

高齢要介護者における20秒マーチテスト時の頭部-膝関節変動量の特徴

久保 誠吾[†] 小濱 剛[†] 楠 正暢[†] 岡田 壮市^{††} 藤田 英二^{†††}
竹島 伸生^{††††} Brechue, William F.^{††††}

[†] 近畿大学大学院生物理工学研究科 649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

^{††} 鶴飼病院 453-0028 愛知県名古屋市中村区寿町 30

^{†††} 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系 891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1

^{††††} 朝日大学保健医療学部 501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

^{†††††} カークスビルオステオパシー医科大学 ミズーリ州カークスビル 800

E-mail: †{2133730019b,kohama,kusunoki}@waka.kindai.ac.jp, ††ukai-riha@kzan.jp, †††fujita@nifs-k.ac.jp,
††††takeshima@alice.asahi-u.ac.jp, †††††wbrechue@atsu.edu

あらまし 本研究では、要介護高齢者と自立高齢者との日常生活動作における特徴の相違を明らかにすることを目的にして、55歳から90歳の女性を対象に、20秒間のマーチテスト（足踏み運動）を実施した。このときの身体動作を汎用モーションセンサを用いて計測し、頭部および膝関節座標における運動パターンの特徴を分析した。その結果、要介護群は自立生活群よりも毎秒あたりの歩数が少なく、下半身に対して上半身がより大きく変動することが明らかとなった。このことから、要介護高齢女性は、上半身の動揺が大きくなって姿勢が不安定となっている可能性が示された。

キーワード 要介護, フレイル, モーションセンサ, マーチテスト, 動作解析

Characteristics of head-knee variability during the 20-second stepping test in elderly persons with long-term care

Seigo KUBO[†], Takeshi KOHAMA[†], Masanobu KUSUNOKI[†], Soichi OKADA^{††}, Eiji FUJITA^{†††},
Nobuo TAKESHIMA^{††††}, and William F. BRECHUE^{†††††}

[†] Graduate School of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University, 930 Nishimitani,
Kinokawa-shi, Wakayama 649-6493, Japan

^{††} Ukai Hospital, 30 Kotobuki-cho, Nakamura-ku, Nagoya-shi, Aichi 453-0028, Japan

^{†††} Department of Health and Sports Science, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, 1
Shiromizu-cho, Kanoya-shi, Kagoshima 891-2393, Japan

^{††††} School of Health Sciences, Asahi University, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu 501-0296, Japan

^{†††††} College of Osteopathic Medicine, A.T. Still University of Health Sciences, 800 Kirksville, MO 63501, USA

E-mail: †{2133730019b,kohama,kusunoki}@waka.kindai.ac.jp, ††ukai-riha@kzan.jp, †††fujita@nifs-k.ac.jp,
††††takeshima@alice.asahi-u.ac.jp, †††††wbrechue@atsu.edu

Abstract In order to elucidate the differences in characteristics of daily living activities between dependent and independent-living elderly women, a 20-second stepping test was performed on women aged 55 to 90. The body movements during the test were measured using a general-purpose infrared depth sensor, and the characteristics of the movement patterns at the head and knee joint coordinates were analyzed. The results indicate that the dependent-living group requiring long-term care took fewer steps per second than the independent-living group showing that their upper body fluctuated more greatly concerning the lower body. This is suggestive that dependent-living elderly women may have more significant upper body sway and postural instability.

Key words Dependent-living, Frail, Motion sensor, Stepping test, Motion analysis

1. はじめに

日常生活動作 (Activities of Daily Living: ADL) は、自立した生活の基盤となる重要な活動であるとされる [1]。世界に先駆けて超高齢化社会に突入した我が国においては、加齢による心身の衰えである「フレイル」と ADL の低下との関係について注目が集まっている。

一般に、フレイルは生物学的症候群であるとされ、複数の生理学的システムにもたらされる累積的なストレス要因によって、予備能力や生理機能の低下が生じ、健康障害に対する脆弱性が引き起こされたものであるとされる [2]。フレイルは、身体的、認知的、心理的、栄養的、社会的な要因が関与すると考えられるが、フレイルを理解する上ではその定量的評価が課題となる。特に、身体的制限や生理的予備能の低下をメカニズムレベルで理解するためには、身体動作能力や機能に対する評価が必須である。

一方、フレイルのリスクは年齢とともに増し、身体障害や ADL 障害もまた年齢とともに増加することが知られている [3] [4]。また、高齢のフレイル患者は、非フレイル高齢者と比較して ADL 障害のリスクが高いことも示されている [5] [6]。こうしたフレイル集団に対する身体機能の定量的解析に基づいた ADL との関連の評価は、加齢に伴ったフレイルのリスクや、フレイルに起因する ADL 障害や身体機能障害の予防あるいは進行を遅延させるための具体的介入策の特定など、臨床的に見て極めて有用であると思われる。

フレイル評価の対象についても種々検討されており、運動機能の減退は歩行速度の低下をもたらすことから、歩行速度がフレイルと ADL 障害の予測因子となることが期待されている。しかしながら、歩行速度の変化は多因子的で非特異的であることから、その評価は容易ではない。加齢にともなう歩行速度の低下は、姿勢のバランスを制御して転倒を防ごうとするために生じていると考えられることから、歩行に類する足踏み運動 (マーチテスト) 時における姿勢制御の特徴がフレイルの評価における重要な要素となる可能性が示されている [7]。

そこで本研究では、要介護高齢者と自立高齢者との ADL における特徴の相違を明らかにすることを目的として、55 歳から 90 歳の女性を対象にして、20 秒間のマーチテストを実施した。このときの身体動作を汎用モーションセンサを用いて計測し、頭部と膝部における特徴量を定量的に評価し、自立高齢者と要介護高齢者とで比較を行った。その結果に基づいて、身体制御のバランス能力と介護度合いとの関係性について考察した。

2. 実験方法

本研究では、Takeshima et al. [7] の実験方法を踏襲した。開眼における 20 秒間のマーチテストを実施し、家庭用ゲーム機に用いられる汎用モーションセンサである Kinect™ V2 (図 1) を用いて、このときの身体動作を計測した。実験参加者は、事前に Functional Independent Measure (FIM) の評価を受けた地域在住の女性 (55 歳~90 歳) であり、要介護者群 (Dependent Groupe: DG) と自立生活者群 (Independent Group: IG) に分類された。DG は 25 名であり、IG は 19 名であった。



図 1: Kinect™ V2 の概観

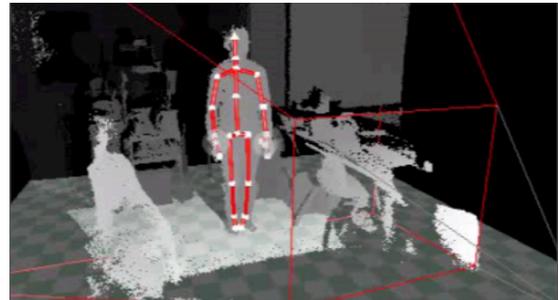


図 2: 計測中の深度画像の一例

Kinect™ V2 の設置位置は、最も高精度に計測できるとされる [8] 計測対象者から 3 m、床面から 1 m の高さとなるように設置した。Kinect™ V2 で記録された実験中の深度画像の一例を図 2 に示す。

3. 解析方法

3.1 運動開始・終了時刻、足踏み回数、足上がり量の検出

従来研究では [7]、Kinect V2 により得られた深度画像を動画として保存し、オフラインで分析がなされていた。深度動画は容量が大きいため、20 秒間のマーチテストでの計測では、運動開始から 10 秒経過した時点で記録を始め、運動終了と同時に停止していた。Kinect V2 によるセンシングでは、身体各部位の関節の同定に要する時間がばらつくために、被験者ごとに計測時間長が異なるという問題があった。本研究では、計測開始から数秒のインターバルを空けて運動を始め、運動終了後もインターバルを設けて計測を終了するように手順を変更した。計測られた膝関節位置の時系列の例を図 3 に示す (青: 右膝高さ, オレンジ: 左膝高さ)。

図 3 に示した左右の膝関節位置の時系列に対して、前処理として、運動開始・終了時刻、および、足踏み回数を抽出する処理を適用した。この処理過程を図 4 に示す。

まず、9 点の移動平均フィルタを施してスムージングした後 (図 4 上)、左右両膝の信号を単純加算した (図 4 中)。加算信

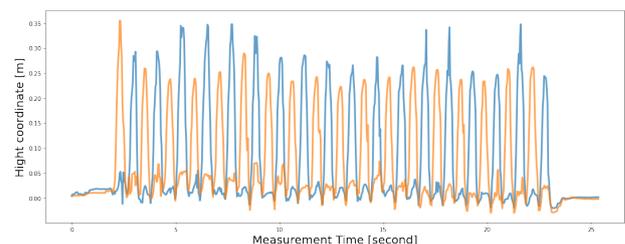


図 3: 左右膝位置データの計測例

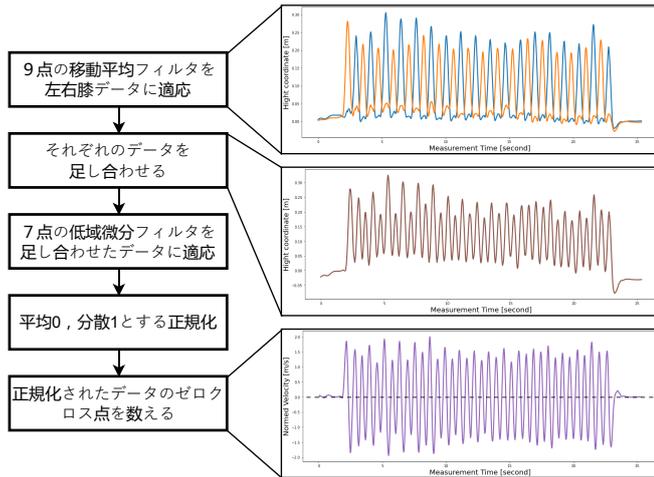


図 4: 運動開始・終了時刻および足踏み回数算出フロー

号に対して 7 点の低域微分フィルタを適用して変位量に変換し、平均 0、標準偏差 1 に正規化してゼロクロス点を抽出した (図 4 下)。各ゼロクロス点は両膝がともに静止していることを意味しており、両足が着地している状態を示している。

マーチテストの開始時刻および終了時刻は、左右いずれかの膝が初めて着地状態から外れて再びゼロクロスに達した時刻を運動開始時刻とし、最後のゼロクロス点を運動終了時刻とした。運動開始直後の 1 歩目は、Kinect V2 による関節点の同定が不安定になることが散見されたため、これを避けるために上記のような処理を採用した。

また、ゼロクロス点の総数を足踏み回数 (STEP) として算出した。相続くゼロクロス点間における最大値を求め、このときの膝位置の差分を算出し、これを 1 ステップにおける足上がり量とし、すべてのステップに対する左右それぞれの足上がり量の平均値 (Maximum Knee Height: MKH) を求めた。

なお、先行研究 [7] では、計測時に記録されるデータ量が大きく 20 秒間の計測が難しいことから、後半 10 秒間のみが計測対象となっていた。本研究では、先行研究との比較のために、運動終了時刻から遡る 10 秒間を解析対象の区間とした。

3.2 運動特徴量の解析

深度動画から頭部座標のデータのみを取り出した一例を図 5 に示す (図左の紫点が頭部位置)。横軸は深度方向、縦軸は水平方向の位置を表している。任意の時刻 t における頭部座標点を $\mathbf{H}(t)$ とすると、3 次元ユークリッド空間における頭部の総移動量 (Total Movement Distance: TMD) と最大移動距離 (Maximum Movement Displacement: MMD) は、それぞれ次式で定義される [7]。ここで、 N は計測データ点数である。

$$TMD = \sum_{t=0}^{N-1} \|\mathbf{H}(t+1) - \mathbf{H}(t)\| \quad (1)$$

$$MMD = \text{Max}\{\|\mathbf{H}(t) - \mathbf{H}(0)\|\} \quad (2)$$

次に、深度動画から左右膝関節の時系列を取り上げて膝運動の特徴量を求める。図 6 左の青点、オレンジ点がそれぞれ右膝、左膝の位置を示している。図 6 右には、左右膝高さの時間変化を

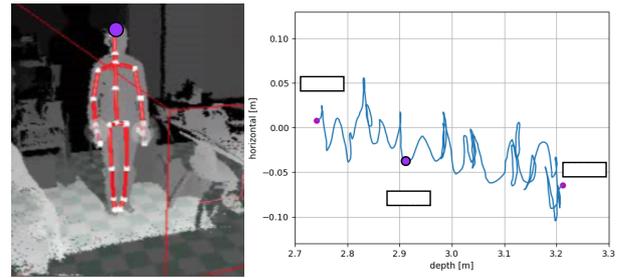


図 5: 頭部位置座標時系列データの一例

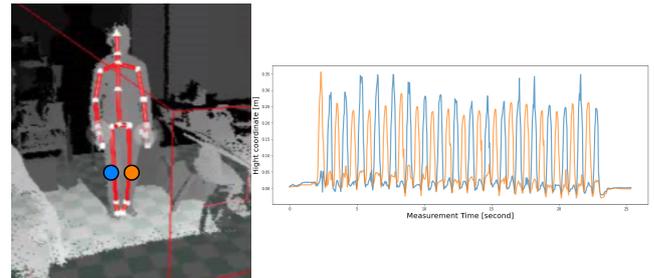


図 6: 左右膝位置座標時系列データの一例

示す。任意の時刻 t における左膝および右膝の座標点をそれぞれ $\mathbf{K}^L(t)$ 、 $\mathbf{K}^R(t)$ とすると、3 次元ユークリッド空間における各膝関節の総移動量 \mathbf{K}_{sum}^L 、 \mathbf{K}_{sum}^R は、次の式 (3)、式 (4) で定義される。 \mathbf{K}_{sum}^L と \mathbf{K}_{sum}^R の平均を膝部総移動量 (Knee total Movement Distance: KMD) とした。

$$\mathbf{K}_{sum}^L = \sum_{t=0}^{N-1} \|\mathbf{K}^L(t+1) - \mathbf{K}^L(t)\| \quad (3)$$

$$\mathbf{K}_{sum}^R = \sum_{t=0}^{N-1} \|\mathbf{K}^R(t+1) - \mathbf{K}^R(t)\| \quad (4)$$

$$KMD = (\mathbf{K}_{sum}^L + \mathbf{K}_{sum}^R)/2 \quad (5)$$

4. 解析結果

頭部の総移動量 (TMD) と最大到達距離 (MMD) における自立高齢者と要介護高齢者との比較結果を図 7 および図 8 のバイオリンプロットで示した。図中左の分布が自立生活者群 (IG)、右の分布が要介護者群 (DG) を表している。TMD に対する IG の平均値と標準偏差は 0.753 ± 0.144 m であり、DG は 0.965 ± 0.279 m であった。一方、MMD に対する IG の平均値と標準偏差は 0.184 ± 0.069 m であり、DG では 0.198 ± 0.077 m であった。

膝部総移動量 (KMD) と足踏み回数 (STEP) における自立高齢者と要介護高齢者との比較結果を、それぞれ図 9、図 10 に示す。KMD に対しては、IG の平均値と標準偏差は 4.29 ± 1.23 m であり、DG では 4.18 ± 1.99 m であった。STEP においては、IG の平均値と標準偏差は 18.4 ± 1.69 歩であり、DG では 15.3 ± 2.65 歩であった。

上記の指標に加え、FIM スコア等の問診データ、および、その他の分析結果について、自立高齢者群と要介護群とで比較した。表 1 には、各指標に対する平均値と標準偏差、および、ANOVA

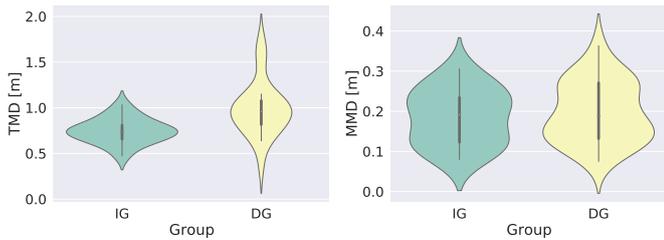


図 7: 頭部総移動量 (TMD) の比較

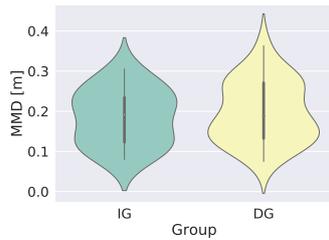


図 8: 頭部最大到達距離 (MMD) の比較

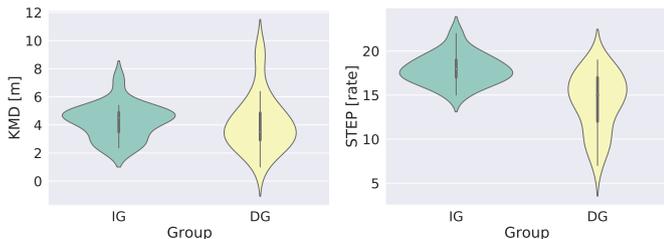


図 9: 膝部総移動量 (KMD) の比較

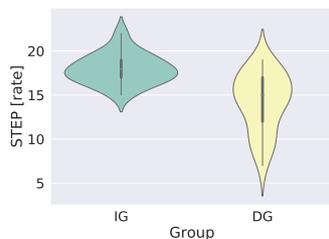


図 10: 足踏み回数 (STEP) の比較

表 1: 自立高齢者と要介護高齢者の動作関連指標の比較

	IG (n=19)	DG (n=25)	Difference
Age, yr	74.5±7.80	78.7±6.52	n.s.
Height, cm	149.6±4.42	148.0±6.73	n.s.
Boddy mass, kg	52.7±5.31	50.4±12.3	n.s.
BMI, kg/m ²	23.5±1.95	22.8±4.61	n.s.
FIM, score	126.0±0	120.0±5.60	$F = 20.77$ $p < 0.001$
TMD, m	0.753±0.144	0.965±0.279	$F = 8.65$ $p < 0.005$
MMD, m	0.184±0.069	0.198±0.077	n.s.
KMD, m	4.29±1.23	4.18±1.99	n.s.
MKH-R, m	0.102±0.05	0.107±0.072	n.s.
MKH-L, m	0.101±0.046	0.113±0.072	n.s.
STEP, frequency	18.4±1.69	15.3±2.65	$F = 19.53$ $p < 0.001$
TMD/KMD	0.191±0.073	0.287±0.203	$F = 4.587$ $p < 0.05$

による分散分析の結果を示す。

5. 考 察

表 1 より、自立高齢者 (IG) と要介護高齢者 (DG) とを比較すると、年齢、身長、体重、BMI といった指標には群間に有意差は認められなかった。FIM スコアは IG よりも DG の方が有意に低く ($p < 0.001$)、DG は日常生活動作に難があることがわかる。足踏み回数 STEP は DG の方が IG よりも小さく ($p < 0.001$)、要介護者のマーチテストでの歩数は自立高齢者に比べて明らかに少なくなる。一方、頭部総移動量 TMD、および、TMD と膝部総移動量 KMD の比 TMD/KMD は、いずれも IG よりも DG の方が有意に大きくなることが示された ($p < 0.05$)。すなわち、DG では歩数が少なく、かつ、下半身に対して上半身が大きく動

いていることを示している。このことから、要介護の高齢女性は、下半身の動作に対して上半身の動揺が大きくなるために、姿勢が不安定となり、日常生活における転倒のリスクが高くなることが示唆される。

6. まとめと今後の課題

本研究では、要介護高齢者と自立高齢者との日常生活動作における特徴の相違を明らかにすることを目的にして、55 歳から 90 歳の女性を対象に、20 秒間のマーチテスト (足踏み運動) を実施した。このときの身体動作を汎用モーションセンサを用いて計測し、頭部および膝関節座標における運動パターンの特徴を分析した。マーチテスト中の頭部総移動距離 (TMD)、膝部総移動距離 (KMD)、足踏み回数 (STEP) を算出し、これらの指標について要介護群、自立生活群とで比較した。その結果、要介護群は自立生活群に比較して、TMD および TMD/KMD が有意に大きく、STEP が有意に小さくなることが示された。このことより、足踏み動作において明らかに自立高齢者に比べて要介護高齢者は歩数が少なく、下肢に対して頭部の揺れが大きく不安定な特徴を示したことから、本様式における自立度評価の有用性が示された。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (20K11656) の助成を受けて行われた。

文 献

- [1] K. Covinsky: "Aging, arthritis, and disability", *Arthritis and Rheum*, **55**, pp. 175–176 (2006).
- [2] J. Walston, E. Hadley, F. L. J. Guralnik, S. S. Newman, AB, E. WB, T. Harris and L. Friedet: "Research agenda for frailty in older adults: Toward a better understanding of physiology and etiology: Summary from the american geriatrics society/national institute on aging research conference on frailty in older adults", *Journal of the American Geriatrics Society*, **54**, 6, pp. 991–1001 (2006).
- [3] S. Snih, J. Graham, L. Ray, R. Samper-Ternent, K. Markides and K. Ottenbacher: "Frailty and incidence of activities of daily living disability among older mexican americans", *Journal of Rehabilitation Medicine*, **41**, pp. 892–897 (2009).
- [4] S. Rochat, R. Cumming, F. Blyth, H. Creasey, D. Handelsman, D. Le Couteur, V. Naganathan, P. Sambrook, M. Seibel and W. L: "Frailty and use of health and community services by community-dwelling older men: The concord health and ageing in men project", *Age and Ageing*, pp. 1–6 (2010).
- [5] H. Bergman, L. Ferrucci, J. Guralnik, D. Hogan, S. Hummel, S. Karunanathan and W. C: "Frailty: An emerging research and clinical paradigm-issues and controversies", *The Journal of Gerontology. Series A, Biological Science and Medical Sciences*, **62**, pp. 731–737 (2007).
- [6] J. Morley, H. Perry and D. Miller: "Something about frailty", *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, **57**, pp. 698–704 (2002).
- [7] N. Takeshima, T. Kohama, M. Kusunoki, S. Okada, E. Fujita, Y. Oba and W. Brechue: "A 20-sec stepping test and kinecttm sensor provides objective quantification of movement/balance dysfunction in older individuals", *Experimental Aging Research*, **8**, pp. 244–256 (2020).
- [8] M. Kusunoki, T. Kohama, Y. Yamada, E. Fujita, S. Okada, A. Maeda and N. Takeshima: "Evaluating activities of daily living using an infrared depth sensor: Kinect", *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, **14**, 14, pp. 368–378 (2019).