

連続軌跡データを用いた潜在的追突危険事象発生過程に関する研究*

Study about Process of Near Rear-end Collision with Continuous Observation on Vehicular Trajectory *

田中久光**・宇野伸宏***・飯田恭敬****・八木裕介*****・山田哲也*****

By Hisamitsu TANAKA, Nobuhiro UNO, Yasunori IIDA, Yusuke YAGI and Tetsuya YAMADA

1. はじめに

交通事故件数は平成14年度にわずかに減少したものの、平成13年度まで24年間連続で増加し続けている。交通死亡事故の原因別内訳(平成9年データ)をみると、発見の遅れが50%、操作判断ミスが27%となっており、交通事故の約8割が人的ミスによるものである。

交通事故削減に向けた道路インフラ側の対策としては、線形改良を含むハード的対策、適切な案内誘導の設置、車線運用の変更等のソフト的対策、そして、ソフト的対策の一つではあるが ITSを活用した交通安全対策の実施等が考えられる。いずれにしても、交通事故対策を効果的に施すには、事故に至る過程を解明することが重要である。事故発生のメカニズムが明らかになれば、例えば、事故を防止する適切な情報や警告をドライバーに事前に与えること、適切な道路の構造改良、そして速度抑制等の規制を実施でき、事故を減少させることが可能となる。しかし、特定道路区間での事故は希事象であるため、これを直接観測することは容易ではない。そこで本研究では事故を直接扱うのではなく走行危険事象(交通コンフリクト)の発生メカニズムについて分析する。

本研究では名阪国道下り線福住IC~天理東IC間にあるカーブの車両挙動について分析する。カーブ区間は5%~6%という急な下り勾配が多く連続しており、さらに急カーブが連続する非常に厳しい道路線形上の特徴を有している。本研究で対象とする中畑地区(図-1)(約900m区間)はカーブに位置しており名阪国道の中でも最も多くの事故が発生している地区の一つである。本研究では、13台で観測された大量のビデオ画像データより得られる車両走行軌跡データを用い分析することで、走行危険事象と事故の危険性を明確にすることを試み、事故

の発生原因について検討する。このため、まず、本研究では13台のビデオカメラより得られる車両走行軌跡データを連続化することを試みた。この連続化した車両走行軌跡データに着目し、コンフリクト指標に基づいた危険度の高い走行場面を対象として、名阪国道カーブ区間における走行危険事象発生過程について明らかにすることを目的とする。

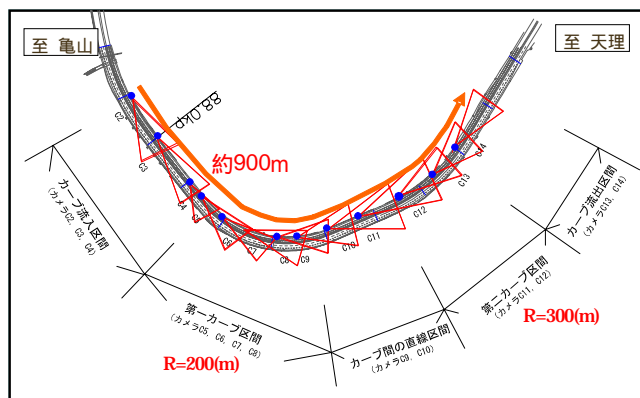


図1 中畑地区におけるカメラ設置状況

2. 車両走行軌跡データの取得・加工方法

(1) 分析対象データ

本研究では、対象地点を撮影したビデオ画像データおよびビデオ画像より自動抽出された車両走行軌跡データを用いて分析を行う。車両走行軌跡データには、0.2秒毎の時刻、車両ID、車尾X座標、車尾Y座標が記録されている。ただし、13台のビデオ画像データより得られる0.2秒毎の全てのデータを分析対象とすることは、データ量が膨大であり困難であるので、撮影日時のうち一部の時間帯を分析対象としている。

本研究では、晴天時合計17時間、雨天時合計23時間のデータを分析対象とする。

晴天時：平成15年10月16日・20日・23日・27日・28日の午前11時台

平成15年10月16日・17日・21日の午前10時台

平成16年10月27日~29日(11~13時台)

雨天時：平成15年10月13日(6~12時台)・21日(11~18時台)・11月3日(11~18時台)

*キーワード：交通安全, ITS

**正員 工修(社)システム科学研究所
(京都市中京区新町通四条上ル小結欄町 428 新町アイエスビル, TEL075-221-3022, FAX075-231-4404)

***正員 博士(工) 京都大学工学研究科都市社会工学専攻
(京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5126, FAX075-753-5907)

****JrD-, 工博, 京都大学名誉教授, (社)システム科学研究所

***** 学生員 京都大学工学研究科都市社会工学専攻修士課程

***** 国土交通省 近畿地方整備局 奈良国道事務所

(2) 車両軌跡データ連続化

潜在的に事故危険度の高い状況に至るプロセスを解明するためには、関係車両の空間的な速度変化、走行位置の変化をカメラ単位のみで捉えただけでは、不十分と考えられる。基本的には、危険事象が観測された上流側区間に、潜在的事故危険性が高まる結果を導いた要因が存在すると考えられる。したがって、車尾位置、速度といった車両軌跡データより得られる情報を複数のカメラ区間にわたって、連続的に捉えることが必要である。このため、本研究では隣接カメラ間で同一車両の軌跡と判断されるものを抽出し、各カメラ単位で付された車両IDのマッチング処理を行うことで、走行軌跡データの連続化を試みた。走行軌跡データの連続化を行うために、まず各カメラ単位で途切れることなく走行軌跡が記録されている「カメラ内完全軌跡データ」を定義する。次にカメラ内完全軌跡データ同士の隣接カメラ間での乖離に着目し、それが最小となる軌跡同士を、時間軸方向の軌跡の微調整を許容した形で抽出し、当該軌跡の車両IDのマッチングを行う。

連続化処理を行った軌跡データの例を図-2に示す(2004年10月29日・追越車線)。各カメラ間で軌跡の対応付けが行われ、同一車両と判定された軌跡は、同一の色で軌跡を示している。これを見ると、カメラ間での軌跡同士の重なり部分がなく、連続軌跡データ(複数カメラ間で軌跡データの対応付けが行われたデータ)としての対応付けが行われなかったと思われる例も見受けられる。本研究の分析では、サンプル数が比較的多く確保できているカメラ3~カメラ11区間を分析対象区間とする。

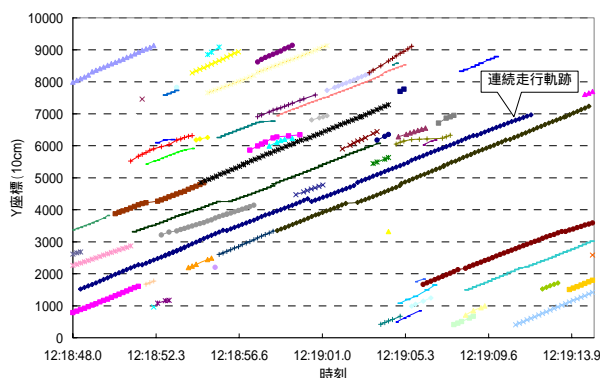


図-2 連続化処理後の軌跡データ例

(3) コンフリクト指標

a) PICUD

本研究では、車両相互事故(追突事故)の潜在的危険性を示す指標として、PICUD(急減速時追突危険性指標; Possibility Index of Collision with Urgent Deceleration)を用いる。PICUDは、前方走行車が仮に急な減速を行うとした時に、後続車が反応遅れを伴い急減速するとして、危機回避可能か否かを判定する指標である。PICUDの判

定式を式で表すと以下の通りとなる。本研究では、反応遅れ時間を1.5(s)、先行車・後続車の減速時の加速度を-3.0(m/s^2)としている。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a_1} + s_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a_2} \right)$$

$$\begin{cases} \text{if } PICUD > 0 & \text{危機回避} \\ \text{if } PICUD \leq 0 & \text{衝突} \end{cases} \dots (2.1)$$

- V_1 : 先行車の減速開始時の速度
- V_2 : 先行車の減速開始時における後続車の速度
- s_0 : 先行車急減速時の車間距離
- Δt : 反応遅れ時間, 先行車のブレーキ開始時点から後続車のブレーキ開始時点までの時間
- a_1 : 先行車の減速時の加速度 (<0)
- a_2 : 後続車の減速時の加速度 (<0)

b) 連続軌跡を軸としたコンフリクト指標の算出

図-3は、ある連続走行軌跡車両を対象として、そのコンフリクト指標算出の考え方を示したものである。画像データから車両軌跡データを抽出する方法には改善の余地も残されているため、全ての車両の軌跡データが欠測なく記録されているわけではない。しかしながら、仮に連続走行軌跡データのみに限って分析を行うと、軌跡の間隔が大きくなり、危険事象を捉えることが困難になると考えられる。したがって、本研究では、連続軌跡車両をコンフリクト指標評価の際の軸にすえて分析を行う。すなわち、軌跡データ上、連続走行軌跡のまわりに存在する(同一車線上の)全ての最近接車両について、コンフリクト指標を算出する。

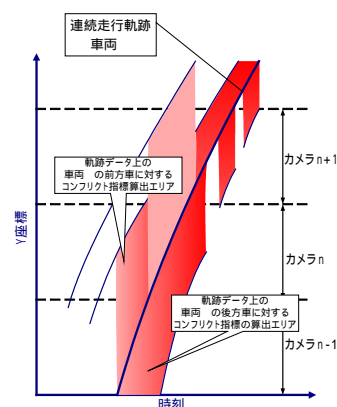


図-3 連続軌跡車両を軸としたコンフリクト指標算出

4. 連続軌跡データに基づく危険事象発生過程の分析

(1) 連続軌跡車両と前方車間のPICUD最小値空間分布
カメラ3~11で完全軌跡が得られている2683台のうち、

前方車が存在し PICUD が算出されたものは、晴天時・走行車線で 395 台、晴天時・追越車線で 138 台、雨天時・走行車線で 188 台、雨天時・追越車線で 350 台であった。そのうち、PICUD が負で潜在的衝突危険性の高い車両について、特に PICUD が最小値を示した位置に、その値を示す空間分布図を作成した(図-4、図-5)。この PICUD 値の空間分布図を用いることで、連続走行軌跡撮影区間を通して走行した際に各車両のコンフリクト指標が最も危険側に振れる地点が明らかになる。すなわち、当該区間において潜在的な車両相互事故の危険性が最も高まる箇所が明らかになると考えられる。

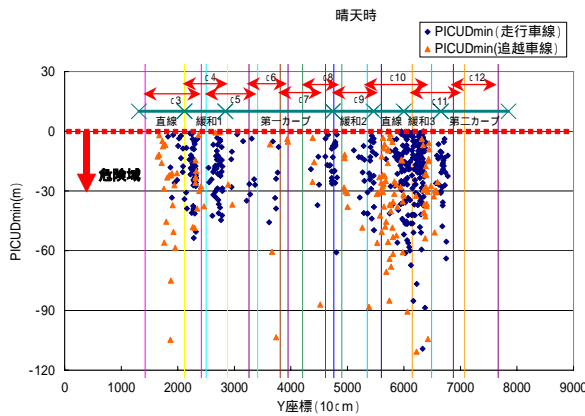


図-4 PICUD 最小値空間分布図(晴天時)

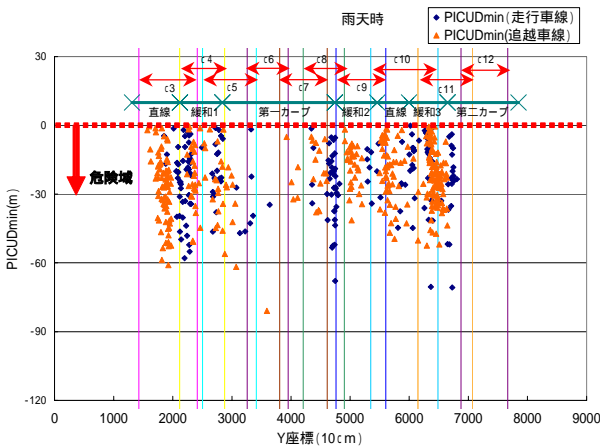


図-5 PICUD 最小値空間分布図(雨天時)

PICUD に着目すると、晴天時には、第一カーブ、第二カーブともにカーブ区間に入る前の地点で PICUD が最も危険側の値を示す車両が多いことが分かる。また、第一カーブと第二カーブを比較すると、第二カーブ直前で PICUD 値が最小となる車両が、相対的に多いことが分かる。雨天時・走行車線の状況を晴天時・走行車線のそれと比較すると、晴天時には多くの車両が第二カーブ直前で最も危険な値を示しているのに対し、雨天時には、多くの車両が第一カーブ直前の緩和区間や第一カーブの出口付近で最も危険な値を示す傾向がある。雨天時・追

越車線では第一カーブ直前地点、第二カーブ直前地点に加え、第一カーブと第二カーブ間の地点で最も危険な値を示す車両が多くなる。PICUD 最小値から見て特徴的な地点(カメラ3、カメラ10)の交通特性の分析を次項で行う。

(2) PICUD最小地点における分析

カメラ3、カメラ10において、PICUDの空間的最小値が負となった連続軌跡車両と、その前方車の速度分布を各々図-6、図-7に示す。図-6、図-7はいずれも走行車線における分布を表す。

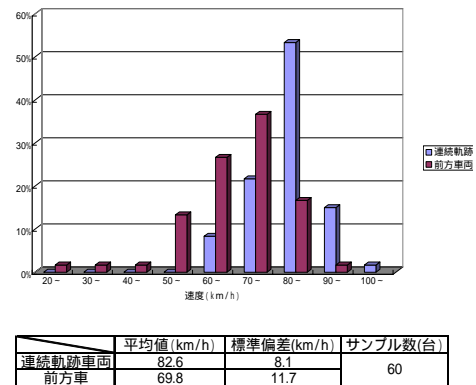


図-6 連続軌跡車両と前方車の速度(カメラ3、晴天時・走行車線)

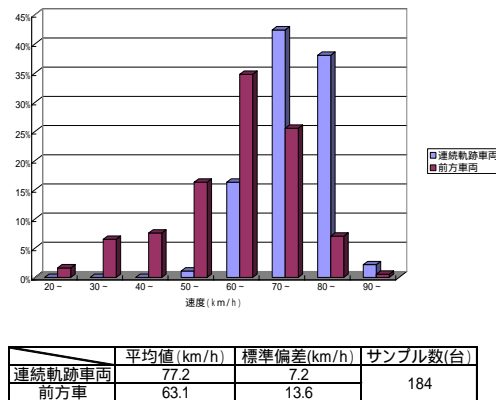


図-7 連続軌跡車両と前方車の速度(カメラ10、晴天時・走行車線)

カメラ3でPICUDの空間的最小値を示す車両の平均速度は82.6(km/h)、前方車の平均速度は69.8(km/h)である。PICUDの空間的最小値が負となるケースでは、連続軌跡車両のほとんどが高速で走行しており、この速度の高さならびに車両間での速度差の拡大が、PICUDから見て潜在的衝突危険性が高まる要因の一つとして考えられる。また、前方車には低速走行車が目立つなど速度のばらつきが見受けられる。これは、カーブ区間で比較的速度が大きいまま走行する車両と速度を落とす車両が混在するために生じると考えられる。カーブ区間では走行中に速

度のばらつきがさらに拡大し、下流側カメラ10では、前方車の平均速度も低下するが、車両間の速度差も拡大する。そのため、速度を十分に落とさないまま走行してきた連続軌跡車両との間にコンフリクトが生じる可能性がある。これらの点を留意しながら次項では危険事象の発生過程について分析を行うこととする。

(3) 危険事象発生過程の分析

ここでは、PICUD値から判断して潜在的な事故危険性の高い車両に着目し、その画像データに立ち返り、関係車両の位置関係や車種等の情報も加味して、危険事象に至るまでの過程を時空間的に整理する。ここでは典型的な事例の一つとして、連続軌跡車両(a-1)と前方車(a-2)の速度差が大きいケースについて紹介する。車両(a-1)はPICUD値で最も危険に陥った後、車線変更を行っている。このような危険事象に至るまでのPICUDの変化と空間的な速度変化を図-8に示す。前方車(a-2)はトラックであり、直線区間では70(km/h)程度の速度で走行しているのに対し、ステーションワゴンタイプの車両(a-1)は90(km/h)の速度で走行している。さらに両車両の減速地点に着目すると、前方車は第一カーブの緩和区間に入る直前に減速しているのに対し、連続軌跡車両は緩和区間に入った直後に減速している。直線区間での速度差と減速するタイミングの差が緩和区間1でPICUD値を増大させる原因となっていると考えられる。

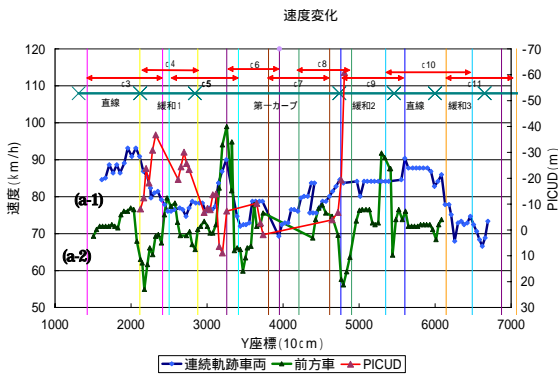


図-8 PICUD 値と速度の空間変化

PICUD値と車尾距離の変化を図-9に示す。車尾距離の変化傾向に着目すると直線部分では車尾距離が減少傾向にあり、緩和区間1から第一カーブにかけてはほぼ30(m)程度の車尾距離で走行しているものの、PICUD値はほぼ全ての区間で負の値を示していることから、カーブ区間で常に追突の危険性を背負いながら走行している。

以上の考察を図-10にまとめる。この事例における追突事故の潜在的事故の危険性が增大する主因として、カーブ進入時の速度差、特に連続軌跡走行車の速度超過が考えられる。ドライバーの減速位置の差を二次的な要因として速度差が緩和区間1の前半部分での車間距離の減少

を招き、カーブ区間における車間距離の不保持、さらには、車線変更に至ったと考えられる。このような、カーブ区間における走行速度のばらつきが追突事故の危険性を高める要因となっている可能性がある。

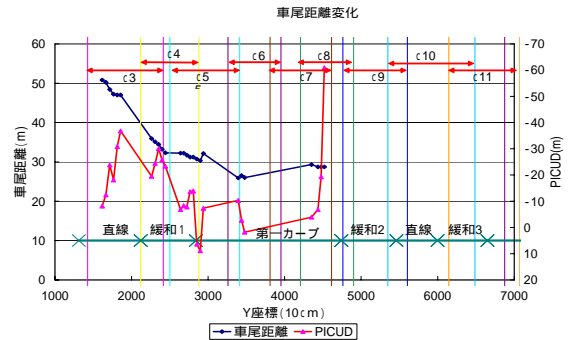


図-9 PICUD値と車尾距離の空間変化

5. おわりに

本研究では、危険事象に至る一例を示したに過ぎない。車種による車両挙動の違い、周辺車両との相互作用が危険事象発生過程に影響を及ぼしていると考えられるため、車種の情報、車両の配置の情報を含めた分析を今後の課題としたい。また、画像解析システムの精度上の問題から一部区間で計測された軌跡データが異常な値を示すことがあった。軌跡データ上の異常データをクレンジングした後には分析することが今後必要であると考えられる。

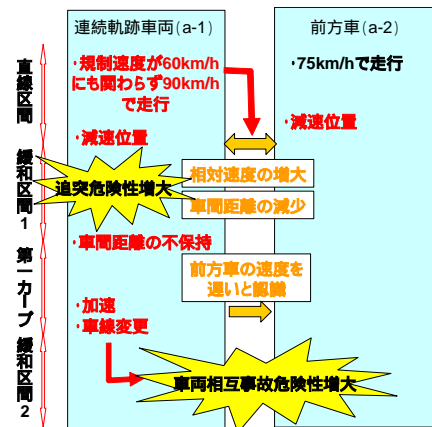


図 10 追突事故の潜在的危険性の発生過程の一事例

なお、本研究は国土交通省奈良国道事務所が主催する「名阪道路検討会」(座長: 飯田恭敬京都大学名誉教授)の中での「車両挙動マイクロ分析」の成果の一部である。本研究の遂行に際しては検討会にご出席の皆様から有益なご示唆を頂戴した。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 日吉健至, 宇野伸宏, 飯田恭敬, 有野充朗: 連続撮影ビデオデータを用いた車両走行危険事象, 第3回ITSシンポジウム2004, 2004
- 2) 国土交通省奈良国道事務所: 名阪道路検討会資料, 2004