

## 人間重心検知による身体疲労とバイタルセンサーによるストレス度の関係

株式会社 竹中土木 正会員 ○濱名 正泰  
東京海洋大学 流通情報工学部門 正会員 渡邊 豊

## 1. はじめに

疲労の蓄積は、作業効率の低下や労働災害の一因と考えられる。近年、土木・建設現場の労働災害防止を目的に、バイタルセンサーなどのウェアラブルデバイスを用いた心拍数やストレス度などの計測による作業員の体調管理の取り組みが行われている<sup>1)</sup>。ウェアラブルデバイスにより遠隔から作業員の体調管理を行えることが利点であるが、一般的に利用されるバイタルセンサーの情報は年齢や生活習慣などの影響による個人差が大きく、客観的に疲労の蓄積状況を評価することは難しい。本報では、人体の揺動と身体疲労の関係<sup>2)</sup>に着目し、人体揺動の変化から疲労の蓄積状況の評価の可能性について調べた実験について報告する。

2. 人間重心検知理論<sup>3,4)</sup>

人間重心検知<sup>4)</sup>は、走行中のコンテナトレーラーの横転防止技術として実用化されている3次元重心検知理論<sup>3)</sup>を人体に応用したものである。人間重心検知理論および3次元重心検知理論の説明は、参考文献に譲るが、人間重心検知理論によれば、人体は、下肢(b1)が支える全体の重心①、脊柱(b2)が支える胸部から上部の重心②、鎖骨(b3)が支える頭部の重心③によって姿勢を保持しているばね構造体としてモデル化できる(図1)。3次元重心検知理論では、“重心静止限界高さ”という重要な概念があり、重心検知対象の重心高さが“重心静止限界高さ”を超えたとき、ばね構造体は静止することができなくなる<sup>5)</sup>。すなわち、人体では、人間重心検知理論で検知できる重心高さ(1)と“重心静止限界高さ(1max)”の差が小さくなったとき、姿勢保持に何かしらの影響が出ている状態に陥ったとみなすことができる。そこで、1と1maxの比率(1/1max)が作業負荷による身体疲労を評価する指標として有効であるか実験的に調べた。

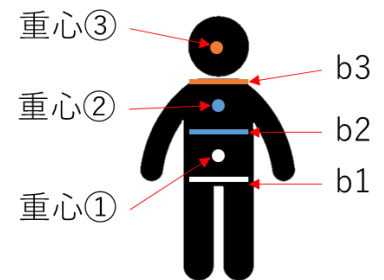


図 1. 人間重心検知理論による人体モデルの模式図

## 3. 実験内容

人間重心検知理論による計測は、加速度・角速度センサーを装着したヘルメット(図2)を使用し、歩行中の人体の揺動データを収集した。加速度・角速度センサーのデータはBluetooth通信によりノートPCに収録した。1/1maxと身体疲労の関係性を調べるため、約10kgの土質材料の“投入”、“敷均し”、“回収”作業を10回で1セットとし、計2セット(20回)、2名の被験者(表1)に実施していただいた。セット間には約20分の休憩を取った。“敷均し”作業終了後に、約20mの直線の往復歩行中の揺動データを上記ヘルメット(図2)により計測し、人間重心検知理論により1/1maxを算出した。また、バイタルセンサー(MEDiTAG)により、被験者の作業中のストレス度<sup>6)</sup>を測定した。

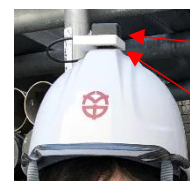


図 2. 人体揺動データ計測に使用したヘルメット  
加速度・角速度センサー  
モバイルバッテリー

図 2. 人体揺動データ計測に使用したヘルメット

加速度・角速度センサーのデータはBluetooth通信によりノートPCに収録した。1/1maxと身体疲労の関係性を調べるため、約10kgの土質材料の“投入”、“敷均し”、“回収”作業を10回で1セットとし、計2セット(20回)、2名の被験者(表1)に実施していただいた。セット間には約20分の休憩を取った。“敷均し”作業終了後に、約20mの直線の往復歩行中の揺動データを上記ヘルメット(図2)により計測し、人間重心検知理論により1/1maxを算出した。また、バイタルセンサー(MEDiTAG)により、被験者の作業中のストレス度<sup>6)</sup>を測定した。

表 1. 実験に協力いただいた被験者の基本情報

被験者	性別	年齢	身長	体重	備考
1	男性	30代	170 cm台	80kg 台	実験に初参加
2	男性	30代	160 cm台	60kg 台	2回目の参加

## 4. データ分析

収録した歩行中の揺動データの内、上下加速度と左右角速度に対して、周波数分析を行い、人間重心検知理

キーワード 人間重心検知, 3次元重心検知理論, 労働災害防止, 安全管理, IoT

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂1-1-1 (株)竹中土木 技術・生産本部 TEL 03-6810-6215

論に基づいて図1に示す3つの重心高さ(1)と“重心静止限界高さ(1max)”を算出した。図1の3つの重心、それぞれに対して、 $1/1max$ を求め、その平均値を疲労指数とした。

## 5. 結果

バイタルセンサーで計測したストレス度を図3に示す。被験者1のストレス度は、1セット目の後半と2セット目の中盤で10以上の値を示し、1セット目よりも2セット目の方が、ストレス度が高い傾向を示した。一方で、被験者2のストレス度は10以下の値を示していた。

被験者1と被験者2の人間重心検知理論による $1/1max$ の結果を図4に示す。被験者1の $1/1max$ は、作業が進むにつれて高くなる傾向を示し、1セット目よりも2セット目の方が、 $1/1max$ が高くなる結果となった。被験者2の $1/1max$ は、被験者1に比べて全体的に高い値であり、作業が進むにつれて若干低くなる傾向を示した。

## 6. 考察

MEDiTAGでは、ストレス度10以下をストレスのない健全な状態と判定することから、被験者2はストレスを感じる事なく作業できていたと考えられる。一方で、被験者1は作業が進むにつれて、若干のストレスを感じていたと考えられる。これは、表2に示す様に、被験者2は、以前、同様の実験に参加したことがあり作業に慣れていたため、リラックスした状態であり、一方で、被験者1は今回初めて実験に参加したことから、若干の緊張からストレス度が高くなったと考えられる。したがって、ストレス度の結果より、被験者2は終始リラックスした状態で作業できたことから、疲労はほとんど蓄積されなかったと推察でき、被験者1は緊張により、被験者2に比べ、疲労が蓄積しやすかったと推察できる。人間重心検知理論による $1/1max$ の結果は、被験者2では作業が進むにつれて、若干低くなる傾向を示していることから、ストレス度の結果と同様、疲労は蓄積されなかったと考えられる。被験者1の $1/1max$ は、1セット目よりも2セット目の方が高い値を示していることから、作業による疲労の蓄積を表していると考えられる。以上の結果より、人間重心検知理論により算出できる $1/1max$ は、作業負荷による身体疲労を評価する指標として有効であることが示唆された。

## 謝辞

本実験に際し、関西地盤環境研究センターの方々にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 村石ら：ウェアラブルデバイスによる作業時心拍数と体調に関する主観評価の関係、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、2020。
- 2) 小日向理早，渡邊豊：人間重心検知による身体疲労の計測，土木学会安全問題討論会B論文，2020。
- 3) 渡邊豊：重心検知装置および横転限界速度予測装置並びに貨物重量予測装置，特許番号：4517107，2010。
- 4) 渡邊豊，(株)竹中土木：判定装置および姿勢制御装置，国際特許出願番号 PCT/JP2020/004615，2020。
- 5) 川島進，渡邊豊：三次元重心検知理論による鉄道車両の軸ばねの劣化検知に関する研究，日本機械学会論文誌，79巻，803号，2013。
- 6) ホシデン(株)：[https://www.hosiden.com/dcms\\_media/other/meditagtsumura.pdf](https://www.hosiden.com/dcms_media/other/meditagtsumura.pdf)，2022/03/24 閲覧。

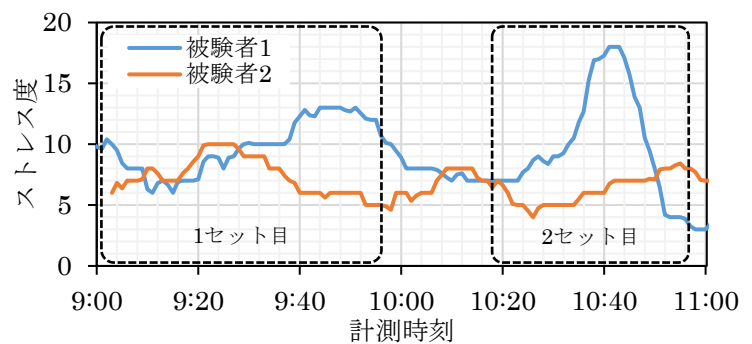


図3. バイタルセンサーで計測した被験者のストレス度

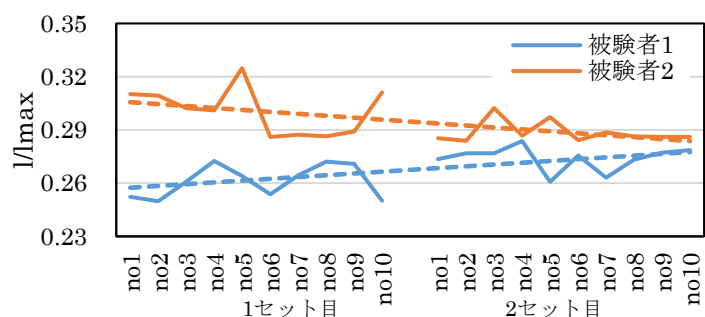


図4. 人間重心検知理論による被験者の $1/1max$