

明るさの変化に着目した高速道路走行時の 事故発生リスク分析

兵頭 知¹・吉井 稔雄²・高山 雄貴³

¹学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: hyodo.satoshi.07@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 愛媛大学教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

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

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

E-mail: takayama@cee.ehime-u.ac.jp

時間的に明るさが変化する薄暮/薄明, 空間的に照度が変化するトンネル周辺などの状況下においては, 視環境に影響を与えることから事故発生リスクが高くなることが想定される. そこで, 本研究では, 走行中の時間的・空間的な明るさの変化に着目し, これら明るさの変化が事故発生リスクに与える影響を分析する. 具体的には, 2007年~2010年における4年間の交通事故記録, 車両検知器データ, 降水量データ, 道路幾何構造データおよび日の出時刻データを照合し, 明るさの変化と事故発生リスクとの関係を統計的に分析した. その結果, 時間的な明るさの変化に比べ, 照度の低下が物損/人身事故の両事故発生リスクを高めるとの知見を得た. 一方, 空間的な明るさの変化に関しては, 物損事故の発生リスクに対して有意に影響を与えることを示した.

Key Words : Accident risk, Traffic safety, Brightness

1. はじめに

一般に, 交通事故の発生要因の一つとして, 時間的あるいは空間的な明るさの変化があると考えられる. 明るさが変化する時間帯として, 日の出/日の入り前後が挙げられる. 同時時間帯においては, 1時間程度の比較的長い時間をかけてゆっくりと明るさが変化する. 同時時間帯(薄明/薄暮時)では, 周囲の明るさの変化に伴って前方が見えにくく感じた経験をお持ちの方も多と思われる. このため, この時間帯における明るさの変化が運転者の視機能に影響を及ぼし, 事故の危険性を高める可能性があることが考えられる^{1)~5)}. 一方, 空間的な変化に関しては, トンネル部における照度の違いが挙げられる. 例えば, 昼間のトンネル通過時には, 入り口部で急激に照度が低下し, トンネル内部ではさらに照度が低下, 最後のトンネル出口部で急激に照度が上昇する. 対する夜間に関しては, 入口部において照度が急激に上昇する. このため, 走行時の照度が大きく変化するトンネル入口部や出口部では, 事故発生の危険性が高いことが報告されている⁶⁾⁸⁾.

しかしながら, これらの研究では, 事故発生の要因と

して明るさの急激な変化によるものか, 照度そのものによる影響であるかについては, 明らかにされていない. 従来の分析の多くは, 明るさの変化のうち時間的/空間的のどちらか一方のみを考慮した分析に留まっており, 2つの要因を組合せた分析はなされていないという課題点が挙げられる. また, 時間帯別の事故発生率を分析した研究⁹⁾はあるものの, 季節によっては日の出時刻に2時間程度の差があるため, 事故発生日時の日の出時刻を考慮した分析が必要であると考えられる.

そこで, 本研究では日別の日の出時刻データならびに道路構造データを用いることで, 時間的・空間的な明るさの変化を考慮し, 走行時の明るさの変化と交通事故発生リスクとの関係性を明らかにする. 具体的には, 同関係性を把握するため, ポアソン回帰モデルを用いて, 事故の重大さ別に事故発生リスク要因分析を行う.

2. 明るさの変化

(1) 時間的な明るさの変化

本研究では, 通年で夜間, 昼間および薄明が生じる

4:00~7:00 の時間帯を対象に分析を行う。なお、朝ピーク時の“交通集中”による影響を最小限に抑えるよう、午前7時台~8時台を除くこととする。夜間/昼間/薄明の区分については、理科年表⁹⁾を参考に、「昼間」は日の出から日没まで、「夜間」は日没から日の出まで、「薄明」は“日の出時刻の30分程度前”の時間帯とする。ここでは、日別の日の出時刻を参考として、対象の時間帯を図-1に示す明るさ別に区分する。ただし、以下5分間単位の分析を行うため、「薄明」については、1分間毎に記録されている日の出時刻を含む30分間の時間帯と定義する。各時間帯の構成比は、それぞれ夜間48%、薄明13%、昼間39%である。

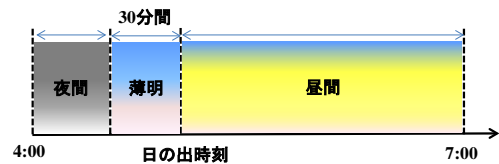
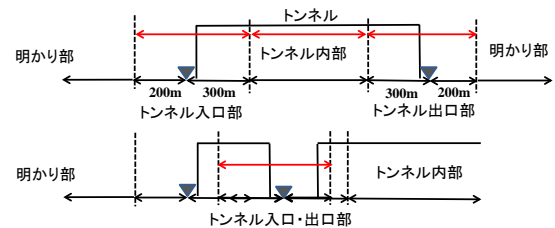


図-1 時間的な明るさの遷移



▼：トンネル入口上流直近のkp, トンネル出口下流付直近のkp

図-2 トンネル区間の概要図



図-3 分析対象ネットワーク(総延長463.0km)

(2) 空間的な明るさの変化

本研究では、空間的な明るさの変化を考慮するため、トンネルにおける照度の違いに着目し、道路区間を以下の空間的な明るさ別に分類する。トンネル内の照度は、入口部ならびに出口部においては、外部とトンネル内部の明るさの差を緩和するため連続的に照明器具が設置されており、比較的照度は高くなる。一方内部では、照明器具が少なく、照度も低くなる。これら照度の違いを考慮するため、図-2に示すように入口部、内部、出口部、入口部・出口部および明かり部の5つに区分する。ここでは、道路区間を毎0.1キロポスト区間単位として、以下の空間的な明るさ毎に区分する。

- ・入口部：トンネル入口上流側直近のkpの上流側200m区間および下流側300m区間。
- ・内部：入口部・出口部を除くトンネル内部の区間。
- ・出口部：トンネル出口下流側直近のkpの上流側300m区間ならびに下流側200m区間。
- ・入口・出口部：2つのトンネルが近接する場合に、入口部と出口部が2つ以上重なる区間。
- ・明かり部：入口部・出口部・内部を除く単路部の区間。

3. 分析概要

(1) 分析対象ネットワーク

本研究では、図-3に示す四国の高速道路ネットワーク(総延長463.0km)を分析対象区間とし、2007年1月1日から2010年12月31日の4年間を対象期間とした。

(2) 分析に使用したデータ

a) 交通流観測データ

分析対象区間においては、各IC、JCT間に1台の計51個の車両感知器が設置されており、同機器によって5分間毎の交通状態量が観測される。記載されるデータは、交通量、時間占有率[%]、平均速度[km/h]および感知器の

影響区間並びに設置位置情報である。

b) 道路幾何構造データ

道路幾何構造データからは、100m単位の各キロポストの道路区間毎に区間番号、曲線半径などの情報を獲得することができる。本分析では、区間番号、キロポスト、縦断勾配、曲線半径およびトンネル地点情報の項目を利用した。

c) 交通事故データ

交通事故データは、「事故調書」に基づいて作成され、発生した各事故の重大さ、区間番号、キロポスト及び発生日時などの情報が獲得される。なお、対象期間内および時間帯に分析対象ネットワーク内において発生した事故の重大さ別の事故件数は、物損事故357件、人身事故66件である。

d) 降水量データ

降水量データはアメダスデータを基に作成されたデータである。分析に用いたアメダスデータは、四国内にある計13カ所の観測所における1時間毎の降水量[mm/h]が記録されている。ここでは、交通流観測データにアメダスデータを反映させるため、各車両検知器設置地点から最寄りの観測地点をそれぞれ割り当てている。

e) 日の出時刻データ

日の出時刻データは国立天文台の日の出時刻データ⁹⁾に基づいて作成されたデータであり、一日毎の日の出時刻（1分単位）が獲得される。日の出時刻データは、四国内それぞれの県単位で存在する。ここでは、四国内の県間の日の出時刻の差異は非常に小さいため（およそ5分程度）、四国内のほぼ中心にあたる高知県（東経33.55°，北緯133.53°）の観測地点のデータを適用する。

4. 明るさの変化と事故発生リスク

(1) 事故発生リスク

事故発生リスクは、既往研究^{10,11)}にならい、一定期間内に観測された交通事故件数を車両走行台キロで除した値であり、1億台キロあたりの事故件数として定義する。式(1)のように、物損事故や人身事故等の事故の重大さごとに走行環境や道路区間の幾何構造別に算定される。ここでは、走行環境および道路区間の集計単位については、100m・5分間とする。

$$R^{bwrg}_j = \frac{N^{bwrg}_j}{L^{bwrg}} \times 10^8 \quad (1)$$

R^{bwrg}_j : 走行環境 b,t,w （時間的明るさ，空間的明るさおよび天候）での道路区間の幾何構造 r,g （曲線半径，縦断勾配）の事故の重大さ j の事故発生リスク [件/10⁸台・km]

N^{bwrg}_j : 走行環境 b,t,w のもとの道路区間の幾何構造 r, g での事故の重大さ j の事故件数 [件]

L^{bwrg} : 走行環境 b,t,w のもとの道路区間の幾何構造 r, g での総走行台キロ [台・km]

(2) 明るさの変化と事故発生リスク

a) 時間的な明るさの変化と事故発生リスク

事故の重大さ別に昼間/夜間/薄明の時間的な明るさ別の事故発生リスクを算定した結果を図-4に示す。結果に示されるように、物損事故については、夜間時に最も事故発生リスクが高くなること示された。このことから、物損事故では、照度の低下にしたがって事故発生リスクが増加する傾向が示された。一方、人身事故に関しては、夜間・薄明時で事故発生リスクが高くなる傾向を示しており、照度低下および時間的な明るさの変化が事故発生に影響を与える可能性が示唆される。

b) 空間的な明るさの変化と事故発生リスク

事故の重大さ別に空間的明るさ別の事故発生リスクを算定した結果を図-5に示す。結果に示すように、物損事故においては、トンネル出口部において最も高い事故発生リスクを示し、次いでトンネル入口部において高い値を示した。人身事故については、トンネル出口部におい

最も高い事故発生リスクを示した。以上より、空間的に明るさが急激に変化する入口や出口区間では、事故発生リスクが増大する傾向がみられた。

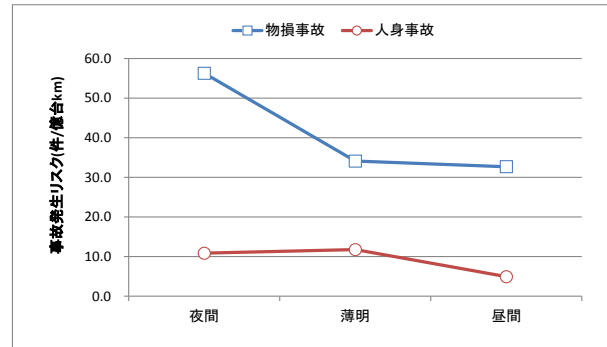


図-4 時間的な明るさ別事故発生リスク

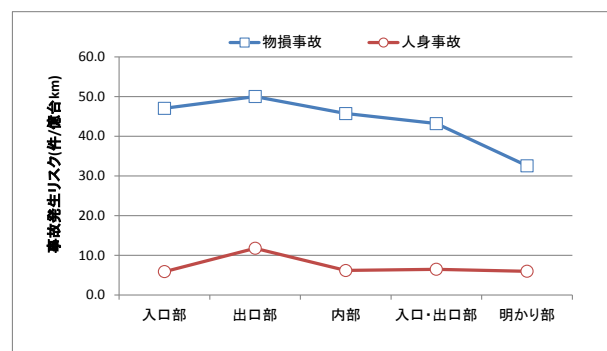
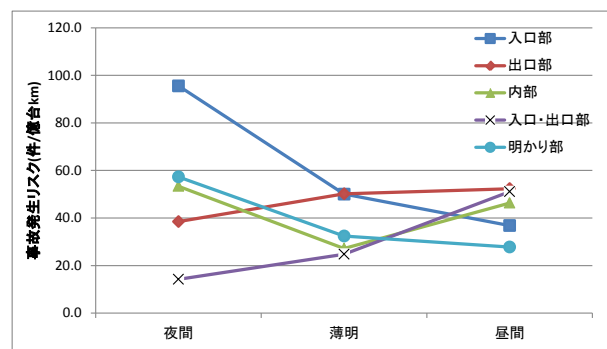
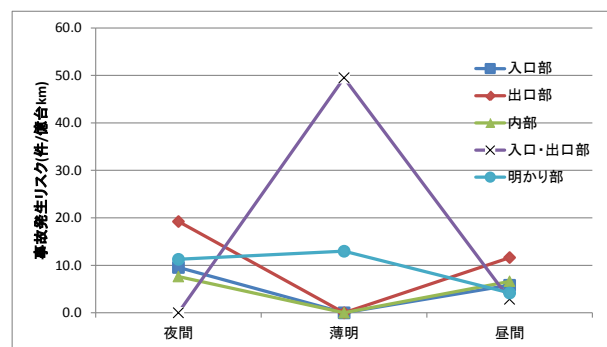


図-5 空間的な明るさ別事故発生リスク



(a) 物損事故発生リスク



(b) 人身事故発生リスク

図-6 時間的・空間的な明るさ別事故発生リスク

c) 時間的・空間的な明るさの変化と事故発生リスク

事故の重大さ別に時間帯ならびに空間的な明るさの変化をクロスして事故発生リスクを算定した結果を図-6(a), (b)にそれぞれ示す。結果に示すように、物損事故に関しては、周囲が暗い夜間の状況下において、トンネル入口部で高い事故発生リスクを示している。一方、周囲が明るい昼間においては、トンネル出口部や内部において事故発生リスクが高くなる傾向を示した。このことから、空間的な明るさの変化が大きい場合、周囲の明るさの状況とトンネル内の照度の差が大きい場合に事故リスクが高くなる可能性が示された。また、人身事故については、薄明の状況もとの、トンネル入口・出口部での事故発生リスクが高くなるとの結果が得られた。

5. 事故発生リスク要因分析

ここでは、ポアソン回帰モデルを用いて、事故の重大さ別に時間的・空間的な明るさの変化が事故発生リスクに与える影響を分析する。

(1) 事故発生リスク要因

事故発生リスクを規定する要因としては、明るさの変化に着目した要因の他にも、環境要因や道路幾何構造など有意となる要因があることが知られているため^{12),13)}、以下に示す5つの要因が主な事故発生リスク要因として抽出された。走行時の光環境を示す要因として、「時間的な明るさ」および「空間的な明るさ」の2つを採用した。環境要因として、「降水の有無」を採用した。また、「縦断勾配」および「曲線半径」の2つの変数を道路幾何構造要因として採用した。以下では、いずれの変数についてもダミー変数として取り扱うこととする。

(2) ポアソン回帰モデル

交通事故は稀に起こる事象であるため、走行環境 b, t, w (時間的な明るさ, 空間的な明るさおよび天候), 道路幾何構造 r, g (曲線半径, 縦断勾配) における事故発生件数 y_{btwrg} がポアソン分布に従うものと仮定し、式 (2),(3)で示されるポアソン回帰モデルを用いて各要因が事故発生リスクに与える影響を分析した。なおパラメータ推定には、変数を除外しながらモデル式を作成する変数減少法を用いた。

$$P(Y = y_{btwrg} | \lambda_{btwrg}, I_{btwrg}) = \frac{e^{-\lambda_{btwrg}} (\lambda_{btwrg} I_{btwrg})^{y_{btwrg}}}{y_{btwrg}!} \quad (2)$$

$$\lambda_{btwrg} = \exp(a + \sum_{i=1}^{n_b} \beta_i^B \delta_{Bi,b} + \dots + \sum_{i=1}^{n_g} \beta_i^G \delta_{Gi,g} + \sum_{i=1}^{n_w} \sum_{j=1}^{n_w} \beta_{ij}^{BW} \delta_{Bi,b} \cdot \delta_{Wj,w} + \dots + \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} \beta_{ij}^{GT} \delta_{Bi,g} \cdot \delta_{Gi,g}) \quad (3)$$

表-2 事故発生リスク要因

事故発生リスク要因	説明変数	カテゴリ-
時間的な明るさ	時間帯	夜間, 薄明, 昼間
空間的な明るさ	トンネル区間	入口部, 内部, 出口部, 入口・出口部, 明かり部
環境要因	降水の有無 (mm/h)	非降水(0mm/h) 降水(1mm/h 以上)
道路幾何構造要因	曲線半径 (m)	直線 (R=∞) 急カーブ (R=1000m 未満) 緩カーブ (R=1000m 以上)
	縦断勾配 (%)	上り勾配・平坦 (G≥-1.0%) 下り勾配 (G<-1.0%)

ただし、

y_{btwrg} : 走行環境 b, t, w , 道路幾何構造 r, g における事故発生件数[件]

λ_{btwrg} : 走行環境 b, t, w , 道路幾何構造 r, g における事故発生リスクの期待値[件/10⁸台・km]

I_{btwrg} : 走行環境 b, t, w , 道路幾何構造 r, g における総走行台キロ[台・km]

δ_{kij} : ダミー変数 (事故発生リスク要因 K の i 番目カテゴリが j のとき 1 そうでなければ 0)

a : 定数項, β_{ij} : パラメータとする。

(3) サンプルの設計

本研究では、カテゴリに区分された走行環境および 100 mの道路区間ごとにサンプルを作成する。具体的には、表-2に示すように、時間的な明るさ(3区分), 空間的な明るさ(5区分), 降水量(2区分), 曲線半径(3区分)および縦断勾配(2区分)の組み合わせからなる計180カテゴリをサンプルとして分析に用いた。

6. モデルの推定結果

(1) 物損事故推定結果

物損事故に関する推定結果を表-3に示す。まず、モデル全体の適合度を示す尤度比指標については“0.20”を示しており、説明力があるモデルであることを確認した。

有意水準 5%以下では、時間的・空間的な明るさに関しては、「昼間」および「薄明」、「トンネル入口」、道路構造要因に関しては「急カーブ」、環境要因に関しては「降水量」、時間的な明るさと他要因の交互作用については、「昼間×トンネル出口部」、「昼間×トンネル内部」、「昼間×トンネル入口・出口部」、「昼間×緩カーブ」および「昼間×上り勾配」が有意に影響を与えているとの結果を示した。

「昼間」および「薄明」の係数は負値を示しており、夜間に比べ昼間と薄明の事故発生リスクは有意に低いことが示された。このことから、照度の低下が、物損事故の危険性に有意に影響を与えることが示された。

一方、「トンネル入口部」および「昼間×トンネル出

表-3 物損事故発生リスクモデル推定結果

説明変数	係数	t値
定数項	3.86	33.03 **
時間的な明るさ		
屋間ダミー	-0.96	-4.35 **
薄明ダミー	-0.50	-2.33 **
空間的な明るさ		
トンネル入口部ダミー	0.40	2.13 *
環境要因		
降水ダミー	0.90	5.97 **
道路幾何構造要因		
急カーブ(R < 1,000 m)ダミー	0.52	2.59 **
時間的な明るさとの交互作用		
屋間×トンネル出口部ダミー	0.62	2.94 **
屋間×トンネル内部ダミー	0.69	3.22 **
屋間×トンネル入口・出口部ダミー	0.65	2.61 **
屋間×緩カーブダミー	0.51	2.69 **
屋間×上り勾配(G ≥ -1.0%)ダミー	-0.22	-1.65 *
サンプル数	180	
平均最終対数尤度	-0.84	
最終対数尤度	-152	
初期対数尤度	-190	
尤度比 ρ^2	0.20	

*: 5%有意, **: 1%有意

表-4 人身事故発生リスクモデル推定結果

説明変数	係数	t値
定数項	0.81	2.97 *
時間的な明るさ		
薄明ダミー	0.70	1.81 *
夜間ダミー	1.36	3.17 **
環境要因		
降水ダミー	0.63	1.58 *
道路幾何構造要因		
下り勾配(G < -1.0%)ダミー	1.44	4.59 **
時間的な明るさとの交互作用		
薄明×トンネル入口・出口部ダミー	1.55	1.96 *
夜間×下り勾配ダミー	-1.00	-1.68 *
サンプル数	180	
平均最終対数尤度	-0.38	
最終対数尤度	-68	
初期対数尤度	-87	
尤度比 ρ^2	0.22	

*: 5%有意, **: 1%有意

口部」の係数が正値を示していることから、空間的に明るさが急激に変化する際に事故発生リスクは有意に増大することを示した。また、周囲が明るい状況において、トンネル内部やトンネル入口部・出口部において高い事故発生リスクを示していることから、トンネル外部の照度とトンネル内の照度の差が事故発生リスクに影響を与える可能性が示唆された。

(2) 人身事故推定結果

人身事故に関する推定結果を表-4 に示す。尤度比指標は、“0.22”を示しており、説明力のあるモデルである

ことを確認した。推定結果をみると、時間的な明るさに関しては、「薄明」、「夜間」、道路構造要因に関しては「下り勾配」、環境要因に関しては「降水量」、時間的な明るさと他要因の交互作用は、「薄明×トンネル入口・出口部」、「夜間×下り勾配」が有意に影響を与えているとの結果が得られた。

「薄明」および「夜間」の係数は正値を示していることから、明るさの時間的な変化および照度が事故発生リスクに有意に影響を与えることが示された。これらの係数値を比較すると、夜間の方が薄明より高い値を示していることから、照度の低下の方が時間的な明るさの変化より重大事故の発生に与える影響が大きい傾向が示された。また、薄明の状況下、トンネルが連続する道路区間において、人身事故の危険性が高まるとの結果を得た。一方で、「夜間×下り勾配」の係数は負値を示していることから、照度の低下の方が道路線形による影響に比べ事故発生リスクに対して大きな影響を与えることが推察される。

7. まとめと今後の課題

本研究では、四国の高速道路ネットワークを対象に、4年間の交通流観測データ、道路構造データ、降水量データ、日の出時刻データおよび交通事故データを用いてポアソン回帰モデルを構築し、事故の重大さ別に時間的・空間的な明るさの変化が事故発生リスクに与える影響を調べた。

その結果、以下の知見が得られた。物損事故については、夜間での事故発生リスクが高い傾向が示された。また、人身事故については、薄明および夜間の状況下が人身事故の発生リスクに対して、大きな影響を与えるとの結果を示した。これらの結果より、照度が低下するにしたがって、物損/人身両事故の発生リスクは高まる傾向が示された。すなわち、事故発生リスクに寄与する要因としては、時間的な明るさの変化に比べて、照度の低下による影響が大きいことが推測される。

一方、空間的な変化の影響について、照度の急激な変化が予想されるトンネル入口部において、物損事故の危険性が増大することを確認した。また、周囲が明るい状況下では、トンネル内部や出口部での事故発生リスクが高まる傾向が示された。以上のことから、入口部・出口部等の明るさの空間的变化が大きい区間、外部の照度とトンネル内の照度の差が大きい状況の下においては、事故発生リスクは高い傾向にあることを示した。

本研究の成果より、各道路線形・地点、時間帯および周囲の明るさに合わせ、適切な情報提供を行うことが事故削減のためには有用であると考えられる。また、トンネル入口および出口部の前後に屋根を付けるなど、空

間的な明るさの変化を緩和する対策についても有効であることが示唆される。

今後は、時間的な明るさの変化が生じる時間帯の内薄明のみを対象とした分析に留まっているため、薄暮の時間帯を対象とした分析を行う必要がある。また、今回の分析で考慮した要因の他にも、“交通流要因”が事故発生に影響することが知られているため、同要因を考慮した分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 森田和元：薄暮時における交通事故発生状況の統計的解析，照明学会誌第 84 巻第 8A 号，pp.507-513，2000.
- 2) Golob, T. and Recker, W.: A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways, *Transportation research Part A*, No.38, Issue 1, pp.53-80, 2004.
- 3) Jurado-Pina, R. and Pardillo-Mayora, J. M. : Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare. *TRB 2009 Annual Meeting* ,CD-ROM , 09-1429, 2009.
- 4) Mitra, S. : Investigating Impact of Sun Glare on Transportation Safety. *TRB 2008 Annual Meeting* ,CD-ROM , 08-2184, 2008.
- 5) 三村泰広，稲垣具志：眼球運動による生活道路の安全性評価指標の構築に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，No.42，CD-ROM，2011
- 6) 松原洋：高速道路のトンネルと交通事故，*IATSS Review vol. 10*，No.1，pp.39-45，1984.
- 7) Amundsen, F.H. and Ranes, G. : Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 15, No.1, pp 3-11, 2000.
- 8) 後藤秀典，田中淳，赤羽弘和，割田博：都市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報告集，pp.49-52, 2005.
- 9) 国立天文台 <http://www.nao.ac.jp/>
- 10) 吉井 稔雄，川原 洋一，大石 和弘，兵頭 知：高速道路における交通事故発生リスク情報の提供に関する研究，第 31 回交通工学研究発表会論文集，CD-ROM，2013.
- 11) 吉井稔雄，兵頭知，倉内慎也：都市内高速道路における事故発生リスク要因分析，第 31 回交通工学研究発表会論文集，CD-ROM，2011.
- 12) 萩田賢司，横関俊也，森健二：降雨量データを活用した雨天事故の分析，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，2011.
- 13) 割田博，上條俊介，田中淳，後藤秀典：首都高速道路における事故発生状況と安全対策効果の検証，第 29 回土木計画学研究発表会・講演集，2004.

(2014. 8. 1 受付)

AN ACCIDENT RISK ANALYSIS AT TRAVELING ON EXPRESSWAYS FOCUSED ON THE CHANGE OF BRIGHTNESS

Satoshi HYODO, Toshio YOSHII and Yuki TAKAYAMA