

# 音声を用いた話者疲労の推定

松村 寿枝

Estimate of Speaker's Fatigue Using by Speech

Toshie MATSUMURA

音声には、音韻性情報や個人性情報が含まれているのみでなく話者の感情や体調を示す二義的な情報が含まれていることが近年の研究から明らかになっている。本研究では音声に含まれるこれらの情報を用いて話者の疲労を推定する方法を提案した。特に比較的容易に分析が行える基本周波数、音声部分の平均パワー、音声部分の継続時間長に着目した。まず、疲れていない通常時の音声の基本周波数、平均パワー、継続時間長と疲労時のものを比較することで単語音声から疲労を容易に推定できないかと考え、検証実験を行った。結果、話者1名ではあるが上記の3つの特徴量で通常時と疲労時で有意な差が見られた。このことから基本周波数、平均パワー、継続時間長の3つの特徴量により疲労を推定することが可能であるといえる。

## 1. はじめに

近年、コンピュータの高性能化、高速化により従来の音声処理技術の中の音声合成技術のみでなく音声認識や話者認識などの認識技術が組み込まれた機器が一般的になりつつある。これらの認識技術は、音声に含まれる音韻性情報(言語学的情報)や個人性情報を抽出することで実現されている。一方、音声には前述の情報以外にも感情を示す情緒性情報や疲労などの体調を示す情報などの二義的な情報が含まれていることが経験的に知られている。これは、家族や友人の声を聞いた際にその人の心身の状態、例えば「うれしそう」、「疲れている」、「元気がない」などを大まかに知ることが出来るなどである。

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<sup>[1]</sup>。そのなかでも声帯や声道にも影響を与えることがあり、音源の特性や声道の共振特性などに影響し、音声の特徴量の物理的変化を伴っているものと考えられる。人はその特徴量の物理的な変化を聴覚で捉え、脳で通常時との差異を感知し、疲労を検出していると考えられる。疲労検出に音声を用いることは、特別な訓練や機器(センサーを装着し常時データ収集するなど)を必要としないため、そのメリットは大きい。例えば、音声を用いた疲労検出システムが実用化されれば、パソコン、カーナビなど様々な機器に組み込み、疲労検出時には警告を出すなどが行えるため、疲労によ

る事故等の危険が回避でき、実用化された場合のニーズも多いと考えられる。また、音声から疲労を検出する試みは既にカオス理論を用いた研究で塩見や宝神らによりその成果が報告されている<sup>[2][3]</sup>。しかし、これらの方法よりもっと容易に音声から疲労を推定することは出来ないかと考えた。そこで、疲労時の音源及び声道の変化について検討した。その結果、疲労時の変化の中でも特に音源の特性の変化が音声に大きく影響を及ぼすと考え、音声の基本周波数、平均パワー、継続時間長に着目し、疲れていない通常時の音声と疲労時の音声についてこれらの特徴量をそれぞれ比較することで音声から疲労を推定できないかと考え、検証実験を行い、その結果を報告する。

以下、2章では本研究で使用した音声分析(基本周波数、平均パワー、継続時間長)とその抽出方法について述べ、3章では検証実験の方法および結果を、4章では考察、5章ではまとめを述べる。

## 2. 音声分析

ここでは、本実験で使用した3種類の音声分析について説明する。

### 2.1 基本周波数

音声は、大きく分けて有声音と無声音に分けることが出来る。有声音は、肺からの空気が声帯を振動させることで生じ、この声帯の振動周期を基本周期、この周期の

逆数を基本周波数という<sup>[4]</sup>。母音などは有声音であり、音声中に占める割合が大きい。また、声帯の緊張が大きくなり、肺からの空気圧が高くなると声帯が振動する基本周波数も高くなる。逆に声帯の緊張がほぐれ、肺からの空気圧が低くなると基本周波数も低くなると考えられる。このことは結果として声の高さに影響を与えることとなる。そこで、本研究では音声の基本周波数の変化を疲労前後で比較することとした。また、音声の基本周波数は母音を含む有声音の部分でのみ求められるものであるため、母音を比較的多く含み、日常生活で使用するもの(不自然でない発声)、発声区間中に休止がほとんどない単語を用いることとした。ただし、基本周波数を求めるプログラムについては、市販の音声分析ソフトウェアを使用した。実験では、求められた有声音部分の基本周波数の平均を基本周波数として比較した。以下特に断らない限り、“基本周波数”とは有声音区間の基本周波数を平均したものをさすこととする。

## 2.2 平均パワー

基本周波数と同様に肺からの空気圧の影響が大きく現れるものに音声の大きさが考えられる。しかし、音声の大きさは時間的に変化するものであるため、本研究では特に音声部分のパワーの平均を比較することとした。本研究では特に母音の多い単語を使用し、音声の開始点(本研究では、/t/の破裂開始点)から音声の終了点(/a/の終了点)までのパワーを平均し、瞬時のパワーと区別し“平均パワー”として用いた。ただし、平均パワーはマイクと口の位置が大きく関係するため、常にマイクと口の距離を一定に保てるよう音声収集にヘッドセットマイクを使用した。また、具体的な平均パワーの計算には自作プログラムを使用した。

## 2.3 音声部分の継続時間長

疲労時の音声は、経験的に間延びしたような長い発声とすることがある。これは発声区間が伸張しているためと考えられる。そこで、音声部分の継続時間長を比較・検討することとした。平均パワーと同様に音声開始点から最後の母音終了点までを目視によりしるしをつけ、その間の時間を求めた。

# 3. 検証実験

## 3.1 実験方法

女性話者1名が2006年11月8日から12月15日までの約1ヶ月間に発声した単語(/ただいま tadaima/)を11.025 kHzでサンプリングし、16bitで量子化したものを作業

前音声とした。この単語を収集した理由は、2.1の基本周波数の節で述べたこと以外に人間が疲労を感じるのは単語単位など文章に比べて比較的短い発声でも可能であるという経験的な側面を考慮したためである。同様に作業前音声を収集してから7～9時間(平均約8時間程度)経過した後同じ単語を同一環境下で収集し、作業後音声とした。但し、作業前音声は土日祝日および途中音声収集の出来なかった日(11/8, 10, 11/29～12/6)を除き計19日分、同様に作業後音声は土日祝日および音声収集の出来なかった日(11/13～15, 11/29～12/6)を除き計18日分を実験に使用した。作業内容は、肉体労働のない軽作業であり、収集期間を通じて大きな変化がないものとした。収集に際して、マイク距離を一定にするためヘッドセットマイクを用い、マイクと口を一定距離にし、音声収集を行った。

次に上記2種類の音声(作業前、作業後)の基本周波数、平均パワー、音声部分の継続時間長を求め、比較・検討を行った。平均パワー、継続時間長を求める際には2章で述べたように、/t/の破裂開始点から/a/の終了点までを対象とした。

次に収集した音声の話者疲労の推定に適しているか確認するため、話者の音声を聞きなれた4人の被験者に作業前後の音声を聞いてもらい、通常時と比較し疲労しているように聞こえるかどうか1～5の5段階評価を行ってもらった。1に近いほど疲れておらず、3を普通、5をかなり疲れているとした。比較のため、発話者自身が収集時の状態を同様に1～5段階で評価したものを自己評価として記録した。表1に音声の疲労度評価(自己評価と他者評価値)を示す。

表1より、作業前音声の他者評価は2.93と普通より少し疲れていないという結果になった。また同様に作業後の音声は4.00と少し疲れているという評価であった。また、作業前後どちらの音声も他者評価のほうが自己評価よりも点数が高く、疲れの度合いが大きく評価されている。以上の結果より、作業前音声を疲れていない通常時の音声、作業後の音声を疲労時の音声として疲労推定に使用できるものと判断し、実験に使用した。

## 3.2 実験結果

図1に作業前と作業後の単語音声の基本周波数を示す。作業前後を比較すると、作業前に比べ作業後は基本周波数が低下していることがわかる。これは、通常時に比べ、疲労時には声の高さが低くなっていることを示している。

図2に平均パワーを示す。図2から作業前よりも作業後に平均パワーが減少していることがわかる。これは、

疲労時には通常時に比べ、声が小さくなっていることを示している。

図3に継続時間長を示す。継続時間長では、作業前に比べ作業後において時間長が長くなることがわかった。

更にこれらの3つを分散の検定（F-検定，有意水準0.05，片側検定）及び平均値の検定（t-検定，有意水準0.05，片側検定）を行った結果，それぞれ作業前後で有意な差が得られた。

以上の結果，疲労時には通常時と比較して基本周波数の低下，平均パワーの減少，継続時間長の増加が見られることがわかった。前の2つについては，疲労時には“声が低くなる”，“声の大きさが小さい”という経験的なことに一致しており，疲労時の音声の変化が検証されたいえる。

#### 4. 考 察

基本周波数，平均パワー，継続時間長の変化の原因について考察する。疲労時には声帯の緊張がなくなり，肺からの空気圧が低くなると考えると，基本周波数の低下及び平均パワーの低下については疲労時における生体の変化と一致する結果といえる。一方で，継続時間長は長くなるが，平均パワーが減少している。一般に音声伸縮が起きるのはパワーの小さな子音部分ではなくパワーの大きな母音部分で伸縮が起きる。この結果，母音部分が伸張すれば，それに応じて平均パワーの上昇を伴うことが考えられるが，実験の結果では継続時間長は伸びているが平均パワーは減少している。これは声帯の緊張がなくなり，更に疲労により声帯部分を含む空気を押し出す音源付近の筋肉がゆっくりと動くため少量の空気が長時間放出されることにより結果継続時間は長くなるが，空気圧は低く平均パワーや基本周波数は低下したものと推測される。

以上の結果より，疲労時に見られる音声の変化は通常の疲労時にもたらされる身体への変化に起因するものと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では，通常時の音声と疲労時の音声の基本周波数，平均パワー，音声部分の継続時間長を比較することで単語音声から話者の疲労を推定することが可能かどうか検証を行った。結果，通常時音声に比べ，疲労した音声には次のような変化があることがわかった。

- 基本周波数の低下
- 平均パワーの低下

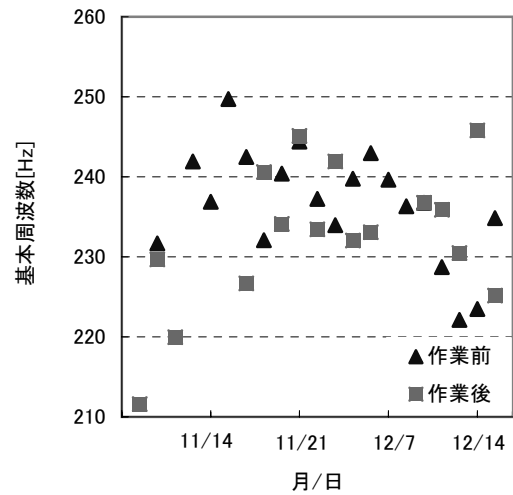


図1 音声の基本周波数(平均)

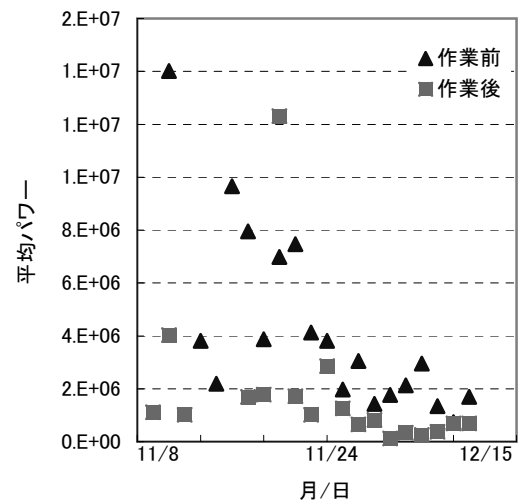


図2 音声の平均パワー

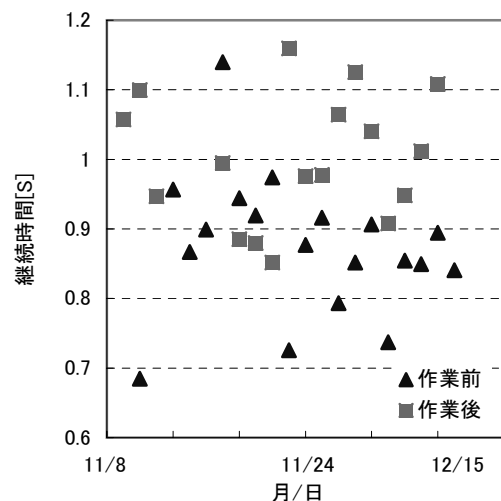


図3 音声の継続時間長

・音声部分の継続時間の増加

これらの変化を調べることで音声から疲労の推定が可能である。

今後の課題として、

- ・資料数，発話種類の増加
- ・母音を多く含む単語で疲労推定にはどの程度の長さ必要か。
- ・基本周波数，平均パワー，継続時間長の変化率がどの程度ならば疲労した音声とみなされるか。逆に意図的に基本周波数，平均パワー，継続時間長を変えた場合疲労した音声に聞こえるのかどうか。
- ・単純作業の繰り返しなど音声に影響を与えやすい疲労の検討および疲労の強度の調査・検討
- ・声道の共振特性への影響(フォルマント周波数などで比較)の検討

などがあげられる。

表1 音声の疲労度評価

|     | 自己評価 | 他者評価 (平均) |
|-----|------|-----------|
| 作業前 | 2.79 | 2.93      |
| 作業後 | 3.44 | 4.00      |

謝 辞

本研究にあたり，実験に関していろいろな討論をし，研究に多大なご協力をいただいた平成18年度卒業生角裕輝に深く感謝いたします。また，実験にご協力いただいた平成18年度松村研究室卒業生の皆様に感謝いたします。

参考文献

[1]井上正康，倉恒弘彦，渡辺泰良，“疲労の科学－眠らない現代社会への警鐘” ,2001, pp. 15－11, 講談社サイエンティフィック

[2]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，DSP 2003-33, pp. 13-18, 2003

[3]塩見格一，“発話音声による大脳活性化度評価技術の現状と可能性” ，信学技法，SSS2004-5, pp. 15-18, 2004

[4]古井貞熙，“デジタル音声処理”，1985, pp. 8