本線料金所手前における車両走行軌跡の把握と交通コンフリクト評価

*大阪大学大学院 正会員 飯田克弘

近畿大学 正会員 多田昌裕

大阪大学大学院 学生会員 ○安部雅也

西日本高速道路株式会社 正会員 山田憲浩

1. はじめに

我が国では各種技術開発、法整備、教育・広報活動などにより交通事故による死者数は 2001 年を境に減少している ¹⁾。しかし、その一方で交通事故数は高水準を維持しており、高速道路に着目すれば、事故数は 2008 年を境に増加傾向にある ¹⁾。

近年の高速道路における交通事故の実態解明に取り 組んだ研究として、多田らの研究が挙げられる²⁾。この 研究では2006年から2010年までの西日本高速道路株式 会社(以下、NEXCO 西日本) 関西支社管内の事故デー タのうち、調書に第1当事者の年齢が記載され、かつ第 1 当事者の年齢が 65 歳以上ないしは 30~49 歳までの中 年層であった 11,101 件を対象とし、道路区間 1km ごとに 発生した事故類型別発生件数および事故類型別の事故発 生箇所件数を集計している。なお、インターチェンジ(以 下、IC)や料金所は独立に集計している。その結果、本 線料金所(以下、TB)手前において事故が多発し、追突 事故と接触事故の危険性が同時に高まっていることを明 らかにしている。さらに、第1当事者の年齢層別に事故 パターンを分析した結果、非高齢者の場合は、停止中の 前方車両にわき見が原因で追突する割合が多いのに対し、 高齢者の場合は、非渋滞時に後方安全不確認が原因で他 車両(第2当事者)に接触する割合が多いことも明らか にしている。以上のことから、TB 手前において、事故 類型別に事故に繋がる車両挙動に着目し、対策を講じる 必要性が認められる。

これまでにも、 ETC レーン進入時の速度抑制を促すことを目的とした路面へのカラー舗装や凹凸薄層舗装 ³⁾、レーンの運用状況をドライバーに知らせ、TB 手前における急な進路変更の発生回数を減らすことを目的とした料金所レーン運用状況表示板 ⁴⁾などの事故対策が講じられている。しかし上述した事故発生状況を鑑みれば、これらの対策の効果評価を含め、車両挙動に着目し、事故に繋がる可能性があるプロセス(走行軌跡)を把握する必要性が伺える。しかし事故調書には事故発生に至る車

Keywords: 高速道路、本線料金所、コンフリクト評価

* 連絡先: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp (Phone)06-6879-7611 両走行軌跡に関する記述がほとんど無い。つまり TB 手前において事故に繋がる可能性のある車両挙動を把握することが課題となる。この課題に対し、稀少事例である事故発生時の運転行動データを計測・蓄積することは極めて困難である。代替する方法として、事故に関係するヒヤリ・ハット多発区間における実走調査によって TB 手前における運転挙動を推定することが有用であると考えられるが、全ての実走調査が内包する問題として、サンプル数の確保が懸念される。そこで本研究では、別途実施した実走調査期間中、TB 手前を撮影したビデオ映像から車両走行軌跡を取得し、それらを追突事故および接触事故の観点から評価することで、事故に繋がる可能性のある車両挙動およびその発生地点を明らかにすることを目的とする。

2. 分析概要

2.1 分析対象区間概要

本研究では、西名阪自動車道上りの柏原 TB 手前 200m 前からゲート前までのうち、図1の赤い点線で示された 範囲を分析対象とする。

ここで、柏原 TB の構造概要を整理する。柏原 TB の上流側の本線は2車線道路であり、TB ゲートの約400m 上流で、柏原 IC からの流入車線が接続する。この流入車線は、約190m間はラバーポールによって本線と分離されており、TB プラザ入口(図2)付近でその分離が解除される。また図2中、1、4~6番ゲートが非ETC レーンであり、2、3、7~9番ゲートがETC レーンとして運用されている。TB プラザ内には、本線を走行してきた車両と柏原 IC からの流入車両の車両錯綜を防ぐことを目的として、本線からの車両については4~9番ゲートへ、柏原 IC からの流入車両は1~3番ゲートへ誘導することを意図した誘導線が道路上に破線で描かれている。

2.2 分析対象データ

分析対象範囲(図 1)を撮影したビデオ映像を筆者らが考案した手法 50で解析することで、車両走行軌跡(0.1 砂毎の時刻、車両 ID、速度、車両中心の X・Y 座標)を取得した。なお座標軸は図3に示す通りである。

ビデオ映像撮影は2012年7月23日(月)から8月1

日 (水)、全日程 9:00~19:00 において行った。その中から各日 4 場面 (午前 10 時・正午・午後 2 時・午後 4 時)、合計 40 場面を抽出し、計 1313 台の車両を解析した。

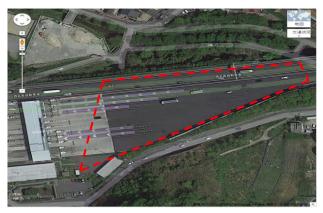


図1 分析対象範囲(出典:Google Map)

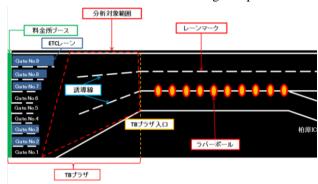


図 2 柏原 TB 前の道路構造概要

3. 分析結果

3.1 分析対象区間における車両走行軌跡

解析したビデオ映像には、進行方向最右の ETC ゲート (9番ゲート) が開放されている場合 (解析対象 845 台) と閉鎖されている場合(同468台)が存在した。この開 閉状況が、ゲート選択および車両錯綜状況に及ぼす影響 を車両走行軌跡図(図3、4)から判断することとした。 なお、進行方向は図の左向きである。車両走行軌跡図は、 全ての車両走行軌跡を重畳した図であり、図中の1本の 線は1台の車両の走行軌跡に対応している。 つまり線が 密に描かれている部分は多くの車両がその箇所を通過し たことを示す。結果として、9番ゲート開放時には、追 越車線を走行してきた車両(以下、追越車両)は9番ゲ ートへ、走行車線を走行してきた車両(以下、走行車両) は8番ゲートへ、流入車線を走行してきた車両(以下、 流入車両) は誘導線に従わずに7番ゲートへ向かう傾向 がみられる(図3)。一方、9番ゲート閉鎖時には、追越 車両は8番ゲートへ、走行車両は7番ゲートへ、流入車 両も7番ゲートへ向かうという傾向が見られた(図4)。 以上より、9番ゲートの開閉によって、錯綜状況が異な る可能性が示唆されたため、以下では9番ゲートの開閉 別に分析を実施する。

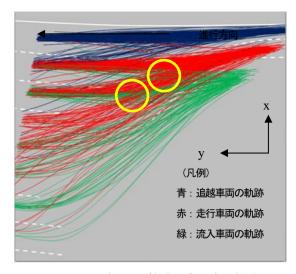


図3 9番ゲート開放時の車両走行軌跡図

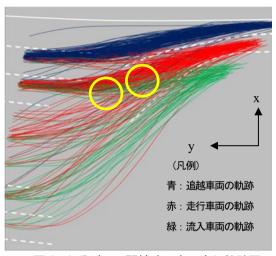


図4 9番ゲート閉鎖時の車両走行軌跡図

3.2 交通コンフリクト指標

図 3、4 で示された車両走行軌跡図は異なる時刻で記録した車両走行軌跡を重畳したものであり、たとえば図 3、4 の黄色円で示した地点において錯綜が発生する可能性が示唆される。しかしながら、これらの図をもとに、車両軌跡の交点において、実際に錯綜が発生し、追突事故や接触事故が発生する危険性が高まっているか否かについては判断出来ない。そこで本研究では、取得した車両走行軌跡を追突事故および接触事故の観点から客観的に評価するために、交通コンフリクト指標を適用する。

これまでに様々な交通コンフリクト指標が提案されているが、本研究では PICUD⁶⁾ (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration) を用いることとした。 PICUD は、前方車両が何らかの理由により急減速を行ったと仮定し、後方車両が反応遅れを伴い急減速する場合に、両者が停車したときの相対的な位置を表しており、 PICUDが0以下の値を示す状況は衝突が発生する危険性が存在することを示唆する。

PICUD= $\frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - (V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a})$

V₁・・・前方車の減速開始時の速度

V2··・前方車の減速開始時の後続車の速度

So・・・前方車急減速時の車間距離

 Δt ・・・前方車ブレーキ開始から後続車ブレーキ開始 までの時間. 反応遅れ時間(1.0s と仮定 7)

a・・・減速時の加速度 (-6.86m/sec²と仮定⁷⁾)

本研究では車間距離 S_0 として、2 車両の中心間距離から軽自動車 1 台分の車長 3.48m を減じた値を採用した。これは、2 車両がともに軽自動車であるという条件下で PICUD の計算を行うことで、対象となる車両が他の種類の車両であっても、車長が長くなることから、衝突が発生する危険性を示すことが出来ると考えたからである。

ここで、PICUDを算出する上で、前方車両、後方車両を判断するための基準として車線が必要となるが、TB手前では車線が存在しない。そこで図5の紫の線で描かれているラインを設定し、隣接するラインとラインの間を車線と見なすこととした。なお、ラインには図5に示すように、下から便宜上①~⑧の番号を割り当てている。ラインの設定方法を以下に示す。

前述したように、9番開放時には、追越車線から9番 ゲートへ向かう車両、走行車線から8番ゲートへ向かう 車両、流入車線から7番ゲートへ向かう車両が多いこと がわかる。この3種類の車両走行軌跡群の最も密な部分 を通過する軌跡を代表軌跡と呼ぶこととする。まず隣接 する2種類の代表軌跡を選び、図3に示す座標平面に従 い、あるy座標における代表軌跡のx座標を算出し、そ れらの中間値を求める。この作業を複数のy座標につい て行い、得られた複数のx座標を結ぶことでライン⑦お よび⑧を設定した。次に、ある y 座標における、流入車 線から7番ゲートへ向かう代表軌跡とライン(7)のx軸方 向の距離 a を求め、同じ y 座標上において代表軌跡より も左側に、代表軌跡から x 軸方向の距離が a となる点を 取る。この作業を複数のy座標について行い、得られた 複数の点を結ぶことでライン⑥を設定した。最後に、柏 原 TB の進行方向に向かって左側に設置されている防音 壁をライン

②とみなし、ある

y座標におけるライン

③の x座標と、先程求めたライン⑥とのx座標を6等分する。 この作業を複数のv座標について行い、得られた複数の 点を結ぶことで、残りの5本のラインを設定した。

3.3 追突事故の発生危険性の評価

追突事故の発生危険性評価では、本線において同じTB ゲートへ向かって、同一車線上追従状態にある車両ペア を対象としPICUDの算出を行った。具体的には、対象

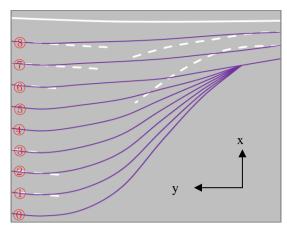


図5 本研究で設定したライン

となる車両ペアに対し、PICUD が最小値かつ負の値をとる地点を基準とし、前方車両の停止位置を記録した。この結果を集計したものが図 6、7 となる。これらの図では、9番ゲート開閉別に図 5で示した範囲を車線ごとに 10m間隔で分割(メッシュを作成)し、メッシュごとに追突事故危険性が判定された件数を求め、この値を全メッシュで求められた追突事故危険性が判定された総件数で除した割合で色分けを行っている。これらの図より、9番ゲート開放時には図 6 中のア、イ、ウで、9番ゲート閉鎖時には図 7 中のア、イにおいて追突事故が発生する危険性が高まることが分かった。そこで、以下では図 6 中のア、イ、ウおよび図 7 中のア、イに着目し、追突事故が発生する危険性を高める車両挙動に関し考察する。

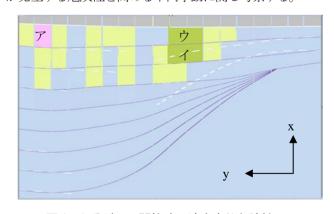


図6 9番ゲート開放時の追突事故危険性

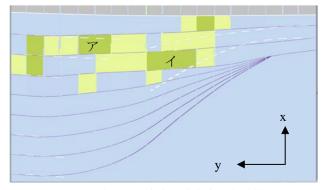
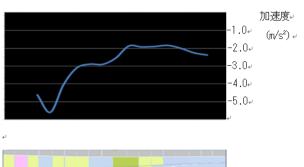


図7 9番ゲート閉鎖時の追突事故危険性

0-2% 2-4% 4-6% 6-8% 8-10% 10%以上

9番ゲート開放時、図6中のアの位置で、追突事故が発生する危険性が8~10%と最も高くなることが確認された。この地点において追突事故が発生する危険性を高めた車両ペア(21ケース)に関し、追越車線から9番ゲートへ向かう車両の加速度(10m刻み)を求めたところ、図8上図のようになった。なお、図8上図は縦軸が加速度の大きさ、横軸が9座標を表し、図8の上図と下図の横軸は同一間隔である。このことから、図6中のアの上流20~30mの位置において前方車両が大きく減速を行うことが原因で追突事故が発生する危険性が高まっていることが推測される。



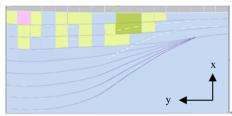


図8 追越車線から9番ゲートへ向かう車両の加速度

次に追突事故が発生する危険性が周囲と比べて相対的に高い地点として、図6中のイの位置(走行車線から8番ゲートへ向かう途中、誘導線が途切れる付近)および図6中のウの位置(追越車線から9番ゲートへ向かう途中、誘導線が途切れる付近)が確認された。イおよびウの位置において追突事故が発生する危険性を高めた車両ペアについて、アの位置と同様に車両挙動の特徴把握を試みたが、本分析の範囲では共通する特徴は確認できなかった。しかし「誘導線が途切れる付近」が問題であることは指摘することができた。

9番ゲート閉鎖時、図7中のアの位置(走行車線から8番ゲートへ向かうETCレーン入口)において、追突事故が発生する危険性が周囲と比べて相対的に高いことが確認された。この地点において追突事故が発生する危険性を高めた車両ペア(8ケース)の特徴把握を試みたところ、誘導線を無視して8番ゲートへ向かう走行車両(前方車両)が、追越車線から8番ゲートへ向かう車両(後方車両)の流れに割り込むことによって、2車両の車間距離が急に狭まり、追突事故が発生する危険性が高まっていることが確認された。

図7中のイの位置(流入車線から7番ゲートへ向かう途中、誘導線が途切れる付近)において、追突事故が発

生する危険性が周囲と比べて相対的に高いことが確認された。この地点において追突事故が発生する危険性を高めた車両ペア (8 ケース) の特徴把握を試みたところ、誘導線を無視して7番ゲートへ向かう流入車両と走行車線から7番ゲートへ向かう車両の間で発生する織り込みが原因で、追突事故が発生する危険性が高まっていることが確認された。このケースでは、流入車線から7番ゲートへ向かう車両(前方車両)が減速し、後方車両が加速することで、車間距離が狭まり、急に車間距離が狭まることで追突事故が発生する危険性が高まることが考えられる。

3.4 接触事故の発生危険性の評価

コンフリクトを算出する2台の車両が同一直線上を走行していると仮定できない場面に適用でき、かつ、接触事故の潜在的な危険性を明示的に評価できる指標は既往例が少ない。その一つとして筆者らが考案した横方向TTC®の適用を試みたが、y軸方向の相対速度が大きい場合、接触事故の危険性評価は困難であることが分かった。ビデオを目視した結果、2台の車両のx軸方向の距離が0になる(車両走行軌跡が交錯する)際、前方車両が減速を行ったと仮定すると、接触事故に至る危険性があると判断できる事例が多く確認された。そこで本研究では、以下の方法を採用し、接触事故の潜在的な危険性を評価することとした。

- ① 解析対象車両の中から任意で基準車両を 1 台(以下車両 A)選択する。そして、ある時刻において、車両 A と隣接する車線かつ車両 A の後方 30m以内に存在し、車両 A と x 軸方向の距離が接近している車両のうち、最も x 軸方向の距離が近い車両を計測対象車両(以下、車両 B) とする。ただし、車両 A と車両 B の間に異なる車両が存在する場合は除外する。
- ② 車両 A と車両 B に対し、隣接する車線に存在する状況で最も x 軸方向の距離が接近した地点における速度と車頭の向きを求める。
- ③ ②で求めた速度と車頭の向き進行方向を維持したまま進行した際にx 軸方向の距離が0となる車両Aの位置を記録する。
- ④ ③の座標値および速度を用いて PICUD を算出し、負となれば接触事故危険性があると判定する。
- ⑤ 解析対象車両全てに対して上記①~④の手順を行う

以上の手順で接触事故の危険性を判定し、9番ゲート開閉別に図6、7と同じ様式で結果を整理した(図9、10)。この結果から、9番ゲート開放時には図9中アの位置で、9番ゲート閉鎖時には図10中ア、イの位置で接触事故が発生する危険性が高まることが分かった。

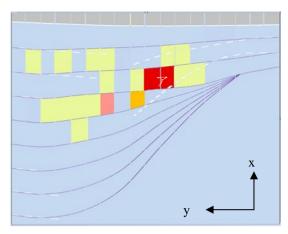


図9 9番ゲート開放時の接触事故危険性

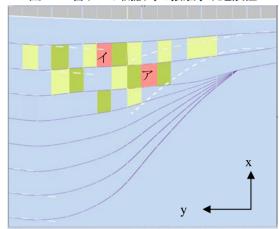


図 10 9番ゲート閉鎖時の接触事故危険性

0-2% <mark>2-4% 4-6% 6-8% 8-10% 10%以上</mark>

図9を見ると、9番ゲート開放時、アの位置(流入車線から7番ゲートへ向かう途中、誘導線が途切れる付近)において、接触事故が発生する危険性が10%以上と、最も高いことが確認された。この地点において接触事故が発生する危険性を高めた車両ペアには、流入車線から誘導線に従わず7番および8番ゲートへ向かう車両(前方車両)と、走行車線から6番レーンより左側のレーンへ向かう車両(後方車両)との組み合わせが15ケース中6ケース確認された。

また、図10から9番ゲート閉鎖時には、アの位置(流入車線から7番ゲートへ向かう途中、誘導線が途切れる付近)において、接触事故が発生する危険性が8%-10%と、相対的に高いことが確認された。この地点においても、接触事故が発生する危険性を高めた車両ペアの前方車両は流入車線から誘導線に従わず7番および8番ゲートへ向かう車両であったが、後方車両には共通性を確認することはできなかった。

一方、図 10 中のイの位置(走行車線から 8 番ゲートへ向かう途中、ETC レーン区画線付近)でも、接触事故が発生する危険性が 8%-10% と、相対的に高いことが確認された。この地点において接触事故が発生する危険性を高めた車両ペアの特徴として、追越車線から8番ゲー

トへ向かう車両(前方車両)と、同じく追越車線から8番ゲートへ向かう車両(後方車両)のペアが多くみられ、これらの車両ペアには、追越車線から8番ゲートへ向かう際に図5で定義したラインを横切る位置が異なることが見受けられた。図11に実際に接触事故が発生する危険性が存在する車両ペアの車両走行軌跡の例を示す。ここで緑および赤の実線は、それぞれ前方車両、後方車両を表している。ラインを横切る位置が異なる理由としては、前方車両が進路を左に取ったため、前方に余裕ができた後方車両が前方車両を追い抜こうとして前方車両よりもゲート側で左に進路変更を取ったこと、また前方車両が9番ゲート閉鎖に当初気づかず、途中で気付いて進路を変更したことなどが推測される。

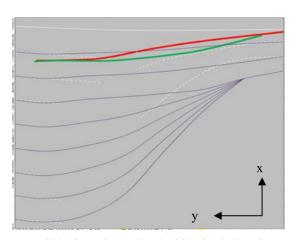


図 11 接触事故が発生する危険性が存在する車両ペア の車両走行軌跡

4. まとめ

本研究では、TB 手前を撮影したビデオ映像から大量の車両走行軌跡を取得し、それらを追突事故および接触事故の観点から評価することで、事故に繋がる可能性のある車両挙動およびその発生地点を明らかにした。得られた知見を以下に整理する。

- ・ 9 番ゲート開閉状況に依らず追突事故危険性が高まる地点として、誘導線が途切れる付近が指摘された。 誘導線は、本線を走行してきた車両と柏原ICからの流入車両の車両錯綜を防ぐことを目的として設置されているが、これが有効に機能していない可能性が示された。
- ・ 9番ゲート開放時においては、9番ゲートへ向かう ETCレーン上で追突事故危険性が高くなることが指摘された。ここでの車両挙動の特徴としては、前方車両が急な減速を行うことが明らかとなった。
- ・ 9 番ゲート開閉状況に依らず接触事故危険性が高まる地点として、誘導線が途切れる付近が指摘された。 事故につながる車両挙動としては、流入車線を走行してきた前方車両が、誘導線に従わずに7番ゲート

- へ向かうことが明らかとなった。
- ・ 9番ゲート閉鎖時においては、レーン区画線が現れ 始める付近も接触事故危険性が高まる地点として指 摘された。事故につながる車両挙動としては、追越 車線から8番ゲートへ向かう前方車両が進路を左に 取ることで、追越車線から8番ゲートへ向かう後方 車両が前方に余裕ができ、前方車両を追い抜こうと して前方車両よりもゲート側で左に進路変更を取る ことが考えられる。

今後は、本研究で明らかになった事故が発生する危険 性が高まる地点において、現地実走調査を行い、得られ た結果と本研究の成果を統合することが課題となる。

参考文献

- 警察庁交通局:平成 23 年中の交通事故の発生状況, http://www.nmca.gr.jp/prg_img/pdf/pdf201209061600085 0144700.pdf
- 2) 多田昌裕・飯田克弘・安時亨・山田憲浩,事故調書 に基づく高速道路における高齢運転者特有の事故パ ターン分析,第 32 回交通工学研究発表会論文集 CD-ROM, pp.125-128, 2012.
- 3) NEXCO 東日本: もっと知りたい高速道路, http://www.e-nexco.co.jp/more_expressway/etc_diffusion/
- 4) 阪神高速道路第 1 次アクションプログラム, pp.23, 2007.
- 5) 飯田克弘・安時亨・上地登・英恵司:物体の3次元 移動軌跡を計測するためのビデオ解析システムの開 発,土木計画学研究・講演集,Vol.28, 2003.
- 6) 飯田恭敬・宇野伸宏・井坪慎二: 菅沼真澄,織り込み 部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化, 土木計画学・講演集,No.24, CD-ROM, 2001
- 7) 飯田克弘・日暮智紀・高橋秀喜・Jian Xing・山下和 彦:高速道路の工事規制終端部における規制材配置 と車両挙動との関連性分析,土木計画学研究・論文 集, Vol27, 2010.
- 8) 飯田克弘・寺本朋彰・菅 芳樹・山口将夫:都市高速道路の合流部における交通コンフリクト評価一阪神高速道路環状線・堺線合流部を対象として一,第31回交通工学研究発表会論文報告集,Program No.13,pp.63-66 (on CDROM), 2011.