

歩行パラメータによる歩行者年齢推定

○黒田 知士 (東京都立大学), 岡本 正吾 (東京都立大学), 秋山 靖博 (信州大学)

Estimating age of walkers based on gait parameters

○ Tomohito KURODA, Shogo OKAMOTO (Tokyo Metropolitan University),

and Yasuhiro AKIYAMA (Shinshu University)

Abstract: Human gait motion differ depending on age. We estimated the age of walking people using kernel regression analysis with height and weight and gait parameters as explanatory variables. We computed gait parameters for 75 women aged from 20 to 75 years based on an open gait database. Through a variable selection based on sensitivity analysis, explanatory variables include weight, minimum foot clearance, anterior velocity, step width and stride length. The correlation coefficient and mean absolute error between estimated and actual age showed 0.78 and 9.99, respectively.

1. 緒言

人間の歩行動作は年齢と共に変化する^[1,2]。いくつかの歩行パラメータは年齢の変化と共に変動する^[1]ことが示されている。具体的には歩隔, ストライド長, 歩行速度などが年齢と共に増減する^[2]。これは, 歩行者の年齢がいくつかの歩行パラメータの組み合わせによって推定可能であることを示唆する。歩行から年齢を推定することはヘルスケアに応用できる可能性がある。また, セラピストや訓練士などにとっては, 患者の実年齢と歩行から推定される年齢の差異を知ることや患者の歩行パターンが属する年代を知ることが役に立つかもしれない。加えて, 各個人の歩行特徴が属する年代を知ることによって健康な生活を送る一助となる可能性もある。

歩行特徴から年齢を推定する試みは大きく二つに分類される。一つは年代分類である。もう一つは年齢推定である。今までに, たくさんの研究者が年齢分類に取り組んできた^[3,4,5,6,7]。歩行者の画像から抽出される特徴を基にサポートベクターマシーンで分類する研究^[4]や, シルエット画像を用いて若者と高齢者を分類する研究^[7]などがある。これら研究は歩行者の年齢層を弁別する目的であり, 年齢の推定までは行っていない。一方, 榎原ら^[8]は歩行エネルギー画像とガウス過程回帰を用いて2歳から94歳の男女の年齢を推定した。これらの研究^[4,7,8]では歩行者はカメラで記録されていた。従来の研究では, 歩行パラメータから歩行者の年齢を推定する試みは少ない。歩行パラメータは年代間の分類^[3,4,9]には使われてきた。しかしながら年齢推定を行う際にはカメラから取得される連続イメージを使うケースが多く, 歩行パラメータのみから年齢を推定する研究は見当たらない。

私たちはカーネル回帰分析を用いて歩行パラメータに基づき歩行者の年齢を推定する。歩行パラメータには前方向歩行速度, 内外側方向速度, 足部最小クリアランス, 歩隔, ストライド長, ケイデンス, 遊脚期間を含む。加えて身長, 体重といった自己申告可能なパラメータを用いた。歩行パラメータは定義が明らかであり, 意味的な理解が容易である。また, 慣性計測装置などのウェアラブルデバイスを用いて取得することが可能なパラメータも多い。スマートフォンやスマートウォッチなどで用いられる慣性計測装置は日々の生活の情報を集めるのに適している。また, 身長や体重

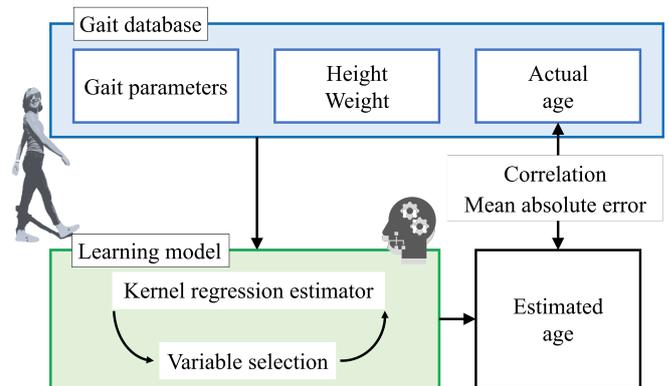


Fig.1 We used kernel regression analysis with gait parameters as explanatory variables to estimate age. We computed gait parameters based on AIST gait database. The estimated ages compared with actual ages to verify the accuracy. Adapted from^[10]

などの自己申告可能なパラメータを使用したのは, 日常活動の監視システムなどの潜在的な応用が, 利用者の同意のもとに運用されるからである。このようなシステムは, セキュリティや商業的な監視目的で利用されるのではなく, 人々が日常生活の中で身体の健康を管理するのに役立つ可能性がある。

2. 方法

2.1 歩行データベース

今回は AIST 歩行データベース^[11]にて公開されていた情報を使用した。直進歩行中の体の各部位の 3 次元座標情報がモーションキャプチャシステムで取得される。実験参加者は自由な速度で 10 メートルを裸足で歩行する。20 代の女性 30 人を青年層, 35 歳から 50 歳以下の女性 15 人を中年層, 60 歳以上の女性 30 人を高齢層と分類し, 右足から始まる 5 歩行周期分を研究に用いる。合計で 375 歩行周期を使用した。

2.2 年齢推定に用いるパラメータ

年齢推定の説明変数は身長, 体重と 7 つの歩行パラメータである。歩行パラメータには前方向歩行最大速度, 内外側方向最大速度, 足部最小クリアランス, 歩隔, ストライド長, ケイデンス, 遊脚期間を含む。足部最小クリアランスとは遊脚が地面と平行になったタ

イミングにおける足部と地面の距離のことをいう。歩隔とは歩行中の内外側方向における両側間の距離をいう。ストライド長は連続する 2 歩間で前方向に進んだ距離のことをいう。ケイデンスとは 1 分間あたりの歩数のことをいう。遊脚期間とは、1 歩行周期中の遊脚期の割合のことをいう。本研究で用いた歩行パラメータのうち、歩隔とストライド長は各参加者の身長を用いて標準化した。

Table 1 Means and standard deviations of participants' height, weight, and gait parameters

Parameters	Means ± S.D.
Height (cm)	157.53 ± 5.81
Weight (kg)	54.32 ± 7.94
Minimum foot clearance (m)	0.020 ± 0.006
Maximal mediolateral CoM speed (m/s)	0.11 ± 0.029
Maximal anterior CoM speed (m/s)	1.48 ± 0.17
Step width (m)	0.12 ± 0.031
Stride length (m)	1.29 ± 0.11
Cadence (steps/min)	58.56 ± 3.80
Swing duration (%)	85.50 ± 5.02

2.3 カーネル回帰分析

本研究では非線形な回帰分析であるカーネル回帰分析を用いて年齢推定した。この手法では、目的変数はカーネル関数の線形和で表される。カーネル関数はガウスカーネルを用いて二つの説明ベクトル x and x' 間の類似度を表す。カーネル関数は以下の式で定義される。

$$k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2), \quad (1)$$

ここで $\|\bullet\|$ は L2 ノルムである。

本研究では正則化パラメータは交差検証で決定した。375 歩行周期分のサンプルを 5 分割する。分割されたセットには各歩行者の歩行周期が 1 つ含まれるように分割した。分割されたデータセットの 1 つをテストデータとし、残りを訓練データとした。訓練データを用いてカーネル回帰の推定モデルを作成する。作成されたモデルをテストデータの説明変数を用いて推定を行い、テストデータの目的変数と相関を計算した。各データセットが 1 度テストデータになるようにこの過程を 5 回繰り返した。テストデータにおける推定値と実年齢の相関が最も高くなるように正則化パラメータを決定する。

2.4 変数選択

一度年齢推定モデルを作成したのち、変数選択のために各変数の感度を計算した^[12]。最初に全ての説明変数を用いてカーネル回帰推定モデルを作成し、平均絶対誤差を計算する。各説明変数の感度を求めるために、感度を調べたい当該説明変数の値は測定値のまま、当該変数以外の変数の値は平均値にして年齢を推定する。年齢の観測値と推定値で単回帰分析を行い、回帰直線の傾きを計算する。この傾きを当該変数の感度とする。全ての説明変数に対して同様の推定を繰り返し、各説

明変数の感度を求める。感度が一番小さい変数を取り除く。取り除かれなかった変数を説明変数として年齢推定モデルを作成し、推定値と実測値の平均絶対誤差と各変数の感度を求める。説明変数が 1 つになるまで、同様の手順で感度が最小の変数を取り除く。年齢推定モデルの平均絶対誤差が最も小さくなる時に用いた変数を。最適な年齢推定モデルの説明変数として選択する。

3. 結果

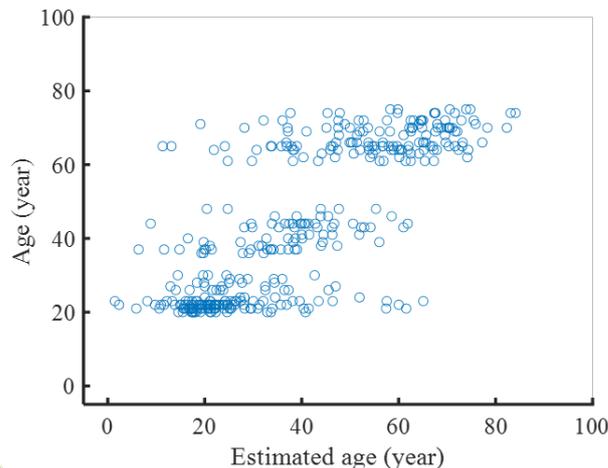


Fig.2 Scatter plot of actual ages and estimated ages by selected explanatory variables

変数選択を行った結果、カーネル回帰年齢推定モデルの説明変数は体重、足部最小クリアランス、前方向最大歩行速度、歩隔、ストライド長となった。カーネル回帰モデルで推定された年齢と実年齢間の散布図を Fig. 2 に示す。カーネル回帰モデルで推定された年齢と実際の年齢間の相関係数は 0.78 を示し、平均絶対誤差は 9.99 歳を示した。

4. 議論

説明変数として選択された変数の妥当性について議論する。前方向歩行速度は年齢と負の相関があることが知られている^[2, 13, 11]。また、歩隔は年齢と共に増加し、ストライド長は年齢と共に減少することが明らかになっている^[2, 13, 1, 14, 15]。そのため、前方向歩行速度、歩隔、ストライド長は年齢の推定因子として妥当である。本研究で用いたデータベースでは、年齢と体重の間の相関係数は 0.17 ($p = 0.15$) であり、線形の相関係数は弱い。また、足部最小クリアランスはそのばらつきに年齢差があることは知られているが、値に年齢差は見られていない^[16]。体重や足部最小クリアランスは非線形の規則に従い、他の変数との組み合わせによって年齢を推定していると考えられる。

また、推定年齢と実年齢間の平均絶対誤差の年代差に注目する。青年層 (20 歳から 30 歳) と中間年齢層 (35 歳から 50 歳) と高齢層 (60 歳から 75 歳) 間で推定年齢と実年齢の平均絶対誤差に差が見られた。青年層、中間年齢層、高齢層での平均絶対誤差はそれぞれ 7.41, 9.01, 13.06 歳となっていた。F 検定を行った結果、青年層と高齢層間での等分散は棄却され ($F(149, 149) = 2.19, p < 0.001$)、中間年齢層と高齢層間での等分散も棄却さ

れた ($F(149, 74) = 2.29, p < 0.001$). 推定誤差は実年齢と共に増加した. 似た傾向が, 異なる年齢推定方法を用いている他の研究^[17]においてもみられる. これは高齢層間での各個人の運動能力の差によるものと推察される. 例えば, 歩行速度とストライド長は年齢と共に大きく変動する^[13]. 加えて, 足部最小クリアランスは年齢の増加につれてばらつきが大きくなる^[16].

5. 結論

歩行パラメータと身長, 体重から歩行者の年齢を推定した. カーネル回帰分析を用いた推定年齢と実年齢の平均絶対誤差は約 10 歳ほどであった. 変数選択の結果, 説明変数は体重, 足部最小クリアランス, 歩行速度, 歩隔, ストライド長であった. 歩行パラメータは慣性計測装置などで容易に計測ができるものも多く含まれており, 本研究は歩行年齢の推定をより身近し, 健康管理に適応することを目的とした. しかしながら, 本研究で推定した年齢と他の運動能力間の関係性は調査されていない. そのため, 推定年齢の絶対値が健康かどうかを決めることはできない. 他の運動指標と推定年齢間の関係性を調査する必要がある.

参考文献

- [1] Seunguk Ko, Jeffrey M. Hausdorff, and Luigi Ferrucci: “Age-associated differences in the gait pattern changes of older adults during fast-speed and fatigue conditions: results from the Baltimore longitudinal study of ageing”. *Age and Ageing* 39, pp. 668–694, (6 2010).
- [2] A. Aboutorabi et al.: “The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review.” *Aging Clinical and Experimental Research* 28, pp. 393–405, (3 July 2016). doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-015-0420-6>.
- [3] James W. Davis: “Visual Categorization of Children and Adult Walking Styles”. *Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*. Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 295–300.
- [4] R. K. Begg, M. Palaniswami, and B. Owen: “Support vector machines for automated gait classification”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 52.5, pp. 828–838, (2005).
- [5] De Zhang, Yunhong Wang, and Bir Bhanu: “Age Classification Base on Gait Using HMM”. *2010 20th International Conference on Pattern Recognition*. 2010, pp. 3834–3837. doi: [10.1109/ICPR.2010.934](https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.934).
- [6] Benz Kek Yeo Chuen et al.: “A preliminary study of gait-based age estimation techniques”. *2015 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*, pp. 800–806, (2015).
- [7] M. Nabila, A.I. Mohammed, and B.J. Youstra: “Gait-based human age classification using a silhouette model”. *IET Biometrics* 7.2, pp. 116–124, (2018).
- [8] Yasushi Makihara et al.: “Gait-based age estimation using a whole-generation gait database”. Oct. 2011, pp. 1–6.
- [9] Benz Chuen et al.: “A preliminary study of gait-based age estimation techniques”. Dec. 2015, pp. 800–806. doi: [10.1109/APSIPA.2015.7415382](https://doi.org/10.1109/APSIPA.2015.7415382).
- [10] Tomohito Kuroda, Shogo Okamoto, and Yasuhiro Akiyama: “Walking-Age Estimator Based on Gait Parameters”. *Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics*. 2023.
- [11] Yoshiyuki Kobayashi et al.: “AIST Gait Database 2019”, (2019). URL: <https://unit.aist.go.jp/harc/ExPART/GDB2019.html>.
- [12] Kazutoshi Tanabe and Takahiro Suzuki: “Verification of the Effectiveness of Sensitivity Analysis as a Variable Selection in Support Vector Regression —Analysis of Factors Affecting Prefectural All-cause Mortality Rates—”. *Proceedings of the Institute of Statistical Mathematics*. Vol. 68. 1. 2020, pp. 175–192.
- [13] Matthew A. Schragger et al.: “The effects of age on medio-lateral stability during normal and narrow base walking”. *Gait & Posture* 28, pp. 466–471, (3 2008).
- [14] T. Yamaguchi and K. Masani: “Effects of age on dynamic balance measures and their correlation during walking across the adult lifespan”. *Scientific Reports* 12.14301, (2022).
- [15] Tomohito Kuroda, Shogo Okamoto, and Yasuhiro Akiyama: “Anterior and mediolateral dynamic gait stabilities attributed to different gait parameters in different age groups”. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, pp. 23–00183, (2023). doi: [10.1299/jbse.23-00183](https://doi.org/10.1299/jbse.23-00183).
- [16] Rod Barrett, Peter Mills, and Rezaul Begg: “A systematic review of the effect of ageing and falls history on minimum foot clearance characteristics during level walking”. *Gait & Posture* 32, pp. 429–35, (Oct. 2010). doi: [10.1016/j.gaitpost.2010.07.010](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.07.010).
- [17] M.A.R. Ahad et al.: “Wearable Sensor-Based Gait Analysis for Age and Gender Estimation”. *Sensors* 20, p. 2424, (2020).