

長時間運転時の人間の疲労評価に関する研究

日大生産工 ○星野 隆允 (院) 日大生産工 景山 一郎

1. はじめに

自動車は人の移動や物資輸送に必要な不可欠な物となっているが、普及に伴い交通事故の発生が問題となる。我が国における交通事故発生状況や事故死者数は 2003 年を境に減少傾向となっている¹⁾。この要因として自動車の安全性向上や安全な交通維持のための法整備、救急医療体制の整備、規制緩和といった取り組みによるものであると考えられる。また、保有台数あたりの事故件数や走行キロ当たりの事故件数は 1980 年以降増減が少ない事からも、前述した自動車の安全性向上や法整備等の効果である事を示唆している。しかし、交通事故発生件数、死者数の絶対数は 2015 年時点で依然として高い水準で推移しており、その中でも高速道路での死亡事故率は一般道路の 2.7 倍となっている²⁾。そこで現在では研究開発の分野で、先進技術 (ASV) によるドライバの支援や監視をする事で交通事故の未然防止を行うシステムの開発が注目されている。この事から、交通事故発生を抑制する為には交通事故発生を未然に防止するシステムの構築が必要であると考えられる。ここで、交通事故発生要因は環境的要因、車両的要因、人的要因であるとされている。その中でも脇見運転や漫然運転といった人的要因がその多くを占めている¹⁾とされ、原因として車両運転時の疲労増加による知覚、認知、判断、操作といった運転行動パフォーマンス低下が挙げられる³⁾。現状では疲労による交通事故対策として運転時間の管理等が行われている⁴⁾が、個人によって負担の感じ方が異なる事から抜本的な対策となっていない。そこで、運転疲労による事故を未然に防止する為にはドライバの疲労状態をリアルタイムに把握する事が有効であると考えられる。現在ドライバの疲労状態を評価する研究の多くは、生体指標やアンケートを用いて行うものであり、これらの指標からドライバの状態をある程度表現可能である。しかしこれらの生体情報及びアンケートと言った生体情報は個人差、個人内差の影響が大きい事や、初期値からの変動を見るといった定性的な判断のみである事、リアルタイムでのドライバ状態把握が困難であるといった問題点が挙げられる。この事から定量的かつリアルタイムでドラ

イバの疲労状態を把握する指標の構築が必要であると考えられる。以上の事から本研究では制御工学的観点から疲労の評価を行う事に着目し、車両情報を用いてドライバの運転行動を表現するドライバモデルを構築し、モデル内の各制御パラメータからドライバの疲労状態を定量的かつ、リアルタイムで運転状態を評価する手法の確立を目的とする。

本報告では生体情報からドライバ状態を明らかにし、ドライバモデルを用いて運転行動からドライバ状態の評価について検討を行う。

2. 運転疲労実験

2.1 実験条件の検討

実車実験を行うにあたり疲労による運転者の運転特性変化が重要項目である。そこで、一般的な事前調査項目として性別や年齢、運転歴といったものが挙げられるが、運転に対する負担意識や運転意識は人それぞれ異なり、負担の感じ方は異なると考えられる事から、一般的な調査項目の他に、運転に取り組む際の態度や思考、及び運転に対する負担の中でどこに負担を感じるのかといった項目について運転スタイルチェックシート (DSQ) 及び運転負担感受性チェックシート (WSQ) を用いて調査を行う。走行条件は東関東自動車道路 (潮来 IC から千葉北 IC) において、1 往復走行あたり 115km、約 1 時間 30 分程度の走行を計 4 回実施した。また、計測区間は潮来 IC から順に D', D, E, F 区間を走行後、千葉北 IC にて折り返し A, B, C, C' の順で計 8 区間を設け測定を行った。また 1 往復走行毎に休憩を行い、休憩中は生体情報計測及びアンケートの調査を行う。休憩時間は 15 分を上限とし、時間による回復のばらつきを抑えると共に、カフェインやニコチン等の覚醒物質の摂取を禁止する。食事は朝、昼の 2 回行い食事内容はおにぎり 2 つと水を摂取させ、水に関しては休憩中でも摂取を許可する。実験参加者への教示内容は、周りの道路環境に合わせて法定速度 100km/h 程度で走るように伝え、普段通りの運転を心がけるよう指示を行う。実験回数は終末効果の影響が考えられる為伝えない。また本実験は日本大学生産工学部「人

Study on Evaluation of Driver's Fatigue for Long-distance Driving

Takanobu HOSHINO, Ichiro KAGEYAMA

を対象とする研究倫理審査委員会」認証番号：S2014-002-2を取得している。

2.2 計測項目の検討

車両計測項目は前方と横方向に対する運転行動変化を評価する。生体情報計測は中枢性疲労と末梢性疲労から計測項目を設定し、対象として慢性的な疲労ではなく亜急性疲労までの一過性のもについて評価する。今回検討を行った運転疲労実験での計測項目を表1に示す。

Table 1 Measurement items

	Measurement items
Vehicle	Velocity of Forward, Velocity of Lateral, XYZ accelerations, XYZ angular velocity, angle Steer angle, Steer torque, Vehicle position, Video(Front and Lateral)
Biologicals	Flicker, Static vision, Night vision, Muscle hardness
Questionnaire	Driver information, DSQ, WSQ, Jikaku-sho shirabe, investigation of fatigue

2.3 実験方法

実験は20代男性9名に対して行われた。解析はデータ収録の問題から7名に関して行う。実験に先立ち実験内容を書面にて説明の上参加者の同意を得る。実験開始前に体調等に関する質問に回答してもらい、心電や呼吸を計測する為に電極及び動歪計を実験参加者に装着し、作業前の初期値としてフリッカー、筋硬度、静視力、夜間動体視力を測定する。測定終了後、実験参加者と最終確認を取り、操舵力、操舵角計、非接触型2軸速度計(S-200)及び慣性ジャイロ(NAV440, RT3100), RTK-GPS(Trimble), CCDカメラ(DEWE-CAM)設置した車両を用いてサンプリング周波数100Hzにて走行実験を開始する。潮来ICから千葉北ICを経由し往復走行を行った後、開始地点と同じ場所に戻ってきてもらい、直ちに生体計測を行う。生体計測の順番は到着直後にフリッカー測定を行い、次いで筋硬度、静視力、夜間動体視力の順番で測定を行う。測定終了後に各質問紙に回答してもらい回答終了後に15分を上限とした休憩が終了するまで待機して貰う。また、休憩中にデータの抜出や計測器のチェック等を済まし、休憩時間内に次の測定が行えるように準備し、休憩時間を厳守した。これを合計4回繰り返した。

2.4 評価方法

(1) 生体情報

主観的疲労評価では質問紙によって得られた回答結果を用いて結果をまとめる。DSQ, WSQは石橋ら⁹⁾による評価方法を用い、各尺度に属する2つの質問の素点を平均化し、各実験参加者の走行毎における尺度点とする。自覚症調べ⁶⁾は産業疲労研究会による評価方法を用い、各質問をねむけ感、不安定感、不安感、だるさ感、ぼやけ感といった5つの群に分類し、5点満点で得点化する。すべての群が5点満点である場合を100%として走行毎の疲労率を評価する。身体疲労部位調査は走行毎にチェックされた疲労部位を用いて、チェック数の増分や部位について評価する。NASA-TLXは評価値が小さい順に重みづけを行い平均化する事で得られるAWWLを用いて、各実験参加者の走行毎における尺度点として評価する。

(2) 運転行動によるドライバ状態の評価

運転行動によるドライバ状態の評価ではドライバの入力である操舵角について検討を行う。

まず初めに運転行動として考えられるものは前方の道路形状から最適な操舵角を予測して滑らかな運転行動を行うものと、目標コースと自車の偏差を判断し、目標コースに追従を行う為に最適な操舵角を決定するものといった2つの運転行動が考えられる。本研究では前者の運転行動をフィードフォワード制御、後者をフィードバック制御として取り扱う。本報告では第1段階として目標とするコースと自車の偏差を知覚・認知・判断・操作を行うフィードバック制御について着目しその制御パラメータより検討を行う。

3 生体情報によるドライバ状態の確認

本節では主観評価の結果から実験におけるドライバ状態を確認する。まず初めに全実験参加者の生体情報の結果を生体情報毎に平均値を求め、疲労側を正とした結果と平均値を除する事で無次元化を行った結果により走行回数増加によるドライバ状態の変化について確認を行った。図1に走行回数と疲労の推移を可視化した結果を示す。結果より7人中6人の実験参加者において走行回数増加と共に各パラメータにおいて疲労の増加が見られた。このことから、実験によって実験参加者に負担を与え疲労を感じている事を示した。

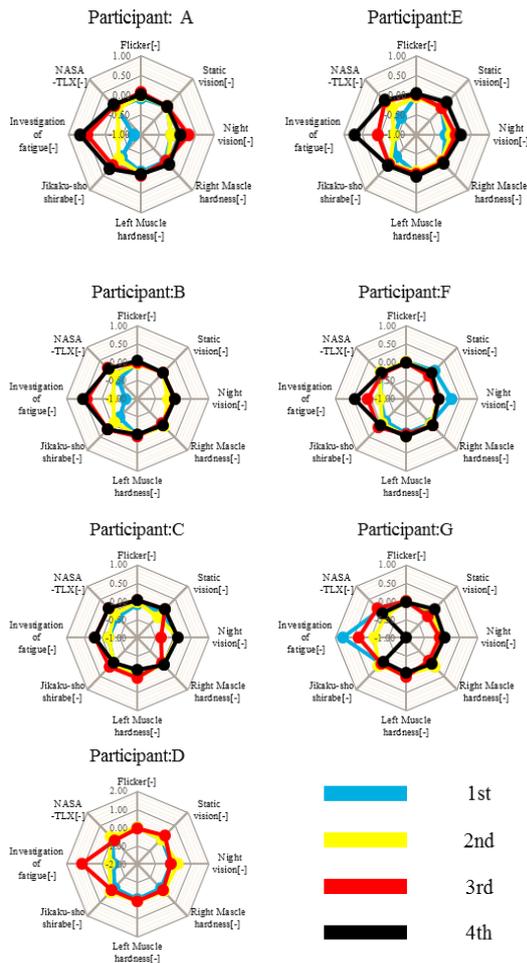


Fig.1 Fatigue results

4. 運転行動によるドライバ状態の検討

前節より生体情報の結果から走行回数増加と共に疲労が増加傾向である事を示した。この事から本章では運転行動からドライバ状態を表現する。ここで、運転行動からドライバ状態の推定を行う為にはドライバ特性の変化を捉えることが重要である。この事からドライバモデルを用いてドライバ特性の変化を可視化し、ドライバ状態と生体情報との結果を同定する。

4.1 ドライバモデルの決定

ドライバ特性を捉える為にドライバの運転行動を表現するドライバモデルを模索する。

検討方法は取得した運転行動とドライバモデルにより算出した運転行動との決定係数を求める事により、モデルの妥当性を検討する。目的変数は操舵角のフィードバック制御に着目し検討を行う。

フィードバック成分の操舵角の算出方法は文献値に⁷⁾よりフィードフォワード制御成分 (0.1Hz から 0.2Hz) , フィードバック制御成分 (0.2Hz-5Hz) に分類する事で算出する。分類方法は移動平均法を用いてローパスフィル

タを行い、フィルタ処理後の結果を差分する事でバンドパスフィルタを算出し各運転行動を制御成分ごとに分類した。次に分類後のフィードバック制御成分の操舵角をモデルの目的変数として、操舵角を表現する説明変数の偏回帰係数を重回帰分析により決定する。今回の検討で用いるドライバモデルの説明変数は、車両進行方向を中立位置としてヨー角を補正した相対ヨー角 θ_R と道路中立位置と車両の相対横位置 Y_R とした。ヨー角の補方法は前方向速度 V_x と横方向速度 V_y を用いて車両の横滑り角 β を(1)式により算出する。

$$\beta(rad) = \tan^{-1}\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \quad \dots (1)$$

次に、横滑り角 β と北方向を 0 としたヨー角を加算する事によって(2)式により相対ヨー角 θ_R を算出した。

$$\theta_R(rad) = Yawangle(rad) + \beta(rad) \quad \dots (2)$$

また、相対横位置の算出方法は横方向速度を積分し車両の横方向位置を求め、解析区間内で横方向位置を平均化し、横方向位置と横方向の平均値を減算する事で相対横位置を算出した。

$$Y_R = \int V_y + \bar{Y}_R$$

これらの変数を比例値 P, 微分値 I, 積分値 D に分類し、目的変数を表現する。この事から本報告で取り扱うパラメータは目的変数をフィードバック成分の操舵角とし、説明変数を相対横位置比例項 PY, 積分項 IY, 微分項 DY, 相対ヨー角比例項 PYAW, 積分項 IYAW, 微分項 DYAW とする。また、目的変数をずらし、目的変数と 6 変数について重相関係数を算出し、最も高相関となる点を操作遅れ時間として解析し計 7 変数の検討を行った。各実験参加者の操舵角とドライバモデルによって表現した操舵角との決定係数を図 2 に示す。

結果より、ドライバモデルは今回の実験で得られた操舵角の結果を最低でも決定係数 0.563 を示しており、中程度の相関が認められる。よって今回検討したドライバモデルを用いて疲労状態の評価について検討を行う。

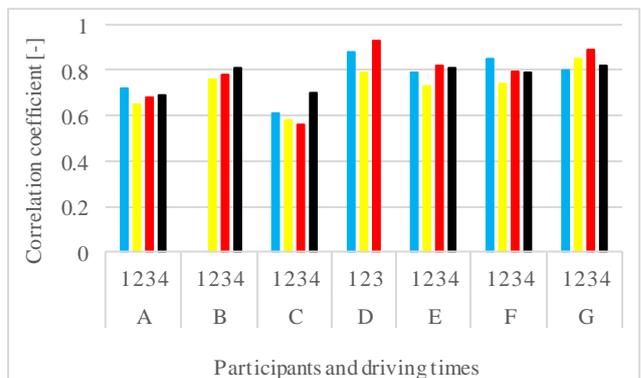


Fig.2 Driver model results Correlation coefficient

4.2 疲労評価モデル構築に向けた疲労評価の検討

本節ではモデル構築に向けて疲労評価を行う上で押さえておくべき項目について検討を行う。ここで、図2に示すドライバモデル内の決定係数について着目すると同様の解析を行っているにもかかわらず、各ドライバ間で大きく差が見られることが解る。このことから、実験により同様の負荷を与え疲労させても運転特性への影響が各ドライバで異なると考えられる。よってモデル内の各パラメータについて変動係数を用い、運転特性の変化の仕方について解析した。結果を図3に示す。図に示すように往路復路で走行回数毎に比較すると変動係数が殆ど変化しない者と、変動係数が減少する者に分かれた。このことから疲労を感じていても運転特性を変化させる頻度を変えない者（Group1）と減少させる者（Group2）が存在する事を確認した。よってこれらの群における特性の違いについて検討する。本報告ではドライバの個人特性について着目し検討を行った。結果を表2に示す。先に述べた Group1 と Group2 について事前調査を行った運転特性について結果を記述すると運転への消極性（negativity）において運転特性の更新頻度を減少させる者は平均値よりも高い傾向にある事を確認した。このことからn増しを行いより多くのドライバについて検討する必要があるが、個人特性によってドライバの疲労による特性変化の傾向が異なる可能性を明らかにした。このことから、運転行動による疲労評価には個人特性を複合的に考慮した形で評価を行う必要がある事を示唆した。

5. 結言

本研究ではドライバモデルを用いて運転行動からドライバの状態把握を行う事を目的とし以下の結論を得た。

1. 生体情報を走行回数毎に比較した結果、7人中6人の実験参加者に疲労の増加傾向が見られた。
2. ドライバモデルより長時間運転時の運転行動を模擬した結果、決定係数 0.563 から 0.890 の中程度の相関から高相関が得られた。
3. ドライバモデル内の各パラメータについて変動係数を用いて解析した結果、往路と復路で運転頻度を変えない者と減少させる者に分かれた。
4. 個人特性と運転特性について検討した結果、運転行動による疲労評価には個人特性を複合的に考慮する必要がある事を示唆した。

今後の課題として、個人特性からドライバを群別し、同様の特徴を持ったドライバの群について疲労による運転特性変化がどのパラメータに現れるのかを明確にする。これによりドライバの特徴を考慮した形でのリアルタイム疲労評価に繋げていく必要がある。

「参考文献」

- (1) 警察庁交通局、平成26年度中の交通事故発生状況 P.1,P2.P.32 (2015)
- (2) 共生社会政策統括官：平成26年交通安全白書 第1章第2節 (2014)
- (3) 財団法人 交通事故総合分析センター、走行レーン逸脱防止装置の効果推定のための基礎調査平成19年度報告
- (4) 国土交通省 自動車総合安全情報
URL:<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03safety/personnelmanagement.html>
- (5) 石橋基範, 大桑政幸, 岩崎あゆ子, 赤松幹之：一般ドライバーを対象とした自動車運転疲労の構成要因調査, 人間工学, Vol.37, 特別号, 266~267, (2001)
- (6) 酒井一博. 日本産業衛生学会産業疲労研究会 撰「自覚症しらべ」の改訂作業2002. 労働の科学 57: 295-298.(2002)
- (7) 磯村ほか, ドライバのハンドル操作におけるヒューマンファクタ, 自動車技術会論文集, Vol 27, No.1(1996)

Table 2 DSQ and Variation of index results

Driving style questionnaire items	Variation of index								Ave.
	Little changed			Decreased					
	A	B	G	C	D	E	F		
Skill	3	2.5	2.5	2.5	3.5	1.5	3	2.78	
negativity	2	1	1.5	2.5	2.5	1	3	2.12	
impatient	1.5	2	2.5	2	2.5	2	2.5	2.22	
punctual	3	3.5	3.5	3	3	4	2.5	3.03	
Preliminary	1.5	3	3.5	4	1.5	3	2	2.67	
symbol	3	4	3	3	3.5	2.5	2.5	2.42	
unstable	1.5	1.5	2	2	1.5	2	1.5	1.95	
worry	4	2	3	2	1.5	4	3.5	2.42	
False discovery	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3.5	2	2.24	

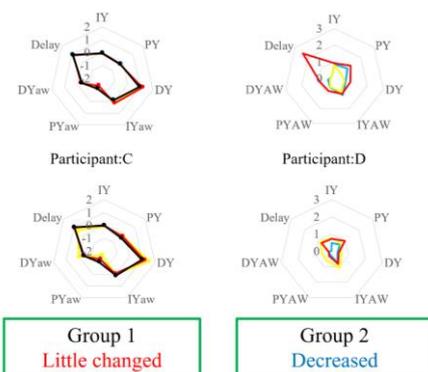


Fig.3 Driving characteristics by the coefficient of variation