

# 連続運転時間が運転挙動に与える影響分析

兵頭 知<sup>1</sup>・吉井 稔雄<sup>2</sup>・松下 聖史<sup>3</sup>・大宮 清英<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

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

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

<sup>3</sup>学生会員 愛媛大学 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: matsushita.satoshi.12@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 株式会社富士通交通・道路データサービス  
(〒105-7123 東京都港区東新橋1-5-2 汐留シティセンター)

E-mail: omiya.kiyohide@jp.fujitsu.com

ドライバーは長時間継続して運転することで、眠気や疲労により速度維持の確保など適切な運転操作を行うことが困難となり、次第に危険な状況へと陥ることが予想される。そうした運転パフォーマンスの低下を検知し、ドライバーに対し警報するなどの運転支援の開発が期待されており、適切な判断基準を持って運転パフォーマンスを評価することは重要である。これまで走行挙動の評価では、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きた。しかしながら、同手法では、被験者数の少なさや通常時の運転の再現性などの課題点が挙げられる。そこで、本研究では、効率的な評価手法の構築に向けて、プローブカーデータより得られる走行履歴および走行挙動の情報を活用し、連続運転時間と走行挙動との定量的な関係性を把握することを目的とする。

**Key Words :** *continuous driving hours, expressways, vehicle running behavior*

## 1. はじめに

近年、長時間運転によるドライバーの過労を原因とした交通事故、あるいは、安全不確認や脇見運転といった漫然運転による事故が数多く報告<sup>1)</sup>されており、重大事故を引き起こす可能性も高いことから、それらの漫然運転を未然に防ぐための対策に注目が集まっている。事故防止のためには、ドライバーの運転状態を適切に評価して、ドライバーの運転を支援するかが重要であり、走行中におけるドライバーの走行状態を測定して、警告する機器やシステムの開発及び導入などが期待されている。それらの機器やシステムを導入するにあたっては、漫然運転の要因を整理し把握する必要性は高いといえる。

一般的に、漫然運転を誘発する主なトリガーとしては、長時間運転による身体的/精神的な疲労や眠気などが考えられる。これまで、ドライバーの身体的・精神的な変化について、運転中のドライバーの生理学的指標を測定し、同指標値の変化と走行挙動との関係を分析する研究が行われ、多数の研究成果が報告されている。しかしながら、それらの研究においては、走行実験のための被験

者数の少なさや通常時の運転の再現性などが課題点として挙げられる。

これらに対して、本研究では、プローブカーデータより得られる走行履歴および走行挙動の情報を活用して、連続運転時間と走行挙動との定量的な関係性を分析し、ドライバーの運転状態を評価することを目的とする。

## 2. 既往研究および本研究の位置づけ

これまで、疲労や眠気と走行挙動との関係を調べた研究としては、走行実験やDS（ドライビングシミュレータ）を用いて、生理指標を使用した分析を中心に数多くの研究がこれまで実施されてきた。例えば、生理指標を用いた研究においては、主に心拍間隔RRRI、尿中のカテコラミンや唾液中のクロモグラニンなどの指標を用いて、運転のストレスや疲労を計測した分析<sup>2,3)</sup>などが行われてきた。また、Warita.et.al.<sup>4)</sup>は、30~40歳代の男性被験者10人にアイマークレコーダ(注視点記録装置)とバイオセンサー(心電計)を取り付け、ドライブレコ

一ダ設置車両で首都高速道路上を運転し、走行挙動の変化を検証した。その結果、単路部区間では、精神的な緊張が緩和され、反対にジャンクション付近など、周囲の車両の動きに注意しなければならない場所や、トンネル内の急カーブなど、慎重な運転操作が必要とされる場所では興奮状態になるということなどが示された。一方で、岩倉ら<sup>9)</sup>によると、一般道路など比較的心的負担の高い道路構造では、単一のストレス指標を用いた場合、安定的にストレスを評価できるが、高速道路のように比較的単調な運転時においては、十分な成果が得られない可能性などを指摘している。このため、複数のストレス指標を用いた分析の必要性を提案している。しかしながら、いまだ長距離運転に伴う運転ストレスの生理的反応指標は決定的なものが存在しておらず、被験者数が少ないことや、実験の際に、普段の運転態度で運転していない可能性などの運転の再現性の面の課題点などについても指摘されている。

そこで、本研究では、生理的指標に代わるドライバーの運転状態の評価指標の構築を目的に、車両の走行履歴データから、連続運転時間と走行挙動との定量的な関係性を分析する。

### 3. 連続運転時間と走行挙動の関係

#### (1) 連続運転時間と走行挙動との関係について

運転行動については、主にドライバーの「認知」・「判断」・「操作」の3つの運転機能によって規定される。このため、長時間運転によりドライバーが疲労し漫然運転に陥っている場合、通常時に比べ、周囲に対する環境認知の機能が低下して、交通状況に応じて適切に運転操作を行うことが難しくなることが想定される。また、サグ部においては、勾配の変化に伴う速度低下に気付きにくいことが知られている<sup>9)</sup>。したがって、ドライバーに疲労が蓄積されていない状態であれば、サグ部の認知ならびに同区間におけるアクセル操作による加速挙動は適切に行われると考えられる。対して、長時間運転により漫然運転に陥っている場合では、サグ部走行時における速度変化の認知が鈍くなり、ドライバーのアクセル操作が遅れるなどの反応遅れにより、強い減速挙動や継続的な速度低下などの顕著な走行挙動の変化を示すことが予想される。

そこで、本研究では、サグ区間通行時における走行挙動の変化に着目した分析を行う。

#### (2) 連続運転時間の算出について

本研究では、ドライバーの疲労状態を示す指標として、連続運転時間を用いる。連続走行時間とは、

車両がサービスエリアやパーキングエリアなどの施設で休憩をとるように、運転を中断することなく、連続して走行する時間のことである。ここで、休憩施設で休憩をとるごとに、連続運転時間は 0 秒にリセットされる。すなわち、トリップの開始から一度も休憩施設で休憩をとらずに断続的に走行し続けている場合の連続運転時間とは、トリップの開始日時から当該日時までにかかった時間を示す。それに対して、トリップの開始から 1 度でも休憩施設で休憩をとった場合では、直前に利用した休憩施設から流出した日時から当該日時までにかかった時間を示す。このため、連続運転時間は、以下の式 (1) および式 (2) によって算出される。

$$D = \begin{cases} 1, (\text{休憩施設の立ち寄り有り}) \\ 0, (\text{休憩施設の立ち寄り無し}) \end{cases} \quad (1)$$

$$T = \begin{cases} t_s - t_r \quad (\text{if } D = 1) \\ t_s - t_o \quad (\text{if } D = 0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、

$T$ : 連続運転時間 [s]

$t_s$ : サグ部進入時の時刻

$t_r$ : 休憩施設を出発した時刻

$t_o$ : 起点を出発した時刻

$D$ : 休憩ダミー (休憩を行った場合: 1, それ以外: 0) とする。

#### (3) 走行挙動の定量化指標

##### a) 減速走行距離

本研究では、走行挙動を示す指標として、減速走行距離と速度低下量の2種類を考慮する。具体的には、図-1に走行挙動の概略図を示すように、図中の $t_0$ ,  $t_1$ の2つの時点とその時点における速度  $v(t_0)$ ,  $v(t_1)$ を抽出してそれらを算出する。まず、減速走行距離については、車両がサグ底の地点を通過した直後から初めて加速する地点までの走行距離のことであり、式(3)のように定義される。

$$L = \int_{t_0}^{t_1} v(t) dt \quad (3)$$

ここで、

$L$ : 減速走行距離 [m]

$v(t)$ : サグ底部へ進入した時点の速度 [km/h]

$t_0$ : サグ底部へ進入した時点

$t_1$ : サグ底進入後、初めて加速した時点

とする。

##### b) 速度低下量

速度低下量とは、各車両のサグ底流入時の速度と、サ

グ底通過後から初めて加速した時点、すなわちサグ部上り勾配部での最低速度との差であり、式(4)のように定義される。

$$dv = v(t_0) - v(t_1) \quad (4)$$

ここで、

$dv$ : 速度低下量 [km/h]

$v(t)$ : サグ底部へ進入した時点の速度 [km/h]

$t_0$ : サグ底部へ進入した時点

$t_1$ : サグ底進入後、初めて加速した時点

とする。

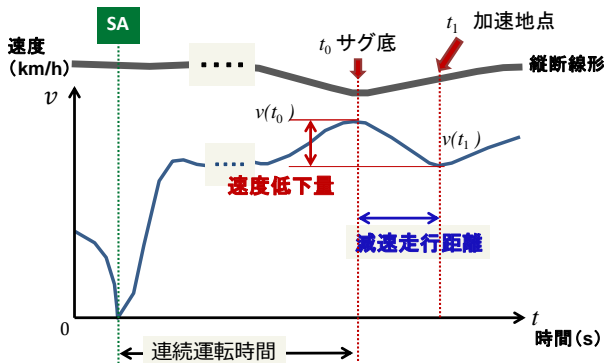


図-1 走行挙動の概略図

#### (4) ピースワイズ回帰モデル

本稿では、連続運転時間とドライバーの走行挙動を示す指標との関係性を調べ、モデル化により連続運転時間が走行挙動に与える影響を把握する。モデル化にあたって、連続運転時間と各走行挙動指標との関係について、時系列的な推移を考える。

本研究では、連続運転時間が長くなることで、走行挙動の変化は大きくなるが、その増加は単調増加ではないと仮定して、運転時の過程を大きく分けて三期に分割されると考える。具体的には、ドライバーに疲労がない運転早期（第一期）では、走行挙動を示す指標は一定値を推移することが予想される。第二期においては、運転疲労の発現によって指標値が急激に変化する段階に達することが考えられる。すなわち、第一期までは連続運転増大に伴う挙動の反応は大きく変化しないが、ある時点を境に大きく変化することが予想される。そして、第三期においては、運転疲労の蓄積によってさらに走行挙動を示す指標は悪化していくことが予想される。

そこで、本研究では、以上の運転過程の推移を考慮するために、ピースワイズ回帰モデルを用いた分析を行う。同モデルは、説明変数がいくつかの異なるグループに分布しており、分割された区間で異なる関係性を示すとき特に有効な手法である。

ここで、線分の境界(閾値)となる時点を変曲点と呼ぶ

こととする。なお、パラメータの推定には最小二乗法を用いて、3本の回帰直線が従属変数の観測値と計算値の差(残差)の二乗和を最小にしながら、できる限りデータセットに適合するように作られ、分割されたそれぞれの区間で適用される。したがって、定式化すると、式(5)のように表される。

$$y_j = \begin{cases} \alpha + \beta_1 & (x \leq k_1) \\ a + \beta_1 k_1 + \beta_2(x - k_1) & (k_1 < x \leq k_2) \\ a + \beta_1 k_3 + \beta_2(k_2 - k_1) + \beta_3(x - k_2) & (k_2 < x) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、

$y_j$ : 従属変数 (減速走行距離[m], 速度低下量[km/h])

$x$ : 連続運転時間 [s]

$k$ : 変曲点 [s]

$a, \beta$ : パラメータ

にて算定する。

なお、最適モデルの選定においては、連続運転時間を500秒ごとに区切った各組み合わせ毎に推定を行い、その中で自由度調整済み決定係数の値が最大となるモデルを最適モデルとして選択することとする。

## 4. 分析概要

### (1) 分析対象区間

分析対象区間は、図-2に示すように、香川県の高松西ICを起点とし、愛媛県の東西を横断する松山自動車道下り線のいよ西条IC～川内IC(93.5KP～129.5KP)であり、道路区間延長は約36kmとなっている。同区間の詳細については、図-3に示す。同図に示すように、途中のいよ小松JCTまではトンネルや勾配変化が多く、いよ小松JCT以遠は連続した上り勾配が、そして、峠を上りきった桜三里PAの前後では連続した下り急勾配がみられ、全区間を通して平坦区間はわずかで、勾配区間が大部分を占めている。

また、走行挙動分析対象地点は、図中の103.7KPに存在するサグであり、当地点は区間内に存在する複数のサグのうち、トンネルによる走行挙動への影響を受けないと考えられる地点である。

### (2) 使用データ

#### a) プローブデータ

本研究では分析に際し、富士通株式会社製商用車プローブデータを用いた。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(プローブカー)から収集されたデータである。同タイプのプローブは2014年10月末の時点で、車両総

重量 8t 以上の特大・大型車を中心に 47,000 車両以上存在し、全国 1,800 社以上の多様な輸送形態の運送事業者を利用されていることから、比較的業種業態の違いによる偏りが少ないと期待できる。同プローブカーは、1 秒毎に車両の ID、位置座標、速度、加速度、エンジン回転数、車間距離等を取得することができ、その内、位置座標、速度のデータを利用した。位置座標は車両の外部にアンテナを設置している GPS レシーバーから緯度経度ともに 0.1 秒単位のデータを、速度については自動車のパルス信号から瞬時値を 0.1km/h 単位で取得している。この 1 秒毎のデータを「マップマッチング」処理により、デジタル道路地図（以下“DRM”）上の位置に補正した点列データを用いている。

また、本分析の対象期間は、平成 26 年 10 月 1 日～平成 26 年 11 月 31 日の 2 か月で、松山自動車道下り線 いよ西条 IC～川内 IC を通過する商用車 145 台のべ 490 トリップのデータを用いた。また、本研究では速度抑制装置の設置が義務付けられている、大型車および特大車の 2 つの車種を対象として分析を行う。デジタルタコグラフと連動する ETC 車載器の利用実績から、対象車両の車種区分は、特大車 27 台、大型車 118 台の構成となっている。また、同プローブデータは、以下ドットデータ、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。

b) ドットデータ

ドットデータとは、各車両・トリップの1秒ごとの走行位置や走行挙動について記されたデータのことである。具体的には、車両ID,トリップID,データ日時(年/月/日 時:分:秒),緯度,経度,走行速度などのデータが記されている。

c) ODデータ

ODデータとは、各車両に割り振られたIDとトリップごとに割り振られたID,トリップの起終点のエリア名称・エリアコード,そしてトリップの開始・終了日時(年/月/日 時:分:秒)について記されたデータを示す。同一車両が複数のトリップを持つ場合については、各トリップごとにそれぞれ表示されている。

d) SAPA利用履歴

SAPA利用履歴とは、各トリップにおいて高速道路上の休憩施設(SA,PA)を利用した場合、車両が休憩施設に流入・流出した際の日時(年/月/日 時:分:秒)と休憩施設の名称・コードについて記されたデータのことである。なお、休憩前後でトリップIDに変更はなく、同一トリップとして扱う。1トリップ中に複数回休憩施設を利用している場合、複数行で記されている。また、分析区間内外にかかわらず、トリップの開始から終了まですべての休憩施設の利用履歴が記されている。

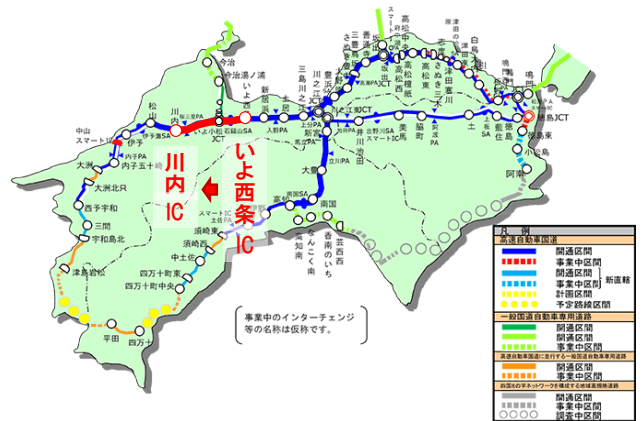


図-2 分析対象区間 (出典：NEXCO 西日本)

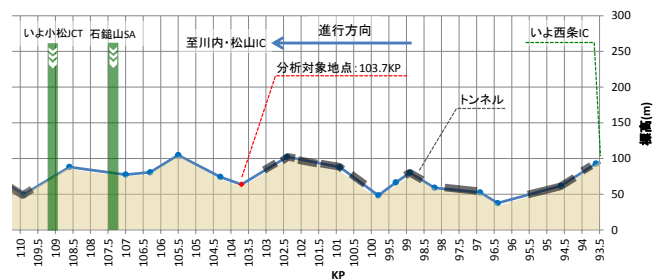


図-3 分析対象地点付近の詳細図

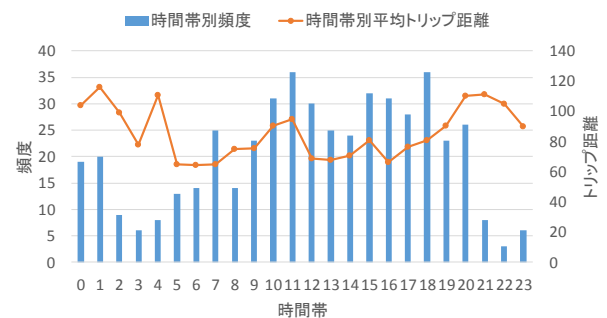


図-4 時間帯別頻度分布・時間帯別平均トリップ距離

(3) 使用データの特性について

図-4は、時間帯別の頻度分布ならびに時間帯別の平均累積のトリップ距離を示したものである。同図に示すように、本研究で使用したプローブデータについては、午前11時台、夕方18時台にかけての稼働が多い点の特徴である。さらに、同図に示すように使用したデータサンプルの時間帯別の平均トリップ距離は、昼間の時間帯と比較し、夜間から早朝にかけては平均100km程度の比較的長距離トリップである特徴をもつ。なお、ここでの時間帯およびトリップ距離は、各車両が対象道路区間に流入した時点のものであることに注意されたい。

### 5. 分析結果

大型車・特大車計490トリップに対して、減速走行距離ならびに速度低下量と連続運転時間との関係について、ピースワイズ回帰モデルを適用して、推定された結果を以下にそれぞれ示す。

#### (1) 減速走行距離と連続運転時間の関係

表-1 には、減速走行距離と連続運転時間のパラメータの推定結果を示す。なお、連続運転時間の組み合わせ毎に推定された自由度調整済み決定係数の結果の一部を表-2 に示す。さらに、図-5 には減速走行距離と連続運転時間の散布図および得られた回帰直線を示す。まず、表-2 の結果に示すように連続運転時間の第 1 変曲点が  $k_1=5000$  秒および第 2 変曲点が  $k_2=5500$  秒の組み合わせのとき、最も高い決定係数値 ( $R^2=0.080$ ) が得られた。そして、図-5 の結果に示すように、連続運転時間 5000 秒までの区間についての係数値  $\beta_1$  は、負値を示しているものの、統計的に有意な結果は得られなかった。一方、連続運転時間が 5000~5500 秒の時間については、係数値  $\beta_2$  は有意に正の傾向を示しており、連続運転時間の増大に伴う減速走行距離の増加量に有意な差異が生じることを示した。そして、5500 秒以上の区間では有意に負の係数値を示すとの結果が得られた。

表-1 減速走行距離と連続運転時間の推定結果

説明変数	係数	標準誤差	t値	P-値
切片 $\alpha$	368.87	53.39	6.908	0.000
$\beta_1$	-0.021	0.017	-1.211	0.227
$\beta_2$	0.739	0.134	5.496	0.000
$\beta_3$	-0.075	0.029	-2.626	0.009

データ数 490  
決定係数( $R^2$ ) 0.080

表-2 自由度調整済み決定係数の推定結果 (減速走行距離)

4500	5000	5500	6000	6500	7000	BP2 \ BP1
0.027	0.033	0.049	0.057	0.057	0.054	4000
	0.049	0.070	0.073	0.067	0.060	4500
		0.080	0.075	0.064	0.055	5000
			0.058	0.048	0.044	5500
				0.039	0.040	6000
					0.039	6500

※BP1: 第一変曲点, BP2: 第二変曲点

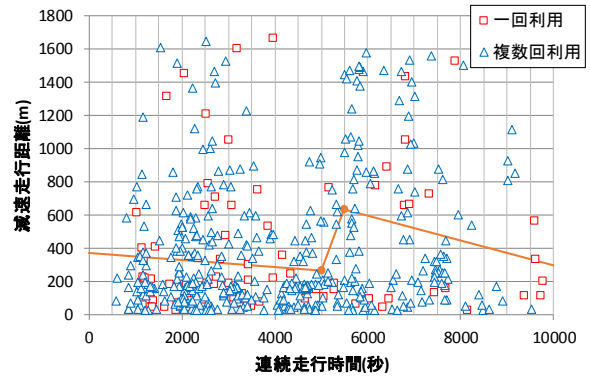


図-5 減速走行距離と連続運転時間の関係

表-3 速度低下量と連続運転時間の推定結果

説明変数	係数	標準誤差	t値	P-値
切片 $\alpha$	3.025	0.646	4.681	0.000
$\beta_1$	0.000	0.000	-0.457	0.648
$\beta_2$	0.004	0.001	4.915	0.000
$\beta_3$	-0.001	0.000	-3.411	0.001

データ数 490  
決定係数( $R^2$ ) 0.067

表-4 自由度調整済み決定係数の推定結果 (速度低下量)

4500	5000	5500	6000	6500	7000	BP2 \ BP1
0.024	0.03	0.045	0.053	0.054	0.053	4000
	0.036	0.054	0.061	0.058	0.055	4500
		0.067	0.067	0.058	0.053	5000
			0.056	0.047	0.045	5500
				0.039	0.041	6000
					0.041	6500

※BP1: 第一変曲点, BP2: 第二変曲点

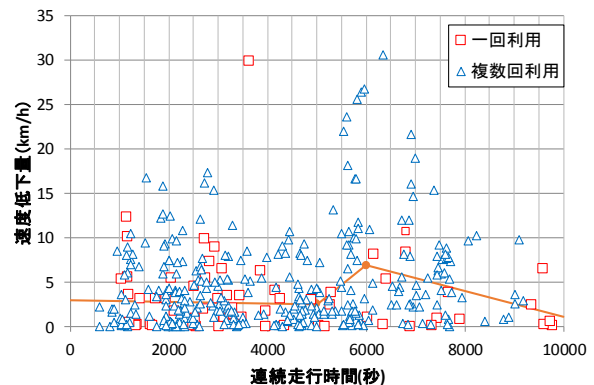


図-6 速度低下量と連続運転時間の関係

#### (2) 速度低下量と連続運転時間の推定結果

表-3 には、速度低下量と連続運転時間のパラメー

タの推定結果を示す。加えて、連続運転時間の組み合わせ毎に推定された決定係数の値の結果の一部を表-4に示す。さらに、図-6には速度低下量と連続運転時間の関係を示す散布図、得られた回帰直線をそれぞれ示す。まず、表-4に示すように第1変曲点が $k_1=5,000$ 秒および第2変曲点が $k_2=6,000$ 秒の組み合わせのとき、最も高い決定係数の値( $R^2=0.067$ )が得られた。また、図-6に示すように連続運転時間5,000秒までの区間の係数値 $\beta_1$ については0の値を示しており、統計的に有意な結果は得られなかった。一方、連続運転時間が5,000~6,000秒の時間においては、係数値 $\beta_2$ が有意に正の傾向を示しており、連続運転時間の増大に伴う速度低下の増分に有意な差が生じることを示した。そして、6,000秒以上の区間の係数値 $\beta_3$ については、有意に負の係数値を示すとの結果が得られた。

### (3) 総合的考察

まず、説明変数が減速走行距離と速度低下量との場合でモデルの適合度を比較した場合、減速走行距離に対する連続運転時間の回帰モデルの方が適合度は高いとの結果が得られた。そして、連続運転時間と各走行挙動指標との関係をピースワイズ回帰モデルを適用し求めることにより、第1変曲点の値は5,000秒および6,000秒との結果が得られた。このことから、連続運転時間が5,000秒となった時点を中心に運転できる限界ラインとし、その手前の時点が休憩をとるべき適切なタイミングであることが示唆される。

しかしながら、その一方で、図-5の連続運転時間は、5,500秒以上および図-6の6,000秒以上の各区間においては、回帰直線の傾きは有意に負値を示す結果を得た。そこで、ドライバーの走行経験が走行挙動に与える影響に着目して、図-5に利用頻度別に減速走行距離と連続運転時間の関係について比較を行った。その結果、図中の連続運転時間10,000[s]付近のプロットに着目すると、複数回利用ドライバーに比べ一回利用のドライバーは減速走行距離は小さい傾向にあることが確認できる。このことから、初めて利用するドライバーに対して、複数回利用のドライバーは複数回通行による慣れが生じていることが考えられ、これらの走行経験による違いが走行挙動に影響を与えた可

能性が示唆される。ただし、一回利用のドライバーのサンプル数は複数回利用ドライバーに比べて非常に少ないため、対象期間を拡大するなどしてさらなる分析が必要である。

## 6. おわりに

本研究では、松山自動車道下り線いよ西条IC~川内ICのサグ部を対象区間とし、連続運転時間が走行挙動に及ぼす影響の分析を行った。具体的には、ドライバーの運転パフォーマンスを評価する指標としてサグ部における減速走行距離と速度低下量の二点に着目して、連続運転時間と走行挙動との関係性についてピースワイズ回帰モデルによる解析を行った。

その結果、連続運転時間が増大するに従い運転パフォーマンスを示す減速走行距離ならびに速度低下量は増加する関係性を示した。さらに、連続運転時間が5,000~6,000秒の期間において、連続運転時間増分に対する減速走行距離および速度低下量の増分の割合が急激に大きくなることを示した。このことから、ドライバーが運転に集中できる限界時間の目安は、5,000秒程度であることが推察される。

今後の課題としては、本分析においては、高速道路上の単一の地点を対象にした集計的な分析に留まっているため、走行挙動の個人差を考慮することができていない。このため、各トリップごとに速度や加速度の変化を追跡する個人差を考慮した分析が必要であると考えられる。また、サグ部における勾配変化の認知には視認性による影響が関わっていると考えられることから、昼夜など走行時間帯の分類や、平日・休日など交通量の違い等の条件の違いを考慮した分析も必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成26年度中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について』、2015
- 2) 永田晟・津田行成：長距離運転時における尿中カテコールアミンと心電図R-R間隔の変動、自動車技術Vol.50, No7, pp.49-54, 1996.
- 3) 田口俊之・稲垣大・永井孝幸・石川浩：長時間運転時のドライバ疲労に関する考察、自動車技術会論文集Vol.28, No1, pp.77-82, 1997.
- 4) Hiroshi Warita, Atsushi Tanaka, Hidenori Goto, Shogo Umeda, Tatsuru Daimon: Analysis of Interrelationship between Traffic Conditions and Driver's Stress for Introduction of Effective ITS Measures, 19th Intelligent Transport System World Congress, ITS2012, 2012

- 5) 岩倉成志・西脇正倫・安藤章：長距離トリップに伴う運転ストレスの測定－AHS の便益計測を念頭に－，土木計画学研究・論文集 Vol.18,pp.439-444,2003 形との関係，土木計画学研究・論文集，No.524/IV-29, pp.69～78, 1995.
- 6) 大口敬：高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線 (2016.4.22 受付)

A STUDY ON THE IMPACT OF CONTINUOUS DRIVING HOURS ON VEHICLE  
RUNNING BEHAVIOR

Satoshi HYODO, Toshio YOSHII, Satoshi MASTUSHITA, Kiyohide OMIYA