

一般道織込み部におけるコンフリクト分析と速度調整モデルの構築

Traffic Conflict Analysis and Modeling of Vehicular Speed Adjustment at Weaving Section*

宇野伸宏**・飯田恭敬***・安原真史****・菅沼真澄****

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

1. はじめに

道路交通システムは我が国の人流・物流の多くを担っており、社会経済活動の活性化には不可欠の存在である。一方交通事故により多くの人命や財産が失われていることも厳然たる事実であり、事故原因の約8割は発見遅れや操作・判断ミス等のドライバーの人的ミスに存している。道路交通システムの安全性向上のためには、道路線形、道路案内等について一層の改善を施し、将来的には開発中の走行支援システム(AHS)等のITS技術を有効活用して、包括的な施策の適用により人的ミス自体を予防することが望まれる。そのための基礎として、道路区間の危険度を客観的・定量的に評価可能な方法論が必要となる。

本研究では客観的コンフリクト指標を活用し、道路区間としての潜在的衝突危険性の評価を試みた。特に道路線形の点で自動車専用道路と比べて、より厳しい一般道路を対象に、織込み部の車線変更に起因するコンフリクトについて分析する。そして、車線変更車ならびにその被影響車両の走行挙動を詳細に分析し、速度調整過程のモデル化を試みる。

2. 車両走行挙動データの収集

(1) 調査対象地点の概要

本研究の対象地点は、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、京都市中心部に向かう府道が直後に国道1号

から分流しており、多くの交通コンフリクトが観測される。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。そのうち5月25日15時～18時のビデオデータを分析対象とする。

図-1に示すとおりに国道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る。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に示す諸量を0.5秒毎にビデオデータから抽出する。

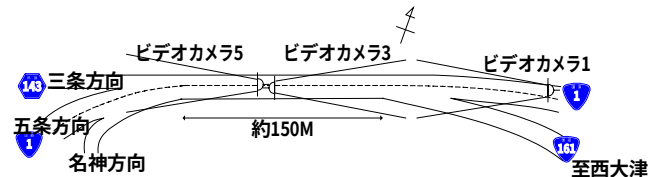


図-1 調査対象地点の概況

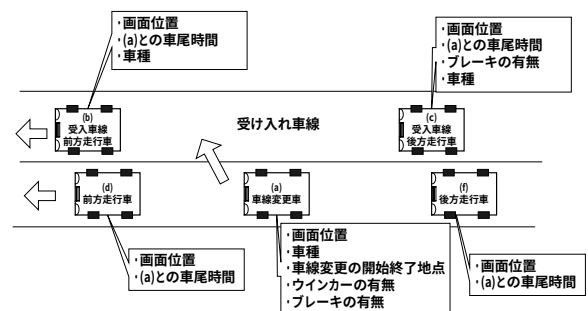


図-2 車両・車線の定義と抽出する諸量

(2) 車両走行挙動データの抽出システム

本研究ではデジタルビデオデータから、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用いた。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、画面上の任意地

* Keywords: 交通流, 交通安全, ITS, コンフリクト分析

**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)

***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)

**** 学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

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、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、速度や加速度も計算可能となる¹⁾。また、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（車頭時間と同等の意味を持つ）も計測できる。

3. コンフリクト指標による道路区間の危険度評価

(1) 客観的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 車両の衝突までに要する時間でコンフリクトの程度を評価する指標である²⁾。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。前方車が仮に急減速を行うとした時に、後続車が反応遅れ後に急減速して、両車が停止した時の相対的な位置を表す指標である。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (1)$$

- 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 (-3.3m/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、後続車が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。

(2) 道路区間としての危険度評価

本来、TTC, PICUD は連続する2台の車両を一組として、車両ペアに関する潜在的衝突危険性を車両の位置、速度から推定する指標である。ここでは

TTC, PICUD を活用して、ある道路区間を単位とした定量的な危険度評価手法について検討する。

この方法は、前方車と後続車を1セットにして、時々刻々の TTC, PICUD を計算し、その最小値（最も危険な値）を車両ペアごとに集計して、累積頻度分布を作成するものである。ここでは車両挙動データを抽出した 15:00~18:00 を 15 分ごとに分け、そのうちの 6 時間帯についての最小 TTC 頻度分布図（図-3）、最小 PICUD 頻度分布図（図-4）を作成した。この累積頻度分布図に基づき、ある基準値を下回る車両ペアの割合の比較により、道路区間として時間帯毎の相対的な危険度評価が可能と考えられる。

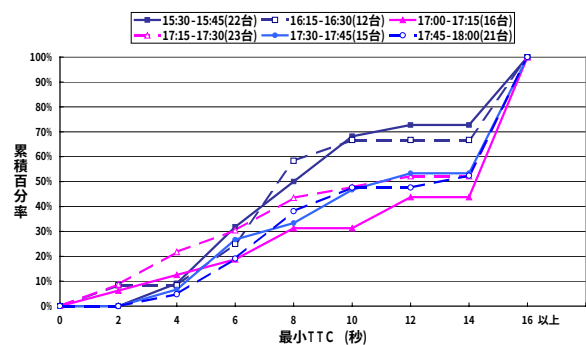


図-3 最小 TTC の累積頻度分布

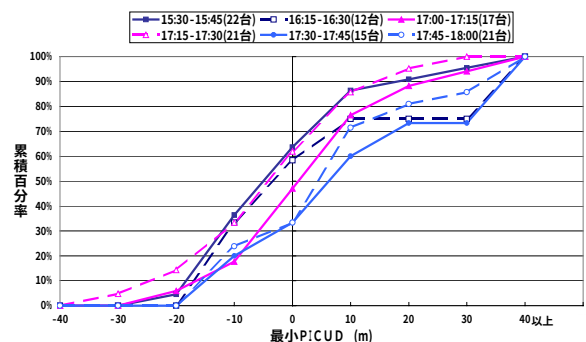


図-4 最小 PICUD の累積頻度分布

(3) PICUD が評価するコンフリクトの特性

表-1 は、TTC ならびに PICUD がある基準値以下となる割合で、潜在的な危険性を時間帯別に評価した結果を示す。人間の反応時間を考慮し TTC については 2 秒以下、ならびに安全側の評価として 4 秒以下となる累積百分率の順で評価した。PICUD については 0m 以下となる割合で評価するが、反応時間については 1 秒と 2 秒の2種類の評価を示す。反応時間 2 秒と仮定すると、最も危険度が高いと判定される時間帯は、TTC・PICUD とともに 17:30~17:45 となる。相対的に危険度の低い時間帯についても、TTC・

PICUD の評価は概ね一致しているが、その間に位置する状況については評価がばらつく。例えば 15:30～15:45 の時間帯については PICUD では危険度 2 位と判定されるが、TTC では 4 位（最下位）となる。

表-1 TTC と PICUD による潜在的危険性の順位

		TTC		PICUD	
		2秒以下	4秒以下	反応時間1秒	反応時間2秒
時間帯	15:30-15:45	4位	3位	1位	2位
	16:15-16:30	2位	4位	3位	4位
	17:00-17:15	3位	2位	4位	3位
	17:15-17:30	1位	1位	1位	1位
	17:30-17:45	4位	5位	5位	6位
	17:45-18:00	4位	6位	5位	5位

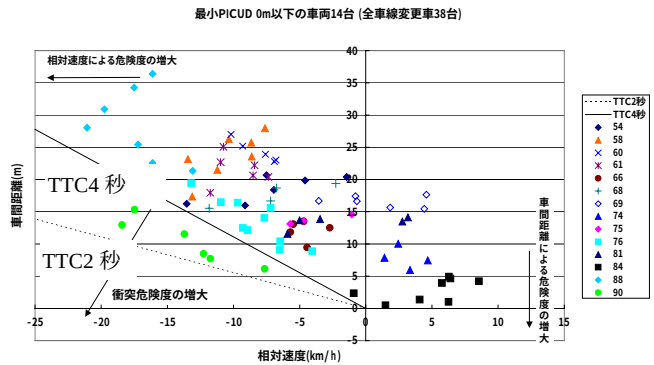


図-5 相対速度と車間距離の分布(15:30～15:45)

図-5 は 15:30～15:45 で最小 PICUD が 0m 以下(前方車急減速時に後続車が衝突を回避できない可能性大)となる車両を抽出し、各タイムステップでの相対速度と車間距離の関係を示す。原点を通る右下がりの点線と実線は、各々TTC が 2 秒と 4 秒を表す。図-5 より、TTC のみで判断すると潜在的な衝突危険性が認められる車両はほぼ無いが、一方では相対速度が正でも車間距離が非常に小さい車両が存在することも分かる。これについては潜在的な衝突危険性は高く、非常に危険であると考えられる。すなわち、客観的なコンフリクト評価の際に、TTC に加えて PICUD を適用することで、TTC では評価し難い潜在的危険性の存在も示唆できると考えられる。

(4) マクロ交通指標とコンフリクト指標

ここでは交通量や大型車混入率等のいわゆるマクロ交通指標と、本研究で示したコンフリクト指標との関連性について検討する。図-6 は流入路線別・時間帯別の交通量である。また図中の[]内の数値は、前述の PICUD による危険度判定順位を表す。この図

より単純に交通量の総量と危険度の順位を関連づけることは難しいことが分かる。また国道 1 号からの流入交通量の割合が高い方が相対的に危険度が高まる様にも見受けられるが、この段階で断定的なことを言うことはできない。また、大型車混入率との関連性についても調べたが、確たる関係を見出すことはできなかった。

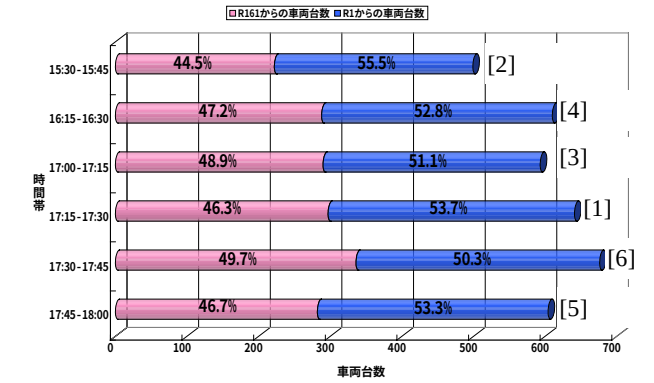


図-6 時間帯ごとの車線別交通量

4. 速度調整のモデル化

(1) モデル化の考え方

ここでは受入車線後方走行車(c)の加減速挙動（速度調整過程）のモデル化を試みる。加減速挙動に対する影響要因としては、一般的に前車との相対速度や車間距離等が考えられるが、ドライバーはこの種の変数を基本的に言語的(linguistic)に認識する（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。

加減速挙動モデルの変数として、車線変更車との相対速度・車間距離に加えて、前タイムステップからの加速度の差を用いる。相対速度・車間距離の計測時点を t 秒とすると、被説明変数である加速度は t+0.5 秒時点、説明変数の加速度の差は t-0.5 秒と t 時点の差を各々対象とする。加速度の差を説明変数に加えたのは、相対速度・車間距離が同じであっても、潜在的な衝突危険度がより高まる場合と緩和傾向にある場合では、受入車線後方走行車(c)の対応が異なるという点をモデルに反映させるためである。

加減速挙動に関しては、各ドライバーが直面する状況や個人の運転特性が影響を及ぼすと考えられる。これを単一のモデルで表現することには無理があると考えられる。ここではコンフリクト指標を用いて、

1)TTC, PICUD とともに危険判定されるケース、
2)PICUDのみ危険判定されるケースに分けてモデル化する。これによりドライバーが直面する状況の点で比較的類似したサンプルを集めることができ、モデルの再現性向上に資する可能性が考えられる。

(2) 構築されたモデルと現象説明力

前記の説明変数を用いて、”If …, then …”形式のルールにまとめた結果を表-2 に示す。ここでは、TTC, PICUD とともに危険判定されるケースについて説明する。説明変数の各カテゴリーへの帰属度は、三角形メンバーシップ関数により表現した。また、加速度の推定にはミニ・マックス重心法を用いた。

表-2 加減速モデルのルール

ルールNo	前件部			後件部
	相対速度	車間距離	前時点からの加速度	加速度
1	M	L	-	PL
2	M	M	-	PS
3	M	S	P	PS
4	M	S	M	NS
5	M	S	N	NM
6	NS	L	-	PS
7	NS	M	-	PS
8	NS	S	P	PS
9	NS	S	M	NS
10	NS	S	N	NM
11	NM	L	-	PS
12	NM	M	-	NS
13	NM	S	P	PS
14	NM	S	M	NS
15	NM	S	N	NM
16	NL	L	-	PS
17	NL	M	P	PS
18	NL	M	M	NS
19	NL	M	N	NM
20	NL	S	-	NL

変数	略号	説明	変数	略号	説明
相対速度	M	中程度	車間距離	L	大きい
	NS	負で小		M	中程度
	NM	負で中		S	小さい
	NL	負で大			
加速度差	P	正	加速度	PL	大きく加速
	M	ほぼ0		PS	小さく加速
	N	負		NS	小さく減速
				NM	中程度に減速
				NL	大きく減速

図-7 はファジィ推論による加速度の推定値と観測値の相関を示している。推定値と観測値の相関係数は 0.71 で、モデルの説明力は比較的高い。ここで用いた TTC, PICUD とともに危険な場合は、走行の自由度がかなり制限された状況であり、受入後方車(c)は、設定したファジィ推論のルールに近い判断メカニズムで速度調整したものと推察できる。

紙幅の制約のため詳細は省くが、PICUD のみ危険判定されるケースでは、加減速挙動モデルの説明力を十分に得ることができなかった(相関係数 0.45)。

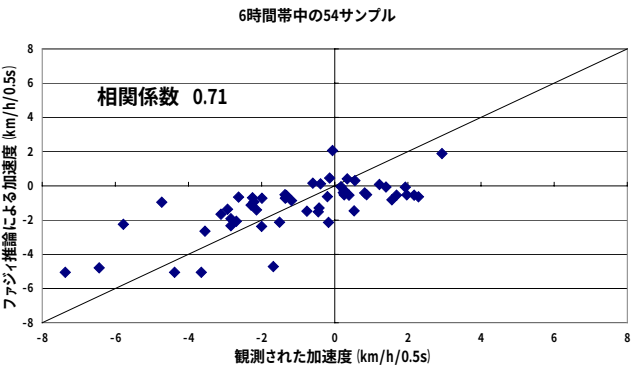


図-7 ファジィ推論結果と観測結果の散布図

5. まとめ

本研究では、PC ベースの車両走行挙動抽出ツールを用いて、一般道織込み部の走行挙動データ取得し、客観的コンフリクト指標に基づき道路区間としての潜在的な衝突危険性の評価を試みた。また車線変更車の影響を直接受ける、受入車線後方車の加減速挙動のモデル化を試みた。得られた知見を以下に示す。

- 1)客観的なコンフリクト評価では、直接的な衝突危険性を表す TTC を一次的な判断基準として、潜在的な危険性を表す PICUD を二次的な判断基準として、危険性の総合評価を試みる事が望まれる。
- 2)加減速挙動モデルの説明力から判断すると、TTC・PICUD により潜在的危険度が高いと判定された状況では、ドライバーの速度調整に関する意思決定が類似している可能性が考えられる。

今後、コンフリクト指標の危険判定基準を確立した上で、コンフリクト指標とマクロ交通特性との関係性について詳細に分析すること、また加減速モデルの再現性向上を試みるが必要と考えられる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、土木計画学研究委員会・道路利用の効率化及び環境負荷削減のためのITS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) 飯田恭敬・宇野伸宏・井坪慎二・菅沼真澄：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，第 24 回土木計画学研究発表会講演集，CD-ROM，2001。
2) Hayward, J.C.: Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 24-34, 1972.