

# 移動座標系観測システムによる交通コンフリクトの合流挙動における個人差の分析

## Traffic Conflict Analysis on Individual Difference in Merging Traffic using Moving Coordinates Observation System\*

若林拓史\*\*・村松慎也\*\*\*

by Hiroshi WAKABAYASHI\*\* and Shin-ya MURAMATSU\*\*\*

### 1. はじめに

交通事故を未然に防止するためには、危険事象である交通コンフリクトを適切に事前に検知してドライバーに警告情報を発することが有効である。真に有効な警告を発するためには、自車両や周辺車両の位置や挙動を計測し、コンフリクトを的確に予測して危険指標とすることが重要である。このため、本研究では車載型のコンフリクト分析システムを開発し、ドライバー毎にコンフリクト値がどのように変化するかを分析を行う。

従来の交通コンフリクト分析は、路側の固定点から観測する場合が多かった。これを地上座標系の交通コンフリクト分析と呼ぶこととする。本研究では、従来の地上座標系コンフリクト分析を補完する目的で車載の交通コンフリクト分析システム(移動座標系コンフリクト分析と呼ぶ)を開発した。また、コンフリクト分析では適切なコンフリクト指標が必要である。従来種々のコンフリクト指標が提案されてきているが、事故防止の観点から、また我が国の高速・混雑の交通状態に適切な指標を開発する必要がある。

交通コンフリクト分析に関する既往研究では、Hayward<sup>1)</sup>によるTTC(Time-To-Collision)、Allenら<sup>2)</sup>によるPET(Post Encroachment Time)、Older and Spicer<sup>3)</sup>による主観的判断法、元田<sup>4)</sup>による錯綜手法研究のレビュー、飯田・宇野ら<sup>5)</sup>によるPICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration)、若林・小嶋ら<sup>6)</sup>による事故多発地点へのTTC指標やPET指標の実測、それに基づいた新しいコンフリクト指標としてのPTTC(Potential Time-To-Collision)の提案<sup>7)</sup>などがある。

本論文では、上記の移動座標系コンフリクト分析システムを紹介するとともに、新たなコンフリクト指標としてのPTTC指標を提案して高速道路の合流挙動分析に適用し、従来のTTC指標等では明らかにできなかったコンフリクト現象を定量化できることを示す。さらに、その値に個人差があることを示し、車載型の安全支援ITSシ

ステムに学習機能が必要であることを示す。

### 2. 移動座標系コンフリクト分析の特徴

地上座標系観測と移動座標系観測を比較する。地上座標系観測では、

- 1) 同一地点で大量の交通を観測できるので、コンフリクトも多量に観測できる。
- 2) 特定地点の不特定多数車両の動きを観測できる。
- 3) さまざまな交通環境(例えば異なる道路形状)のもとで観測すれば、環境がもたらす危険性が把握できる。

一方、移動座標系観測では、

- 1) 同一ドライバーの運転を継続的に観測できるので、個人の特性(各個人の運転のクセ)が把握できる。これにより、安全運転支援システムに個人差を反映する学習機能の付与を検討できる。
- 2) 地上座標系では車対車の位置関係と運転操作の関係が不明確であった。これに対し移動座標系では事故発生のメカニズムの解析および事故防止の手がかりが得られる可能性がある。

このように、コンフリクト分析には地上座標系、移動座標系それぞれ特徴があるが、上述したように地上座標系では研究の蓄積があるものの、移動座標系の研究はあまりなされていないようである。

この分析システムを開発することによって以下の分析が可能となる。1つは交通事故の新しい分析方法である。従来、交通事故の分析は平面道路図を用いて行われる場合が多かった。すなわち、地上座標系での事故分析である。しかし、走行している車両同士の事故分析は、動いている車両を原点として分析することが望ましい場合があるので、この方法論の確立に寄与すると考えられる。もう1つは、コンフリクトに関する個人差の分析が可能となることである。コンフリクト多発地点において観測を続けると、車間距離はドライバーによって相当異なり、きわめて危険に見えるが事故には至らない追従走行も多く観測されることがわかってきた。つまり、ドライバーによって危険の認識に個人差がある可能性があることである。これは車載型のITS安全支援システムに個人差を学習する機能を与える根拠となりうると考えられる。このため、コンフリクト指標にドライバーの個人差がどのように反映するかということも今後の研究予定としている。

\* キーワード: 交通流解析, 交通事故, コンフリクト解析, 移動座標系分析, ビデオ交通流解析

\*\* 正会員 名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘, Tel:0574-69-0131, Fax: 0574-69-0155)

\*\*\* 正会員 (株) アシュリーアソシエイツ (〒107-0062 東京都港区南青山 7-8-1 小田急南青山ビル 8F, TEL:03-5469-2869, FAX: 03-5469 2870)

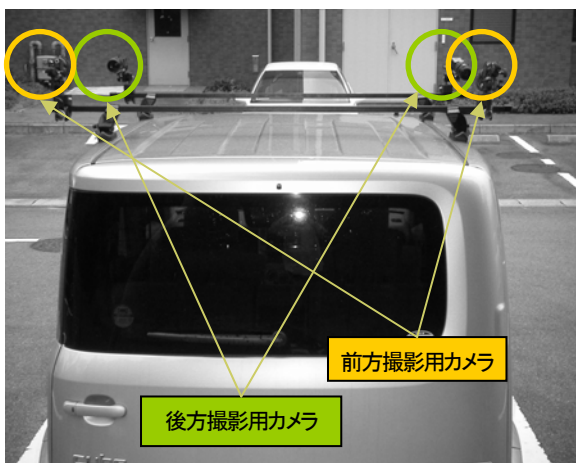


写真-1 コンフリクト観測装置を搭載した車両

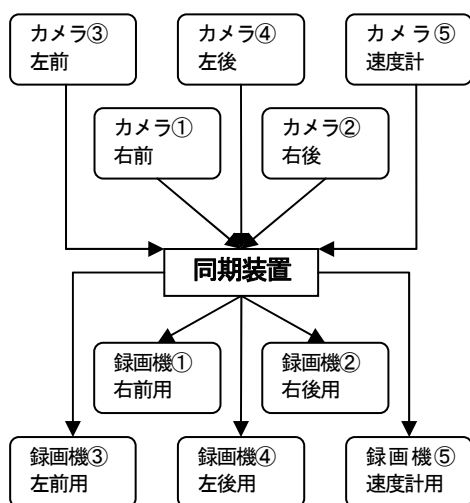


図-1 コンフリクト観測装置の構成

### 3. システムの概要と射影変換

移動座標系コンフリクト観測装置について説明する。図-1, 写真-1に示すように、この装置は屋根上の前後左右に4台のカメラとスピードメーター撮影用のカメラ、複数の映像を厳密に同期させるための同期装置と録画用のビデオカメラから構成されている。このシステムによってシンクロさせた連続的の画像が取得できる。撮影された映像はPCに取り込み、交通流ビデオ解析システム<sup>6)</sup>を用いて画像座標から現実道路上の座標を推定する。

座標変換には射影変換を用いる。ビデオ画像上でピクセル単位系で得られた各タイムスライス毎の数値 $(u, v)$ を、現地の平面座標系 $(x, y)$ に変換する。変換式は以下のとおりである。

$$x = (a_1u + a_2v + a_3) / (c_1u + c_2v + 1) \quad (1)$$

$$y = (b_1u + b_2v + b_3) / (c_1u + c_2v + 1) \quad (2)$$

ここに、 $u, v$ : ピクセル (画面) 座標系の座標、

$x, y$ : 平面 (実) 座標系の座標、

$a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$ : パラメータ

である。この式は写真測量でもよく知られている式であ

るが、カメラの光学中心を原点にカメラ座標系を $(U, V, W)$ 、ビデオ映像の画像座標系 (ピクセル座標系) を $(u, v, w)$ とし、道路平面の現実座標点 $(x, y)$ に、垂直方向の座標軸も考えて、現実座標を $(x, y, z)$ という3次元空間を考えたとき、

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z_1 \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} \quad (3)$$

という射影変換を考えることと同じである。ここで、 $Q$ は、 $3 \times 3$ の回転行列であり、 $z_1$ はカメラの地上高である。

この変換は、カメラ座標系 $(U, V, W)$ をピクセル座標 $(u, v, w)$ とカメラの焦点距離 $f$ で置換することにより、

$$M_i \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

と変換することができる。この変換過程で、 $z_1$  (カメラ高さ)は未知数であるが他の点に対する $z$ 座標値を $z_1$ と同一値に保っておけばよい(性質1)。また、式の誘導過程で $u, v, x, y, z_1$ の間で縮尺(単位系)が異なっても良

いので(性質2)、カメラ高さ $z_1$ は、分析者の都合のよい

大きさ(例えば、地上からのカメラ高さを「1単位」として扱う)に設定してもかまわない。この結果、カメラ高さを計測しなくてもよいという好条件が得られる。この射影変換の推定精度は若林ら<sup>9)</sup>で報告している。式(4)から式(1)(2)が導かれるのは明らかである。

### 4. コンフリクト指標: TTC指標とPTTC指標

本研究で対象とする合流挙動では、コンフリクトの対象車両が同一方向へ走行しているためにAllenらのPET指標<sup>2)</sup>等はあまり意味をなさない(一応、算出はしている)。このため、紙数の関係から本章ではTTC指標とPTTC指標のみに関して述べる。

TTC指標はHayward<sup>1)</sup>によって提案された指標である。この指標は2台の車両が回避行動を伴わず、その時点における速度と進行方向を維持したまま進行すると、何秒後に衝突するかを表す指標である。最大値は無限大で最小値は0秒である。この指標では、車間距離が極端に短くても同一走行速度で追従が行われる限り、TTC値が算出されないという問題があった。

PTTC指標は若林ら<sup>7)</sup>によって提案された指標である。PTTC指標では、上記のTTC指標の短所を補い危険な追従状況においてもコンフリクト指標が算出されるという利点を有している。PTTCでは、先行車の進行方向が変化しないで速度変化が生じた場合に、後続車はその時点における速度と進行方向を維持したまま進行すると衝突するまでにかかる時間で定義される。先行車のドライバーが予想外の行動をしたときにも算出できるようにした「IF-THEN」型の指標であるといえる。速度変化の与え方は論文<sup>7)</sup>では3通り与えたが、本研究では簡単のため1種類とし、減速率は1秒/10km/h (1秒で10km/h減少する)とした。これは軽いブレーキ操作に相当する。PTTC値の解釈に関しては、もしPTTC値が0.5秒とされている人間の反応時間以下であるならば、前車の挙動変化に対応できないことを表しており追従走行状態がきわめて危険であることを示している。

### 5. 合流挙動への適用と考察

以上述べた移動座標系観測システムを車両に搭載し、実験走行を行った。使用車両は、運転者所有の乗り慣れた乗用車であり、観測装置は市販のルーフキャリアに取り付けている(写真-1)。撮影は名古屋高速環状線を1回の観測につき約1時間(ビデオテープの収録時間に対応)、数周走行して行った。出入口、環状線外への分流、放射線から環状線への合流箇所がいくつあり、比較的交通量が多い。また、分合流部が多く車線変更(ウィービング)をしなければならない状況がある。

本研究では3人のドライバー(A, B, C)の走行データを分析する。走行実験はAは3回、B, Cはそれぞれ2回行った。分析ケースは、以下に述べるようにドライバーAは64場面103合流挙動、Bは37場面58合流挙動、Cは20場面38挙動であった。

ここではドライバーAについて詳しく述べる。合流部が連続する区間の交通状態は、1, 2回目はほぼ円滑、3回目は混雑であった。撮影した映像から、追い越しや合流などによる車線変更の場面と、他車が車線変更してきたときの受け入れの場面を64場面抽出した。解析するデータは観測車と前方車両との位置関係と速度、コンフリクト指標である。後方車両による危険性は観測車のドライバーが必ずしも能動的に対応できないので除外している。64場面のうち先行車両が複数ある場合はそれらを同時解析し、合計103の合流挙動を解析した。これら103の合流挙動のうち、周辺車両の動きを円滑状態(観測ケース37~51)、混雑状態(観測ケース52~64)別に図-2に示す。円滑状態と混雑状態とで前後車両との位置関係には大きな差がないといえる。また、103ケースのうち1ケースについて、横軸に経過時間、縦軸に各種コンフリクト指標や速度、車間距離等をプロットした様子を図-3に示す。この事例は、合流車両が高速道路入り口から本

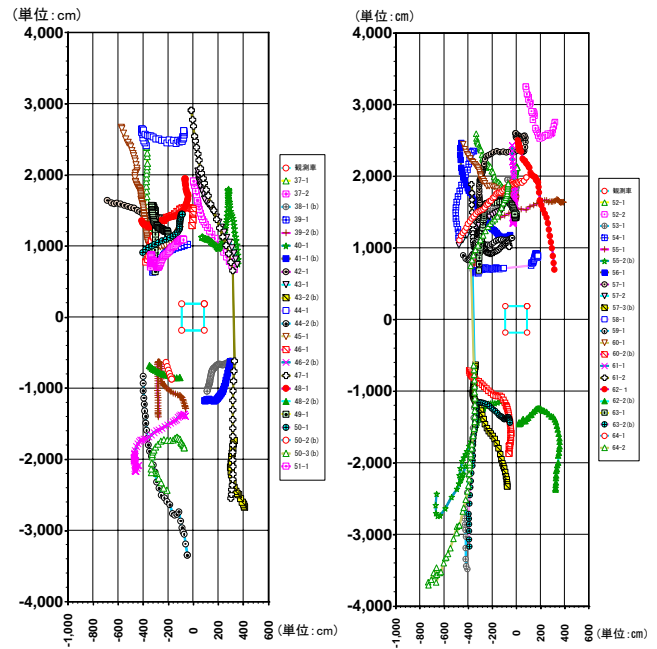


図-2 0.2秒ごとの車両の位置関係の変化  
(ドライバーA:左図:円滑時,右図:混雑時)  
原点上の四角が観測車両

線に合流し、観測車の前方に合流し、かつ観測車は車線変更を行わないケースである。このケースでは、合流車両は時速約60km/hで流入してくる。これに対し観測車の速度は約70~80km/hである(本線部分の全体的な速度の流れが約70~80km/hであった)。合流直前までTTC指標が漸続的に有限値として算出される。これは、TTC指標の性質(4.参照)により、進入角度があること、および速度差がある(観測車に前方合流する合流車の速度の方が遅い)ことから有限値と計算されるためである。一方、PTTC値はTTCと異なり安定的に有限値が算出されている。これは合流車の速度低下を常に考慮して算出しているためと考えられる。合流が終了すると、合流車は観測車よりも速度を上げて前方に遠ざかる。この結果、PTTC値の算出も終わる。

103の合流挙動を分類すると以下のようなことがいえる。まず、103ケースのうち、a)TTC指標が算出されるか否か、b)PTTC指標が算出されるか否か、で分類すると表-1のようになった。103ケース中、TTCは41回観測され、PTTCは65回観測された。PTTC値が(有限値として)算出されるケースが多く、TTC値はあまり算出されないケースが多いといえる。また、TTCおよびPTTC値の両者が算出される37ケースについて、経過時間に伴ってどのように両指標が算出されるかを分類したところ、ア)PTTCの算出されている時間範囲内でTTC値が算出されるケースが10例、イ)PTTCが算出されている時間範囲外でTTC値が算出されるケースが16例、ウ)アとイが同時に生起しているケースが11例、エ)TTC値が算

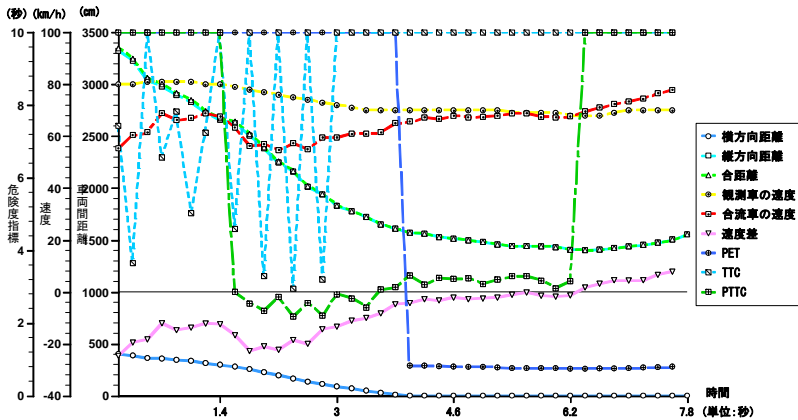


図-3 車間距離・速度・各種コンフリクト指標

表-1 TTC/PTTC指標の観測状況の関係

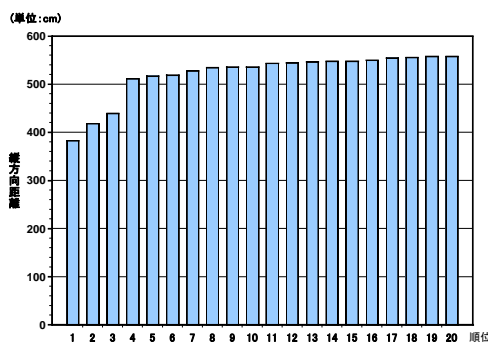
TTC/PTTCの観測回数		PTTCが観測される/されない		合計
TTCが観測される	される	37例	4例	
TTCが観測されない	されない	28例	34例	62例
合計		65例	38例	103例

表-2 表-1におけるTTC/PTTC指標同時観測の状況

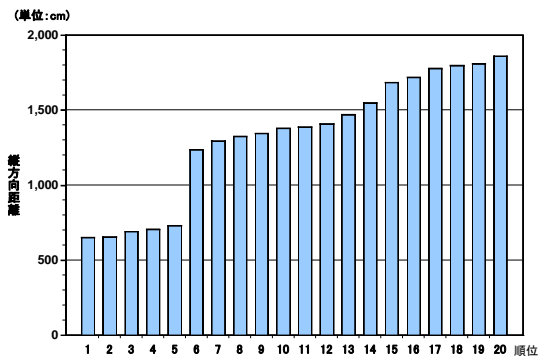
TTC/PTTCの観測重複度合い	ケース数
ア)PTTC算出時間範囲内でTTC算出	10
イ)PTTC算出時間範囲外でTTC算出	16
ウ)ア)とイ)の和集合	11
エ)TTC算出時間範囲内でPTTC算出	0
合計	37

出されている時間中に PTTC 値が算出されるケースは皆無、であった。PTTC 算出時間範囲内で TTC が算出される回数はアとウの合計回数で、全 37 例中 21 例である。後述するように PTTC 値は安定的に、TTC 指標は不安定に算出されるので、このことから、PTTC 指標は、TTC 値の算出以前から予防的警告の意味で算出されることが分かる。図-3 は、ウの事例の一例であり、PTTC 算出時間外(1.4秒以前)で TTC 値が算出される理由は合流時の 2 車の角度によるものと考えられる。

TTC 値や PTTC 値のドライバー間比較を行う前に、ド



ドライバーB



ドライバーC

図-4 横方向距離が 0 の場合の縦方向距離(速度 50km/h 以上)

ライバー間の挙動比較を示す。図-4 は、横方向距離が 0 のときの各ドライバーの縦方向距離の取り方の差違である。このようにドライバー間で運転挙動に変動の大小があり、このことから安全支援装置にドライバー特性を組み込む必要があるといえる。

## 6. まとめ

本論文では移動座標系のコンフリクト分析システムを構築し、高速道路における合流挙動に適用した。主に TTC 指標と PTTC 指標とを比較した。得られた成果として、全般的な傾向は以下のようにいえる。

- (1) TTC 指標は断続的かつ不安定な挙動をするのに対し、PTTC 値は安定的に算出される。
- (2) 合流時の 2 車両の角度に起因する TTC 算出事例を除けば、PTTC 指標は衝突可能性を示す有効なコンフリクト指標であるといえる。
- (3) 複数の被験者に対して、個人差の分析を行い、個人の差違を確認した。

### 参考文献

- 1) Hayward, J.C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 384, 24-34.
- 2) Allen, B.L., Shin, B.T. and Cooper, D.J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collision. Transportation Research Record, 667, 67-74.
- 3) Older, S.J. & Spicer, B.R. (1976) Traffic conflicts - development in accident research. Human Factors, 18, 335-350.
- 4) 元田良孝：錯綜手法に関する研究の概観，交通工学, Vol.27, No.2, pp.35-46, 1992.
- 5) 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，土木計画学研究・講演集, No.24, CD-ROM, 2001.
- 6) 若林拓史・小嶋紀之・大石 理：交通流ビデオ解析システムの開発と交通コンフリクト解析への適用，土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, pp.765-775, 2002.
- 7) 若林拓史・高橋吉彦・新見栄治・蓮花一己：交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度指標の提案，土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.949-956, 2003.