2025 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	**熱中症予測に向けた非定常運動時の動作特性に関する基盤的な研究** **－異なる気温条件下での生理的指標と加速度分布の特徴量による検証－**
キーワード	①労作性熱中症、②加速度信号、③生体力学的負荷モデリング

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏　名	マルタニ　ヨシヒロ 丸谷　賢弘
配付時の所属先・職位等 （令和７年４月１日現在）	関西大学 人間健康学部 特任体育講師
現在の所属先・職位等	同上
プロフィール	大阪府出身（1995 年生まれ）。 2018 年に大阪体育大学 体育学部を卒業後、同校大学院スポーツ科学研究科 博士前期課程に在籍。 2020 年に同校大学院 博士後期課程に入学後、大阪大学大学院 医学系研究科 特任研究員として研究業務に従事し、2024 年に博士後期課程を修了（博士：スポーツ科学）。 現在は、関西大学に勤務する傍ら、大阪大学大学院 医学系研究科 招へい教員として教育・研究・社会貢献活動に従事している。 ≪社会における活動≫ ・公益財団法人 日本オリンピック委員会 強化スタッフ ・公益財団法人 スペシャルオリンピックス・日本（兵庫）コーチ ・一般財団法人 ピックルボール日本連盟 常任理事 ・一般社団法人 関西テニス協会 スポーツ・医科学委員

1. 研究の概要

従来、労作性熱中症の予防に寄与するウェアラブルデバイスや予測手法の開発には、歩行や走行などの定常運動を対象に検討されている。しかし、学校管理下での労作性熱中症の発生件数を示した報告では、サッカーやテニスなどの非定常運動が発生件数の上位を占めているにもかかわらず、非定常運動を対象とした労作性熱中症の兆候を検出する試みはこれまでになされていない。また、労作性熱中症の予測手法に用いられている加速度ノルムは、定常的な歩行や走行に限定した評価を目的としており、非定常運動に着目した研究を推進することが重要である。

本研究では、労作性熱中症の予測モデル構築に向けた基礎的知見を得るため、異なる環境条件での非定常運動で生じる深部体温と加速度ノルムの分布から得られる特徴量（平均値、標準偏差）の経時的変化について検証した。

事前実験として、筆者らが提案した混合正規分布モデルによる生体力学的負荷の評価手法について、フィールド環境下で汎用性のある胸部装着型デバイスでの有用性を検討した。

本実験では、胸部装着型デバイスに加え、背部装着型デバイスを装着し、加速度信号を取得した。実施環境は、気象庁の気象データをもとに人工気象室を用いて中性環境条件（室温：20±1℃、湿度 56±0.5%）、暑熱環境条件（35±1℃、湿度 56±0.5%）の 2 条件を設定した。試技内容として、人工気象室内に置かれた 3 つの目印に対してダッシュし元の位置に戻って休息をとるプロトコルを採用した（図 1）。

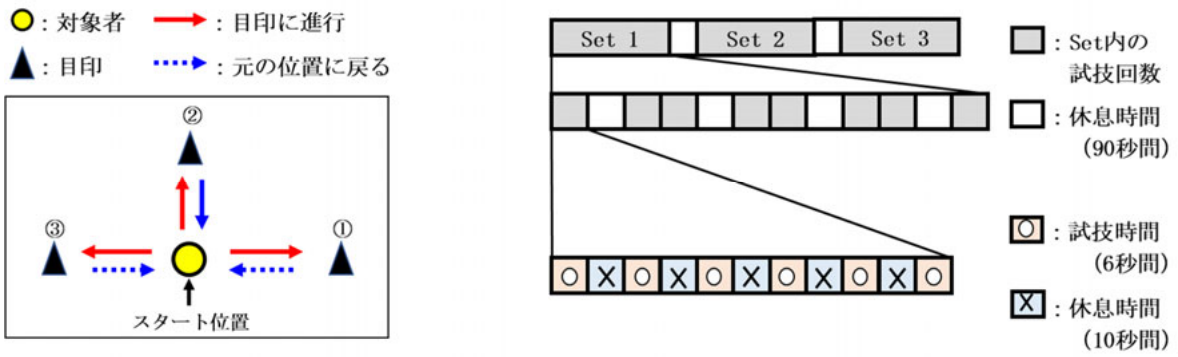


図 1. 人工気象室内での実施内容ならびに試技プロトコル内容

2. 研究の動機、目的

≪研究の動機≫

現在、地球温暖化や都市のヒートアイランド現象により、労作性熱中症による死亡者数は年間平均300件ほど発生している。そのため、近年では慣性センサデバイスによる動きと生理的指標（心拍数、深部体温）を同時に評価することで、労作性熱中症の兆候を事前に予測する手法が提案されている（Buller et al.,2022）。しかし、現行の予測手法では歩行や走行などの定常運動で得られる3軸加速度の二乗和（加速度ノルム）を測定区間内での単純な平均値として評価しており、複合的な動きを伴う非定常運動の評価には不向きである。また、従来 暑熱環境下では運動継続時間が大幅に短縮することが知られており、この傾向は非定常運動においても定常運動と同様に報告されている。しかし、トレッドミルやエアロバイクによる非定常運動の生理的特性のみを模擬した検証であり、暑熱環境が非定常運動で生じる動きの変化に及ぼす影響については未だ明らかとなっていない。そのため、筆者らが提案する混合正規分布モデルによる特徴量抽出（Marutani et al.,2023）を用いることで、今まで検証が困難とされてきた異なる環境条件での動作特性の変化を明らかにできるのではないかと考え、本研究に取り組むに至った（図2）。

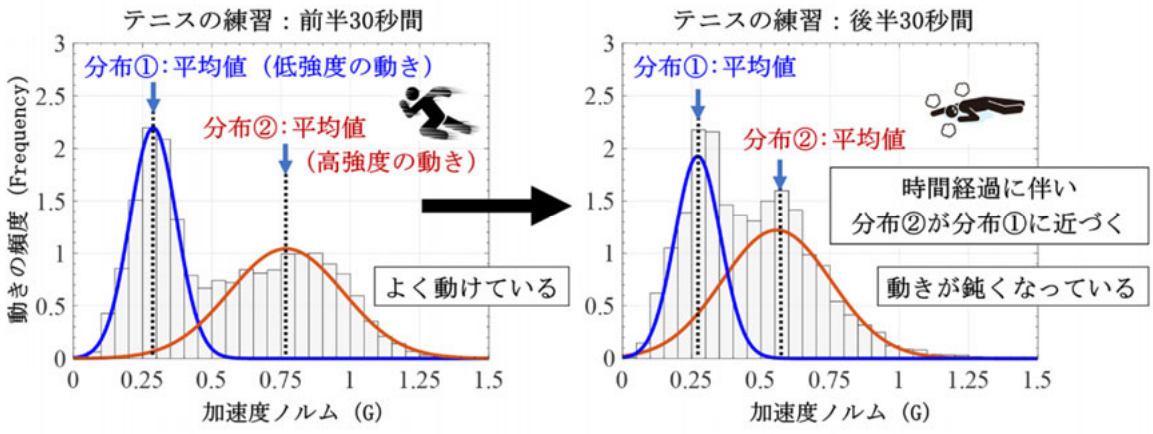


図2. 非定常運動で記録した加速度分布の傾向

≪研究の目的≫

本研究の目的は、異なる環境条件での非定常運動で生じる深部体温と加速度ノルムの分布から得られる特徴量（平均値、標準偏差）の経時的変化を明らかにすることとした。

3. 研究の結果

本研究では、暑熱環境が非定常運動で生じる動きの変化に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、異なる環境条件での非定常運動で生じる深部体温と加速度ノルムの分布から得られる特徴量の経時的変化について検証した。本研究課題は、以下のスケジュールにて実験準備、事前実験ならびに本実験を実施した（図 3）。

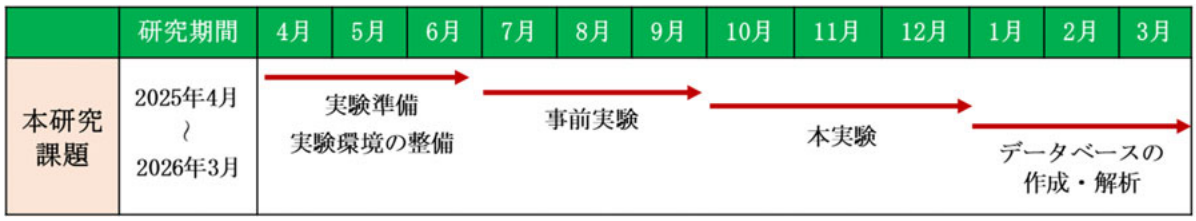


図 3. 本研究で設定した実験手順

事前実験では、男子大学生16名（年齢：20±0.5歳、身長：172.9±4.7cm、体重：60.6±5.4kg）を対象とし、本実験で実施した内容と同様の実験環境下での検証とピックルボールのダブルス模擬試合によるフィールド環境下での検証を実施した。事前検証において、実験環境下およびフィールド環境下で計測した両データに混合正規分布モデルを適用した場合、二峰性分布を示したことから、筆者らが提案する加速度ノルムの分布から得られる特徴量による評価は、胸部装着型デバイスにおいても同様の評価が可能であることを明らかにした。

本実験では、男子大学生6名（年齢：20±0.5歳、身長：173.0±3.0cm、体重：63.1±2.4kg）を対象とし、事前実験にて明らかにした成果を基に、胸部装着型デバイスで取得した 3 軸加速度信号より加速度ノルムの分布から得られる特徴量（平均値、標準偏差）、カプセル体温計より得られた深部体温データを用いて、各実験条件での経時的変化について解析を行った。

混合正規分布モデルによる特徴量抽出により得られた分布 2 の平均値と標準偏差について、主成分分析を実施し、得られた第 1 主成分（Principal Component1：以下 PC1）を 2 種類の加速度指標を反映した加速度特徴量として用いた。PC1 と同一区間における深部体温を組み合わせて 2 次元の散布図を作成し、各区間（Set1、Set2、Set3）での群間の平均値を算出し、各群間のユークリッド距離を求めることで、各区間での経時的変化について明らかにした。

本研究の結果、PC1（加速度特徴量）と深部体温は、暑熱環境条件において時間経過に伴う各群間の平均値間の距離が大きくなることが示された（表 1）。

	暑熱環境条件	中性環境条件
Set1 - Set2	1.34	1.04
Set1 - Set3	2.02	1.39
Set2 - Set3	0.72	0.37

表 1. 各群間のユークリッド距離（平均値間の距離）



写真 1. 人工気象室での実験の様子

本研究の当初の仮説では、暑熱環境条件では時間経過に伴い加速度特徴量は減少すると考えていたが、深部体温の上昇に伴い、加速度特徴量が増加することが示された。一方、中性環境条件では各群間のユーグリッド距離が暑熱環境条件に比べて近接しており、時間経過による大きな変化を示さなかった（図 4）。このことから、暑熱環境条件では深部体温の上昇に伴い、加速度特徴量が表現する運動パターン（動きの種類や頻度）が通常とは異なる状態に変化している可能性が考えられる。本結果は、加速度データから得られる特徴量を用いて熱ストレス状態を推定し、労作性熱中症リスクを早期に検知する新たな評価指標としての応用が期待される。本研究成果については、国内学会大会、海外学術論文として研究成果報告を予定している。

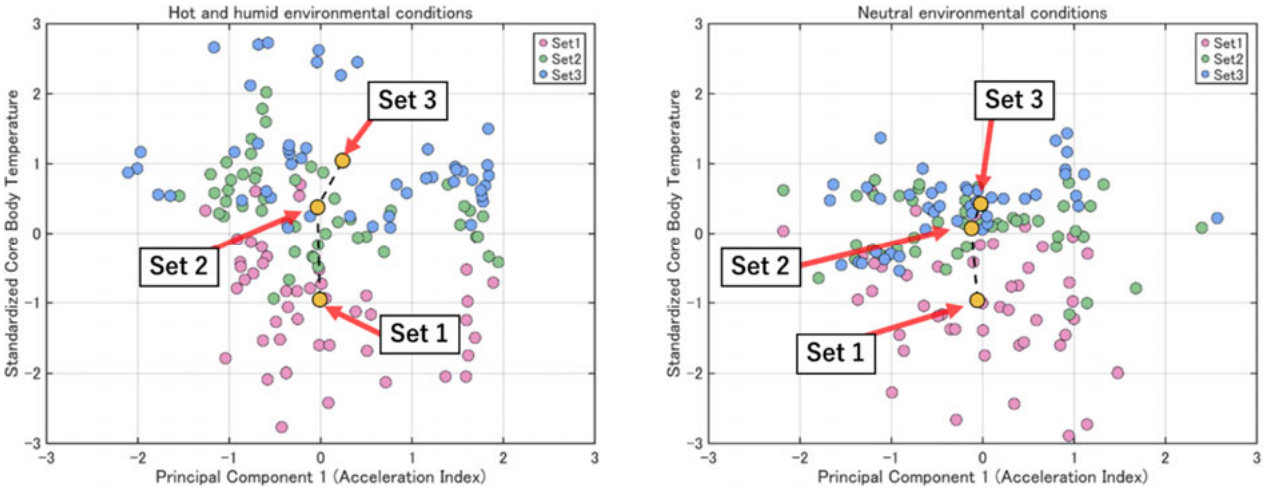


図 4. 暑熱環境条件（左）・中性環境条件（右）での深部体温と加速度特徴量の分布
（黄色：各群間の平均値）

4. 研究者としてのこれからの展望

現在、気候変動は年々加速しており、屋外環境で運動・スポーツをする機会が減少している。特に、現行の WBGT（暑さ指数）による判断基準では、多くの種目が実施不可となる状況であり、「すべて屋内で実施する」ことは教育現場や地域スポーツ環境においても実現が難しいことが想定される。そのため、健康維持・増進の観点からも、「個々の身体に合わせた運動機会の提供」が重要であると筆者は考える。現在、暑熱環境下で運動ができる学生が、十分な運動量を確保できない事例が発生している点からも、本研究を通じて労作性熱中症の予測モデルを構築することができれば、運動・スポーツ機会の増加や個々に合わせた運動量の確保につながると筆者は考える。また、指導者や管理者が適切なタイミングで休息や冷却介入を実践できる環境づくりにもつながると考えている。将来的には学術成果を一般化させ、誰もが安心して運動や労働に取り組めるような社会構築に貢献するとともに、国際的にも健康と安全を支える基盤構築を推進できる研究者・教育者を目指したい。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

本研究を行うにあたり、研究の意義にご理解をいただき、ご支援をいただきました日本私立学校振興・共済事業団の関係者各位ならびに奨励金をご寄付いただいた皆様に心より御礼申し上げます。労作性熱中症の予測研究に取り組んでまいりましたが、大学院を修了したばかりで研究費の獲得に苦慮していました。このように新しい課題に挑戦することが出来るのは本奨励金のおかげです。資金面でのご支援のみならず、研究を続ける大きな励みとなりました。本奨励金の理念を忘れず、研究成果の社会還元を目指し、研究者・教育者として謙虚かつ誠実な姿勢で一層尽力してまいります。