

令和 7 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2024

課題番号：20K19858

研究課題名（和文）知覚-運動モデルに基づく転倒リスクアセスメントツールの開発

研究課題名（英文）Development of the Fall Risk Assessment Tool Based on a Perception-Motion Model

研究代表者

内山 瑛美子 (Uchiyama, Emiko)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：30845269

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、転倒に関するリスク因子の探索・発見を目的として研究を行い、以下の成果が得られた。

躓きリスクに関わる奥行知覚へ姿勢が影響し、対向刺激を検知できる距離には俯角が関わることを実験的に示した。また、首振りによるバランス機能テストを開発し、このテスト前後で静止立位時の制御モデルを仮定してパラメータを同定すること方法でバランス能力を検証するモデルを提案し、首振り後に筋活動が高まることを解析から明らかにした。さらに、赤池情報量を用いた時系列情報の類似度検証、テキストマイニングによる転倒因子探索、マルチモーダルな複数のデータセットから転倒リスクに関わる共通の特徴を抽出する手法の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果では、知覚と姿勢の関係、姿勢制御を、モデルによって定量的に議論する方法が得られた。これらはヒトの行動に数理的な表現を与え、客観的にリスクアセスメントを行うための基盤となる。また、本研究で開発されたバランス機能テストは、5秒で10回首を振り、その前後での立位姿勢の変化を確認するもので、医療・介護に関わる専門職のリスクアセスメントの負担低減という点に社会的意義がある。データ科学的な転倒因子探索手法は、近年ますます高まるオープンサイエンスにおいて、ますます活用が期待される。特に、本研究成果を活用し、オープンデータを組み合わせると転倒因子を探索できれば、データ取得コストの大幅減が期待される。

研究成果の概要（英文）：For the stumble risk, the depth perception is known as the risk factor, and the effect of the posture (depression angle) to detect stimuli from the depth direction was experimentally shown. For the stagger risk factor, the head-shaking test, which tests the balance ability of the person was proposed, and the model which examines the balance ability using the control parameter identification method under the assumption of the control model in the static standing before and after this test was also proposed. Through the analysis of the model for the head-shaking test, we confirmed the muscle activity increased after the head shaking. Also, as the way of searching the fall risk factors, several method using data science were developed: The similarity verification method using Akaike information quantity, the text mining method for exploring fall factors was developed, and technique which extracts common features related to the fall risk from multi-modal multiple data sets.

研究分野：人間情報学

キーワード：転倒予防 姿勢制御 リスクアセスメント 知覚モデル 運動モデル データ科学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者にとって転倒、特に転倒に伴う大腿骨骨折に代表される怪我による要介護状態への遷延、あるいは転倒による更なる心身機能低下・再転倒の誘発は健康寿命を短くする要因となる。転倒を未然に予防する・転倒によって受ける影響を低減させることが求められる。フレイルの状態に陥っていく過程でヒトの身体機能・認知機能は相互に影響しあいながら低下していく。これまでの研究では身体機能/認知機能それぞれの機能低下の観点については多く調べられ、また近年認知症のような異常状態において運動や感覚がどのように変化するかについては調べられ始めている。しその過程の複雑さから、情報の知覚から運動の実行までの一連の行動生成プロセスに着目してモデル化を行う研究はこれまで行われてきていない。

### 2. 研究の目的

本研究では転倒のうち多数を占める躓き・ふらつきに着目し、リスク因子の探索・発見を目的とし、(A)心身機能低下が転倒を引き起こす機序のモデル化、(B)データ科学的アプローチによる転倒を引き起こす要因の探索手法の提案、(C)予防のためのスクリーニングテストの開発を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では(A)心身機能低下が転倒を引き起こす機序のモデル化、(B)データ科学的アプローチによる転倒を引き起こす要因の探索手法の提案、(C)予防のためのスクリーニングテストの開発を目指している。以下の3つに課題を分けて研究を行った。

#### 課題(A) 転倒を引き起こす機序のモデル化

ヒト内部の姿勢制御器を仮定し、そのパラメータの調節の失敗が転倒を引き起こすと考え、モデル化を行う。若年者・高齢者の通常時の立位姿勢保持と1 Hzで音に合わせて左右に首を振った後の立位姿勢保持について計測を行った(以降、首振り課題)。計測情報に基づき、姿勢を維持する制御器として制御パラメータを同定し、ロバスト性について議論した。

#### 課題(B) データ科学的アプローチによる転倒を引き起こす要因の探索手法の提案

データ科学的なアプローチによって、転倒を引き起こす要因を探索する手法を開発した。まず、時系列運動情報については、赤池情報量を用いてデータの類似度を測る手法を時系列データに対して適用し、時系列での身体の活動分布が相互にどの程度似通っているのかを調べることで個人の身体運動の特性を測り、特徴を探索する手法を構築した。次に、転倒の基礎データとして、転倒のテキスト情報を解析することで、転倒の原因を探索する手法を開発した。さらに、時系列運動パタンの連続値分布の空間と質問紙情報などの離散値分布の空間から、それぞれ共通の転倒リスクを判定する空間への写像を学習させることによって、マルチモーダルな情報を相互に補間しあいながら転倒リスクを判定できるような手法を提案した。

#### 課題(C) 予防のためのスクリーニングテストの開発

研究代表者が過去に提案した躓きモデルと、実際の深視力の関係を明らかにした。また、ふらつきモデルを簡易的に得られるスクリーニングテストとして開発し、その性能を評価した。

### 4. 研究成果

#### <2020年度の成果>

2020年度は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴い、実験・計測が不可能となった。そのため、課題(B)のうち、既存データの見直しと解析、基礎データを活用した解析手法の開発を行った。

#### 課題(B):

まず、膝前十字靭帯損傷リスクのスクリーニングテストである Drop Vertical Jump テストを行った際の、逆力学計算により得られた着地時の足の筋張力推定データ(既存データ)を用いて運動による怪我のリスクを探索する研究を行った。筋張力情報を自己回帰モデルとみなすことで赤池情報量を用いて類似度を計算し、各筋張力の時系列変化をデータ分布とみなした際にどの筋の時間分布が類似しているのかを解析することで、筋の協調を解析する手法を提案した。提案した方法で、四頭筋群の活動の赤池情報量が相互に近い値を取ることが確認された。また、研究の基礎データを得るための解析法として、転倒による大腿骨骨折で入院した高齢者のインタビュー調査の要約テキストデータ(既存データ)から Bag of Words を作成し、最頻10語とその共起語を特徴量として転倒の種類を解析する手法を提案した。ナイーブベイズモデルを用いて転倒の種類(予期せぬ力による転倒・バランスを崩した転倒・その他の3種)を識別する実験を行い、有用性を確認した。

<2021-2022 年度>

前年度は既存データを用いた解析に集中し、ヒトを対象とした実験・計測を行わない課題(B)に取り組んでいたが、2021 年度は課題(A), (C)に集中的に取り組むこととした。しかし、新型コロナウイルス感染症の流行と、研究代表者のライフイベントに伴う休業のため、後半半年は既存データを用いた計測・解析に切り替える必要があった。そのため、研究成果としては課題(B), (C)の成果が得られた。2021 年度は、計測中止と、研究代表者の休業のための研究中断によって、対外的に研究成果を公表することはできなかったが、2022 年度に研究を継続し、成果として公表した。新型コロナウイルス感染症の影響が大きかったため、研究実施機関を1年延長する申請を行った。

**課題(A):**

実計測にむけ、研究協力者を募ることができた。ただし、上述の理由から、計測は中止となった。首振り課題中の情報を計測した既存データの解析を行い、静止立位時の制御モデルを仮定してパラメータを同定することによって、従来のCoP (Center of Pressure; 足圧中心)に着目したバランス解析とは異なる視点でバランス能力を議論する手法を開発した。

**課題(B):**

課題(A)の実計測の中止に伴い、新たなデータ取得の必要性がない、既存データの解析に切り替えた。2020 年度に開発したテキストマイニングによる転倒実態把握手法を用い、Web で公開されている事故情報のテキストデータから、日常生活の中で転倒に至るきっかけとなる動作を転倒リスクの大きな動作として抽出した。

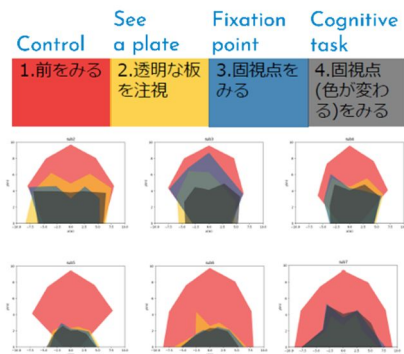


図 1 奥行方向の気づきの範囲。条件によって気付く範囲が異なる。

**課題(C):**

研究代表者らが過去に開発した躓きモデルでは、奥行方向の知覚と躓きに関係性があることを前提に、視覚的な入力である錯視の発生程度によって奥行知覚を定量化し、躓きリスクを議論していた。しかし研究を進めるにつれ、特に動的な移動の際には、ヒトの姿勢が進行方向に対する気づきに影響する可能性に気付いた。そこで、姿勢によって奥行方向の視野がどの程度変わるのが基礎的な検討を重ねた。実際に対向刺激を検知する距離を実験により測定し、奥行(進行)方向の気づきには姿勢が関わることを示した(図1)。

また、課題(A)で提案したバランス能力の表現手法を得るための首振り課題について、一連の計測フローをスクリーニングテストの試案としてまとめた(図2)。

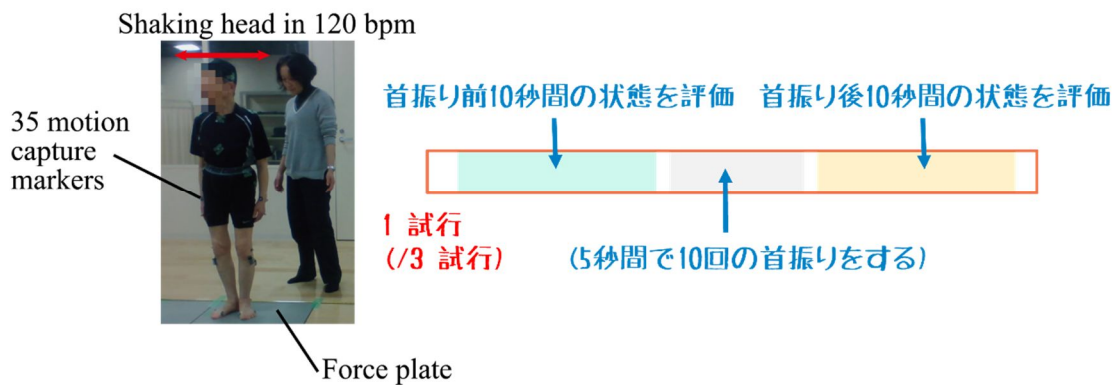


図 2 提案した首振り課題テストの Protokol. 120bpm で鳴らしたメトロノームに合わせて5秒間で10回の首振りを行い、首振り前後10秒間の姿勢を、開発したふらつきモデルで評価する。

<2023 年度>

2022 年度に報告したふらつきモデルについて重点的に研究を行うため、課題(A)に取り組んだ。また、研究代表者のライフイベントに伴う研究中断期間があったため、研究機関を1年延長する申請を行った。

**課題(A):**

2022 年度に開発された手法について、身体状況の変化に応じて、モデルとして仮定した制御器の制御パラメータに変化が起こることを示した。また、その制御パラメータ変化によって制御器に起こる挙動を示し、ヒトの身体に起こっていることを記述できないか検討した。また、研究代表者らがこれまで提案していた躓きモデルでは、奥行知覚の変化を自己俯瞰モデルの変化と結びつけて説明しているが、このような自己俯瞰モデルの変化が起こっても、ふらつきに関してはバランス制御モデルの制御パラメータ変化で説明して矛盾がないことを明らかにした。

**課題(C):**

課題(A)では、重心・足圧中心位置を中心にモデルについて議論してきたが、このモデルが真にバランス失調を捉えているのかを確認するために、下肢の筋活動変化について確認し、バランス失調のタイミングである首振り課題の後で筋活動が増加していること、筋活動に左右差がみられることを示した。

<2024 年度>

最終年度である 2024 年度は、課題(A)、(B)に重点的に取り組むことで、モデルや転倒リスク因子探索法の基礎を構築した。

**課題(C):**

特異値分解を応用して、モダリティが異なる 2 種のデータセットから共通の特徴を抽出する特徴抽出手法を提案し、2 種のデータセットで検証した。本課題で得られた知見を応用し、ロボット・人とのすれ違い時の衝突や家庭における転倒リスク予測因子への展開を模索し基礎データを収集するとともに、共同研究や新規研究への展開のため、本研究期間の成果を紹介しつつ、国際的なネットワークを広げることに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Emiko Uchiyama, Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura, Tomoki Tanaka, Katsuya Iijima, Gentiane Venture, Vincent Hernandez, Kenta Kamikokuryo, Kenichiro Yabu, Takahiro Miura, Kimitaka Nakazawa, Bo-Kyung Son	4. 巻 -
2. 論文標題 Coordinate System Transformation Method for Comparing Different Types of Data in Different Dataset Using Singular Value Decomposition	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL SOCIAL SYSTEMS	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSS.2025.3561078	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 内山 瑛美子, 高野 渉, 中村 仁彦, 今枝 秀二郎, 孫 輔卿, 松原 全宏, 飯島 勝矢	4. 巻 39
2. 論文標題 転倒・骨折者へのインタビューデータを用いた転倒実態調査手法の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 189 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.39.189	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 Head Shaking Test and Its Validity Considering from the Point of View of Muscle Activities
3. 学会等名 2024 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 Elderly Fall Prevention in Home
3. 学会等名 The 9th SNU-UTokyo Joint Workshop 「Diverse Mechanical Engineering」 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 HEAD SHAKING TEST: HUMAN BALANCE ABILITY EVALUATION TEST BY ESTIMATING CONTROL PARAMETERS FOR FALL PREVENTIONS
3. 学会等名 The 6th Jc-IFTOMM International Symposium (第29回日本IFTOMM会議シンポジウム) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内山瑛美子
2. 発表標題 静止立位状態の制御器を仮定したバランス失調のモデル化
3. 学会等名 第41回日本ロボット学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 System Stability Evaluation of Head-Shaking Test Using Balance Controller Parameters
3. 学会等名 The 16th IFTOMM World Congress [WC2023] (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲村圭吾
2. 発表標題 歩きスマホ時の検出能変化の調査
3. 学会等名 LIFE2022(第21回日本生活支援工学会大会・日本機械学会 福祉工学シンポジウム2022・第37回ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 Muscle Cooperation Analysis Using Akaike Information Criteria for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention
3. 学会等名 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society in conjunction with the 43rd Annual Conference of the Canadian Medical and Biological Engineering Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山瑛美子
2. 発表標題 スポーツ外傷予防のための筋張力時系列データ解析手法の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山瑛美子
2. 発表標題 転倒・骨折者へのインタビューデータを用いた転倒実態調査手法の検討
3. 学会等名 第38回ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama
2. 発表標題 Developing Fall Risk Assessment Test for Elderly People Using Human Model
3. 学会等名 Sakura Science Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者の個人ページ <a href="https://www.euchiyama.jp/publication">https://www.euchiyama.jp/publication</a> 研究代表者の個人ページ <a href="https://www.euchiyama.jp/publication">https://www.euchiyama.jp/publication</a>
--

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
研究協力者	高野 渉  (Takano Wataru)	大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任教授	
研究協力者	中村 仁彦  (Nakamura Yoshihiko)	東京大学・MBZUAI・工学系研究科・Department of Robotics・特任研究員・Professor	2024年3月まで東京大学に所属、2025年以降はMohamed bin Zayed University of Artificial Intelligence(MBZUAI)に所属
研究協力者	ベンチャー ジェンチャン  (Venture Gentiane)	東京大学・工学系研究科・教授	

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		
マレーシア	Universiti Sains Malaysia		
フランス	ENSAM Paris		

共同研究相手国	相手方研究機関			
セルビア	University of Novi Sad			