

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330219

研究課題名(和文) 音声疲労推定システムを目指した疲労測定指標の研究

研究課題名(英文) Study on the Fatigue Measurement Indexes aiming at the Development of the Fatigue Measuring System using Speech

研究代表者

松村 寿枝 (Matsumura, Toshie)

奈良工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：70390482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：発話音声のみから簡便に疲労を推定するシステムの開発を目指し、音声分析による疲労測定指標を提案した。Advanced Trail Making Test, 自転車および自動車シミュレータ, エアロバイクの4種類の負荷を用いた被験者実験を行い、従来の疲労測定指標と提案法を比較した。結果、自転車および自動車シミュレータを用いた実験では、従来の疲労測定指標に比べ提案法で有意な結果が得られた。提案法は、従来法に比べ、乗り物乗車時に有効な疲労測定手法の1つとなりえると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We propose a method that uses speech analysis to measure speaker fatigue to develop a fatigue measurement system. Our proposed method uses the following three measurement indexes: fundamental frequency, average speech power, and speech period. We performed four experiments in which subjects conducted Advanced Trail Making Test, rode on a bicycle simulator, a driving-simulator, and a bicycle ergometer. Our bicycle-simulator experiment and driving-simulator experiment results suggest that our method might be an effective fatigue measurement index for acute fatigue.

研究分野：音声信号処理

キーワード：疲労 音声 音声分析 疲労測定指標 疲労度

1. 研究開始当初の背景

近年、労働災害や過労死を防ぐため、疲労を定量的に測る試みが行われている。その中でも一般的なものとして自律神経系や中枢神経系の生理指標を用いた測定、自覚症状調べのように心理反応指標を用いたもの、あるいは正答率や反応時間のような行動反応指標を用いたものまで様々な指標が提案されているが、いずれも特定の負荷に対する疲労の測定であり、疲労に対する普遍的な尺度とまではいえない。

さて、疲労は思考力の低下などの精神的な影響以外にも肉体的な影響を与える。特に声帯や声道に影響を与え、音源の特性や声道の共振特性に影響し、音声の特徴量の物理的変化を伴っている。人はその特徴量の変化を聴覚で捉え、脳で通常時との差異を感知し、疲労を推定している。音声を用いて疲労を推定することができれば、特別な訓練や機器(センサーなど)を必要としないため、そのメリットは大きい。例えば、音声を用いた疲労推定システムが実用化されてパソコン、カーナビなどの様々な機器に組み込まれると、客観的に疲労を判断できるため、疲労による事故の回避が出来るなどのメリットは多い。このように本システムの実用化により多くの潜在的な商品が創出される。音声から話者の疲労を検出する試みは既にカオス理論を用いた塩見や宝神らによりその成果が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、研究代表者らは、より簡便な方法を考え、平成18年度より音声の基本周波数、平均パワー、継続時間長に着目し、これらを音声指標として疲労推定の研究を行ってきた。平成19年度には独立行政法人科学技術振興機構 J S T イノベーションプラザ京都の「可能性試験(実用化検討)研究」に採択された(研究期間：平成19年9月～平成20年2月末。受託研究)。結果、疲労の個人差および作業負荷の強度による差はあるが、音声指標による疲労推定が可能であることが示した。この研究成果から平成20、21年度に科学研究費補助金(若手B, 研究課題番号:20700172)において負荷をVDT作業と限定し、確実に疲労時の音声の収集したうえで実験を行い、音声指標による疲労推定システムの開発を行った。開発したシステムは、疲労音声から疲労時の音声指標に閾値を設定し、前述の受託研究のシステムよりも更に実用性の高いシステムとなった。このシステムは、あらかじめ聴取者が疲れた声であると聴覚実験により判定した音声から求めた閾値を用いて疲労推定を行っており、従来の疲労測定指標のように疲労強度を定量的にもとめるものではない。そこで、従来法である生理指標、心理反応指標、行動反応指標による疲労推定の定量的な判定結果と提案する音声指標との関係を調べる必要性があった。更に音声による疲労推定精度の向上も必要であった。そこで、従来指標と提案法を評価し、有効性を示す必要がある。

参考文献

- (1) 宝神永一, 白石洋一, 古瀬慶博, “音声解析からみたリアプノフ指数計算手法の比較”, 信学技報, CAS2003-3, VLD2003-13, DSP2003-33, pp. 13-18, 2003
- (2) 塩見格一, 佐藤清, 澤貢, 水上直樹, 鈴木綾子, “発話音声による疲労状態評価検証実験の手法と結果”, 日本人間工学会第35回関東支部大会, 2005

2. 研究の目的

従来の疲労測定指標では難しかった疲労の推定を発話音声のみから簡便に客観的に行うシステムの開発を目指す。

本研究では、提案する音声指標と従来の生理指標、心理反応指標、行動反応指標などの各種指標との関係を被験者実験により明らかにする。従来の指標と音声指標の対応から音声指標による疲労推定の際の閾値を細分化することで音声による疲労推定の精度向上を目指す。また、疲労推定システムの開発・評価を行うことで提案手法の有効性を示す。

3. 研究の方法

研究方法として疲労をさせるための負荷を設定し、負荷をかける被験者実験を行う。負荷前後で疲労測定指標を収集し、結果を比較・検討することで提案法と従来法の関係を明確にする。以下、初めに疲労を誘発させるための負荷について述べる。次に疲労測定指標として、提案法である音声指標と従来指標の生理指標、心理反応指標、行動反応指標について説明する。

(1) 疲労を誘発させる負荷

疲労の個人差を考慮し、4種類の実験を行う。具体的には精神的なストレスを与える Advanced Trail Making Test (以下, ATMT) を用いた精神的疲労1種類と自転車シミュレータと自動車シミュレータの2種類のシミュレータを用いた実験, エアロバイクを用いた実験である。なお、本研究は意図的に疲労を起こさせる必要がある。通常の自転車や2輪車, 自動車では、事故を起こす危険性がある。そのため、安全で負荷を調整しやすいシミュレータと肉体的な負荷を与えるエアロバイクを使用する。結果、疲労を誘発させる負荷の個人差の問題解決につながると考えている。この時、与えた負荷が適切ではない場合、改めて負荷について検討し、実験の修正を行う。

本研究では、30分、60分、90分の自転車シミュレータ乗車, 30分のATMT, 30分のエアロバイク乗車の負荷による被験者実験を実施する。

(2) 疲労測定指標

従来の疲労測定指標と提案する音声指標

を求めるための音声を、負荷の前後に収集する。従来指標として、生理指標、心理反応指標、行動反応指標を測定する。心理的反応として疲労感の自己評価と自覚症状しらべ、生理的反応としてフリッカー値、加速度脈波 (CVa-a 変動係数, a 波波高), 唾液アミラーゼ活性, 行動的反応として ATMT (エラー率) の計 5 項目である。また, 提案した音声指標を求めるため 5 種類の音声資料 (ただいま, あーあ, 疲れた, これは実験です, はい) の録音を行う。

指標の計測順は, ①音声録音 (1 分) ②唾液アミラーゼ活性 (1 分) ③フリッカー (2 分) ④加速度脈波 (2 分) ⑤ATMT ⑥疲労感の自己評価と自覚症状しらべとする。ATMT, 疲労感の自己評価と自覚症状しらべは, 被験者により所要時間が異なるが, 全項目の計測所要時間は 10 分程度である。ATMT および自覚症状しらべは, それ自体が疲労負荷になりうることを考慮し, 測定順を最後とする。ただし, 負荷前の疲労測定指標の計測では, 被験者の体調確認をかね, 疲労感の自己評価と自覚症状しらべをはじめに測定する。

4. 研究成果

自転車シミュレータを用いた被験者実験の結果を述べる。被験者は持病等がない健康な男性を被験者とした。30 分の被験者実験は, 16 歳~18 歳の 12 名, 60 分では, 16 歳~21 歳の 14 名, 90 分では 17 歳~21 歳の 13 名である。被験者実験の結果を表 1 により整理する。表 1 は, 負荷前後の疲労測定指標値に対し, 対応 2 試料 t 検定 (有意水準 0.05, 片側検定) を行い, 負荷前後で疲労測定指標に有意な差があるかについて検定したものである。「なし」は有意差がなかったもの, 「あり」は有意差があったものを示す。音声指標については, 有意差が認められた発話音声を示している。

表 1 より従来の疲労測定指標では加速度脈波の 1 種類の指標でのみ有意差があったが, 音声指標では複数の発話で有意差があったことが分かる。

次に ATMT を実施した被験者実験の結果を述べる。30 分の自転車シミュレータと同じ被験者に対して 12 名に被験者実験を実施した。これまでの実験と同様に負荷前後の指標値に対し, 対応 2 試料 t 検定を行い, 有意な差であるか検定した。ATMT においては, 従来指標の加速度脈波の中でも CVa-a と a 波高において, 有意な差が得られた。また, 音声パワーにおいて 1 種類の発話音声において有意な差が得られた。

最後に自動車シミュレータと自転車シミュレータによる被験者実験の結果を比較した。負荷時間は, 30 分とする。19 歳~20 歳の持病のない健康な男性 6 名と女 1 名の計 7 名が自転車シミュレータに乗車する実験, 19 歳~20 歳の健康な男性 7 名, 女性 1 名の計 8 名が自動車シミュレータ乗車する実験であ

る。ただし, 自動車シミュレータの実験のみ, 自動車免許を取得している被験者とした。音声指標の結果について述べる。5 種類の発話の基本周波数, 平均パワー, 継続時間長を負荷前後で求め, 対応 2 試料 t 検定を行った。結果, 有意差があった発話は, 自転車シミュレータでは, 基本周波数で 2 種類, 継続時間長で 1 種類であった。自動車シミュレータでは, 基本周波数で 1 種類, 平均パワーで 1 種類であった。3 種類の音声指標すべてで有意な結果は得られなかったが, 音声指標のうちのいくつかは有意な結果が得られることが分かった。

30 分のエアロバイクの被験者実験の結果を述べる。負荷前後で, 対応 2 試料 t 検定を行った。従来指標では, いずれも有意な変化がみられなかった。提案する音声指標のうち継続時間長では, 1 種類の発話でのみ有意な差がみられた。自転車エルゴメータの実験では, 自転車シミュレータに比べ, 自覚症状しらべの症状を訴える率も低く, 疲労感の自己評価も負荷前後で有意な差はなく, 疲労をしていなかったと考えている。

表 1 負荷前後での有意差の有無 (自転車シミュレータ)

指標		30 分	60 分	90 分
フリッカー		なし	なし	なし
唾液アミラーゼ活性		なし	なし	なし
加速度脈波	a 波高	なし	なし	なし
	CVa-a	有意差あり	なし	有意差あり
音声指標	基本周波数	なし	なし	/はい/
	平均パワー	/はい/ /これは実験です/	/あーあ/ /つかれた/ /これは実験です/	/ただいま/ /これは実験です/
	継続時間長	/はい/ /これは実験です/	なし	/これは実験です/

以上の結果より, 従来指標に比べ, 提案する音声指標で有意な結果が得られていることが分かる。特にシミュレータによる負荷の実験ではあるが, 乗り物を運転するような負荷に対して提案する音声指標は従来指標に比べ, 有効な疲労測定指標の一つになりえる

と考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

- ① 松村寿枝, 河村絵美, 小坂洋明, 吉村宏紀, 清水忠昭, 音声分析を用いた自転車シミュレータ運転時の疲労測定法の基礎的検討, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 136 No. 1 pp. 92-98 DOI: 10.1541/ieejieiss.136.92, (査読あり)

〔学会発表〕(計 4件)

- ① Toshie MATSUMURA, Emi KAWAMURA, Hiroki YOSHIMURA, and Tadaaki SHIMIZU, Fundamental Study on Fatigue Measurement Indexes using Speech Analysis, ICEE 2016 Okinawa, 7/5/2016(那覇市), (査読あり, 発表決定)
- ② 松村寿枝, 黒川慶, 松井凌允, 河村絵美, 小坂洋明, シミュレータ乗車時の疲労測定指標の比較, 電子情報通信学会 2016年総合大会, D-14-12, 2016年3月16日, 九州大学(福岡市)
- ③ 松村寿枝, 河村絵美, 吉村宏紀, 清水忠昭, 作業負荷時間と疲労測定の関係, 電子情報通信学会 2014年ソサイエティ大会, A-4-7, 2014年9月23日, 徳島大学(徳島市)
- ④ 松村寿枝, 河村絵美, 吉村宏紀, 清水忠昭, 作業負荷時の疲労測定指標の評価, 電子情報通信学会 2014年総合大会, D-14-9, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村 寿枝 (MATSUMURA, Toshie)

奈良工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号: 70390482

(2) 研究分担者

小坂 洋明 (KOSAKA, Hiroaki)

奈良工業高等専門学校・電気工学科・教授

研究者番号: 60362836