

車群特性に着目した高速道路合流部における車両挙動解析*

An Analysis on Traffic Efficiency at the Merging Section of Urban Expressway by vehicle platoon characteristics*

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

本研究は、ビデオ観測データから車両軌跡データを抽出し、渋滞要因の把握及び緩和施策の提案を目指すものである。先行研究¹⁾においては、交通流率、空間平均速度などの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た。本稿においては、画像データの特性を活かし、より詳細に現象を理解するために車群特性に焦点をあて分析を進めた結果を報告する。

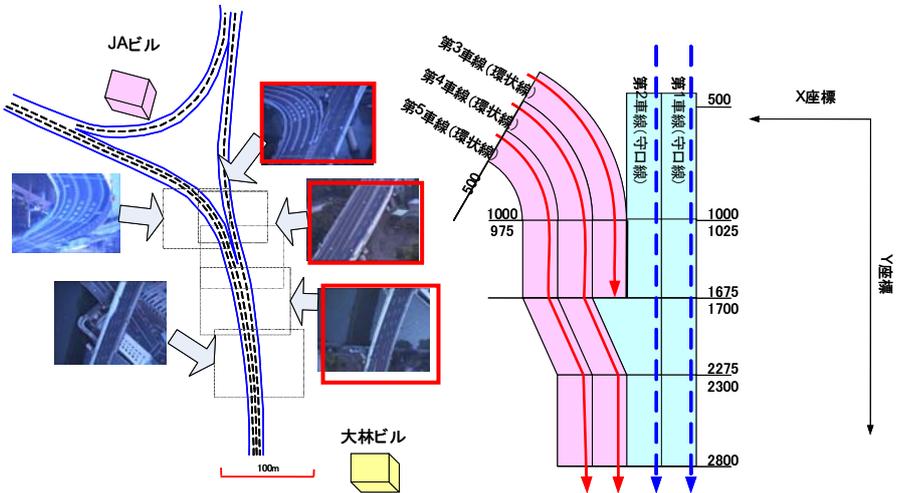


図1 調査地点の概要

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図1において赤枠で囲まれた3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) 車両軌跡プロット取得システム

先行研究¹⁾では画像処理技術による自動車両軌跡収集システムを活用しているが、自動車両軌跡プロットデータではマイクロな車両挙動解析に耐え切れないと判断したため、ここでは手動によって車両軌跡を取得したものを活用した。取得した車両軌跡プロットは3月29日17時36分~51分の15分間である。車両認識のインターバルは0.2秒とし、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)

(3) マクロ交通指標算出方法

マクロ交通指標の算定については、Edie²⁾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。

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

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

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

本研究のエリアの設定は単位時間が30秒、区間長は15mとしている。

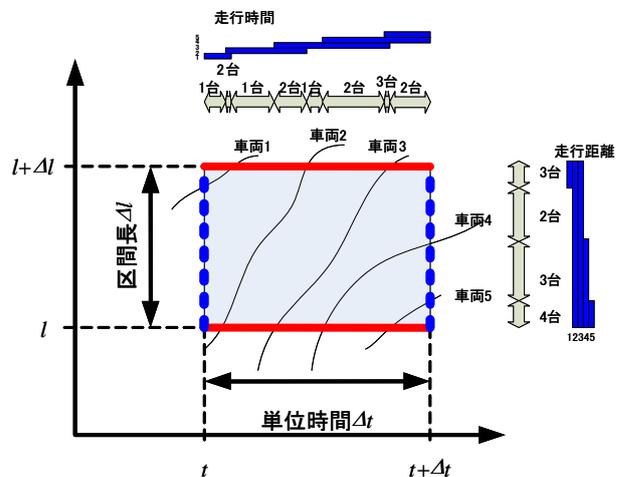


図2 マクロ交通指標の計算方法

* 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工学専攻(〒615-8530 京都市西京区京都大学桂, Tel 075-753-3235, Email:kurauchi@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)
[§] 正員, 博(工), 京都大学経営管理大学院

3. 車線毎の速度・車線変更位置に着目した検討

得られたデータを用いて車線毎の空間平均速度を算出した結果を図3に示す。図3では3回の速度低下が生じており、それぞれの速度低下時間帯を図中I、II、IIIで示す。全ての時間帯において第2、第3車線では合流部付近から上流にかけて速度の低下が見られる。加えて下流側及び他車線では速度低下は概して大きくない。そのことから第2車線、第3車線の速度低下は、混雑時における合流部での交通錯綜多発に起因するものと考えられる。時間帯IがII、IIIと異なる点として、第4、第5車線においても17:39:00直前において速度低下が見られることである。この速度低下は第5車線の速度コンター図から合流部からかなり下流から速度低下が起こっていると考えられ、合流部の交通錯綜が原因とは考えにくい。この理由としては先行研究²⁾において下流でのボトルネックの存在が指摘されており、その影響が大きいと考えられる。また、図3からも、第2車線の速度低下は他車線と比較して回復するのに時間を要していることが確認できる。さらに、第2、4車線の時空間平均速度コンター図においてy=2300付近の合流部下流において速度低下が発生している。先行研究¹⁾において第2車線から第4車線への車線変更車が多数存在することからこの地点で車線変更が多発しているのではないかと考えられる。

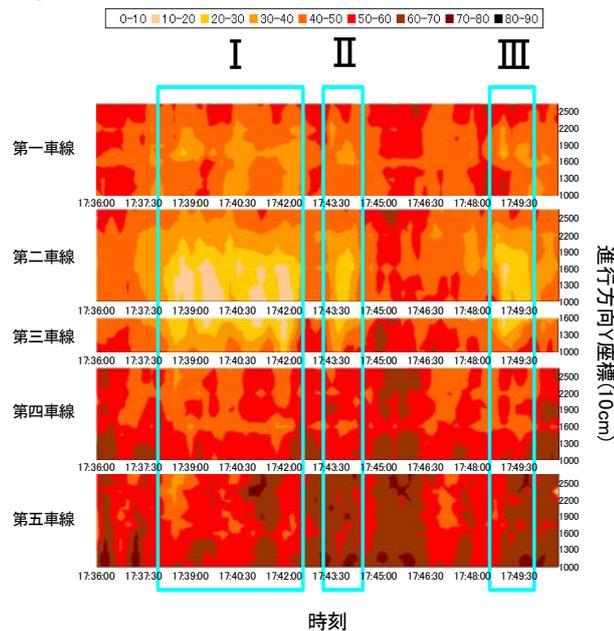


図3 車線ごとの空間平均速度コンター図

図4は手動で取得した車両軌跡(全2,034台)のうち、第2→4車線と第4→4車線の車両軌跡を示したものである。図4から第2→4車線への車線変更ポイントはy=2300付近であることがわかり、第4→4車線の車両はそれを避け車両軌跡が第5車線に膨らんでいる。つまり合流部での交通錯綜、第2→4車線への車線変更が守環合流部への渋滞延伸の要因であると推測できる。これらの知見を踏まえて、次章では車群に注目して守環合流部における速度低下発生メカニズムについて議論を進める。

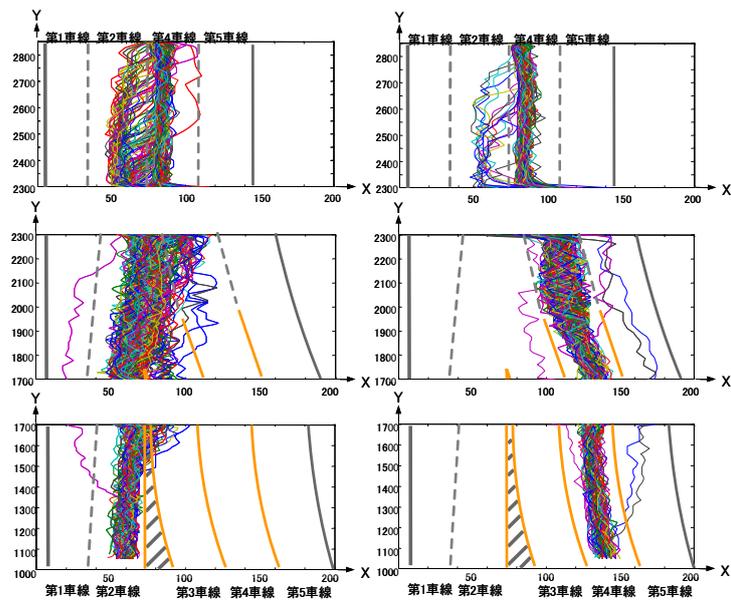


図4 第2、4車線における車線変更位置

4. 車群に着目した検討

大口・片倉らの先行研究³⁾を参考にここでは、車群を「同車線にあり、車尾時間間隔が3秒以内である連続車両」と定義し分析を進める。まずは車群内の空間平均速度と速度低下の関係をみてみる。

(1) 車群内速度から見た速度低下

図5に第2車線の車群内速度と車群の構成状況を示す。縦軸は進行方向y座標で、横軸は時刻である。色の濃淡は速度(km/h)を示しており、縦につながっていることはその瞬間に車群と判別されていることを示している。図3の速度コンター図と比較すると、ほぼ同じ交通状況を捉えているため、精度的に問題はないと考えられる。速度低下発生したと思われる時点で、要因を画像データと照らし合わせながらビデオで視認し確認したのが以下の3つである。図5の番号と対応している。

- ① 他の周辺車両と比較してy=2000~2300付近において低速走行、または減速している車両(大型車など)が存在する。
- ② y=1700付近(守環合流地点付近)で第2車線→第2車線と第3車線→第2車線の合流が連続して行われる。
- ③ 低速の大型車によって車群全体の速度が低下している。

①の原因による速度低下は、第2→4車線への車線変更がスムーズに行えないまたは合流スペースを探ることによる低速走行によって、合流部上流への速度に影響を及ぼしているためと考えられる。②の原因による速度低下は、守環線第2車線、環状線第3車線の双方の車線から連続して合流し合流摩擦が増加することによって発生する。つまり、守環線第2車線の交通量のみが多い、または環状線第3車線の交通量のみが多い状況においてはこの影響は少ない。③は普通車と比べて低速である大型車が車群の先頭に存在することにより低速車群となり、他の要因と複合的に合流部への速度低下を引き起こしている。

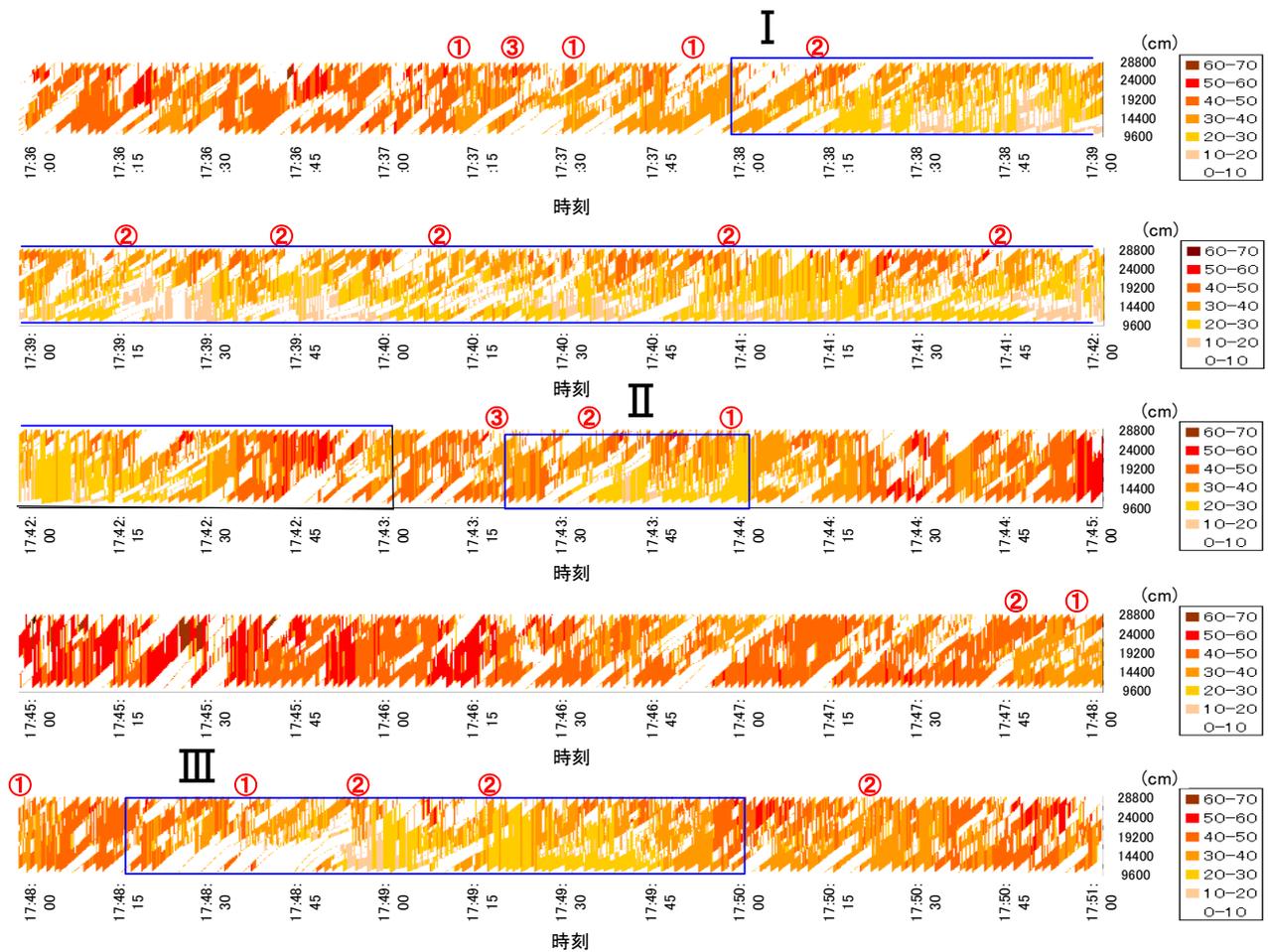


図5 第2車線における車群速度図

(2)合流部流入台数から見た検討

速度低下の継続時間の差異には、速度低下要因が発生した場合に、上流からその車線に車両が流入してくるかどうかの影響していると考えられる。そこで $y=1700$ 地点（合流部直上流）を通過した車両台数と車群構成台数を比較しつつ観察することで上記の事実を検証する。図6に $y=1700$ を通過した守口線第2車線と環状線第3車線の車両台数を15秒ごとに算定したものを示す。図6から第2車線は恒常的に第3車線と比べて流入台数が多いことが見て取れる。興味深い事実としては環状線第3車線の流入台数が大きくなった後に速度低下が起こっており、第3車線の流入台数が小さくなる時点の後には速度回復が起こっていることである。何らかの速度低下要因が発生した際に、第3車線からの流入が大きいと第2車線の流入台数は安定して多く、合流部で交通錯綜が発生し速度低下が発生するといえる。

以上を踏まえ、図3のエリアI、II、IIIを比較してみる。エリアIIの速度低下継続時間が少ない理由として、17:43:30~17:45:00の第3車線の流入台数が少ないため、速度低下が早期に回復できたと考えられる。さらに第2車線も第3車線から少し遅れて速度が回復している。エリアIIIにおいては17:47:30~17:49:00までの第3車線流入台数が多いが、17:48:30~17:49:00の第2車線流入台数も少なく、また

17:49:30付近の第3車線流入台数が2台と非常に少ないこともあり、17:50:00付近の第3車線流入台数が増加しても速度低下に耐えられたのではないかと考えられる。エリアIでは第3車線流入台数が多く、第2車線の流入台数も多いため速度低下が激しく、第2車線の速度低下の回復が長引いている。17:43:00で第3車線の流入台数が減少し、速度回復が多少は行われているが、十分に回復しきれずにエリアIIの速度低下に移行している。

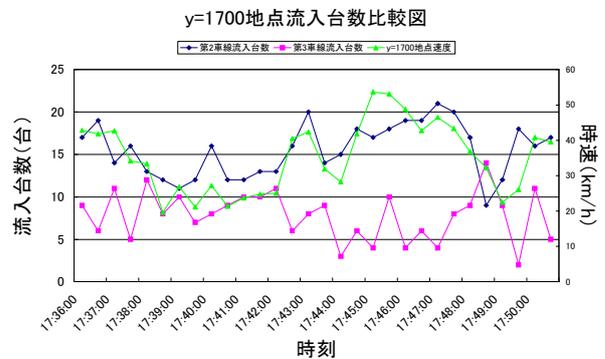


図6 第3車線からの合流部流入台数比較

(3)車群内速度分散から見た速度低下

図7に車群内速度分散と車群の構成状況を示す。

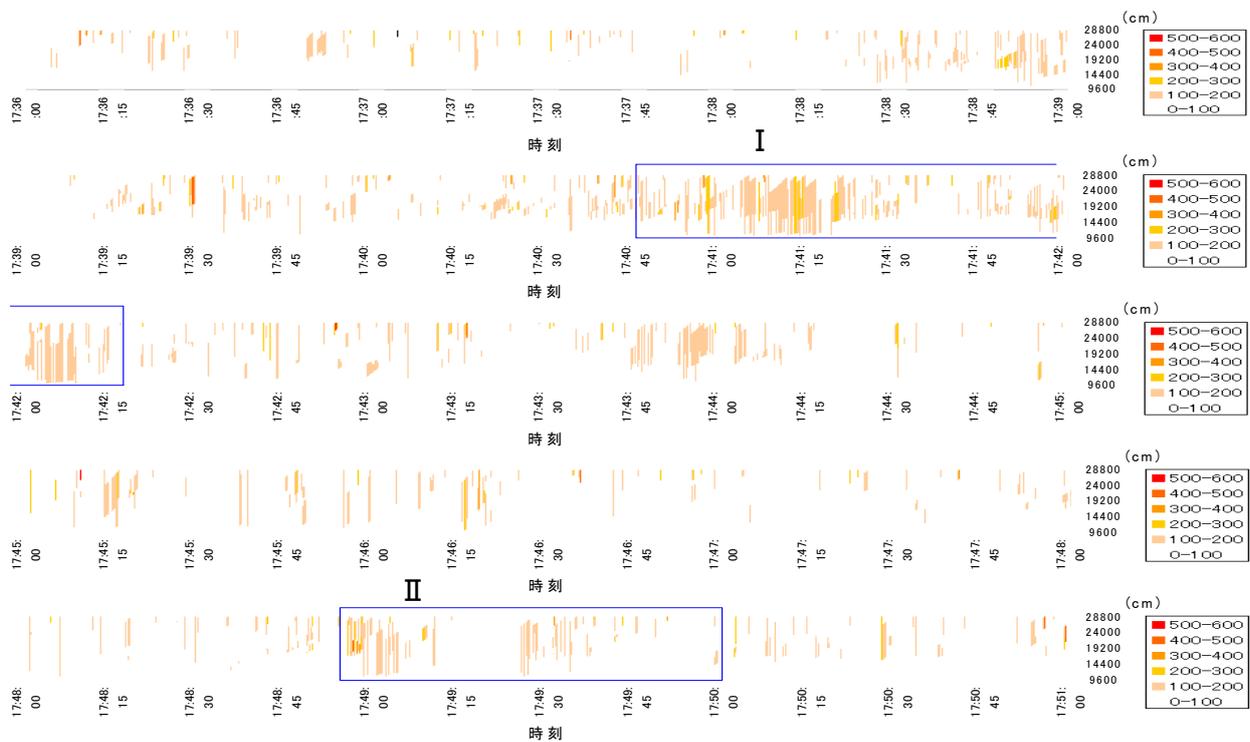


図7 第2車線における車群速度分散図

図5と同様に縦軸は進行方向 y 座標で、横軸は時刻で 0.1 秒ごとの速度分散の計算結果を上から順に示している。車群内分散($\text{km}^2/\text{h}^2 \cdot \text{台}$)は車群内の速度のばらつきを評価する指標であるので、車群内で速度低下・速度回復が起こった時に顕著に増加する。図5の車群内速度と比較しつつ図7を俯瞰してみると、その傾向は確かに反映されており、速度低下が顕著に起こった時点で大きい分散が検出されている。さらに、ここで注目してほしいのが、比較的大きい分散が長区間で時間的に連続して起こっている時間帯であり、図7中に青線で囲むエリア I, II が対応する。これらの大きな分散が検出される原因としては以下のことが推察される。

- ① 速度低下が著しくなり、合流部から守口線第2車線の上流側まで車両が詰まってしまい、第2車線の上流側にまで速度低下が伝播する。
- ② 車両が $y=1700 \sim 2000$ 付近で停滞しているために $y=2000$ より下流側に空間ができる。
- ③ これより $y=1700 \sim 2000$ 付近を抜け出した車両は速度を回復することが可能となり、車群下流側では速度が上昇する。そして、合流部他流側が速度回復し始めると、第2車線が回復し始めるために長区間の分散が上流側に発生する。

さらに、車群内速度分散図では確認できないが、他車線から比較的高い速度でその空間に車線変更を行うことが画像データでも確認された。速度低下によってできた空間に車線変更を行う車も長区間で比較的大きい分散ができる一因となっているのではないかと考えられる。

5. まとめ

本研究では先行研究で取得した都市高速道路合流部を対象に、交通効率性の検討を車群特性に着目し進めた。以下に成果をまとめる。

- ・ 速度低下発生要因として $y=2300$ 付近の車線変更ギャップ選択、合流摩擦が考えられ、特に連続して発生することが速度低下延伸につながる。
- ・ 速度低下延伸を防ぐためには合流摩擦回数を減少させる。つまり第3車線からの流入台数を調節することが有効である。
- ・ 速度低下時の解消策として、第2車線前方の空間は混雑していないと考えられるので第1車線への移行を促すことで速度低下延伸を食い止められるのではないかと。

【謝辞】

本研究は、土木学会・実践的 ITS 研究会 B-1u 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) 飛ヶ谷, 倉内, 宇野: “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”, 第3回土木計画学研究・講演集, 2006.
- 2) Edie: “Car-Following and Steady-State Theory for Non-congested Traffic” Opns. Res. 9, 1, 1961.
- 3) 大口, 片倉: “高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究”, 高速道路と自動車, pp1-8, 2002.