

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330172

研究課題名(和文) 発話音声から疲労度を検出する音声セグメントに基づく疲労度評価法の開発

研究課題名(英文) A detection method using phonetic segments for the influence of fatigue on speech

研究代表者

松浦 博(Hiroshi, Matsuura)

静岡県立大学・経営情報学部・教授

研究者番号：60451085

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ストレス付加前後の発話を録音すると共に自覚症しらべ(5群)、心拍変動解析のLF/HF、フリッカー値、唾液アミラーゼ活性を疲労度指標として測定した。疲労度指標間の相関分析ではストレスが四則演算の場合のLF/HFと唾液アミラーゼ間の0.66以外は相関が見られなかった。一方、ストレスが四則演算、無酸素運動の場合、発話「あー」、「おー」の音声セグメントラベルの比率、発話「スタート」のF0を説明変数とした重回帰式によってLF/HFが精度良く予測できた。特に、LF/HFの実測値と予測値との相関係数が四則演算、無酸素運動で0.9以上となり、音声セグメントラベル等が心拍変動解析を代替し得ることを示した。

研究成果の概要(英文)：To estimate degree of fatigue using speech, changes on speech caused by stressor were investigated. A correlation analysis and a multiple regression analysis were conducted between each fatigue degree index and speech parameter. Variable selection was performed in multiple regression analysis to predict the LF/HF. As a result, four phonetic segment labels in the utterance "ah" and in the utterance "oh", and F0 in the utterance "start" were selected as speech parameters. The correlation coefficient between the estimated and actual values became 0.98 in the arithmetic operation stressor and 0.90 in the anaerobic stressor. And it was shown that the speech parameters may substitute the LF/HF.

研究分野：音声情報処理

キーワード：音声セグメント 疲労 心拍変動解析 フリッカー値 唾液アミラーゼ 自覚症しらべ 基本周波数
ストレス

1. 研究開始当初の背景

現代社会に生きる我々は様々な精神的あるいは肉体的にストレス（ストレスを与える要因）からの影響を受けながら生活している。適度なストレスは個々人の生産性を高めると言われている。しかし、過度なストレスは身体に疲労を与え、体調に悪い影響を及ぼしたり、ヒューマンエラーの原因となったりする。このような事態を避けるためには、各自が自身の疲労の度合いを知り適切に管理する必要がある。

また、国土交通省はトラックやバス向けに運転者の居眠りや失神を検知する安全技術の開発に乗り出している。すなわち、2012年4月に発生した関越道での高速ツアーバス事故などを受け、運転者が安全に運転できない状況になったときに警告したり、自動停止したりするシステムにつなげることを目指している。ここでは、運転者の異常を感知するシステムをモニターカメラを運転席に設置し、ドライバーの表情、瞬きの回数などを検知すると同時に、車両のふらつきなどについても検出する。一方、乗用車等にも安全技術を広げるためには、さらに簡便に使用できるとともに、居眠りや失神と言った重大な事象に達する前の段階で疲労の程度（以下、疲労度）を検知する技術の開発が望まれている。

2. 研究の目的

人間の発話音声から疲労度を検出する疲労度評価法を開発することを本研究の目的とする。具体的には疲労度評価のため、先行研究で使用されていない音素レベルの変化を新たな特徴量として開発し使用する。さらに、疲労度評価法を実装した疲労度評価システムを開発し、携帯端末等で簡便に使用できるような形式にする。携帯端末では利用者の空き時間に手軽に使用できるため、一般ユーザが日々のストレスコントロールや健康管理に活用できる。また、交通安全につながることで広く社会に貢献することが期待される。さらに、携帯端末では口元をマイクに近づけやすく、環境騒音の影響を受けにくいいため、安定した収音が可能であり実用的である。

学術的な研究目的としては疲労に対する自己評価や疲労の血圧・脈拍等への影響と発話への影響との関連性について明らかにする。

3. 研究の方法

下記の具体的な方法による。

- ・疲労度の評価に、音素及び音素間の細かな変化をとらえることが可能である独自技術である音声セグメント技術を用いることを特徴とする。

- ・疲労した場合に、いずれの音声セグメントラベルに最も変化が表れやすいかを明らかにする。あわせて、従来の研究で検討されている基本周波数、平均音声パワー、継続時間長についても疲労との関連性を検証する。
- ・音声データベース AWA-LTR を利用して発話前後の血圧、脈拍等と発話との関係や発話の経時的な変化について調査を行う。
- ・疲労度を評価するために最適な単語セットについて検討する。
- ・被験者数は研究期間全体で 10 名以上について収集し、評価する。
- ・肉体的負荷はマラソンやシャトルラン等の有酸素運動、精神的負荷は VDT 作業、四則演算を検討する。
- ・肉体的疲労度と精神的疲労度の発話による評価と自己評価との相関についても調査する。

4. 研究成果

(1) 音声セグメントラベル

音声セグメントラベルは歯列欠損者の義歯装着後の発話評価・改善のための発話分析システム用に開発された[1]。このシステムを用いる特長として、音素レベルでの音声分析が可能であることが挙げられる。8ms のフレームシフト毎(1フレームの幅は 23ms)に、発話音声の時間 - 周波数パターンと、用意されている各音声セグメントの標準パターンとを総当たりで比較し、最も類似している標準パターンに対応するラベルを出力する。なお、音声セグメントの標準パターンは年齢や疲労状態などの体調にかかわらず男女各 400 名程度の話者から作成されている。

従来、音声による疲労推定分野では基本周波数や継続時間長等の主に音響的な情報が使われていた。本研究ではストレスの付加によって、舌や顎などによる調音の微妙なずれが音声情報にも影響する可能性を考慮した。すなわち、例えば発話「あー」では理想的には音声セグメントラベル AA が出力されるが、個人差や体調によって、アからオへの移行部を示す A0 やアからハ行子音への移行部を示す AH など若干異なるラベルが出力され、AA の比率が低下することがある。このような状況が疲労あるいはストレス付加によっても起こり、それがラベルの違いとして現れるのではないかと想定した。

図 1 に発話「スタート」を分析した発話分析システムの画面例を示す。システムの画面は 3 つのウィンドウからなっている。上段のウィンドウは入力された音声の波形を表示しており、明るい領域は選択した(図 1 では /ta/)の子音領域である。中段のウィンドウには有声音とみなされたフレームのみの基本周波数を表示している。下段のウィンドウは音声セグメントラベルを表示している。発

話分析システムは音声セグメントラベル、子音領域、母音領域、パワー、基本周波数の情報を csv ファイルとして出力する機能を有する。csv ファイルの情報をもとに評価する判定プログラムについては次の(2)で述べる。

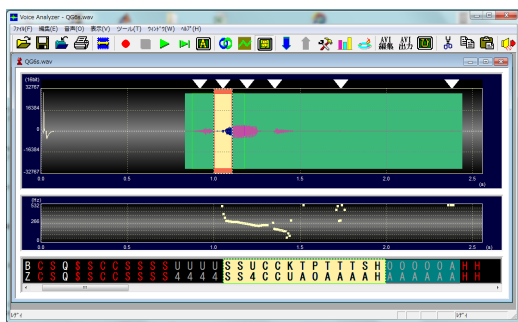


図1 発話分析システムの画面例(発話「スタート」)

(2) 判定プログラム

発話分析システムを用いて「あー」、「おー」、「スタート」の3種類の音声データを分析し、音声セグメントラベル、子音領域、母音領域、パワー、基本周波数 F0 の5つの情報を抽出した。抽出した5つの情報をもとに疲労の評価に用いるパラメータを抽出するための判定プログラムを用意した。発話分析システムで抽出したパワーに対して、最大パワーに対する一定比率(「あー」、「おー」では2%、発話の変動が大きい「スタート」では0.5%)の閾値を設定し、その閾値を越えるパワーを持つフレームのみを発話音声領域とした。この発話音声領域とみなされたフレームの音声情報から、本プログラムを用いて自動的に各パラメータを算出した。

(3) 音声データ収集

ストレスを付加した前後の音声および疲労度指標のデータ収集について、研究代表者の所属組織の研究倫理審査を受けた上で、18歳から30歳までの健康な男女を被験者として募った。年齢を制限した理由は、疲労度指標に用いる LF/HF について年齢によって値が変動することが知られているためである。実際に応募いただいた被験者は18歳から24歳までの男女、計16名であった。

ストレス付加前後で、音声の録音、質問紙による自覚症しらべ(5群)[2]、心拍変動解析[3]、フリッカー値[4]、唾液アミラーゼ活性[5]の測定を行った。被験者1人当たり3セットを、1セット毎に日を変えて実施した。1セットの実験でストレス付加前後の2回のデータ収集を行うため、合計で6回分データが収集される。しかし、1セット目のデータは、特に心拍変動解析で顕著にみられるが、緊張により正確な数値の測定が難しいとされる。そのため、心理実験でよく行われるように1セット目を予備実験とし、2セット目と3セット目を実験データとして

用いた。予備実験はスマートフォンアプリの操作や発話等に慣れることにもつながったと考えられる。また、疲労度測定の順序効果の存在も否定できないが、少なくとも測定順序はすべての被験者に共通にして条件を揃えた。

本データ収集では被験者に(a)持久走などの有酸素運動(18セット、休憩を入れ3時間程度)、(b)四則演算を一定時間解き続ける(8セット、1時間半の大学講義を受けた後、集中的に5分程度)、(c)筋力トレーニングなどの無酸素運動(5セット、休憩を入れ1時間程度)、(d)車の運転を一定時間続ける(1セット、休憩を入れ7時間)、の4種類のいずれかのストレスを与え疲労させる。車の運転は1セットのみであり、以下の分析の対象外とした。

(4) 従来の疲労度指標

正解として位置づけられるべき疲労度指標として採用した指標の有効性を検証するため、指標間の相関分析について調査した。まず、自覚症しらべ 群：ねむけ感、群：不安定感、群：不快感、群：だるさ感、群：ぼやけ感の5つの群の間では、群に対して 群、群、群の間は相関がおおむね高い。群と 群も相関は高いが四則演算においては若干の負の相関(-0.26)が見られる。群と 群、群と他の群とは相関が高くない。また、自覚症しらべ 群と LF/HF の無酸素運動で相関係数が0.76と高いのを除けば他はそれほど高くない。

そのほかの疲労度指標に範囲を広げて調査したところ、ストレスが四則演算の場合の LF/HF と唾液アミラーゼの相関係数0.66が比較的高く、LF/HF とフリッカー値では0.42と若干の相関が見られる。また、ストレスが無酸素運動の場合、LF/HF と唾液アミラーゼで0.41と若干の相関があるのを除けば、相関は高くない。また、自覚症しらべ全体では四則演算の場合、LF/HF や唾液アミラーゼに対しては負の相関も見られた。また、本実験ではフリッカー値は5段階の設定であり、ストレス付加前後で変化が見られない場合が多かった。

疲労度指標間の結果は、各疲労度指標がそれぞれ異なった種類の疲労を推定するものであることや、自覚症しらべは主観的な指標であることが影響しているのではないかと考えられる[6]。先行研究でもストレスは同じではないものの、同様に疲労度指標間で負の相関が得られることも報告されている[7]。

(5) 音声セグメントラベル等と疲労度指標との関係

次に、基本周波数、継続時間長、音声セグメントラベル AA、00等をパラメータとして

各疲労度指標との相関分析を行った。LF/HF との相関係数が、「あー」の AA では無酸素運動の場合に -0.88 などの結果が得られた。

また、LF/HF を予測する重回帰分析の変数選択を行ったところ、「あー」の AA および「スタート」の F0 等の 5 パラメータが選択（修正決定係数 $R^2=0.33$ ）された。次に、ストレスを四則演算と無酸素運動に絞って、同様の変数選択を行ったところ「あー」の A* および A(AA を除く)と「スタート」の F0 等の 5 パラメータが選択（修正決定係数 $R^2=0.89$ ）された。以上から、音声セグメントラベル、母音領域、F0 等が心拍変動解析の代替手段になる可能性を示した。LF/HF の予測値と実測値との相関係数を求めたところ四則演算で 0.98、無酸素運動で 0.90、全体では 0.96 と極めて高かった。したがって、音声セグメントや F0 など特定の音声パラメータの組み合わせは心拍変動解析の代替手段になる可能性が示唆された。一方、疲労の推定法の実現については、さらに多様な方面からの検討が必要と考えられる。

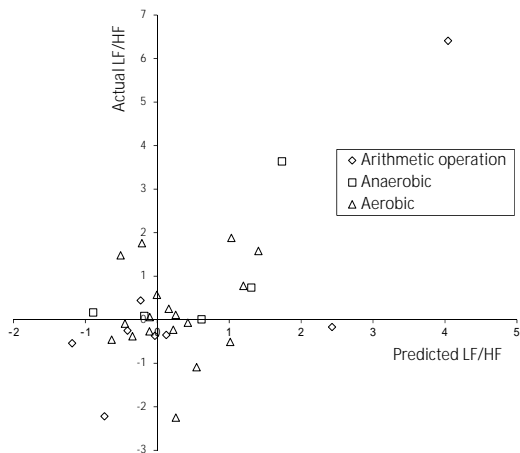


図2 LF/HF の実測値と重回帰式による予測値の関係

(6) 音声データベース AWA-LTR

音声データベース AWA-LTR は同一話者の音声を定期的にかつ長期間に渡って収録された[8]。6 名の話者が、2 年～10 年に渡り、週に 1 日、朝・昼・夕の 3 回、1 回 10 分程度の同一のリストを読み上げたものである。血圧、脈拍、体調の情報なども記載されているが、現在利用できるのは切り出し作業が終了した 1 名分だけである。

4.(5) で述べたように疲労の評価に有効な発話である「あー」が収録の開始時(「前」と表記する)と終了時(「後」と表記する)の 2 回収録されているので、その発話 156×2 データを用いた。このデータでは「疲れた」「頭痛」や、「のどの調子が悪い」など、体調が悪いと記載された場合が朝・昼・夕の総数 156 回のうち 16 回である。音声セグメントラベル等と血圧(高)および(低)、脈拍が「前」と「後」について標準偏差を超える値となっ

た場合を疲労検出とし、体調が悪いと記載されたデータを正解としたときの再現率、適合率、F 値を表 1 と表 2 示した。これら表より、血圧、脈拍よりも音声セグメントをパラメータとした方が体調(疲労)を推定するには適切であることが分かった。なお、表中の-AA は音声セグメント AA 以外、H* *H は音声セグメントに 8 行の要素が含まれる場合、F0 は基本周波数、PW は音声パワーを表している。

表1 血圧、脈拍をパラメータとした場合

収録時	「前」		「後」		「前」	「後」
	血圧 (最高)	血圧 (最低)	血圧 (最高)	血圧 (最低)		
疲労申告との一致数	2	1	2	0	5	3
疲労検出数	22	23	32	27	27	26
適合率	8	4	6	0	16	10
再現率	11	6	11	0	24	16
F値	10	5	8	-	19	13

表2 音声セグメント等をパラメータとした場合

収録時	「前」					「後」				
	AA	AA	H* *H	F0	PW	AA	AA	H* *H	F0	PW
疲労申告との一致数	7	6	3	1	5	5	4	3	4	2
疲労検出数	12	11	19	27	18	13	23	25	28	22
適合率	37	35	14	4	22	28	15	11	13	8
再現率	30	27	16	6	24	24	20	16	20	11
F値	33	31	15	4	23	26	17	13	15	10

参考文献

- [1] 松浦博, 桃崎浩平, 正井康之, 秀島雅之, 犬飼周佑, 佐藤雅之, 安藤智宏, 大山喬史, “チェアサイドで使用可能な発語評価のための音声認識装置の開発,” 情報処理学会論文誌, 46(5), 1165-1175, 2005.
- [2] 日本産業衛生学会産業疲労研究会, “調査票のダウンロード - 産業疲労研究会,” URL=http://square.umin.ac.jp/of/service.html, アクセス日 2015-12-21.
- [3] 山口浩二, 笹部哲也, 倉恒弘彦, 西沢良記, 渡辺恭良, “加速度脈波を用いた疲労評価,” 治療, pp.537-547, 2008.
- [4] 井上涼太, 岸啓, 岸田悟, “疲労に対する音声信号とフリッカー値の相関関係,” 信学技報 113 巻 500 号, pp.163-166, 2014.
- [5] 中野敦行, 山口昌樹, “唾液アミラーゼによるストレスの評価,” バイオフィードバック研究 38 巻 1 号, pp.3-9, 2011.
- [6] 福田早苗, “質問票法による疲労の評価,” 別冊・医学のあゆみ - 日本発: 抗疲労・抗過労への提言, pp.47-51, 2010.
- [7] 岡本博照, 菊川忠臣, 神山麻由子, 照屋浩司, 和田貴子, “都市部救急隊員の疲労と唾液アミラーゼ活性値,” 民族衛生, 78(3), pp.61-75, 2012.
- [8] 黒岩真吾, 柘植覚, 張文彬, 篠崎隆宏, 堀内靖雄, “AWA 長期間収録音声コーパスと時期差の分析,” 音響学会春季研究発表会, pp.83-86, Mar. 2012.

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

松浦博, 山本哲平, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之: 疲労が音声へもたらす影響の音声セグメントを用いた推定; 電子情報通信学会論文誌 A, 査読有, Vol. J99-A, No.9, pp.351-360 (2016.9)

Junichiro Wada, Masayuki Hideshima, Shusuke Inukai, Hiroshi Matsuura, Noriuki Wakabayashi, "Influence of the Width and Cross-Sectional Shape of Major Connectors of Maxillary Dentures on the Accuracy of Speech Production", *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 査読有, Vol. 66, No.6, 2014(2014)

松浦博, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之, "日本語を学ぶ留学生のための音声セグメントラベルを用いた促音・長音の発語学習システム", 日本 e-Learning 学会誌, 査読有, Vol.14, pp.14-23 (2014)

[学会発表](計7件)

北條友梨, 松浦博, 澤崎宏一, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之: 音声セグメントラベルと基本周波数を用いた日本語学習者のためのアクセント・イントネーション e-Learning システム; 日本 e-Learning 学会第18回(2015年度)学術講演会, pp.14-20 (2015.10.23) (優秀賞受賞), 浜松市

松浦博, 北條友梨, 澤崎宏一, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之: 音声セグメントラベルと基本周波数による留学生のアクセント・イントネーションの推定; 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会抄録集, 1-3-6 (2015.9.16), 福島県会津市

山本哲平, 松浦博, 秀島雅之: 音声による疲労度推定システム構築の基準となる疲労度指標; 電子情報通信学会総合全国大会, A-15-14 (2015.3.13), 滋賀県草津市

大城一輝, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之, 松浦博: 音素とアクセントの自動推定に基づく日本語発語の学習支援; 電子情報通信学会総合全国大会, ISS-P-41 (2015.3.10), 滋賀県草津市

松浦博, 大城一輝, 和田淳一郎, 犬飼周佑, 秀島雅之, "日本語アクセントの音声セグメントと基本周波数を用いた自動評価", 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会抄録集, 3-Q-48 (2014.9.5), 札幌市

山本哲平, 松浦博, "音声で疲労を推定するシステムの検討", Winf2014, p.27 (2014.11.29), 浜松市

井本智明, 松浦博, 秀島雅之: 主成分分析と回帰分析を用いた音声セグメントと疲労度の関連性の検討; 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会抄録集, 査読無, 2-P-21 (2016.9.15), 富山市

6. 研究組織

(1)研究代表者

松浦 博 (MATSUURA, Hiroshi)
静岡県立大学・経営情報学部・教授
研究者番号: 60451085

(2)研究分担者

秀島 雅之 (HIDESHIMA, Masayuki)
東京医科歯科大学・歯学部附属病院・講師
研究者番号: 50218723

(3)研究協力者

井本 智明 (IMOTO, Tomoaki)
静岡県立大学・経営情報学部・助教
研究者番号: 20749296