

眼球運動と口唇動作に注目した疲労評価の検討

Study of Physical Condition Evaluation by Focusing on the Eye Movement and Lip Movement

菅沼 美由起[†] 黒澤 勇樹[†] 望月 信哉[†] 星野 祐子[†] 山田 光穂[†]
Miyuki Suganuma Yuki Kurosawa Shinya Mochiduki Yuko Hoshino Mitsuho Yamada

1. はじめに

疲労は我々が日常的に経験している感覚で身体の恒常性の乱れを知らせる 3 大アラーム機構の一つである。しかし、疲労状態に陥る原因は人それぞれであり、その要因を探ることは非常に困難とされる。また、日本では 800 万人もの後期高齢者が 2025 年には 75 歳以上を迎えると言われ、「2025 年問題」と呼ばれている。高齢化に伴い介護・看護現場での人手不足は慢性化している中、患者、被介護者の体調や疲労度といった状況について人を介さず日常所作から判断できれば、介護・看護者の負担を軽減できるとともに、患者、被介護者の QOL を向上できると我々は考えた。

喜び、悲しみ、怒りなど音声分析による感情認識技術は実用化され[1]、コールセンターやヒト型ロボットなどに応用されている[2]。[1]では脳の情動による不随意要素が特に音声の基本周波数に反映されることを利用して、感情認識アルゴリズムを構築している。これは、発せられた言葉そのものではなく、声質や発声の多様性などの非言語的な手がかりから感情を認識することを意味する。これらの非言語的要素は、パラランゲージと呼ばれる。パラランゲージは、音声のピッチ、音量、発話速度、音質などの非言語的要素であり、Tragerによって定義された[3]。我々はこれまで口唇動作を用いた非発声による発話認識や被験者の発話改善を目的とした口唇動作による発話トレーニングの研究を行ってきた[4][5]。これまでに我々は同じ句を同じ時に連続して発話させたときには、ほぼ同じ動作履歴になるが、日時を改めると発話のタイミング、強弱のリズム、振幅値等が変化することを確認している。この変化は、日々の体調、たとえば元気の有無で口唇の開き方に差が生じること、疲労、服薬、口内炎の影響など、様々な体調変化が滑舌に影響すると考えられる。Miwaらは、疲労と昼間の眠気との関係は複雑であり、パーキンソン病と関連している可能性があることを示している[6]。このような背景から、口唇動作を新たなパラランゲージとして用い、発話者の日々の体調、病状の把握に役立てることができると考えた。

一方、眼は心の窓とたとえられ、生き生きしている、どんよりしているなど感情や体調を表す有力な情報として日常的に利用されている。しかし、そのような眼の変化を心理物理的に測定して客観的に評価したものは見当たらない。そこで我々は眼の動きの中で固視微動に注目し、覚醒度、集中度を評価する試みを行ってきた[7]。人がどこかを注視しているとき、眼は一点に止まっているわけではなく、固視微動と呼ばれる小さな動きを絶えず行っている。固視微動には主にドリフト、トレマー、フリッカーの 3 種類あることが知られている。視線がとどまっている間の無意識の

眼球運動の中で 1 回の動きの幅が最も大きいものはマイクロサッカードと呼ばれている。このマイクロサッカードは、人の心理状態に反映されて変化するとされている。例として、人がある点を注視したままで周辺のある部分に注意を向けると、固視微動の方向が注意を向けた方向に偏る性質がある[8]。そこで、注意度が下がった時には、注視点の広がり小さく、注意を払っている時にはマイクロサッカード成分が増え、注視点が広がると仮定して、ドライブシミュレータ運転中の注意度を測る研究を行ってきた[7]。高速道路を模した道路を運転中の交通標識を注視すると注意度が上がり、その直前の注視より直後の注視で注視点の標準偏差が大きくなることが分かった。これらの注視点の広がり、個人の注意が増したときのマイクロサッカード成分の増加によるものや、疲労や病気により眼の動きが不安定になったことが考えられる。これらの 2 つの仮説に基づいて、眼球運動からの身体状態の変化を調べることにした。

我々は、顔画像から取得することのできる口唇動作や眼の動きが、日々の体調や病状の把握を示す広義のパラランゲージと考え、口唇動作と注視中の眼球運動だけでなく、フリッカー値、脈拍の 4 つの項目について測定を行った。本研究を進めるにあたって 2 つの仮説を立てた。1 つ目は、注視中の眼球運動は、1 時間の計算課題の間に徐々に大きくなるということ、2 つ目は、計算課題実施前の口唇動作は課題実施後の値と異なるということである。我々の目標は、患者や被介護者の体調を理解し、最終的には生活の質を向上させることによって、看護師や介護者の負担を軽減するということである。また、対話型ロボットとの一対一の会話で、眼球運動中の固視微動と口唇動作を分析することによって、患者の疲労、体調、および感情の変化を調べることも目指している。

2 章では、実験方法について説明する。3 章では、結果と考察について、最後に 4 章で我々の結論を述べる。

2. 実験方法

本実験では、計算課題を用いて口唇動作や眼球運動中の固視微動、フリッカー値、脈拍の変化をタスク前後で比較した。実験のフローチャートを図 1 に示す。まず、CFF (フリッカー) 値を測定する。次に口唇データの取得を行う。その後、1 時間の計算課題を行う。この際、10 分おきに脈拍を計測する。脈拍の取得にはサンワサプライ株式会社製の心拍センサー付きワイヤレスブルー LED マウスを用いた。このとき同時に眼球運動の計測も行った。計算課題終了後、CFF 値の測定、口唇データの取得を課題前と同様に行った。被験者は本学学生 2 名 (男性 1 名、女性 1 名) を対象に実験を行った。また、実験は本学内のシールドルームで行った。

[†] 東海大学, Tokai University

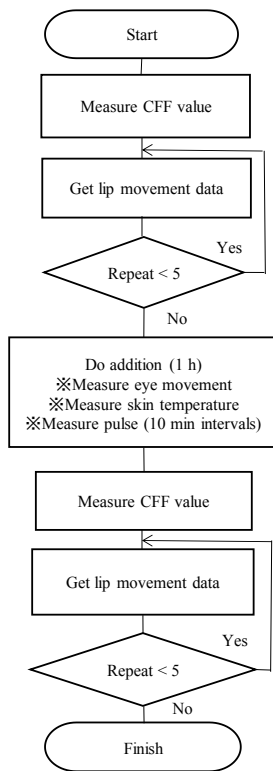


図 1 実験のフローチャート

2.1 CFF 値の測定

CFF(critical fusion frequency: 臨界融合頻度)は、大脳を含む高次の視覚特性であり、精神的疲労の測定に有効とされ従来から広く用いられている。正常値は 35Hz 以上と言われており、この値は疲労により低下する。フリッカー値の低下は視覚の末梢性疲労のみでなく、中枢性疲労の判定指標として測定の簡易性や判定性から有用とされているため今回指標の 1 つとした[9]。CFF 値の測定には竹井機器工業社製のフリッカー測定器 II 型を用いた。

2.2 口唇データの取得

口唇データの取得にはインテル RealSense 3D カメラを用いて、指定したフレーズを各 5 回ずつ発話してもらう[10]。図 2 に口唇特徴点取得画面を示す。被験者とカメラの距離を約 45cm にして撮影を行った。口唇動作取得に使用した PC はマウスノート PC (LB-F551SN) を使用した。本実験で用いた口唇特徴点取得アプリケーションは、日本語だけでなく英語にも適用できるため、今回の実験では英語の発話データも収集した。発話フレーズは日本語文では発話訓練用書籍「声が良くなる簡単トレーニング」[11] から「あ〜お」の母音を多く含む 5 文を抜粋してトレーニングに使用した。表 1 に使用したフレーズを示す。英語文では「通じる英語の発音エクササイズ」[12] から文中に似た発音を持つ 3 文を抜粋してトレーニングに使用した。表 2 に使用したフレーズを示す。

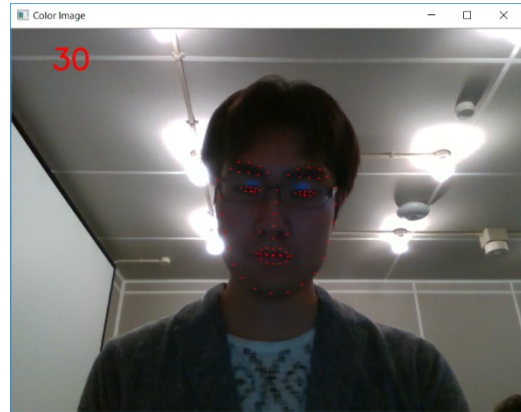


図 2 口唇特徴点取得画面

表 1 日本語発話フレーズ

| |
|----------------|
| 会ったら愛想よく挨拶しなさい |
| 生きがいを求めているこう |
| 歌を歌って憂さ晴らし |
| 荣誉よ、栄光よ、永遠なれ |
| オオカミの大きな遠吠え |

表 2 英語発話フレーズ

| |
|-------------------------------|
| Crime rates climbed lately. |
| The big volleyball above Bob. |
| The big pigs kicked big bags. |

2.3 眼球運動の計測

眼球運動の計測では PC モニター上で計算課題を行っている際の視線の動きを 1 時間測定した。計算課題は上下に隣り合った 1 桁の数字を足し算し続けてもらうものである。解答が 2 桁以上になる場合には下一桁のみ入力してもらった。被験者にはできるだけたくさん正確に計算を行ってもらおうよう教示した。表示には VAIO ノート PC (ソニー株式会社) を用いた。眼球運動測定には Tobii 社の Tobii EyeX を用いた。

3. 実験結果・考察

3.1 CFF 値について

表 3 は被験者 2 人の計算課題前後の CFF 値測定結果である。2 人の被験者共に CFF 値の減少が見られ、1 時間の計算課題による精神的疲労の傾向が示された。

表 3 読書前後の CFF 値

| | Before | After |
|-------------|--------|-------|
| Subject KYM | 37.9 | 36.6 |
| Subject KBY | 33.9 | 33.5 |

3.2 脈拍について

図 4 に例として被験者 KYM の計算課題中の脈拍結果を示す。今回、1 時間の計算では脈拍の変化に特別な傾向は見られなかった。その理由として、脈拍は個人差の大きい指標であることが考えられる。また起床時脈拍数は、疲労が蓄積すると 5~10 拍程度高くなると言われているが[13]、今回は実験中のデータのみを使用したためと考えられる。

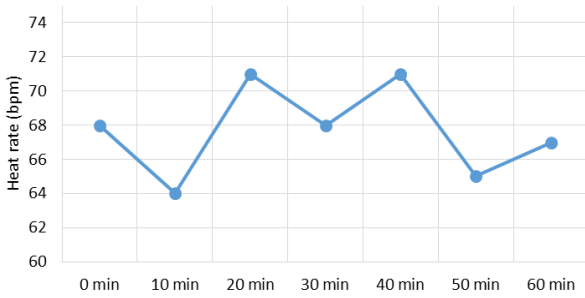


図 4 計算課題中の脈拍

3.3 口唇動作について

図 5 に口唇動作を良好に取得できた被験者 KYM が、計算課題実施前に「会ったら愛想よく挨拶しなさい」と発話した時の縦方向の口唇動作履歴を、図 6 は計算課題後に同フレーズを発話したものである。また、図 7 は被験者 KYM が、計算課題実施前に“The big pigs kicked big bags.”と発話した時の縦方向の口唇動作履歴を、図 8 は計算課題後に同フレーズを発話したものである。日本語のフレーズにおいて、課題実施前では、発話時間は 4.2 秒であったのに対し、実施後では発話時間は 5.1 秒と長くなった。一方、英語のフレーズにおいて、課題実施前では、発話時間は 5.0 秒であったのに対し、実施後では発話時間は 4.7 秒と短くなった。

表 4 に日本語、英語両フレーズの開口面積についてまとめたものを示す。開口面積は上唇の特徴点と下唇の特徴点の差分の和から面積を算出した。この表から、日本語のフレーズでは発話面積が計算課題後に大きくなったのに対し、英語のフレーズでは発話面積が小さくなる結果が得られた。この結果から、1 時間の計算課題は被験者の発話速度や開口面積に影響を与える傾向があることがわかった。

日本語と英語のフレーズにおいて全く異なる結果となった要因として、母国語であるかどうかによって被験者の発話の意識異なることが考えられる。被験者は英語に対する親しみが少なかったことから課題実施前は意識して丁寧に発話しようとしたと考えられる。

表 4 口唇開口面積 (日本語, 英語)

| | Before | After |
|------------------------------|--------|-------|
| 会ったら愛想よく挨拶しなさい | 491.3 | 593.6 |
| The big pigs kicked big bags | 594.7 | 555.6 |

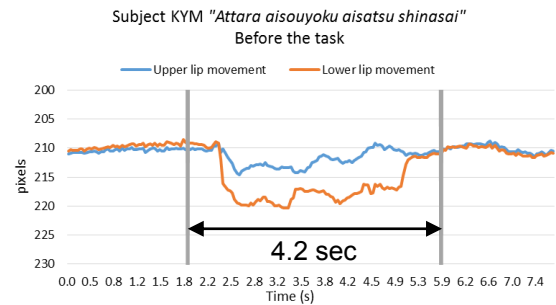


図 5 「会ったら愛想よく挨拶しなさい」と発話した際の口唇動作履歴と発話速度 (課題実施前)

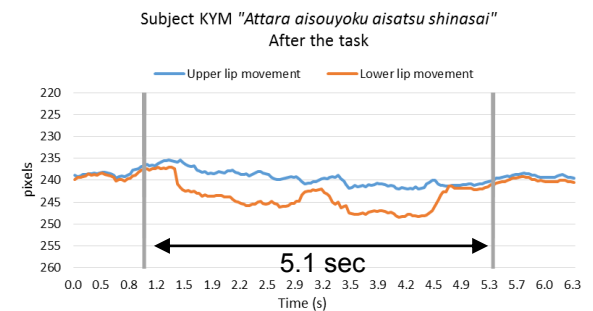


図 6 「会ったら愛想よく挨拶しなさい」と発話した際の口唇動作履歴と発話速度 (課題実施後)

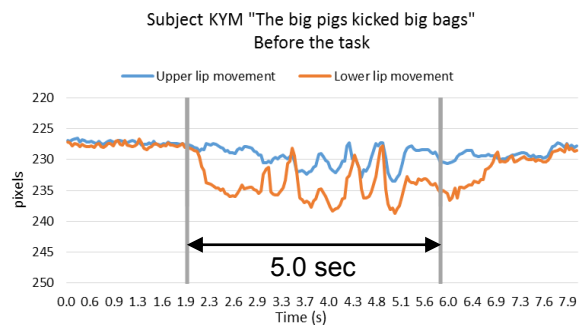


図 7 “The big pigs kicked big bags.”と発話した際の口唇動作履歴と発話速度 (課題実施前)

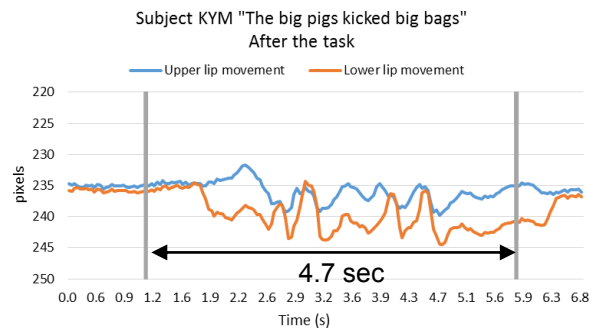


図 8 “The big pigs kicked big bags.”と発話した際の口唇動作履歴と発話速度 (課題実施後)

3.4 眼球運動について

動いている指標を注視する際に起こる追従運動の最大速度は、30 deg/s である。しかし、本実験では追従運動は生じなかった。さらに、眼球運動におけるサッカードと注視点を区別するための閾値として 30deg/s を用いて解析を行った[14-15]。今回は被験者 KYM を対象とした解析結果を示す。図 9 は被験者 KYM の時間経過ごとの Y 軸方向の注視中の眼球運動の平均と標準偏差である。Y 軸方向のみの結果を用いている理由は、用いた課題が縦方向に計算が進んでいくためである。図から課題中盤において固視微動の標準偏差がやや増加する結果が得られた。しかし、1 時間の課題を通して大きな変化は見られなかったことから被験者は一定のペースで課題を進めていたと考えられる。

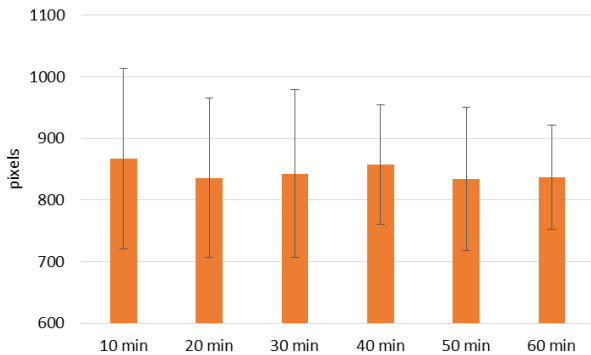


図 9 時間経過ごとの Y 方向の注視中の眼球運動の平均と標準偏差

4. おわりに

我々は、これまで行ってきた口唇動作や眼球運動に関する研究を医療分野に応用し、患者、被介護者の体調を把握し、QOL の向上および介護・看護者の負担軽減に資することを目的として口唇動作と眼球の固視微動による疲労と体調の評価を行った。

1 時間の計算課題を行った結果、被験者の発話速度や開口面積に変化がみられた。また、日本語・英語のフレーズによって差がみられた。しかしこれは一例にすぎず、全被験者に共通しているとは言えない。そのため、全被験者・全発話フレーズに対する比較・検討を進めていきたいと考えている。加えて、より多くの被験者を集め、統計的解析を行っていきたい。一方、眼球運動の測定では課題中盤において固視微動の標準偏差がやや増加する結果が得られた。また、CFF 値の測定では被験者 2 名共に CFF 値が減少したことから、計算による精神的疲労の可能性が示唆された。

本研究で取得しているデータは、被験者の身体に任意の装置を取り付けることなく得ることができるのが利点である。これにより、作業中のストレスを最小限に抑え、被験者の自然な反応を簡単に収集することができる。さらに、口唇動作取得の用いたデバイスは OpenCV によって動作するため、コミュニケーションロボットに応用することができると考えている。今回の実験では学生のデータのみを取得したが、Hara らは、施設入所高齢者の音声の音響学的要因は、身体的健康状態に関連した QOL スコアと有意な関連性を示したと述べている。また、音の分析による基本周期変動指数、振幅変動指数および雑音成分の指標である

Noise-to-Harmonic Ratio は、高齢者の健康調査とその経過を追跡するうえで、1 つの評価指標になり得ると述べた[16]。そこで、本研究でも口唇動作だけでなく、音声データも解析することで、高齢者にも適用していきたいと考えている。

今後の展望としては、先に少し述べたように口唇動作ではフレーズごとの傾向を比較・検討していきたいと考えている。他にも、今回用いた CFF 値の計測や脈拍といった他の生理指標との比較をし、相関を見つけたい。また、本実験では課題前後のデータしか取得していないため、被験者の日常の変化を調べていくためにも、同じ被験者のデータを 1 日のうちで異なる時間帯に取得したり、別の日に取得したりしていきたい。

謝辞

本研究は科研費 (16K01566) の助成を受けたものである。ここに深く謝意を表す。

参考文献

- [1] 株式会社 AGI, “声からの感情認識,” <http://www.agi-web.co.jp/index.html>
- [2] ソフトバンクロボティクス社, <http://www.softbank.jp/robot/special/tech/>
- [3] G. L. Trager, “Paralanguage: A First Approximation,” *Studies in Linguistics*, 13, 1-12, (1958).
- [4] 若松英輝, 寺尾太志, 山崎夢子, 山田光穂, “口唇動作による発話トレーニング法の提案,” *信学技報*, 113(468), 277-280, (2014).
- [5] 菅沼美由起, 山村知生, 星野祐子, 山田光穂, “口唇動作を用いた英語発話トレーニング評価手法の提案,” *パーソナルコンピュータ利用技術学会論文誌*, 11(2), 8-20, (2017).
- [6] H. Miwa and T. Miwa, “Fatigue in Patients with Parkinson's disease: Impact on Quality of Life,” *Internal Medicine*, 50(15), 1553-1558, (2011).
- [7] 斎藤雄太, 飯塚岳, 山田光穂, “雰囲気メガネのもたらす運転中の注意変化の分析,” *電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ*, 156, A-21-4, (2015)
- [8] 金子寛彦, “固視微動,” *映像情報メディア学会誌*, 63(11), 1538-1539, (2009).
- [9] 武田正治, “課題提示形態の差異による CFF 値の変化に関する一考察,” *人間工学*, 33(6), 385-392, (1997).
- [10] 黒澤勇樹, 菅沼美由起, 望月信哉, 星野祐子, 山田光穂, “新しく開発した口唇動作分析装置による疲労度実験,” *電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ*, (2017) 発表予定.
- [11] 福島英, “声がよくなる簡単トレーニング,” 成美堂出版, (2006).
- [12] 芝詩史, “通じる英語の発音エクササイズ: 早口言葉で耳と口を鍛える,” *語研*, (2011).
- [13] 起床時脈拍数から体調や疲労の程度がわかる, <http://www.overlander.co.jp/jitetore/jitetorehint20110911.html>
- [14] G. Westheimer, “Eye movement responses to a horizontally moving visual stimulus,” *Arch Ophthalmol*, 52, 932-941, (1954).
- [15] D. A. Robinson, “The mechanics of human smooth pursuit eye movements,” *F. Physiol.*, 180, 569-591, (1961).
- [16] 原修一, 三浦宏子, 山崎きよ子, 森崎直子, 角保徳, “介護施設入所高齢者の健康関連 QOL と音響学的分析手法を用いた音声機能との関連性,” *日本老年医学会雑誌*, 52(4), 391-398, (2015).