

12 ドローン撮影による歩行異常性尺度（GARS）の推定技術

横山詔常、小玉龍、坂本一真、佐野誠、佐々木憲吾、長谷川正哉*

Drone-based evaluation of the Gait Abnormality Rating Scale (GARS)

YOKOYAMA Noritsune, KODAMA Ryu, SAKAMOTO Kazuma, SANO Makoto, SASAKI Kengo,
and HASEGAWA Masaki

In gait analysis, a major limitation of stationary camera setups is the inability to capture the full 10-meter walking distance. To address this issue, a novel gait evaluation method was developed in which a drone was used to track and record subjects throughout the entire 10-meter walk. The gait of 16 participants aged 60 years and older was recorded using a drone. Pose estimation was performed on the video footage using the HRNet algorithm, from which joint angles and gait cycles were calculated. These gait parameters were subsequently analyzed in relation to the Gait Abnormality Rating Scale (GARS) scores obtained through expert visual assessment. As a result, specific gait parameters that significantly influenced both the total GARS score were identified, and corresponding regression models for score estimation were constructed.

キーワード：歩行分析、歩行異常性尺度（GARS）、ドローン

1 緒 言

高齢者の運動機能の評価手段として、歩行に着目した分析が広く用いられている。歩行分析は従来、理学療法士などの専門職による目視評価に依存していたが、センシング技術やデータ解析技術の進展により可視化・定量化が簡便になってきている。その中で、我々は、足部変形の計測に特化したセンサシューズを作製し、機械学習アルゴリズムを用いて歩行の異常度や美しさを評価する技術を開発してきた^{1) 2) 3)}。しかし、センサを身に着けるという手間が運用面の課題であったため、我々は、非装着で非侵襲な方法、特にドローンを活用した動的な撮影方法に着目した。

歩行の撮影方法は、据え置き式の固定カメラで撮影する方法が一般的である。しかし、固定カメラの場合、一般的に実施されている 10m 歩行の全区間を十分な解像度で撮影することは困難である。一方、ドローンは、空中からの動的視点による高解像度の撮影により、従来の地上据え置き式の固定された視点や、身体装着型のセンサでは捉えきれなかった、より広範囲で、自然な状態の歩行分析が可能である^{4) 5)}。

そこで、我々は、ドローンによる動的撮影にて歩行者を追跡し高解像度で撮影することで、10m 全区間の分析を可能とする手法を開発する。本稿では、ドローン映像から対象者の姿勢推定を行い、歩行特徴を数値化し、専門家の目視評価指標である歩行異常性尺度（GARS）を推定した事例を報告する。

2 方 法

2.1 歩行の撮影

ドローンを操縦し歩行を撮影した（図1）。撮影方向は、前額面、左右の矢状面の3方向である。操縦者のほかに補助員2名を配置し、安全面に配慮し実施した。

- ・使用機体 DJI Mini 3 Pro
- ・撮影条件：3840px×2160px、30fps
- ・場所：ひろしま国際プラザ体育館
- ・対象者：60歳以上の男女16名

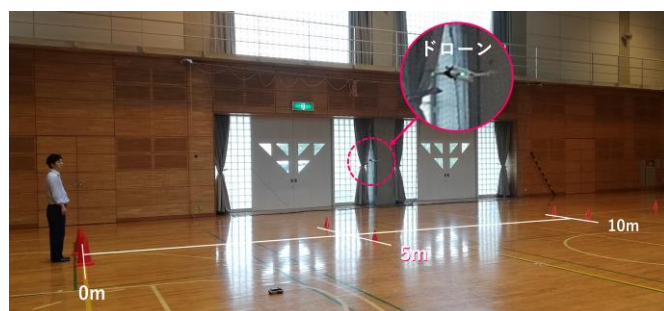


図1 歩行の撮影（前方から）

2.2 画像歪みの補正方法の検討

本研究で使用したドローンは映像の歪みが少なく、歪み補正は適用していないが、ドローンの機種によっては、画像の歪みが大きく、関節角度の数値に影響を及ぼす場合があるため、歪みを補正する方法を検討した。図2（上）の従来の方法では、歪みの補正が十分ではなかったため、図2（下）の補正式を提案し補正を行った。

*県立広島大学

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4K(X^2 + Y^2)}} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \quad K = -2.4 \times 10^{-6}$$

$$K_X = 1 + (K_{X0} - 1)X / (0.5XW)$$

$$K_Y = 1 + (K_{Y0} - 1)Y / (0.5YW)$$

$$K_{X0} = 1.39$$

$$K_{Y0} = 1.145$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_X & 0 \\ 0 & K_Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix}$$

XW: 画像の横幅
YW: 画像の縦幅

図2 従来法(上)、提案法(下)

2.3 歩行異常性尺度(GARS)の取得

小林らの方法⁶⁾に倣い、ドローンでの歩行映像を理学療法士(1名)に視聴してもらい、各 GARS 項目と総合評価をスコア化した。GARS は、以下の7項目から構成されており、0点から3点までの4段階で評価される。異常度が高いほど GARS の得点が高くなる。

GARS 1 : 変動性

GARS 2 : 勢いのなさ

GARS 3 : よろめき

GARS 4 : 足の接地

GARS 5 : 股関節の運動範囲

GARS 6 : 腕振りの後方化

GARS 7 : 腕振りと踵接地の同調性

2.4 歩行パラメータの算出方法

以下の手順にて歩行パラメータを求めた。

(1)姿勢推定: HRNet (High-Resolution Net)⁷⁾ のアルゴリズムを用いて姿勢推定を行った。

(2)フィルタリング: 姿勢推定で得られた身体特徴点の座標値に対し、5 Hz のローパスフィルタにて高周波ノイズをカットし平滑処理を施した。

(3)身体重心点: 得られた関節中心点を用いて、岡田らの方法⁸⁾にて身体部分質量と質量比から身体重心位置を推定した。

(4)関節角度: 姿勢推定で得られた特徴点から次の関節角度を算出した。

・前額面: 肩関節水平成分角度、腰部水平成分角度、体幹垂直成分角度、頭部垂直成分角度など

・矢状面: 体幹、肩関節、股関節、膝関節角度など

(5)歩行周期: 外踝の座標を用いて接地時点、離地時点抽出し歩行周期を求め、1 歩ごとの歩行周期のデータを時間正規化(0-100%)した後、全歩数の加算平均波形を求めた。歩行速度や歩数、立脚期、遊脚期ごとの代表値(最大、最小、レンジ値、平均値など)を歩行パラメータとした。

2.5 GARS 合計値の推定

GARS 合計値を目的変数、上記の歩行パラメータを説明変数として重回帰分析を行った。変数選択は StepWise 法を用いた。解析処理は SPSS ver. 16 を用いた。

3 結果と考察

3.1 画像歪みの補正

画像補正の結果を図3に示す。左上の窓枠の領域に注目すると、提案方法は従来方法と比較して、原画像に近い領域を表示できており、歪みも低減できていることを確認できた。



図3 画像補正の結果

(上: 原画像, 中: 従来方法, 下: 提案方法)

3.2 GARS 値

各 GARS 値の人数を表1に示す。GARS 2、3、4、5、6は2点以上が0人、GARS 1、7は全て0点であった。

表1 GARS 値の結果(人数)

得点	GARS1	GARS2	GARS3	GARS4	GARS5	GARS6	GARS7
0点	16	11	15	13	12	10	16
1点	0	5	1	3	4	6	0
2点	0	0	0	0	0	0	0
3点	0	0	0	0	0	0	0

3.3 歩行パラメータの算出結果

HRNet を用いた姿勢推定の結果（前額面、矢状面）を図4に示す。側方から撮影した場合（図4矢状面）に、奥側の左半身では、身体の特徴点を誤認識するケースがあったため、手前側の右半身を分析対象とした。

時間正規化した歩行周期の結果を図5に示す。立脚期と遊脚期は前期と後期に分け、全4区間（立脚前期、立脚後期、遊脚前期、遊脚後期）のパラメータを抽出することができた。全歩数分の平均波形と1歩ごとの歩行波形も示すことで、対象者の平均的な歩行の特徴と、ばらつきも把握できる。

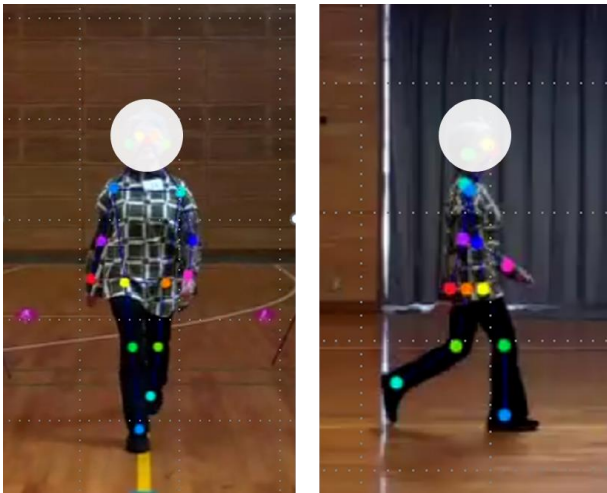


図4 姿勢推定の結果（左：前額面、右：矢状面）

3.4 GARS 合計値の推定

専門家による GARS 合計値と、上記の方法で求めた歩行パラメータとの関連付けを行った。3つの説明変数を用いた重回帰式の調整済み決定係数 (R^2) は 0.92 であった（5つの説明変数では 0.98）。観測値（GARS 値）と上記重回帰式を用いた予測値との決定係数は (R^2) は、以下の上位3つのパラメータを用いた場合で 0.97、5つのパラメータで 0.99 であった。

5つのパラメータを用いた解析での標準偏回帰係数（絶対値）を表2に示す。総合的な歩行の異常度を示す GARS 合計値の推定には、歩行時間の影響が大きいことが分かる。つまり、GARS 合計値は歩行速度という歩行の遂行能力を評価していることを意味する。その他として、股関節、膝関節、体幹、肩関節角度の影響が大きいことが分かった。

表2 標準偏回帰係数

変数（パラメータ）	標準偏回帰係数（絶対値）
歩行時間	0.737
立脚期の股関節の最大角度	0.450
膝関節角度の振幅	0.414
体幹角度	0.306
遊脚期の肩関節の最大角度	0.200

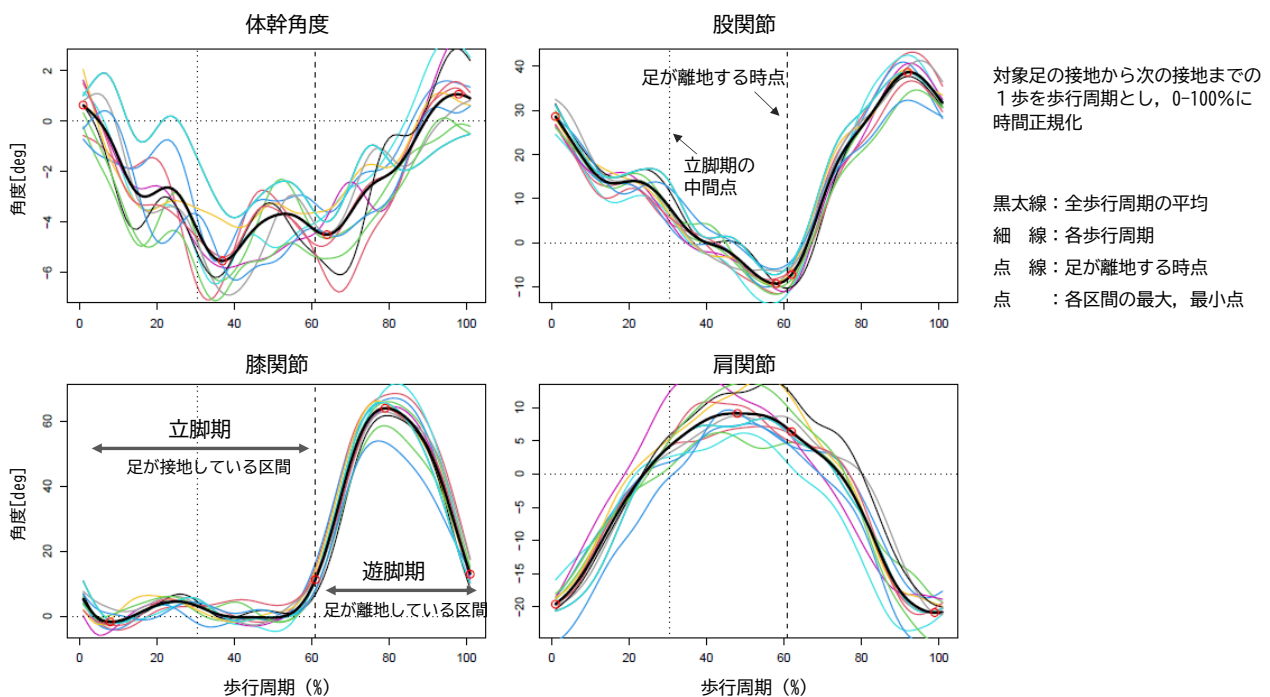


図5 関節角度の歩行周期波形の例

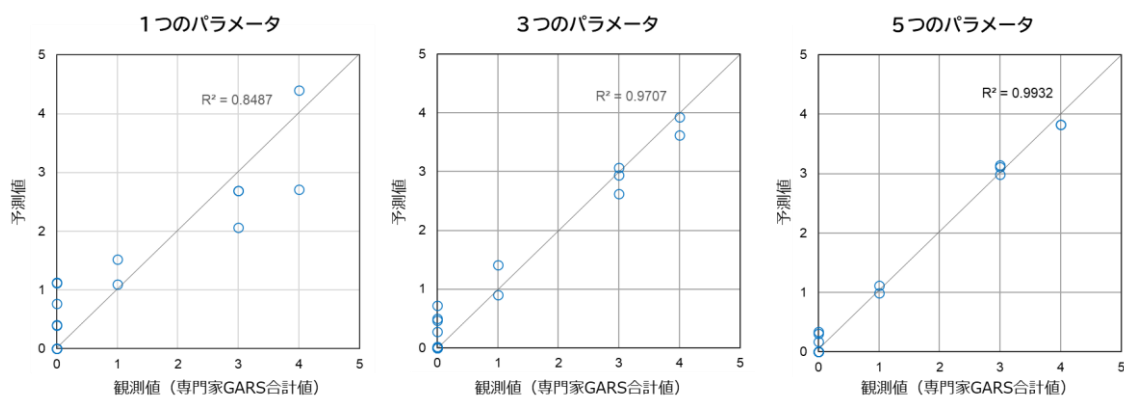


図6 GARS 合計値の観測値と予測値の関係

ただし、この結果はデータが少なく、オーバーフィッティングしている可能性が高いため、今後は歩行データの蓄積を行い、推定式の精度を高める必要がある。

また、GARS 合計値は、歩行の遂行能力の評価として活用できるが、歩行の何が悪いのかを知るためには、個々の GARS 項目の推定が必要であるため、今後の課題として検討する。

4 結 語

ドローンを用いた動的撮影により、対象者の歩行異常度を評価する手法を検証し、以下の結果が得られた。

- ・10mの全区間を安定的に撮影することができた。
- ・画像の歪みの補正式を提案し、歪みを少なくし、かつ元画像に近い領域を表現できた。
- ・映像から姿勢推定を行い、身体の特徴点を取得し身体重心位置と関節角度、歩行周期を算出し、歩行評価に資する歩行パラメータを得た。
- ・GARS 合計値を推定する回帰式及び歩行パラメータを明らかにした。

本研究で提案したドローンによる歩行分析手法は、広範囲でのモーションキャプチャを可能にし、歩行異常性の定量的評価を実現することを示した。特に、実験室以外の自然な歩行環境下において有用性が期待できる。

今後は、歩行データの蓄積を行い、本推定方法の確度の向上と、各 GARS 項目の推定、ドローンの自動追尾撮影による、より広い範囲での動作解析技術の開発を行っていきたい。

文 献

- 1) 横山他：広島県立総合技術研究所西部工業センター研究報告、61、13-16、2018
- 2) 横山他：人間工学、58、supplement、1G2-03、2022
- 3) 横山他：広島県立総合技術研究所西部工業センター研究報告、66、44-47、2023
- 4) Aoqi Li、et al. : Gait Recognition With Drones: A Benchmark、IEEE Transactions on Multimedia、26、3530-3540、2023
- 5) Lindsay Lafferty、et al.、: Clinical Indoor Running Gait Analysis May Not Approximate Outdoor Running Gait Based on Novel Drone Technology、Sports Health、14(5)、710-716、2021
- 6) 小林ら：地域高齢者における動画観察による歩行異常性尺度の評価者間信頼性、理学療法、39(7)、397-403、2012
- 7) K. Sun、B. Xiao、D. Liu、and J. Wang. Deep high-resolution representation learning for human pose estimation. In CVPR、2019
- 8) 岡田ら：日本人高齢者の身体部分慣性特性、バイオメカニズム、13、125-138、1996