

都市高速道路合流部の安全性解析への画像データの適用*

Application of Video Image Data to Analysis of Safety in Merging Section of Urban Expressway*

宇野伸宏**・服部政洋***・倉内文孝****

By Nobuhiro UNO**・Masahiro HATTORI***・Fumitaka KURAUCHI***

1. はじめに

今日、道路交通システムは社会経済活動の維持・増進には欠かせない存在である。その一方で交通事故による人命や財産の損失も少なくなく、大きな問題となっている。わが国における平成16年度の交通事故(人身事故のみ)発生件数は952,191件で、これによる死者は7,358人であった。前年と比べると、死者数は344人減少したが、発生件数は4,198件増加した。車両自体の安全性は向上しているが、事故件数の増加が示すように事故自体の抑制という点から見れば、対策が十分に施されたとは言いがたい。交通事故原因の約8割が運転者の不注意や操作によるものであるという事実からも、道路線形の改良やITS技術の有効活用による人的ミスそのものの予防の可能性を検討することが望まれており、そのため潜在的な危険要因の詳しい分析が必要である。

本研究では事故が多発している都市高速道路合流部に着目し、画像データを活用して交通流の安全性の分析評価を試みた。ビデオ画像より自動抽出された車両軌跡データを用いて、各種コンフリクト指標を算出し、この結果を踏まえて対象区間における潜在的事故危険性の空間変化について考察を加えた。加えて車両間の相互作用を明示的に考慮にいった安全性解析を行うため、PC上に構築した目視観測システムによりより精度の高い車両軌跡データを抽出し、車線変更と車両間コンフリクトの発生状況に関する分析を行った。これらの分析・考察結果を踏まえて、本研究では画像データの交通流安全性解析への適用可能性について議論を行う。

2. 分析対象区間の概要

(1) 分析対象区間及び対象期間

阪神高速道路1号環状線は1965年に全線が開通して以来、大阪市中心部を環状に繋ぐ都市高速道路の要衝として
*キーワード: 画像データ・交通安全性・車両軌跡・交通コンフリクト

**正員, 博(工), 京都大学大学院経営管理研究部

(京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5125, e-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

***学生員, 京都大学大学院工学研究科修士課程

****正員, 博(工), 京都大学大学院工学研究科

で非常に利用交通の多い路線である。本研究の分析対象区間は、その1号環状線と、大阪府北東部と大阪市中心部を結ぶ12号守口線が合流する区間(以下、守環合流部と略記する)である。守環合流部では守口線の2車線と環状線の3車線が、守口線の右側車線と環状線の最左車線が一つの車線にまとめられ合流後4車線となる箇所であり、交通量が非常に多いうえに、その合流形態から非常に短い区間で車線変更が強いられることもあり、非常に多くの交通事故の発生が記録されている。

本研究では、1号環状線のうち北浜出口付近から本町出口付近までの約600m(3.6kp~4.2kp)の区間を対象として、JAビルならびに大林ビルに設置した計10台のビデオカメラにより交通流動を記録した。カメラの設置状況を図-1に示す。なお本研究では守環合流部の安全性を分析することが主たる目的であるため、合流部直近のB2, B3, B4カメラで得た画像データを用いる。



図1-カメラ設置状況

本研究の分析対象日時は、午前中に当該区間での渋滞が常に発生する点を考慮し、以下のように設定した。

平成17年3月29日(平日) 6時~11時 (5時間)

本研究ではPC上に構築した「目視観測システム」を用いて、観測者が車尾位置をマウス操作で記録することで、車間距離が小さい場合も含めてより正確な車両軌跡の抽出を試みた。人的リソースの制約等もあり、目視システ

ムによる車両軌跡の抽出は、次の日時を対象とした。

平成17年3月29日(平日) 17時36分~17時51分 (15分)
自動、目視の各方法で観測した車両軌跡データは、撮影カメラ番号、車両ID、日付、時刻、X座標、Y座標から構成されている。ここで、X座標・Y座標は、X軸を道路の進行方向と垂直な方向に、Y軸を進行方向に沿って設定したときの現地座標である。これらの車両軌跡データを用いて次章で述べるコンフリクト指標を算出している。

(2) 事故発生状況

阪神高速道路における平成15年度の事故件数トップ10を示したのが表-1である。この表より第3位に守環合流部(3.9~4.1kp)が含まれていることが分かる。また、平成16年度においては守環合流部が事故件数125件でトップとなっており、分析対象区間の事故の多さが、これらの統計データより確認される。

表-1 阪神高速道路 平成15年度事故件数トップ10

順位	事故件数	路線号	路線名称	kp	カーブまたは分合流など
1	115	3号	神戸線	38.2-38.5	若宮カーブ(R=120.6)
2	96	3号	神戸線	33.1-33.6	西出第2カーブ(R=210)
3	95	1号	環状線	3.9-4.1	守口線合流(守環合流)
4	90	3号	神戸線	38.2-38.5	若宮カーブ(R=120.6)
5	88	11号	池田線	0.4-0.6	堂島付近カーブ(R=87)
6	81	13号	東大阪線	7.1-7.3	長田集約
7	78	7号	丹池西線	0.2-0.4	船場第三工区D連絡路合流
8	71	15号	堺線	1.1-1.4	汐見カーブ(R=86)
9	69	1号	環状線	1.8-2.1	環状線直線部(1.8kp~2.1kp)
10	62	3号	神戸線	33.1-33.6	西出カーブ(R=210)
...					
42	24	1号	環状線	4.2-4.4	環状線直線部(4.2kp~4.4kp)
64	17	1号	環状線	3.8-3.9	北浜カーブ(R=106)
合計	4743		阪神高速道路(530地点)		

次に平成15年4月から平成16年3月までに発生した事故の事故形態別の内訳を図-2に示す。これらは守環合流部を含む3.6~4.4kpの事故データであり、上流から3.6-3.7kpが守口線分流通地点、3.8-3.9kpが北浜カーブ地点、3.9-4.1kpが守環合流部、そして4.2-4.4kpが合流後の環状線直線部に対応している。

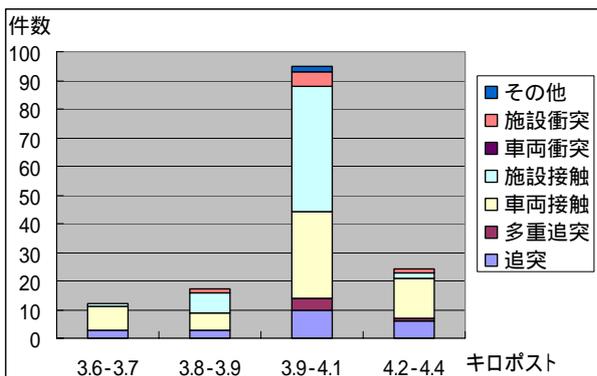


図-2 平成15年度 守環合流部 事故形態別内訳

守環合流部(3.9-4.1kp)はその直前のカーブ区間や直後の直線部と比べて、記録されている事故件数が圧倒的に多く、事故形態としては施設や車両への接触事故が多くなっている。合流や車線変更で各車両の走行経路が

交錯することが、当該地点の事故特性に影響を及ぼしている可能性が考えられる。雨天時に事故が多くなる傾向にあるが、これはもともとの複雑な交通状況のうえに視界の悪さや路面の滑りやすさによって適切な危険回避行動が困難であるためと考えられる。本研究では、上記の事故データに対する分析を踏まえつつ、次章で説明するコンフリクト指標を利用して、交通流の錯綜と車両相互事故の発生の危険性について分析を行うこととする。

3. コンフリクト評価指標

コンフリクト(交通錯綜)は、事故そのものより観測される頻度が高く、(潜在的な)危険事象の発生要因・メカニズムを解明する上で利用価値が高い。近年では、デジタルビデオによる画像観測技術や画像解析技術が飛躍的に向上しており、客観的かつ定量的なコンフリクト分析を比較的容易に行えるようになってきた。本研究では、ビデオ画像により得られた車両軌跡データに基づき、潜在的な事故危険性を示す指標として、平均速度、乖離度変化率、負値PICUD検出率、急減速検出率を用いる。以下では、平均速度を除く3指標について説明する。

(1) 乖離度変化率

車線中央からの乖離度(以下乖離度と略す)は車線中心線からどの程度離れた位置を車両が走行しているかを表す指標である。車線中心線のX座標と車両のX座標の差を乖離度と定義する。乖離度は各車線において定義する。そして、その乖離度の単位時間あたりの変化量が乖離度変化率となる。乖離度変化率は事実上の車線横断方向の速度であるので、その時空間的な平均値を求めれば、大局的な交通の流れならびに車線変更発生相対的頻度の検出に利用できる。

(2) 急減速時追突危険性指標(PICUD)

車両相互事故(追突事故)の危険性の評価を行うため、本研究では急減速時追突危険性指標(PICUD, Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration)を用いた。PICUDは、走行車両間の相対速度に加えて車間距離を考慮した指標で、前方走行車が何からの理由により仮に急減速を行うとした時に、後続車が反応遅れを伴い急減速する場合に、両車が停車したときの相対的な位置を表す指標である。すなわち、PICUDが負値を示すということは、前方走行車が急減速した場合に、後続車が安全に停止できず、追突する危険性があるということを示す。本研究では、先行研究と同様に反応遅れ時間を1.5(s)、先行車・後続車の減速時の加速度を-3.0(m/s²)としてPICUD値を算出している。PICUDの算出方法の詳細については、参考文献1)を参照して頂きたい。本研究では、PICUDが負値をとる車両、つまり適切な車間距離が確保できておらず潜在的な追突危険性がある

車両が、PICUD の算出された車両に対しどの程度の割合を示すかを、負値PICUD 検出率として算出している。
 (3) 急減速検出率

合流部付近における車両の急減速の発生は、隣接車線からの急激な車線変更に起因する可能性が高いと言える。そこで、本研究では-1.98(m/s²)を超える減速度を示す車両が、減速が観測された全車両に対しどの程度の割合を示すかを、急減速検出率として算出している。

4. コンフリクト指標の空間変化

本章では前章で説明したコンフリクト指標に基づき、潜在的な事故危険性の空間的な分布状況を把握する。守環合流部を車線と進行方向に対して10メートルごとに分析者側で設定した区画線で囲まれるグリッドを作成し、平均速度、負値PICUD検出率、急減速検出率、乖離度変化率をグリッド毎に算出し、その推移を分析・考察する。
 (1) 合流部付近の交通流動

図-3は平均速度を上述のグリッド単位で算出し、速度の空間変化を示した図である。180メートル地点より下流側は、守口線側の第2車線と環状線側の第3車線が合流した車線を便宜的に第2車線としている。なお、図-4~6もグリッドならびに車線表記の取り扱いは図-3と同様とする。

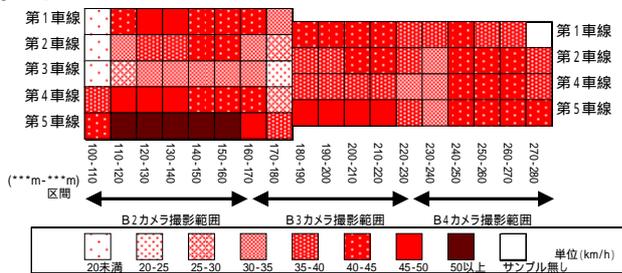


図-3 平均速度の空間変化図

図-3を見ると合流部上流側では、第3車線の速度低下が顕著である。第2車線も速度が低下の傾向が認められる。合流部上流側で平均速度が相対的に高いのは、第5車線である。これらは直近の合流交通が引き起こす錯綜の影響の大小によるものと考えられる。合流後では第4車線の速度が他車線と比較して低くなっていることが目立つ。当該区間の下流側に3号神戸線への分岐部があることも影響して、合流直後に第4・第5車線へ車線変更する車両も多く見受けられる。このため、合流直後の第4車線の平均速度が低下した可能性が考えられる。

図-4の乖離度変化率の空間変化図から見ると、合流部を挟んで第2車線から第4車線・第5車線へと走行する車両が多数存在しており、その結果車両間の錯綜が生じ、上述の様な速度の空間変化につながると考えられる。

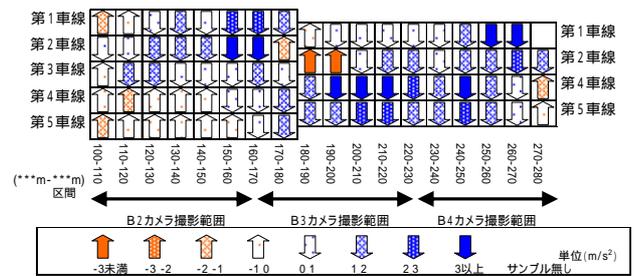


図-4 乖離度変化率の空間変化図

(2) 潜在的な衝突危険性

図-5は負値PICUD変化率の空間変化図であり、これを見ると各カメラの撮影範囲で進行方向に進むほど値が高くなる（相対的に衝突危険性の高い車両が増える）傾向にあることがわかる。しかし、各カメラの撮影範囲の下流端付近では車尾距離の計測対象である2車両のうち前方車両が撮影範囲外であることが多く、前方車両が撮影範囲にある場合では、車間距離の短い車両の組み合わせであることが多い。つまり、各カメラの撮影範囲で進行方向に進むほど、車間距離が長いものが記録されにくい傾向にあるため、PICUD値が低い割合が増加していると考えられる。したがって、ここでは負値PICUD検出率の車線間の比較を中心に考察を行う。

車線間での比較の結果として特徴的な点を示すと、合流する第2・第3車線では合流部上流側では第2車線の方が潜在的衝突危険性が高いが、合流部に近づくとともに第3車線の危険性も高まる傾向にあることがわかる。

環状線側では特に第5車線の検出率が全般的に高い。図-3より、第5車線は他の車線よりも相対的に速度が高くなる傾向にあるが、その速度の高さに比して隣接車線からの流入車の存在などもあり車間距離が十分に確保できていないため、PICUD負値となる割合が高くなると考えられる。240メートル地点より下流側では、いずれの車線も平均速度に大きな差異は無いにもかかわらず、第5車線でのPICUD負値検出率高くなっている。図-4より、第2車線から第4・第5車線に向かう相対的に車両が多いと分析しているが、この240メートル地点下流側では第5車線への車両の流入が続いており、このため車線変更車と後続車両との潜在的な追突危険性が高まっている可能性が考えられる。

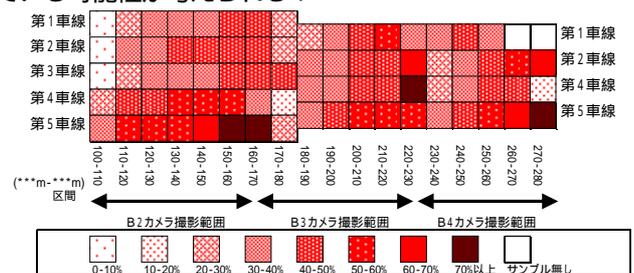


図-5 負値PICUD検出率の空間変化図

図-6は急減速検出率の空間変化図である．図-6より合流部の上流側において第2・第3車線の急減速検出率が高くなる傾向が示されている．これは比較的密度の高い交通において、車線合流部で生じた減速が、後方に伝播していく過程で急減速が必要となる状況につながる可能性が高いと考えられる．また、PICUD負値検出率の高い箇所の上流側に急減速検出率が高くなる箇所が現れる傾向が見受けられる．合流部で生じる潜在的な追突危険性が高い状況により、後続車が立て続けに減速することになり、交通密度が高い場面では後続車ほど減速度が強くなる傾向が推測される．

一方、合流部下流側では第4・第5車線の急減速検出率が高いが、ここでも図-4から分析された車線変更車両の走行位置付近で高い値を示している．負値PICUD検出率が示す潜在的追突危険性が高い箇所は、より下流側に位置しており、上述の通りに車両間のコンフリクトの高さが一つの原因となり、上流側車が立て続けに減速し、後続車ほど減速度を大きくせざるを得ない場面が出現した可能性が考えられる．

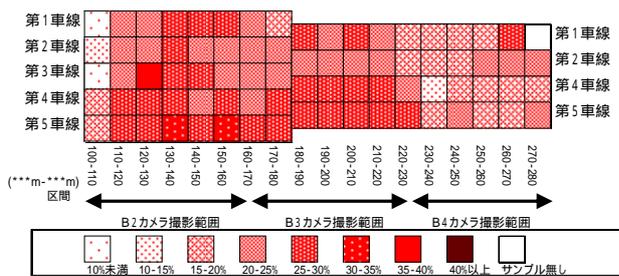


図-6 急減速検出率の空間変化図

5. 目視観測システムから得た車両軌跡の分析

本章では目視観測システムによって得られた詳細な車両軌跡を図化し、車両走行位置ならびに車線変更の頻出箇所を把握するとともに、4章での考察内容との関連性について確認する．

図-7は車線合流部の走行軌跡図である．合流後に第4車線への車線変更が数多く見られる．この傾向は図-4に示した乖離度変化率の空間変化と整合している．また、第4車線の車線横断方向の走行位置には分散傾向があり、これは隣接車線から車線変更してくる車両による影響が大きいと考えられる．この横断方向走行位置に分散傾向が認められる区間と、図-6の急減速検出率が高くなる区間とが整合しており、この点については今後より詳細に分析することが望まれる．

図-8は車線合流部下流側の走行軌跡図であるが、全体的に第4・第5車線方向へ車線変更する車両の軌跡が多く現れている．このことが第5車線下流側でのPICUD負値検出率が高くなる傾向の一因と考えられる．

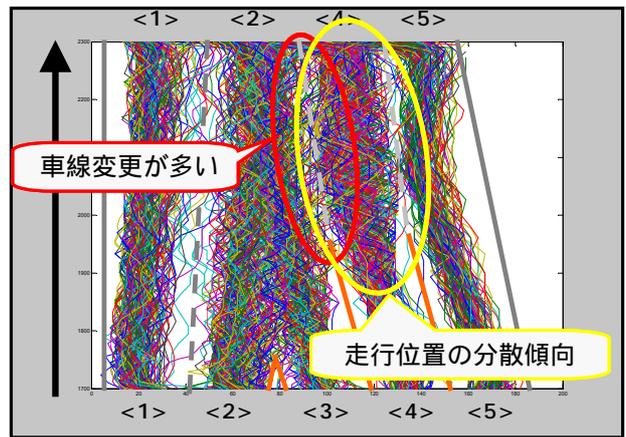


図-7 車線合流部における走行軌跡図

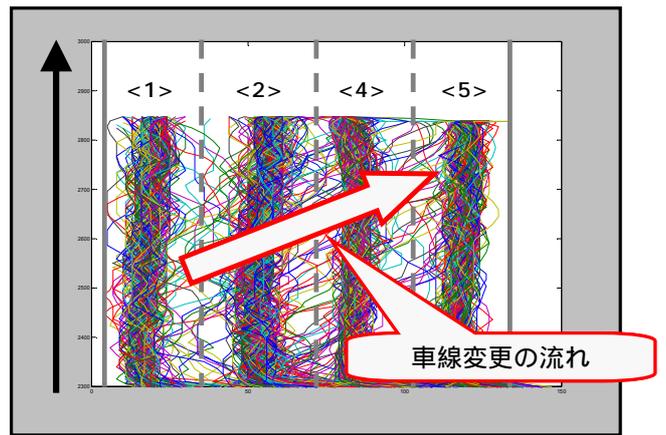


図-8 車線合流部下流における走行軌跡図

6. おわりに

本研究ではコンフリクト指標の空間変化を用いて、守環合流部における交通流の状態とコンフリクト発生との関係からコンフリクトが生じる要因を検討した．そして目視観測システムから得た走行軌跡の分析によって、守環合流部でのコンフリクト発生要因として考えられる車線変更の位置を探った．その結果、守環合流部では守口線側から環状線側へ車線変更する車両がコンフリクトを生み出す要因となっていることが考えられ、道路線形や速度規制などによって、いかに安全な車線変更を導くかが重要な対策といえる．また本研究では、分析対象の交通流が時間的・空間的に大規模に分析される1例を示すことで、画像データの有用性を示すことができた．

【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」の一部として実施されたものである．ビデオ観測調査の実施に際しては、阪神高速道路(株)、(社)システム科学研究所、住友電気工業(株)にご協力をいただいた．記してここに深謝いたします．

【参考文献】

- 1) 宇野伸宏ほか：一般道織込み部における客観的コンフリクト分析と速度調整モデルの構築，土木計画学研究・論文集，Vol.20，pp.989-996，2003．