

都市高速道路における画像解析手法を用いた 渋滞発生メカニズムの詳細分析

割 田 博 *

赤 羽 弘 和**

船 岡 直 樹***

堀 口 良 太****

1. はじめに

現在、首都高速道路の供用延長は286.8 km、利用台数は1日平均115万台に達しており、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を先頭とする交通集中渋滞が発生しており、多大な時間的損失を招いている。この様な状況下、投資効果に優れた対策を迅速に行うために、交通集中渋滞の発生メカニズム解明が求められている。

首都高速道路には、車両感知器が300m間隔に設置されていることから、これらの速度と交通量のデータを線形条件等と併せて分析することにより、渋滞発生の概ねの地点と要因は推定可能である。しかし、車両感知器のような地点データでは、車線変更位置や加減速等の詳細な車両挙動の把握は不可能であり、渋滞発生メカニズムの解明は困難である。

一方、昨今の飛躍的な技術進歩により、これまで多くの労力により行っていた個々の車両の走行軌跡を追った詳細な調査（データ取得）が、迅速・正確・広範に実施可能となっている。

そこで本研究では、個々の車両の詳細な挙動を把握すべく、ビデオ観測データを画像処理することにより、詳細な車両挙動を時間的・空間的に明示するタイムスペース図を作成し、渋滞発生メカニズムの解明を試みた。

2. 調査対象箇所・日時の概要とビデオ観測位置

首都高速道路において渋滞が頻発する箇所の1つである、6号向島線(下り)箱崎ロータリー(以下、箱崎R)合流部近傍を対象として、渋滞発生前後を含む時間帯について、車線変更や加減速等の車両挙動を詳細に把握するために、図-1~図-3に示すようなビデオ観測・調査を行った。

- ・調査路線：6号向島線（下り）※2車線
- ・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）



図一1 分析対象位置図（全体図）

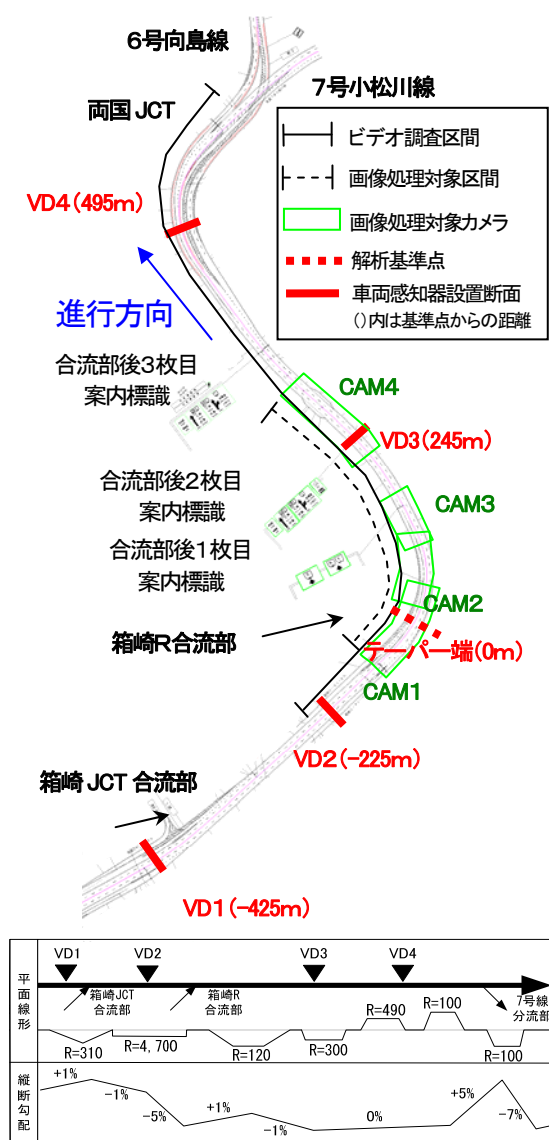
* 東京大学 (TEL:03-5452-6419, e-mail: warita@iis.u-tokyo.ac.jp)

* 千葉工業大学 (TEL:047-478-0444, e-mail: akahane@ce.it-chiba.ac.jp)

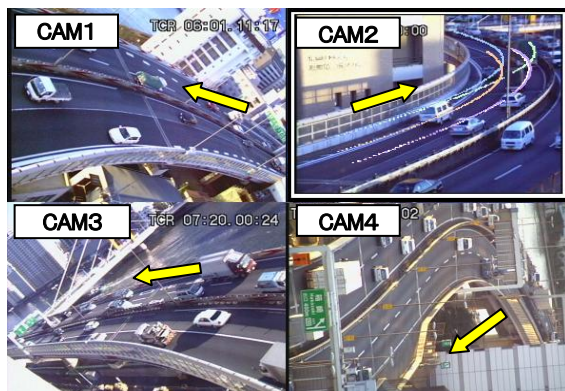
*** パシフィックコンサルタンツ(株) (TEL:03-3344-1219, e-mail:naoki.funaoka@ss.pacific.co.jp)

*** (株)アイ・トランスポート・ラボ (TEL:03-5283-8527, e-mail: horiguchi@i-transportlab.jp)

図－2に示すように、箱崎R合流部近傍の道路条件は、直近下流に $R=120\text{m}$ の左カーブがあり、更に下流の3箇所の分岐案内標識を経て、両国JCTで6号向島線と7号小松川線に分岐する。7号小松川線へは第2車線からのみ分岐可能な車線運用のため、箱崎Rから流入して7号小松川線へ分岐する車両は、約600mの区間で第2車線へ移行する必要がある。



図－2 分析対象位置図（拡大図）



※矢印は分析対象の進行方向を表示
※CAM2画像上にはトラッキング結果例も表示
図－3 カメラ画像

3. 調査対象箇所の渋滞発生状況

既往の車両感知器による分析^{1) 2) 3)}により、速度低下が発生するのは箱崎R合流後であること、及び当該区間の臨界速度は 50 km/h 程度であることが確認されている。また、当該箇所の一般的な交通状況は、6～7：00と9：00以降の2回に分かれて渋滞が発生しており、合流台数から判断して、1回目は単路部が要因、2回目は合流部における合流摩擦が要因と推測される。

調査日の箱崎R合流部下流（VD3）の車両感知器の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。これらによれば、5時台、6時台から、箱崎R合流部下流（VD3）の速度が臨界速度の 50 km/h に低下（臨界状態が出現）する時間が散見される。しかし、需要が少ないため速度低下が上流側に延伸するには至らず、自由流に回復している。その後、合流部下流（VD3）において臨界状態が出現し、6：57に箱崎R合流部上流（VD2）で渋滞流が観測され、箱崎JCT付近（VD1）にまで延伸している。この状況から一時的に速度が 50 km/h 以上に回復している。7：18以降はVD3における速度が継続的に 50 km/h 以下となっており、速度低下が上流側に延伸して安定している。なお、渋滞発生後、VD3の15分間フローレートは約4,0

00台/hで推移しており、交通量は必ずしも低いとは言えない。

調査当日は2回の渋滞が統合（時間的に連続）しているが、1回目の渋滞に相当する7:00頃の渋滞発生メカニズムに関して、本稿では詳細に分析した。

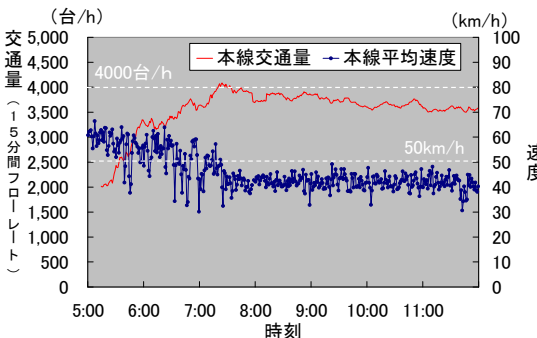


図-4 調査日の交通状況 (VD3)
2004年10月1日(金) 5:00~12:00

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

凡例

0-20

20-30

30-40

40-50

50-

単位: km/h

凡例				
0-20	20-30	30-40	40-50	50-

※上段：第1車線 下段：第2車線

図-5 調査日の地点車線別速度図
2004年10月1日(金) 5:00~12:00

4. 走行軌跡の推定方法と推定精度

渋滞発生要因を分析するため、「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い、1/30

秒単位で各車両の位置データを連続的に推定した。図-3に、走行軌跡のトラッキング結果の例を示す。

また、推定精度の検証として、走行計測車両に搭載されたRTK-GPS受信装置、加速度計、角加速度計等の計測データを統合処理⁵⁾した結果と、走行計測車両の撮影画像により推定した走行軌跡とを比較検証した。図-6と図-7には、両者の1/30秒毎の水平位置と走行速度の較差を示す。水平位置のユークリッド距離が最大約±8m、走行速度較差が最大約±8km/h程度の精度となった⁶⁾。

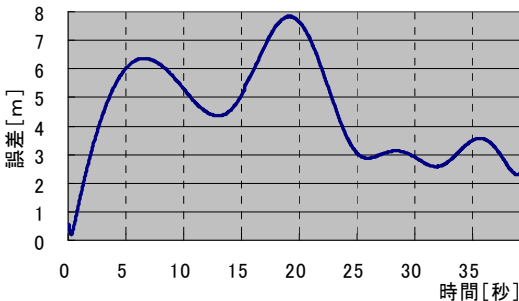


図-6 1/30秒毎の水平位置の推定較差

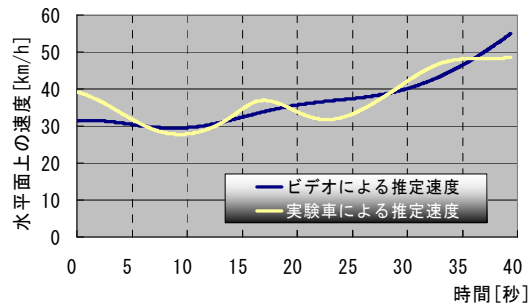


図-7 1/30秒毎の走行速度の推定較差

5. 速度低下による衝撃波の発生要因

タイムスペース図は各車両の時系列の走行位置をプロットするものであり、時空間平面における走行軌跡を描くことにより、種々の状況が把握できる。各車両の走行軌跡を表す曲線の傾きが走行速度、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）を表しており、衝撃波の

伝播や発進遅れだけでなく、車線別に描けば車線変更位置も把握可能である。従って、タイムスペース図が描ければ、個々の車両挙動が把握でき、渋滞発生メカニズムの詳細な分析が可能となる。

そこで、車両感知器による事前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、約900台のタイムスペース図を作成した。図-8にその車線別タイムスペース図の一部を示す。同図において、合流部下流の1枚目と2枚目の案内標識の間で速度変動が大きい車両が存在している。これは、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間したための推定精度低下によるもので、実現象を示すものではない。また、前後車両（特に大型車）に画面上で隠蔽され、トラッキングできない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。

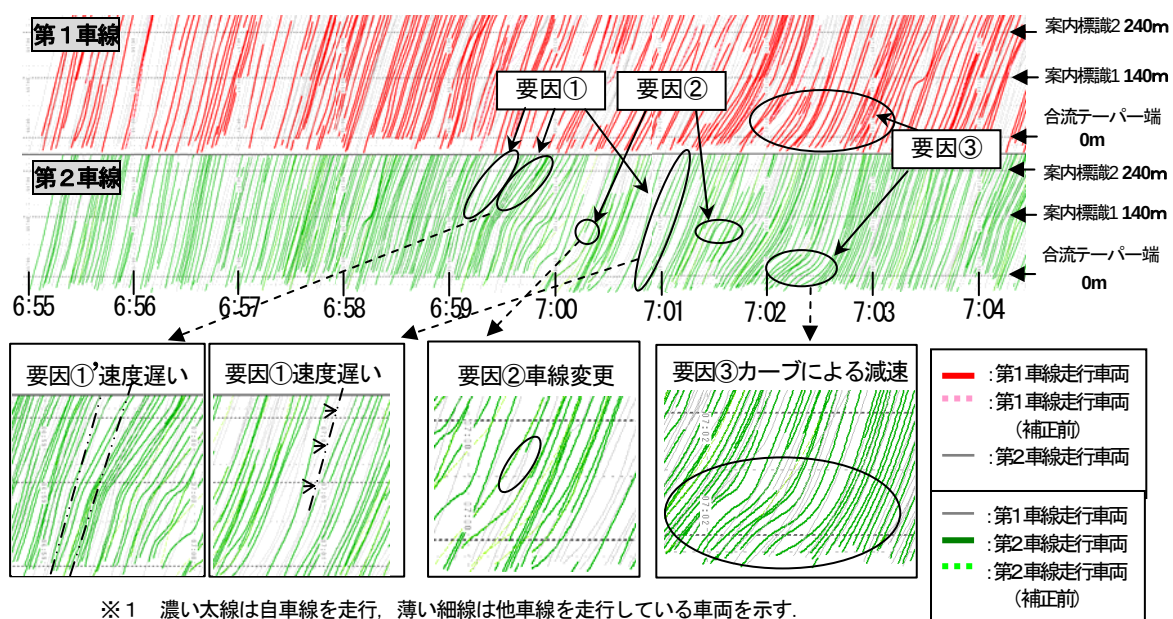
図-2に示した道路線形を踏まえ、図-8に示すタイムスペース図をもとに分析した結果、速度低下が発生する要因として、以下が考えられる。

目標速度が相対的に低い車両とその後続車両との車頭距離が減少することにより、衝撃波が発生し上流に伝播する。要因①'は、案内標識の影響により速度が低下している点に要因①との相違点がある。

案内標識の通過後に7号小松川線に分岐するため第1車線から第2車線へ強引に車線変更する車両があり、それに起因して衝撃波が発生し、上流に伝播する。

箱崎R合流部下流の左カーブで減速し、カーブ終端で加速するため、衝撃波がカーブ入口付近から上流に伝播する。

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9:00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。



- ※1 濃い太線は自車線を走行，薄い細線は他車線を走行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。
- ※4 軌跡が正確に推定されていない車両については，ビデオと照合してマニュアルにより軌跡の補正を行った。

図-8 タイムスペース図

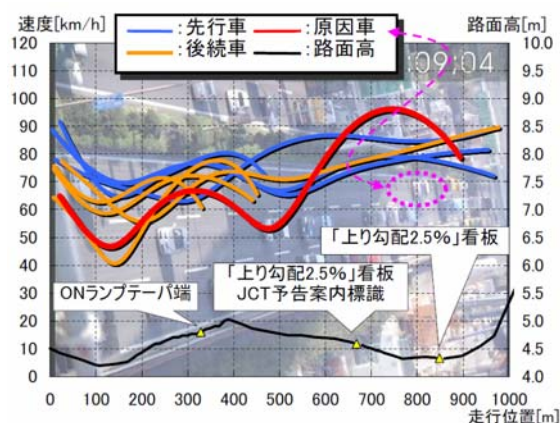
6. 最近の調査事例

首都高速道路において渋滞が頻発する箇所の1つである、湾岸線（東行き）有明JCT及び有明入口合流部近傍を対象として、渋滞発生前後を含む時間帯について、車線変更や加減速等の車両挙動を詳細に把握するために、箱崎Rと同様なビデオ観測・調査を行った。

- ・調査路線：湾岸線（東行き）※3車線
- ・調査区間：有明JCT～辰巳JCT
- ・調査日時：2006年11月8、9日（水、木）
7：00～11：00
- ・天候：晴れ（降水なし）

既往の車両感知器による分析^{8) 9)}により、速度低下が発生するのは有明JCT合流後であること、及び当該区間の臨界速度は60km/h程度であることが確認されている。また、当該箇所の一般的な交通状況は、8：00前後に渋滞が発生しており、一般に考えられているような合流部における合流摩擦が主たる要因ではなく、当該区間の幾何構造（縦断線形上のサグ）が原因と推測されており、サグ部を明示する上り勾配の看板が設置されている。

本調査は、現在解析中であるため、詳細な報告は次の機会に譲るものとするが、図－9に示すように、上り勾配を明示する看板付近で速度上昇が、その手前に存在するクレスト部やJCT予告案内標識付近での速度低下が確認出来る。



図－9 速度低下原因車の交通挙動

7. おわりに

本研究では、ビデオ観測調査結果に画像処理を行い、1／30秒単位の位置データより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、都市高速道路の渋滞発生時という重交通を対象として、半自動的に各車両の走行軌跡を推定できたことの意義は大きいと思われる。これにより、車両感知器による分析で指摘されていた速度低下要因である合流摩擦以外の速度低下要因が、画像処理技術を用い作成したタイムスペース図により確認できた。

具体的には、目標速度が相対的に低い車両、下流JCTでの分流のための強引な車線変更、急カーブによる減速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、詳細な渋滞発生メカニズムの解析を効率的に行うことが可能であるといえる。今後は、今回の分析結果を踏まえ、投資効果に優れた施策の検討・実施が望まれる。

また、箱崎Rでは合流部前後での車線変更などの車両挙動が渋滞の一因となっていることを確認したが、有明付近の最近の調査事例では、道路幾何構造や標識が速度低下の一因となっていることが確認されており、この技術の利用価値は非常に大きいと思われる。

一方、更なる精緻な分析のために画像解析技術の課題として以下が挙げられる。

- ・画像処理技術の推定精度の向上
トラッキングの自動化率の向上による解析作業量の削減
- ・車両を点ではなく、長さ・幅のある物体として表現し、ギャップと車線変更の関係、交通安全に寄与する車両挙動を分析すること

本研究において活用した画像処理技術のような要素技術の向上は、詳細な渋滞発生メカニズムの解析に大きく寄与するものである。今後の更なる技術向上と的確な分析の蓄積、及びこの様に有益な技術の活用により、渋滞発生メカニズムに応じ

た効果的な対策の立案・実施に大きな期待を寄せるものである。

参考文献

- 1) 岡村寛明, 割田博, 下川澄雄, 佐藤光, 森田緯之: 「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, CD-ROM, 2004.
- 2) 船岡直樹, 佐藤光, 岡村寛明, 割田博, 赤羽弘和, 堀口良太: 「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」, 第4回ITSシンポジウム2005論文集, pp. 161-165, 2005.
- 3) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田緯之: 「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」, 第29回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 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) 小宮稔史, 大口敬, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 「GPS測位に基づく自車および周辺車両走行挙動観測システムの開発」, 第24回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 21-24, 2004.
- 6) 船岡直樹: 首都高速道路の臨界区間における微視的車両挙動の時空間連続分析, 千葉工業大学修士学位論文, 2005
- 7) 割田博, 赤羽弘和, 堀口良太, 岡村寛明, 船岡直樹: 「首都高速道路箱崎ロータリー近傍における画像解析手法を用いた交通現象の分析」, 第33回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2006.
- 8) 割田博, 石橋学, 赤羽弘和, 松本章宏: 「連続する合流部近傍における交通容量低下対策」, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp21-24, 2005.
- 9) 割田博, 岡村寛明, 森田緯之, 桑原雅夫: 「速度分析を通じた運転支援, シミュレータのパラメータ, 道路設計への提言」, 第4回ITSシンポジウム2005論文集, pp271-276, 2005.