

心理的負担度推定に基づく視覚障がい者の自主性を考慮した歩行支援方式

代表研究者 山崎 託 芝浦工業大学 システム理工学部 准教授
共同研究者 新津 善弘 芝浦工業大学 システム理工学部 名誉教授

1 はじめに

視覚障がい者の電車ホームからの転落や歩きスマホユーザーとの衝突等様々な事故が問題[1]となっており、それらへの対策が早急に求められている。対策のひとつとして、各種センサを白杖に具備した電子白杖[2]–[5]を用いて、段差などの障害物の検知とその通知を行う方式が検討されている。これら電子白杖では、様々な方式で検知や通知の精度向上が図られている一方、あまり普及していないのが現状である。理由の一つとして、本来視覚障がい者は、自立的に白杖を使い障害物を回避しており、電子白杖による過剰な危険通知が視覚障がい者を混乱させ、その自主性を阻害することが考えられる。そのため、駅ホームの縁の部分での歩行等、危険度が真に高い場合に限定して通知する方法を検討する必要がある。一方、心理的負担や不安感等が大きい場合などにおいては、視覚障がい者が不慣れな状況に置かれているなどの理由が考えられるため、危険度がそれほど高くない環境においても、支援が必要と考えられ、心理的な負担を確認しながら通知する方法を検討する必要もある。したがって、視覚障がい者の歩行を適切に補助するためには、視覚障がい者が置かれている状況に基づく危険度と精神的な状態に基づく通知の必要性の両面から制御を行うことが必要であると考えられる。

そこで本研究では、視覚障がい者の自主性を尊重した歩行支援の実現を主たる目標とし、視覚障がい者から得られる生体情報に基づいた制御技術、及び視覚障がい者を取り巻く環境において危険の検出や通知を行うための通信技術の検討を主に実施する。特に、ウェアラブルデバイスから得られる生体情報を基にした視覚障がい者の心理的な負担の推定手法について検討を行う。これにより、電子白杖が検出した障害物や段差等について、心理的な負担が高い状況や真に危険と判断される状況の両面から通知の要否を決定し、限定して通知するために必要な情報の解析と抽出を行う。また、特に近年急増している歩きスマホや無謀運転の自転車や自動車の検出やその通知においては、視覚障がい者だけではなく、歩きスマホや自転車のユーザー側に対して、互いの接近を通知し、回避するための方式を検討する。

2 関連研究

2-1 生体情報と生体反応

日常生活の中で人々は様々な物事から心理的な負荷を感じている。そのような一般的にストレスと呼ばれる心理的負荷の要因の例として、温度、光、音などからの環境から受ける物理的な刺激である物理的要因、薬物や化学物質による影響や、空気環境による影響など化学的な刺激である化学的要因、人間関係や仕事など様々な社会的な影響による刺激である社会的要因が挙げられる。このような心理的な負荷を感じると、人々には身体的な反応が現れ、血圧の上昇、心拍数増加、手足の発汗などの現象がみられ、重篤な場合には循環器系や呼吸系などの疾患につながる場合もある。

このような人々の生体情報を計測し、それらの情報から得られる反応に基づき人々の集中力、注意力、心理的な負担などを推定する研究が様々な検討されている。特に、昨今では簡単に装着が可能、かつ様々な生体情報を得ることができるウェアラブルデバイスが多く開発されており、これらを通じて容易に生体情報を得ることができる。なお、本研究では屋外等の実環境における人々への適用を目標としているため、特にこのようなウェアラブルデバイスを用いた生体情報の計測と心理的負荷の推定を目的とした手法に着目する。

文献[6]では、心拍変動に着目することで、高精度に心理的負荷を評価する方法が提案されている。この手法で用いられている幾何学的図形解析は、高い耐雑音性を実現しているが、心拍変動の特徴の個人差が大きくなる。そこで、個人差の原因と考えられている呼吸性洞性不整脈成分による影響を低減することで、心理的負荷の推定精度を改善している。しかし、本手法では、被験者に対し安静な状態での実験を実施しており、本研究で対象となるような運動状態での計測精度については未評価である。

文献[7]では、NIRS センサから得られる脳内のヘモグロビン濃度の変化率を計測することで、心理的負荷の推定を行っている。分析の結果、感情を制御する役割がある右脳のヘモグロビン濃度の平均値は心理的負

荷によって変化することが示唆されている。また、NIRS センサから得られるヘモグロビン濃度に着目しているため、筋電位などの影響を受けやすい脳波や脈波に比べ、雑音の影響が少ないことが分かっている。しかし、NIRS センサでは脳深部の活動は計測できないため、微細な心理的負荷の検知は難しい。

3 ウェアラブルデバイスから得られる生体情報に基づく制御や心理的負荷推定

本章では、実環境において生体情報を取得するため、本研究で用いるウェアラブルデバイスについて述べる。なお、本研究では、視覚障がい者支援に付随する技術として、生体情報に基づく個人特定及び認証技術、歩行者や車両などが互いに協力することで、事故等を抑制するための歩車間通信技術についての検討も実施したが、本稿では特に主たる成果である生体情報に基づいた心理的負荷の推定技術について詳細を述べるものとする。

3-1 本実験で使用するウェアラブルデバイス

ウェアラブルデバイスとは、身体に装着できる小型のデバイスであり、多くの人に利用されている。その用途は多岐にわたり、メールやメッセージなどの情報確認や、運動の記録、生体情報の計測など様々な機能に応用されている。また、大型の計測器と異なりウェアラブルデバイスは着用者の行動を妨げないため、日常生活の中で着用が障壁とならず、容易に生体情報を計測することができる。特に本研究では、ウェアラブルデバイスから容易に取得が可能な生体情報である心拍変動、脳内ヘモグロビン濃度、ガルバニック皮膚反応 (GSR: Galvanic skin response) に着目し、それらが計測可能なウェアラブルデバイスとして、以下のものを利用する。また、同様にそれらを図1に示す。

(1) 心電波形センサ: hitoe ウェア

hitoe ウェア[8]は、着るだけで心電波形を計測することができる衣料型のウェアラブルデバイスである。一般的な心電波形を計測する機器は、電極部に電解質ペーストを塗る必要があることや、着用が容易ではなく不便であることが多いが、hitoe ウェアにおいては着るだけで心電波形を計測することが可能である。また、水分との親和性が高いため、hitoe ウェアを着用したまま運動をした場合に、汗をかいたとしても問題なく利用することができる。また、本デバイスから得られるデータは、胸部に装着する送信機から Bluetooth を通じてスマートフォンに送信されることで、解析することができる。

(2) NIRS センサ: HOT-1000

HOT-1000[9]は、近赤外光を用いて脳活動に関連する血流の変化を計測することができるウェアラブルデバイスである。医療現場などで用いられる脳活動計測器は、大型のため着用者の行動を妨げるが、HOT-1000 は頭部に着用するだけで計測することができる。HOT-1000 では、近赤外線分光法 (NIRS: Near infrared spectroscopy) という計測手法を用いて脳内のヘモグロビン濃度を得ることができる。NIRS では、測定部位に近赤外線を照射し、反射して戻ってきた近赤外線を計測する。脳内を通過した近赤外線は、血中のヘモグロビンに一部吸収されるため、反射した近赤外線の吸光度を基にヘモグロビン濃度を求めるのが近赤外線分光法である。また、本デバイスから得られるデータは、Bluetooth を通じてスマートフォンに送信されることで解析することができる。

(3) GSR センサ: Shimmer3 GSR+ Unit

Shimmer3 GSR+[10]は、皮膚の抵抗を計測することができるウェアラブルデバイスである。片手の人差し指と中指に電極を取り付け、その間の皮膚の導電性を計測することが可能であり、本デバイスから得られるデ



(a) Hitoe ウェア



(b) HOT-1000



(c) Shimmer3 GSR+ Unit

図1 本研究で利用するウェアラブルデバイス

ータは、上記 2 種類のデバイス同様に Bluetooth を通じてスマートフォンに送信されることで解析することができる。

3-2 ウェアラブルデバイスを用いた心理的負荷の推定

本節では、本研究における上述したウェアラブルデバイスを用いた心理的負荷の推定方法について述べる。従来の検討では、様々なデバイスを用いて単独の生体情報を取得し、心理的負荷を推定する検討が多い。一方で、ウェアラブルデバイスを用いる場合には、複数の生体情報を同時に取得することが容易である。したがって、本研究においては、様々な状況下において複数の生体情報を網羅的かつ同時に計測することで、それぞれの状況での生体情報の変化、及びそれらに基づいた心理的負荷の推定について検討する。ここでは特に、(1) hitoe ウェアを通じて得られる心拍変動を用いた心理的負荷の推定、(2) HOT-1000 を用いて得られるヘモグロビン濃度変化を用いた心理的負荷の推定、(3) Shimmer3 GSR+ Unit 通じて得られる GSR の変化を用いた心理的負荷の推定を述べる。

(1) 心拍間隔変動に基づく心理的負荷の推定

心拍間隔変動に基づいた心理的負荷の推定手順を以下に示す。推定には、hitoe ウェアから 5 ミリ秒間隔で得られる電位の変化に基づく心電波形を用いる。まず、hitoe ウェアにより計測した心電波形から、各心拍の最も鋭いピークである R 波が発生している時刻を抽出し、それら R 波の間隔である RRI (R-R interval) を求める。RRI は、人の状態に応じて変化し、呼吸を信号源とする高周波成分 (HF 成分)、血圧変化を信号源とする低周波成分 (LF 成分) の両者に応じて変動する。そこで本研究では、R 波の時刻に基づき得られる RRI の時間変動に対して、ウェーブレット変換を用いて時間周波数解析を行い、LF 成分と HF 成分を抽出する。ここで、ウェーブレット変換は 20 秒間隔で、直前 180 秒間の RRI に対して行うものとする。なお、ウェーブレット変換によって求めた HF は副交感神経の活性度、LF は交感神経と副交感神経の活性度を表す。一般的に、ストレス時に交感神経、リラックス時に副交感神経が活性化するとされているため、LF/HF から心理的負荷を推定することができる。

(2) ヘモグロビン濃度変化に基づく心理的負荷の推定

ヘモグロビン濃度変化に基づいた心理的負荷の推定手順を以下に示す。推定には、HOT-1000 から 0.1 秒間隔で得られる総ヘモグロビン濃度を用いる。一般的に、心理的負荷の影響によって、脳内の代謝が活発になり、脳に供給される血液量が増加するため、総ヘモグロビン濃度が増加する。したがって、この総ヘモグロビン濃度の変化を基に心理的負荷を推定することができる。なお、上記と同様に、計測したデータの 20 秒ごとの平均値から心理的負荷を推定する。

(3) GSR 変化に基づく心理的負荷の推定

GSR 変化に基づいた心理的負荷の推定手順を以下に示す。推定には、Shimmer3 GSR+ から 0.02 秒間隔で得られた GSR を用いる。心理的負荷の影響によって、交感神経が活性化し筋肉が緊張することで手足に発汗する。汗をかくことで、皮膚上の電気抵抗は減少するため、この変化を基に心理的負荷を推定することができる。なお、上記 2 つと同様に、計測したデータの 20 秒ごとの平均値から心理的負荷を推定する。

4 心理的負荷の推定実験

上述したウェアラブルデバイス及びその推定方法を用いて、実環境での心理的負荷の推定実験を実施した。以下に実験環境、実験手順、及び実験結果を示す。

2-1 実験環境と実験手順

本実験では、前述した 3 種類の生体情報から推定できる心理的負荷を確認するため、3 種類の基礎的な評価と 1 種類の応用的な評価を含む、状況が異なる 4 種類の環境で評価実験を行った。本実験では、基礎的な評価を行うため、外部から受ける環境的な要因として工事の騒音、自身の作業による内的な要因として内田クレペリン検査、及び物理的な刺激による要因として手で氷を握る刺激を負荷として用いる。ここで、内田クレペリン検査とは、1 桁の足し算を 15 分間行い、1 分ごとの計算量と正解率から性格や職業適性を評価する検査である。この 3 つの要因による負荷を与える実験を、20 歳代の 4 名の被験者に対して行った。被験者は hitoe ウェア、HOT-1000、Shimmer3 GSR+ をすべて着用し、安静 10 分、負荷 10 分、安静 10 分の順に生体情報を計測した。

また、応用的な評価を行うため、視覚障がい者の歩行を模した負荷を与える実験として、晴眼者が目隠しをした状態で白杖を使った歩行実験を行った。なお、本実験は、本学大宮キャンパス 5 号館 4 階の廊下にて、

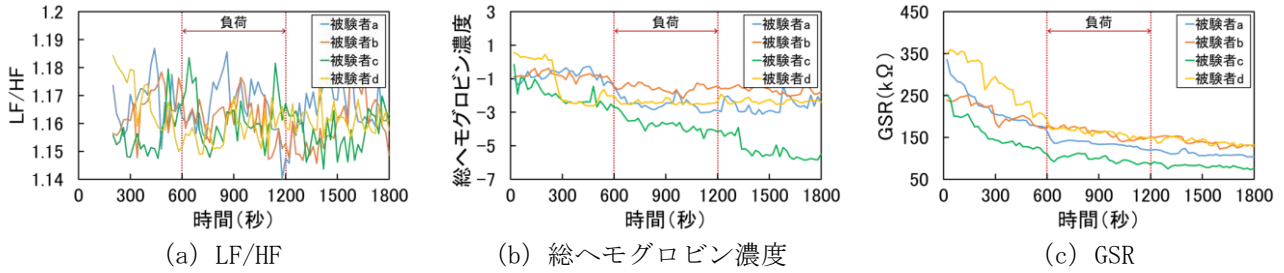


図3 基礎評価1：騒音による心理的負荷

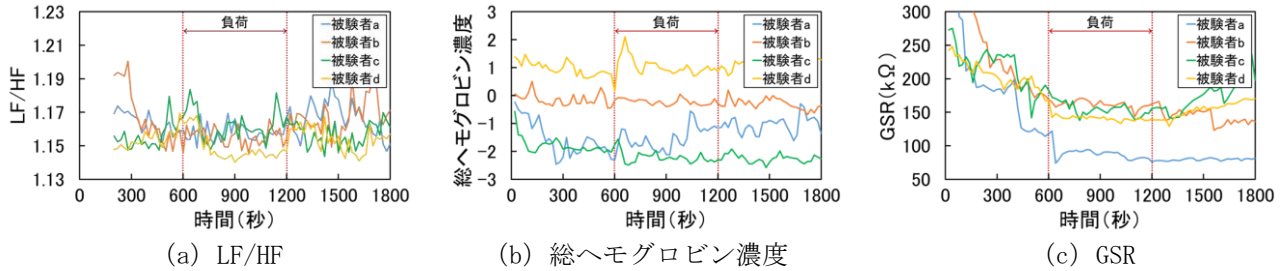


図4 基礎評価2：計算による心理的負荷

周囲の通行や安全に配慮しながら実施した。被験者は上述した実験と同様のウェアラブルデバイスに加えアイマスク着用し、安静5分、歩行5分、安静5分のデータを計測した。

本評価実験では、それぞれの生体情報の時間変化と、安静から負荷、負荷から安静に移行した際の有意差を基に評価する。有意差を基に評価する場合は、安静と負荷との状態変化をWelchのt検定を用いて有意水準0.05で評価する。Welchのt検定とは、2つのデータが等しい平均をもつか評価するための検定である。しかし、本研究においては十分な被験者数が得られていないため、参考値として用いるものとする。

2-2 実験結果

(1) 基礎評価1：騒音による心理的負荷

騒音による負荷を与えた際の生体情報ごとの測定結果の時間推移を図3(a)～図3(c)に、安静状態と負荷状態の状態変化に関するt検定の結果を表1に示す。

図3(a)より、LF/HFにおいては、いずれの被験者も負荷によるものとみられる値の変化はみられず、変動の大きさも後述するような他の負荷を与えた場合のものと比較すると小さい。

図3(b)より、総ヘモグロビン濃度の変化においては、被験者a, b, dの総ヘモグロビン濃度は実験終了まで大きく変化せず、被験者cは実験終了まで減少し続けている。表1では、安静から負荷に状態が変化するとき全員に総ヘモグロビン濃度に有意差があるという結果となっているが、総ヘモグロビン濃度変化の時間推移からは、騒音による心理的な負荷を適切に推定できているとは言えない可能性がある。

図3(c)より、GSRの時間推移においては、被験者a, c, dのGSRが負荷の開始とほぼ同時に減少しているが、実験開始直後から負荷の開始まで全員のGSRは減少を続けているため、心理的負荷による影響だということは難しい。また、この実験開始直後から負荷の開始までのGSRの減少は、実験に対する被験者の緊張によるものである可能性がある。また、騒音による影響は、発汗等による反応には影響が小さいとも考えられ、

表1 安静状態と負荷状態の状態変化に対するt検定の結果(参考値)

| 被験者 | LF/HF | | 総ヘモグロビン濃度 | | GSR | |
|-----|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|
| | 安静→負荷 | 負荷→安静 | 安静→負荷 | 負荷→安静 | 安静→負荷 | 負荷→安静 |
| a | 0.4303 | 0.8927 | 3.05E-26 | 0.4506 | 1.01E-11 | 1.18E-17 |
| b | 0.0729 | 0.371 | 4.09E-20 | 0.0518 | 1.34E-11 | 6.99E-10 |
| c | 0.0195 | 0.016 | 8.55E-17 | 1.99E-16 | 1.28E-08 | 2.58E-15 |
| d | 0.0007 | 0.0166 | 1.93E-05 | 0.0176 | 6.81E-13 | 6.80E-14 |
| 計 | 2 (50%) | 2 (50%) | 4 (100%) | 2 (50%) | 4 (100%) | 4 (100%) |

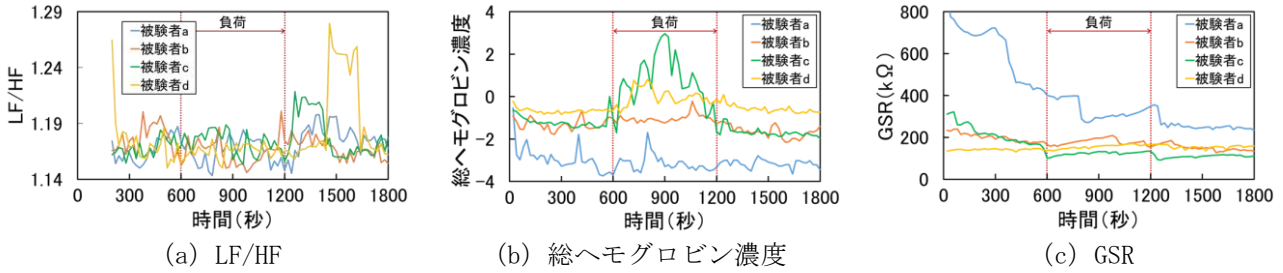


図5 基礎評価3：物理的刺激による心理的負荷

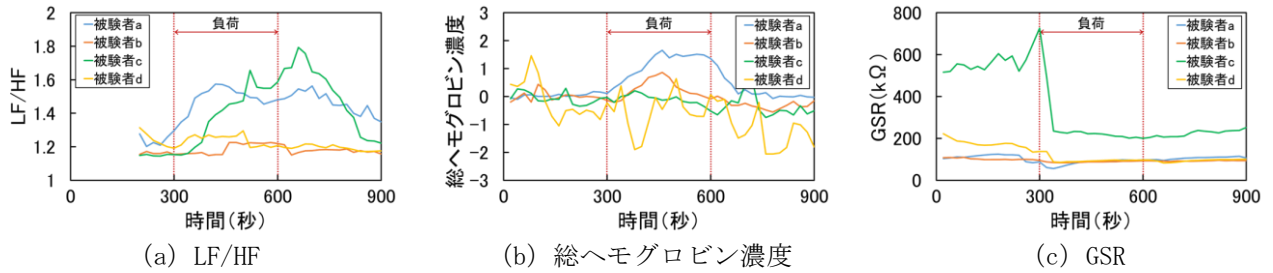


図6 応用評価：目隠し歩行による心理的負荷

環境的な要因による心理的負荷を推定するには不向きである可能性が考えられる。したがって、上述した全ての生体情報の結果を踏まえると、負荷の影響とみられる反応は少ないと考えられ、騒音による影響が小さい可能性と、実験に用いた騒音が負荷として不十分だった可能性が考えられる。ただし、本実験結果は晴眼者に対する基礎的な実験であることから、視覚障がい者に対して実施した場合、状況把握を行う際の聴覚に対する影響は大きいと考えられることから、より顕著な結果が得られる可能性がある。

(2) 基礎評価2：計算による心理的負荷

計算による負荷を与えた際の生体情報ごとの測定結果の時間推移を図4(a)～図4(c)に、安静状態と負荷状態の状態変化に関するt検定の結果を表1に示す。

図4(a)より、LF/HFにおいては、被験者a, b, dの負荷を与えて一定時間経過した後にわずかに増加していることが分かる。また、表1より、負荷から安静に状態が変化する際において全員のLF/HFに有意差があることが分かる。これは、被験者に負荷を与えた後、負荷による影響がLF/HFに発現するまでの時間に遅延が発生しているためだと考えられる。

図4(b)より、総ヘモグロビン濃度の時間推移においては、被験者a, dの総ヘモグロビン濃度が負荷の開始と同時に増加しているが、その後負荷を与えている途中から減少に転じており、全体的に大きな変化はみられない。また、表1でも、総ヘモグロビン濃度の変化に有意差がある被験者は少ない。計算による負荷は、総ヘモグロビン濃度に最も明確に反応が現れると考えていたが、簡単な計算の繰り返しを実験の負荷としたため、負荷の強度が不十分だったためだと考えられる。そのため、この結果を踏まえると、計算の負荷に応じて、総ヘモグロビン濃度に対する反応が異なると考えられる。したがって、実環境においては計算に値するような負荷がどのようなものかを定義し、今回の実験結果のように負荷が総ヘモグロビン濃度の変化に対する影響が小さいものなのか、より影響が大きいものなのかを詳細に検討する必要があると考えられる。

図4(c)より、GSRの時間推移においては、被験者a, dの値は負荷の開始とほぼ同時に減少している。また、被験者b, cのGSRは負荷の開始後も何度も増減を繰り返しており、負荷による反応だとはいえない。騒音による負荷を与えた際の実験と同様に、明確な反応がみられた結果は少なかったため、負荷の強度が不十分である可能性や、計算による負荷がGSRに与える影響が小さい可能性が考えられる。

(3) 基礎評価3：物理的な刺激による心理的負荷

氷による物理的な刺激を負荷として与えた際の生体情報ごとの実験結果の時間推移を図5(a)～(c)に、安静状態と負荷状態の状態変化に関するt検定の結果を表1に示す。

図5(a)より、LF/HFにおいては、被験者c, dのLF/HFが負荷の終了後に増加している。表1においても、負荷状態から安静状態に状態が変化する際の有意差もあることから、負荷の開始に対して遅延して反応が現れていると考えられる。

図5(b)より、総ヘモグロビン濃度の時間推移においては、被験者c, dの総ヘモグロビン濃度が負荷を与

えた直後に即座に増加している。また、表 1 から心理的な負荷が生体情報に現れていることが分かる。したがって、総ヘモグロビン濃度の反応の現れやすさは個人差があるものの、物理的な刺激等による負荷を与えられた際には高い精度で検知できる可能性がある。

図 5(c) より、GSR の時間推移においては、被験者 b, c の GSR が負荷を与えた直後から減少しており、物理的な刺激による反応であると考えられる。また、被験者 a, b では、負荷を与えた後に遅延して GSR の大きな減少が見られる。これは、生体情報への反応の遅延や、当該被験者が刺激を感じたタイミングが異なることによる差が考えられる。また、被験者 a, c は負荷の終了と同時に GSR が減少しており、これにより負荷が無くなるタイミングを検知できる可能性があると考えられる。

(4) 応用評価：目隠し歩行による負荷を与えた際の心理的負荷

目隠しによる負荷を与え、晴眼者が歩行した際の実験結果を図 6(a)～図 6(c) に、安静状態と負荷状態の状態変化に関する t 検定の結果を表 1 に示す。

図 6(a) より、LF/HF の時間推移においては、被験者 a, d は負荷の開始とほぼ同時、被験者 c は 40 秒ほど後、被験者 b は 140 秒ほど後に LF/HF が増加している。したがって、結果から心理的負荷による影響が心電波形に現れる可能性があるものの、そのタイミングには個人差があると考えられる。また、被験者 a, c は LF/HF の反応が大きく、被験者 b, d は a, c と比較するとかなり小さい。これは、a, c が負荷に対して心理的負荷を強く感じている、もしくは心理的負荷の影響が LF/HF に現れやすいなどの要因が考えられる。

図 6(b) より、ヘモグロビン濃度の時間推移においては、被験者 a, b の総ヘモグロビン濃度が負荷に対応して増減していることがわかる。一方、被験者 c は負荷の終了後一時的な増加が見られるものの、負荷による影響かについては判断が難しい。被験者 d の総ヘモグロビン濃度は、実験開始から終了まで不規則に増減しており、これについては負荷による変化とは考えにくい。

図 6(c) より、GSR の時間推移においては、全員の GSR が負荷の開始とほぼ同時に減少し、負荷の終了後は大きな変化が見られない。GSR は負荷の開始から生体情報に反応が現れるまでの遅延が小さく、心理的負荷の持続時間を推定することは難しいが、負荷の発生を検知するには適している可能性がある。被験者 c の実験開始直後の GSR は、異常に高くなっているためデータの信頼性は低い可能性はあるものの、個人差によるものである可能性も考えられ、より詳細な解析が必要である。

結果より、安静から負荷に状態が変化する時は LF/HF と GSR に、負荷から安静に状態が変化する時は総ヘモグロビン濃度に有意差がある被験者の割合が高い。これより、LF/HF と GSR では安静状態でも負荷による影響が残りやすいと考えられる。また、総ヘモグロビン濃度では、安静から負荷に状態が変化する時に有意差がある被験者は a, b だったが、図 6(b) より、負荷に対しての反応が明確に現れている。よって、総ヘモグロビン濃度の変化は個人差があるものの、目隠しでの歩行による心理的負荷の推定において有用性が高いと考えられる。

5 むすび

本研究では、視覚障がい者の歩行支援を主たる目標として、以下の検討を実施した。

- 視覚障がい者支援を目的とした心理的負荷の推定方法の検討及びその実験
- 間接的に視覚障がい者を支援するための、歩者間通信、危険検知及びその通知方法の検討とその実験
- 生体情報に基づいた個人の特定に関する検討及びその実験

特に、本報告書においては、実環境において容易に利用が可能であるウェアラブルデバイスを用いることで得られる生体情報を基に心理的負担を推定するための検討を行った。この検討では、3 種類のウェアラブルデバイスを用いることで、3 種類の異なる生体情報を取得し、3 種類の基礎的な環境と 1 種類の応用的な環境の様々な状況下において、特性の評価を行った。結果より、それぞれの環境ごとに反応する生体情報が異なることや、反応に遅延が生じる可能性などが示唆された。したがって、複数の生体情報を同時に併用することで、心理的負荷を検知した際に、より詳細にその状況を推定すること、より高精度に負荷の有無を推定できる可能性があることが分かった。一方で、本実験では、複数の生体情報について、様々な状況下において網羅的に検証を行ったが、限られた人数及び晴眼者のみに実験を実施していた。したがって、今後は結果の妥当性及びその詳細を更に解析するため、実験を拡大し、多くの被験者及び実際の視覚障がい者の方々の協力を得て再度詳細に検証をする必要があると考えている。

【参考文献】

- [1] 安部 信行, 橋本 典久, “視覚障害者の歩行環境整備のための歩行事故全国調査,” 八戸工業大学紀要, vol. 24, pp. 81–92, Feb. 2005.
- [2] WeWALK, <https://wewalk.io>
- [3] H. Husin and Y.K. Lim, “InWalker: smart white cane for the blind,” Disability and Rehabilitation Assistive Technology, vol. 15, no. 6 pp. 1–7, Nov. 2019.
- [4] M.F. Saaid, A.M. Mohammad, and M.S.A. Megat Ali, “Smart cane with range notification for blind people,” Proc. 2016 IEEE Int. Conf. Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS 2016), pp. 225–229, Oct. 2016.
- [5] M.H.A. Wahab, A.A. Talib, H.A. Kadir, and A. Johari, A. Noraziah, R.M. Sidek, and A.A. Mutalib, “Smart cane: assistive cane for visually impaired people,” arXiv preprint, arXiv:1110.5156, 7 pages, Oct. 2011.
- [6] 松本 佳昭, 森 信彰, 三田尻 涼, 江 鐘偉, “心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究,” ライフサポート, vol. 22, no. 3, pp. 105–111, Jan. 2010.
- [7] K. Sunthad, Y. Niitsu, M. Inoue, and T. Yokemura, “Brain’s stress observation system using 2-channels NIRS based on classroom activity,” IEEE ICCE 2019, Las Vegas, USA, 4 pages, Jan. 2019.
- [8] Hitoe®, TORAY Industries, Inc. website, <https://www.hitoe.toray>
- [9] HOT-1000, NeU Corporation website, <https://neu-brains.co.jp/solution/nirs/hot-1000>
- [10] Shimmer3 GSR+ Unit, shimmer website, <https://www.shimmersensing.com/products/shimmer3-wireless-gsr-sensor>

〈発表資料〉

| 題 名 | 掲載誌・学会名等 | 発表年月 |
|---|--|----------|
| Adaptive Search Area Configuration for Location-based P2P Networks | IEEE/ACM International Symposium on Quality of Services (IWQoS 2021) | 2021年6月 |
| 位置依存形 P2P における移動性を考慮した検索領域設定手法 | 2021年電子情報通信学会総合大会 | 2021年3月 |
| ウェアラブルデバイスを用いた様々な生体情報に基づく心理的負荷の推定 | 第26回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会 | 2021年3月 |
| 位置情報に基づく歩車間危険通知システムにおける負荷削減手法 | 第25回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会 | 2020年3月 |
| ウェアラブルデバイスを用いた心理的負荷の推定 | 第25回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会 | 2020年3月 |
| hitoe を用いた生体認証のための特徴量解析 | 電子情報通信学会技術研究報告 | 2019年10月 |
| Development and Implementation of Geo-location-based Peer-to-peer Communication Framework | Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2019) | 2019年9月 |