

高速道路における一般ドライバーの 運転挙動特性の個人内変動と異質性

塩見 康博¹・湯浅 雅人²

¹正会員 立命館大学准教授 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

²非会員 元立命館大学 理工学部環境システム工学科 (平成28年度卒業)

高速道路における自然渋滞・交通事故などの交通現象は確率的な性質を持つ。その根源にあるのがドライバー間の運転挙動特性の異質性であると考えられる。また、異質性が高い状態では、渋滞が発生しやすくなることや事故リスクが高まる可能性がこれまでの研究により示されている。すなわち、ドライバーの生体データ等の常時観測を通して、渋滞・事故の発生リスクの高い運転挙動特性へと推移する予兆を検知することができれば、車両からドライバーへの適切な情報提供や注意喚起等により、リスクの予防が可能となる。そこで本研究では、同一ドライバー内の運転挙動特性の変動に着目し、その変動特性を明らかにし、交通渋滞・交通事故の発生リスクに及ぼす影響を定量的に把握することを最終的な目的とする。本稿では、一般ドライバーの日常的な運転挙動を計測するシステムの概要を述べるとともに、運転挙動特性の変動特性や生体データおよび主観的疲労度との相関性について分析を行う。

Key Words : driving behavior, heterogeneity, physiological data, CAN, freeway

1. はじめに

高速道路における自然渋滞・交通事故などの交通現象は確率的な性質を持つ。その根源にあるのがドライバー間の運転挙動特性の異質性¹⁾と考えられる。異質性が高い状態、言い換えると、ドライバー間の運転挙動特性のばらつきが大きい状態では、渋滞が発生しやすくなること²⁾や事故リスクが高まる^{4), 5)}ことが示されている。また、近年、高速道路各社で設置が進められている速度回復誘導灯^{4), 5), 6)}も、速度の高い車両には速度抑制を、速度の低い車両には加速誘導を行うことで、挙動特性の異質性を低減させることを意図したものと解釈できる。

これまでもドライバーによる運転挙動特性の異質性に関する研究は数多く行われている^{7), 8)}。一方で、同一ドライバーの運転挙動特性の個人内変動に関する研究は限定的である。たとえば、宇野ら⁹⁾は心身機能が低下する高齢者は運転行動の変動性は、運転への態度や行動によって補償されている、との仮説に基づき、年齢と運転行動の変動性の関係を調べている。また、兵頭ら¹⁰⁾は連続運転時間が運転挙動に影響を及ぼすことを示していること、さらにその知見を踏まえて小倉ら¹¹⁾は長時間の連続運転が事故リスクの増大に寄与することを、商用車プローブデータを用いて統計的に示している。しかしながら、連続運転による疲労が運転

挙動に影響を及ぼすのであれば、運転開始前時点での疲労の蓄積も運転挙動に影響を及ぼす可能性も否定できない。すなわち、日々の心身の状態によって、同一ドライバーであっても運転挙動特性が変動することも十分に考えられ得る。

上述のように運転挙動特性のばらつきを低減することが渋滞・事故などの事象発生抑制に寄与するのであれば、同一ドライバー内における運転挙動特性のばらつきを抑制する方策を検討することの意義は少なくない。また、ドライバーの生体データ等の常時観測により、渋滞・事故の発生リスクの高い運転挙動特性へと推移する予兆を検知することができれば、車両からドライバーへの適切な情報提供や注意喚起、あるいは運転アシストを行うことにより、リスクを予防することも可能となる。

そこで本研究では、同一ドライバー内の運転挙動特性の変動に着目し、その発生メカニズムを明らかにすると共に、交通渋滞・交通事故の発生リスクに及ぼす影響を定量的に把握することを最終的な目的とする。具体的には、まず、一般ドライバーの日常的な運転挙動を簡易に計測するためのモバイル型運転挙動計測システム (Mobile Measurement Tool for Driving Behavior, MMTDB) を開発する。これは、自動車のCANデータ、スマートフォンによる前方面像および画像処理によって得られる前方車両との車間距離・白線座標、GPSデ

ータ、さらにドライバーの生体データを時間的に同期して統合的に收拾するものである。本研究では、このモバイル型運転挙動計測システムを用いて、通勤目的で日常的に高速道路を利用するドライバーを対象に、データ収集を行う。そのデータに基づき、高速道路利用時の運転挙動特性を指標化し、その変動特性と生体データ・道路線形データなどとの相関関係を把握する。

本稿の構成は以下の通りである。まず第1章では、本研究の背景と目的、および既往の研究体系における本研究の位置づけを述べた。第2章では、本研究で開発したモバイル型運転挙動計測システムの概要と、一般ドライバーを対象とした調査の概要について述べ、第3章にて、運転挙動特性を表す指標の定義、およびその変動特性についての分析を行う。最後に、第4章で本研究の結論と今後の課題を述べる。

2. 調査概要

(1) モバイル型運転挙動計測システム

本研究では、同一のドライバーであっても運転挙動特性は運転時の状況によって変動する、という仮説に基づいている。また、それは、ランダムに変動するだけではなく、何らかの因果関係があり、個人内で運転挙動特性が変動する要因が存在する、ということを暗黙裏に仮定している。その因果モデルの仮説的構造を図-1 に示す。これは、自由走行速度・車線変更・車間距離・反応時間などの指標により定量化される運転挙動特性が、道路構造・交通状態・心身状態によって影響を受けること、また、それぞれは外部的に観測される指標によって規定されることを示している。

モバイル型運転挙動計測システム (MMTDB) では、この因果構造の内、外部観測可能なデータの内、自車両に関わる項目を統合的に收拾するものである。具体的な MMTDB の構成要素を図-2 に示す。これは、自車の状況として CAN データロガー、前方状況としてスマートフォンカメラ、ドライバーの生体データとしてウェアラブル端末を用いて計測し、これらのデータを Bluetooth 通信によって結合・同期することで、統合的なデータ収集を可能とするものである。なお、生体データとしては、心拍数や自律神経活動、血圧など種々あるが、本研究では Apple 社製の Apple watch を用いて心拍数を計測した。これは、一般ドライバーの日常的な運転挙動を計測するため、装置の着脱が用意であり、かつ、汎用的な装置であることが必要条件となるためである。また、MMTDB のプラットフォームとして iPhone を用いることで、データの同期・統合化が容易

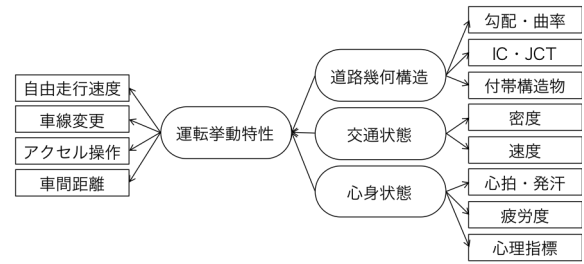


図-1 運転挙動特性に関わる因果仮説



図-2 モバイル型運転挙動計測システムの構成要素

に可能となる点も利点として上げられる。MMTDB により收拾されるデータを表-1 にまとめる。

なお、MMTDB ではトリップの開始前・終了後にスマートフォンを用いたアンケート調査を実施することができる。本調査では、トリップ前日の就寝時刻、トリップ当日の起床時刻、トリップの目標到着時刻、トリップ時の体調 (体調がすぐれない、から体調がよいまでの 5 段階)、トリップ後の活動のイメージ (人間の感情を表すヴントの 3 方向モデル¹²⁾に基づき、快・不快、緊張・弛緩、興奮・沈静について、それぞれ 5 段階を設定)、運転終了後の疲労度 (全く疲労しなかった、からとても疲労したまでの 5 段階)、同乗者の有無に関する問いを設定した。

(2) 調査の実施

本調査では、運転環境を被験者によらず均一とし、ドライバーによる差異を明確化することを意図するため、アクセスコントロールのされた高速道路を調査対象とした。また、日常的な移動における運転挙動を計測し、その特性の日々の変動を定量化することを目的とするため、通勤などの目的で普段から自動車を利用するドライバーを調査対象者とする。

そこで、立命館大学びわこくさつキャンパスに自動車通勤する職員の内、名神高速道路の京東 IC~草津田上 IC 間 (約 12.6km) を日常的に利用するものを調査対象として募集した。その上で、各被験者の自家

表-1 収集データ項目

収集元	データ項目	備考
スマートフォン (1 秒間隔)	(a)時刻	(b)に基づく (d)の画像処理に基づく
	(b)緯度・経度	
	(c)速度 [m/s]	
	(d)前方白黒画像	
	(e)車間距離	
	(f)車線境界線 (白線)座標	
走行前後アンケート	(a) 前日就寝時刻	スマートフォンアプリによる入力
	(b) 当日起床時刻	
	(c) 目標到着時刻	
	(d) トリップ前体調	
	(e) トリップ後の疲労度	
	(g) トリップ後の活動のイメージ	
	(h) 同乗者の有無	
	CAN データロガー (1 秒間隔)	
(b) エンジン回転数 [rpm]		
(c) スロットル開度 [%]		
Apple watch (5 秒間隔)	(a) 心拍数 [bpm]	

表-2 収集データの概要

被験者 ID	性別	年齢	運転歴 (年)	有効データ数	
				上り	下り
1	男	30代	9	3	6
2	男	50代	35	3	3
3	男	30代	5	5	2
4	女	30代	12	15	12
5	男	40代	24	10	4
6	男	40代	19	13	11

用車両に MMTDB を設置し、2016 年 10 月～12 月にかけて、それぞれ 1 ヶ月間継続してデータを収集することとした。

その結果、6 名の被験者を対象にデータ収集調査を実施した。被験者属性の概要、および取得データの内、分析に利用可能なデータ数 (有効データ数) を表-2 に整理する。

(3) データクレンジング

MMTDB では、スマートフォンアプリ内で画像処理を行うことにより、前方車両との車間距離、および白線座標位置を抽出する。しかしながら、画角や前方車両の形状によっては、画像処理を適切に行うことができず、エラーとなるケースがある。そこで、収集された白黒画像データに基づき、マニュアルで前方車両存在位置 (前方車両が存在しない場合には、視程)、および自車両のフロントガラス部分における両側の車線境界線 (以降、白線とする) 座標を取得した。具体の収集座標点の例を図-3 に示す。

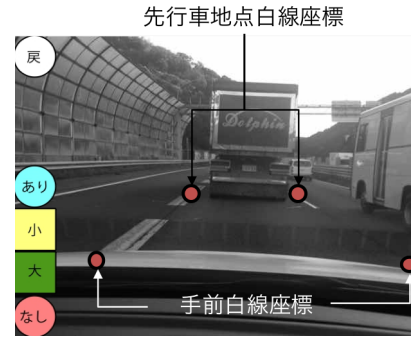


図-3 取得画像と座標位置の例

次に、取得した各座標データを用いて、前方車両との車間距離を補完的に推定した。具体的には、前方車両との車間距離が大きいほど、前方車両存在位置の白線座標間距離が小さくなる関係があることを利用し、アプリ上で推計された車間距離とその際の座標間距離との関係式を推計し、その推計式を用いて簡易的に、アプリで計測エラーとなった際の車間距離値を補完した。

また、スマートフォンから得られた緯度経度情報を用い、高速道路上のキロポストへと変換し、時刻同期されたデータをキロポストベースで整理し、道路構造データと統合した。図-4 に取得データの例として、被験者 6 の往路時のデータを示す。

3. 運転挙動の変動特性

本章では、運転挙動特性の個人内・個人間の変動を概括する。まず、取得されたデータに基づき、運転挙動特性の指標を定義し、対象区間を 2km 毎のサブ区間 (草津 JCT より京都東 IC 方面に向かって、区間 1, 2, …, 6 と表記する) に分割し、それぞれにおける平均値の個人内・個人間の変動特性を分析する。また、指標間の相関性についても分析を行う。

(1) 運転挙動特性指標の定義

運転挙動特性を表す指標として、本研究では以下の 4 つの指標を用いる。

a) アクセル踏み込み時のスロットル開度の時間差分
 アクセル操作は自動車運転時の基本的な挙動である。そこで、スロットル開度の時間差分に着目し、加速時の運転操作特性を示す指標として用いる。

b) 追従時車間時間

前方車両に追従走行している際の走行速度と車間距離は運転挙動特性を表す重要な指標となる。ここで、速度が高くなると車間距離が大きくなるという自明な関係性を排除するため、車間時間を指標として用いる。

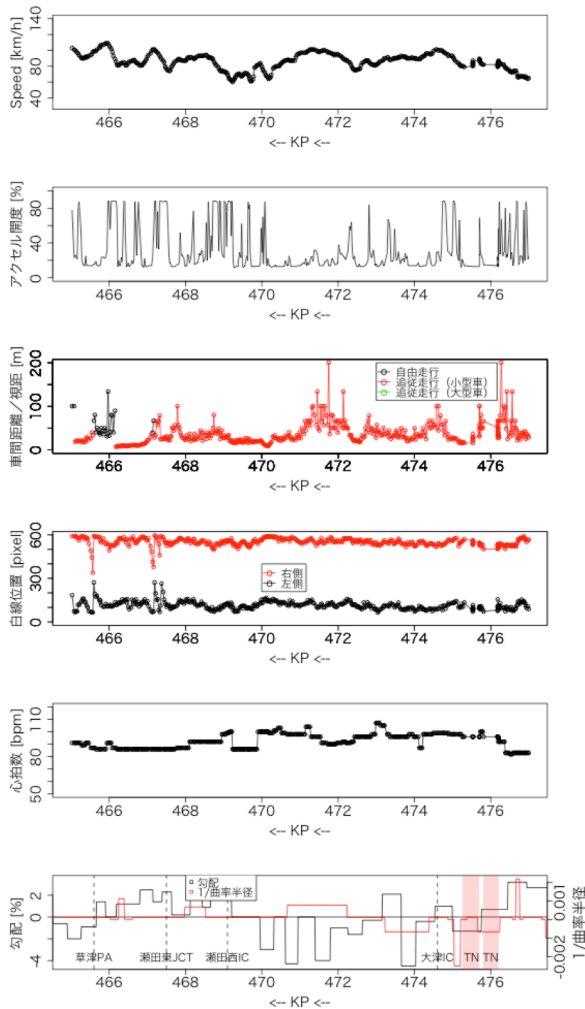


図-4 取得データの例 (被験者 6, 10月 7日往路)

車間時間は小さすぎると追突リスクが高い状態を表し、大きすぎる場合には前方車両への追従性が低く、交通容量上効率の悪い状態を表していると解釈できる。

c) 車線変更回数

車線変更には速度回復・走行環境改善のための自発的な動機によるものと、IC からの合流・分岐のための強制的な動機によるものとに分類される。本調査では、同一の区間を対象にデータ収集を行っているため、後者の動機に基づき車線変更回数は固定されており、日々の変動があるとすれば、前者の動機によるものとなる。これは、交通状況に依存するものであるものの、日々の運転行動の変動を表す指標になると考えられる。

なお、車線変更の実施の有無は、白線座標の変動に基づいて判別する。すなわち、図-4 中の白線座標の変動図に示すとおり、車線変更時には、左右の白線座標が大きく変動することに基づき、車線変更の実施の有無を判別する。

d) 自由走行速度

本調査では継続的に車間距離と走行速度のデータが取得できている。車間距離は逆数をとることで密度と

解釈することができることより、速度-密度 (=1/車間距離) 関係を得ることにより、個別車両毎の Fundamental Diagram を推定することができる。ここでは、下式に示す Drake 式を用い、自由走行速度パラメータ v_f を最小自乗法により推定し、運転挙動特性を表す指標として用いる。

$$v = v_f \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{k}{k_c} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ただし、 v は走行速度、 k は密度、 k_c は臨界密度をそれぞれ表す。なお、臨界密度 k_c も運転挙動特性を表す指標となりうるが、必ずしも自由流状態と渋滞流状態での走行データが観測されている訳ではなく、適切に推定することができないため、本研究では指標としては用いないこととした。

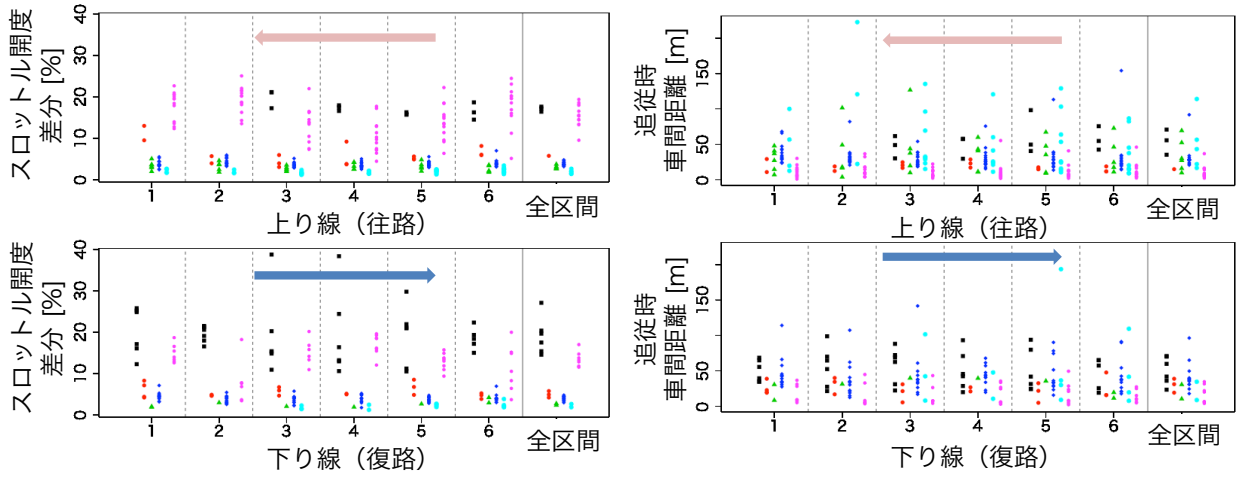
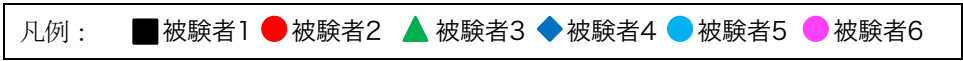
(2) 区間毎の運転挙動特性の変動状況

前節で述べた指標に関して、被験者毎にトリップ・区間別の指標値を導出した。それぞれについて、図-5 に示す。なお、図-5 中には、それぞれ対応する走行時の心拍数についても同様にトリップ・区間別に平均値も併せて記している。図中、1つのプロットは、当該被験者があるトリップにおいて、当該区間を走行した際の指標値の平均値を表す。すなわち、同一の被験者に対して、特定の区間での値にばらつきがある場合、トリップによって指標値が大きく分散していることを示している。

まず、アクセルスロットル開度に注目すると、明確な個人差が存在し、被験者 1、被験者 6 は比較的大きい値をとっていることがわかる。また、被験者 1 では、往路と復路で分布幅が大きく異なることも読み取れる。往路と復路で必ずしも交通状況が同一とは限らないものの、朝のトリップと夕方のトリップでは運転の特性が大きく変化している可能性が示唆され、通勤時は安定した運転をしている様子が見える。

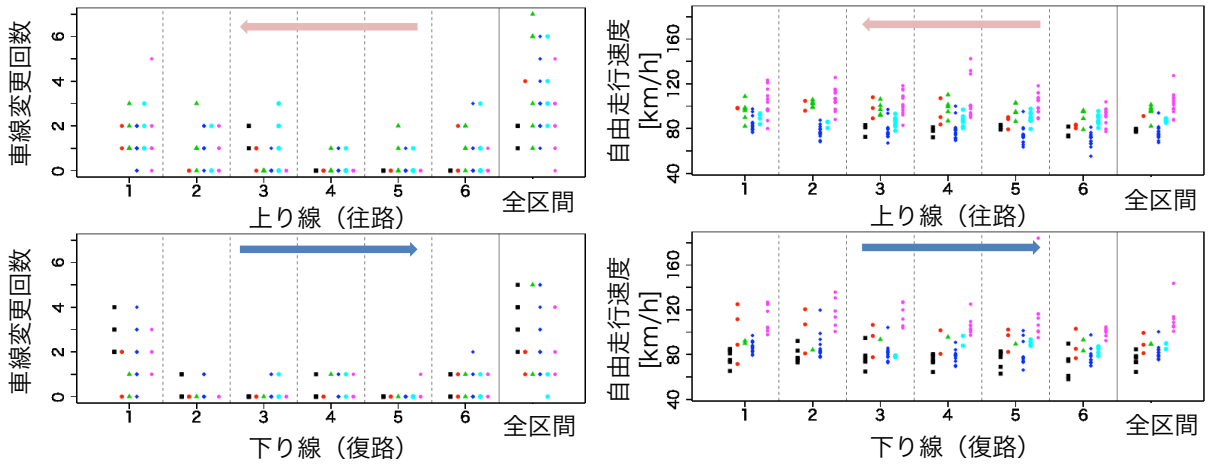
続いて、追従時の車間時間を見ると、被験者 5 の往路で大きくばらついており、とりわけ区間による差異が大きいためわかる。また、被験者 5 は往路にて、被験者 1 と 4 は復路にて、全体的に大きい値をとることが多く、緩慢な追従状態にある可能性が指摘される。なお、往路・復路による差異は、被験者 5 以外では必ずしも明確ではない。また、スロットル開度の時間差分が大きい値をとっていた被験者 6 は全体的に分散幅が小さく、前方車両との車間距離の変化に対して、適切かつ俊敏に速度調整をしていることがうかがえる。

車線変更回数は被験者によらず日々の変動が大きい。また、自明なことではあるものの、単路区間に比べて、区間 1、6 といった JCT 部、IC 部で車線変更回数が多く、強制的な動機による車線変更が行われていること



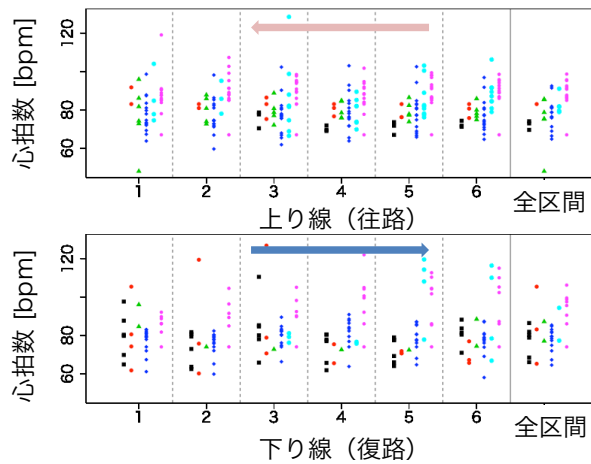
(a) アクセルスロットル開度の時間差分

(b) 追従時車間時間



(c) 車線変更回数

(d) 自由走行速度



(e) 心拍数

図-5 運転挙動特性の変動状況

表-3 相関係数

相関係数行列	心拍数	体調	楽しさ- 不快	興奮- 落ち着き	緊張- 弛緩	同乗者	運転後の 疲労
アクセル開度差分	0.339*	-0.210**	-0.175	0.464*	0.479*	0.250*	-0.056
追従時車間時間	-0.222**	0.422*	-0.279*	0.147	0.022	-0.035	-0.191
車線変更回数	-0.120	0.135	0.065	-0.0250	-0.020	-0.164	-0.109
自由走行速度 パラメーター	0.486*	-0.612*	0.204	-0.204	-0.0836	0.361*	0.543*
心拍数	—	-0.470*	0.158	-0.183	-0.171	0.239**	0.429*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.10$

がわかる。なお、往路と復路を比較すると、往路の方が単路区間（区間2～5に相当）での車線変更回数が被験者によらず多い。これは、往路と復路で比較する全体的に往路の速度の方が低く、高密な走行状況である一方、就業時間に対する遅着ペナルティがあるため、なるべく早く目的地に到着したい、というモチベーションが存在するため、車線変更回数が復路との比較で多い可能性がある。

最後に、自由走行速度に着目すると、被験者毎の全区間での平均値は概ね往路と復路とは変わらないこと、とりわけ、被験者4では往路と復路の差が極めてすくない、といった特徴が見いだせる。一方で、被験者1は往路に比べて復路の方が大きくばらつく傾向にあることが確認でき、被験者2も同様の傾向を示している。これは、往路は業務トリップに限定されている一方、復路は帰宅トリップの場合と自由トリップの場合が混在しており、その後のアクティビティの多様化が運転特性の多様化にも寄与している可能性が指摘される。

なお、心拍数も日々の変動は顕著であり、特に復路で変動幅が大きくなる傾向にあることがうかがえる。また、往路では区間1で、復路では区間5および6で変動幅が大きく、分合流を含み、運転に注意を要する場合に、心拍数の変動として反映された可能性がある。

(3) 心拍・主観的データと運転挙動特性の相関性

前節で述べた指標に関して、心拍データ、および疲労度やトリップ目的に関するイメージなどとの相関性を把握する。表-3に各指標の全区間に対する代表値とアンケート結果との相関係数を整理する。

心拍数と運転挙動特性指標との関係性に着目すると、車線変更以外については有意な相関性が見られることが分かる。すなわち、アクセルスロットル開度の時間差分が大きいとき、あるいは追従時の車間時間が小さいとき、自由走行速度が高いときに、心拍数が増加する傾向にあることが分かる。因果の方向性は明確ではないが、心拍数と主観的な体調、および運転後の疲労

度に関して有意な相関性が得られていることより、心拍数や疲労度のモニタリングを通して、運転挙動特性の変化を検知できる可能性があることが示唆される。

5. おわりに

本稿では、運転挙動特性の個人内、および個人間での変動に着目し、MMTDBを用いたデータ収集を行い、運転挙動特性指標の変動状況を把握した。また、生体データや主観的な体調・疲労度との相関性を分析した結果、心拍数と体調、疲労度の間には有意な相関があること、また、心拍数とアクセルスロットル開度の時間差分、車間時間、自由走行速度との間に有意な相関があることを確認した。

今後は、運転挙動特性指標が変動するメカニズムをモデル化すると共に、その変動が交通渋滞、あるいは交通事故の発生に及ぼす影響について、定量化していく予定である。

謝辞

本研究は平成27年度高速道路調査会研究助成、およびJSPS科研費JP16H04433の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Ossen, S. and Hoogendoorn, S.P.: Heterogeneity in car-following behavior: Theory and empirics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19, Issue 2, pp. 182-195, 2011.
- 2) Shiomi, Y., Yoshii, T. and Kitamura, R.: Platoon-Based Traffic Flow Model for Estimating Breakdown Probability at Single-Lane Expressway Bottlenecks. *Transportation Research Part B* 45(9), pp.1314-1330, 2011.
- 3) Tu, H., Tamminga, G, Pel, A. J., and Drolenga, H.: Sensitivity analysis on heterogeneity of driving behavior for evacuation studies and its impacts on traffic safety. *The 13th International*

- IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2010. Madeira, Portugal.
- 4) 亀岡弘之, 小根山裕之, 渡部義之, 櫻井光昭: 走光性を活用した路側発光体の動的点滅制御による渋滞発生緩和の効果検証, 第 48 回土木計画学研究発表会・講演集, 2013.
 - 5) 遠藤元一, 中川浩, 深瀬正之, 橋本弾: 東京湾アクアライン渋滞対策について, 第 34 回交通工学研究発表論文集, pp.255-261, 2014.
 - 6) 増本裕幸, 飛ヶ谷明人, 兒玉崇, 北澤俊彦, 鈴木健太郎: 阪神高速道路における走行型視線誘導システムの運用と発現効果の体系化について, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, No.16-02, 2017.
 - 7) 今田寛典: ドライバーの交通状況の変化に対する情報認知と運転行動に関する調査分析, 社会情報学研究, Vol.4, p.19-33, 1998.
 - 8) 横山大作, 伊藤正彦, 豊田正史: ドライブレコーダーデータを利用した運転者ごとの挙動傾向把握の試み, DEIM Forum, D2-3, 2015.
 - 9) 宇野宏, 江上嘉典, 藤田和男: ドライバの年齢と通常状況における運転行動の変動制, JARI Research Journal, pp. 1-4, 2016.
 - 10) 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, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
 - 11) 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, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, 2017.
 - 12) 独立行政法人 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門編: 人間計測ハンドブック, 朝倉書店, 2013.
- (2017. **. ** 受付)

INTERPERSONAL AND INTRAPERSONAL VARIATION OF DRIVING BEHAVIOR ON FREEWAYS

Yasuhiro SHIOMI and Masato YUASA