

ヘルメット型ウェアラブルデバイスによる 熱中症予兆検知に向けた実証実験と傾向分析

坂元 菜摘[†] 片桐 光貴[‡] 大山 慎太郎[§] 大塚 孝信[‡]

名古屋工業大学[†] 名古屋工業大学大学院情報工学専攻[‡] 名古屋大学未来社会創造機構[§]

1 はじめに

近年、日本国内の職場における熱中症死傷者数は増加の傾向にある^[1]。中でも、建設業では全業種の中で最も熱中症死傷者数が多く、毎年全体の約2割を占める現状となっている^[1]。加えて、建設業における労働者の高齢化が顕著である^[2]ことを鑑みると、建設業従事者の熱中症リスクは年々高まっていくことが考えられる。

そのため、本研究では、建設業従事者の装着が必須であるヘルメットに着目し、ヘルメット型ウェアラブルデバイスを用いた熱中症予兆検知を目的とする。本稿においては、医療従事者監修のもと、実際の現場において長期間の実証実験を行い、熱中症予兆検知の実現に向けて測定データの傾向分析を行った。

2 実証実験概要

● 使用システム

本実験では、研究室で開発しているシステム^[3]を用いてデータの取得を行なった。本システムは、作業員の環境情報・身体情報を計測する”モジュール”と、モジュールから計測データを受信しサーバへ送信する”親局”の大きく二つを使用する。モジュールは、図1のようにヘッドユニット、バックユニット、及びMiBand5から構成される。本実験ではモジュールを作業員に装着し、ヘッドユニットからヘルメット内温度・ヘルメット内湿度(相対湿度)、バックユニットからヘルメット外温度、及びMiBand5から心拍数の4つの要素を1分間隔で取得し、分析に用いることとした。

● 実施期間・参加作業員

本実験は、モジュール及び親機を電気設備工事や土木工事などを行う総合設備企業の管理のもと、作業員や作業現場に配備し、環境情報や作業員の生体情報についてデータ取得を行った。実証実験は2022年の8/8から9/12の期間中の計12日間にわたって行われ、被験者は20代から50代の男性作業員a~hの計8名を対象とした。また、

毎作業終了後に、当日の作業内容や体調不良の有無等を調査するアンケートを実施した。



図1: 環境情報・生体情報を測定するモジュールの概要

3 分析結果

● 測定要素・特徴量の分析

本章では、分析結果のうち熱中症予兆検知に用いることができる可能性が高い結果となった要素や特徴量について示す。

ヘルメット外温度

8/26 作業員 f において、測定されたヘルメット外温度と気象庁が公開している気温の推移を図に示す。図から見てとれるように、実際に観測された気温よりも 8°C ほど高い温度が追従する形で測定された。他の日時や作業場でも同様な傾向が見られ、ヘルメット外温度の方が実際の気温と比較して $9.49 \pm 2.69^\circ\text{C}$ (平均土標準偏差) 高い結果となった。しかし、気象庁が公開する気温は風通しの良い直射日光が当たらない場所で測定されているため、本デバイスで測定するヘルメット外温度の方が、実際の労働環境の気温に近いデータであると考えられる。よって、ヘルメット外温度は信頼される値であり、熱中症検知に用いられるのではないかと考える。

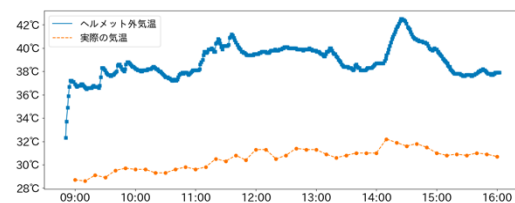


図2: 実際の気温とヘルメット外温度の推移

心拍数

測定された心拍数は振幅が大きく、ノイズが多い結果となったため、本研究では窓サイズ 10分で移動平均をとり、トレンド成分のみ取り出し用いることとした。移動平均を用いて平滑化された心拍数は、高齢になるほど最大心拍数が

Field Experiment and Analysis for Heat Stroke Prediction
by Helmet-type Wearable Device

[†] Nagoya Institute of Technology

[‡] Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

[§] Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

低くなるなどの一般的な知見を満たしており、ある程度の信頼性は担保されている。しかし、作業員の運動による変動が大きく、激しい運動等を行うと急激に心拍が上昇する傾向がみられたため、熱中症予兆検知に用いる際は環境情報や他の生体情報と組み合わせる必要があると考える。

発汗量の推定値

ヘルメット外温度・内温度・内湿度より発汗量の推定を行った。8/12作業員eのヘルメット外温度・ヘルメット内水分量と推定した発汗量を図3に示す。外気は気温が上昇するたび水蒸気量が一定の比率で増加することが知られている。図3(上)より、ヘルメット内は外気の影響を受けているものと考えられる。その中で、ヘルメット内水分量が追従していない部分(点線部分)は、発汗による水分量の影響を受けている部分と想定され、図3(下)の推定された発汗量における変動箇所と一致している。また、発汗量の推移を見て分かるように上昇部分は徐々に上がっていくのに比べ、下降部分は急激に下がっている様子がうかがえる。この推移の特徴は、発汗によって水蒸気量が徐々に上昇し、ヘルメットに外気が入り込んだ際に水蒸気量が急激に下がるという様子を反映できている。

以上より、発汗量の推定値は、作業員の発汗を検知できている可能性が高く、熱中症予兆検知に用いられるのではないかと推察する。

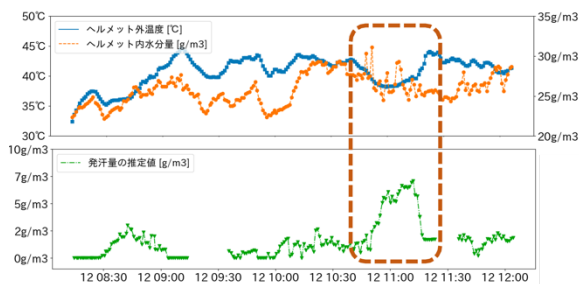


図3:ヘルメット外温度・内水分量と発汗量の推定値

● 暑熱順化の傾向

暑熱順化とは周辺環境に体を慣れさせることを指し、熱中症対策のひとつであることが知られている。暑熱順化は数日間かけて進行し、進行するほど、心拍数上昇や変動が小さくなるという特徴がある。また、同じ気温下であっても発汗量が増加することで熱放散しやすい体となり、熱中症になりづらくなる。

実証実験中、8/23作業員hにおいて、作業中に筋痙攣、作業後に生あくびの症状が報告された。いずれも、熱中症の症状の一つである。この作業員hについて暑熱順化の傾向が測定データに見られるか分析を行った結果、発症日に暑熱順化が不十分であった可能性が高い結果が得られた。

作業員hの日毎の心拍数の箱ひげ図を図4、ヘルメット外温度と発汗量の散布図を図5に示す。箱ひげ図より、日が進むごとに心拍数の分散が小さくなっていることから、暑熱順化が日に日に進行していることが読み取れる。また、散布図の図5より、同じ気温下であっても発汗量がおおよそ8/24→8/23→8/26の順に高くなっており、24日から26日には暑熱順化の傾向が見られた。23日から24日には暑熱順化の傾向が見られなかったが、その理由として23日が発症日であったことが考えられる。熱中症の症状の一つとして、多汗が挙げられるため、熱中症の症状が発生した23日は健康より汗をかいていたことが考えられる。つまり、23日から徐々に暑熱順化が進行しており、23日時点では暑熱順化が不十分であった可能性が発汗量の散布図から読み取れる。

結論として、心拍数、発汗量ともに暑熱順化の傾向が見られ、特に23日は暑熱順化が不十分で、熱中症リスクが高い状態であった可能性が高い。また、健康者の作業員には暑熱順化が進みきっているような様子が見られ、知見に一致する結果となった。以上より、本システムを用いて暑熱順化の傾向を確認できたため、進行度を測ることで熱中症リスク報知や熱中症予兆検知に用いられる可能性が示唆された。

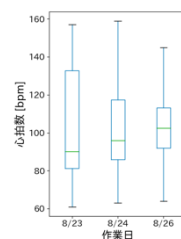


図4:心拍数の箱ひげ図

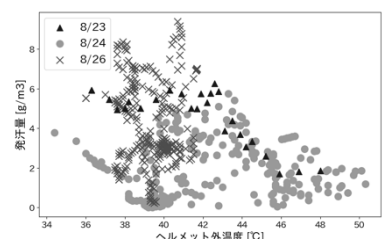


図5:発汗量の推定値とヘルメット外温度の散布図

4 さいごに

本研究では、実際の現場において長期間の実証実験を行い、熱中症予兆検知の実現に向けて測定データの傾向分析を行った。その結果、"ヘルメット外温度", "心拍数", "発汗量の推定値", 及び, "暑熱順化の進行度"の4つの指標が熱中症予兆検知に有効である可能性が示唆された。今後、さらに追加実験や追加検証を行い、最終的に環境情報と生体情報を組み合わせた熱中症予兆検知アルゴリズムの開発を目指す。

謝辞

本研究成果の一部は、株式会社シーテックとの共同研究によるものである。

参考文献

- [1] 厚生労働省.職場における熱中症による死傷災害の発生状況.
- [2] 国土交通省.最近の建設業を巡る状況について.
- [3] Takumi Yoshida, Masahiro Yamaguchi, Kazuto Kakutani, Shintaro Oyama, Takanobu Otsuka. Presage Detection for Heat Stroke using LPWA Communication and Wearable Devices, The 16th International Conference on KICSS 2021.