

画像データを用いた都市高速道路合流部における交通効率性解析*

Analysis on Traffic Efficiency at the Merging Section of Urban Expressway Using Video Data*

飛ヶ谷明人[†]・倉内文孝[‡]・宇野伸宏[§]

By Akito HIGATANI[†]・Fumitaka KURAUCHI[‡]・Nobuhiro UNO[§]

1. はじめに

本研究では、阪神高速道路・守環合流部においてビデオ観測を実施し得られたビデオ画像から自動車両軌跡認識システムを用いて車両軌跡データを抽出する。それを活用して交通流率、空間平均密度および空間平均速度などの交通流指標を算出し、交通流指標の時空間的な推移を考察することで、研究対象地点における渋滞発生メカニズムの解明を試みる。また、併せて取得した目視での画像データを交通流解析に活用することの実用性および課題について論じる。

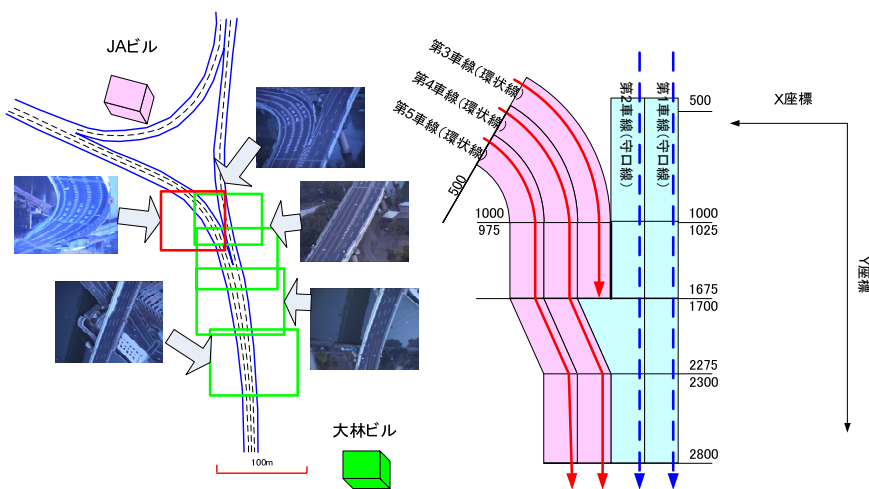


図1 調査地点の概要

2. 分析データの概要

(1) 調査地点

本研究では守環合流部を対象としてビデオ観測調査を実施した。大林ビルおよびJAビルに合計10台のビデオカメラを設置し、6日間(2005/3/25~3/30)の映像を取得した。ここでは合流地点部分を撮影した5つのカメラに関する映像について分析を加える。なお、守環合流部は、阪神高速道路上でのワースト10に入る渋滞多発ポイントであり、平成16年阪神高速道路公団渋滞対策委員会資料によれば、守環合流部から守口線に対して平成16年12月平日の1ヶ月において、1日平均8時間以上の渋滞が観測されている地点である。図1に調査地点の概要について示しておく。

(2) 自動車両認識システム

本研究では、住友電気工業株式会社により開発された自動車両認識システム¹⁾を活用しており、システム自身の車両認識精度等については本稿で取り扱う範囲ではない。なお、先行研究²⁾において、試験データを用いて分析を実施した結果、自動車両認識システムを活用する

ことで空間平均速度については十分な精度で観測可能であること、交通量、空間平均密度については過小評価となる傾向にあるが、少なくとも変化傾向については分析に耐えうるということが明らかとなっている。

車両軌跡認識システムからは、各カメラ番号、車両IDおよび車両認識時刻、現地X、Y座標が出力される。車両認識のインターバルは0.2秒である。現地座標は、車両進行方向にY座標を、横断方向にX座標を設定している。(図1参照)なお、現在のシステムでは5台のカメラから得られた車両軌跡を結合する機能は導入されていないため、カメラごとに分析を進めている。

(3) マクロ交通指標算定方法

マクロ交通指標の算定については、先行研究²⁾と同様Edie³⁾により提案された方法を活用する。図2に計算の概念を示す。区間長 Δl 、計測時間 Δt で定義される範囲を計測エリア(面積 $A=\Delta l \cdot \Delta t$)と呼ぶことにすると、交通量 q 、密度 k 、速度 u は、この区間内を走行した車両 i の走行距離 x_i と、計測エリア内の存在時間 t_i を用いて、以下のように計算することができる。

$$q = \sum x_i / A, \dots \dots \dots (1)$$

$$k = \sum t_i / A, \dots \dots \dots (2)$$

* Keywords: 画像データ解析, 交通効率性, 車両軌跡

[†] 正員, 修(工), 阪神高速道路株式会社

[‡] 正員, 博(工), 京都大学工学研究科都市社会学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5126, Email: kurauchi@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

[§] 正員, 博(工), 京都大学経営管理大学院

$$u = \sum x_i / \sum t_i = q/k \dots\dots\dots (3)$$

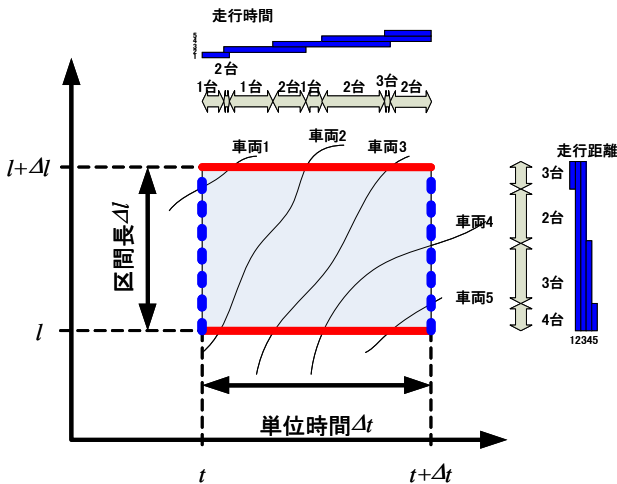


図2 マクロ交通指標の計算方法

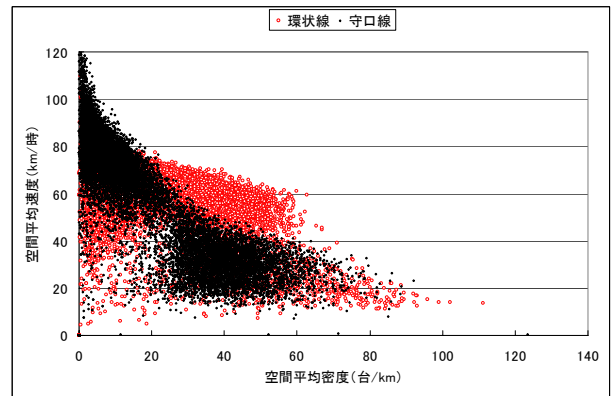
なお、計算時間間隔 Δt および区間長 Δl は、先行研究²⁾の成果を参考にして、1分、5mとし、30秒および2.5mごとに更新を行っている。車両認識結果の一例として、3/29の14:00~14:03に観測された守口線側車線（第1、第2車線）の車両走行軌跡を図3に示す。14:00:30頃に最下流で発生した速度低下がおよそ1分間かけて最上流まで延伸していくことがこの図から確認できる。図中異なるプロット形状となっているのは、車両認識システムからは異なる車両IDとして識別されているためである。また、 $y=1050, 1700, 2300$ (cm) がカメラの切り替わり位置であり、特に $y=1050$ 付近では車両の認識が不連続であることがわかる。

3. マクロ交通流解析

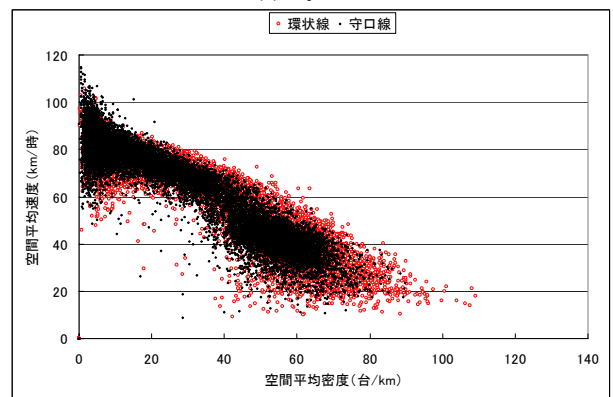
(1) Q-K-V 関係の考察

得られたデータを活用し、 $y=500 \sim 2500$ (10cm) について、50m おきに q, k, u を算定し、K-Q あるいは K-V 特性の考察を行った。紙面の都合上、ここでは図 4(a),

(b)に $y=500$ および $y=2500$ の K-V 関係について示しておく。なお、環状線側と守口線側を分けて計算している。



(a) $y=500$



(b) $y=2500$

図4 K-V 関係図

0

図より、 $y=2500$ 地点においては、環状線側と守口線側のプロット形状にほとんど違いはなく交通流特性はほぼ均一と考えることができるが、合流前の $y=500$ の地点においては、プロット形状が大きく異なることがわかる。守口線の方が低密度の際には速度が速く、高密度の際には速度が遅い。なお、横軸の空間平均密度は車線合計値として示しており、図 4(a)の環状線側については3車線分の値を計算しているため、空間平均密度が比較的

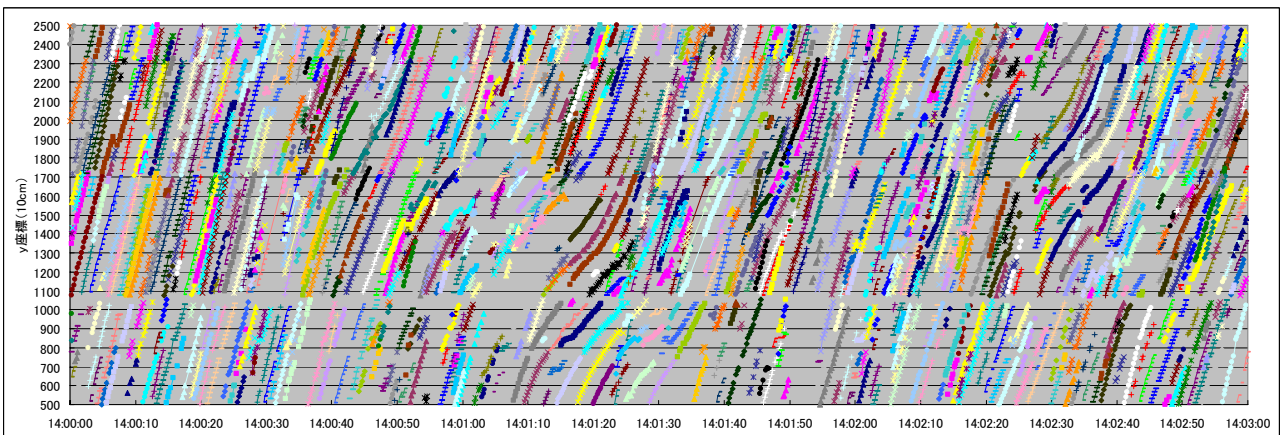


図3 車両走行軌跡の例

高密度（60 台/km）となっても速度低下が顕著ではない。また、低密度においても環状線側の速度が高くないのは $y=500$ 地点がカーブ区間であるためである。他地点で得られたデータも活用して分析を加えた結果、最下流から上流に推移するに従いプロット形状の乖離が大きくなること、上流に行けば行くほど渋滞領域のプロットの散らばりが大きく、この地点の渋滞の先頭はこの下流側にある可能性が高いことが明らかとなった。最後の知見は守環合流部を先頭とした渋滞が長時間記録されている状況とは相反するものであるため、空間平均速度の時間的推移を考察することとする。

(2) 空間平均速度の時間的推移

下流側から速度低下が生じた場合の伝播について考察するために、進行方向に 50m 刻みで Q-K-V の速度低下について考察を加えた。ここでは 3/29 の $y=500$ および $y=2500$ における空間平均速度の推移を図 5 に示す。

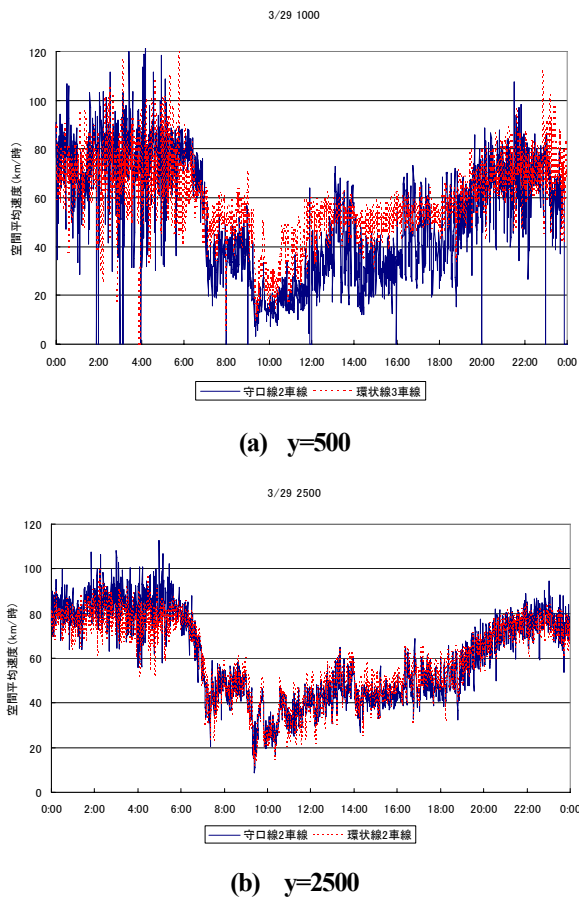


図 5 空間平均速度の推移 (3/29)

図 5 からも明らかのように、下流側の $y=2500$ では環状線側、守口線側の速度推移はほとんど等しい。これが上流に遷移するに従い乖離が大きくなる。 $y=500$ における速度推移をみると、7:00 頃にほぼ同時に速度低下が発生しているものの、環状線側では 50km/h 程度までしか速度低下が生じないのに対して、守口線側では 30km/h 程度にまで減速が生じている。さらに、その後

の速度推移をみると、11:00 頃には環状線側は速度回復が見られるものの、守口線側は 40km/h 以下の空間平均速度が推移している。以上より、速度低下のきっかけは下流側で発生するが速度低下の上流伝播が環状線側と守口線側で異なること、守口線側では一度速度低下が生じると低速状態が継続することが明らかとなった。

(3) 空間平均速度と路線合流比の関係

なぜ環状線では速度回復が生じているのに対して、守口線では回復しないのであろうか。この点を明らかにするために、合流地点直上流地点の交通量から計算される守口線路線合流比（=守口線交通量/（全交通量））と空間平均速度の推移を考察する。3/29 について $y=1500$ における交通量から算定された守口線合流比の推移を図 6 に示す。夜間においてはばらつきがあるもののおおよそ 0.5 程度の合流比を保っているにもかかわらず、最初の渋滞発生時である 7:00 前後に急激に路線合流比が 0.3 程度にまで低下し、その後日中は 0.4 程度で推移している。このことより、守環合流部から守口線に向け 1 日 8 時間以上もの継続的な渋滞が生じる理由は、合流地点が渋滞発生のきっかけとなっているわけではなく、下流側における速度低下が守環合流部まで延伸した結果守環合流部における守口線からの合流比率が減少し、その結果守口線から流入しづらい状況が継続するためといえる。

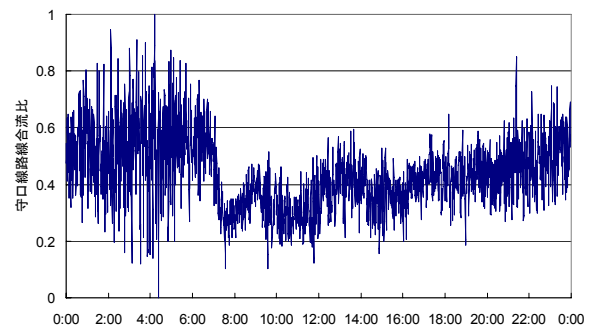


図 6 守口線路線合流比 (3/29)

路線合流比は合流地点直近の交通量で定義されていることから、路線合流比が低いことは、守口線から流入する交通量が相対的に低いことを意味する。速度低下が生じる前にはほぼ同等の交通流率を確保していることから、速度低下によって交通量が低下するということは、 $Q=KV$ の関係により空間平均密度が大きくなる、ということの意味している。紙面の都合上図は省略するが、その関係はデータより確認されている。環状線が 3 車線あるのに対して守口線は 2 車線しかないため、臨界密度は守口線の方が低いことは当然であるが、それ以上に守口線の車線利用に関する問題があるとも考えられる。

4. ミクロ走行軌跡を用いた検討

速度低下が生じた際に、守口線において空間平均密度

が大きくなる原因としては、車線利用の不均衡があげられる。なお、今回の分析においては、カメラ間で車両 ID の結合を行っていないため、各車両の流入車線と流出車線の関係を明示的に考察することは困難である。そのため、ここでは、15 分間 (3/29 17:36~17:51) という限られたデータであるが、先行研究²⁾により構築した目視車両軌跡観測システムを活用することで得られた対象エリア間の車両軌跡を用いて分析を進める。なお 15 分間に総計 2,034 台の車両が観測されている。これらの車両の流入車線と流出車線の関係を示したのが表 1 である。まずは流入と流出の関係からわかるように、第 1, 第 2 車線から流入し、そして第 4, 第 5 車線に流出していく車両が比較的多い。総じて車線変更をする必要がない車線を走行する車両 (表中網掛け) が多いが、それ以外に顕著に多いのは第 2 車線から流入し、第 4 車線に流出する車両である。これは、守口線から流入し、対象地域の下流にある井池の分流で環状線側に分流していく車両が多いためである。守口線から流入した総計 1,034 台のうち、環状線側 (第 4, 5 車線) に流出する車両は 351 台 (34%) にのぼり、またそれらの車両のうち 329 台 (93%) は第 2 車線を利用していることから、流出方向によって車線利用率が大きく変化することが想定される。この 15 分間の計算結果では、第 2 車線から流入する車両の方が第 1 車線からの流入車両と比較して 10% 程度多い。自動観測データからも第 2 車線からの流入車両が第 1 車線と比較して顕著に多いことが確認されており、守口線からの車線ごとの利用が均一でないことが守口線において空間平均密度が増加しない一因である。その結果合流時の交通量が低下しているといえる。

表 1 流入・流出車線比較 (3/29 17:36~17:51)

		流出				
		第1車線	第2車線	第4車線	第5車線	合計
流入	第1車線	395	72	18	4	489
	第2車線	13	203	242	87	545
	第3車線	40	143	52	14	249
	第4車線	1	48	173	130	352
	第5車線	0	2	76	321	399
	合計	449	468	561	556	2034

5. 守環合流部の渋滞メカニズムと対策

以上の知見をもとに、守環合流部における渋滞発生メカニズムをまとめたものを図 7 に示す。下流からの速度低下の延伸や合流摩擦によって、合流部まで渋滞が到達すると、環状線側では速度が低下しても交通量を維持するために空間平均密度が大きくなるが、守口線では車線利用率の関係で空間平均密度が大きくなり、交通量が低下してしまう。この結果、守口線からの流入交通量が比較的小さい状態で安定してしまい、下流側の速度低下

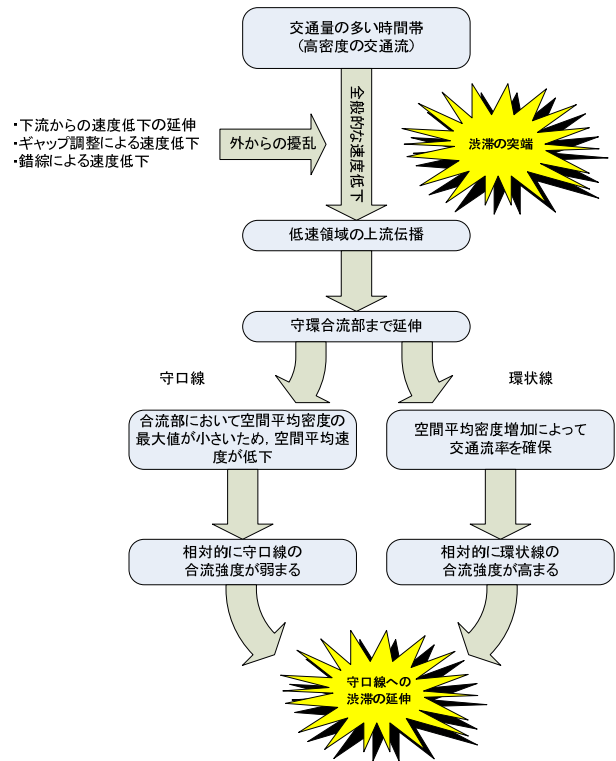


図 7 渋滞発生メカニズム

が解消したとしても、守環合流部を先頭とした渋滞が残っている。すなわち、守環合流部の交通渋滞を緩和するためには、渋滞のきっかけを減少させるような対策に加え、渋滞発生後低い値で安定してしまう路線合流比を改善するための対策を講ずることが重要と考えられる。

以上本稿では、守環合流部における渋滞発生メカニズムについて、画像データを活用して分析を加えた。なお、阪神高速道路では、環状線側の車線 (第 3 車線) を合流前にあらかじめ減少させ、2 車線で合流するように車線運用を変更する実験を行っている。実験中におけるビデオ画像を収集しており、今後このデータの分析を進め、車線運用変更の効果を検証する予定である。

【謝辞】

本研究は、土木学会・実践的 ITS 研究会 B-lu 班「車両挙動の画像解析に基づく道路デザイン評価手法の構築」の一部として遂行されたものである。また、ビデオ観測調査実施にあたっては阪神高速道路株式会社、(社)システム科学研究所、住友電気工業株式会社にご協力いただいた。記してここに深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 川崎, 西山: “画像処理技術を用いた交通流計測と今後の方向性”, 第33回土木計画学研究・講演集, 2006.
- 2) 倉内, 飛ヶ谷, ケイロス, 飯田: “画像データを用いたマクロ交通指標の自動観測に関する検討”, 第30回土木計画学研究・講演集, 2004.