

首都高速道路箱崎ロータリー近傍における ビデオ画像データを用いた渋滞発生メカニズムの分析

船岡直樹^{*1} 佐藤 光^{*1} 岡村寛明^{*1} 割田 博^{*2} 赤羽弘和^{*3} 堀口良太^{*4}
パシフィックコンサルタンツ株式会社^{*1}
首都高速道路株式会社^{*2}
千葉工業大学^{*3}
株式会社アイ・トランスポート・ラボ^{*4}

本稿は、首都高速道路の主要なボトルネックのひとつである箱崎ロータリー合流部近傍における交通流の特性について、過去の研究成果や車両感知器データ分析等から整理し、ビデオ観測データを用いて作成したタイムスペース図と合わせて、渋滞発生メカニズムを分析した。その結果、当該ボトルネックでは、急カーブによる減速、下流 JCT での分流のための強引な車線変更、目標速度の低い車両など複数の要因により速度低下が発生していることが確認された。

Analysis of a Mechanism of Congestion Occurrence nearby Hakozaki Rotary of the MEX with Video Images

Naoki Funaoka^{*1} Kou Satou^{*1} Hiroaki Okamura^{*1} Hiroshi Warita^{*2} Hirokazu Akahane^{*3} Ryota Horiguchi^{*4}
PACIFIC CONSULTANTS CO., LTD.^{*1}
Metropolitan Expressway Company Limited^{*2}
Chiba Institute of Technology^{*3}
i-Transport Lab. Co., Ltd.^{*4}

This paper summed up the traffic characteristic in the vicinity of Hakozaki Rotary that was one of the primary bottlenecks in the Metropolitan Expressway by organizing past findings and result of aggregation of vehicle detector data, and analyzed a mechanism of congestion occurrence by making time-space diagrams conducting a video traffic survey and processing the image data. We can get some factors causing congestion such as speed reduction by the tight curve, high-handed lane changes for diverging at the downstream section and vehicles whose target speeds are low.

Keywords: image processing, congestion mechanism, traffic measurement

1.はじめに

現在、首都高速道路の供用延長は283.3km、利用台数は1日平均112万台に達しており、首都圏の基幹的な交通施設として重要な役割を担っている。しかしながら、都心環状線及び都心環状線に接続する放射線先頭とする渋滞が発生しており、多大な時間的損失を招いているのが現実である。平日1時間以上の交通集中渋滞が発生する箇所は54箇所存在し、そのうちの約6割が合流部である¹⁾。入口合流部の中で、6号向島線(下り)箱崎ロータリー(以後、箱崎R)合流部での渋滞発生回数が最も多く、122回/年を数えている²⁾。

これまで、箱崎R合流部近傍の渋滞メカニズムの分析³⁾が行われており、速度低下要因として、急カーブによる減速、下流JCTでの分流のための強引な車線変更、箱崎R合流部での合流摩擦など複数の要因によって渋滞発生していることが挙げられている。これらの要因は箱崎R合流部近傍のビデオ観測画像約800m区間の11断面における車両通過時刻から作成したタイムスペース図の分析結果である。しかし、渋滞メカニズムを詳細に分析するには、各車両の挙動を正確に把握するため、連続的な位置データおよび走行挙動データの取得が必要である。

そこで、本研究では、「複数のビデオカメラによる車両走行軌跡の連続観測システム」⁴⁾を用い、個々の車両の走行軌跡データを1/30秒単位で取得することにより、時空間で連続したタイムスペース図を作成した。これをもとに渋滞メカニズムのより詳細な分析を行った。

本稿では、これらの分析結果について報告する。

2.箱崎ロータリー合流部近傍の交通特性

本研究の分析対象である箱崎R合流部を含む区間において、車線変更や加減速等の車両挙動を詳細に把握するためビデオ調査を行った(図-1~図-3参照)。調査概要は以下の通りである。また、図-2に示す4断面の車両感知器から1分毎の交通量及び速度データを取得した。

- ・調査路線：6号向島線(下り)
- ・調査区間：箱崎JCT~両国JCT
- ・調査日時：2004年10月1日(金)6:00~11:00
- ・天候：晴れ(降水なし)

これまでの分析³⁾⁵⁾により、速度低下が起こり始めるのは箱崎R合流後であり、当該区間の自由流と渋滞流の臨界速度は50km/h程度であることがわかっている。調査日の箱崎R合流部後(VD3)の車両感



図-1 分析対象位置図(全体図)

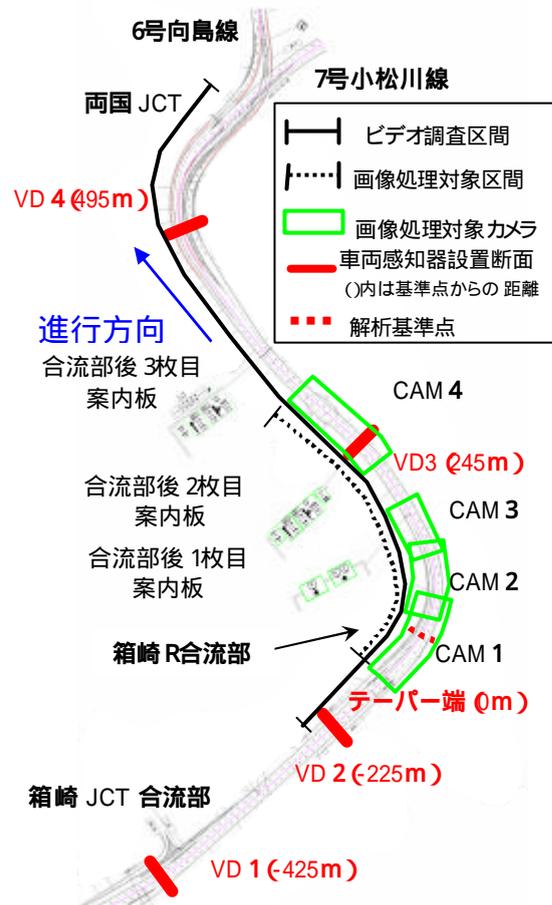


図-2 分析対象位置図(拡大図)

知器の1分間交通量と速度の推移を図-4に、地点車線1分データによる速度の空間・時間変化を図-5に示す。なお、図-5では、渋滞流(速度50km/h以下)を対象に速度帯別に着色している。これらによれば、5時台、6時台から、箱崎R合流部後(VD3)の速度が50km/h以下になっている時間が散見さ



矢印は分析対象の進行方向を示す

図 - 3 カメラ画像

れるが、交通容量を越える交通需要が継続せず、速度低下が上流側に延伸するには至らず、速度が自由流域に回復している。最初に箱崎JCT付近（VD1）まで延伸した速度低下要因は、6:57の箱崎R合流部前（VD2）であり、その後、ボトルネックが下流側（VD3）に遷移している。その後、7:09、7:14、7:17で一時的に速度が50km/h以上に回復するが、7:18以降はVD3の速度が継続的に50km/h以下となっており、更に速度低下が上流側に延伸し渋滞が発生している。なお、渋滞発生後、VD3の5分間フローレートは約4,000台/hで推移しており、交通容量は必ずしも低いとは言えない。

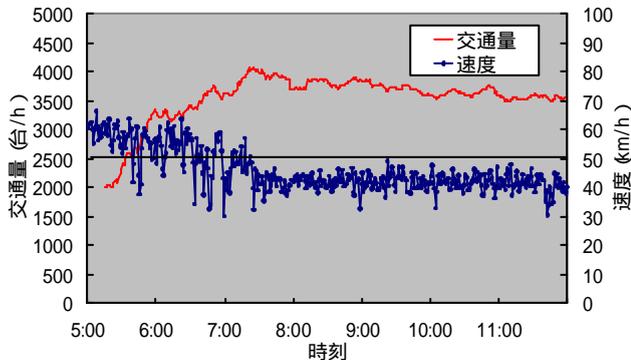


図 - 4 調査日の交通状況 (VD3)

施設	箱崎R				施設	箱崎R					
	断面	VD1	VD2	VD3		VD4	断面	VD1	VD2	VD3	VD4
6:53	VD1	64.8	63.4	57.9	72.7	7:02	VD1	55.8	25.9	47.9	63.2
	VD2	72.9	62.7	59.2	73.3	VD2	43.5	23.1	43.4	58.3	
6:54	VD1	67.2	69.5	54.0	72.4	7:03	VD1	57.7	36.7	42.4	64.4
	VD2	83.3	69.4	58.1	70.6	VD2	33.7	28.8	47.4	62.1	
6:55	VD1	67.1	68.2	58.0	77.4	7:04	VD1	72.7	62.0	44.7	59.6
	VD2	82.8	69.8	59.6	72.3	VD2	71.5	53.6	34.5	64.3	
6:56	VD1	65.9	60.6	56.3	81.0	7:05	VD1	70.3	67.1	52.2	69.0
	VD2	73.0	67.1	61.0	70.3	VD2	91.1	71.1	43.0	64.5	
6:57	VD1	63.5	47.0	56.1	74.2	7:06	VD1	72.7	54.1	56.1	78.1
	VD2	63.5	48.6	51.3	67.3	VD2	79.8	59.0	48.8	65.8	
6:58	VD1	70.0	46.9	45.7	59.5	7:07	VD1	67.1	49.5	49.1	69.4
	VD2	71.6	45.5	41.8	56.3	VD2	82.4	64.3	46.4	59.7	
6:59	VD1	64.3	57.1	38.7	55.4	7:08	VD1	70.0	59.0	50.0	60.0
	VD2	71.5	58.5	24.7	53.7	VD2	78.3	61.5	55.0	59.7	
7:00	VD1	65.9	39.6	45.0	67.5	7:09	VD1	67.1	57.6	52.3	64.0
	VD2	68.6	37.8	41.3	56.9	VD2	75.6	55.8	52.5	67.2	
7:01	VD1	44.3	37.3	40.0	63.2	7:10	VD1	73.2	63.8	52.0	69.6
	VD2	39.6	30.3	38.3	57.2	VD2	76.8	62.5	46.9	59.1	



上段：第1車線，下段：第2車線

図 - 5 地点別速度図

3. 画像処理技術を活用した分析

3-1タイムスペース図による分析方法

タイムスペース図は、各車両の時空間平面における走行軌跡を示しており、種々の情報を得ることができる。各車両の走行軌跡を表す曲線の傾きが走行

速度、また、隣接する曲線の間隔は車頭時間（横軸方向）や車頭距離（縦軸方向）を表している。車線別に描けば、車線変更の位置が分かり、それによるショックウェーブの伝播も確認できる。したがって、タイムスペース図を描くことができれば、個々の車両挙動が把握でき、渋滞メカニズムの分析が可能となる。

本研究では、まず、車両感知器データにより渋滞の発生時刻や発生場所を特定し、それらを含む時間帯及び区間に対してタイムスペース図を用いて詳細分析を行う。



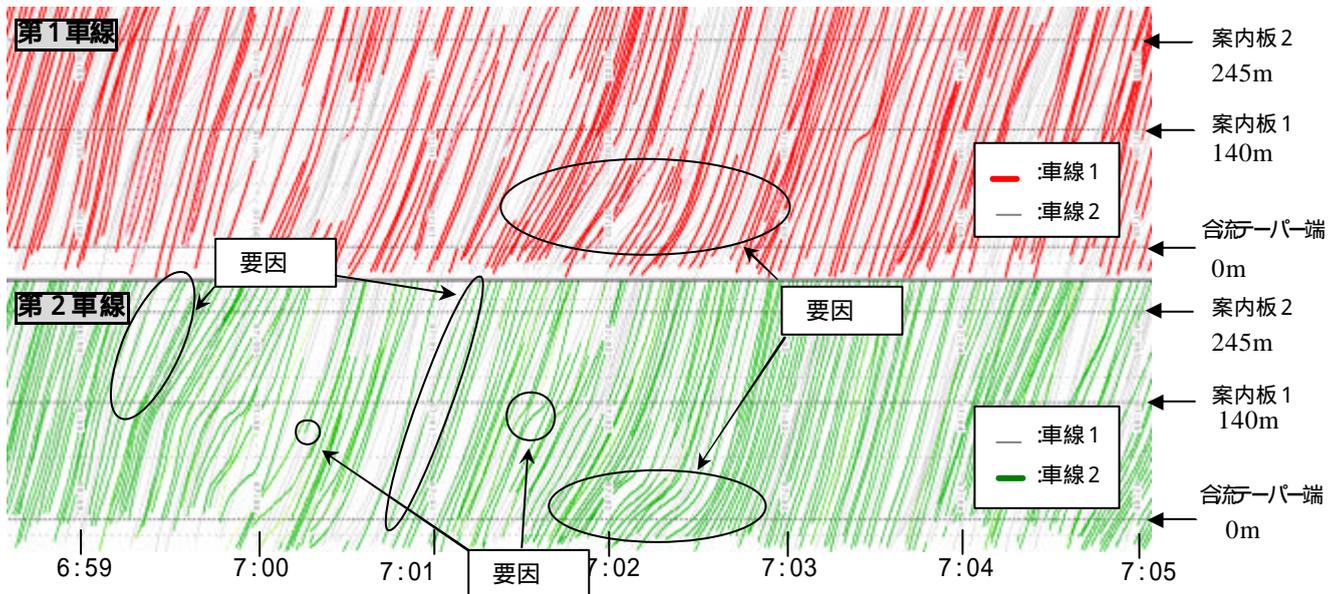
図 - 6 走行軌跡のトラッキングイメージ

3-2 ビデオ調査の画像処理結果

本稿では「複数のビデオカメラによる車両走行軌跡の連続観測システム」⁴⁾を用いて、半自動的に画像処理を行うことにより、1/30秒単位で各車両の位置データを連続的に推定した。走行軌跡のトラッキングイメージを図 - 6 に示す。

車両軌跡データは GIS アプリケーションの MapInfo 形式に出力しており、本ソフトウェアでビジュアルに表現することができる。車両感知器によるプレ分析により速度低下が見られる 6:55 ~ 7:10 の 15 分間を対象に、図 - 2、図 - 3 に示す画像処理対象区間のビデオ画像を画像処理し、タイムスペース図を作成した。図 - 7 に車線別タイムスペース図の一部を示す。

これらのタイムスペース図においては、合流後 1 枚目案内板と合流後 2 枚目案内板の間で速度が不安定になっている車両が存在している。これは、首都高速道路に隣接するビルの屋上等からビデオ観測を行った撮影アングルの関係から CAM3 と CAM4 の間に観測できない区間が約 100m 存在し、この区間の走行軌跡を前後区間のビデオ画像をもとに補完推定を行ったため、十分な精度で走行軌跡を推定できない車両があったためである。また、前後車両（特に大型車）に隠れてトラッキングできない車両も存在しており、一部の車両の走行軌跡が抜けている点にも留意する必要がある。



- 1 濃い太線は自転車線を行き、薄い細線は他車線を行きしている車両を示す。
- 2 途中で線が現れる、または、消えるものは車線変更を意味する。
- 3 要因番号は本文中に示す要因番号を示す。

図 - 7 タイムスペース図

3-3 渋滞発生メカニズムの分析

箱崎R合流部近傍の道路構造について整理する。箱崎R合流部は直後にR=120mの左カーブがあり、その後、3箇所の分岐案内標識を経て、両国JCTで6号向島線と7号小松川線へ分岐する(図-2参照)。6号向島線へはどちらの車線からも分岐可能であるが、7号小松川線へは第2車線のみから分岐可能な運用となっている。したがって箱崎R合流車内の、7号小松川線へ分岐する車両は短い区間(約600m)で第2車線へ車線変更する必要がある。

これらの道路構造を踏まえ、図-7に示すタイムスペース図をもとに分析した結果、速度低下が発生する要因として、以下の項目が考えられる。

- 要因 目標速度が低い車両があり、これらの後続車両の車間が詰まって、ショックウェーブが上流側に伝播する。
- 要因 案内板2を過ぎると、7号小松川線に分岐するために第1車線から第2車線へ強引に車線変更する車両があり、ショックウェーブが上流側に伝播する。
- 要因 箱崎R合流部後の左カーブで減速し、カーブ終端で加速するため、ショックウェーブがカーブ入口付近から上流側に伝播する。

なお、上記に示した時間帯では箱崎R合流車両が比較的少ない時間であったが、合流車両が増加する9時以降は合流部における合流摩擦も速度低下の要因となる³⁾。

4. おわりに

本研究では、ビデオ観測調査結果に画像処理を用いて作成したタイムスペース図をもとに、箱崎R合流部近傍の渋滞発生メカニズムの分析を行った。これまでマニュアルでしかできなかった作業が、画像処理技術を活用することで半自動的に各車両の走行軌跡が推定できたことの意義は大きい。

この分析の結果、急カーブによる減速、下流JCTでの分流のための強引な車線変更、目標速度の低い車両など複数の要因により速度低下が発生していることが確認された。つまり、車両感知器データとビデオ観測調査結果の融合により、より詳細な渋滞発生メカニズムの解析を行うことができたといえる。

しかしながら、撮影アングルの関係から観測できない区間が約100m存在し、この区間の走行軌跡を前後区間の画像データより補完推定を行ったが、十分

な精度で軌跡を推定できない車両があった。したがって、この補完区間を短くする、或いは、無くすことができれば、車両軌跡推定精度が更に向上していたものと考えられる。

また、画像解析による分析では、すべての時空間において、各車両について1/30秒単位で以下のデータを取得していることから、相対速度や車頭距離の時間変化を図化すれば、追従挙動のスパイラル曲線を描くことができる。これは、交通シミュレーションの追従式のモデル化やパラメータ推定への応用が考えられる。

- ・ 速度
- ・ 加速度(減速度)
- ・ 前方車両との車頭距離、車頭時間 など

一方、ビデオカメラの設置方法を工夫し、車両を長さのある物体として扱うことができれば、ギャップと車線変更の関係を分析することが可能になるなど、その発展性と有益性は高いといえる。

さらには、タイムスペース図からすべての断面において車頭時間分布や通過台数の計測が可能であり、車両感知器の替わりとして利用できる可能性を秘めている。

このように要素技術の向上は、詳細な渋滞発生メカニズムの解析に寄与するものであり、今後の更なる技術向上に期待したい。

【参考文献】

- 1) 割田博, 植田和彦, 森田綽之, 野間哲也:「首都高速道路の合流部における交通容量の分析」土木計画学研究・講演集, Vol.25, 2002
- 2) 割田博, 植田和彦, 森田綽之, 野間哲也:「首都高速道路の合流部における交通容量分析」土木計画学研究・講演集, Vol.27, 2003
- 3) 岡村寛明, 割田博, 下川澄雄, 佐藤光, 森田綽之:「首都高速道路箱崎ロータリー合流部における渋滞メカニズムの分析」土木計画学研究・講演集, Vol.29, 2004
- 4) H. Akahane, S. Hatakenaka: Successive Observations of Trajectories of Vehicles with Plural Video Cameras, International Journal of ITS Research, Vol.2, No.1, pp.47-53. 2004.
- 5) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田綽之:「首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析」土木計画学研究・講演集, Vol.29, 2004