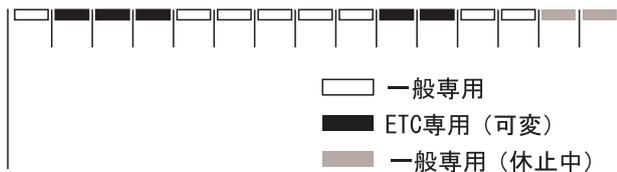


図 1 新座本線料金所ブース構成

図 1 において、ETC専用ブースは、ETCと一般を切り替えることのできる可変ブースとなっており、その他のブースは一般専用となっている。また、一般専用ブースは 8 つ、ETC専用ブースは 5 つでの運用となっている。

4. シミュレーション実験・考察

上記のモデルを用いて料金所付近の交通流を再現するシミュレーションプログラムを作成し、渋滞発生状況をシミュレートする。シミュレーション実験では、現在の交通量データによるシミュレーションと、ETC利用率向上後を想定したシミュレーションの両方を行う。

4.1 現在の交通量によるシミュレーション

新座本線料金所を通過した車両の実データ 2 種類によりシミュレーションを行い、渋滞発生状況を検証する。使用するデータは、

- ・2005年8月14日(渋滞発生日)
- ・2005年9月11日(渋滞の無かった日)

の 2 種類である。この 2 つのデータを使用してシミュレーションを行い、車両の発生からサービス終了までの所要時間を計測する。なお、このときの ETC 利用率は、45%であった。

シミュレーションの結果得られたサービス時間を比較すると、交通量の少ない 8 月 14 日のデータでは最も交通量の多い 1 時間での最大待ち時間は 643.7 秒、平均待ち時間は 151.9 秒であったのに対し、9 月 11 日のデータでは、交通量の最も多い 1 時間での最大待ち時間が 96.4 秒、平均待ち時間も 26.2 秒であった。

4.2 ETC利用率向上後のシミュレーション

続いて、前述 8 月 14 日(渋滞発生日)の交通

量データに対し、ETC利用率が 70%に向上した場合を想定したシミュレーションを行う。このシミュレーションでは、ブースの数を削減していき、渋滞が発生するブース数を求める。結果を図 2 に示す。

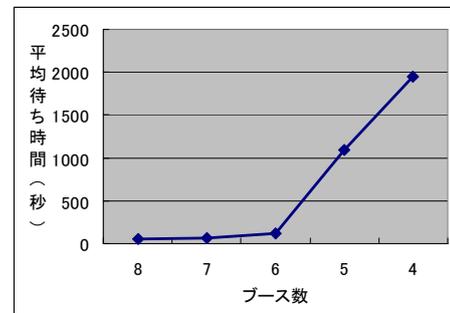


図 2 一般ブース数と平均待ち時間

図 2 において、横軸は一般専用ブースの数、縦軸は平均待ち時間(秒)である。これによると、一般専用ブースが 5 つと 6 つの場合で大きな差が発生した。6 つの場合の最大待ち時間は 119.3 秒、平均待ち時間は 24.32 秒であったのに対し、5 つの場合の最大待ち時間は 1089.5 秒、平均待ち時間も 106.23 と、大きな差が出た。

一方、ETC専用ブースの数は、その増減によって、さほど大きな差は出ないものの、2 つ以下にすると、追従して走行することが多くなり、流れが悪くなる。従って、ETC専用ブースの数は 3 つとする。以上より、合計 9 つのブースを稼働させれば、大きな渋滞は発生しないといえる。

5. おわりに

今回のシミュレーションでは ETC/一般の混用ブースを使用していないが、一般ブースが混雑した際に、ETC専用ブースに余裕があれば、ETC専用ブースを ETC/一般の混用ブースに変更することがある。それにより一般車の通行できるブースが増えるため、さらにブース数を減らすことも考えられる。

また、今回一般車の渋滞に ETC車が巻き込まれ、ETC専用ブースまで到達できないという「ブロック現象」を再現することができなかったことが課題として残る。

参考文献

- [1] ETC 総合情報ポータルサイト：
<http://www.go-etc.jp/>
- [2] 堀口良太，桑原雅夫：“ETCゲートが設置された料金所の容量に関する理論的解法”，土木計画額研究・講演集，No22(1)，1999.10
- [3] 松井寛，河上省吾：“交通工学”，森北出版