心拍による長距離運転時の疲労評価および推定・制御の可能性

杉江 亮輔^a 荒川 俊也^b 小塚 一宏^b

^a愛知工科大学大学院 ^b愛知工科大学

1. 緒言

我が国では年々、高速自動車国道距離の延長等、道路の整備が着実に進んでいる。それに伴い、長距離運転をする環境が増えているといえる。交通事故で最も多い原因は漫然状態での運転であるが、本研究では長距離運転等による疲労・過労状態での運転について着目している。なぜならば、この疲労・過労状態が要因となる交通事故が大きな被害をもたらすケースが多いからである。事例として、平成 24 年 4 月に関越自動車道高速バス居眠り事故のように大きな被害が発生している。また、平成 26 年 3 月にも富山県、北陸道小矢部川サービスエリアで夜行バスが大型トラックに衝突する事故が起き、計 2 名が死亡している。このように、大型車の長距離運転が原因による大事故が後を絶たない。このような大事故をゼロ化するためには、長距離運転手の過労・疲労運転を検知、推定する手法の確立が求められる。そこで、本研究では、長距離運転時の過労・疲労に起因した重大事故を減少させることを目的として、長距離運転によるドライバの疲労を心拍の観点から評価し、ドライバの疲労状態の推定可能性を検討する。

2. 実験

2.1 実験環境

ドライビングシミュレータ(三菱プレジジョン株式会社製 D3Sim, 以下 DS と書く)を用い、高速道路における長距離運転を模擬した環境を構築した。実験協力者は、RR 間隔を計測するための心拍計(ユニオンツール株式会社製 WHS-1)を装着した状態で、高速道路を運転させた。高速道路のマップは、走行レーンと追い越しレーンの 2 レーンである。制限速度は 100km/h という設定である。ドライバの運転挙動的、生体的な反応を計測、評価する目的で、走行レーンをふさぐ等のイベントを設けてある。また、参考のため、ビデオカメラを設置し、実験協力者の表情を記録した。

2.2 実験方法

実験協力者 3 名(実験協力者 A : 19 歳男子大学生。実

験協力者 B : 21 歳男子大学生。実験協力者 C : 21 歳男子大学生)に対し、実験を行った。実験協力者は心拍計を装着し、DS を運転する。運転時の事象と RR 間隔をフーリエ解析(FFT)して得られたパワースペクトルから求めた LF/HF の変動を照らし合わせ、指標を示す。比較として座位安静、閉眼にて 5 分間 RR 間隔の計測も行った。ここで、LF はパワースペクトルにおける低周波成分、HF は高周波成分であり、本論では LF は 0.05Hz~0.15Hz、HF は 0.15Hz~0.40Hz と定義した。なお、一般的には LF/HF を検討する際には、時間分解能の高さから短時間データの解析に優れている自己回帰モデル(AR モデル)を適用して周波数解析をする手法が一般的である。しかし本論では長時間データの解析であること、また、AR モデルによる周波数解析結果と FFT による解析結果で同様の傾向を示しているという先行研究⁽¹⁾に基づき、FFT による解析を行うこととした。DS の走行については、制限速度が 100km/h の高速道路であることを伝えただけで、余計な負荷を与えないため詳しい内容は教示せず、実験協力者に任せた。また、本論では用いていないが、疲労による反応時間の遅れから推定を試みるため、DS の記録データをもとに回避行動時のステアリング舵角等の数値変動も調べた。これに加えて、日本産業衛生学会産業疲労研究会採択の自覚症しらべと疲労部位しらべを実験の前後に行い、実験協力者が自覚している疲労感を調べた。なお、3 名の実験協力者全員に対し、事前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得た上で実験を実施した。

3. 実験結果・考察

3.1 RR 間隔・LF/HF

座位安静時と DS 運転時を比較すると運転時の方がいずれの実験協力者も LF/HF が大きな変動がある。これは、DS 運転時は座位安静時に比べて精神負荷が大きいためである。全体的に LF/HF が運転開始時に比べて高く、時間と共に増加している傾向である。本論で検討している LF/HF は交感神経の指標とされており、LF/HF の上昇は交感神経優位の状態であり、心拍の観点から疲労に起因したストレスや焦りなどの緊張の高まりを実験協力者が感じていることがわかる。疲労感と LF/HF と正の相関があるという報告があり⁽²⁾、本結果はこの報告に合致している。従って、ドライバの疲労状態を LF/HF から推定す

Possibility of Evaluation and Control of Fatigue on Long-distance Driving by Heartbeat

Ryosuke Sugie^a, Toshiya Arakawa^b, Kazuhiro Kozuka^b

^a Aichi University of Technology, Graduate School of Engineering, ^b Aichi University of Technology

ることが可能であることが示唆される。DS 運転時はピークがいくつか見られ、走行中の何らかの事象に反応しているということも LF/HF の観点から見て取れる。この部分について Fig.1 のように DS の走行データと照らし合わせてみたところ、急な割り込み・他車両への接近・ガードレールに衝突・バイクとの接触などの事象が要因であるということが考えられる。これらの事象は、疲労を感じるようになったことに伴って交通環境や周辺環境に対する注意力が低下して生じたと示唆され、これらの事象に伴う LF/HF の増加は、事象発生による瞬間的な緊張によるものと考えられる。

また、Fig.2 に示すように開始 15 分後の 5 分間を基準に 5 分毎に正規化した LF/HF の値を時系列に見ていくと上昇していることがわかった。なお、開始 15 分後を基準としているのは、運転をするという初期の緊張が影響しており、参考にならないと考えたためである。

Fig. 1. Participant B's LF/HF rate on drive.

Fig. 2. Average LF/HF value of each 5 minutes from 15 minutes after start of driving. Participant B.

3.2 自覚症状しらべ

各実験協力者の実験前後を比較して、自覚する疲労度合いに数ポイントの上昇が見られた。また、疲労部位については下半身を中心に疲労を自覚していた。このことから、内省報告の観点からも、実験協力者は疲労状態にあったといえる。

3.3 疲労の推定・制御の可能性検討

以上の結果に基づいて、疲労の推定可能性について検討した。実験協力者 B について、暫定的に、LF/HF を正規化した値が 2 を超えたときを疲労と推定した結果を Fig.3 に示す。ビデオカメラの映像等から概ね、実験協力者 B が疲労の兆候を表したタイミングと合致している。しかし、LF/HF の閾値を一律に定めた場合、他の実験協力者に対しては推定の精度が著しく悪化する可能性が高い。一方で、全ての実験協力者に対して精度を担保した

推定を行うには、実験協力者毎に異なる閾値を設定しなければならないが、推定アルゴリズムとして汎用性に乏しい。精度の良い推定アルゴリズムは今後の検討課題である。また、運転継続時の疲労を軽減することが可能なように、インターフェースを活用することでドライバ状態を制御することもできると考えられる。その場合も、本論と同様に、LF/HF の観点から効果を検証することが可能と考えられる。

Fig.3. An Example of trial estimation of fatigued state. The estimation result of participant B.

4. 結言

本論では RR 間隔から求められる指標である LF/HF によるドライバ状態推定の可能性を検証した。その結果、長距離運転により LF/HF が増加し、自覚症状しらべと併せて、これが疲労に起因することがわかった。また、疲労状態の推定可能性についても検討した。今後は、疲労状態の推定について検討を進め、汎用的な推定アルゴリズムの構築を目指す。また、本論の場合より更に長距離を走行した場合についても検証を進めたい。また、今回は 20 歳前後の男性について検証したが、年齢的な影響や性別の影響がどれほどあるのか検討するため、実験協力者の対象年齢を広げての検討や、女性ドライバについての検討を行う。更に、最終的な目的である事故の軽減につなげるためには心拍を計測する何らかの装置を実車両に搭載する必要があるため、実車両で心拍を容易かつ正確に計測する方法を検討する。

文 献

- (1) 山岸茂孝, 津田良一:「精神作業負荷心電図の周波数解析」, 第 19 回(平成 16 年度)熊本県産学官技術交流会講演論文集,2004
- (2) 久保千春, 吉原一文, 古川智一:「慢性疲労における自律神経系の機能異常と心身の症状との関連および事前の香り暴露がストレス刺激による疲労や精神・神経・内分泌系に及ぼす影響」,厚生労働科学研究費補助金(障害者対策総合研究事業)(神経・筋疾患分野)(分担)研究年度終了報告書, pp.80-87, 2012