

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評価指標の提案*

Traffic Conflict Analysis using Vehicle Tracking System / Digital VCR and Proposal of a New Conflict Indicator*

若林拓史**・高橋吉彦***・新美栄浩****・蓮花一己*****

by Hiroshi WAKABAYASHI**, Yoshihiko TAKAHASHI***, Shigehiro NIIMI**** and Kazumi RENGE*****

1. はじめに

ITS技術によって交通安全支援もその射程距離に入ってきた。しかし、ITS技術によって路車間通信あるいは車車間通信が可能となっても、安全支援の基本は交通コンフリクト指標の計測とその予測であり、的確なコンフリクト指標の選定は重要な課題である。筆者らは、適切なコンフリクト指標の検討のため、コンフリクト計測のための交通流ビデオ解析システムを開発し、HaywardのTTC指標¹⁾、AllenらのPET指標²⁾をはじめ、筆者らによる指標も含めてその性能と現実の危険事象の計量化が妥当かどうか検討してきた³⁾。この研究での結論は、TTC指標やPET指標で的確に把握できるコンフリクトも存在する一方で、これらの指標では捉えきれない危険な交通コンフリクトがあり、これらのコンフリクトに対する適切な指標が必要であることであった。また、もともとTTC指標やPET指標は、1970年代の米国の交通事情下での交差点での出会い頭事故や左直事故（日本での右直事故）が対象となっており、車間距離が接近した状況でかつ高速交通流である我が国の実情を反映した指標ではなかった。本論文では、従来の指標の利害得失を整理し、その上で日本の交通状況に適合した交通コンフリクト指標が備えるべき要件を述べ、さらに新しい指標としてPTTC指標を提案するものである。

本論文の構成を述べる。2.では既存研究について整理し、コンフリクト分析の方向性について考察を加えている。3.ではハザードとリスクについて考察し、コンフリクト分析の意義を明らかにする。4.では、従来から提案されてきたコンフリクト指標を説明する。さらに5.では、

これらの指標の問題点を明らかにする。従来の指標、例えばTTC指標によって危険と判断されるコンフリクトと危険と判断されない（しかし、人間の判断では危険と判断される）コンフリクトについて考察を加える。以上の考察に基づき6.では、新しいコンフリクト指標としてPTTC指標を提案する。この指標は、TTC指標では危険と判断されないがOlder and Spicerの主観的判断では危険と判断される危険事象を定量化しうる新しい指標である。さらに、現実のコンフリクトについてPTTC指標を算出し従来のTTC指標等との特性比較を行っている。7.では論文をとりまとめている。

2. 既存研究の整理とコンフリクト分析の方向性

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D.C.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TMTC(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。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

* 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 （株）CSK（〒163-0227 東京都新宿区西新宿2-6-1 新宿住友ビル，TEL:03-3344-1811）

**** 非会員 （株）ベスト設計（〒470-0025 豊田市西町5-5 ビットヨタタウン3F ベストC.O.T.センター，TEL:0565-31-3820 FAX:0565-31-3833）

***** 非会員 帝塚山大学人文科学部（〒631-8501 奈良市帝塚山7-1-1，TEL:0742-48-9776 FAX:0742-48-9115）

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、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。元田⁹⁾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。

我が国の都市部での交通状況は、高密度高速交通であり、若林らはウィーピング区間を対象に各種コンフリクト指標を算出した³⁾。この結果わかったことは、Older and Spicer (1976)による主観的判断(後述)によって危険度が大きいと判断されたコンフリクトでもTTC指標やPET指標では危険と判断されないコンフリクトが多数存在していたことである。このことは、「危ない」と人間的判断がなされても、この状況を的確に定量化する指標が存在していないことを意味している。ITSによる安全支援には、コンフリクト指標が不可欠であり、このため新しい指標を開発する必要がある。

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・宇野ら^{7) Uno・Lida ら⁸⁾}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。一方、車両の軌跡をデジタルビデオ等から把握する研究も進んでいる。池上・山中ら⁹⁾、山中ら¹⁰⁾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¹¹⁾、浅野・赤羽¹²⁾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・小嶋ら^{5,13)}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・宇野ら^{7,8)}の研究が見られるが、車両挙動を1次元上で分析しているので2次元の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

実測し、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⁹⁾。この研究の延長上として本研究を行った。本研究の目的は、ITSによる交通安全支援を目標に、我が国の実情にあった危険度指標を算出することである。

3. ハザード・リスク・事故発生:コンフリクト指標の意義

コンフリクト分析では、事故という現象そのものを観測するのではなく、その代理現象としてのコンフリクト(危険事象)を観測している。このため、コンフリクトと事故発生を結びつける概念が必要となる。このため、本研究では、ハザードとリスクという概念を用いて、現象の理解を行っている。

ハザードとリスクに関して、最近の交通心理学で用いられている今日的な定義を述べる。蓮花¹⁴⁾は、ハザードとは「どのような条件・対象が事故を招くか」という定性的な概念であり、リスクとは「事故発生の可能性はどの程度高いか」という定量的な概念であると述べている。車両同士の危険な状況も一概にリスクと分類できず、道路環境のハザードを「静的なハザード」、車両関係のハザードを「動的なハザード」と分類する必要性やリスクという用語の慎重な使用の必要性も述べている。筆者の解釈では、ハザードにも階層性があるということであろう。車両が1台も走行していない状況でも、『あそこの箇所は危ない』『もともと危ない』という定性的状況が「静的なハザード」であり、そこを車両が走行すると『危ない状況が生じやすい』という定性的状況が「動的なハザード」として生じるという解釈であろう。そして、『もう少し車間距離を詰めたり』『速度を上げたり』『短い車間距離(ギャップ)に割り込んだり』する、という距離や速度、方向転換の概念が入ると、定量的なリスクの概念となるのであろう。しかしながら、「動的なハザード」と「リスク」をどのように分離解釈するか基準が異なるので、両者を明確に区別することは困難なようにも感じられる。

筆者の見解をまとめると、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が実際の事故となる、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。

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。後述するように、真の「危険状態」をうまく反映するように交通コンフリクト指標を考案することが重要な課題となってくる。そして、計量化した交通コンフリクトに対し、閾値を超えたものに対して警告を発することによって事故を未然に防ぐこと

が可能となると考えられる。これが、ITSによる安全運転支援システムの考え方である。

4. 従来からの交通コンフリクト指標

従来から提案されてきた指標および著者らによって近年提案された指標は以下のとおりである。

(1) TTC 指標

2.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。

ある時刻において衝突可能地点を質点で表現すれば、車両1の予定軌跡1（本研究では左側車両の右後輪）と車両2の予定軌跡2（右側車両の左後輪）の交点が両車両の衝突可能位置（質点）である。車両1の衝突可能地点までの距離を L_1 、速度を V_1 、車両2の衝突可能地点までの距離を L_2 、速度を V_2 とする。質点同士が衝突する条件は、

$$L_1/V_1 = L_2/V_2 \quad (4.1)$$

となる。車両長を考慮し、簡単のため、両車両の車長を同じとし、後方車輪から車両前部までの距離を L_f 、後方車輪から車両後部までの距離を L_r とする。

車両2の先端および後端が、衝突可能地点を通過する時刻はそれぞれ、

$$t_{f2} = (L_2 - L_f) / V_2, \quad (4.2)$$

$$t_{r2} = (L_2 + L_r) / V_2, \quad (4.3)$$

であり、時間の順序、

$$t_{f2} \leq t_{r2}, \quad (4.4)$$

が成立する。同様に、車両1についても、

$$t_{f1} = (L_1 - L_f) / V_1, \quad (4.5)$$

$$t_{r1} = (L_1 + L_r) / V_1, \quad (4.6)$$

であり、時間の順序、

$$t_{f1} \leq t_{r1}, \quad (4.7)$$

が成立する。2台の車両が衝突する条件は、この時間の順序が、

$$t_{f2} \leq t_{r1}, \text{ and } t_{f1} \leq t_{r2} \quad (4.8)$$

の場合であり、このとき衝突が生じるとしている。TTCの値は車両の位置関係で異なり、

i) $t_{r1} \leq t_{f2}$ の場合は、衝突が生じないので無限大、 (4.9)

ii) $t_{f1} \leq t_{f2} \leq t_{r1}$ の場合は、 $TTC = t_{f2}$ (4.10)

iii) $t_{f2} \leq t_{f1} \leq t_{r2}$ の場合は、 $TTC = t_{f1}$ (4.11)

iv) $t_{r2} \leq t_{f1}$ の場合は、衝突が生じないので無限大、 (4.12) としている。

本研究では、この指標を（厳密的）TTC指標と呼び、交通流ビデオ解析システム⁹⁾を用い車両の現実の(u, v)位

置(u は横断方向、 v は進行方向の各座標)を0.2秒毎のタイムスライスに対してアルゴリズム⁹⁾によって算出した。

(2) 近似的TTC (a -TTC) 指標

上記TTC指標では、以下の①～③の問題があった。

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。

③ ②の理由によってTTC指標が前兆もなく突然小さな値で算出される場合がある。

この欠点を補うため、筆者ら⁹⁾によって2車間の相対距離がゼロとなる予測時間を算出したものである。衝突までの時間、 a -TTCは、

$$a\text{-TTC} = D/\Delta D, \quad (4.13)$$

である。ここに、 D は、後述の(6)で示す車両間のEuclid距離、 ΔD は、2台の車両距離の単位時間当たり（本研究では0.2秒）短縮距離（ $0 < \Delta D$ ）である。この指標は、前記TTCよりも簡単に算出されるが、単なる追い越しでも算出されるという欠点がある。

(3) PET 指標

2.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定（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。式で表現すると以下のようなものである。車両1が前方に存在すると仮定する。ある時刻において衝突可能地点を質点で表現すれば、車両1の現位置が両車両の衝突可能位置である。TTC指標の記述にしたがい、車両2から衝突可能地点までの距離を L_2 とすれば、

$$PET = (L_2 - L_r) / V_2 \quad (4.14)$$

で与えられる。

本研究においては、厳密的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）。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 合距離：(4)と(5)の各距離の Euclid 距離である。

5. 各指標の問題点と今後計測すべきコンフリクトの種類

本章では各指標の特性および問題点を考察し、さらに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、当然のことながら交差がない場合には数値が算出されない。TTC 指標の問題点は、4.(2)でまとめているので、そちらを参照されたい。

(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、4.(2)で述べたように厳密的 TTC 指標での欠点を補い、さらに TTC 指標よりもやや早めに予告的に危険を表す特性がある。このことから本指標の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

文献 5)でも示したように、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

従来の指標の問題点は、専門家が重大なコンフリクトと判定したケースの中に、TTC 指標等が算出されないコンフリクトが多数存在することであった。このことは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。すなわち、安全運転支援システムでは、その基礎情報となるコンフリクト指標の開発がきわめて重要なことになるので、コンフリクトの発生形態に遡って考察する。

ここで、専門家がコンフリクトの判断基準とする Older & Spicer (1976) ¹⁰⁾ のコンフリクトの主観的分類法を述べる。彼らは、交通コンフリクトを次の 3 段階に分類した。

1) 重大なコンフリクト：衝突を避けるための急ブレーキ

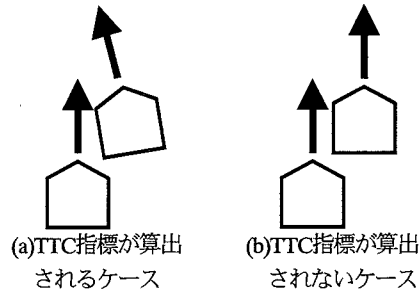


図-1 PTTC指標開発の背景

あるいは急激な回避を伴うもの、

- 2) 中程度のコンフリクト：衝突を避けるための突然の減速や進路変更である程度コントロールされたもの、
- 3) 軽微なコンフリクト：よくコントロールされた減速や進路変更。

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-1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、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。文献3)-5)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ケースであった。しかしながら文献3)-5)では、(本研究でも対象とした1999年5月25日の24時間連続観測ビデオにおいて、)Older & Spicerの基準で重大なコンフリクトと判定したケースでもTTC指標等では有意とはならなかったケースが多数存在したことも報告している。すなわち、単一の錯綜指標だけでは現象の説明が不可能であり、新しい指標の開発が今後の課題であることを指摘している。

ビデオ映像では、1)の重大なコンフリクトに当てはまるが、TTC指標では危険と判断されなかったケースのうち、いくつかは(b)のケースに分類されるものであった。このように、従来のTTC指標等では安全値に評価されるが、観察するととても危険に見えるケースが多数ある。例えば、

- ① 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 (b)のケース)、
- ② 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、
- ③ ①②に速度変化や舵角変化が加わる場合、等である。

ITSによる安全運転支援においても危険度指標はその基本的な定量的指標である。このため、Older & Spicerによる主観的分類が、客観的に見て妥当であることを示す客観的指標を開発する必要がある。そのため、今後考えるべき指標としては、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るば...』というケース)の指標の開発などが考えられる。これらの指標の単位系は、車載機器からのドライバーへの警告信号として採用しやすさから、単位系はTTCやPETと同じく衝突までの予測時間が望ましい。

6. PTTC指標の提案

以上述べたことを背景に、PTTC(Potential Time To Collision)指標を提案する。今回は、上記の① (b)のケース)に速度変化を考えたケースのみを考える。今後はケースを拡張し、②のケースや③の舵角変化も考慮したケースへの展開を考える。これは、追従する2車両に速度変化が生じた場合であり、PICUD指標⁷⁾と同様な考え方であるといえる。PICUDとの違いは、

①PICUD指標は1次元的(線上での)指標であるのに対し、PTTCは2次元的指標であること。

②PICUDは、先行車と後続車の両者が急停車したときの相対的距離差であるのに対し、PTTCでは衝突するまでの時間であること。この方が警告信号提供の閾値として便利であること。

③したがって、2次元的な位置変化や走行舵角変化も考慮できること、

である。PTTC値は、次の方程式を解いた解である。

$$D = \Delta v \cdot PTTC + a PTTC^2 / 2 \quad (6.1)$$

ここに、 D は2車間の相対距離、 Δv は速度差、 a は減速率である。

実測ビデオを対象にPTTC値を算出する。減速率の設定は実測によった。使用車両は、オートマチック車およびマニュアルトランスミッション車を用い、車種別の計測の平均値を算出し、車種間での最小値に近いラウンドナンバーを使用した。それぞれ、10km/h減速するために要する時間を計測して用いている。

- 1) 減速率mild : 3.0 seconds for 10 km/h deceleration (アクセルを離した状態)。
- 2) 減速率medium : 1.0 seconds for 10 km/h deceleration (軽くブレーキをかけた状態)。
- 3) 減速率hard : 0.5 seconds for 10 km/h deceleration (比較強くブレーキをかけた状態であるが急ブレーキではな

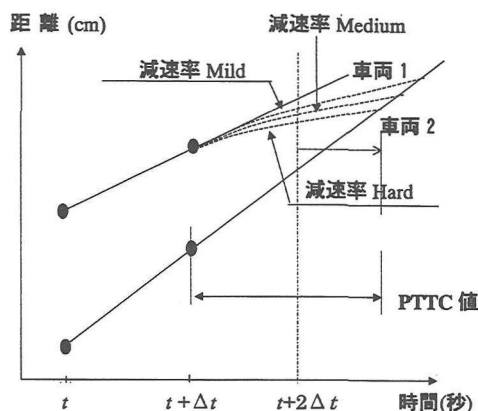


図-2 PTTC指標の考え方

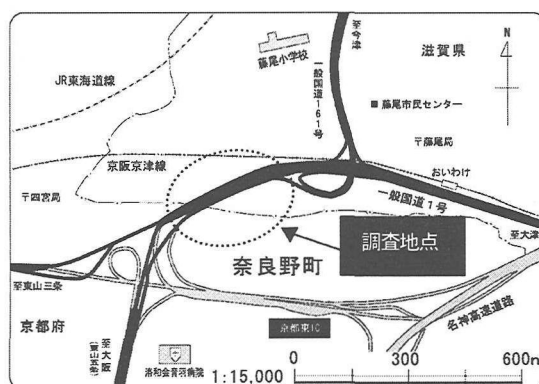


図-3 コンフリクト解析の対象地点(京都市山科区奈良野町)

い)。

この考え方を図に表したものが、図-2である。

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-3)。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I.C.、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I.C.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に示す追従状態を交通流ビデオ解析システムによって現実平面へ射影変換したものが図-4である。このケースはOlder & Spicerの主観的分類法によって重大なコ

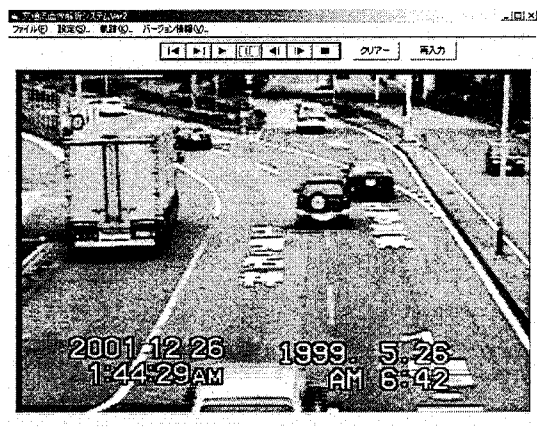


写真-1 TTCが算出されない追従の典型的ケース

ンフリクトと判定されている。車両の挙動を簡単に述べれば、第2車線を走る先行車(Vehicle2: 図4での△印)に対し、第1車線から第2車線へ車線変更した追従車(Vehicle1: 同○印)が先行車に急接近し、急ブレーキ操作が行われている。このとき、図-6より、時刻2秒のときに車間距離は約5mであった。このケースに対し、TTCや近似的TTC、PETなどとともに3種類のPTTC値をプロットしたのが図-5である。両車両の横方向距離、縦方向距離、合成距離をプロットしたのが図-6である。これらの解析結果から、PTTC指標と従来のコンフリクト指標を比較してPTTC指標の特徴を述べると以下ようになる。

1) 本コンフリクトは、図-5からもわかるように、TTC指標は算出されない典型的なケースであり、しかもPTTC値は算出されている。TTC指標が算出されない理由は、図-1でも示しているように両車両がこのままの速度と角度で進行しても衝突が生じない(TTC指標の定義)ためである。しかしながら、この事例は、Older and Spicerの主観的評価で重大なコンフリクトと判定されていて、図-2に示しているようなPTTC指標が表現しようとしている危険事象である。本研究では同様の危険事例も多数定量化した。本論文で紹介した写真-1の事例はその代表事例であるが、PTTC指標の有用性が示せていると考えられる。

2) 近似的TTC指標の挙動も、TTC指標と同様である。
3) PET指標は、両車両がきわめて接近した状況下で追従していることを表現できており、きわめて小さな値(1秒以下)を示している。

4) 写真-1の事例では、PTTC指標は、アクセルを緩める程度の減速でも、衝突まで最小値で3秒程度である。急ブレーキほどではないブレーキ操作(減速率hard)では人間の反応時間ぎりぎりの1秒程度の危険な追従状態であることがわかる。PET指標も小さな値を算出しているが、この場合は接近追従のケースであり、小さな値が出てく

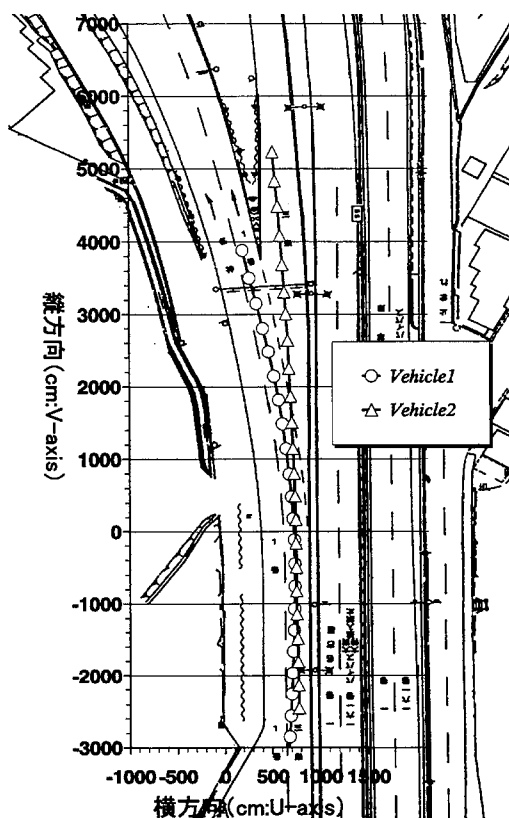


図4 写真-1のケースの射影変換の結果

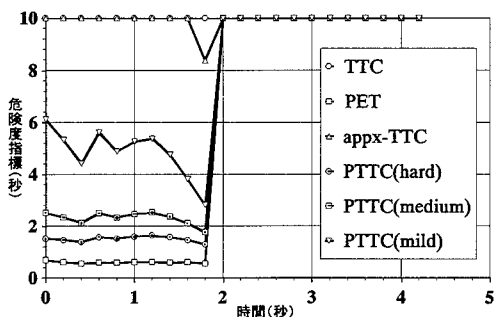


図5 各種コンフリクト指標

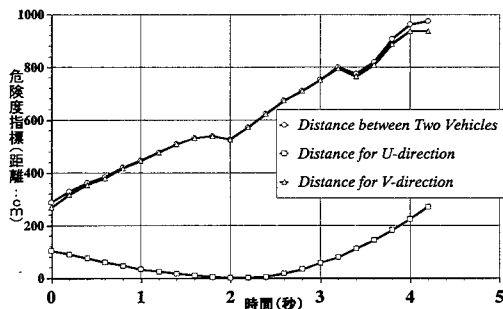


図6 縦・横方向距離、合距離

るのは当然といえる。しかし、PTTC指標は本事例では減速操作を考慮したものであり、現実的な危険性を考慮すればPTTC指標の方が指標として妥当といえる。

5) 今回提案したPTTC指標は、『If...then』型の指標であり、今回は接近追従のケースに限定してケーススタディを行った。接近追従は、危険な交通行動であるが、従来のTTC指標等では危険性が定量化ができないことは上述のとおりである。本事例以外の同様な接近追従(Older and Spicerの判定基準で重大なコンフリクトと判定されたもの)の複数について、PTTC指標を算出したところいずれも、減速率mildでは3~4秒以下、減速率hardでは1~3秒以下という値を得ている(紙数の関係でデータ等は省略している)。このことからPTTC指標は、ドライバーに警告を発する基準として利用するには適切な一評価指標と考えられる。今後は、他のタイプの『If...then』型についても適用できるようPTTC指標を拡張したい。

7. まとめと今後の課題

本論文では、従来のコンフリクト指標では危険性を評価できなかったコンフリクトに対し、新しいPTTC指標を提案し、実際のコンフリクトに適用してその指標の特性を明らかにしたものである。

- (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) 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、縦方向距離などを危険度指標に加え、これらの指標を説明した。
- (3) 交通コンフリクト指標は、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あまりない。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。
- (4) さらに、従来からの指標の問題点を考察し、新しい指標としてPTTC指標を提案した。この指標は、『If...then』型(例えば、『もし急減速が発生するば...』というケース)の指標である。単位系は、TTCやPETと同じく衝突までの予測時間である。
- (5) Older and Spicerの主観的評価では十分に危険なケースであり、しかもTTC指標は算出されないコンフリクトケースを対象にPTTC指標を算出した。PTTC指標の特性を従来の指標と比較し、警告指標として有用であることを確認した。

今後の課題を述べる。

- (1) 前述の警告信号の閾値は、衝突までの時間が、人間の反応時間と自車両の周囲を確認するための時間の和よ

りも低下した場合等が考えられる。この方法が妥当であるかどうかを検討する必要がある。

- (2) 本論文では、PTTC指標の事例として一例しか紹介できなかった。また、この事例は、TTC指標は算出されないもののPET指標は算出される事例であった。今後は、PET指標も算出されないコンフリクトを対象に分析を行う予定である。

- (3) また、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今回提案したPTTC指標の改良、さらに新しい指標の検討を行う予定である。

謝辞：ビデオデータの利用は、国土交通省京都国道事務所、(財)交通事故総合分析センター、修成建設コンサルタントのご協力を得ました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Hayward, J.C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 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) 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.
- 4) Wakabayashi, H. and Renge, K. Vehicle Tracking System using Digital VCR And Its Application to Traffic Conflict Analysis for ITS-Assist Traffic Safety. Proceedings of The 9th Meeting of the Euro Working Group Transportation "Intermodality, Sustainability and Intelligent Transportation Systems", pp.356-362, 2002.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Uno, N., Iida, Y., Itsubo, S. and Yasuhara, S. A Microscopic Analysis of Traffic Conflict Caused by Lane-Changing Vehicle at Weaving Section. Proceedings of The 13th Mini-Euro Conference "Handling Uncertainty in Transportation Analysis of Traffic and Transportation Systems", pp.143-148, 2002.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 浅野信哉・赤羽弘和：複数のビデオカメラによる車両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.
- 13) 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.

- 14) 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.
- 15) Older, S.J. & Spicer, B.R. (1976) Traffic conflicts – development in

accident research. Human Factors, 18, 335-350.

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評価指標の開発*

若林拓史**・高橋吉彦***・新美栄浩****・蓮花一己*****

本論文では，ITS 技術による交通安全支援を目標にその安全指標の基本となるコンフリクト指標のレビューと新しいコンフリクト指標の提案を行っている。コンフリクト指標は筆者らが開発した交通流ビデオ解析システムを用いて算出している。研究レビューの後，コンフリクト解析の意義として交通コンフリクトと事故発生をハザードとリスクの概念で説明し，事故指標よりもコンフリクトの観測が効率的であると述べている。次に，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説明し，特性を述べている。これらの従来指標の特性を考察した後，高速混雑下においてコンフリクトをより適切に表現しうる指標として PTTC 指標を提案している。実際のコンフリクトに適用し，PTTC 指標と従来の指標を比較し，PTTC 指標の意義を明らかにしている。

Traffic Conflict Analysis using Vehicle Tracking System / Digital VCR and Development of a New Conflict Indicator*

by Hiroshi WAKABAYASHI**, Yoshihiko TAKAHASHI***, Shigehiro NIIMI**** and Kazumi RENGE*****

This paper presents traffic conflict analysis and proposes a new conflict indicator for developing ITS-assisted traffic safety system under congested and high-speed traffic environment. The conflict analysis is carried out using a Vehicle Tracking System using a digital VCR developed by the authors. After reviewing the previous works of the traffic conflict analysis, the significance of the traffic conflict analysis is stated using hazard and risk concept that associates traffic conflicts with traffic accident occurrences. Next, the conventional traffic conflict indicators, such as TTC, approximate-TTC, PET, etc. are demonstrated. The characteristics of these conflict indicators are discussed. Then, based on these discussions, the requirements for desired conflict indicators for truly appropriate and effective to alert drivers under congested and high-speed traffic are discussed for ITS-assisted safety system. Finally, PTTC indicator as a new conflict indicator for congested traffic is proposed and demonstrated for an actual traffic conflict.
