

# 筋力トレーニングにおける 往復運動の崩れ認識

齊藤 海都<sup>†</sup> 中島 克人<sup>‡</sup>

東京電機大学 未来科学部 情報メディア学科<sup>†‡</sup>

## 1 はじめに

筋力トレーニングを正しい動作で行う事は、トレーニングの効果向上のみならず、怪我の防止にとっても非常に重要である。怪我の主な要因の一つは間違っただフォームでの動作であり、その原因としてトレーニング動作の崩れが挙げられる。

筋力トレーニングの多くは一定幅かつ一定周期の往復運動であり、トレーニング序盤は正確に往復運動を行う事ができるが、回数を重ねると動作の幅、周期ともに崩れやすい傾向にある。しかし、個人でトレーニングを行う場合、自分でフォームが崩れているか判断することは難しい。

そこで我々は、単眼カメラを用いた人の姿勢推定技術を使用することで往復運動の動作幅や周期の推定を行い、回数を重ねた場合に発生するそれらの崩れを認識して警告する手法を提案する。

## 2 関連研究

田邊ら[1]のシステムは事前に用意した模範演技者の筋力トレーニング動作の画像に対して姿勢推定を行い、利用者の姿勢と比較することでトレーニングフォームの上達を支援する。課題としては、ユーザの体格や動作の速度により検出されにくい姿勢があること、そして、模範演技者のフォーム画像を予め用意する必要があることが挙げられる。

## 3 提案手法

本手法では、[1]と異なり、利用者自身のトレーニング序盤のフォーム（以下基準フォーム）とそれ以降のフォームを比較し、その違いを指摘する。利用者自身のフォームを基準とするため、利用者ごとの体格差やスピード差による影響のないシステムとなる。具体的には、基準フォームとそれ以降のフォームの往復運動の幅や周期の乱れを検出し、利用者にリアルタイムで警告する。本手法全体の流れを図1に示す。

### 3.1 姿勢推定

姿勢推定とは画像や映像から関節や目、鼻など特徴的な点を検出し、人の姿勢を可視化する技術である。本手法では、入力映像に対してフォーム比較に必要な関節座標を姿勢推定技術を用いて取得し、次節以降の処理を行う。

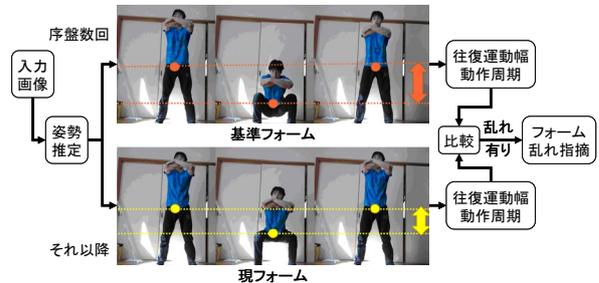


図1：全体の処理の流れ

### 3.2 周期推定

トレーニング序盤の3回程度の往復運動でのフォームを基準フォームとし、その間の往復運動の周期の平均を基準周期として記憶する。そして、それ以降の往復運動の周期と比較する。

周期は、往復運動で絶えず移動する特定の関節の座標値を観測し、そのトレーニング開始以降の全平均値と現座標値の交差点の間隔から求める。基準周期は基準フォームとする期間の平均値とする。周期を求めるための基準関節は運動を始める前に利用者が妥当だと考えるものを1つだけ設定する。図2は腰関節のY座標を元に周期を求めた例である。

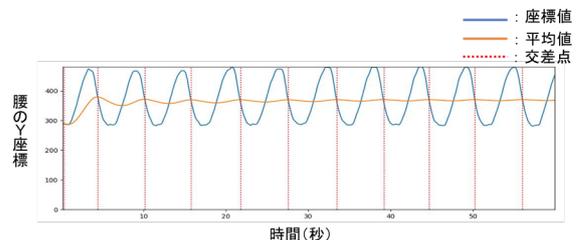


図2：周期推定例

### 3.3 崩れ認識

基準フォームにおける基準関節の往復運動中の最大値や最小値と現在のそれらと比較することでフォームの崩れを認識する。

フォームの崩れと見なす基準は、関節の移動量を元に定めるために、基準フォームにおける基準関節座標の標準偏差( $\sigma$ )を用いる。具体的には、基準フォームにおける基準関節座標の最大値( $P_{max}$ )や最小値( $P_{min}$ )に対して運動中のそれら( $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ )が下式を満たさない場合をフォーム崩れとする。

$$P_{max} - m \cdot \sigma \leq Q_{max} \leq P_{max} + m \cdot \sigma \dots (1)$$

$$P_{min} - m \cdot \sigma \leq Q_{min} \leq P_{min} + m \cdot \sigma \dots (2)$$

Recognition of Fluctuations in Reciprocating Motion during Strength Training

<sup>†</sup> Kaito Saito · Tokyo Denki University

<sup>‡</sup> Katsuto Nakajima · Tokyo Denki University

周期に関しては運動中の周期(Tc)が基準周期(Ts)に対して下式を満たさない場合を崩れと見なす。

$$Ts \cdot (1-n) \leq Tc \leq Ts \cdot (1+n) \dots (3)$$

なお、式(1), (2), (3)の m, n は運動内容や基準関節に応じて、実験によって定める。

### 3.4 フォーム崩れの指摘

崩れの認識は毎周期行い、認識された崩れは画面表示や音声によってリアルタイムに利用者に提示する。

## 4 実験と評価

### 4.1 実験条件

今回は表示内容を確認しながら行う事ができるトレーニングとしてスクワットを対象とした。関節座標取得に用いる姿勢推定手法としてOpenPose[2]のTensorFlow版であるtf-pose-estimation[3]を用い、基準関節座標としては腰のY座標の3移動平均を使用した。崩れの基準指標の式(1), (2), (3)において、 $m = 1/3$ ,  $n = 0.3$ とした。

利用者に提示する指摘内容例を図3に示す。崩れが認識された関節に円を表示し、対応する基準フォームでの最大、最小値を線で示す。また、動作回数と崩れ内容は文章で表示する。



図3: システムによる警告例

### 4.2 システム利用によるフォームの改善評価

男子5名の被験者に対して、1セット15回のスクワットを「システム非利用→5分休憩→システム利用→5分休憩→システム非利用→5分休憩→システム利用」の順でそれぞれ4セット行って貰い、フォームの崩れ回数を計測した。その結果、各人 $15 \times 4 = 60$ 回のスクワットに対するフォーム崩れは、システム非利用時は平均2回(内、連続崩れは平均1.3回)、システム利用時は平均1回(内、連続崩れは平均0.2回)となり、本システムの有効性を確認する事ができた。

スクワットにおける腰Y座標と対応するフォーム例を図4に示す。システム非利用時には基準フォームと比べ、腰が下がりきらない際にフォーム崩れとして認識されているが、利用者にそれが知らされないため、その後のフォームにも同じ崩れが見られる。利用時にはフォーム崩れが警告されるため、以降のフォーム改善が促進される。

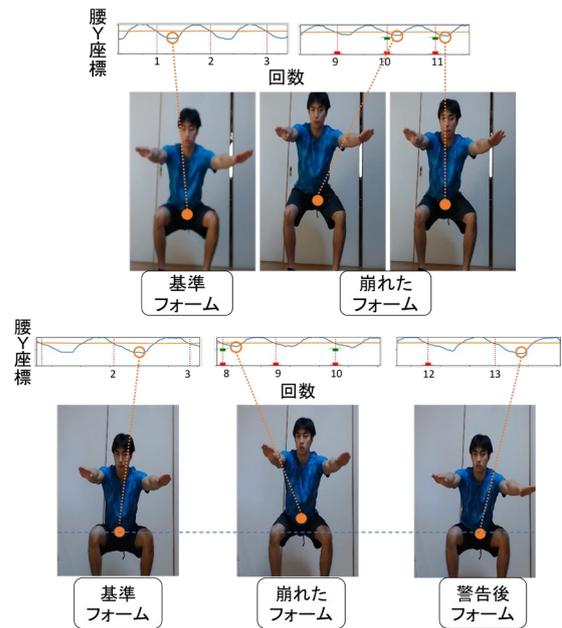


図4: システム非利用時(上)および利用時(下)の基準関節座標とフォーム例

## 5 まとめと今後の課題

本研究では筋力トレーニングにおける往復運動において、利用者本人の開始後数回の動作を基準に用いることで以降の運動周期とその幅の崩れを認識し、フォーム崩れの指摘を行うシステムを提案し、今回のスクワットに関する評価においてはフォーム改善に有用である事を確認できた。

なお、他の関節においてもこのような警告が可能であったが、動きの小さな関節の中には過剰な警告が行われる事が分かった。例えば、肩のX座標において、目視上ではフォームの差がほぼ無いにも関わらず、常に警告が表示されてしまう。この原因に、姿勢推定における座標値のブレが挙げられる。関節の座標値には移動平均を用いることで推定変動の影響を軽減するものの、極端に動きの小さな関節においてはその影響が大きく、崩れとして認識されていた。この解決には、高精度な姿勢推定モデルの利用や基準関節の動きの大きさに応じた崩れの判定条件の自動調節が挙げられる。

また、提案システムではフォームの指摘を関節ごとに行えるが、利用者がフォームの修正方法をより理解しやすくする方法として、体の動かし方自体を警告内容に含めることなどが考えられる。

### 参考文献

- [1] 田邊英介, 他, "運動過程をフィードバックする筋力トレーニング支援システム," 電気・情報関係学会九州支部連大, 2021
- [2] Zhe Cao, et al., "OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," IEEE Transactions on Pattern, Analysis and Machine Intelligence 4, 2019
- [3] jiajunhua, "iloonet-tf-pose-estimation," <https://github.com/jiajunhua/iloonet-tf-pose-estimation>, 2022/12/16 参照