

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*

Development of Vehicle Tracking System using Digital VCR and Its Application to Traffic Conflict Analysis*

若林拓史**・小嶋紀之***・大石 理****

by Hiroshi WAKABAYASHI**, Noriyuki KOJIMA*** and Satoshi OHISHI****

1. はじめに

交通安全対策の効果を分析するには、事故指標よりも発生回数の多い交通コンフリクト（交通錯綜）を調査するのが効果的であるといわれている。交通コンフリクトおよびその危険度判定は専門家の経験的主観的判断によるところが大きい。しかし、観測者の訓練の程度や主観性の問題があり、この点を改良するために TTC 指標¹⁾や PET 指標²⁾等の定量的基準が提案されている。交通コンフリクトには種々の種類があることから、筆者は専門家による判断と定量的指標は相補的な関係にあると考えている。

交通コンフリクトの計測や ITS への応用について既存研究を整理する。まず、この種の古典的な指標として上記の TTC 指標¹⁾や PET 指標²⁾が挙げられる。TTC 指標は、Hayward(1972)によって提唱された衝突までの時間 (Time-to-collision)を表す指標である。彼はテレビ用フィルムカメラを使用してワシントンDC中心部の十字交差点（信号交差点）での出会い頭事故を対象に分析を行っている。当初は TMTTC(Time measured to collision)として提案したが、後に TTC(Time-to-collision)として一般的に用いられるようになった。2台の車両が回避行動を伴わず、その時点での角度と速度でそのまま進行すれば、何秒後に衝突するか、で定義される指標である。最大値は無限大、最小値は0秒（衝突）である。PET 指標は、Allen *et al.* (1978)によって提唱された交通コンフリクト測度（行動後到達時間、Post encroachment time）である。車両1がその時点で占有している場所を衝突の可能性のある地点とし、車両2がその場所に到達する時間で定義されている。Allen らは、トロント市内の交差点においてアナログビデオカメラを使用し交差点左折交通（我が国における

右折交通）と対向する直進交通を対象に研究を行った。彼らは、PET 指標の他に5つの指標を考案し、コンフリクト指標の信頼性や妥当性について分析を行った。評価基準として、事故事象との関連、他のコンフリクト指標との関連、異なる日での一致度、ブレーキを利用した場合のコンフリクト技法との関連性が用いられた。最終的には分析の容易さ、及びそれに伴うデータ収集の可能性を評価して、Allen らは PET を交通コンフリクトの最善の指標として提案したものである³⁾。元田⁴⁾は、錯綜手法に関する研究のレビューを行っており、この中で、定量的指標といえども解析に時間と労力がかかるため現場に応用するのが困難であり、我が国では実用に供されていない、と述べている。このため、我が国でもコンフリクト分析の実例は少ないのが実情である。したがって、TTC 指標や PET 指標の特性もわかっておらず、またわが国特有の交通状態への適用性についても研究がなされていない。しかし、近年、デジタルビデオや画像解析の利用可能性が飛躍的に向上し、安価な解析システムの構築が可能となってきており、いくつかの研究が見られるようになってきた。飯田・宇野⁵⁾は、織込み部における合流挙動をデジタルビデオから解析する方法を開発し、一次元上で TTC 指標および独自の指標としての PICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration)指標を提案している。この PICUD 指標は、前方車が急減速した場合、後続車が反応遅れを伴いながら急減速して両車が停車したときの相対的な位置を距離で表す指標である。PICUD が0(m)以下の値を示す状況は、前方車が急減速することにより後続車が急減速しても衝突が回避できない状況を表している。また、池上・山中⁶⁾、山中⁷⁾は、無信号小交差点での ITS 支援安全システムの構築を目的として、交差点に流入する車両挙動を同様のビデオ解析システムを開発して速度から加速度（減速度）を計測し、停止距離推定モデルを提案している。また、赤羽⁸⁾、浅野・赤羽⁹⁾は、離れた位置に設置した複数のビデオカメラの映像を同期させ、車両の比較的長距離にわたる軌跡を捉えるシステムを開発している。

若林・小嶋¹⁰⁾も同様の交通流ビデオ解析システムを開発し、交差点左折交通流の速度変化や歩車分離信号の実現可能性について分析している。交通コンフリクト指標に関しては、前記飯田・宇野⁵⁾の研究が見られるが、

* キーワード：交通流解析，交通事故，コンフリクト解析，効果評価，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）

*** 非会員 岐阜県警察加茂署（〒505-0034 岐阜県美濃加茂市古井町下古井，Tel:0574-25-0110）

**** 非会員 鳥羽洋行株式会社（〒424-0847 静岡県清水市大坪2丁目5-22，tel:0543-44-6570）

車両挙動を1次元上で分析しているので2次元展開が今後の課題であると考えられる。筆者らの開発した方法では、車両挙動を2次元的に精密に把握可能である。これを事故多発地点に適用してTTC指標やPET指標を測定し、これをもとに我が国の実情にあったコンフリクト指標を算出するための基礎的な研究を行っている^{11),12)}。

本研究の第1の目的は、交通安全対策の効果評価を目的として横断歩道橋等から撮影されたビデオ画像から複数車両の走行軌跡を測定するシステムを開発することである。第2の目的は、このシステムを用いて実際に交通コンフリクト解析を行うことである。ここでは、古典的なTTC指標等の交通コンフリクト指標およびその欠点を補った筆者ら独自のコンフリクト指標を算出して各指標の特性を考察し、今後さらに有効な指標があるとすれば、その指標の備えるべき条件を考察することである。

本論文の構成を述べる。2.では、交通コンフリクトに関連する概念としてハザードとリスクについて述べる。3.では、本研究で開発した交通流ビデオ解析システムについて述べる。4.では、本解析システムの精度と特徴について述べる。5.では、本研究で用いた種々のコンフリクト指標およびその算出方法を具体的に紹介している。6.では、きわめて危険な交通コンフリクトを対象とした事例解析を述べ、各指標の特性を考察している。7.では、各指標が算出されないコンフリクトのケースについて考察した上、今後期待される新たな指標について考察している。8.では、まとめと今後の課題を整理している。

2. ハザードとリスクおよびコンフリクト指標の意義

交通事故発生は、交通上危険な場（ハザード）において危険な交通コンフリクト（リスク）（衝突しそうな状況）が生じ、これらの交通コンフリクトのうちいくつかは実際の事故となる、というハザード、リスク、事故発生の階層構造をとっていると考えられる。ここに、ハザードとは、外界にあって事故を引き起こす可能性のある対象や事態を意味している。リスクとは、ハザードが存在する状況で顕在化する危険事象（コンフリクトや事故）のことである。蓮花¹³⁾は、ハザードは定性的な概念（「どのような条件・対象が事故を招くか」）、リスクは事故の可能性に対する定量的な概念（「事故発生の可能性はどの程度高いか」）であると述べている。したがって、事故の潜在性としてリスクがあり、交通コンフリクトの質および量を対策前後で計量化すれば、事故対策の有効性を議論できることとなる。

対象とする交通コンフリクトが、どの程度の危険性があるか、という判断は専門家による主観的判断に任されており、この判断の妥当性を検証する必要がある。このために、本研究で開発するビデオ解析システムが有効と

なる。専門家による交通コンフリクトの抽出と抽出された交通コンフリクトの危険度評価を対で行えば、潜在的事故発生の危険性を定量化でき、同時に安全対策の効果評価を行うことができる。

3. 交通流ビデオ解析システムの概要

本研究では図-1に示すビデオ解析システム¹⁰⁾を開発した。ここ3,4年の間に、

- ①デジタルビデオカメラが購入しやすくなったこと、
- ②画像処理に適した言語が使いやすく進歩したこと、
- ③高解像度のビデオキャプチャボードおよびソフトウェアが進歩したこと、

などによって、画面上の対象物の位置情報を、他の機器と複雑に組み合わせることなく安価にパーソナルコンピュータ内ですべて処理できるシステムの構築が可能となった。開発したシステムは画面上での物体の動きをマウスで追うことにより、対象物の位置情報を記録することができるものである。

(1) 画像取り込みシステム

本研究では撮影にデジタルビデオカメラを用いる。静止画やスロー画像などのボケやブレを減らして解析誤差を減少させるにはたいへん有効である。撮影した映像はビデオキャプチャボードでキャプチャすることによってAVIファイルとして保存し、後続過程で再生して解析する。このときのキャプチャサイズは4:3のTVサイズでは現在のところの最大サイズである640×480ピクセルである（縦方向の480ピクセルは、走査線の数に対応している）。

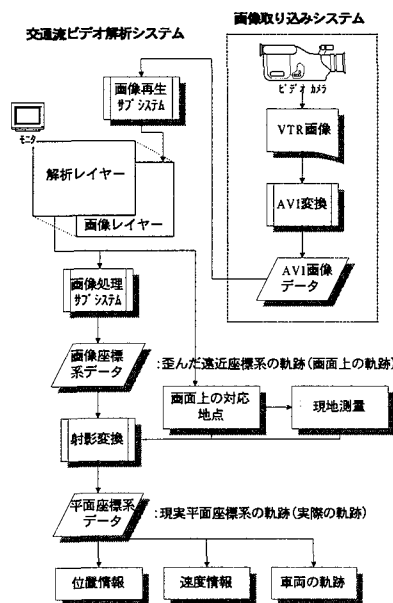


図-1 交通流ビデオ解析システムの概要

(2) 画像解析システム

画像レイヤーと解析レイヤーを重ね合わせることでより画像を数値処理する。今回は対象物をマウスにより追跡して軌跡を記録する方法をとった。この方法にはさらに種々の方法が考えられるが、今回は等時間間隔のコマ送り画像を使用して、対象物の等時間間隔の軌跡を数値処理した。速度、加速度、単位時間内移動量などの出力が可能である。この方法により短時間で大量の位置情報を捉えることが可能となった。複数の車両の軌跡の記録も可能である。座標単位系はピクセル単位を使用した。

なお、マウスによる追従位置は、道路舗装面上である必要があるため、タイヤと道路との接地面をマウスでトレースすることが望ましい。

(3) 射影変換処理

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 (X,Y) を、現地の平面座標系 (U,V) に変換する。変換式は以下のとおりである。

$$U = (a_1X + a_2Y + a_3) / (c_1X + c_2Y + 1), \quad (1)$$

$$V = (b_1X + b_2Y + b_3) / (c_1X + c_2Y + 1), \quad (2)$$

ここに、 X, Y : ピクセル (画面) 座標系の座標、

U, V : 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。この過程では現場での簡単な測量作業が必要であり、ピクセル座標系、平面座標系の両座標系での既知点4点以上からパラメータを推定する。

(4) 移動量の平滑化と現地平面座標の確定

(3)を時系列的に並べると不等間隔になる。この理由は、解析画面上での解析対象が遠方になればなるほど、ピクセル座標上での移動量が少なく、かつ、ピクセル座標値が離散的に与えられることに起因している。したがって、不等間隔になるのは当然といえる。これを平滑化してできるだけ等間隔にする必要がある。

平滑化の処理法としては、種々考えられるが、B-spline平滑⁹⁾、移動平均法などが考えられる。B-spline平滑は、目的関数 f の n 次微分値を設定し、 $d^n f/dx^n = 0$ として、各タイムスライスでの変化量 (速度、加速度) を最小化しようとする考え方である。しかしながら、平滑化処理は行われるものの、境界条件の設定が困難であり、走行距離の保存ができない、またピクセル座標系で得られるオリジナル値の1次情報の方が有用である、といった問題が生じた。移動平均法では、1次情報が比較的保存され、不等間隔が比較的等間隔に補正される。また、急ブレーキを踏むなどの行為は、不等間隔となって当然なので、二律背反的な処理も可能である。このため、本研究では移動平均法によって、各タイムスライスでの車両位置の補正を行った。

(5) タイムスライス間での移動量等の算出

各タイムスライス毎の車両の現地座標 (U,V) をもとに、

移動量 (速度) や加速度を計算する。今回は2台の車両によるコンフリクトを対象とするので、2台の車両の各タイムスライスでの位置、車両相互間の距離、および後述するコンフリクト指標としてのTTC指標、近似的TTC指標、PET指標等を算出している。

4. 本ビデオ解析システムの解析精度と特徴

(1) 本ビデオ解析システムの解析精度

通常、カメラ位置は高層ビルや鉄塔からの直下映像でない場合が多い。例えば、横断歩道橋などの斜め角度からの映像解析にも耐えられないといけなない。そこで、本システムの精度を検討した。大学キャンパス内に格子点を設置し、各階から撮影を行い、精度の検証を行った。

図-2のように1辺が400cmの格子点25個分を大学キャンパス内中庭に設定した。この400cmの根拠は道路の1車線の幅員に近い値であることである。各階 (2階~5階) から撮影を行った。ここでは、実際の横断歩道橋からの撮影とほぼ同じ高さの2階からの射影変換の精度について考察を加える。2階からの撮影では図-2において、点4, 5, 10, 15, 20, 21~25が画面からはみ出るか、きわめて読みとりにくい画像位置にあった。このため、残りの点を用いて精度の検証を行った。本射影変換では、式(1),(2)において未知変数が8個なので既知点 (U,V) 4組、すなわち、コントロールポイントは4点必要である。ここに、 (U,V) は平面座標系の位置座標で、 U は横断方向、 V は縦断方向を表している。コントロールポイントを選定し、他の点の座標位置を推定して、精度の検討を行った。この結果、コントロールポイントのとり方によって、精度に若干の差が出てくることが明らかとなった。表-1は、コントロールポイントをできるだけ画面の周囲に持ってきて、未知点の座標をその内側にもってきた場合である。これを内挿的方法と呼ぶこととする。表-2では、コント

21	22	23	24	25
16	17	18	19	20
11	12	13	14	15
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

図-2 ビデオ解析システムの精度検証のために設けた格子点 (16m×16m)

表-1 射影変換による精度（内挿の方法による）

座標番号	実際の座標((U, V)座標系)		推定した座標		誤 差		
	U	V	U'	V'	U-U'	V-V'	$\sqrt{(U-U')^2 + (V-V')^2}$
●1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	402.5	0.0	400.54	-3.50	1.96	3.50	4.02
3	805.0	0.0	806.12	0.41	-1.12	-0.41	1.19
6	0.0	402.5	-1.13	399.50	1.13	3.00	3.21
7	400.5	403.5	402.21	401.92	-1.71	1.58	2.33
8	803.5	402.5	812.23	401.28	-8.73	1.22	8.81
●9	1207.1	400.5	1207.10	400.50	0.00	0.00	0.00
11	0.0	805.0	-1.16	809.25	1.16	-4.25	4.41
12	402.0	805.7	405.21	811.50	-3.21	-5.80	6.63
13	804.5	806.5	810.04	821.28	-5.54	-14.78	15.79
14	1209.5	804.7	1210.97	804.26	-1.47	0.44	1.53
●16	0.0	1207.5	0.00	1207.50	0.00	0.00	0.00
17	402.8	1205.0	403.75	1212.42	-0.95	-7.42	7.48
18	805.5	1203.5	809.58	1208.23	-4.08	-4.73	6.25
●19	1207.0	1203.7	1207.00	1203.70	0.00	0.00	0.00

●は、コントロールポイントを表す。

単位:cm

表-2 射影変換による精度（外挿の方法による）

座標番号	実際の座標((U, V)座標系)		推定した座標		誤 差		
	U	V	U'	V'	U-U'	V-V'	$\sqrt{(U-U')^2 + (V-V')^2}$
1	0.00	0.00	1.09	9.06	-1.09	-9.06	9.13
2	402.50	0.00	396.72	2.14	5.78	-2.14	6.16
3	805.00	0.00	802.41	2.49	2.59	-2.49	3.59
●6	0.00	402.50	0.00	402.50	0.00	0.00	0.00
7	400.50	403.50	397.91	403.91	2.59	-0.41	2.63
8	803.50	402.50	807.56	402.27	-4.06	0.23	4.06
●9	1207.10	400.50	1207.10	400.50	0.00	0.00	0.00
●11	0.00	805.00	0.00	805.00	0.00	0.00	0.00
12	402.00	805.70	400.39	808.77	1.61	-3.07	3.47
13	804.50	806.50	804.31	820.07	0.19	-13.57	13.57
●14	1209.50	804.70	1209.50	804.70	0.00	0.00	0.00
16	0.00	1207.50	1.16	1195.22	-1.16	12.28	12.33
17	402.80	1205.00	398.46	1204.06	4.34	0.94	4.44
18	805.50	1203.50	802.88	1204.00	2.62	-0.50	2.66
19	1207.00	1203.70	1203.95	1203.52	3.05	0.18	3.06

●は、コントロールポイントを表す。

単位:cm

ロールポイントを内側に持ってきて、未知点をその外側にもってきた場合である。これを外挿の方法と呼ぶこととする。内挿の方法では、画面手前では1~4cm程度の誤差、画面の奥でも6~7cm程度の誤差、最大でも16cm程度であるといえる。これに対して外挿の方法では、画素の多さから精度が高いと見込まれる画面手前の誤差が大きいことがわかる。また、表-1、表-2に共通して点13の誤差がきわめて大きいことがわかる。この原因が不明であるが、測量の際の誤差によるものかもしれないと考えられる。また、コントロールポイントでは理論値通りに誤差がゼロとなっている。点13およびコントロールポイント以外の10点の誤差は、内挿の方法では平均4.6cm、外挿の方法では平均5.1cmであった。画面中心部では水平方向にほぼ16mの撮影範囲が確保されているので、16cm程度の誤差は誤差率約1%といえることができる。内挿の方法の方が精度が優れているので、実際の撮影においてもできるだけ画面の周囲にある目標物を測量してコントロールポイントとすることが望ましいことがわかった。実際、後述の写真-1等での評価では、そのように行った。

誤差に関して既存文献での記述をレビューすると、赤羽⁸⁾は、横断方向に最大2m、縦断方向に最大4mの誤差が生じたことを報告している。誤差のその撮影範囲に対する比率が述べられていないので、この2~4mの誤差が筆者らと同等のものであるかどうかは不明であるが、文献8)で示されている撮影画像から判断して、若干その誤差は筆者らのよりは大きいといえる。また、池上・山中ら⁹⁾によれば同一区間に対する前方撮影カメラと後方撮影カメラによる相対誤差は平均0.6mであると報告されている。

著者らによるシステムの精度は、車両の大きさを考える場合、満足のいくレベルであるといえる。さらに、この誤差は、現地基準座標に対する絶対的なものであり、例えば2台の車両間の位置は、現地基準座標に対して相対的に同じ距離だけずれることとなる。したがって、車両相互間の距離の精度は保つことができる。よって、本ビデオ解析システムでは、良好な精度でコンフリクト事象を解析できると考えられる。

(2) 本ビデオ解析システムの特徴

本システムの長所としては、

- ① 安価であり、可搬性に優れている。
 - ② 短時間で大量の位置情報を記録できる。
 - ③ 同一のパソコン内での数値処理が可能なので、後続の統計的処理にも連続性が保て数値処理が容易である。
 - ④ 完全に画像を静止させて解析と入力ができる。
 - ⑤ ④の特色とコマ送り静止画像を利用することで、車両追跡時の入力個人エラーを相当除去できる。
- 等である。特に、従来のアナログ画像では、アナログビデオ、アナログディスプレイにより再生画像がブレるなど安定しなかった。今回のシステムでは、ビデオ記録・再生とモニタ上での再生・解析画像の両者がデジタル処理されているので、画像が小刻みに震えるなどという解析上の困難な点は一掃されている。

本システムの短所としては、

- ① 対象物が遠方になればなるほど解析精度が落ちる。これは、ビデオの画像上で車両は遠方に行けば行くほど動きは小さくなるので、不可避免的な欠点であるといえる。解析の限界は、ピクセル座標系でトレースするピクセルの位置変化がほとんど生じなくなった場合であると考えられる。ただし、ズーミングアップによって、遠方の解析はある程度可能になっており、後述の動画解析でもこの方法を併用している。

本ビデオ解析システムの画面の一部を図-3～5に示す。なお、図-3は後に詳しく紹介するきわめて危険な交通コンフリクトである。

5. 交通コンフリクトの指標

本ビデオ解析システムにて各車両の0.2秒ごとの位置を求め、以下に述べる各種指標を算出する。

(1) TTC指標

1. で述べたように Hayward(1972)によって提唱された衝突までの時間(Time-to-collision)を表す指標である。2台の車両が回避行動を伴わず、その時点での角度と速度を維持してそのまま進行すれば、何秒後に衝突するか、で定義される。最大値は無限大、最小値は0秒(衝突)である。本研究では、この指標を(厳密的)TTC指標と呼び、以下の手順で算出した。

(2) 厳密的TTC指標の算出法

各タイムスライス(0.2秒)毎に以下を計算する。

- ① 2台の車両の進行角度を計算する。
- ② 2台の車両の1タイムスライス(0.2秒のこと)での速度をそれぞれ計算する。
- ③ 2台の車両が現在の速度、方向のままで進行したと仮定する。
- ④ 2台の車両の予定軌跡が交差するか否かを判定する。
- ⑤ ④で交差が生じない場合は計算をstopする。



図-3 解析画面の例(1): きわめて危険性の高い交通錯綜の例

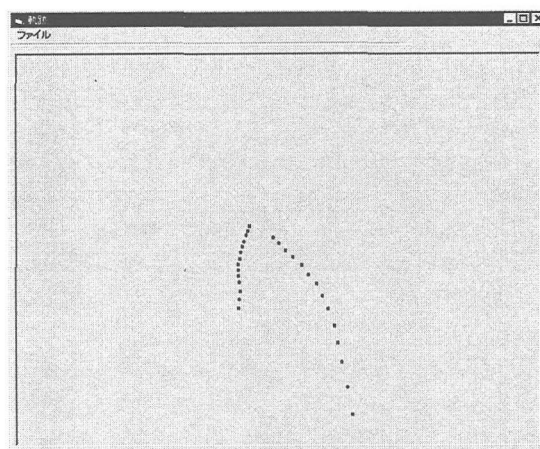


図-4 解析画面の例(2): 図-2での軌跡のプロット(ピクセル(画面)座標系)

座標	
ファイル	
画面上の座標	2点間の距離
272,315	192.4162
412,447	200.1424
273,303	172.7338
407,412	179.2121
273,293	155.5956
402,380	163.4044
272,281	144.9172
396,356	146.1848
273,277	130.5871
390,335	136.1910
272,267	121.7415
383,317	125.2397
272,259	110.8602
375,300	112.7297
273,252	101.8430
369,286	102.5524
275,245	87.28115
358,272	88.76936
276,238	76.24303
349,260	76.55063
277,234	62.09669
337,250	60.16643

図-5 解析画面の例(3): 座標数値出力例

- ⑥ ④で交差が生じる場合は、質点（後部車輪の位置）の交差位置を計算する。
- ⑦ 交差するまでの時間を、車両1、車両2それぞれについて計算する。
- ⑧ 交差するまでの時間は、質点の移動であるから、車両の長さ（5m と設定）を考慮して実際に接触するまでの時間を計算する。

(3) 近似的TTC指標 (a -TTC 指標)

上記TTC指標では、

- ① 0.1秒でも時間差があって衝突が回避される場合にはTTC値は無限大となる。
- ② 2台の車両がきわめて接近し、側面衝突をするきわめて危険な状態になっても、2台の車両の相対的角度がゼロ（2台の車両は全く平行に走行）あるいはきわめて小さい場合にはTTC指標は算出されないか、きわめて大きな値（安全な値）で算出される。

この①②の欠点を補うために筆者らが考案した指標である。具体的には、車両間の距離が短縮しており、かつ走行角度が車両が相互に接近する方向にある場合、何秒後に車両間の距離が0になるかを算出したものである。

(4) 近似的TTC指標の算出法

各タイムスライス(0.2秒)毎に以下を計算する

- ① 下記(8)での合距離を算出する。
- ② 2台の車両の予定軌跡が交差するかどうかを判定する。
- ③ タイムスライス間で合距離の増減を計算して、その時点での増減率がそのまま推移すれば何秒後に0になるかを計算する。

(5) PET 指標

1.で述べたようにAllen *et al.* (1978)によって提唱された交通コンフリクト測度（行動後到達時間、Post encroachment time）である。車両1がその時点で占有している場所を衝突の可能性のある地点とし、車両2がその場所に到達する時間で定義されている (Allen *et al.*, 1978)。

本研究においては、厳密なTTC指標で、2台の車の予定軌跡が交差する場合で衝突が生じない場合はTTC指標は算出されない。しかし、衝突が生じなくても、その走行軌跡の交点を通過する時間差が小さい場合、これは『ニアミス』と考えられその数値は有用であると考えた。この時間差をPET指標として求めている。ただし、TTC指標が計算できる場合は、『ニアミス』ではなく衝突するのであるから計算をstopする（この時、便宜上、ニアミス指標は負値として算出する）。

- (6) 横方向距離：左側車両の右端と右側車両の左端間の距離差である。
- (7) 縦方向距離：2台の車両が同一車線上を走行している場合には、車間距離と同一である。
- (8) 合距離：(6)と(7)の各距離のEuclid 距離である。

6. 事例解析例と各指標の特性

コンフリクト解析の対象地点は、京都府と滋賀県の県境に位置する一般国道1号京都市山科区四ノ宮奈良野町の西向き交通である（図-6）。同地点は、一般国道1号に161号が合流した直後、1号から名神高速道路京都東IC、京都府道四ノ宮四ツ塚線等に分流する地点である。具体的には、①国道1号を大津方面から来る交通および②国道161号（西大津バイパス）を西大津方面から来る交通は、それぞれ③京都・大阪方面へ向かう交通（1号線を通行）と④府道方面へ向かう交通（三条通を通行）に分流する。そして、①から③へ向かう交通と②から④へ向かう交通は当該地点でウィーピング（織り込み）を行う必要がある。交通量が多い上、300m 未満の区間に上記の合流と名神高速道路京都東ICへの分岐を加えると3つの分岐があり、分流部直前での急な車線変更や迷走する車両が多く見られ、以前から事故が多発している地点である。

写真-1～6 は、この地点で撮影されたきわめて危険な交通コンフリクトの一例である。この交通コンフリクトを説明する。

- ① 写真-1で第1車線をハッチゲートを開けたまま走行している車両1（カローラ）とその右後方第2車線を走行するワゴン（デリカ）が交通コンフリクトを発生させる。速度は、カローラが約11m/s（約40km/h）、デリカが約17m/s（約60km/h）である。
- ② 写真-2では、カローラは第1車線を直進し（道路は左カーブ）ブレーキを踏んでいる。
- ③④ 写真-3および写真-4では、カローラは車線境界線をまたいで第2車線に入ろうとしている。デリカがカローラに急速に接近しつつあるが、カローラのドライバーはデリカの接近に気が付かないようである。両車両の後続車は、危険に気が付いているのか、それぞれブレーキを踏んでいる。

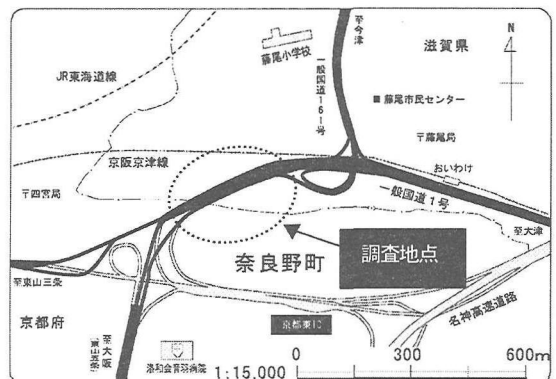


図-6 コンフリクト解析の対象地点(京都市山科区奈良野町)



写真-1 危険な交通コンフリクト例（その1）



写真-4 危険な交通コンフリクト例（その4）



写真-2 危険な交通コンフリクト例（その2）



写真-5 危険な交通コンフリクト例（その5）



写真-3 危険な交通コンフリクト例（その3）



写真-6 危険な交通コンフリクト例（その6）

⑤ 写真-5では、カローラがデリカの直前に割り込む形で侵入し、デリカは急ブレーキをかけている。この時、デリカの後輪からは急ブレーキに伴う白煙が上がっている。

⑥ 写真-6では、カローラはデリカの急ブレーキに気が付き、停止することなく（むしろ加速気味で）第1車線に戻ろうとして急ハンドルを切っている。デリカは急ブレーキ操作のままである。

この交通コンフリクトを、本交通流ビデオ解析システムで、各車両の位置を0.2秒毎に取得し、実座標系で展開すると図-7が得られる。マウスによりプロットする車両の位置は、第1車線の車両（カローラ）は後部右側車輪の接地面、第2車線の車両（デリカ）は後部左側車輪の接地面である。

写真と対照すると比較的精度良く、現象の再現ができていたことがわかる。ただし、画面の奥の方では原理的

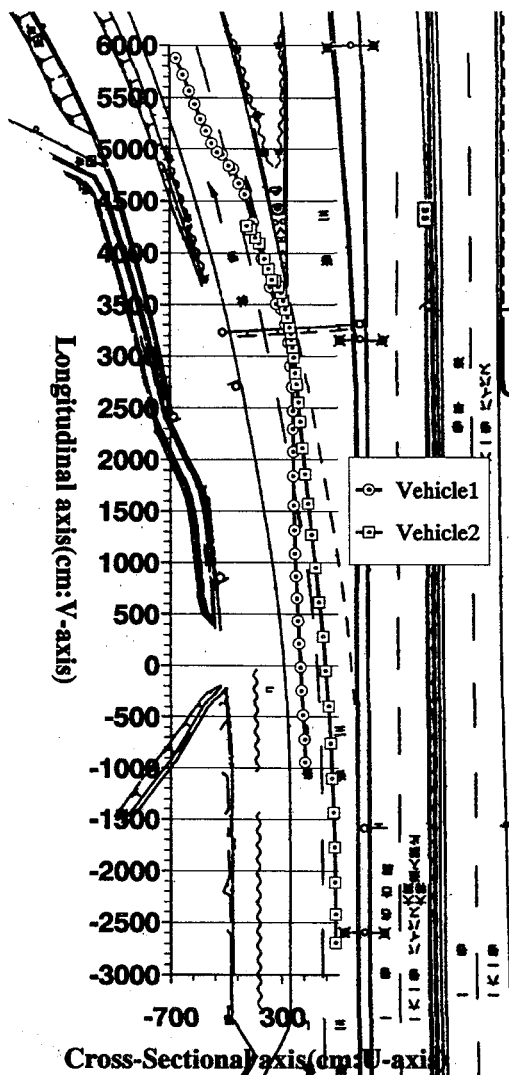


図7 交通コンフリクト下での車両の軌跡
(写真1~6の事例)

にピクセルの解像度が落ちること、手前の車両によってプロットすべき点が見えず、やや精度が落ちることがわかる。しかしながら、画面の手前においては、ピクセルの解像度も良好なので、きわめて精度良く、現象の再現が行えることが明らかとなった。

0.2秒ごとの横方向距離(U-direction)、縦方向距離(V-direction)、合距離を図8に示す。図8では、横方向距離は約60cmまで接近しており、縦方向距離(同一車線上なら車間距離に相当)はゼロ(実際には負値)にまで接近している。この状態は、写真5での状況に対応している。このきわめて危険な状況は、3.2秒および3.4秒で発生している。

TTC指標、近似的TTC指標、PET指標の変化の様子を図9に示す。TTC指標は、1.8秒から算出され始める。

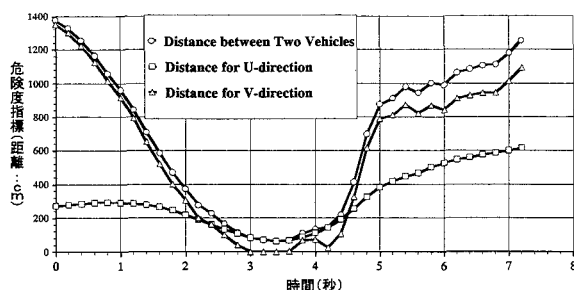


図8 車両間の距離の時系列的変化

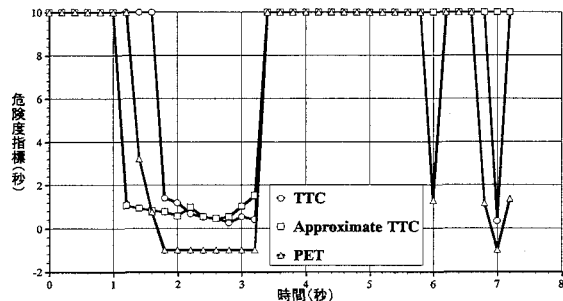


図9 コンフリクト指標の時系列的変化

それまでは、算出されても大きな値であったり、2台の車両のなす角度が衝突を発生させない角度であるためTTC指標が算出されないでいる(この数値を便宜上10.0秒としている)。算出される場合、その値は、1.412(1.8秒)、1.188(2.0秒)、0.684(2.2秒)、0.519(2.4秒)、0.474(2.6秒)、0.255(2.8秒)、0.536(3.0秒)、0.402(3.2秒)である。人間の反応時間とされる0.5~1.0秒を下回り、きわめて危険な状態にあることがわかる。これらは、写真5、6、図7、図8の車両相互の位置関係からも理解できる。なお、3.4秒の時点では両車両の向きが交錯しないためにTTC指標が算出されないでいる。本ケースでは、TTCの値は1.8秒時に突然算出され、突然算出されなくなるという特性があった。これに対し、近似的TTC指標は、1.2秒の時から算出されだしその値は1.2秒から3.2秒まで0.2秒ごとに、1.064、0.932、0.824、0.772、0.561、0.984、0.543、0.455、0.535、1.032、1.516の値である。ほとんど衝突しそうな時にやや大きな値であることを除けば、TTC指標とほぼ同様の推移を保っている。TTC指標が突然小さな値で算出されるのに比較して、近似的TTC指標は予告的にやや早めに算出されるので、危険警告の指標として有用である可能性がある。

PET指標は、2車は衝突はしないがその接近の程度を表す指標であり、今回は2車の走行がそのまま保たれると必ず衝突するので、ゼロ値が算出されている(ゼロ値の場合、グラフを見やすくするために-1.0の値を表示している)。

7. 考察

以下に、各指標の特性と危険事象に対してより適切な指標が開発され得るならその備えるべき条件を考察する。

(1) TTC 指標

本研究では TTC 指標をきわめて厳密な意味で捉え計算した。すなわち、車両の縦断方向、横断方向ともにその相対的位置および速度を計測し、それぞれの車両の予定軌跡が交差し、しかも衝突する場合のみ算出されるように算定アルゴリズムを設定している。したがって、交差がない場合や交差に時間差がある場合には数値が算出されない。また、6で述べたように TTC 指標が前兆もなく突然小さな値で算出されるという問題もあった。しかしながら、他の多数の危険場面を観察すると、きわめて危険なコンフリクトが多数存在する。しかしながら、このような場合でも TTC 指標が算出されない場合が多数あり、このことが危険事象の指標にはより適切な指標があり得るのではないかという可能性を示唆している。このことの今日的意義は ITS に代表される運転者への安全支援での警告の必要性である。

(2) 近似的 TTC 指標

近似的 TTC 指標は、単に2車両間の相対距離の短縮率に着目したものである。このため、真の意味での衝突が発生しない可能性がある。しかしながら、(1)で述べたように厳密的 TTC 指標での欠点を補い、TTC 指標よりもやや早めに予告的に危険を表す指標となりうることから応用性は高いと思われる。

(3) PET 指標

ニアミスの程度として有用な指標である。しかしながら、車両1の現位置を直後に車両2が占有しなければ PET 値は算出されないという特性がある。すなわち、2台の車両がきわめて接近した状態で併走した場合には危険にもかかわらず算出されないこととなる。

(4) 横方向距離、縦方向距離、合距離

図-8にも示したように、加工しないこのような相対的距離でも十分にコンフリクト指標を表現することが可能であることがわかった。

(5) 今後考えられる新しい指標

専門家によって抽出されたコンフリクト場面を観察すると、TTC 指標等ではその危険性が定量化されないものの、きわめて危険なコンフリクトが多数存在する。

ここで、TTC 指標で有意に評価されるコンフリクトとそうでないコンフリクトの例を挙げる。図-10の(a)のケースでは2台の車両がこのままの速度と角度で進行すれば必ず衝突するケースである。したがって、危険性が TTC 指標で表現可能である。(b)のケースでは、2台の車両が小さな車間距離を保ちながら追従するケースである。場合によってはきわめて危険なコンフリクトとなりうるが、

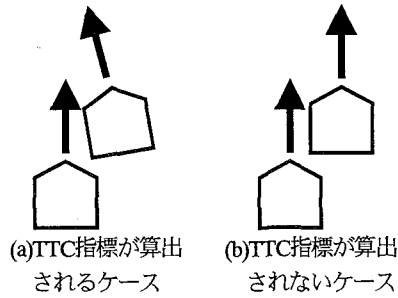


図-10 新しいコンフリクト指標開発の背景

両車両がこのままの速度と角度で走行しても衝突しないため TTC 指標では無限大（安全）と評価される。ただし、PET 指標はその定義に従えば算出されることは明らかである。このように、コンフリクトには、

① 2台の車両の速度と角度が衝突する状態にある場合（ケース(a)）、

その他、

② 車間距離がきわめて接近しながら2台の車両が追従する場合（ケース(b)）、

③ 2台の車両の横方向距離がきわめて接近しながら併走する場合、

④ ②③にウィーピングが加わる場合、

等が存在すると考えられる。本論文で取り上げたケースは、(a)の典型的なケースであり、TTC 指標、近似的 TTC 指標、PET 指標の3者とも有意な数値として算出された。しかしながら今後、研究対象とする多数のコンフリクト事例では(a)のケースに該当しないコンフリクトも多数存在している。本論文では、交通コンフリクトの解析に焦点があるが、本研究は今後、ITS 支援による交通安全支援研究にも発展する可能性がある。ITS による安全運転支援においてもコンフリクト指標はその基本的な定量的指標である。人間が見て主観的に「危ない」と実感する場合、その実感を定量化する指標の開発が今後の課題である。例えば、上記の複数指標の組み合わせ、あるいは『If...then』型（例えば、『もし急減速が発生すれば...』というケースである）の指標の開発などが考えられる。これらについては、今後多数のコンフリクトを対象に各指標を算出し、それらの比較を通じて指標の有効性の検討を行う予定である。

8. まとめと今後の課題

本研究での成果と今後の課題は以下のとおりである。

(1) 交通コンフリクト解析の意義を、ハザードとリスクの概念から説明した。

(2) 交通流ビデオ解析システムの開発とその概要について説明した。本システムは、きわめて精度の高い観測が

できるため、その応用性が高く、効率的に交通コンフリクト指標を計測できることを示した。

(3) 本研究で用いたコンフリクト指標について説明した。従来から提案されている TTC 指標や PET 指標の他に、その欠点を補うために筆者らが考案した近似的 TTC 指標や横方向距離、縦方向距離などをコンフリクト指標に加えた。

(4) 2 台の車両がほとんど衝突しそうになるというきわめて危険なコンフリクト事例を対象に種々のコンフリクト指標を計算した。具体的なコンフリクト事例を対象に、各指標の特性を考察した。

(5) また、コンフリクトとして発生しそうな形態を分類し、新しいコンフリクト指標の備えるべき条件を考察した。

今後の課題については以下のようにまとめられる。

(6) 本研究での事例はきわめて危険な交通コンフリクトであるため、TTC、近似的 TTC、PET 等がすべて有意な値を得られたが、交通コンフリクトには種々の種類があるため、単一のコンフリクト指標だけでは現象の説明が不可能であることもわかっている。文献的には、TTC 指標や PET 指標で止まっており、新しい指標の提案等はない。この理由は、元田⁹⁾も述べているように解析の困難さがあるものと思われる。今回開発した交通流解析システムでは、交通流解析の困難さを相当解決しており、今後この分野での発展が期待できる。

(7) さらに、観測と計測の蓄積を行い、複数指標の組み合わせの妥当性や新しい指標の開発と検討を行う必要がある。具体的には、(5)で述べたコンフリクトの分類に基づき、人間が見て「危ない」と実感するコンフリクトを的確に表現する指標の開発と実際事例での実証的検討が必要である。

謝辞

交通流ビデオ解析システム開発の動機は、京都府交通事故多発地点対策委員会での事故対策効果評価にある。記して謝意を表します。当委員会は国土交通省京都国道事務所、同福知山事務所、京都府警察本部、京都府、京都市、(財)交通事故総合分析センター、学識経験者等からなり京都府下の 200 箇所以上の事故多発地点の対策に当たっている。本手法およびその他の手法を用いて当委

員会の関連予算および関与するデータを用いた研究は、今後連名で発表していく予定である。また、本ビデオ解析システムの解析精度の検討に際しては、鳥羽超君（当時名城大学都市情報学部学生、現光通信勤務）にご協力いただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Hayward, J.C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 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) 若林拓史・蓮花一己・田中孝史：交通流錯綜部における安全走行支援のためのコンフリクト分析，「ITS社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会」平成13年度研究成果報告書，2002.
- 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) 池上宜伸・山中英生・中田博之：実車両挙動分析による小交差点出合頭事故防止ITSシステムのリクワイアメント分析，土木計画学研究・講演集，No.23(1)，pp.735-738，2000.
- 7) 山中英生・入谷忠光・三谷哲雄：地区内交差点における出合頭事故防止ITSのための車両挙動分析，土木計画学ワンディセミナー：シリーズ29「ITS社会にむけた交通安全研究の方向性について」，pp.147-166，土木計画学研究委員会，2002.
- 8) 赤羽弘和：複数の高精細度ビデオカメラによる車両軌跡の高精度連続観測システムの開発，第37回土木計画学シンポジウム「安全かつ円滑な道路交通空間をITSで達成できるか？」，pp.89-96，2001.
- 9) 浅野信哉・赤羽弘和：複数のビデオカメラによる車輛走行軌跡観測システムの開発，土木計画学研究・講演集，No.24，CD-ROM, 2001.
- 10) 若林拓史・小嶋紀之：交通流ビデオ解析システムの開発と交差点内左折交通流解析への適用，第19回交通工学研究発表会論文報告集，pp.85-88，1999.
- 11) 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・講演集，No.24，CD-ROM(pp.289-292)，2001.
- 12) 若林拓史・蓮花一己・田中孝史：交通流錯綜部における安全走行支援のためのコンフリクト分析，土木計画学ワンディセミナー：シリーズ29「ITS社会にむけた交通安全研究の方向性について」，pp.103-118，土木計画学研究委員会，2002.
- 13) 蓮花一己：ハザード知覚とリスク知覚，高木 修監修・蓮花一己編著『交通行動の社会心理学』第4章，pp.36-48，北大路書房，2000.

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*

若林拓史**・小嶋紀之***・大石 理****

本論文では、交通安全対策の効果評価を目的として、ビデオ画像から複数車両の走行軌跡を測定するシステムを開発し、交通コンフリクトの危険度指標を算出している。まず、交通コンフリクトと事故発生の関係をハザードとリスクの概念で説明し、事故指標よりも錯綜の観測が効果的であることを述べている。次に、本研究で開発した交通流ビデオ

オ解析システムの概要と特徴を述べ、実際に発生した交通錯綜を分析、車両の軌跡を示している。さらに、TTC、近似的TTC指標、PET指標、縦断・横断方向の距離などのコンフリクト指標を算出し、危険度評価に利用できることを示している。これらの指標の特性を考察し、新たな指標開発への展望を考察している。

Development of Vehicle Tracking System using Digital VCR and Its Application to Traffic Conflict Analysis*

by Hiroshi WAKABAYASHI^{**}, Noriyuki KOJIMA^{***} and Satoshi OHISHI^{****}

This paper presents the Vehicle Tracking System using a digital VCR and its application to the conflict analysis at the many accidents occurrence point for developing ITS-assist traffic safety system. First, the outline of the proposed vehicle tracking system is described. Second, its application to the actual traffic conflict analysis using conventional conflict indicators as TTC, PET, and etc. at the intersection traffic flow. Since the vehicle tracking system is very accurate, every location of target vehicle can be identified accurately. Thus the conflict indicators are highly reliable ones. The characteristics of these conflict indicators such as TTC, PET, and others are discussed. Then based on these discussions, the requirements for desired conflict indicators for truly appropriate and effective alert for drivers are discussed for ITS-assist safety system.
