

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11876

研究課題名（和文）Research on Safe Posture Identification: Modeling the Inclined Plane Mowing Behaviors of Skilled Workers via Multi-sensors Big Data Analysis

研究課題名（英文）Research on Safe Posture Identification: Modeling the Inclined Plane Mowing Behaviors of Skilled Workers via Multi-sensors Big Data Analysis

研究代表者

武 博 (WU, B0)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・助教

研究者番号：70802031

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：研究チームは、広島県東広島市の山間地域にある棚田で調査と実験を実施し、65歳以上を中心とした熟練草刈り作業者の身体動作をデータ化し、多様な分析手法を用いて作業の安全性に寄与する要因を特定した。

65歳以上の熟練草刈り作業者の動作パターンを分類して解析したところ、効率的なパターンほど転倒リスクが高いということが分かった。関節角度計算に基づいて草刈り動作をサブアクションに分解して解析した結果、異なる経験を持つ草刈り作業者のサブアクションにおける動作の頻度や振幅には差異や類似性がみられ、また身体特性が身体の安定性に及ぼす影響が明らかになった。上述の研究成果を学術論文等にて公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、凸凹のある急峻な法面における安全な草刈り作業パターンを特定し、熟練草刈り作業者の経験を可視化する方法として、草刈り作業時の動作の細分化に関する分析手法を構築した。これらの実用性のある結果は、新人を対象とする教育とトレーニングに有用な知見を提供するとともに、草刈り転倒リスク検知システムを開発するためのデータ蓄積としても活用できる。それに加え、本研究で構築した分析手法は、今後の人間身体動作の分析にも活用されることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：The research team conducted surveys and experiments in terraced paddy fields located in a mountainous area. We collected data on the physical movements of skilled mowing operators, with a focus on individuals predominantly over the age of 65. We utilized a variety of analytical methods to identify factors that contribute to work safety. This analysis was conducted based on the classification of movement patterns among skilled mowing operators. It was found that efficient patterns have a higher risk of falling. As a result of analyzing the mowing motion by breaking it down into sub-actions based on joint angle calculations, we found differences and similarities in the frequency and amplitude of the sub-actions (pre-cutting) among mowing operators with different levels of experience. Additionally, we observed that physical characteristics have effects on the stability of the mowing operators. The above research results were published in academic papers and other scholarly publications.

研究分野：人間科学

キーワード：草刈り動作解析 農作業経験の可視化 経験的モード分解 身体運動計測技術の応用 農作業安全対策

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

(1) IoT (モノのインターネット) センサーや AI (人工知能) などのテクノロジーの発展により、農業領域でもこれらの先端技術が活用され、スマート農業の実証と実装は研究機関、農業機械メーカーと大規模営農現場によって進められている。スマート農業の実装は平地農業や施設園芸等を中心に展開され、中山間地域での応用が限られている。

一方で、農業の補助作業として畦畔・法面の草刈りは重労働として視され、近年、自走式草刈機 (ロボット) は一部の平坦地域に活用され、傾斜が急峻で地形的に複雑な中山間地域 (農業地域類型区分) において、作業従事者がエンジン式刈払機を用いて雑草を刈ることが一般的である。農業従事者の高齢化が進む中で、農作業の安全性に関する懸念が高まっている。

(2) 農作業安全性の確保は長年の課題である。(財) 日本農作業安全情報センターの調査によると、草刈り作業は最も事故が発生しやすい農作業の一つであり、事故の約3割が不安定な姿勢によることである。本研究グループの過去の分析結果によると、不適切な姿勢は作業従事者の腰、肩に大きな負担をかけ、場合によって転倒や滑落につながる危険性がある。急峻 (傾斜 1/20 以上) な法面における安全かつ効率的な作業パターンを特定する必要がある。

(3) 情報科学領域ではマルチセンサー技術の進化はほかの領域での応用に可能性をもたらしている。例えば、ウェアラブルデバイスの発展により、野外の環境でも視線を含める人体の動きに関する情報が高精度に収集できるようになった。これらのデバイスを活用した実験を通じて、草刈り作業従事者の身体動作から、作業現場の環境に対する識別や、集中力の変化などの判定が可能となり、リスクの低い草刈り姿勢の特定に寄与できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、熟練草刈り従事者の動作研究に焦点を当て、草刈りの動作分解を行い、転倒リスクに関連する要因を特定し、草刈りの安全性を確保する行動パターンを抽出することである。動作分解は、身体関節の動きを中心とし、その結果に合わせて眼球運動による視線の変化も分析対象とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 現地実験

#### ① 現地実験の場所選定

本研究は、図1を示した典型的な中山間地域である広島県東広島市旧河内町内のA地区にある複数の棚田の法面とその畦畔を実験場所にした。法面の幅は10m以上で、傾斜は1/20以上である。8月、9月の雑草の高さは2メートルを超える。法面には、経年劣化により、石や凸凹がある。

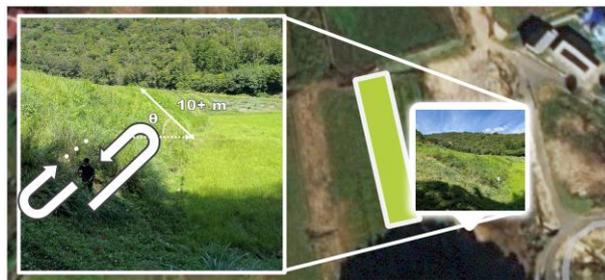


図1 実験エリアの地形と草刈り作業の軌跡

(2022年9月の実験場所)

#### ② 実験参加者の選定

実験参加者は地元の65歳以上の熟練草刈り従事者が中心である。比較対象として、65歳未満の農業経験者 (数名) も対象にした。

#### ③ 実験実施期間

2021年9月と2022年9月

### (2) 実験設備

#### ① 関節データ収集デバイス

本研究では図2に示した、身体関節の3次元座標を高精度 (60Hz) で収集できるウェアラブルデバイスであるモーションキャプチャデバイス Xsens MVN を使用し、草刈り従事者の身体動作のデータを収集した。Xsens MVN はフルボディモーションキャプチャシステムとして、加速度センサーを用いたウェアラブルなモーションキャプチャデバイスであり、被験者の関節の3次元座標を4ミリ秒ごとに記録することができる。このデバイスは屋外というような複雑な実験環境でデータを取得することを



図2 Xsens MVN と Tobii Pro Glasses 3 の実用化

このデバイスは屋外というような複雑な実験環境でデータを取得することを

サポートし、脊柱、腕、足等を含む合計全身 23 箇所の関節のデータを収集することができる。本研究は、このデバイスを中山間地域の農業現場に適用させることに挑戦し、実験参加者全員の身体動作のデータ化に成功した。

## ② 視線データ収集デバイス

作業従事者の視線データを取得するために、メガネ型アイトラッカーTobii Pro Glasses 3 を活用した。メガネ型アイトラッカーを農業領域で応用するのも本研究の特徴の一つである。日射強度が視線データの取得に支障をきたすため、作業従事者にアイトラッカーの外側に専用のサングラスを着用してもらい、データの正確性を確保した。

## ③ 草刈り用の機械

実験で使用したエンジン式刈払機は U 字型ハンドルのものである (図 2)。

### (3) 分析方法

#### ① パターンごとの特徴量の解析

実験で得た 3D 画像データと実験参加者へのヒアリング調査を踏まえ、法面での草刈り動作を 4 つのパターンに分けることができた。図 3 の通り、実験参加者の草刈り姿勢を移動しないままで刈る (Basic Mowing)、大股で移動しながら刈る (Stride Mowing)、移動しながら刈る (Moving Mowing)、下を向いて刈る (Downward Mowing) (B、S、D、M) に分類した。

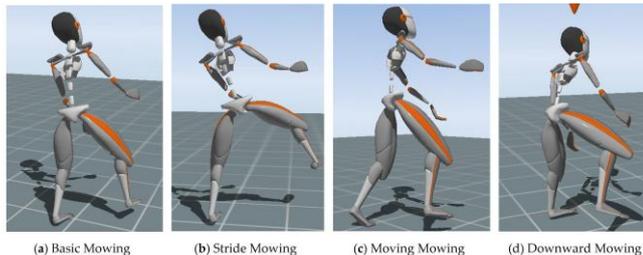


図 3 草刈りパターンの分類

カイ二乗分析結果から、ターゲット変数が正規分布になっていないことがわかった。それを踏まえ、前述のパターン間の類似性と相違性を特定するため、ノンパラメトリック検定であるクラスカル・ウォリスの一元配置分散分析法 (Kruskal-Wallis one-way ANOVA) を用いた。

#### ② モーションの分解

草刈り動作の細分化において、多変量経験的モード分解 (EMD) を用いて、モーションのプリミティブを抽出した。モーションプリミティブは複雑な動作を基本動作に分割することである。図 4 は、草刈りのモーションに適用されたモーション分解の例を示している。1 つの動作 (モーション) が複数の IMF (振動モード) に分解された。各 IMF に基本姿勢を追加すると、モーションプリミティブが得られる。例として、このように抽出された草刈りモーションプリミティブを視覚化すると、高速のプレカット (IMF4) と低速のプレカット (IMF5) の特定ができた。

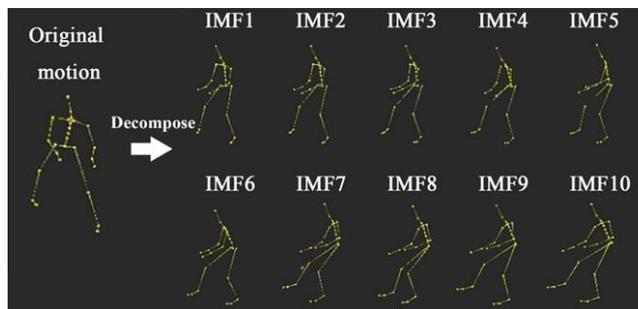


図 4 刈り上げモーションの分解例

## 4. 研究成果 (論文で公開済みの結果の一部)

### (1) 安全的な姿勢の特定

4 人の高齢の熟練草刈り従事者から収集した 627 セットの動作データを、クラスカル・ウォリスの一元配置分散分析法および関連するポストホック (pos-hoc) 分析を行った結果、刈り取りパターン B、S、D、M のすべての指標に有意差が認められた。

そして、ステップワイズ回帰の結果から、高齢で体格の良い作業従事者が法面で草刈りを行う際、安全への配慮が多い (安全性の高い姿勢) ことがわかった。転倒のリスクを減らすためには、作業従事者は傾斜のある場所で草を刈るときに、重心を安定させる下半身の姿勢だけでなく、腕の動きにも注意を払う必要があることが分かった。これらの結果は、転倒検知システム開発のためのデータとして活用でき、また、未経験と経験の浅い草刈り従事者のトレーニングに

Model Note	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	32.79	1.69		19.4	0.00
VLelbow	0.02	0.01	0.22	3.64	0.00
ArmSpan	-0.15	0.01	-0.41	-14.01	0.00
VLwrist	0.02	0.00	0.43	7.69	0.00
Age	-0.12	0.02	-0.24	-7.19	0.00
VRelbow	0.02	0.01	0.11	3.57	0.00

Note: R=0.847, R2=0.714.

図 5 ステップワイズ回帰の結果

も有用な知見を提供することができる。

## (2) 動作（モーション）の細分化

本研究では、経験的モード分解（EMD）の一種である Hilbert-Huang 変換（HHT）という行動分解法を用いた関節角度計算に基づく身体運動解析モデルを提案した。そのモデルで、法面における草刈り従事者の刈る前（プレカット）の行動データを解析することができた。その目的はプレカット動作における主なパターン（IMF）を分析し、草刈り経験の異なる作業従事者間の動作の違いを特定し、これらの異なるパターンにおける作業従事者の転倒リスク（安定性）に影響する要因を見出すことである。

その結果、図6に示すように、草刈りの作業動作に大きく2つのサブ動作が確認され、その動作速度から、高速プレカット（Fast Pre-mowing Action）と遅いプレカット（Slow Pre-mowing Action）と名付けた。高速プレカット動作では、ベテラン作業従事者が比較的経験の浅い（初心者）作業員よりも、全身のスピードと一部の重要な関節（右腕）の力の使い方に高い関連性を示した。対照的に、遅いプレカット動作では、その差のほとんどが使用する力にあった。以上より、経験豊富な作業従事者は、転倒しないようにバランスを保ちながら、効率よく切断を続けるために使用する力をうまく使うことで、初心者より上手く草刈りができる自信を持っていると推測できる。

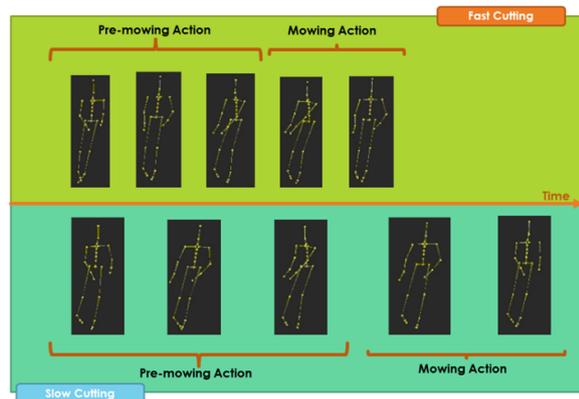


図6 速いプレカットとカットの組み合わせ

## (3) 身体動作解析モデルの構築

本研究では、「単一目的の能動的動作の大部分は、異なるサブ動作に分解できる」という仮説とこれまでの研究結果を踏まえ、身体動作解析のために関節角度計算に基づく比較モデルの提案を試みた。図7に示すように、一般的なモーションキャプチャ実験の場合、モデルはフィールド実験、データ処理、体動解析の3つの主要なプロセスからなる。

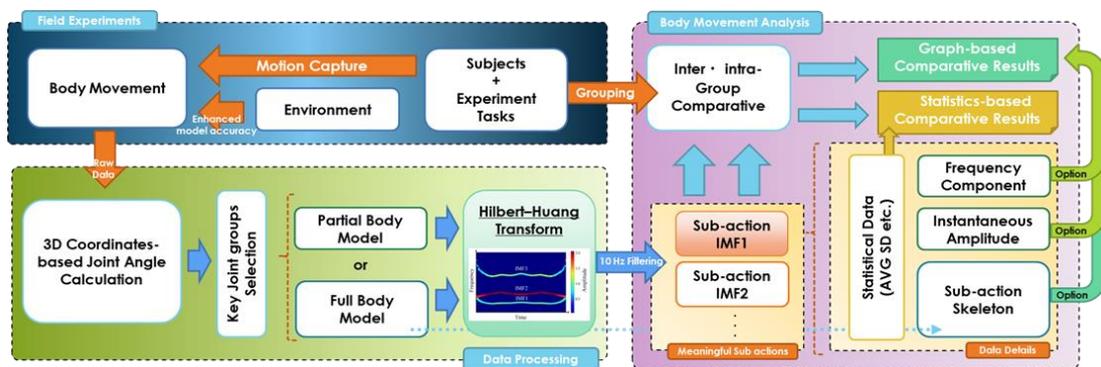


図7 関節角度計算に基づく身体運動解析モデル

- ① **フィールド実験 (Field experiments)**：一般的に人間の行動を比較するための実験の目的は、異なる実験対象者群間の類似点と相違点を見つけることである。そのため、本モデルでは、フィールド実験の段階では、あらかじめ実験目的に合わせて実験対象者のグループ分けを行い、実験場所の地理的環境データをできるだけ客観的に収集し、身体動作の最終的な3Dモデルの精度を向上させる。
- ② **データ処理 (Data processing)**：身体動作の初期データを受け取った後、データを機械学習やその他のブラックボックスアルゴリズムに直接投入しない。その代わりに、解析前の元の3次元座標に基づいて、実験対象者のすべての関節角度を計算し、実験目的に応じて最も関連性の高い部分を抽出し、身体行動の特性データを計算する。その結果に基づいて、対応するモデル（完全または部分）を選択し、HHT行動分解法を用いて対象の身体行動を分解し、次の解析のために全体統計量と時系列ベースのグラフデータを取得する。
- ③ **体動の解析 (Body movement analysis)**：すべてのサブアクションに明確な目的があるとは限らない。解析の前に、人間には知覚しない些細な動作を除去する必要がある（10Hzフィルタリング）。前述の対象者のグループ化と組み合わせ、グループ間およびグループ内の比較分析を行う前に、意味のあるサブアクション（IMF）を2つのタイプ（統計データとグラフデータ）に分類する。各タイプのサブアクションデータは、異なる比較方法で分析することができる。これにより、モデル利用者が、全体と時系列という複合的な視点から、対象となるサブアクションの目的と効果について解釈し、議論することが可能となる（成果2）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Wu Bo, Wu Yuan, Dong Ran, Sato Kiminori, Ikuno Soichiro, Nishimura Shoji, Jin Qun	4. 巻 13
2. 論文標題 Behavioral Analysis of Mowing Workers Based on Hilbert Huang Transform: An Auxiliary Movement Analysis of Manual Mowing on the Slopes of Terraced Rice Fields	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 489 ~ 489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture13020489	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Wu Bo, Zhu Yishui, Dong Ran, Sato Kiminori, Ikuno Soichiro, Nishimura Shoji, Jin Qun	4. 巻 0
2. 論文標題 Pre-braking behaviors analysis based on Hilbert Huang transform	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42486-022-00123-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Wu Bo, Wu Yuan, Nishimura Shoji, Jin Qun	4. 巻 22
2. 論文標題 Analysis on the Subdivision of Skilled Mowing Movements on Slopes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1372 ~ 1372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22041372	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Huang Xuan, Dong Ran, Wu Bo, Sato Kiminori, Ikuno Soichiro, Wang Zijun, Nishimura Shoji	4. 巻 20
2. 論文標題 A real-time recognition gait framework for personal authentication via image-based neural network: accelerated by feature reduction in time and frequency domains	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Real-Time Image Processing	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11554-023-01349-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Wu Bo, Tosa Koshiro, Sato Kiminori
2. 発表標題 A Walk-through Type Authentication System Design via Gaze Detection and Color Recognition
3. 学会等名 CyberSciTech2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wu Bo, Wu Yuan, Nishimura Shoji, Jin Qun
2. 発表標題 Analysis on Falling Risk of Elderly Workers when Mowing on a Slope via Motion Capture
3. 学会等名 CyberSciTech2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Guo, H. Kameda and B. Wu
2. 発表標題 Design of Household Robotic Arm System to sort Recyclable Resources based on Deep Learning
3. 学会等名 2023 IEEE Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (CyberSciTech) ( 国際学会 )
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 Q. Wang, K. Sato and B. Wu
2. 発表標題 Analyzing the Effects of Driving Experience on Backing Maneuvers Based on Data Collected by Eye-Tracking Devices
3. 学会等名 2023 IEEE Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (CyberSciTech) ( 国際学会 )
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 C. Zhang, K. Sato and B. Wu
2. 発表標題 A Design of Smart Glasses-Based Gesture Recognition and Translation System for Sign Languages
3. 学会等名 2023 IEEE Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (CyberSciTech) (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 J. Wang, K. Sato and B. Wu
2. 発表標題 A Study of Sketch Drawing Process Comparison with Different Painting Experience via Eye Movements Analysis
3. 学会等名 The 18th International Conference on Green, Pervasive, and Cloud Computing (GPC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 S. Xiong, K. Sato and B. Wu
2. 発表標題 A Smart Glasses-based Real-time Micro-expressions Recognition System via Deep Neural Network
3. 学会等名 The 18th International Conference on Green, Pervasive, and Cloud Computing (GPC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 S. Zhao, K. Sato and B. Wu
2. 発表標題 A Cloud-based Sign Language Translation System via CNN with Smart Glasses
3. 学会等名 The 18th International Conference on Green, Pervasive, and Cloud Computing (GPC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	呉 鷲  (Wu Yuan)  (30822423)	愛国学院大学・人間文化学部・准教授   (32523)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------