

織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

Traffic Conflict Analysis and Modeling of Lane-changing Behavior at Weaving Section*

飯田恭敬**・宇野伸宏***・井坪慎二****・菅沼真澄*****

By Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO, Shinji ITSUBO and Masumi SUGANUMA

1. はじめに

交通事故の約 80%は発見遅れや操作・判断ミス等の人的ミスに起因していると言われており、危険情報の提供や警告、また運転操作の制御や補助など先端的な ITS 技術の利用により、その大半は防止できる可能性がある。現在開発中の走行支援システム(AHS)を核として、道路構造、自動車、運転者を一体化した道路交通安全システムを確立することが、今後必要である。

ITS の利用を含む包括的な道路交通安全施策の適用のためには、道路区間の安全性を客観的に評価し、その危険度に応じた適切な施策の導入が必要である。一方、道路区間毎に見れば交通事故は希事象であり、その発生件数から詳細な危険度評価をすることは難しい。これらの背景を踏まえ、本研究では交通コンフリクト技法を利用した道路交通の客観的危険度評価を試みる。具体的には織込み区間における車線変更車両により生じるコンフリクトを対象とする。あわせて、コンフリクトシミュレーションモデル構築のための基礎研究として、車線変更時の車両加速度のモデル化を行う。

2. 車線変更時の客観的危険度評価

(1) 調査対象地点の概要

本研究の調査対象地点は、国道 1 号（西向き）京

都市山科区奈良野町付近の織込み区間である。図-1 に示す通りに、当該地点では、国道 1 号に国道 161 号が合流し、その直後に京都市中心部に向かう府道が国道 1 号から分流する構造となっており、多くの交通コンフリクトが観測される。本地点は京都府の「交通事故多発地点対策委員会」において「事故多発地点」として位置づけられた地点の一つである。当該地点における交通流動は、図-1 に示す位置に設置されたデジタルビデオカメラで記録された。調査日時は 1999 年 5 月 25 日(火)13 時～5 月 26 日(水)13 時で、調査主体は建設省（現 国土交通省）京都国道工事事務所である。本研究ではそのうち 5 月 25 日 15 時～16 時のビデオデータを分析対象とする。

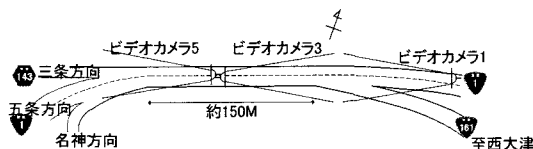


図-1 調査対象地点の概況

表-1 方向別時間交通量

		流出車線		
流入車線		国道1号	府道	合計
	国道1号	539	403	942
	国道161号	968	128	1096
	合計	1507	531	2038

単位:(台/時)

表-1 は、本調査地点における方向別時間交通量を示す。片側 2 車線で、時間当たり 2000 台強の断面交通量がある。この状況下で国道 161 号から府道（三条）方向への交通は、150m 弱の区間で合流・車線変更を行う必要があり、これがコンフリクトの主因の一つと考えられる。本研究では、上記の強制的な(mandatory)車線変更を伴う走行挙動を対象に図-2

* Keywords: 交通流, 交通安全, ITS, コンフリクト分析

** フェロー 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel.:075-753-5124, FAX:075-753-5907)

*** 正員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel.:075-753-5126, FAX:075-753-5907)

**** 正員 修士(工) 国土交通省九州地方整備局福岡工事事務所

(〒813-0043 福岡市東区名島3丁目24番10号 Tel.:092-681-4731)

***** 学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

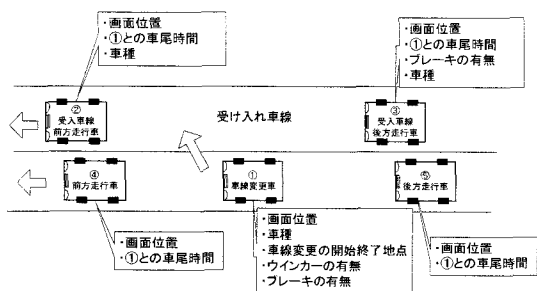


図-2 車両・車線の定義と抽出する諸量

に示す諸量を 0.5 秒毎にビデオデータから抽出する。

(2) 車両走行挙動データの抽出システム

デジタルビデオから、パソコン上で車両走行挙動データを抽出するための解析ツールを開発した。このツールでは、ビデオ画像データの任意のフレームを静止画像としてパソコン画面上に表示可能である。また、任意地点の画面座標をマウス操作により得ることができる。これに、以下に示す写真測量の考え方に基づく変換式を適用することで、車両の現地座標を取得でき、速度やその変化率も計算可能となる。

$$Y = \frac{a_1 U + a_2 V + 1}{a_3 U + a_4 V + a_5} + Y_0 \quad (1)$$

Y : 推定された現地座標

$a_1, \dots, a_5$: パラメータ

Y_0 : 現地のカメラの座標

U, V : 画面座標

本研究では簡単のため、道路進行方向の現地座標 (Y で表記) のみを求めた。このツールでは、画面上の任意の地点にマウスを使って線を引くことができ、この線を目印にフレーム数をカウントすることにより、最小単位 1/30 秒で車両間の車尾時間も計測できる。

3. 客観的コンフリクト指標による危険度評価

(1) コンフリクト評価指標

TTC(Time to collision)とは、もしも2台の車両がその時点での速度と進行方向を保持すると仮定した場合に、2車両の衝突に要する時間で評価される指標である¹⁾。ところが、TTCでは前方車両の速度が相対的に速い場合は有限な評価値としては算出できず、安定的に危険度を評価することが難しい。前方車の

相対速度が多少高くても両車の距離が小さければ、前方車が急減速した時に衝突する危険性が考えられる。このことを、評価するため導入した指標が PICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration, 急減速時追突危険性指標) である。前方車が仮に急な減速を行うとした時に、後続車が反応遅れを伴い急減速して、両車が停車したときの相対的な位置を表す指標である。

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

V_1 : 前方車の減速開始時の速度

V_2 : 前方車の減速開始時後続車の速度

s_0 : 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

a : 減速時の加速度 (-3.3 m/sec^2 と仮定)

PICUD が 0 以下の値を示す状況は、前方車が突然急減速することにより、後続車と同じく急減速しても衝突を回避できない可能性を示唆する。

国道 161 号から府道方向へ向かうある車両の車線変更に関して、車線変更車①と受入車線後方走行車③の TTC と PICUD を計算した例を図-3 に示す。これは、車間距離は小さいが走行速度が拮抗している車線変更車①と受入車線後方走行車③の組み合わせについて、TTC と PICUD を試算した例である。TTC は大きく変動し、5.5 秒から無限大まで変化するが、PICUD による評価では、車線変更車①の急減速により、受入車線後方走行車③が衝突する危険性が常に存在しているとの結果を得ている。この様に速度が拮抗している場合の危険性評価には、PICUD の方が適していると言える。

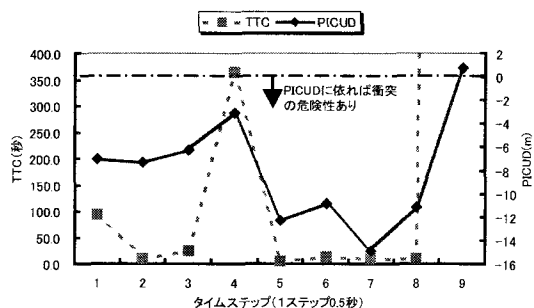


図-3 TTC と PICUD の算出例

表-2 PICUD による衝突危険性評価

	サンプル台数	衝突台数
車線変更車	62	19
受入車線後方走行車	42	28

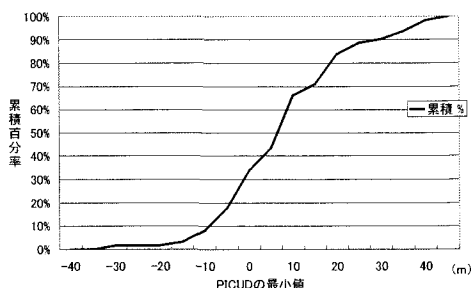


図-4 PICUD の累積頻度分布

表-2 は PICUD により衝突危険性の評価を試みた結果である。分析対象日時における車線変更車①の受入車線前方走行車②に対する追突危険性、ならびに受入車線後方走行車③の車線変更車①への追突危険性を表す。なお、反応遅れ時間 Δt は 1.0 秒と仮定して試算した。表-2 より当該織込み区間においては、受入車線後方走行車が車線変更車に追突する潜在的危険性の方が相対的に高いと言える。

(2) 道路区間としての危険度評価

ここでは前節で提案した PICUD を活用して、ある道路区間単位とした客観的危険度評価手法について検討する。この方法では、前方車と後続車を 1 セットにして、時間軸に従い PICUD を計算し、その最小値（最も危険な値）を集計して、累積頻度分布を作成する。2(1)で説明したデータを用いて最小 PICUD 頻度分布を作成したのが図-4 である。この累積頻度分布図に基づき、パーセンタイル値等の比較を行うことにより、他区間との危険度の比較分析が可能となる。TTC を利用した区間の危険度評価にしても同様に最小値の累積頻度分布を作成し、他区間と比較して危険度評価を行うことができる。

4. 車線変更挙動の分析

(1) 車線変更に伴う速度調節

車線変更開始時点における速度について、車線変

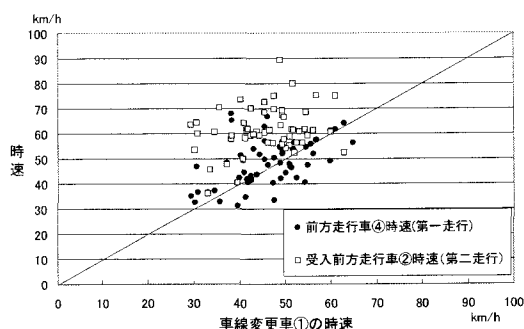


図-5 車線変更車と前方・受入前方走行車の速度

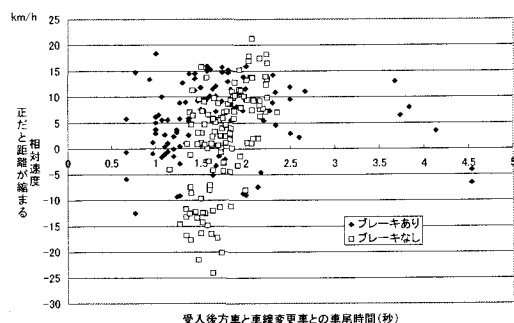


図-6 受入車線後方走行車の減速挙動

更車①と前方走行車④、および車線変更車①と受入車線前方走行車②の関係を示したのが図-5 である。この図より、前方走行車④と車線変更車①の速度については、ほぼ 45° 線の周辺に散布しており、両車の速度はほぼ同じあることが分かる。一方、受入車線前方走行車②と車線変更車①の速度の散布状況を見ると、45° 線の上方に分布しており、受入車線前方走行車②の速度の方が総じて高いことが分かる。このことから第二走行車線の方が第一走行車線に比べ平均速度が速いと思われる。すなわち車線変更車①は加速するか、受入車線後方走行車③を減速させないと車線変更を行うことが難しく、この速度差がコンフリクトを引き起こす一つの要因と考えられる。

上記の分析より車両①の車線変更により受入車線後方走行車③の減速が余儀なくされる状況が想定される。図-6 は車線変更車①が方向指示器を点灯し車線変更の意思を後方に示した時点以降を対象に、受入車線後方走行車③の減速の有無について集計した結果である。縦軸に記された相対速度については、その値が増加するほど車線変更車①の速度が受入車

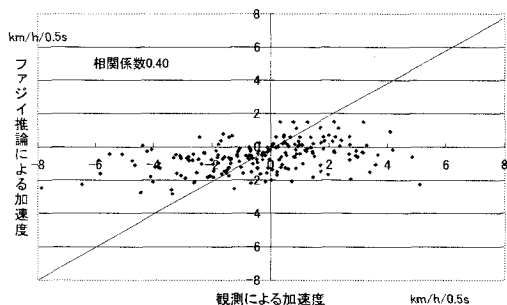


図-7 受入車線後方車③の加減速度推定値と実測値

線後方走行車③と比べて遅いことを示す。つまり、図-6 では左上方に行くほど衝突の危険性が高まると言える。

この分析結果より、危険度の高い左上方にブレーキ有りのサンプルが集中しており、危険度が高まればブレーキを踏んで、速度ならびに車間の調節をはかるといふ妥当な行動が確認された。車尾時間がおおよそ 1.2 秒以内になるとすべての場合で運転者がブレーキを踏んで減速していることも確認された。一方、ブレーキ有無の混在領域は、車尾時間で 1.3 秒から 2.3 秒周辺に存在しており、相対速度および車尾時間の観点から見れば同じ状況でも、減速挙動にはドライバーの個人差が影響を及ぼす可能性を示唆している。

(2) 車線変更挙動のモデル化

図-2 に示したデータを用いて、a)車線変更車①の加減速挙動ならびに b)受入車線後方走行車③の加減速挙動のモデル化を、ファジィ推論の考え方を適用して試みた。加減速挙動の意思決定に影響を及ぼす変数としては、前車との相対速度や車尾時間等が考えられるが、ドライバーはこの種の変数を基本的に言語的な表記に基づき把握している（たとえば、相対速度が非常に大きい等）と考えられるため、本研究ではファジィ推論の適用を試みた。

a)の車線変更車①の加減速挙動は、受入車線前方走行車②との相対速度および車尾時間、受入車線後方走行車③との車尾時間を説明変数として「If～,then…」形式でのモデル化を試みた。b)の受入車線後方走行車③の加減速挙動は、車線変更車①との相対速度、車尾時間を説明変数としてモデル化した。

図-7 には、b)受入車線後方走行車のモデルの説明力を確認するため、加減速度の観測値と推定値の相関を調べた結果を示す。この図から明らかなように、構築されたモデルの説明力は決して十分ではない。この理由として、ドライバーの運転挙動の多様性が影響しているものと考えられる。図-6 にも示した様に同一の走行条件下でも、あるドライバーは危険と感じるが、別のドライバーは危険と感じない場合が多々ある。この様な、走行環境の知覚ならびに危険度判断の個人差のため、モデルの十分な説明力が得られなかった可能性が高いものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、パソコン上でデジタルビデオデータから時々刻々の車両走行挙動データを抽出し、このデータを用いて客観的コンフリクト指標を算出して車線変更時の危険度評価を試みた。特に、先行車と後続車との速度が拮抗している場合でも車間距離が小さい場合は衝突危険性が高いと考え、PICUD というコンフリクト指標を提案した。加えて、車線変更車ならびに受入車線後方車の速度調節メカニズムのモデル化を試みた。相対速度や車間距離の点から見れば同一の場合でも、ドライバーの減速の有無等にはばらつきが見られ、危険認識に対する多様性が存在していることが確認された。

最後に、今後の研究課題として、①車両走行挙動に関するサンプル数を増加させ分析結果の妥当性を高めること、②ドライバーの衝突危険度の認識・反応の多様性を考慮して車線変更時の速度調節メカニズムのモデル化を行うことを挙げておく。

謝辞：本研究の遂行にあたり、土木計画学研究委員会・交通事故分析とITSに関する研究小委員会より多大なるご支援をいただいた。ビデオデータの利用では、国土交通省京都国道工事事務所ならびに（株）修成建設コンサルタントのご協力を得た。また、金沢大学高山純一教授より有益なご助言を多数頂戴した。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) Hayward, J.C.: Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 24-34, 1972.