

複数ビデオカメラによる車両走行軌跡の長区間連続・

大量推定システム的高速道路料金所広場への適用

Application of a system for estimation of continuous trajectories of massive vehicles using video images acquired by plural cameras to an expressway toll plaza

小 宮 粹 史*
赤 羽 弘 和**
舌 間 貴 宏***
Jian Xing ****
堀 口 良 太*****

1. はじめに

現在、高速道路料金所での ETC 利用率は 6 割を超えており、さらなる利用率向上を目標として、継続的な普及促進がなされている。しかしながら、料金所エリア内では比較的高速度な ETC 車両と一旦停止を必要とする一般車両が混在しており、ETC の利用率向上に伴い速度差がある中での織り込み、分合流などによる交通容量の低下、および錯走などの交通安全上の問題が、顕在化すると考えられる。そのため、料金所広場内の車両挙動を詳細かつ網羅的に分析したデータに基づき、ETC 利用率が高くかつ一般車両が混在する状況においても、安全かつ円滑な車線運用の検討が進められている¹⁾。

本研究では料金所広場における車両挙動をビデオ画像により微視的かつ時空間的に連続して分析し、適切な車線運用を検討するための基礎的情報の取得を目指した。これまでの手法ではビデオ画像により不特定多数の車両の観測が可能である反面、観測の精度と空間的な範囲が二律背反の関係にあった。本研究では、隣接して設置された複数のビデオカメラによる観測データを統合することにより、より高い水準で観測精度と観測範囲を両立することができるシステム²⁾を用いた。

2. データ処理の流れ

本研究でのデータ処理の流れを図-1 に示す。

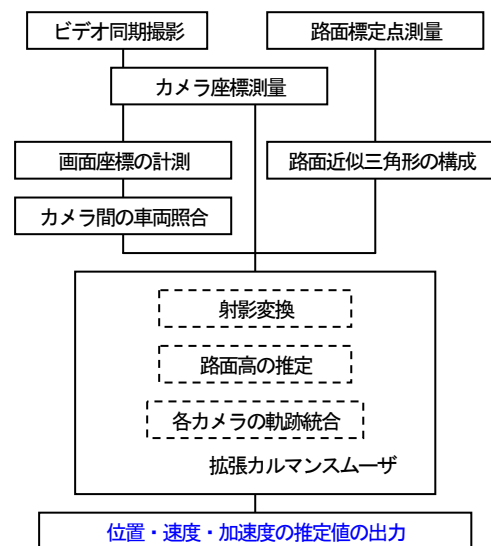


図-1 本システムの構成概要

2.1 観測データ

本システムで処理に必要なデータは以下のとおりである。

- ① フレーム同期された複数ビデオ画像
- ② 各カメラの3次元地上座標値
- ③ 路面標定点の3次元地上座標値

* 千葉工業大学大学院工学研究科

** 千葉工業大学工学部 建築都市環境学科 教授

*** 中日本高速道路株式会社 中央研究所 交通環境研究部交通研究室

**** 財団法人 高速道路技術センター 保全交通研究部交通研究課 主任研究員

***** 株式会社アイ・トランスポート・ラボ 代表取締役

2.2 ビデオ画像上の画面座標の計測

ビデオ撮影した映像の各フレームを静止画に変換し、PCに保存する。それら静止画を逐次読み込み、車両ごとに任意の特徴点を指定すると、それを自動追跡してフレーム毎に画面座標値を出力するソフトウェアを使用した。自動追跡が正常に行われない場合には、操作者が介入して誤りを正す半自動修正機能も併用し、通過するすべての車両について、画面上での移動軌跡を抽出した。

2.3 複数のカメラ間の車両軌跡関連づけ

時空間的に連続した走行軌跡を推定するには、各カメラで撮影された画面上の移動軌跡の大量断片データから、同一車両の断片データを照合し合理的な方法で統合する必要がある。しかし、対象車両が大量である場合には、統合作業に大きな労力を要する。このため、画面上の車両位置と時刻に基づき、2画面間で同一車両をファジィ照合し、かつ照合候補を目視確認しながら、自動照合の誤りを効率的に修正する軌跡統合支援システムを開発した。図-2に開発した軌跡統合支援システムの画面を示す。

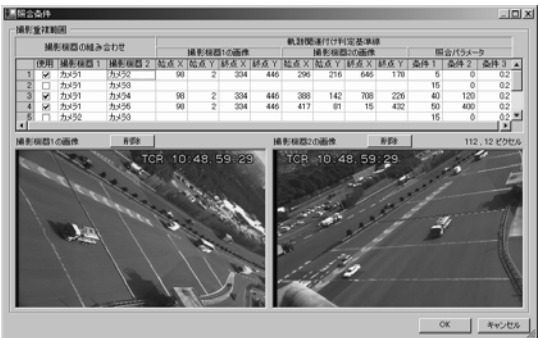


図-2 軌跡統合支援システム

2.4 車両軌跡の推定

本システムでは射影変換の原理を適用し、ビデオ画面座標を地上座標に変換する。射影変換パラメータはカメラ設置位置の3次元地上座標値と、道路面を近似する三次元空間内の三角形の各頂点の画面座標値と地上座標値とから同定することができる。これにより道路面の縦・横断勾配も考慮した高精度な変換が行える。

射影変換により得られる地上座標値には、観測誤差及び定誤差が含まれている。それらの影響を取り除くとともに、連続した車両軌跡データを取得するために、拡張カルマンスモーキングアルゴリズムによる車両軌跡の最小自乗推定を行った。

3. 観測システムの料金所広場における車両挙動分析への適用

3.1 ビデオ撮影調査

東関東自動車道上り湾岸習志野本線料金所においてビデオ調査を行った。当該料金所は料金徴収を行う本線料金所である。表-1に調査の概要を、図-3に撮影カメラの設置位置および撮影範囲を、図-4にカメラの設置例を示す。

表-1 撮影の概要

調査場所	東関東自動車道 湾岸習志野本線料金所
調査日時	平成16年2月20日(金) 10:30 ~ 14:30
カメラ設置 箇所数	照明塔2箇所

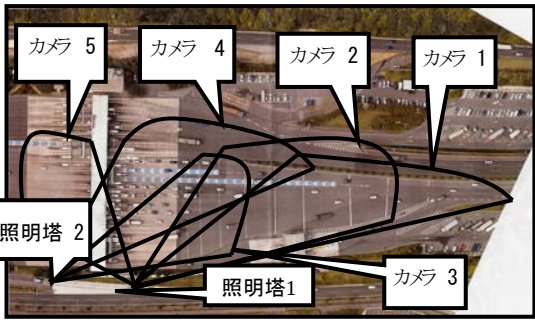


図-3 撮影カメラの設置位置および撮影範囲



図-4 カメラの設置例（照明塔2）

今回の調査では料金所広場全体を俯瞰可能な照明塔上部より、高精度ビデオカメラ5台を用いて走行車両を撮影した。テープ交換の手間や撮影状態把握のため、地上に録画装置とモニターを設置し、照明塔～地上間を同軸ケーブルで配線し映像信号とビデオ同期信号を地上に伝送した。各カメラ間の同期には照明塔上部に設置したGPS同期信号生成装置を用いた。本装置は、GPS受信波に基づいて生成されるビデオ同期信号（BBS）とタイムコード（SMPTE フォーマット 29.97Hz ドロップフレーム）により、各カメラ間を有線接続することなしに、フレーミングの時期を一致させ、かつ各フレームに記録されたタイムコードにより同一時刻に撮影されたビデオ画面の照合を可能とする。

路面近似三角形を構成する標定点の3次元座標値は、道路内への立ち入りが困難なため、航空写真測量により取得した。図-5に撮影画像と対応する路面近似三角形を示す。

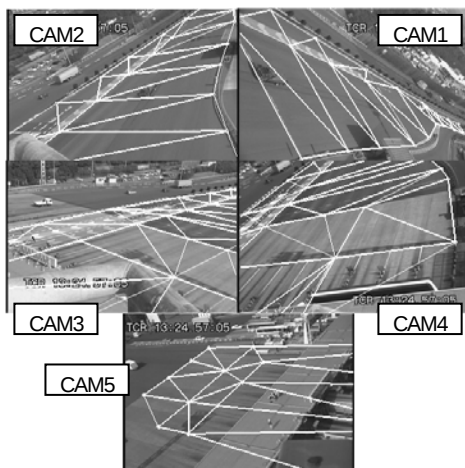


図-5 カメラ画像と路面近似三角形

3.2 ビデオ画像データの取得結果と平滑化結果

比較的交通量の多かった10:50～12:30までを解析対象時間とした。計測台数と統合平滑化結果から得られた台数を表-2に示す。解析時間帯に通過した全1778台のうち、1386台の走行位置及び速度、加速度を1/10秒毎に推定する事ができた。

3.3 世界座標系における走行軌跡

図-6、図-7は、推定された走行軌跡データのXY座標を、流入車線別に区分して分けて航空写真上に表示した図である。一般車両は料金所ゲートの直前までを推定区

表-2 ビデオ画像の取得結果

時間	撮影台数[台]		統合平滑化結果[台]	
	ETC	一般上流	ETC	一般上流
10:50-11:20	110	476	90	374
11:20-11:50	152	390	124	273
11:50-12:10	113	537	94	431
12:20-12:30				
合計	375	1403	308 (82.1%)	1078 (76.8%)
総合計	1778		1386 (78.0%)	



図-6 本線第2走行車線からの流入車両の走行軌跡



図-7 本線第1走行車線からの流入車両の走行軌跡

間としているが、ETC車両はゲートの通過状況も把握する目的で、料金所下流100m程度の位置までを推定対象としている。今回は比較対象となる情報がないため、推定軌跡の詳細な位置精度検証は困難である。ただし、同じシステムを使った既出の研究報告²⁾では、数百メートルの区間で推定位置誤差は概ね±1m以内と推定されている。

図-8は、料金所広場を1mメッシュに区分して、それぞれのメッシュを横切る軌跡数を濃淡で示したものである。料金所広場上流から濃色の部分が走行車線のようにゲートまで続いており、車線区分線のない料金所広場内での車両の走行動線が確認できる。

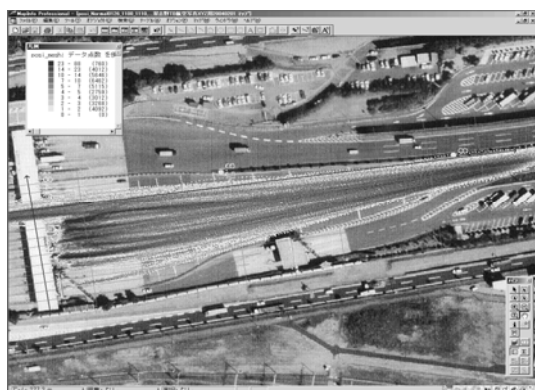


図-8 車両走行軌跡の通過頻度(1mメッシュ集計)

4. 料金所広場における車線選択の分析

料金所広場における車線選択は、各料金所ゲートの配置と自車走行車線の位置関係や周辺走行車両との位置関係、各料金所ゲートの滞留長などに依存すると考えられる。そこで、推定走行軌跡から得られた自車の走行位置を、ETC車両と一般車両それぞれにおいて走行車線ごとに区分して集計した。また、各走行車線からの各料金所ゲートの通過割合を、料金所ゲートの上流270mと120m地点において走行している車線を基準として、ETC車両と一般車両とを区分して集計した。

図-9に習志野料金所の模式図を示す。通過ゲート番号は追越車線の延長線上にあるゲートを0とし、進行方向右側に正、左側に負の値をとっている。

ゲート数は11で、ゲート-8, 0, 1がETC専用として運用されていた。ただし、ゲート-7は観測時間中閉鎖、ゲート1とゲート8は一時閉鎖であった。

滞留長とは料金所ゲートでの待ち行列の長さであり、料金所ゲートの選択に影響すると考えられる。図-10に流入交通量の車線別・車種(ETC車・一般車)別構成比を、図-11に料金所ゲートの上流270mにおける一般車両とETC車両の走行車線と通過ゲートの割合を、図-12に料金所ゲートの上流120mにおける同割合を示す。図-13に各一般ゲートにおける10時49分00秒から10時59分

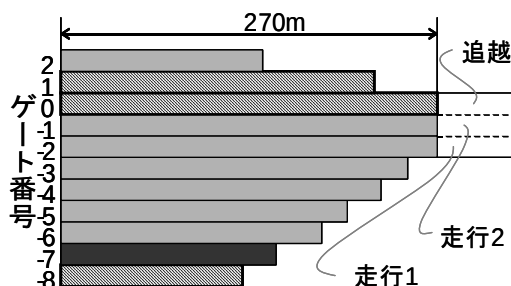


図-9 湾岸習志野本線料金所模式図

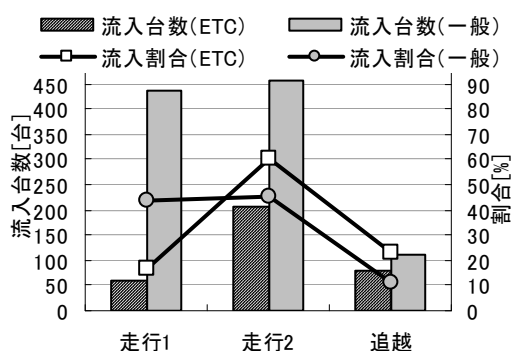


図-10 流入交通量の車線別・車種別構成比

30秒までの30秒毎の滞留長を例示する。

図-10より、追越車線の延長線上にETC専用のゲートがあるため、追越車線側を走行しているETC車両が多く、また、進行方向左側に一般車両用のゲートがあるため、走行車線側を走行している一般車両が多いことが分かる。

一般車両については、図-11より、料金所が左側に広がっているため、全体的に左側に移行している車両が多く、右側のゲートを選択する車両は各走行車線において1割に満たないことが分かる。図-12より、ゲートが近づくにつれて図-11の時のような横への広がりが増加していることが分かる。

ETC車両については、図-11より、第1走行車線を走行している車両の半数が追越車線側のETCレーンを選んでいる。さらに図-12より、ほとんどの車両も120m付近では進むゲートを決定していることから、第1走行車線から右側のETCレーンに進入したETC車両は150mの区間で実質3車線分の右側への車線変更を行ったことになる。

滞留長は観測時間中、0~50m程度であったが、図-13よりETCゲートに隣接するゲート-1, -2の混雑が顕著であった。

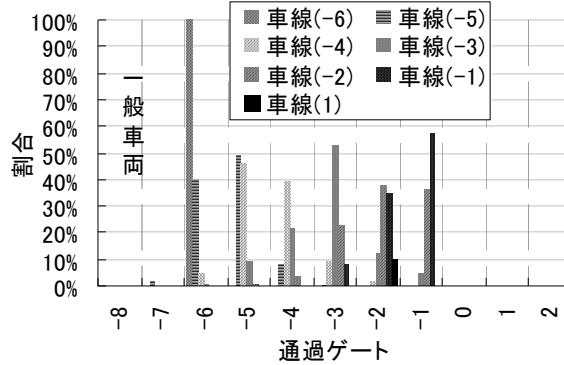
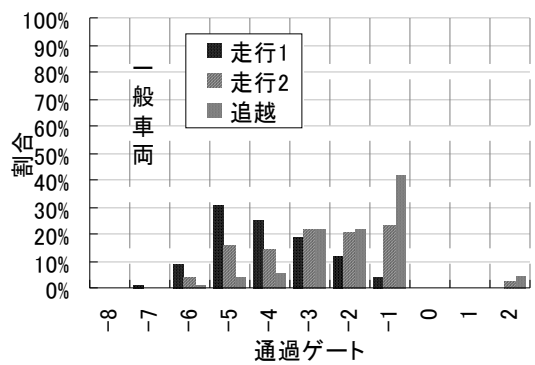
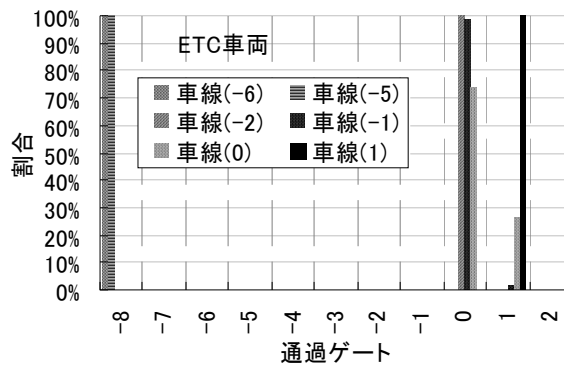
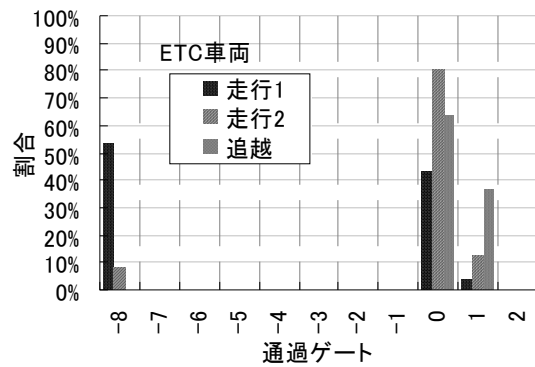


図-11 流入車線と通過ゲートの選択率
(ゲート上流 270m)

図-12 流入車線と通過ゲートの選択率
(ゲート上流 120m)

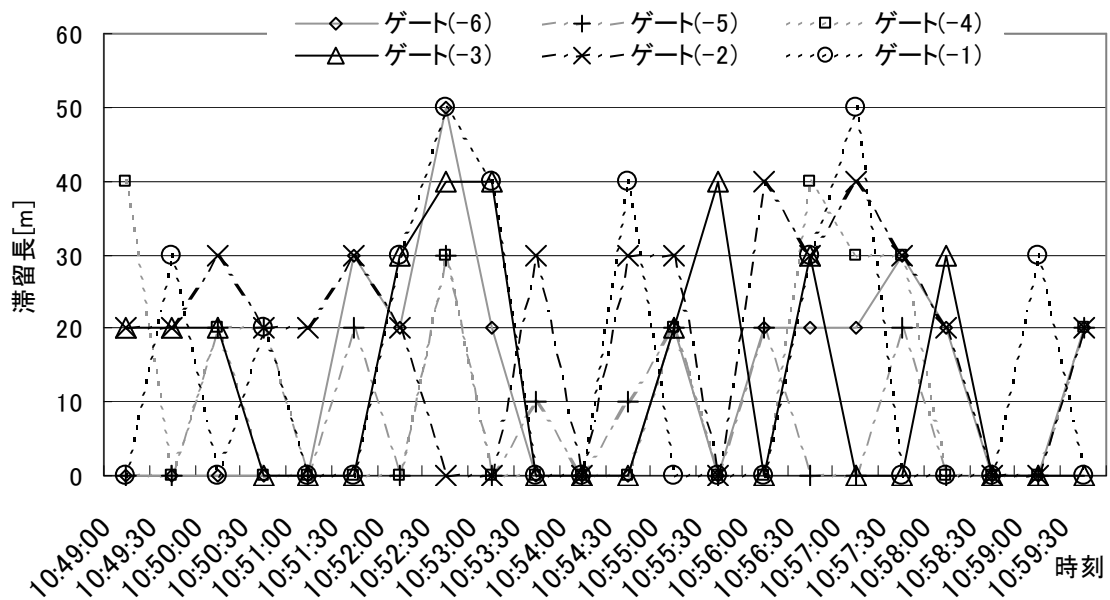


図-13 各ゲートの時間別滞留長

走行速度の分布状況

口絵に統合平滑化した全車両の1/10秒ごとの走行速度分布を航空写真上に重ねた図を示す。料金所広場において赤色表示されている軌跡が低速走行状態を、青色表示されている軌跡が高速走行状態を示す。

図-14にETC車線（ゲート0）の料金ゲートからの距離帯別に、個別車両の各地点での平均速度Eおよび平均値± σ （標準偏差）を示す。これより、料金所エリア進入時（料金所ゲートの上流240m）での速度は平均83km/hで、そこから緩やかに減速して、ゲート通過時では平均32km/hの範囲になっていることがわかる。

図-15に、料金所通過センサーで別途計測したETC車両の通過速度の分布を示す。同図と図-14とに示した速度の平均値と標準偏差とは概ね一致しており、本手法による走行速度の推定精度が、所要の水準にあると判断される。

同様に、図-16には一般車線（ゲート-3）での距離帯別速度分布を示す。統合平滑化処理が発散して、異常な速

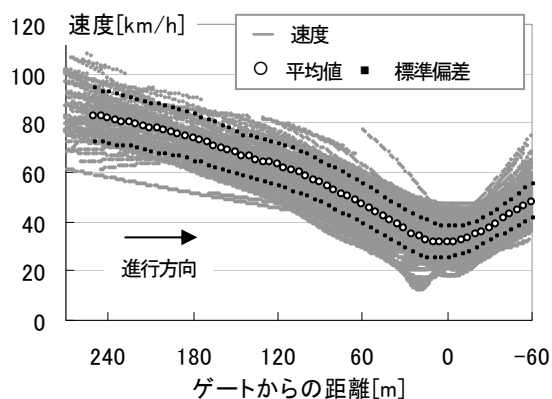


図-14 ETC車の走行速度の空間変動

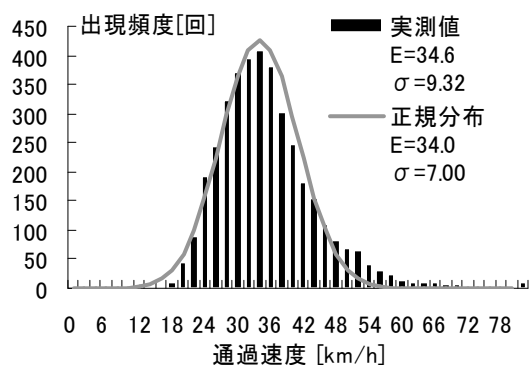


図-15 料金所通過センサーによる通過速度分布

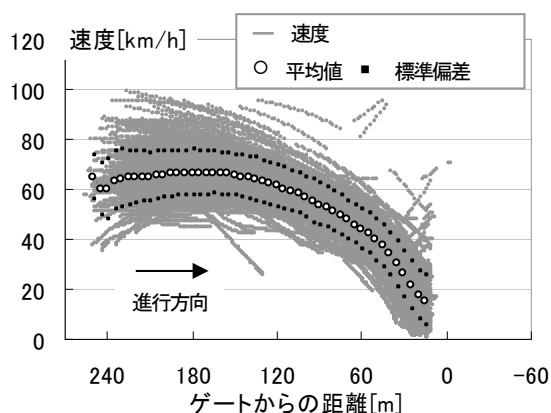


図-16 一般車両の走行速度の空間変動

度を示している軌跡が若干あるものの、多くは正常に推定されている。料金所エリア進入時（料金所ゲートの上流240m地点）の速度が平均63km/hと、この地点ですでにETC車両より低速であり、その結果として減速開始箇所が広場のほぼ中央（同150m地点）付近であることがわかる。

6. まとめ

複数のビデオカメラを用いて不特定多数の車両の走行挙動を長区間・広範囲にわたり微視的に推定できることを確認した。料金所広場における車両挙動分析への適用においては、撮影されたビデオ画像から1386台と多数の車両の位置及び速度、加速度が所要の精度で推定できた。その結果、これまでにない質および量の走行軌跡データから、料金所広場における車両挙動の詳細な分析を行い適切な車線運用を検討するための基礎的情報の取得を行えた。

今後は、この技術を活用し、ETC高利用率時の望ましいレーン配置の検討に活用していきたい。

【謝辞】本研究におけるデータ処理等は、千葉工業大学大学院学生（当時）の山本大輔氏の尽力によるところ大である。ここに記して、謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 舌間貴宏, 村重至康, Jian Xing, 赤羽弘和, 堀口良太: ETC料金所の効果的な運用方式検討のためのシミュレーションモデル開発と適用, 交通工学, Vol. 41, 増刊号, pp51-56, 2006年10月.
- 2) H. Akahane, S. Hatakenaka: Successive observations of trajectories of vehicles with plural video cameras, International Journal of ITS Research, Vol.2, No.1, pp47-53, October 2004.