

事故の重大性を考慮した都市高速道路における 交通事故リスク要因分析

兵頭 知¹・轟 朝幸²・吉井 稔雄³

¹ 正会員 日本大学助手 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: hyoudou.satoshi@nihon-u.ac.jp

² 正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

³ 正会員 愛媛大学大学院教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 番)

E-mail: yoshii@cee.chime-u.ac.jp.

本研究では種々の交通状況・道路環境下で事故が発生した場合の事故の被害程度、すなわち事故の重大性に与える影響要因を把握することを目的とする。具体的には、都市高速道路の事故を対象に物損・軽症・重症/死亡の3つの事故重大性の違いに着目して交通流、道路構造および環境の各種要因と事故発生リスクとの関係を事故類型別・事故の重大さ別に分析する。その結果、追突事故における物損事故および軽症事故では自由流と比較して渋滞流下で高い事故発生リスク値を示すものの、重症/死亡事故では両交通流が時間的あるいは空間的に混在する混合流において事故発生リスクが高まることが示唆された。

Key Words: accident risk, accident severity, urban expressway

1. はじめに

事故統計¹⁾によると、近年の交通事故による死者数は3,904名、負傷者数は618,853名で減少傾向で推移している。しかしながら、事故による死傷者数の数自体は減少しているものの、自動車保険データ²⁾をみると事故による物的・人的な経済損失額については横ばいの傾向を示していることなどから、依然として社会的に大きな問題であるといえる。更なる交通事故の削減に向けて、これまでの顕在化された事故多発地点を対象とした事故のマネジメントから潜在的な事故リスクを考慮した科学的な根拠に基づく事故リスクマネジメントにシフトしていくことが肝要であると考えられる。とりわけ、高速道路における事故については事故発生リスク自体は一般街路に比べ低いものの、各車両が高速で走行するため一度事故が発生した場合には重大事故に繋がる恐れがあることなどから、高速道路における重大事故の発生要因を把握することの有用性は高いといえる。

従来研究において事故重大性に対する分析は、交通事故のデータを用いて、全事故に対する死亡重傷事故件数の割合、すなわち死亡重症発生率と各種事故の項目との相関を調べることで、どのような事故が深刻度の高い重大事故に発展しやすいのかを明らかにしている。例えば、

吉田ら³⁾はエアバック展開装置に記録された情報と交通事故のマクロデータとの相関を調査することで、速度変化、シートベルト着用情報、横転および多重追突の有無の情報が乗員の死亡・重症発生率と相関を有することを示している。さらに、富永ら⁴⁾や吉田ら⁵⁾は同データを用いて乗員の死亡重傷発生率を推計するモデルを構築している。その結果、シートベルトの着用状況や衝突の方向が死亡重傷発生率に影響することをなどを示している。また、Ali⁶⁾は、560件の事故調査データを対象にロジスティック回帰モデルを用いて死亡事故発生率を推計モデルを構築している。その結果、事故発生場所や事故原因の項目が発生確率に有意に影響することを指摘している。

以上の分析においては事故の情報と乗員の死亡重症発生率あるいは死亡事故発生率との関係を明らかにしているものの、事故の重大さ別に交通流の要因や道路環境などの外的な要因と事故発生リスクとの関連性を明らかにするには至っていない。さらに、それら要因と事故発生リスクとの高い相関性については、様々な研究^{7,8,9)}によって指摘されているものの、事故の重大度別にその発生リスクに及ぼす影響を定量的に分析した事例は少ない。

本稿では、都市内高速道路を対象に事故発生リスクを事故の重大性の観点から分析することで、重大事故の特

徴を明らかにすることを目的とする。ここでは、事故の重大性を考慮するために、追突事故を死亡・重傷、軽傷、物損事故の事故重大度別に事故発生リスクの要因分析を行った結果を報告する。

2. 事故の重大さ別事故発生リスクモデル

(1) 事故の重大性について

交通事故の重大性を考慮するため、事故調査に記録された情報を基にして事故の被害程度から各々の事故を分類する。ここでは、事故調査情報の被害者の区分を基にして事故の重大度別に「物損事故」、「軽症事故」および「重症/死亡事故」の3種類の事故に分類する。

(2) 事故発生リスク要因

本研究においては、既存研究で示されている事故発生リスク要因を参考として、以下の3つの要因を考慮する。

a) 交通流要因

交通流状態は、観測された5分間の交通流率および交通密度の値の組み合わせを図-1に示す交通量基本図(Fundamental Diagram)に基づき、自由流、混合流および渋滞流の3つの状態に区分している。これらの詳しい区分については、著者らの研究¹⁰⁾を参照されたい。

b) 道路幾何構造要因

道路幾何構造要因としては、曲線半径、縦断勾配、分合流部・料金所およびサグ・クレスト部の4つの変数を用いることとする。

c) 環境要因

環境要因としては、降水量の変数を用いる。ここでは、降水の有無の2区分としている。

(3) 追突事故の重大性に関する仮説

追突事故は、交通流状態別にその発生リスクは大きく異なることが指摘されている。大口ら¹¹⁾の研究によると、渋滞発生前後の臨界流領域における追突事故率の高さが指摘されている。一方、後藤ら¹²⁾の研究によると、渋滞流領域で高い発生リスクを示しており、追突事故において交通流と事故の発生リスクの関係において傾向の差が伺える。ここで、臨界流時と渋滞時の交通状況を比較した場合、臨界流の交通流を構成する各車両の相対速度は大きいことから、渋滞末尾事故などの重大な事故に繋がる可能性は高いものと予想される。以上のことから、追突事故においては交通状況の違いによって、重大な事故に至る可能性は異なることが想定される。具体的には、渋滞流中の事故の場合、交通流を構成する多くの車両が追従状態にあるものと考えられ、観測周期・空間内での交通流の偏りは小さくなることから、重大な事故に至る可

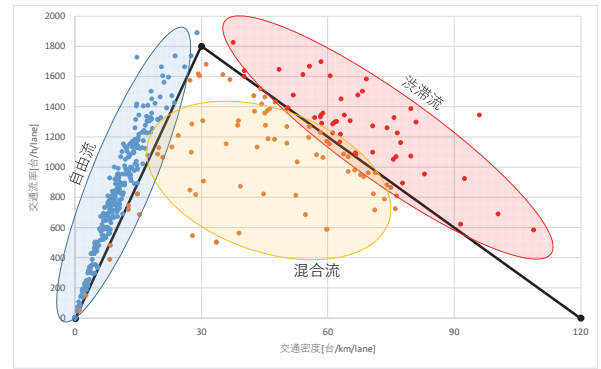


図-1 Fundamental Diagram

能性は小さいものと推測される。

一方、例えば5分間の観測周期内に渋滞流～自由流間の遷移が生じた場合、すなわち走行速度の異なる車群が同一空間あるいは観測周期内の交通流を構成する混合流¹⁰⁾の状況下では、各車両の相対速度は大きくなることが予想され、重大な事故に至る可能性が高まると推測される。そこで、以上の事を鑑みて本研究では、以下の仮説を掲げ、実証観測データによる分析を基に仮説の検証を行う。

仮説：混合流の交通流状態において、重大性の高い事故発生リスクは高まる。

(4) 事故発生リスクモデル

本研究では、式(1)、(2)に示すポアソン回帰モデルおよび負の二項回帰モデルの2つのモデルを用いて、事故の重大度別に事故発生リスクモデルを構築する。また、式(3)に、それらモデルにおけるリンク関数 λ_j^m を示す。なお、交通状態カテゴリー j は、検知器の観測周期内に影響する道路区間における交通状態の組み合わせを示す。すなわち、各時空間における事故発生リスク要因の変数群で構成される交通状態の組み合わせとして、対象とする道路ネットワークの交通状態を離散的に表現している。ここでは、その組み合わせの数は823カテゴリーである。

$$\Pr(Y_j^m = y | \lambda_j^m) = \frac{e^{-\lambda_j^m} (\lambda_j^m)^y}{y!} \quad (1)$$

$$\Pr(Y_j^m = y | \lambda_j^m, \theta) = \frac{\Gamma(y+1/\theta)}{\Gamma(y+1)\Gamma(1/\theta)} \left(\frac{1}{1+\theta^{-\lambda_j^m}} \right)^{1/\theta} \left(\frac{\theta^{-\lambda_j^m}}{1+\theta^{-\lambda_j^m}} \right)^y \quad (2)$$

$$\lambda_j^m = \exp(a^m + \sum_{k=1}^n \beta_{jk}^m x_k) \quad (3)$$

ここで,

j : 観測時間帯における道路区間の交通状態が分類される交通状態カテゴリー ($j=1,2,3,\dots,823$)

I_j^m : 交通状態カテゴリー j における重大度 m の事故件数 [件]

λ_j^m : 交通状態カテゴリー j における重大度 m の事故発生リスク [件/台・km]

l_j : 交通状態カテゴリー j における総走行台キロ [台・km]

x_k : 事故発生リスク要因の変数群 ($k=1,2,3,\dots,n$)

a : 定数項

β : 未知パラメータ

θ : 分散パラメータ

とする.

3. 分析概要

(1) 分析対象ネットワーク

本研究では, 2 号淀川左岸線, 8 号京都線, 山北下渡り, 山北上渡り, 北上山渡りを除く阪神高速道路の本線を対象ネットワークとして分析する.

(2) 分析に使用したデータ

a) 車両検知器データ

車両検知器データは, 阪神高速道路に設置された 388 地点の 827 個の検知器による交通流の観測データを用いる. データについては, 5 分間周期の交通量, 高車交通量, 平均速度, 平均オキュパンシーが記録されている. ここで, 高車交通量とは大型車交通量に相当するものである. なお, 対象としたデータの期間は, 2005 年 4 月から 2010 年 12 月までの約 5 年と半年間である.

b) 交通事故データ

阪神高速道路における交通事故データベースにおける, 2005 年 4 月から 2010 年 12 月までの約 5 年と半年間のデータを対象としている. 同データには, 事故発生地点, 事故形態, 事故状況の情報が記録されている. なお, 事故データの抽出条件は, ランプや渡り線で発生した事故を除いた本線上で発生した追突事故の計 12,948 件である.

c) 道路構造データ

道路構造データについては, 0.1kp 毎の平面線形, 勾配などの線形情報および分合流部, 料金所, トンネル等の地点情報が収録されている.

d) AMeDAS データ

降水量の観測データについては, 気象庁のホームページの電子閲覧室¹³⁾より, 毎日の各時間帯における時間降水量データ (AMeDAS データ) を取得して分析に

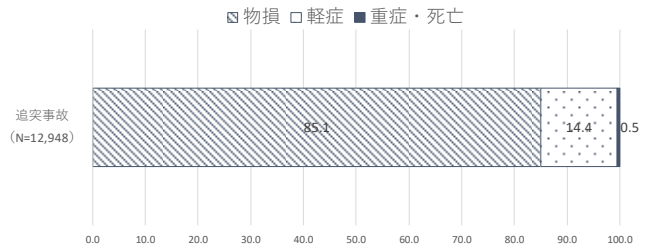


図-2 事故の重大度別の追突事故構成率

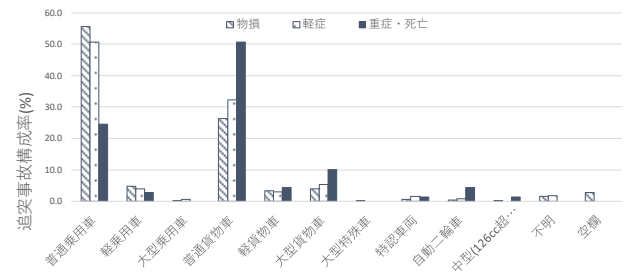


図-3 事故の重大度別・車種別の追突事故構成率

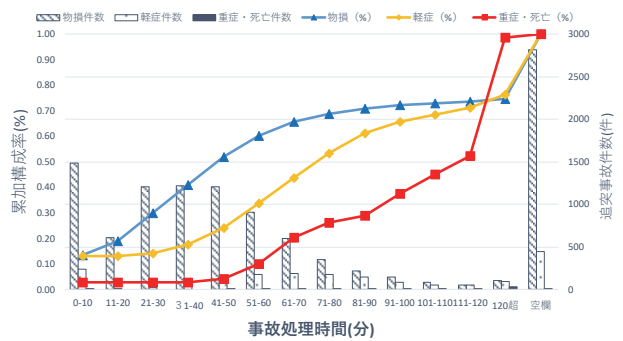


図-4 事故重大度別・追突事故の平均事故処理時間分布

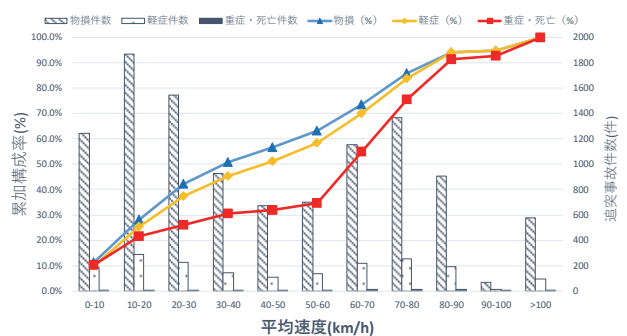
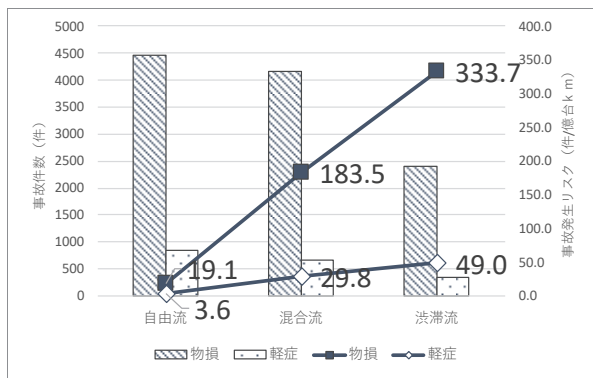


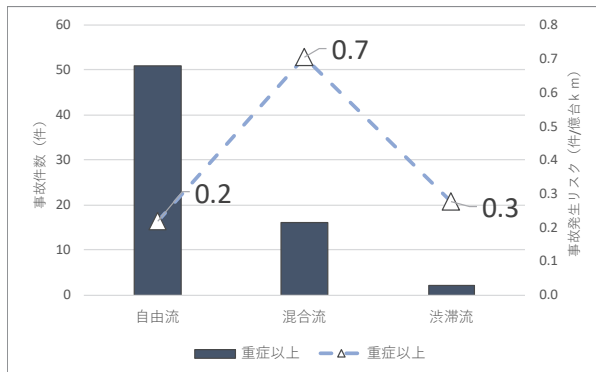
図-5 事故重大度別・追突事故の平均速度分布

使用している. なお, 分析対象地域内およびその周辺にある気象観測所 (アメダス) は 5 カ所あり, 分析地点から最も近い観測所の降水量データを使用している.

4. 分析結果



(a) 物損事故・軽症事故



(b) 重症・死亡事故

図-6 交通流状態別追突事故発生リスク

表-1 モデル推定結果

説明変数	物損事故		軽症事故		重症・死亡事故	
	Poisson 係数	NB 係数	Poisson 係数	NB 係数	Poisson 係数	NB 係数
定数項	2.31 ** (84.05)	2.64 ** (16.70)	0.73 ** (11.53)	1.17 ** (8.80)	-1.76 ** (-9.79)	-1.83 ** (-6.88)
交通流	混合流 (102.7)	1.83 ** (17.87)	2.09 ** (39.74)	1.62 ** (13.63)	1.16 ** (4.04)	0.97 ** (3.91)
	渋滞流 (108.8)	2.53 ** (22.76)	2.59 ** (40.19)	2.35 ** (17.85)		
	平坦部 (14.45)		0.37 ** (7.35)			
縦断勾配	下り勾配 (2.82)					
曲線半径	直線 (11.53)	0.29 ** (2.53)	0.15 ** (2.57)			
	急カーブ (12.68)	0.36 ** (2.15)	0.25 ** (3.91)			0.81 ** (2.61)
	合流上流 (7.05)	0.31 ** (2.54)	0.39 * (2.54)			
分合流	合流部 (9.68)	0.38 ** (4.76)	0.71 ** (4.76)			
	合流下流 (7.97)	0.32 ** (7.97)				
	分流上流 (11.96)	0.45 ** (2.15)	0.58 ** (6.77)	0.33 * (2.06)	0.96 ** (2.55)	0.62 ** (1.91)
	分流 (13.78)	0.52 ** (4.28)	0.65 ** (5.82)	0.55 ** (3.71)		
	分流下流 (2.98)	0.16 ** (2.98)	0.28 (2.31)			
	集約料金所 (75.45)	3.10 ** (11.80)	2.64 ** (22.3)	2.20 ** (9.23)	1.94 ** (2.68)	1.71 ** (3.06)
	クレスト (-3.18)	-0.19 ** (-3.18)				
サグ	サグ (7.03)	0.35 ** (3.91)	0.47 ** (4.54)	0.62 ** (4.22)		
	降水有り (25.2)	0.69 ** (8.72)	0.78 ** (11.72)	0.78 ** (7.14)	0.79 * (2.32)	0.65 * (2.35)
分散パラメータθ	-	0.91	-	0.74	-	0.43
サンプル数	823	823	823	823	823	823
初期対数尤度	-12380	-2048	-2293	-1051	-136	-130
最終対数尤度	-2687	-1776	-949	-907	-115	-116
AIC	5408	3584	1927	1836	246	250
カイ二乗値	19,386 **	544 **	2687 **	287 **	41 **	28 **
ρ^2	0.78	0.13	0.59	0.14	0.15	0.11

*:5%有意, **:1%有意 ※()の数値はZ値を示す。

(1) 事故発生状況分析

重大さ別の事故状況の違いを把握するため、重大さ別に事故の特性について単純集計を行った。重大さ別の追突事故構成率を図-2、事故重大さ別の車種別追突事故構成率を図-3 に、重大さ別の追突事故における平均事故処理時間分布を図-4 に示す。図-5 に事故の重大さ別に事故発生直前の平均速度と追突事故構成率の関係を示す。ここでは、事故発生時点の5分前の平均速度を事故直前の速度とみなしている。まず、事故重大さ別の追突事故の構成率を見ると、追突事故の大部分は物損事故（約85%）が占めており、死亡・重傷事故については全体の1%未満の割合であることが分かる。次に、重大さ別の追突事故における平均事故処理時間分布についてみると、事故の重大性が高まるにつれて処理時間は増大する傾向にある。死亡・重症事故では120分を超える事故が多く発生している。同事故については、本線上の事故車両が自走不可能となる可能性が高く事故処理の時間が長時間に至ることが考えられ、事故の直接的な被害だけでなく渋滞など間接的被害についても大きいものと推察される。

また、車種との関係について見ると、物損事故および軽症事故については、第一当事者の車両の多くは普通乗用車で占められているに対し、死亡・重症事故においては普通貨物車などの比較的大型な車両の割合が多いことが分かる。このことから、車両サイズが大きいほど衝撃時におけるエネルギーは大きいことから、死亡・重症事故などの重大事故に繋がりがやすいものと推察される。

そして、事故発生直前の平均速度と追突事故構成率の関係をみると、物損事故および軽症事故では速度0～30km/h以下の低速域で全体の約40%を占めているのに対して、重傷・死亡事故においては、60～70km/h以下の速度域で事故が比較的多いことが分かる。このことから、物損事故および軽症事故と重傷・死亡事故とでは、交通流と事故発生リスクとの関係性は異なる傾向にあることが示唆される。

(2) 事故重大度別・交通流状態別の事故発生リスク

図-6 に物損事故、軽症事故および重症・死亡事故の事故重大度別に交通流状態別事故発生リスクを算定した結果を示す。重大さ別に結果を比較すると、物損事故および軽症事故においては渋滞時においてリスク値は高いものの、死亡・重傷事故においては混合流時において高いリスク値を示した。このことから、混合流下、すなわち時間的・空間的な速度差が大きい状況下において、深刻度の高い死亡・重傷事故の発生リスクが高まる傾向が示唆された。

5. 事故リスク要因分析

(1) モデル推定結果

表-1 に物損事故、軽症事故および重症・死亡事故の交通流状態別の事故発生リスクの推定結果をそれぞれ示す。モデルの種類については、ポアソン回帰モデルと負の二項回帰モデルの 2 種類を構築した。ここでは、両モデルの内 AIC 値が小さく尤度の高いモデルを対象として、パラメータの推定結果についての考察を行う。

a) 物損事故

物損事故においては、AIC 値に着目すると、負の二項回帰モデルの方が AIC 値が小さいため、同モデルの推定結果についての考察を行う。

説明変数のうち、交通流、曲線半径、分合流・料金所、サグおよび降水量の変数において有意になる ($p<0.05$) 結果を示した。まず、交通流に関しては、渋滞流および混合流で有意に正の影響を与える結果を示した。道路構造に関しては、緩カーブと比較して直線部、急カーブ区間において事故発生リスクが増大する傾向を示した。また、道路地点としては、合流部上流、合流部、分流部上流、分流部、集約料金所およびサグ部において事故発生リスクが高まることを示した。

b) 軽症事故

軽症事故においても、負の二項回帰モデルにおける AIC 値が小さいため、同モデルの推定結果について考察を行う。説明変数については、交通流、分合流・料金所、サグおよび降水量の変数が有意になる ($p<0.05$) 結果を示した。まず、交通流に関しては、物損事故と同様に渋滞流および混合流で有意に正の影響を与える結果を示した。道路構造に関しては、分流部上流、分流部、集約料金所およびサグ部において事故発生リスクが高まることを示した。

c) 重大・死亡事故

重大・死亡事故においては、AIC 値に着目すると、ポアソン回帰モデルの方が AIC 値が小さいため、同モデルの推定結果についての考察を行う。説明変数のうち、交通流、分合流・料金所、サグおよび降水量の変数が有意となる ($p<0.05$) 結果を示した。

まず、交通流に関しては、物損事故・軽症事故とは異なり、混合流においてのみ有意に正の影響を与える結果を示した。道路構造に関しては、急カーブ区間、分流部上流および料金所において事故発生リスクが高まることを示した。これは、急カーブ区間については、下流側に渋滞末尾や低速車両がある場合、カーブ手前でその状況を把握することが困難であると考えられ、重大な事故に発展しやすいものと考えられる。また、分流部手前や料金所手前における前方車両の減速などの予期しない急減速の発生により、重大な事故に発展しやすいものと推察

される。

(2) モデル推定結果の比較考察

表-1 の推定結果を事故の重大性の観点から比較すると、物損事故と軽症事故との間では事故発生リスク要因の明確な傾向の違いは見られないとの結果を得た。このことから、物損事故と軽症事故との間には事故発生要因の大きな違いはないものと推察される。

対して、物損・軽症事故と死亡・重傷事故との間には交通流要因に着目するとその影響の差異が認められ、異なるプロセスや要因が存在するものと考えられる。具体的には、物損事故および軽症事故の発生リスクは、渋滞流、混合流、自由流の順に高く、ほぼ同傾向であるのに対して、重症・死亡事故では、混合流においてのみ事故リスクが増大する傾向を示した。これは、混合流下においては、その他の交通流状態と比較して、各車両の相対速度は大きくなることから、重大な事故に発展する可能性が増加するためであると考えられる。すなわち、この結果は先に措定した本研究の仮説を支持するものである。

6. まとめ

本研究では、都市高速道路における追突事故を対象として、事故の重大さ別の事故発生リスクの要因を明らかにするために、一般化線形モデルを適用することで、物損、軽症、死亡・重傷のそれぞれの事故発生リスク要因分析を行った。その結果、本研究で得られた知見は、以下に示す通りである。

追突事故において、物損事故と軽症事故との間では、事故発生リスク要因の明確な違いは見られないものの、物損・軽症事故と死亡・重傷事故との間には、その発生要因に差異が認められた。具体的には、物損事故および軽症事故の発生リスクは、渋滞流、混合流、自由流の順に高い傾向であるのに対して、重症・死亡事故については、混合流においてのみリスク値が増大することを示した。

また、事故の重大性の違いに関わらず、急カーブ区間、分流部上流、集約料金所および降雨の有意性は高い結果を示した。

しかしながら、本稿では約 5 年間分の比較的長期の事故データを分析に用いたにも関わらず、重症・死亡事故の観測数については依存としてその観測数は少ないといえる。今後は、より長期間に拡大し豊富なサンプルを用いた分析を行う予定である。また、車両接触事故、施設接触事故などといった、その他の事故類型についても事故の重大性別にどのような要因が事故発生リスクに影響を与えているのかを明らかにすることも今後の課題にあげられる。

謝辞：データをご提供いただきました，阪神高速道路株式会社，（株）交通システム研究所の皆さまに心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 28 年中の交通事故の発生状況，2016.
- 2) 損害保険料率算出機構：2016 年度自動車保険の概況，2016.
- 3) 吉田傑，西本哲也，小山勉，長谷川卓，鈴木健之，富永茂：車載データによる事故時の重傷度推定，自動車技術会前刷集，No.29-09，2009.
- 4) 富永茂，西本哲也，岡野道治，松井靖浩，米澤英樹：日本の交通事故データによる自動車乗員の死亡・重症リスク予測モデルの検討，自動車技術会前刷集，No.29-09，2009.
- 5) 吉田傑，長谷川卓，富永茂，西本哲也：事故データによる傷害予測に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.43，No.2，pp.275-280，2012.
- 6) Ali S. Al-Ghamdi, 2002. Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity, *Accident Analysis and Prevention* 34, 729-741.
- 7) Golob, T.F., Recker, W.W., 2003. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions. *Journal of Transportation Engineering-ASCE* 129 (4), 342-353.
- 8) Golob, T.F., Recker, W.W., 2004. A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation Research Part A* 38, 53-80.
- 9) 前田剛，割田博，岡田知朗，菊池春海：首都高速道路における速度・密度に着目した事故発生状況分析，第 28 回交通工学研究発表論文報告集，pp.81-84，2008.
- 10) 兵頭知，吉井稔雄，高山雄貴：ポアソン回帰モデルによる高速道路における交通事故発生リスク要因分析，第 34 回交通工学研究発表会論文，pp.93-99，2014
- 11) 大口敬，赤羽弘和，山田芳嗣：高速道路交通流の臨界領域における事故発生リスクの検討，交通工学，第 39 巻 3 号，pp. 41-45，2004.
- 12) 後藤秀典，田中淳，赤羽弘和，割田博：都市内高速道路のトンネル区間を対象とした事故分析，第 25 回交通工学研究発表会論文集，2005
- 13) 気象庁ホームページ：気象統計情報，電子閲覧室，<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>

(2017.4.28 受付)

AN ANALYSIS OF RISK FACTORS FOR ROAD TRAFFIC ACCIDENT ON URBAN EXPRESSWAY CONSIDERING ACCIDENT SEVERITY

Satoshi HYODO, Tomoyuki TODOROKI and Toshio YOSHII