

交差点における自動車の走行特性からみた 交通事故の潜在的危険性に関する分析

高島一彦¹・古池弘隆²・森本章倫³

¹学生会員 宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程(〒321-8585宇都宮市陽東7丁目1番2号)
(財)日本建設情報総合センター(〒321-8585東京都港区赤坂7丁目10番20号))

²フェロー会員 工博 宇都宮大学大学院工学研究科教授(〒321-8585宇都宮市陽東7丁目1番2号)

³正会員 工博 宇都宮大学大学院工学研究科助教授(〒321-8585宇都宮市陽東7丁目1番2号)

交通安全対策は交通事故が高齢化の進展や自動車走行台キロの増大により増加が危ぐされること、若年死亡の最大原因であること、社会にもたらされる経済的損失が莫大であること等から重要な課題であり、交通事故死傷者数及び事故件数の減少に向けて、より効果的な交通安全対策が広く求められている。

そのため、交通事故が発生してから対策を実施するという従来の方法に代わり、交通事故発生前における車両の走行特性から交通事故発生危険性が高く交通安全対策に必要な交差点を効果的に抽出し、交通安全対策を策定する方法について検討した。

検討の結果、「走行速度と車間距離の測定」により事故多発交差点の抽出が可能であることが判明した。

Key Words : *traffic accidents, driving characteristics, spacing of vehicles, intersection, road surface friction*

1. 研究の背景・目的

(1) 背景

交通事故の発生は世界的に大きな社会問題であり、全世界で年間50万人余が交通事故により死亡し、米国では年間約4万人、欧州では約5万人が死亡している¹⁾。

日本では、平成4年以降の交通事故死者数は減少傾向にあるものの、事故件数及び負傷者数は単調増加の傾向にあり、欧米諸国と死亡事故率(億台キロ当たり死亡事故件数)を比較すると、我が国の死亡事故率は1.20と高く、欧米並(イギリス:0.40, アメリカ:1.00)の自動車交通の安全性を実現するためには、道路交通安全に対して一層の積極的な対応が必要である。

また、交通事故による年齢別死者数を見ると、65歳以上の高齢者の死者数が平成5年に16~24歳の若者に代わって最多層になり、その後も増加している状況から、高齢化社会の進展に伴う交通事故の増加が危ぐされている。なお、内閣府は交通事故による社会的・経済的損失額を平成11年に発生した交通事故について年間約4兆2,850億円(対GDP比=0.89%)と算定している²⁾。

このような情勢下において交通安全対策は、平成8年から『10年間に1件以上の死亡事故が再起して発生する可能性が高い箇所』(全国で3,196箇所(交差点部1,713箇所,単路部1,483箇所))を、交通安全対策実施の緊急度の高い箇所と位置付け、「交通事故多発地点緊急対策事業」が実施されている。

平成13年3月16日には「第7次交通安全基本計画」が決定され、道路交通においては自動車保有台数当たりの死傷者を可能な限り減少させること、計画期間中に年間の24時間死者数を8,466人(昭和45年以降の最低値,昭和54年に達成)以下とすることが目標とされた。

(2) 研究の目的

交通安全対策は重要な課題であり、交通事故死傷者数及び事故件数の減少に向けて、より効果的な交通安全対策が求められている。

そこで、本研究では交通安全対策をより一層効果的に推進する方策として、交通事故が発生してから対策を実施するという従来の方法に代わり、交通事故発生前の車両走行特性から交通事故発生危険性が高く交通安全対策に必要な箇所を抽出し、交通安全対策を策定する方法を検討することとした。

この方法により交通事故発生前の対策が可能となり、より早期の交通安全対策の実施が期待される。

なお、交通事故の多くが交差点部で発生すること、交通安全対策を実施した場合により大きな効果が期待できることから交差点部を対象に研究を進めた。

2. 交通安全対策必要箇所抽出に関する研究動向

一般に交通安全対策は、対策必要箇所の抽出、当該箇所における事故発生要因の分析、対策案の決定、事業の実施、事後評価という手順で実施されている。

本研究は、交通安全対策必要箇所の簡便な抽出方法の開発を主テーマとしているので、当該分野における研究動向を整理した。

交通安全対策必要箇所（危険箇所）の抽出に関する研究は、交通事故データを利用した方法と交通事故データによらない方法に大別され、前者は事故率による評価、事故発生モデルによる評価、及び品質管理手法の応用に、後者は交通状況の監視による方法、危険箇所のアンケート等による分析方法、及び走行特性による分析等に細分される。

道路の危険度を評価する方法は、前者の「事故データを用いた危険度評価」が主流であり、事故多発区間の選定、交通安全事業実施等において成果を上げている。

但し、この方法では交通事故発生件数、死傷者数等について統計的に有意なデータを収集するために次のような課題がある。

- ①長期的のデータを収集し、経年的な変動をとらえる必要があること。
- ②分析・評価に時間がかかるため、対策実施の即時性に欠けること。
- ③データの変動、希少性に問題があること。

これらの諸課題を補う手法として、後者の「事故データによらない危険度評価」が提案・研究され、車両の動きや運転者の行動等の交通現象、錯綜現象を観測することにより危険度を評価する方法が試みられている。

但し、この手法は実用化に向けてより詳細な検討が必要となり、特に検討すべき内容として次の事項があげられる。

- ①危険度評価の適用範囲（道路種別、対象事故、地域、路線等）
- ②データ収集の簡便化
- ③事故発生との相関性
- ④調査方法の有効性

表-1 危険度評価方法の分類

項目	内容	特徴
交通事故データを利用した危険度評価	事故率(走行台キロ当たり死傷者数)	交差点等の特定地点における危険度は評価しにくい。
	事故発生モデル 事故件数 = f(道路走行環境) 品質管理手法の応用	事故発生の予測が可能となる。 交通事故は走行台キロについて同じ確率で発生するという仮定に基づく。
交通事故データによらない危険度評価	交通状況の監視による方法	事故記録装置等の利用により特定箇所の分析に適する。
	危険箇所のアンケート等による分析方法	住民や運転者を対象にアンケート調査を行い、ヒヤリ地図等を作成する。
	走行特性による方法	錯綜手法 走行指標による分析 錯綜場面を定義する必要がある。 錯綜手法の一部とも位置付けできる。

以上の背景のもと、既存の交通安全対策箇所抽出に関する研究動向を整理する（表-1参照）。

(1) 交通事故データを利用した危険度評価手法

a) 事故率等による評価

交通安全事業を実施する場合、対象となる道路の危険度を評価する指標に「交通事故死傷者率」（事故率）が用いられるなど、事故統合データベースが広く利用されている。このデータベースを用いた分析では、人口当たり、走行距離当たり、走行時間当たりの事故件数を分析した事例や事故の潜在性を検討した研究がある³⁾。

全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）データの利用では郊外部2車線道路の交通安全性を分析・評価した研究がある。

その他の事故データを基に分析を進めている研究には夜間事故に関する分析⁴⁾、数値地図やGISの利用、及び平均値への回帰問題を取り扱った研究等がある⁵⁾、⁶⁾、⁷⁾。

さらに交差点部、カーブ区間等における事故事例分析に事故データを適用した研究も見られる。

外国の研究事例では混雑度と事故発生の関係进行分析した研究、地方部の交通量の少ない路線における事故の特性を分析した研究、分析に使用する事故データの収集に関する研究が見られる⁸⁾。

事故率は容易に求められる指標であり道路区間のように路線を対象にする場合には便利であるが、交差点のように集中して交通事故が発生する箇所の危険度評価には不適当である。

さらに自動車走行台キロだけを交通事故の発生と関連づけることの妥当性、危険区間を判定する事故率の基準値をいかに決定するか等の課題がある。また、本手法で主に利用する「道路交通センサス」データは調査が5年毎に行われること、集計に時間を要し結果公表までの時間がかかること、センサス区間は調査時点で決まっていること等から、具体的な特定交差点等の迅速な危険度評価に適用することは困難である。

b) 事故発生（危険予知）モデルによる評価

交通事故が発生する場合、人的要因、車両要因、道路走行環境要因がそれぞれが関与している。事故発生モデルの変数には、これら3要素から複数の変数を採用する方法が基本である。

人的エラーや事故直前に発生した偶発的な要因は変数に加え難いが、道路走行環境と人とのインターフェース上の問題については、道路走行環境要因として、複数の変数を考慮することで対応が可能となる(夜間+交通量+照明の組合せ等)。

道路幅員、交通量、走行速度、交差点密度等の指標と単位区間距離当たりの交通事故件数に重回帰モデルを当てはめ良好な結果を得た研究や、幅員、交通量、区間距離、交通事故件数から「危険尺度」を算出し危険箇所を抽出した研究等がある。

また、人間の生理的反応である脳波や心拍数の変化を基に危険感知モデルを作成し危険箇所を特定する研究、運転中の心理的負担を表現すると見られる心電図波形のRR間隔の変化と道路構造要因との関係を考察した事例がある⁹⁾。

交差点事故の発生件数を交通走行環境との回帰分析により交差点の危険性を評価する方法、カーブ発見の認知特性に関する研究¹⁰⁾、類型別事故予測モデルを内包した交通安全対策立案方法、雪氷路面における自動車の走行モデルを作成し路面すべり摩擦との関係で危険性を評価する研究が見られる¹¹⁾。

更に、ニューラルネットワークを用いて交差点内の交通流動と交通安全対策が事故件数に与える影響を事故類型別(追突事故、出会い頭事故、衝突事故)に推計する交通事故予測モデルを作成する研究がある¹²⁾。

また、交通事故発生を確率論的に扱い事故リスク分析モデルを構築し交差点の流入方向別の事故発生件数の期待値を求め、これを基に特異交差点を抽出した研究もある¹³⁾。

外国の研究事例では、地方部無信号交差点における交通事故予測モデル、道路における傷害・死亡・物損事故モデル、及び高齢運転者・若年運転者等の人口属性を変数とした衝突事故の予測モデルに関する

研究¹⁴⁾、¹⁵⁾、道路幾何構造と交通事故発生の関係を分析した研究等がある¹⁶⁾。

本手法は、分析対象とする指標や変数が何を目的に分析するかにより異なり、データ収集が短時間で可能な手法もあるが多くの場合データの収集に時間を要する場合が多い。

c) 品質管理手法の応用による評価

ある道路区間での交通事故は自動車走行台キロについて同じ確率で発生するという仮定に基づき、統計品質管理の理論により危険度を評価する手法である。任意の状況下で交通事故の発生確率は走行台キロ当たりの平均事故件数のポアソン分布に従うものと仮定すると、 x 件の交通事故が発生する確率 $P(x)$ は次の式で示される。

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

λ : 平均事故率

この分布の信頼限界値は次式で与えられる。

$$UCL = \lambda_0 + \kappa \sqrt{\frac{\lambda_0}{m_i} + \frac{1}{2m_i}}$$

$$LCL = \lambda_0 - \kappa \sqrt{\frac{\lambda_0}{m_i} - \frac{1}{2m_i}}$$

UCL : 信頼限界上限値

LCL : 信頼限界下限値

λ_0 : 平均事故率

κ : 危険率 α に対する正規分布の値

m_i : 区間 i の走行台キロ

各区間における実際の事故率を UCL と比較し事故多発区間を抽出する方法である。

(2) 交通事故データによらない危険度評価手法

a) 交通状況の監視による方法

錯綜技法の適用であり、ビデオを利用した事故記録装置(TAAMS)による監視記録の分析、車両感知器による時間平均速度に基づく交通事故発生の危険性分析、右折直進事故に対する分析などに関する研究が見られる¹⁷⁾、¹⁸⁾。

本手法は着目した交差点等における交通事故の原因究明には効果的な方法であるが、危険箇所を特定することは目的としていない。

b) 危険箇所のアンケート等による分析方法

交通事故の危険意識や危険箇所について運転者からの情報を基に分析を進める研究や¹⁹⁾、住民からの情報を基にしたヒヤリ地図の作成により危険箇所の特定を行う研究が見られる²⁰⁾。

特に危険交差点については運転者からのアンケート調査により箇所の抽出、危険交差点の形状、問題点、注意点、改良の内容等を明らかにした研究がある²¹⁾。

更に、職業運転者の意識調査による危険路線の順位付け、及びその路線上の危険箇所の特定を行った研究もある²¹⁾。

また、出会い頭事故の原因分析をアンケート調査により実施し、優先関係の判断のばらつきが原因であることを明らかにした研究もある。

c) 走行特性による方法

走行特性による安全性評価の方法は錯綜手法と走行指標による分析に大別できる(表-2参照)。

【錯綜手法】

錯綜手法は、車両の動きや運転者の行動等の交通現象をビデオ等で観測することにより車同士のニアミスのような事故に結び付く可能性の大きい事象を計測することにより、その発生頻度から事故の危険性、潜在性を評価する手法であり、1960年代に米国で開発されたものである。

国内における研究は、1970年代から警察庁科学警察研究所において行われ、その後、建設省土木研究所では道路管理への適用等について研究を進めた。

錯綜現象を「事故発生直前の回避行動」とした場合、発生頻度が低くなり、必要なデータの収集時間が長くなるので「錯綜より発生頻度が高く、かつ事故の潜在性を表す現象」を広錯綜現象として定義した研究も見られる²²⁾。

この研究ではブレーキやハンドル操作による事故回避を広錯綜と定義し、路線区間(単路部)においてブレーキ回数、ハンドル操作を実測し事故発生の危険性と相関が高い(回数が多しと事故発生に繋がる)ことを示している。

ブレーキ操作や速度制御を、広い意味で錯綜(危険な交通行動)として定義している例もあるが、あまり複雑な状況を錯綜とすると一般化しにくいという問題がある。

また、交差点通過時についてはブレーキを使用しない車両は危険運転をしているので、ブレーキ使用が少ない交差点区間は危険性が高いとも判断できるので、ブレーキ操作を錯綜に含めることには意見が分かれる。

このように、錯綜手法による分析は「錯綜」の定義・分類により分析結果に大きな違いが生じること、事故類型によって錯綜との相関性が異なること等から結果の安定性について確認が必要となる。

このため、新しい観点での走行速度と車間距離の関係をを用いて分析することが必要と判断した。

表-2 既往研究(走行特性による方法)で危険度評価に用いた走行指標の例

	走行指標例	備 考
錯 綜 手 法	ブレーキ回数、 ハンドル操作	広錯綜 ²²⁾
走 行 指 標 による評価	アクセレーションノイズ	アクセレーションノイズと交通事故の相関分析 ^{23)、24)}
	走行速度	走行速度と交通事故件数の関係を分析 ²⁵⁾
	ハンドル角速度、 アクセル踏込量、 ブレーキ踏込量	指標による交通事故件数の推計モデル作成 ²⁶⁾

【走行指標による分析】

走行指標による評価には、道路・交通条件と運転者特性を総合的に表現する指標として走行車両のアクセレーションノイズ(加減速変動)に着目して交通事故との関係を分析した研究^{23)、24)}が見られるが、これら論文は路線区間を対象としているため、交差点という箇所に着目した場合の適用性は明確になっていない。また、アクセレーションノイズの定義からも、ある区間長を対象とした評価に適用性があるものと考えられる。

1996年度に建設省土木研究所が実施したアクセレーションノイズによる事故多発区間の抽出の可能性に関する検討結果によると、区間長を400m以上とした場合には車両相互事故との関係が認められるが、区間長を短くした場合には交通事故との相関性はほとんど見られず、アクセル減少回数、ブレーキ増加回数よりも交通事故に対する走行特性指標としての有効性は低いと判断されている。

また、交差点の安全性評価を走行速度及び車間距離をそれぞれ単独で用いて評価指標とする研究が行われ、多発時間帯においては走行速度が高いこと、及び車間距離の分布が示されているが走行速度と車間距離を組み合わせた評価は行われていない²⁵⁾。

ハンドル角速度、アクセル踏込量、ブレーキ踏込量等を含めた多くの指標を使用する研究²⁶⁾では、カーブ区間を対象に事故件数2.5件/100m以上において、事故件数とアクセル踏込量、カーブ中央区間からのブレーキ踏込量、ハンドル操作角との相関が高くなっていることを示すとともに、重回帰モデルを提示している。

特に事故件数が多い区間における重回帰モデルの適合性は良好(重相関係数0.948)であったので、これらの指標による評価が交差点部において適用可能であるかを本研究で検討したが、交差点部における交通事故の多発と非多発の区分には説明力が十分ではなかった。

これらの研究で用いるデータには、特殊な車両により計測するものもあり、評価手法を普及させるときにデータ計測が課題になることが予測される。

(3) 本研究の位置付け

交通安全対策必要箇所の抽出方法に関する研究動向を概観した結果を踏まえ、既往研究には見あたらず新しい視点に基づく検討として、交差点進入部の走行速度とその走行速度において追突せず安全に停止できる車間距離との関係を解析することにより潜在的危険性がある交差点の抽出手法を研究することとした。

本研究により、交通事故発生前に潜在的危険性が高い交差点が抽出可能となり、より効率的に交差点部における交通安全対策の策定支援が可能となることが期待される。

3. 自動車走行特性による危険交差点の抽出

交通安全対策を実施する上で念頭に置くべき交通事故発生の特長である集中性について考察する。

(1) 交通事故発生の集中性（事故多発地点）

a) 交通事故の集中発生傾向

「交通事故多発地点緊急対策事業」が実施されている事故多発地点では、交差点部、単路部ともに高い確率で交通事故が発生している。平成2～5年の交通事故統合データベースによる分析によると、交差点部における交通事故の発生件数は幹線道路全体で一箇所当たり年平均0.2件の発生に対し、事故多発地点では年平均6.3件となっている²⁷⁾。

このように、交通事故の発生箇所は集中する傾向があるので、効果的な交通安全対策を実施する上で危険箇所を適切に抽出することは、非常に重要な課題である。

b) 事故多発地点における交通安全対策事業による事故削減効果

表-3は事故多発地点の内、平成8年度に何らかの対策が実施された246箇所について、国土交通省道路局が対策実施前後における事故件数の変化を整理したものである。これによると、交差点部においては29%、単路部においては18%の事故が削減され、全体で25%の事故削減効果が見られ、交差点部における人対車両事故（約60%）や、単路部における車両単独事故（約76%）の大きな事故削減効果が特徴的である²⁸⁾。

表-3 対策実施効果（平成8年）

	対策前	対策後	対策効果	
交差点部 (141箇所)	719件	511件	-208件 (29%減)	人対車両60%減 車両相互26%減
単路部 (105箇所)	460件	376件	-84件 (18%減)	車両単独76%減 車両相互15%減

出典：国土交通省道路局ホームページ（平成13年5月）

また、総務庁では平成12年度に交通事故の長期予測を実施し、3,296箇所の「交通事故多発地点緊急対策事業」が完了すれば死傷事故件数が年間18,603件（内交差点部では14,042件）減少すると推計している²⁹⁾。ここでも、交差点部における交通安全対策の効果が大きいことが予測されている。

なお、事故多発地点3,296箇所は平成6年～9年の交通事故統合データベースによる抽出であり、前出の3,196箇所は抽出の基準は同じであるが平成2年～5年の同データベースによる抽出である。

(2) 研究の方法

道路の安全性評価は、一般に交通事故データが用いられているが、データの収集・整理に時間がかかり、迅速な評価が行い難いという課題がある。

この課題を補う手法として、車両の動きや運転者の行動等の交通現象を観測することによって危険度を評価する錯綜手法がある。

しかし錯綜手法は、研究動向でも述べたとおり危険な現象かどうかの判断を観測者の主観的な判断に委ねるため、定量的な指標を設定する必要がある。

そこで、本研究では走行特性による方法（表-2参照）で取り上げられている走行指標（データ）を道路走行試験車（建設省土木研究所管理・現：国土交通省国土総合技術研究所）を用いた走行調査から、交差点進入部における自動車の走行特性（走行速度、車間距離）をビデオ撮影による計測から収集し、これらのデータを分析することにより、交差点における潜在危険度の抽出を行う手法の検討を行うこととした。

ここでは、「交通事故多発地点緊急対策事業」が進められている事故多発交差点において年平均6.3件の交通事故が発生していること、及び事故発生の偶然性を考慮し、年間6件以上の交通事故が発生した交通事故多発交差点（以下では多発交差点）と交通事故発生2件以下の交通事故非多発交差点（以下では非多発交差点）を選定し両交差点における自動車の走行特性を比較し、安全性との関連を分析する。

(図-2参照)とその間を通過するのに要した時間 t_1 により算出した。

車間距離は、調査箇所毎に事前に基準点を設定し、通過車両の車頭間隔時間 t_0 と走行速度を用いて算出した。

4. 道路走行試験車及びビデオ撮影による走行特性調査結果

(1) 道路走行試験車による直進時の走行実験結果

a) 停止時間の有無による平均走行速度の比較

図-3は、表-4に示す調査対象交差点について多発交差点(6箇所)と非多発交差(5箇所)における停止時間を含む平均速度(平均走行速度(1))と停止時間含まない平均速度(平均走行速度(2))を比較したものである。

この図で、平均走行速度(1)と平均走行速度(2)が同じ値を示すときは、交差点を交通信号で停車することなく通過し、走行中に停車時間が生じなかった場合である。

多発交差点においては平均走行速度(1)の範囲が広く(10~70km/h)、交差点を高速で停車することなく通過する車両が多く見られる。

非多発交差点では平均走行速度(1)の範囲は多発交差点に比較して狭く(20~60km/h)、ブレーキを使用していると見られる速度は多発交差点より範囲が広く、さらに平均走行速度(1)は平均走行速度(2)に比較して8.0km/h低くなっている(多発交差点では6.1km/h低い)。

これは、多発交差点に比べ交差点で停車する車両が多いことが原因と見られる。

以上の結果より、多発交差点は非多発交差点に

比べ平均走行速度の分布範囲から判断して、交差点通過速度が高いこと(多発交差点では交通信号で一時的停車する車両が少ない)。平均走行速度(1)と(2)との差から判断して、停止又は減速時間が短いことが明らかとなった。

b) 走行速度とブレーキ回数の関係

図-4は、多発交差点と非多発交差点における平均走行速度(1)とブレーキ回数の関係を示したものである。

多発交差点では走行速度が高くなるに従って、ブレーキ回数が少なくなる傾向にあるが、非多発交差点では走行速度とブレーキ回数との間に相関(相関係数0.0013)はなく、速度に関係なく1~4回のブレーキ回数で停止又は減速が行われている。

また、多発交差点ではブレーキを使用しない車両、60km/h以上の速度で通過する車両が見られる。

c) 停止動作開始時の初速度と減速度の関係

観測の結果、多発交差点は非多発交差点に比べ、停止動作開始時の初速度と関係なく減速を行っていた車両が多く見られた(図-5参照)。これは、停止動作開始時の速度が高い場合には車頭間隔が短くなり、追突しやすい危険な状態になる確率が増加することとなる。

また、非多発交差点では走行速度が約55km/h以上の場合には多発交差点の場合より大きな減速度が見られるが、走行速度が低い範囲では減速度が低かった。

このようなことから、非多発交差点では走行速度と減速度の関係は、停止動作開始時の速度が高い場合には減速度が大きくなるという、合理的な関係が認められ、より良好な走行が行われていると判断できる。

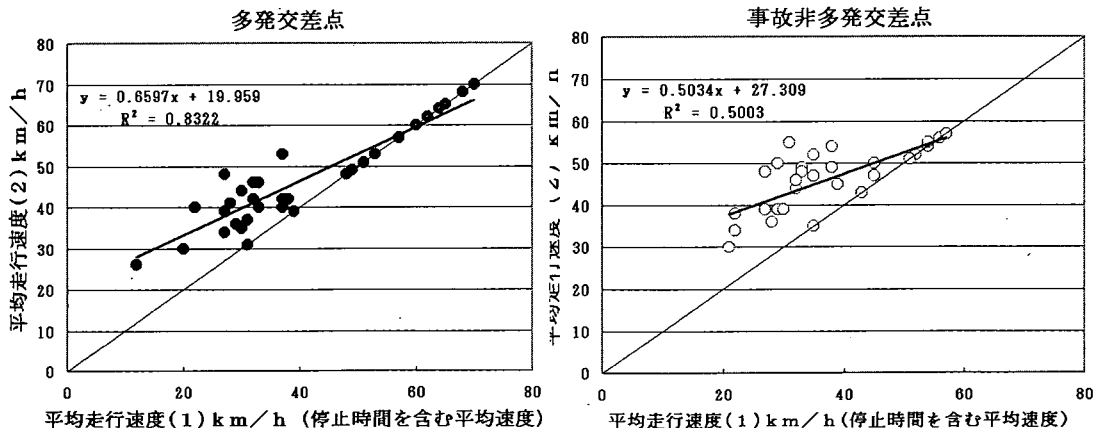


図-3 平均走行速度(1)と平均走行速度(2)の関係

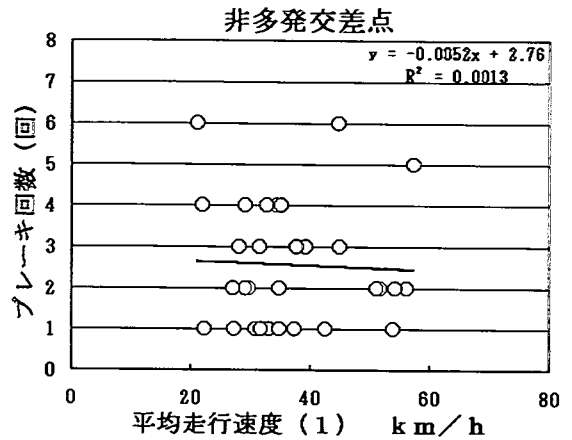
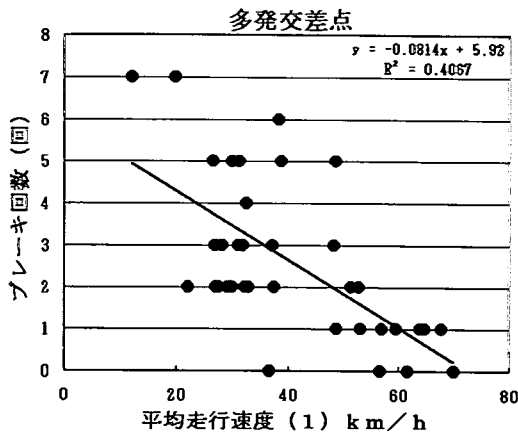


図-4 平均走行速度(1)とブレーキ回数の関係

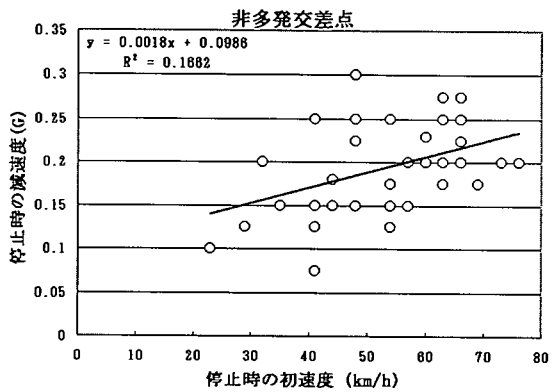
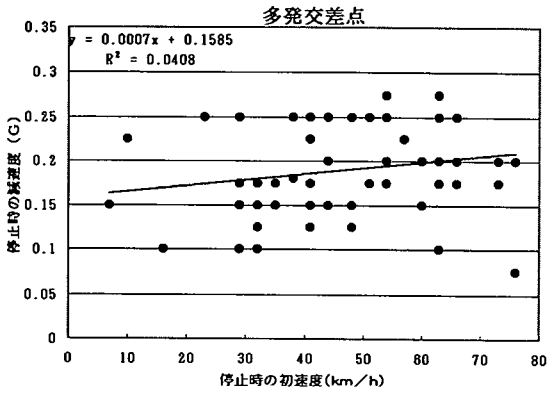


図-5 停止動作開始時の初速度と減速度の関係

(2) 道路走行試験車による右折時走行実験結果

a) 走行速度，横加速度，ハンドル角速度

右折時の走行特性を数量的に把握するため，前を走行する車両に道路走行試験車を追従走行させて走行速度，横加速度，ハンドル角速度などを測定したところ，多発交差点と非多発交差点で有意な差は見られなかった。

b) 右折時の視認距離と対向車までの必要距離の関係

図-6は，交差点において右折したときの運転者の視認距離と対向車が右折車に衝突しないための必要距離を示したものである。視認距離は視認できる位置をビデオの画面上で読み取り，その地点までの距離を現場で測定して求めた。

右折車が対向直進車と衝突しないための必要距離 D は式 (1) により求めた。

$$D = V(T + t) / 3.6 \quad (1)$$

D : 必要距離 (m)

V : 対向車の速度 (実測値又は60km/h)

T : 反応時間 (2.0秒)

t : 交差点通過時間 (秒) で実測値

その計算結果の例として，一部を表-5に示した。図-7では，道路線形から規制速度60km/hで視認距離不足となる交差点(■印)や対向右折レーンの右折車により視距不足となる交差点(▲及び△印)もあったが，多発交差点で縦断曲線が構造規格を満足していない箇所(■印)以外は，必要距離は確保されていた。

(3) ビデオ撮影による直進時の走行速度・車間距離調査結果

表-4に示す調査対象箇所から多発地点2箇所(大角豆交差点，一の矢交差点)，非多発地点2箇所(榎戸交差点，花畑1丁目交差点)を選定し，交

表-5 視認距離・必要距離計算例

交差点名	走行方向	① 縦断距離 (m)	② 横断距離 (m)	③ 視認距離 (m)	交差点通過時間 (秒)	交差点走行距離 (m)	対向車の速度 (km/h)	必要距離 D (m)	
多発	一の矢	荒川沖→筑波	270	6.55	270.1	11.0	28	54.2	195.7
		筑波→荒川沖	100	6.55	100.2	10.1	28	59.8	201.0
	大清水公園西	土道→水海道	172	9.75	172.3	8.0	38	60.0	166.7
		水海道→土道	181	9.75	181.3	8.0	38	60.0	166.7
非多発	花畑1	荒川沖→筑波	206	6.55	206.1	6.0	31	49.0	108.9
		筑波→荒川沖	252	6.55	252.1	7.0	30	57.6	144.0
	吾妻1丁目南	水海道→土道	172	9.75	172.3	8.0	38	60.0	166.7
		土道→水海道	204	9.75	204.2	8.0	38	60.0	166.7

注) 一の矢と花畑1丁目、大清水公園西と吾妻1丁目南が多発、非多発で対応。大清水公園西と吾妻1丁目南は隣接する交差点であり、対向車の速度は規制制速度を用いた。

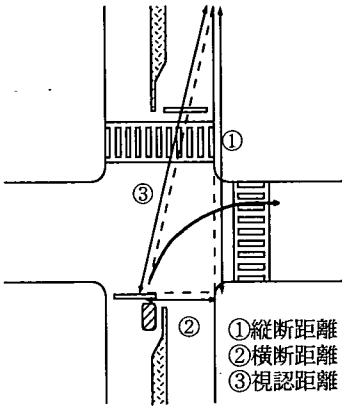


図-6 視認距離測定方法

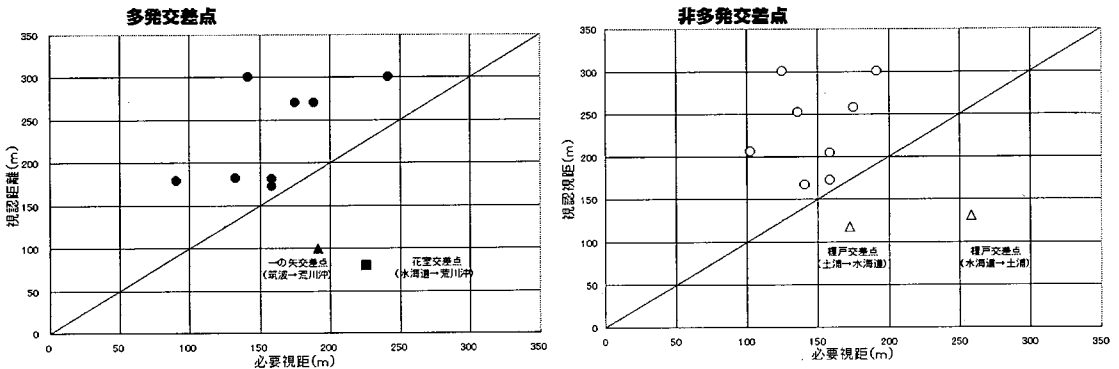


図-7 必要距離と視認距離の関係

差点の手前200m～300mの区間を定常状態で走行している100台の走行状況(走行速度、車間距離)を昼(15時前後)及び多発時間帯(18～20時)にビデオ解析により求め、その結果を分析した。

a) 走行速度と車間距離の関係

実測した車間距離に対し、空走時間^{3 1)}及び路面のすべり摩擦係数^{3 2)}により制動停止距離^{3 3)}を式(2)により求め車間距離の安全性を検討した。

$$S = \frac{V^2}{2gf(3.6)^2} + \frac{V}{3.6} \times t \quad (2)$$

- S: 制動停止距離 (m)
- V: 走行速度 (km/h)
- g: 重力加速度
- f: 平均すべりまさつ係数 (0.3, 0.45及び0.7)
- t: 空走時間 (0.75秒)

表-6に制動停止距離算定条件を示し、表-7及び表-8には各交差点の方向別に100台の走行データ(車間距離は99データ)における平均走行速度、平

均車間距離、限界以下の車間距離の数を示した。

この表から渋滞時(速度19.5km/h)と視認距離の不足する「一の矢交差点」の荒川沖方向を除き、事故多発交差点は走行速度に対応する車間距離により判別可能であることがわかる。

図-8には、表-7の基礎データである車間距離、走行速度の実測値分布、並びに表-6の算定条件から求めた制動停止の限界値を示した。

制動停止距離算定条件①が通常走行時の限界値であり、算定条件②、③は一般道路の維持管理の目標値である^{3 4)}。

図-8における①、②、③の線(安全率の限界)の右側に位置する車間距離で走行している車両はそれぞれの条件に対し制動停止距離を下回る車間距離であり、特に交差点部における出会い頭事故に次いで多い追突事故の危険性が大きい状態である^{3 5)}。

なお、十分な車間距離の確保等により事故回避に必要な時間が確保できれば多くの交通事故が回避可能であると考えられ、車間距離の確保が交通事故防止の重要な方策のひとつとして挙げられる^{3 6)}。

表-6 制動停止距離算定条件

①	反応遅れ時間 減速度	$t=0.75$ $g=0.3$	通常走行時の減 速度の限界値
②	反応遅れ時間 すべり摩擦係数	$t=0.75$ $f=0.45$	湿潤時のすべり
③	反応遅れ時間 すべり摩擦係数	$t=0.75$ $f=0.7$	乾燥時のすべり

表-7 一般国道354号における走行状況

対象交差点	走行方向	速度	車間距離	③限界以下数
【多発交差点】 大角豆	大角豆→ 水海道	19.5	21.6	0
	大角豆→ 土浦	58.0	80.6	39
【非多発】 榎戸	榎戸→ 水海道	25.6	33.8	3
	榎戸→ 土浦	40.6	47.9	2

(注) 夕(多発時間帯)の観測データ。

単位は速度: km/h, 車間距離: m である。

③限界以下数(表-6参照): 全99点中の該当データ数
太字: 図-8に対応するデータ

表-8 主要地方道 土浦つくば線における走行状況

対象交差点	走行方向	速度	車間距離	③限界以下数
【多発交差点】 一の矢	一の矢→ 荒川沖	60.0	89.4	49
	一の矢→ 筑波	59.6	63.7	61
【非多発】 花畑1丁目	花畑1丁目 →荒川沖	55.7	50.4	49
	花畑1丁目 →筑波	59.7	98.8	39

(注) 夕(多発時間帯)の観測データ。

単位は速度: km/h, 車間距離: m

③限界以下数(表-6参照): 全99点中の該当データ数

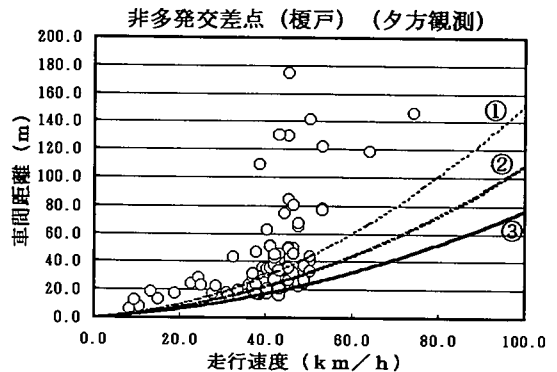
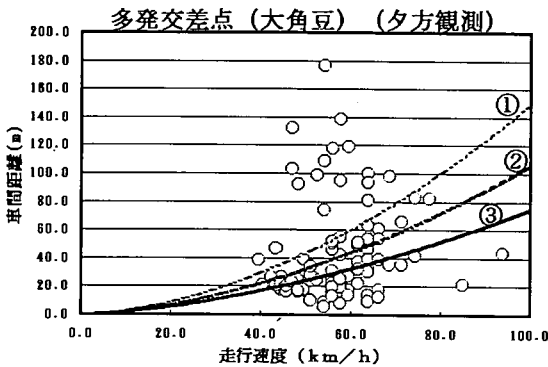


図-8 車間距離と走行速度の関係(多発時間帯)

(注) : ①②③は表-6の算定条件に対応

今回の現場計測は、路面乾燥時に交通事故が多く発生する時間帯(18~20時)に行ったので、算定条件③の線の右側に位置する走行状態が限界を超えた危険な状況にある。

図-8から、制動停止距離より車間距離が短い車両が多発交差点において多く、交通事故の主要因として走行車両の車間距離の不足が挙げられ、追突事故の危険性が大きい状態であることがわかる。

一の矢交差点と花畑一丁目交差点についても大角豆交差点と榎戸交差点におけるのと同様な傾向が見られた。なお、大角豆交差点は「交通事故多発地点緊急対策事業」の事故多発交差点として指定されている。

b) 追突に対する余裕距離(必要車間距離)の検討方法

事故なく定常走行している車両の車間距離を測定し、反応遅れ時間を考慮しない条件のもとに、前車

に追突せずに停車するために必要な路面のすべり摩擦係数(f_0)を式(3)により求め、 f_0 が1以上のものを除き平均すべり摩擦係数(f)を求めた。その結果を表-9に示す。

$$f_0 = \frac{V^2}{2gL(3.6)^2} \quad (3)$$

f_0 : 路面のすべり摩擦係数

g : 重力加速度

L : 車間距離 (m)

V : 走行速度 (km/h)

計算により求めた最小限のすべり摩擦係数のもとで、実際の突発事象に対し反応遅れ時間を考慮して追突せずに停車できる車間距離を計算し、実際の車間距離分布の安全性を評価するものである。

表-10 車間距離の区分 (追突・危険・安全)

路線名	交通事故 多 発 交差点					交通事故 非 多 発 交差点				
	交差点名	走行方向	割 合 (%)			交差点名	走行方向	割 合 (%)		
			追突	危険	安全			追突	危険	安全
国 道 354号	大角豆	至水海道	43.4	39.4	17.2	榎 戸	至水海道	35.1	41.2	23.7
		至土浦	50.5	20.4	29.0		至土浦	43.4	29.3	27.3
主要地方道 土浦つくば線	一の矢	至荒川沖	64.5	13.2	22.4	花畑 一丁目	至荒川沖	76.3	10.0	13.8
		至筑波	72.9	10.6	16.5		至筑波	58.6	18.2	23.2

(注)多発時間帯(夕)のデータである。
大角豆交差点の土浦方向は渋滞状態。
一の矢交差点の荒川沖方向は視距不足が生じている。

表-9 すべり摩擦係数(μ)の計算結果

場所 測定時	多発交差点		非多発交差点	
	摩擦係数	分散	摩擦係数	分散
昼	0.188	0.050	0.190	0.035
多発時	0.199	0.054	0.195	0.051
夜	0.182	0.044	0.202	0.040

一般に用いられている空走時間0.75秒²³⁾と道路構造令に用いられている反応遅れ時間2.5秒から式(1)により制動停止距離を求め、この値を必要な車間距離とした。

ここで、余裕距離(L₁、L₂)は実測車間距離(L₀)とそのときの走行速度における制動停止距離(S)との差として求めた。

ただし、L₁、L₂は以下のとおりである。

L₁:空走時間0.75秒としたときの余裕距離(m)

L₂:反応時間2.5秒としたときの余裕距離(m)

c) 車間距離の実態と余裕距離の関係

追突・危険・安全の評価は、計算により求めた最小限のすべり摩擦係数のもとで、実際の突発事象に対し反応遅れ時間を考慮して追突せずに停車できる車間距離を計算し、実際の車間距離分布の安全性を判定するものである。

ここでは、余裕距離がマイナスとなる場合は追突、余裕距離が反応遅れ時間0.75~2.5秒の範囲にある場合は危険、それ以上を安全と定義した。

表-10は制動停止距離と実測の車間距離を追突・危険・安全に3区分したものである。なお、表中の評価基準は

追突: L₁ > L₀

危険: L₁ < L₀ < L₂

安全: L₀ > L₂

である。

渋滞がなく、視距も確保されている走行状態(表-10中の太字)では、追突が43.4~72.9%、危険を含めて72.8~73.5%となり、非多発交差点では追突が35.1~58.63%、危険を含めて66.3~66.8%と

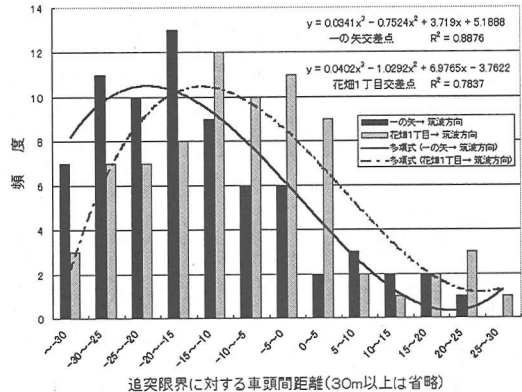


図-9 追突に対する余裕距離の分布
(主要地方道土浦つくば線における夕方観測)

なり、非多発交差点が車間距離では安全性が高くなっているが、両交差点とも直進時に車間距離を十分保っていない車両が相当数あることが明らかとなった。

また、図-9は表-10中の主要地方道土浦つくば線に着目し多発交差点(一の矢)と非多発交差点(花畑一丁目)における余裕距離の分布を示したものである。この図から追突限界距離以下の車間距離で走行している車両が多発交差点においてより多いことがわかる。

5. 結 論

交差点における交通事故の潜在的危険性を評価する手法について、茨城県つくば地区での交差点付近の走行状況実測データを基に検討した。

走行状況データは、交通流の中を走行する道路走行試験車、及び路側に設置したビデオ撮影により計測したものである。

前者では走行車両のブレーキやアクセルの使用状

況、走行速度の変動、車両に作用する加速度等を、後者では走行速度と車間距離を計測した。

これらの計測から得られたデータを分析した結果、交通事故は運転挙動（交差点通過速度、ブレーキの使用状況等）の変動が大きく、走行速度に応じて必要とする車間距離が短い箇所が発生しやすいことが判明した。解析の結果得られた走行特性と交通事故の潜在的危険性との関係を整理すると以下のとおりである。

（1）道路走行試験車で計測したデータの解析結果

a) 交差点直進通過時の走行特性

多発交差点の交差点通過速度の範囲は広く（図-3参照）、走行車両の交差点手前における停止又は減速時間が短く、急ブレーキの使用が多いと見られること。停止動作を開始したときの速度が大きいときに減速度も大きいという合理的な関係が多く見られないことが判明した。

また、多発交差点ではブレーキを使用しない車両、60km/h以上の速度で通過する車両も見られた。

既存研究では、広錯綜としてブレーキ使用回数を錯綜に含め危険性を評価しているが²²⁾、本研究では急ブレーキは危険に繋がるが、ブレーキを使用しないのも危険であるとの結果であった。このことから、ブレーキの使用を錯綜に含めること評価感が低下すると思われる。

b) 右折時の走行特性

ハンドル角速度が大きい交差点もあったが、危険となる走行挙動は発生していなかった。対向の右折車両により視認距離が不足する場合も見られたが、多発交差点、非多発交差点で顕著な差は見られなかった。

（2）ビデオ撮影から求めた走行データ解析結果 （交差点進入時の走行特性）

図-8から多発交差点では交差点進入時に車間距離が不足する車両が多く、多発交差点と非多発交差点との判別に走行速度と車間距離の関係が有効な指標となることが判明した。

（3）結果の評価

走行特性について分析結果を簡便性、合理性等から総合的に判断すると、簡便な測定（ビデオ撮影）により得られる走行速度と車間距離の関係から危険交差点を抽出する方法が優れていると判断できる。

特に走行速度に応じて必要とする車間距離との関係から事故の危険性が大きい交差点を抽出できる可能性を確認したことは、交通安全対策を効果的に実

施する上で大きな成果である。

今回の研究成果は一地区を対象にしたデータから得られたものであることから、普遍的な適用については、今後さらに標準的な観測マニュアルに基づく走行特性（走行速度、車間距離）や道路環境の調査を重ね、

- ・交通事故多発地点（交差点）抽出の閾値の決定
- ・抽出した交差点における交通安全診断手法の確立
- ・診断結果を基にした最適な交通安全対策の確立
- ・交通安全対策後の検証及び継続的な交通事故調査等の充実

等を進めることが必要と考えている。

なお、本研究で提案した走行速度と車間距離の関係を基に評価する手法をマイクロ交通シミュレーション（NETSIM及びSimr）による右折車線の設置効果、横断歩道の立体化効果の事例に適用したところ妥当な結果が得られることを確認した。

謝辞：本研究を進めるに当たり大変お世話になった、茨城県土木部、茨城県警察（つくば中央署、つくば北署）の関係者の皆様、並びに（財）土木研究センターの小野田部長に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Road accidents—worldwid a problem that can be tackled successfully!, カナダ（モントリオール）PIARC会議資料, 1995.
- 2) 内閣府交通安全対策室：交通事故による経済的損失に関する調査研究, 2001.
- 3) 田久保宣晃：交通事故データの調査分析の現状, 交通工学, Vol. 31 増刊号, pp.16-21, 1996.
- 4) 島村亮太, 古池弘隆, 森本章倫：宇都宮市における夜間交通事故の特性に関する研究, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集IV158, pp.316-317, 1996.
- 5) 鹿野島秀行：交通事故分析へのGISの適用, 土木技術資料41-1, pp.6-7, 1999.
- 6) 大蔵 泉, 平田恭介, 中村文彦：交通事故対策事業の効果評価方法に関する実証的研究, 国際交通安全学会誌, Vol. 26, No. 1, pp.4-11, 2000.
- 7) 三井達郎：過去の事故歴データを用いた交差点事故件数の推定, 科学警察研究所報告交通編, Vol. 27, No. 1, pp.49-56, 1986.
- 8) Chang, J. : Effects of Traffic Condition(V/C) On Safety at Freeway Facility Sections, *Transportation Research Circular E-C018*, pp.200-208, 2000.
- 9) 森下時磨, 奥谷 巖, 真鍋昌彦：脳波特性を用いた道路走行安全性評価に関する実験的研究, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集IV167, pp.334-335, 1996.

- 10) 鈴木健太, 萩原 亨, 加賀屋誠一, 大沼秀次: 道路環境ファクターを考慮したカーブ発見の認知特性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 22(2), pp. 975-978, 1999.
- 11) 内田賢悦, 岸邦宏, 中岡良司, 佐藤馨一: 雪氷路面における安全追越視距に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 22(2), pp. 901-904, 1999.
- 12) 小谷ゆかり, 鈴木崇児, 秋山孝正: ニューラルネットワークを用いた交差点の類型別事故率推計モデルの作成, 土木計画学研究・講演集, No. 22(2), pp. 933-936, 1999.
- 13) 家田 仁, 柴崎隆一, 越湖 淳: 事故プロセスに着目した事故リスク分析モデルによる特異交差点の抽出と事故要因分析, 第24回土木計画学研究発表会講演集 (CD版論文集), No. 68, 2001.
- 14) Sayed, T.: Accient Prediction Models For Urban Unsignalized Intersections In BRITISH COLUMBIA, *Transportation Research Record-Journal of Transportation Research Board 1665*, pp. 147-157, 1999.
- 15) Dissanayake, S.: Simplified Approach to Forecast Highway Crash Rates of Selected Special Population Subsets, *Transportation Research Record-Journal of Transportation Research Board 1665*, pp. 44-50, 1999.
- 16) Caliendo, C. and Lamberti, R.: Relationships Between Accidents And Geometric Characteristics for Four Lanes Median Separated Roads, *Proceeding of the Conference Traffic Safety on Three Continents International Conference in Moscow, Russia, Session 1, Road Safety on Different Continents*, No. 2, 2001.
- 17) 上山 勝: 交通事故記録装置 (TAAMS) による交通事故の発生メカニズムに関する研究, 科学警察研究所報告 (交通編), Vol. 38, No. 2, pp. 12-30, 1997.
- 18) 赤羽弘和, 長谷川潤, 森田紳之: 都市高速道路における追突事故発生状況の感知器データによる分析, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 1-4, 2000.
- 19) 森地 茂, 浜岡秀勝: 交通事故の危機意識に関する考察, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 713-718, 1995.
- 20) 千葉崇宏, 赤羽弘和: Web上でのヒヤリ地図システムの開発, 土木計画学研究・講演集, No. 22(2), pp. 951-954, 1999.
- 21) 岩佐正章, 安藤 昭, 小林 慎: プロ運転者の意識調査による交通危険箇所の抽出について, 土木学会第50回年次学術講演会 IV-166, pp. 332-333, 1995.
- 22) 元田 良孝: 道路の安全性評価と錯綜手法に関する研究, 学位論文, 1994.
- 23) 今井 稔, 松本幸正, 高橋政稔, 栗本 謙: アクセレーションノイズと交通事故との相関に関する研究, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集 IV-270, pp. 576-577, 1993.
- 24) 野田宏治: 道路交通環境を考慮した自動車のアクセレーションノイズ予測モデルと交通事故に関する研究, 土木学会論文集, 512/IV-27, pp. 61-71, 1995.
- 25) 沖縄開発庁沖縄総合事務局: 交通事故多発区間等の効率的な抽出に関する研究 (城間交差点における走行特性調査), 平成7年度 (第49回) 建設省技術研究会指定課題, pp. (3-7)-(3-8), 1995.
- 26) 建設省中部地方建設局交通対策課: 交通事故多発区間等の効率的な抽出手法に関する研究 (カーブ区間における走行特性調査), 平成8年度 (第50回) 建設省技術研究会指定課題, pp. (15-5)-(15-6), 1996.
- 27) (財) 交通事故総合分析センター: 事故多発地点, イタルダ・インフォメーション, No. 19, 1999.
- 28) 国土交通省道路局ホームページ (2001/10/25)
<http://www.mlit.go.jp/>
- 29) 総務庁長官官房交通安全対策室: 交通事故の長期予測及び効果的な交通安全計画策定に関する研究, pp. 20-25, 2000.
- 30) 日本道路協会: 道路反射鏡設置指針, pp. 5-8, 1980.
- 31) 林 洋: 自動車事故鑑定工学, 技術書院, p. 101, 1992.
- 32) 市原薫, 小野田光之: 路面のすべりとその対策, 技術書院, pp. 67-68, p. 80, 1997.
- 33) 日本道路協会: 道路構造令の運用と解説, p. 254, 1983.
- 34) 市原薫, 小野田光之: 路面のすべりとその対策, 技術書院, pp. 67-68, p. 80, 1997.
- 35) (財) 交通事故総合分析センター: 平成12年版ビジュアルデータ「図で見る交通事故統計」, pp. 10-14, 大成出版社, 2001.
- 36) 建設省土木研究所, (技術研究組合) 走行支援道路システム開発機構: 走行支援システムインフラリクワイアメント (第一次) (案), 部内資料, 1999.

(2001. 12. 28 受付)

ANALYSIS ABOUT THE POTENTIAL RISK OF ACCIDENT AT AN INTERSECTION FROM THE VIEWPOINT OF TRAFFIC CHARACTERISTIC

Kazuhiko TAKASHIMA, Hirotaka KOIKE and Akinori MORIMOTO

Traffic safety measures are important subjects and it is widely sought for more effective safety measures toward the reduction of traffic accident losses.

The conventional method is to deal with accident after they took place at accident-prone intersections.

In this study, a new approach was pursued to deal with potential accident before it occurs by observing the traffic characteristics of vehicles at intersections.

It became clear through the examination of traffic at intersections that it is possible to extract intersections where frequent accidents are likely to take place by measuring the speed and spacing of vehicles.