

令和元年6月18日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14740

研究課題名（和文）グラフィカルモデルを用いた運転馴化状態の検出手法

研究課題名（英文）Detection of driving fatigue due to long continuous driving based on a graphical model

研究代表者

坪田 隆宏 (Tsubota, Takahiro)

愛媛大学・理工学研究科（工学系）・助教

研究者番号：00780066

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はプローブデータを用いて運転馴化と交通事故危険性の関係を示すとともに、馴化状態の検出を目指すものである。はじめに、運転馴化状態の車両によって道路空間の交通事故危険性が高まることを実証的に明らかにした。具体的には、長時間連続運転状態の車両の割合が増加するにつれて、交通事故リスクが高まることをポアソン回帰モデルにより示した。続いて、休憩前後での車両挙動を個人差を考慮して分析することにより、休憩によって運転馴化の程度が変化することを示した。すなわち、プローブカーから得られる情報は、運転馴化状態を検出する際に有用である可能性を示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長時間運転によって運転が馴化し、注意不足による交通事故リスクが高まる危険性は従来から指摘されており、道路上の注意喚起看板の設置などの方法により、ドライバーへの周知が行われてきたが、これらは静的、かつ一般的な情報提供に留まっており、個々のドライバーの状況とは必ずしも合致していなかった。本研究の成果は、馴化の危険性を定量的に示したことで、SA/PAの拡充や注意喚起等の運転馴化防止施策による効果を定量的に示す際に活用できる。更に、プローブカーから得られる情報による馴化検知技術の開発において有用な参照情報となり得る。

研究成果の概要（英文）：This study revealed the relationship between driving fatigue and the accident risk, and then demonstrated the usefulness of the probe vehicle data for detecting the driving fatigue. Firstly, based on the poisson regression model analysis, the study showed that the existence of long continuous driving vehicles increases the accident risk. Thereafter, the study showed that the probe vehicle data is able to capture the difference in driving behaviors before and after taking a rest. This finding imply the usefulness of the probe vehicle data in developing the detection method of driving fatigue.

研究分野：交通工学

キーワード：連続運転時間 運転馴化 プローブデータ 交通安全 交通事故リスク ポアソン回帰モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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、漫然運転を始めとする、ドライバーの運転に対する馴化による注意力の欠如を原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。このことから、運転の馴化を検知し、ドライバーに対する適切な注意喚起を施すことが、更なる安全性向上に向けた有効な手段の一つであると考えられる。

ドライバーの運転馴化を検知する手法としては、脈拍や心拍数などドライバーの生理指標に基づくものや、ハンドル操舵角や車線内での走行位置等の緻密な運転挙動に着目したものなど様々提案されている。しかしながら、これらの分析は実験走行やドライビングシミュレータ実験の結果に基づいており、運転の再現性に疑問が残る。加えて、運転への馴化の影響はドライバー個人の特性や、道路の幾何構造や周辺交通状況によって大きく異なると考えられることから、より多様な被験者・交通条件に基づく分析が求められる。

そうした中、現在ではカーナビ車載器メーカー各社が開発するネットワーク型デジタルタコグラフを搭載した車両(プローブカー)が普及しつつある。同機器搭載車両は個別 ID、位置座標、速度、加速度等を高頻度(e.g., 1 秒毎)に取得することができ、走行中の詳細な挙動記録が大規模、かつ経時的に収集・蓄積可能となっている。これらのデータは、日々の走行中に自動的に取得される為、ドライバーの通常時の運転挙動を捉えていると考えられる。加えて、蓄積されたデータからは多様な道路構造や交通状況下での走行履歴を客観的に分析可能であり、馴化の検知技術開発に有用な知見が得られると期待される。

既に、プローブカーによって計測可能な位置情報、速度情報等を活用して、無休憩連続運転時間(連続運転時間)が 5,000 秒を超える場合に車両挙動に変化が生じることが示されており¹⁾、長時間運転による運転馴化の可能性、およびプローブカーデータから同馴化状態を検出できる可能性が示されている。しかしながら、運転馴化状態と交通事故危険性の関係や、個人差を考慮した分析は為されていない。

2. 研究の目的

本研究では、プローブカーにより収集・蓄積された詳細な運転挙動データを活用することにより、運転馴化と交通事故危険性の関係を明らかにする。具体的には、長時間連続運転状態の車両を“運転馴化状態に陥った車両”であると仮定した上で、同状態の車両の存在を考慮した事故リスク推定モデルを構築する。これによって、長時間連続運転車両の存在が、分析対象区間の交通事故危険性を上昇させることを実証的に示す。次いで、連続運転時間と運転馴化の関係について、個人差を考慮した知見を得る。

3. 研究の方法

(1) 連続運転時間の算出

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 間隔の区間に分割し、各区間に流入した時点における連続運転時間をトリップ毎に算出する。

ある区間におけ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、当該区間まで継続して走行した時間であり、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。

(2) 長時間連続運転時間の定義

本研究では、兵頭ら¹⁾の知見を参考に、連続運転時間 5,000 秒を超える車両を長時間連続運転車両とする。この定義に基づき、分析対象期間を通してある区間の各時間帯における長時間連続運転車両混入率を算出する。

(3) 事故リスクの定義

本研究における事故リスクとは、車両 1 億台キロあたりの交通事故発生件数とする。具体的には、式(1)により走行状態カテゴリー別に算定する。走行状態カテゴリーの定義については後述する。

$$R_i = \frac{y_i}{L_i} \times 10^8 \quad (1)$$

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。

(4) 走行状態カテゴリーの設定と事故リスク推定モデル

走行状態カテゴリーを定義する際には、環境要因として走行時間帯を、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方法を説明する。そこで、図1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。

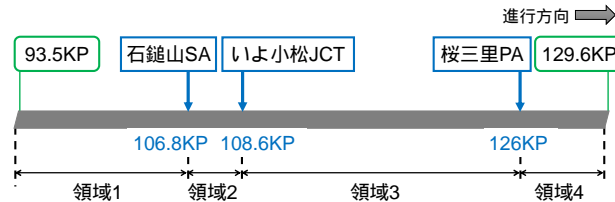


図1 分析対象路線の領域分割方法

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した区分を行う。縦断勾配の区分は3分類とし、-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」、それ以外を「平坦」とする。トンネルについては2分類とし、トンネル内部を「トンネル部」、それ以外を「明かり部」とする。曲率半径は2分類とし、1,000m未満の区間を「カーブ部」、それ以外を「直線部」とする。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整理し、走行状態カテゴリーを得る。領域毎に含まれる幾何構造が異なり、例えば領域1には縦断勾配3種類(上り、下り、平坦)、トンネル1種類(トンネル部、明かり部)、曲率半径2種類(カーブ部、直線部)が含まれる。これらの全組み合わせから存在しない幾何構造の組み合わせ除外した7種類が領域1の幾何構造に関する組み合わせ数となる。これに、時間帯に関する分類(12時間帯)を考慮した組み合わせ数84が領域1から得られるサンプル数となる。同様に他の領域についても存在する幾何構造の組み合わせ数を考慮した結果、分析対象路線全体で合計288サンプルの走行状態カテゴリーを得た。

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。本研究で使用するモデル式を式(2)と式(3)に示す。

$$P(Y = y_i | \lambda_i t_i) = \frac{e^{-\lambda_i t_i} (\lambda_i t_i)^{y_i}}{y_i!} \quad (2)$$

$$\lambda_i t_i = \exp(a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n) t_i \quad (3)$$

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」と定義し、該当する時間帯にダミー変数を付与する。縦断勾配については前述の定義に「下り勾配」と「上り勾配」に対して、トンネル部については「トンネル部」に対して、曲率半径については「カーブ部」に対してそれぞれダミー変数を与える。

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

(5) 地点差と個人差を考慮した休憩効果の分析

運転挙動の指標としてサグ部通過時の減速走行距離を用いた上で、石鎚山 SA での休憩前後における同指標値を比較する事により、休憩による効果を明らかにする。この際、SA 前後に存在するサグは道路線形条件等が異なるため、ランクと呼ばれる指標を導入する。ランクとは、ある数値のサンプル内での順位を百分率で表したものであり、サンプル内での相対的な位置を評価可能である。本分析では、ランクが高い場合、運転状態が良好であると判定する。

また、ドライバーの個人差を考慮するために、分析対象車両の出発地付近の高速道路区間における平均走行速度と分散を用いて、運転挙動特徴の分類を行う。これにより、ドライバーの平常時における運転挙動、すなわち個人差を考慮した分析を目指す。

(6) 分析対象区間

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。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。

4. 研究成果

混入率と事故発生リスクの関係を領域別に算出した結果を図 2 に示す。いずれの領域においても事故発生リスクがゼロとなる混入率値が存在することが分かる。ゼロ以上の事故発生リスク値を持つプロットに着目すると、領域 1, 3, 4 において混入率が増加するに従って事故発生リスクが増加傾向を示している。ただし、領域 2 では事故発生件数が少ないことから、図 2 でも 5 プロットのみとなり、傾向の把握が困難となっている。

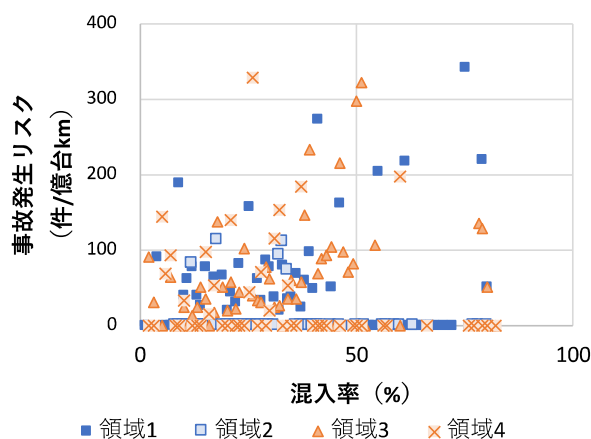


図 2 混入率と事故発生リスクの関係

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、混入率が 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

とが示された。これらの結果は、既往の事故リスク分析²⁾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。

表 2 モデル推定結果 (*: 有意水準 5%)

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	3.023	0.000*
サンプル数	288	
尤度比指標	0.344	

続いて、高松 IC を起点とした 0~5kp における 189 トリップの平均走行速度、および速度の分散を用いて、運転挙動に基づく分類を行った。その結果 図 3 に示すような 4 分類を特定した。これらのトリップを対象に、石鎚山 SA で休憩したトリップに着目して、減速走行距離のランク比と連続運転時間の関係を分析した。ランク人は、SA 後の 3 箇所のランク R_a を、SA 前の 3 箇所のランク R_b で除することで算出される。ランク比が 1 より大きい場合、休憩後にランクが上昇している、すなわち休憩前には馴化状態であった車両が、休憩後に回復していることを意味する。

石鎚山 SA で休憩した車両を対象に、減速走行距離のランク比と連続運転時間の関係をグループごとに整理した結果を図 3 に示す。これらのグラフより、運転開始直後の走行速度の小さいグループ およびグループ においてランク比が 1 より大きい車両の割合が 71%、100%と高く、休憩効果が大きいと考えられる。一方、運転開始直後の走行速度の大きいグループ およびグループ については、ランク比が 1 より大きい車両の割合が 43%、40%と低いことから、休憩効果が小さいと言える。このように休憩行動が減速走行距離に与える影響には個人差があることが明らかになった。

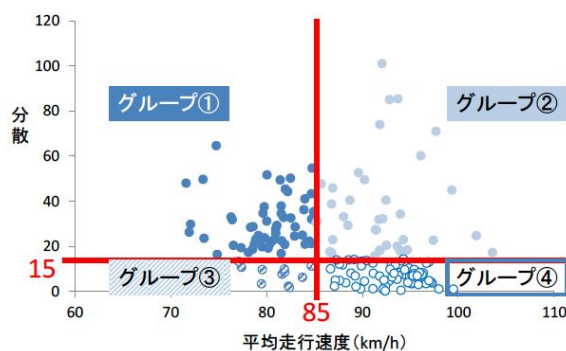


図 3 グループ分割結果

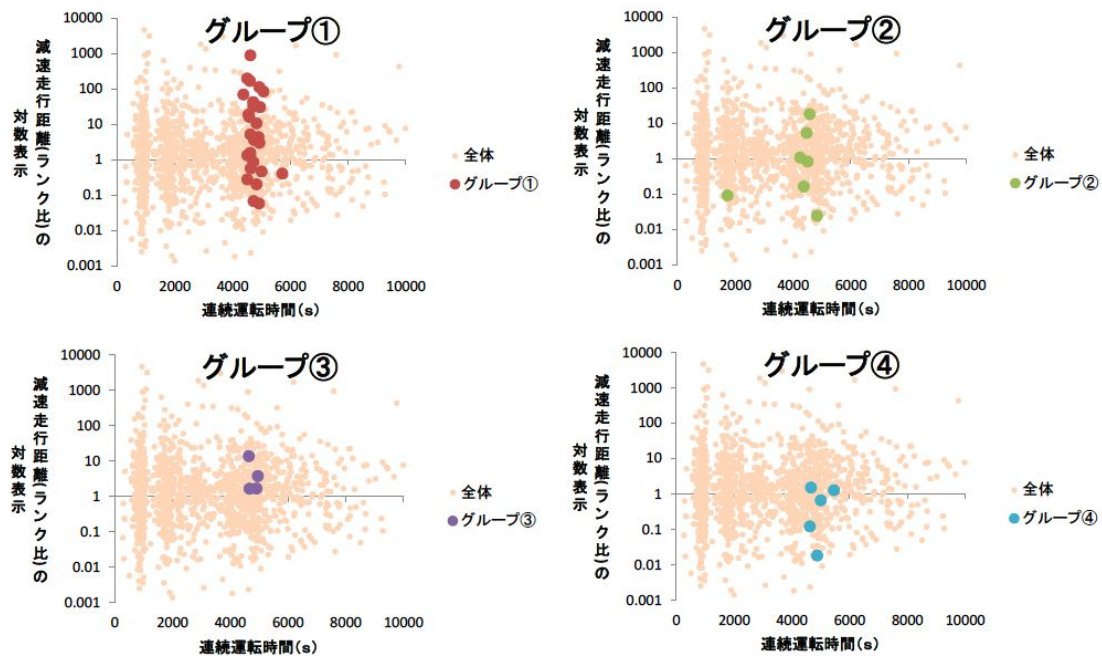


図4 各グループの減速走行距離のランク比と連続運転時間の関係

<引用文献>

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.

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.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

坪田隆宏, 吉井稔雄, 白柳洋俊, 小倉晃一: 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 74巻, 5号, 2018

[学会発表](計3件)

田中優司, 吉井稔雄, 坪田隆宏, 松下聖史: ドライバーの個人差を考慮した連続運転時間と運転挙動の関係分析, 土木学会四国支部第23回技術研究発表会, 2017

小倉晃一, 坪田隆宏, 吉井稔雄, 白柳洋俊: 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, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 2017

Takahiro Tsubota, Toshio Yoshii and Koichi Ogura: Impact of Long-Continuous Driving Vehicles on Accident Risks, The 7th International Symposium on Transportation Network Reliability, Sydney, Australia, 2018

6. 研究組織

(1)研究分担者
該当なし

(2)研究協力者
該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。