日本 IFToMM 会議 NEWS

No. 43　2026 年 9 月

Cutting-edge Research

日本 IFToMM 会議実行委員会が選んだ優れた研究を行っている若手会員が最先端の研究成果を解説する。

知覚・運動と環境に着目した，高齢者の転倒予防研究

内山瑛美子
東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻

1.　はじめに

人工の 21%を 65 歳以上の高齢者が占める社会を超高齢社会とよぶ．2025 年時点で日本の人口の 29.4%を高齢者が占めており[1]，日本は立派な超高齢社会である．超高齢社会にあたっては医療・福祉費の増大は避けられず，いかに健康寿命を延ばして生活を続けるか，どのように支援するかは社会的に重要な課題である．本稿では，これまで著者が従事してきた高齢者の転倒予防研究について紹介する．

2.　転倒者へのインタビュー調査

著者はこれまで，高齢者の転倒予防に着目した研究を行ってきた．転倒と一口に言っても，「躓き」「ふらつき」「滑り」など，多様な種類が存在する．著者らは，医学系・建築学系の研究者らとともに，東京大学医学部附属病院へ大腿骨近位部骨折により入院した患者への聴き取り調査，および退院後の実地調査を行い，転倒がいつ・なぜ・どのようにして発生したのかを聞き取り，整理し，転倒を「躓き」「ずり落ち」「滑り」「外力による転倒」「ずり落ち」「内力による転倒(ふらつき)」の 6 種[2]に大別できることを確認した [3].

3.　躓き・ふらつきに関する知覚・運動のモデル化

著者は，これまでの訪問調査で得られた高齢者の住宅内転倒体験から，躓き転倒を引き起こすリスク要因として，奥行知覚に着目した．しかし，転倒を実際に引き起こし，その様子を計測するのは安全面から懸念が残る．そこで，自身から 2-3 歩分(身長とほぼ同じ程度の距離)ほど離れた位置に置かれたボールの上部に取り付けた計測用のマーカを足で擦る Ball Approach Motion を考案し運動を計測する[4]とともに，奥行方向の錯視の起き方を調べることで奥行知覚をモデル化

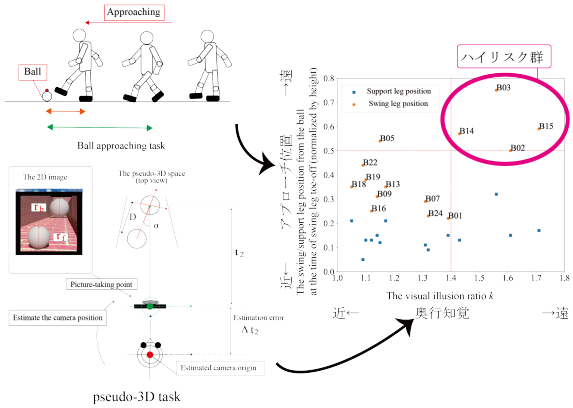


図 1 Ball Approach Motion と Pesudo-3D Image Test を組み合わせて奥行知覚と躓きリスクの関係を評価した.

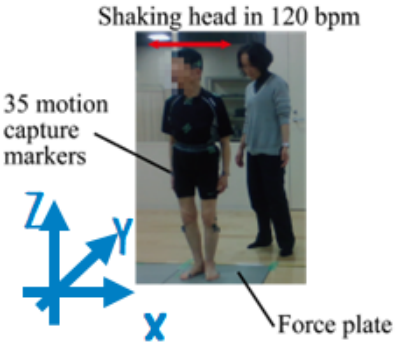


図 2 高齢者が Head Shaking Test を行う様子.

する Pseudo-3D Image Test を考案した[5]．Pesudo-3D Image Test では，遠近法を用いて描かれたボールの絵を研究協力者に見せ，2 つのボールが同じ大きさに見える(絵からボールの部分を切り取って重ねるとぴったりと重なる)よう，手前側にあるように描かれたボールのサイズを調整するという課題を実施し，その際の錯視の大きさに基づいて，疑似的 3 次元空間内の撮影点とボール位置との関係をモデル化できる．心的表象の真値を知ることは極めて困難であるが，仮想敵な真値を，錯視の理論値(これは元となる錯視から数値的にも計算可能であると同時に，若年者のデータからも確からしいことを確認してある)と比較することで，他者よりも奥行方向を近く感じるか，遠く感じるかを量的に相対評価することができる．

以上を合わせて奥行知覚と躓きリスクを評価する Depth Dependency Test として提案している(図 1).

Robinovitch ら[6]の，監視カメラを用いた観察研究によると，施設で暮らす高齢者の転倒要因で最も多いのは，不適切な重心移動であった．我々の聴き取り調査でも，転倒の発生は，トイレへの往復時に多く生じ，往復中の旋回動作に起因するのではないかという仮説を提唱している[7]．そこで，ふらつきのモデル化にも取り組んだ．倒立振子を仮定し，立位状態で 120 bpm のメトロノームに合わせて 10 回首を左右に振り，首振りの前後での立位バランス制御器のパラメータをそれぞれ同定することで，バランス機能の変化を評価する，Head-shaking test を考案した[8](図 2).

4. 異なるデータセットからの特徴量の抽出

以上のようなモデル化とその検証のための計測は，光学式モーションキャプチャやフォースプレートなどを用い，1 名の研究参加者あたり，2 時間程度の時間を計測に要する．しかし，集団としての全体的な傾向を見るためには，もっと粗く，単純な計測でのデータで構築されたデータセットも必要である．他にも，運動計測のような，装置を用いた客観的な計測のみならず，質問紙を用いて研究協力者の主観と結びつけたデータを取得することもある．異なるデータの取り方をしたデータセットから，共通の特徴，例えば身体的な虚弱と精神的な虚弱を見つけることはできないか，という課題から，主成分分析をベースにした手法を構築した[9]．この手法では，異なる 2 種のデータセットから，そのデータセットのデータがどのような特徴を含み得るかを指定することで，共通の特徴を抽出するような座標変換をかけることができる．サンプルサイズの異なるデータセットだけではなく，同一の集団に対して異なる調査方法を行ったデータセットに対しても用いることが出来る手法である．

5. 住環境内の環境・身体リスク評価に向けて

これまでは，研究協力者の声や，実験室で取得されるデータから試行錯誤をして転倒予防に迫ってきたが，住宅内転倒がどのように起き，何を支援すれば住み慣れた家で暮らし続けることができるのか？を明らかにすることもまた重要である．実際にどのように高齢者が住まっているのか，何に困っているのかを明らかにするには，住居での計測，そして住居での身体機能を評価する必要がある．そこで近年では，模擬住居や AirBnB を通じて借りた一般住居で住宅の情報を取得したり[10]，身体を保持する能力について，省センサで推定する研究[11][12]を推進している．今後は，より自然に，生活に密着した転倒予防研究，医療職の支援を通じた転倒予防支援を推進していく．

参考文献

[1] 内閣府，令和 8 年版高齢社会白書，2026.

[2] 今枝，孫，内山，他 7 名，「転倒・大腿骨近位部骨折で入院した高齢者の環境移行事例から見た多職種による建築的な転倒予防対策の検討<1>：自宅内の転倒原因となる建築的要因の解明」，日本建築学会計画系論文集，85 巻 773 号，pp.1387-1395，2020.

[3] 内山，高野，中村，他 3 名，「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」，日本ロボット学会誌，39 巻 2 号，pp.189-192，2021.

[4] E. Uchiyama, T. Mino, T. Tanaka, et al., “Study on stumble risk assessment from the motion data of the elderly”, Advances in Mechanism and Machine Science (Proc. of IFToMM World Congress 2019), pp.63-72, 2019.

[5] E. Uchiyama, T. Mino, H. Obara, et al., “Study on Stumbles of the Elderly from a Depth Perception Dependency Test”, 2019 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst. (IROS), pp.5659-5664, 2019.

[6] S. N. Robinovitch, F. Feldman, Y. Yang, et al., “Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study”, Lancet, Vol.381, Issue 9860, pp.47-54, 2013.

[7] B.-K. Son, M. Akishita, E. Uchiyama, et al., “Multiple turns: Potential risk factor for falls on the wayto the toilet”, Geriatr. Gerontol. Int. Vol.19, Issue 12, pp.1293-1295, 2019.

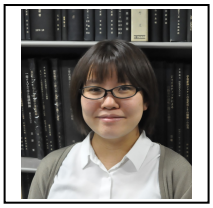
[8] E. Uchiyama, W. Takano, Y. Nakamura, et al., “Head Shaking Test: Human Balance Ability Evaluation Test by Estimating Control Parameters for Fall Preventions”, 日本 IFToMM 会議国際シンポジウム講演論文集，6 巻，Vol.6, pp.61-67，2023.

[9] E. Uchiyama, W. Takano, Y. Nakamura, et al., “Coordinate System Transformation Method for Comparing Different Types of Data in Different Dataset Using Singular Value Decomposition”, IEEE Trans. Comput. Soc. Syst., Vol.12, No.5, pp.3610-3626, 2025.

[10] W. Tang, T. Miura, T. Ueda, et al., “Monocular Room-level Topological Mapping for Indoor Environment Assessment”, under review.

[11] M. Nikolić, E. Uchiyama, K. Mori, “Estimating the Body Support Force From Simple Motions at Home”, 第 43 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2025), 1A1-04, 2025.

[12] M. Nikolić, E. Uchiyama, K. Mori, “Estimating Body Support Force for Physical and Environmental Fall Risk Assessment at Home”, under review.



内山瑛美子

博士(情報理工学).東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻助教．2014 年東京大学工学部機械工学科卒業．2016 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了，2019 年 同博士課程修了．日本学術振興会特別研究員，東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻特任助教，東京工業大学工学院機械系助教を経て現職.