

混合ブースを考慮した料金所モデルを用いた交通制御の検討*

An Analysis of Traffic Control Using the Tollgate Model in Consideration of the ETC Mixed Booth*

小川 圭一**

By Keiichi OGAWA**

1. はじめに

都市高速道路においては、円滑な交通流を維持するため、交通管制が日常的におこなわれている。

一方、ITS（高度道路交通システム）の進展とともに、都市高速道路においては、料金所におけるETC（自動料金収受システム）がすでに実用化されている。ETCの導入効果としては、料金所付近における交通渋滞の解消や、キャッシュレス化による利用者の利便性の向上などが挙げられている。

しかしながら、都市高速道路の料金所は通常はオンランプのみであり、交通制御はオンランプにおける流入制御が中心となっている。ETCの導入によって料金所での渋滞は緩和されたとしても、大量の交通が短時間に本線上に流入し得ることから、かえって本線上の渋滞が悪化することも懸念されている。そのため都市高速道路網全体で交通状況の改善を図るためには、料金所および本線上の両者のボトルネック容量を考慮し、両者の渋滞状況をあわせて評価することが重要である。

本研究では、既存研究で用いられてきた都市高速道路の渋滞シミュレーション^{1),2)}に組み込むことを念頭に、ETCの導入に対応した料金所モデルの構築をおこなう。このとき、ETCブース、一般ブースとともに、ETC車と一般車の両者が利用できる混合ブースの存在も考慮したモデル化をおこなう。これにより、各々のブースの導入数にもとづく料金所の渋滞状況の推計をおこなう。さらに、既存研究の渋滞シミュレーションを用いて、このときの本線

上の渋滞状況の推計をおこなう。これらにより、ETC車載器の普及にともなう最適なブース数についての検討をおこなうこととする。

2. 都市高速道路の渋滞シミュレーション

本章ではまず、本研究の前提となる既存研究の渋滞シミュレーションについて示す^{1),2)}。

対象路線は、阪神高速道路堺線上り（堺本線集約料金所 - 環状線合流部間：全長 11.9km）である。

シミュレーションモデル上では、路線を 500m ごとに 24 の区間に分割し、各区間の交通密度の時間的な変化を推計することにより、路線の動的な交通現象の推計をおこなっている。計算方法は、単位時間（本モデルでは 20 秒）ごとに上流区間から下流区間に流れる車両台数を求める、ブロック密度法と呼ばれるものである。ここで、区間ごとの車両移動台数は、上流区間の流出需要交通量と下流区間の受入可能交通量との関係から求められる。また、区間ごとの交通特性を表すため、車両検知器による計測データにもとづき各区間に交通密度 - 速度関係（K-V 関係）を定め、これにもとづいて各区間の走行速度を算定している。これにより、各ランプでの流入交通量、流出交通量を入力変数として、本線上の交通渋滞状況、流入車両の本線走行時間、料金所での待ち時間などを推定することができる。

なお、具体的な渋滞シミュレーションモデルの詳細については、参考文献 1), 2)を参照されたい。

3. 料金所モデルの構築

(1) 料金所モデルの設定

本研究での対象路線である阪神高速道路堺線には、堺本線集約料金所、住之江オンランプ、玉出オンラ

* キーワード：交通制御，ITS，ETC

** 正会員，博（工学），
立命館大学理工学部都市システム工学科 講師
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
TEL: 077-561-5033，FAX: 077-561-2667
E-mail: kogawa@se.ritsumei.ac.jp

ンプの3箇所の料金所がある。各々の総ブース数は、堺料金所が5ブース、住之江オンランプと玉出オンランプがそれぞれ3ブースとなっている。本研究ではこのうち、流入交通量が大きく、対象路線の渋滞状況に及ぼす影響が大きいと考えられる堺料金所を対象として料金所モデルを構築する。

ここで、各々のブースの交通処理時間の設定は以下のようにする。ETCブースの処理能力は800[台/時/車線]程度(現況の約1.3倍)といわれている³⁾。したがって、ETCブースの交通処理時間を4.5[秒]とし、一般ブースの交通処理時間は現況の渋滞シミュレーションで用いられている5.0[秒]とした。また混合ブースについてはETC車の混入率によって変化するが、ETC車と一般車の混在状態が各々の交通処理時間に影響を及ぼさないと仮定した。すなわち、混合ブースにおいても処理時間はETC車が4.5[秒]、一般車が5.0[秒]とし、混合ブースに進入するETC車と一般車の比率からブースの平均処理時間を設定することとした。

また、料金所内におけるブースの設置場所による影響はないものとし、各ブースの待ち行列の延伸が他のブースの車両に及ぼす影響もないものとする。

(2) 料金所モデルの構築

まず、ETCブース、一般ブース、混合ブースが混在して設置されている料金所の状態を図-1に示す。本研究では、ETC車はETCブースあるいは混合ブースのみを通過し、一般車は一般ブースあるいは混合ブースのみを通過するものとする。計算についての設定を以下に示す。

料金所で待ち行列が発生していない状態においては、ETC車はすべてETCブース、一般車はすべて一般ブースに進入する。

ETCブース、一般ブースのいずれかが処理能力を超えた場合には、処理能力を超えた分の車両については混合ブースに進入する。(、の状態では、ETC車、一般車ともに待ち行列は発生していない。)

混合ブースも処理能力を超えた場合には、料金所に到着する車両はETC車、一般車のいずれも、利用できるブースの待ち時間が等しくなるように待ち行列を形成する。すなわち、ETCブースが

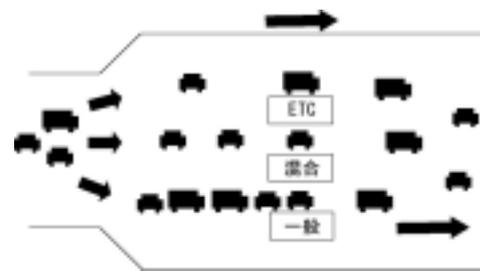


図-1 料金所モデルの概念図

より渋滞している場合には、ETCブースと混合ブースが同じ待ち時間となる。逆に、一般ブースがより渋滞している場合には、一般ブースと混合ブースが同じ待ち時間となる。

すべてのブースが渋滞している場合には、いずれのブースも同じ待ち時間になるように待ち行列が形成される。

なお、これらの計算は単位時間(20秒)ごとにおこない、処理能力を超えた場合の待ち行列となる車両は、つぎの単位時間(20秒後)への残留交通量となる。これにより、単位時間ごとの料金所通過台数の変化を算定することができる。

4. 料金所における渋滞状況の比較

(1) 開口ブース数による比較

本章ではまず、堺料金所に混合ブースのみを1ブースずつ導入していくことを考える。ここでETC車の混入率は、0%から100%までの10%ごとの設定とした。なお、使用するデータの対象日時は1997年10月14日5:00~12:00とした。

ETC車の混入率ごとにみた料金所の最大待ち行列長を表-1に示す。これをみると、ETC車の混入率が増加するほど待ち行列長は小さくなっているが、その影響は少ないものとなっている。また、ブース数が2ブース以下の場合には処理能力が極端に小さいため、非現実的な待ち行列長が算定されている。

料金所上流側のオンランプでの待ちスペースの長さを考慮すると、2ブース以下の場合には一般街路にまで待ち行列が延伸すると考えられ、少なくとも3ブース以上の開口が必要であることがわかる。

(2) 各々のブースの導入数による比較

つぎに、堺料金所の5ブースを開口した場合を想

表-1 料金所の最大待ち行列長（単位：km）

導入数 \ 混入率	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	導入前										完全導入後
1	40.54	39.88	39.63	39.37	39.10	38.83	38.55	38.31	38.04	37.75	37.46
2	8.52	8.21	7.98	7.74	7.50	7.25	7.00	6.75	6.49	6.23	5.96
3	0.59	0.54	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.40	0.38
4	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-3 料金所の総待ち時間（単位：時間）

導入数 \ 混入率	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	導入前										完全導入後
(1,4,0)	0	0	0	54	2940	10994	19322	27927	36784	45893	54967
(1,3,1)	88	0	0	0	0	0	114	958	5935	13890	21915
(1,2,2)	2970	822	162	13	0	0	0	0	31	181	632
(1,1,3)	28040	21989	13040	4315	485	49	0	0	0	0	0
(1,0,4)	58736	55012	44881	34813	25017	15578	6515	221	0	0	0
(2,0,3)	28040	10994	6515	2106	215	24	0	0	0	0	0
(2,1,2)	2970	323	73	7	0	0	0	0	0	0	0
(2,2,1)	0	0	0	0	0	0	0	0	16	81	632
(2,3,0)	0	0	0	0	0	0	54	443	2940	6963	21915
(3,0,2)	2970	215	48	4	0	0	0	0	0	0	0
(3,1,1)	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(3,2,0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	54	632
(4,0,1)	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(4,1,0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5,0,0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

定し、ETC ブース、一般ブース、混合ブースの 3 種のブースを設置し、ETC 車の混入率による各々のブース数の検討をおこなう。5 ブースを開口した場合のブース数の導入パターンを表-2 に示す。

表-3 に、ETC 車の混入率ごとの料金所の総待ち時間を示す。混合ブースが 2 ブース以下の場合、ETC 車の混入率が低い場合には、ETC ブースを増加するほど総待ち時間が増加している。逆に ETC 車の混入率が高い場合には、一般ブースを増加するほど総待ち時間が増加している。混合ブースが 3 ブース以上の場合には、ETC 車、一般車のいずれが多い場合にも対応できるため、ETC 車の混入率にかかわらず総待ち時間は少ないか、ほとんどないという結果となった。

表-2 ブース数の導入パターン

混合ブース導入数 (全5ブース)	ブース開口数(ETC, 一般, 混合) 通常5ブース開口 (混合, 一般, ETC)
1	(1, 4, 0), (1, 3, 1), (1, 2, 2) (1, 1, 3), (1, 0, 4)
2	(2, 0, 3) (2, 1, 2) (2, 2, 1) (2, 3, 0)
3	(3, 0, 2) (3, 1, 1) (3, 2, 0)
4	(4, 0, 1) (4, 1, 0)
5	(5, 0, 0)

た場合、ETC 車の混入率にかかわらず総走行時間は多くなっている。これは、混合ブースは ETC 車も一般車も流入が可能であるため、ETC 車の混入率にかかわらず多くの車両が本線に流入するためである。混合ブースが 2 ブース以下の場合、ETC 車の混入率が低い場合には、ETC ブースを増加するほど総走行時間が少なくなっている。これは、ETC ブースの増加によって、一般車の流入が制限されているためである。逆に ETC 車の混入率が高い場合には、一般ブースを増加するほど総走行時間が少なくなっている。これも、ETC ブースの不足によって、ETC 車の流入が制限されているためである。

料金所の総待ち時間と本線上の総走行時間を合計することにより、利用者の総所要時間を求めることができる。総所要時間が最小となるブース数のパターンを求めることで、都市高速道路の最適な交通制御になると考えられる。

5. 本線上における渋滞状況の比較

つぎに、料金所モデルによって得られた単位時間ごとの料金所通過台数を既存研究の渋滞シミュレーションに入力し、本線上の渋滞状況を推計することにする。なお、料金所以外の渋滞シミュレーションの設定については影響はないものと考え、既存研究のパラメータを用いることとした²⁾。

まず、本線上の渋滞状況の指標として、ETC 車の混入率ごとの本線上の総走行時間を表-4 に示す。これをみると、混合ブースを 3 ブース以上導入し

表-4 本線上の総走行時間（単位：時間）

導入数 \ 混入率	0 導入前	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 完全導入後
(1.4.0)	3135	3135	3135	3050	2730	2443	2329	2253	2204	2180	2134
(1.3.1)	3014	3135	3135	3135	3135	3135	2927	2667	2500	2387	2293
(1.2.2)	2633	2643	2908	3109	3135	3135	3135	3135	3077	2864	2761
(1.1.3)	2271	2311	2414	2540	2782	3054	3135	3135	3135	3135	3135
(1.0.4)	2144	2150	2194	2224	2275	2379	2543	2936	3135	3135	3135
(2.0.3)	2271	2451	2559	2761	2952	3098	3135	3135	3135	3135	3135
(2.1.2)	2633	2868	3020	3119	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(2.2.1)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3109	2994	2761
(2.3.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3028	2884	2690	2515	2293
(3.0.2)	2633	2952	3055	3123	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(3.1.1)	3014	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3155
(3.2.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3113	3046	2761
(4.0.1)	3014	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(4.1.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3155
(5.0.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135

表-5 総所要時間（単位：時間）

導入数 \ 混入率	0 導入前	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 完全導入後
(1.4.0)	3135	3135	3135	3104	5670	13437	21651	30180	38988	48073	57101
(1.3.1)	3102	3135	3135	3135	3135	3135	3041	3625	8435	16277	24208
(1.2.2)	5603	3465	3070	3122	3135	3135	3135	3135	3108	3045	3393
(1.1.3)	30311	24300	15454	6855	3267	3103	3135	3135	3135	3135	3135
(1.0.4)	60880	57162	47075	37037	27292	17957	9058	3157	3135	3135	3135
(2.0.3)	30311	13445	9074	4867	3167	3122	3135	3135	3135	3135	3135
(2.1.2)	5603	3191	3093	3126	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(2.2.1)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3125	3075	3393
(2.3.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3082	3327	5630	9478	24208
(3.0.2)	5603	3167	3103	3127	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(3.1.1)	3102	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3155
(3.2.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3114	3100	3393
(4.0.1)	3102	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135
(4.1.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3155
(5.0.0)	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135	3135

ETC 車の混入率ごとの総所要時間を表-5 に示す。これをみると、多数の混合ブースを導入した場合にはかえって総所要時間が大きくなっており、混合ブースの導入数は1ブースまたは2ブースにする方が良いことがわかる。また、ETC 車の混入率に応じて導入するブース数を変化させることによって、総所要時間の減少につながるということが明らかになった。

6. おわりに

本研究では、ETC ブース、混合ブースの導入を考慮した都市高速道路の料金所モデルの構築をおこなった。これにより、ETC ブース、混合ブースの導入にともなう渋滞状況の変化に関する検討をおこなった。これにより、ETC 車の混入率に応じて導入するブース数を変化させることによって、総所要時間の減少につながるということが明らかになった。すなわち、交通管理者は ETC 車載器の普及率の変化に応じて、適切なブースの導入やブース数の制御をおこなう必要があることになる。

本研究では対象時間帯の開口ブース数を一定とし

て算定をおこなっているが、今後は、交通量の時間的変動に応じた開口ブース数の適切な制御について検討をおこなう予定である。これについては、講演時に示すこととしたい。また今後の課題としては、設置されたブースごとに待ち行列を算定し、各ブースの待ち行列の延伸が他のブースの車両に及ぼす影響を考慮することや、待ち行列の延伸による一般街路への影響を考慮することが挙げられる。

謝辞

本研究の計算に当たっては、立命館大学理工学部学生（現・栗東市役所勤務）小寺克弥氏にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を申し上げる。また本研究で用いた渋滞シミュレーションモデルは、筆者が岐阜大学在籍中におこなった秋山孝正教授との共同研究の成果にもとづくものである。秋山教授をはじめとする岐阜大学の研究グループ各位に感謝の意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 土田貴義, 横山剛士, 秋山孝正: 渋滞シミュレーションを用いた交通管理支援システムの構築, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.879-886, 1999.
- 2) 秋山孝正, 土田貴義, 小川圭一: 個別車両挙動を考慮した都市高速道路の渋滞シミュレーションの構築, 土木学会論文集, No.702/ -55, pp.103-115, 2002.
- 3) 建設省道路局: 料金徴収施設設置基準(案), 1999.