

長時間連続運転車両が事故発生リスクに与える影響分析

小倉 晃一¹・坪田 隆宏²・吉井 稔雄³・白柳 洋俊⁴

¹ 非会員 株式会社四電技術コンサルタント (〒761-0121 香川県高松市牟礼町牟礼 1007-3)
E-mail:k-ogura@yon-c.co.jp

² 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:t.tsubota@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

² 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:shirayanagi@cee.ehime-u.ac.jp

長時間の連続運転は疲労や眠気を増幅させ、注意力・集中力が欠如した状態での運転操作を招き、事故発生リスクを高めることが予想される。しかし、長時間運転と事故発生リスクの定量的な関係は明らかになっていない。そこで本研究では、連続運転時間の閾値を超過する長時間連続運転車両が事故発生リスクに与える影響を分析した。具体的には、松山自動車道下り方向を対象に、富士通商用車プローブデータの走行履歴情報を用いて、車両ごとの連続運転時間を得た。次に、連続運転時間が 5,000 秒を超えた状態を長時間連続運転車両と定義し、道路区間ごとに長時間連続運転車両混入率を算出した。最後に、同混入率を考慮して、ポアソン回帰分析により事故発生リスク算定モデルを構築した。その結果、時間帯や道路幾何構造に加え、長時間運転車両混入率が事故発生リスクに対して正に有意な影響を与えることを示した。

Key Words: accident risk, cotinuous driving time, highway, probe data

1. はじめに

交通事故は、当事者の死傷や道路構造物の損壊など人的・物的な損失に留まらず、事故車両による車線閉塞から交通渋滞をも誘発することから、社会的・経済的に深刻な影響を及ぼす。近年、ハード・ソフト両面からの安全対策や速度超過等への取締りの徹底により、交通事故発生件数、及び交通事故死者数は減少傾向にある。しかし、事故要因別に見た場合、漫然運転を要因とする死亡事故が最も多く、件数もここ 20 年程横ばいで推移している¹⁾。

漫然運転とは、疲労や眠気を原因とする注意力・集中力が欠如した状態での運転操作を指し、長時間にわたる無休憩の運転によって引き起こされると考えられる。これを未然に防ぐ目的で、長距離バス等の運行計画策定においては過度な連続運転を避ける為に休憩地点の設定が求められており、法令で定められる運転時間基準を順守する考えに基づいた運用が為されている²⁾。しかし現行の基準で推奨されている連続運転時間の上限は労働時間に関する規定の一部として定められているに過ぎず、実際の連続運転時間と事故発生リスクの関連を考慮したものとはなっていない。

長時間の連続運転と事故危険性との関係を科学的に分析した事例は非常に限られている。関連する研究としては、運転時の疲労や眠気による運転パフォーマンスの低下を評価する事例が挙げられるが^{3,4)}、心拍数や目の動きなど生理情報に基づく方法が一般的に用いられており、被験者の少なさが課題となる。加えて、これらの事例では疲労と連続運転時間との関連性が明示的に扱われておらず、適切な運転時間に基づいた休憩アドバイス情報への活用には至っていない。

連続連続運転とドライバーの運転挙動の変化を関連付ける試みとして、兵頭ら⁵⁾が商用車プローブカーを対象に、連続運転時間とサグ部通過時における速度変化の関係を統計的に分析した事例が挙げられる。同分析では、連続運転時間が 5000 秒を超えた場合にサグ底通過後の速度回復が遅れる傾向が確認された。この結果は、連続運転時間の増加に伴って運転挙動が変化していることを実証しており、更には 5000 秒を超えて運転した場合に、サグ部での速度低下に対するドライバーの反応が鈍化している可能性を示唆している。しかしながら、長時間の連続運転車両と事故発生リスクの関係を把握するには至っていない。

そこで、本研究では、長時間連続運転車両が事故発生リスクに与える影響を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には、長時間無休憩で走行する車両が多く存在する道路区間や時間帯において事故発生リスクが高まるという仮定のもと、長時間連続運転車両混入率を区間別・時間帯別に算出する。そして、同指標を説明変数に加えたポアソン回帰モデルを構築し、長時間連続運転車両混入率が事故発生リスクに及ぼす影響を明らかにする。なお、本研究において「混入率」と呼称する場合、特に断りのない限り、長時間連続運転車両混入率を指すものとする。

2. 連続運転時間と長時間連続運転車両混入率

(1) 分析方法

a) 連続運転時間の定義と算出方法

本研究ではプローブカーの走行履歴データより各トリップの連続運転時間を算出する。ここでは、混入率の空間的な変化を捉えるため、分析対象路線を 100m (0.1KP) 間隔の区間に分割し、各トリップの各区間における連続運転時間を算出する。

連続運転時間とは、ドライバーが休憩等によって運転を中断することなく連続して走行する時間であり、直近の出発時刻から当該時刻までの経過時間として定義される。トリップの開始から無休憩で運転を継続している場合、直近の出発時刻はトリップの開始時刻に等しい。一方、途中で休憩施設に立ち寄った場合、直近の出発時刻は休憩施設からの出発時刻を指す。すなわち、トリップ c が区間 k に流入した時刻 t_k^c における連続運転時間 T_k^c は式(1)と式(2)のように定義される。

$$t_{k,0}^c = \begin{cases} t_r^c & (\text{休憩有り}) \\ t_{ori}^c & (\text{休憩なし}) \end{cases} \quad (1)$$

$$T_k^c = t_k^c - t_{k,0}^c \quad (2)$$

ここで、

T_k^c : トリップ c の区間 k における連続運転時間 T_k^c [秒]

t_k^c : トリップ c の区間 k への流入時刻

$t_{k,0}^c$: トリップ c が区間 k に流入した時点での直近の出発時刻

t_r^c : トリップ c が休憩施設を出発した時刻

t_{ori}^c : トリップ c が起点を出発した時刻

である。

b) 長時間連続運転車両混入率

本研究では兵頭ら⁹⁾の知見を参考に、連続運転時間が 5000 秒を超える状態を長時間連続運転状態と定義する。すなわち、トリップ c が区間 k に流入した時点のける連続運転時間 T_k^c が式(3)に示す条件を満たしている場合、トリップ c は区間 k において長時間連続運転状態である

とする。

$$T_k^c > 5000 \quad (3)$$

上記の定義に基づき、分析対象期間を通して区間 k の時間帯 t における長時間連続運転車両混入率 $p_{k,t}$ は式(4)のように算出される。

$$p_{k,t} = N_{k,t}^L / N_{k,t} \times 100 \quad (4)$$

ここで、

$p_{k,t}$: 区間 k の時間帯 t における長時間連続運転車両混入率 [%]

$N_{k,t}^L$: 区間 k の時間帯 t に観測された長時間連続運転トリップ数

$N_{k,t}$: 区間 k の時間帯 t に観測された全トリップ数である。

(2) 分析対象路線

分析対象路線は、香川県の高松西 IC を起点とする松山自動車道下り線のうち、いよ西条 IC (93.5KP) から川内 IC (129.6KP) に至る約 36km 部分とする。同路線は山間部に位置しており、事故多発区間として知られている。図-1 に分析対象路線の位置を示す。同路線内における IC 及び JCT は 108.6KP に位置するいよ小松 JCT のみであり、路線内に設置されている SA 及び PA は 106.8KP に位置する石鎚山 SA と 126.0KP に位置する桜三里 PA の 2 箇所である。



図-1 分析対象区間

(3) 使用データおよび分析対象期間

本研究では、富士通株式会社製商用車プローブデータを用いて連続運転時間、および混入率を算出する。このプローブデータは、ネットワーク型デジタルタコグラフを搭載した貨物車両（以下、プローブカー）から収集されたものである。同タイプのプローブカーは 2015 年の時点で、最大積載量 5 トン以上、車両総重量 8 トン以上の特大・大型車を中心に約 6 万車両以上存在し、年間 2 万台ペースで増加傾向にある。また、全都道府県の幹線

道路での走行実績もあり、多様な輸送形態の運送事業者に利用されている。

プローブデータは、1秒単位で車両のID、位置情報、速度、加速度、エンジン回転数等が得られており、本研究では、車両の位置情報、データの取得した時間を用いた。データ取得対象期間は2014年10月1日～同年11月30日の2か月であり、対象区間を通過した車両454台、のべ2645トリップのデータを用いる。また、このプローブデータは、ドットデータ、ODデータ、SAPA利用履歴の3つのデータから構成されている。ドットデータとは各車両の1秒毎の走行位置と走行挙動を記録したデータであり、車両ID、トリップID、データ取得日時、緯度・経度、ならびに速度が記載されている。ODデータには各トリップの起終点とトリップの開始・終了日時が記載されている。SAPA利用履歴には、各トリップが高速道路上の休憩施設、すなわちSA及びPAを利用した際の、休憩施設への流入・流出日時と施設名称が記載されている。

(4) 長時間連続運転車両混入率の時空間的特徴

分析対象路線における長時間連続運転車両混入率の空間的分布を示す。例として8～9時台における0.1KPごとの混入率と全プローブカー交通量の集計結果を図-2に示す。全プローブカー交通量は流出入施設が存在しない区間では概ね一定となるが、石鎚山SA、いよ小松JCT、桜三里PAの各施設の地点において、車両の出入りが発生し、不連続に変化する。なお、各施設間においてもプローブカー交通量が僅かに変化しているが、これは時間帯を跨いで運転を続けている車両が存在するためと考えられる。

混入率については、各施設間でhじゃ流入が存在せず、連続運転時間は単調増加するため、右肩上がりの変化を示している。各施設の地点においては流出あるいは各施設への流入によって車種構成が異なり、不連続な変化を示している。

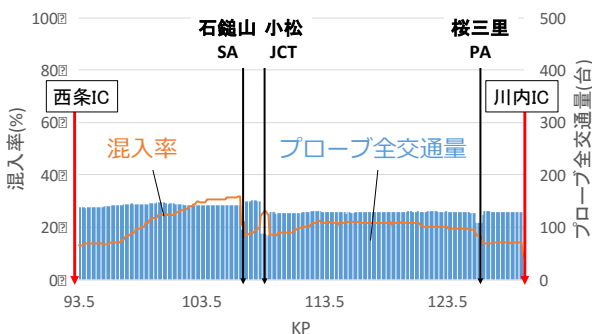


図-2 プローブ交通量と混入率の空間的分布

次に、長時間連続運転車両混入率の時空間的分布を示

す。図-3は分析対象路線の一部、西条ICから石鎚山SAに至る区間の時間帯別混入率 [%]を示す。混入率の違いを色の濃淡によって塗り分けており、混入率の高い区間・時間帯ほど濃く表示されている。空間的な特徴としては、図-2でも見られたように、進行方向に向かうにつれて混入率が増加する傾向が確認できる。それに加えて、時間帯によっても混入率は大きく異なることが明らかになった。特に、21時台から1時台に至る深夜の時間帯における混入率は概ね50%を超えており、長時間にわたり無休憩で運転するプローブカーの割合が高いことが分かる。

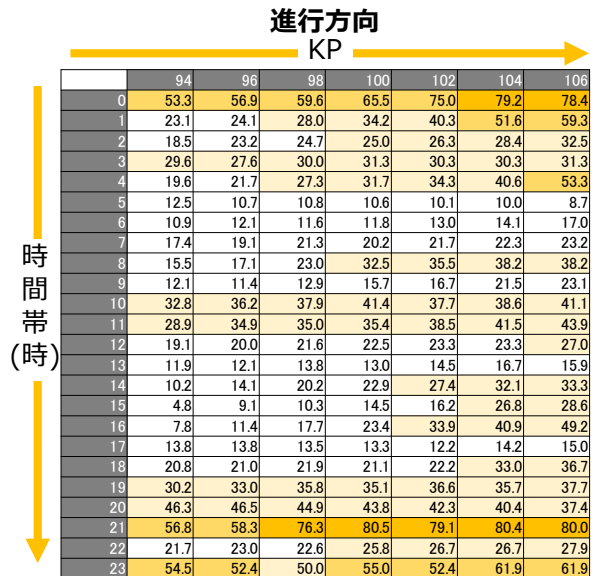


図-3 混入率の時空間的分布

3. 長時間連続運転車両混入率を考慮した事故発生リスク要因分析

(1) 分析方法

a) 事故発生リスクの定義

本研究では、車両1億台キロあたりの交通事故発生件数を事故発生リスクと定義し、式(1)により走行状態別に算定する。走行状態の定義については後述する。

$$R_i = \frac{y_i}{L_i} \times 10^8 \quad (5)$$

ただし、

R_i : 走行状態カテゴリー*i*の事故発生リスク[件/億台 km]

y_i : 走行状態カテゴリー*i*で発生した事故件数[件]

L_i : 走行状態カテゴリー*i*の総走行台キロ[台・km]

である。

b) 走行状態カテゴリーの設定

本研究における走行状態を定義する際に、環境要因として走行時間帯、道路幾何構造要因として縦断勾配、トンネル区間、及び曲率半径を考慮する。それぞれの走行状態カテゴリーに対して長時間連続運転車両混入率と、事故件数、ならびに走行台キロの集計値を算出すること

でモデルへの入力データを作成する。ただし、混入率の算出に際しては車種構成の異なる区間で観測されたプローブデータを集計することは適切ではない。よって、走行状態カテゴリーの設定に際しては、はじめに車種構成が同一と見なすことの出来る領域を設定し、それぞれの領域に対して時間帯別・道路幾何構造要因別に走行状態を分類する必要がある。

車種構成が同一と考えられる領域の設定について説明する。図-2 に示した分析結果より、SA や PA, JCT を境に混入率が不連続に変化していることから、これらの地点の前後で車種構成が変化していることが推察できる。そこで、図-4 に示すとおり、SA, PA, 及び JCT を境に分析対象路線を 4 つの領域に分割する。それぞれの領域に対して時間帯別に平均混入率を算出し、それを各領域の代表値として以降の分析に用いる。

次に、各領域を道路幾何構造要因に応じて分類し、時間帯別の事故件数と走行台キロを集計する。道路幾何構造要因としては縦断勾配、トンネル区間、及び曲率半径を考慮する。時間帯については、2 時間ごとの 12 時間帯を設定する。

上記の考え方に従って、領域毎に幾何構造と時間帯を考慮して制した結果、合計 180 サンプルの走行状態カテゴリーを得る。

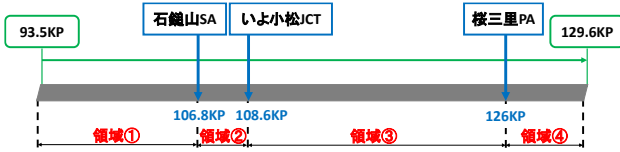


図-4 分析対象路線の領域分割方法

c) ポアソン回帰モデルによる事故発生リスク要因分析

長時間連続運転車両混入率と事故発生リスクの定量的な関係を明らかにするために、混入率などの事故要因を説明変数、事故発生件数を被説明変数とするポアソン回帰モデルを用いて分析を行う。交通事故は稀に起こる事象のカウントデータであり、既往の事故発生リスク分析で使用実績の豊富なポアソン回帰分析を採用する。本研究で使用モデルを式(6)と式(7)に示す。

$$P(Y = y_i | \lambda_i t_i) = \frac{e^{-\lambda_i t_i} (\lambda_i t_i)^{y_i}}{y_i!} \quad (6)$$

$$\lambda_i t_i = \exp(a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n) t_i \quad (7)$$

ただし、

y_i : 走行状態カテゴリー i の事故件数[件]

λ_i : 走行状態カテゴリー i の事故発生リスク [件/億台 km]

t_i : 走行状態カテゴリー i の走行台キロ[台 km]

x_k : 事故要因となる説明変数, $k = 1 \sim n$

a : 定数項

b_k : 未知パラメータ

である。

分析に使用する説明変数を表-1 に整理する。上記で設定した各走行状態カテゴリーに説明変数を付与することでモデルへの入力データを作成する。時間帯については 22 時台から 5 時台を「深夜・早朝」、10 時台から 15 時台を「昼間」と定義する。縦断勾配の分類は、-3.0% 未満の勾配区間を「下り勾配」、3.0% より大きい勾配区間を「上り勾配」とする。また、曲率半径が 1,000m 未満の区間を「カーブ部」と定義する。

表-1 説明変数の設定

要因	カテゴリー	説明変数
長時間連続運転車両	混入率	混入率[%]
環境要因	時間帯	深夜・早朝ダミー 昼間ダミー
道路幾何構造要因	縦断勾配	下り勾配ダミー 上り勾配ダミー
	トンネル部	トンネルダミー
	曲率半径	カーブ部ダミー

(2) 使用データと分析対象期間

a) 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ており、収集期間は 2007 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの 4 年間である。事故データには、事故の発生日時、発生 KP、事故の重大さ等が記録されている。なお、記載されている事故発生時刻については正確な事故発生の時刻ではなく、事故が報告された時刻となっている。事故の重大さの分類は、物損事故と人身事故の 2 分類となっており、分析対象区間においては物損事故 217 件、人身事故 48 件が記載されている。人身事故発生件数が少なく、以降の分析において十分なサンプルが得られない為、本研究では事故分類を考慮せず、合計 265 件を対象に分析を行なう。

b) 交通流観測データ

交通流観測データは、車両感知器によって収集され、5 分間毎に集計されたデータで、収集期間は事故データと同様に、2007 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの 4 年間である。データには、観測時刻、交通量[台/5分]、平均速度[km/h]、各車両感知器の設置位置情報などが記載されている。分析対象路線においては、いよ小松 JCT 周辺の 108KP, 108.6KP, 109KP の計 3 箇所に設置されている。

c) 道路幾何構造データ

道路幾何構造データは、対象区間の路線図を基に作成され、0.1KP 単位の各 KP に対応する車線数、曲線半径、縦断勾配、トンネル区間等の情報が記されている。本研究の分析対象路線については、車線数は全区間 2 車線で一定であり、事故発生リスク要因分析では、道路幾何構

造要因として、曲線半径、縦断勾配、トンネル区間を考慮する。

(3) 分析結果

事故発生リスク推定モデル結果を表-2 に示す。説明変数の係数の符号が正であれば、同変数において事故発生リスクは高くなることを示している。長時間連続運転車両混入率の係数は有意に正の値を示しており、混入率が増加することによって事故発生リスクが高まることが示された。推定結果より、同混入率が 100% の場合、0% の場合と比較して、約 2.7 倍の事故発生リスクを有することが明らかとなった。長時間連続運転車両割合が多い区間では、集中力・注意力の欠けたドライバーの誤った運転操作や、危険発見の遅れによって事故発生リスクが高まる可能性が示唆される。そして、深夜・早朝、下り勾配、トンネル区間、上り勾配×トンネル区間といった環境要因、道路幾何構造要因ならびに交互作用項が事故発生リスクを高めることが示された。一方、深夜・早朝時のトンネル区間といった交互作用項が事故発生リスクを下げることを示された。これらの結果は、既往の事故リスク分析⁹⁾と同様の傾向を示しており、妥当な結果であると考えられる。また、モデルの適合度については、尤度比指標が 0.20 以上の値を示すことから、モデル全体の説明力は良好であると言える。

4. おわりに

本研究では、連続運転時間が 5000 秒を超えている状態を長時間連続運転状態と定義し、長時間連続運転車両混入率を算出した。同指標を説明変数に用いて、ポアソン回帰モデルによる事故発生リスク要因分析を実施したところ、5000 秒を超える連続運転車両割合が事故発生リスクに対して有意に正の関係を持つことが明らかになった。モデル全体の適合度についても、尤度比指標が 0.20 以上となり、高い説明力を持つ結果となっている。これらの結果より、長時間の連続運転車両割合が多い区間、時間帯においては事故発生リスクが高まるという関係が統計的に実証されたと言える。しかし、本研究で使用したプローブデータは大型車のみを対象としているため、一般車のデータを用いて同様の分析を行うことにより、

知見を一般化することが今後の課題として挙げられる。

表-2 モデル推定結果

説明変数	係数	P 値
長時間連続運転時間		
長時間連続運転車両混入率	0.010	0.020*
環境要因		
深夜・早朝ダミー	1.506	0.000*
道路幾何構造要因		
下り勾配ダミー	0.704	0.000*
トンネル部ダミー	0.576	0.000*
交互作用項		
上り勾配×トンネル部ダミー	0.806	0.001*
深夜・早朝×トンネル部ダミー	-0.835	0.002*
定数項		
サンプル数	180	
尤度比指標	0.344	

*：有意水準 5%

謝辞：本研究を実施するに際し、株式会社富士通交通・道路データサービスから貴重なデータを提供頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 27 年上半期の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取り締まり状況について、2015。
- 2) 嶋本宏征，泊尚志：自動車運送事業における運転時間基準に関する基礎的考察，土木学会・土木計画学研究・講演集 Vol.46，2012。
- 3) Hill, J. D. and Boyle, L. N.: Driver stress as influenced by driving maneuvers and roadway conditions, Transportation Research Part F 10(3), pp. 177-186, 2007.
- 4) Golob, T. and Recker, W.: A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways, Transportation Research Part A 38(1), pp. 53-80, 2004.
- 5) 兵頭知，吉井稔雄，松下聖史，大宮清英：連続運転時間が運転挙動に与える影響分析，土木計画学研究講演集 Vol.44，2011
- 6) 兵頭知，吉井稔雄，高山雄貴：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，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.71，No.5，pp.1027-1033，2015。

AN ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENT RISKS CONSIDERING LONG CONTINUOUS DRIVING VEHICLES

Koichi OGURA, Takahiro TSUBOTA, Toshio YOSHII and Hirotoishi SHIRAYANAGI