

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*

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

若林拓史**・高橋吉彦***・新美栄浩****

by Hiroshi WAKABAYASHI, Yoshihiko TAKAHASHI and Shigehiro NIIMI

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⁾⁻⁵⁾。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。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。

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、元田⁶⁾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が、近年いくつかの研究が見られるようになってきた。飯田・宇野⁷⁾、Uno・Iida⁸⁾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、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者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⁹⁾、山中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用いて速度から加速度(減速度)を計測し、停止距離推定モデルを提案している。若林・小嶋¹¹⁾も同様の交通流ビデオ解析システムを開発し、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、我が国の実情にあった危険度指標を算出するための基礎的な研究を行っている³⁾⁻⁵⁾。本論文は、これら一連の研究の延長上にあるものである。

2. ハザード・リスク・事故発生:コンフリクト指標の意義

交通事故発生は、ハザード・リスク・事故発生という階層構造で捉えることができる。すなわち、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、という階層構造である。蓮花¹²⁾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」)であり、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。

3. 交通コンフリクトの指標と予想されるコンフリクトの種類

従来から提案されてきた指標および著者らによって

* 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 ビックトヨタタウン3F ベストC.O.T.センター, TEL:0565-31-3820 FAX(0565)31-3833)

近年提案された指標は以下のとおりである。

(1) TTC 指標

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。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、交通流ビデオ解析システム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算出した。

(2) 近似的 TTC 指標

上記TTC指標では、

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。

この欠点を補うために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。

(3) PET 指標

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: (1)と(2)の各距離のEuclid距離である。

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-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

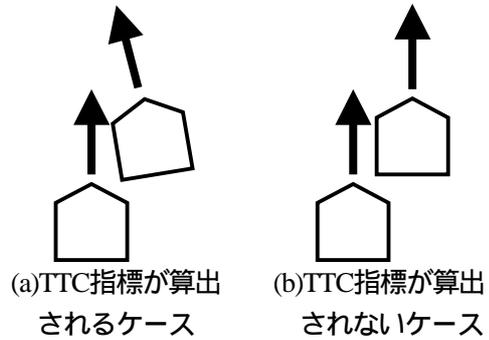


図-1 PTTC指標開発の背景

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、専門家が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。ここで、専門家がコンフリクトの判断基準とするOlder & Spicer (1976)¹³⁾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。

ビデオ映像では、1)のケースに当てはまるが、TTC指標では危険と判断されなかったケースが多数存在した。これらのうち、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、

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、

に速度変化や舵角変化が加わる場合、等である。



写真-1 TTCが算出されない追従の典型的ケース

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。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れば...』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、TTCやPETと同じく衝突までの予測時間が望ましい(警告信号として取り扱いやすい)。

4. 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 (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、のケースや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^{7,8)}と同様な考え方であるといえる。PICUDとの違いは、

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

PICUDは、先行車と後続車の両者が急停車したときの相対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。

したがって、2次元(平面)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。

$$D = \Delta v \cdot PTTC + a \cdot PTTC^2 / 2 \quad (\text{式1})$$

ここに、 D は2車間の相対距離、 Δv は速度差、 a は減速度である。

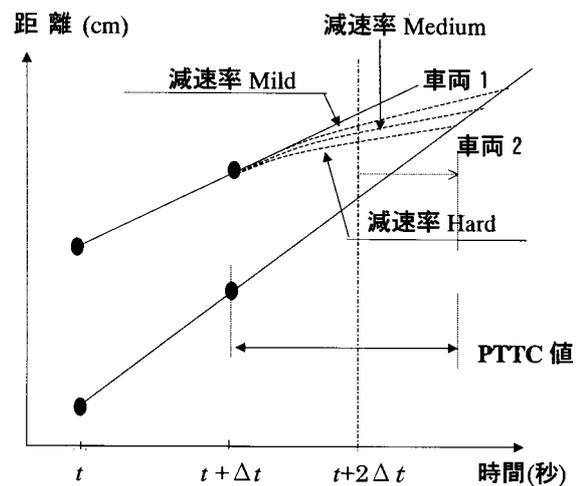


図-2 PTTC指標の考え方

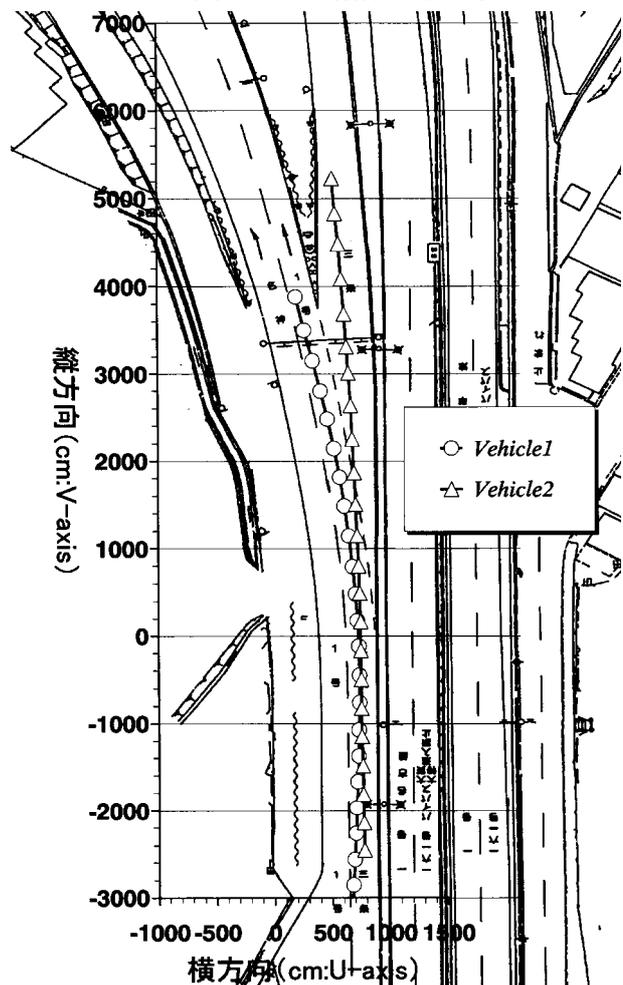


図-3 写真-1のケースの射影変換の結果

実測ビデオを対象にPTTC値を算出する。減速度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) 減速度mild: 3.0 seconds for 10 km/h deceleration (アクセルを離した状態)。

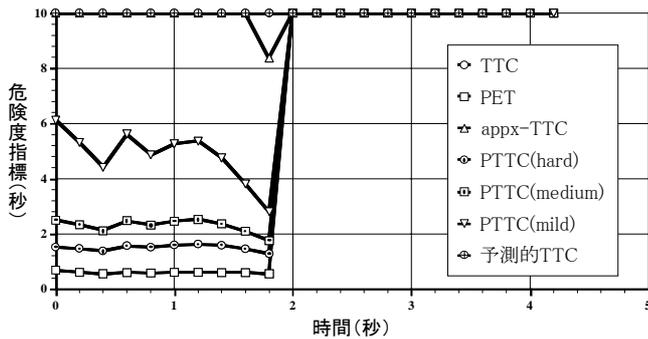


図-4 各種危険度指標

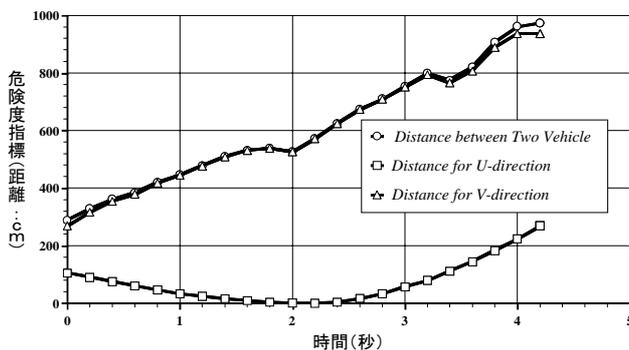


図-5 縦・横方向距離, 合距離

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 (比較的強くブレーキをかけた状態, 急ブレーキではない)。この考え方を図に表したものが、図-2である。

写真-1に示す追従状態(重大なコンフリクトと判定されているケース)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-3である。このケースに対し、TTCや近似的TTC、PETなどととも3種類のPTTC値をプロットしたのが図-4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-5である。図-4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。アクセルを緩める程度の減速でも、衝突まで最小値で3秒程度であり、急ブレーキほどではないブレーキ操作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。

5. まとめと今後の課題

(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た。(3)さらにPTTC指標を提案し、その特性を紹介した。(4)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⁶⁾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。

今後は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, 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・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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 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) 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.
- 12) 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.
- 13) Older, S.J. & Spicer, B.R. (1976) Traffic conflicts – development in accident research. Human Factors, 18, 335-350.