

# OpenPoseとセンサを用いた 肘の負荷と投球動作との関係性の分析

近藤 竜也

李 嘉誠

能登 正人

神奈川大学工学部電気電子情報工学科

## 1 はじめに

近年野球界では、肘の怪我が問題となっており、肘の手術を行う選手が増加し、高校野球では球数制限が設けられている。肘の怪我は野球をするうえで致命的な怪我であり、競技者は負担のない投球動作で投げ、肘の怪我防止対策をする必要がある。一つの方法として自身の投球動作をカメラで撮影し客観的に動作解析することが挙げられる。しかしながら、負担のない投球動作は個人によって異なり様々であるため、理想となる投球動作を見つけ出すのは容易ではない。

本研究では、肘の怪我予防を目的とし、肘の負荷と投球動作の関係性を分析する手法を提案する。

## 2 先行研究

Osawaら[1]はOpenPoseから骨格座標を取得し、25個のキーポイントのうち安定して検出できる首、肩、肘、腰、腰の中央、膝、足首の12個のキーポイントを使用した。12個のキーポイントのうち任意の二つのキーポイントを結ぶベクトルの長さや角度を計算する。さらに検出されたキーポイントの信頼スコアを使用してベクトルの信頼値を計算する。求めた類似度に基づいて投球動作の開始点と終了点を自動的に抽出するDynamic Time Warping (DTW)を使用してフレームを対応付ける。このような精度の高い対応付けにより、異なる選手同士の動作や同じ選手同士の動作の違いを比較しやすくなる手法を提案した。

## 3 提案手法

本研究では、一般的に大規模な環境で行われている動作解析を安価で小規模に行う。複数回ピッチングを行い、tf-pose-estimation (OpenPose) を使用し、投手の骨格座標を求め、ウェアラブルセンサで肘の負荷とアームスピードを求める。計測したセンサデータから

### Analysis of Relationship Between Elbow Loading and Pitching Motion Using OpenPose and Sensor

Tatsuya Kondoh, Jiacheng Li and Masato Noto  
Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Kanagawa University

見本投球動作を決め、見本投球動作とその他の投球動作を比較し類似度を求め、肘の負荷と投球動作の関係性を評価する。類似度は相対誤差とDTWの手法を用いて求める。

## 4 実験

### 4.1 実験環境

文献[1]および文献[2]の実験手法を参考にし、20代男性の経験者と20代女性の初心者それぞれ一人ずつを被験者として実験を行う。肘にセンサをつけ、実際にボールをリリースできるシャドーピッチング器具を使って投球する。一人当たり51本の動画を撮りデータセットを作る。動画取得において、個人のアームストレスに偏りを防ぐために、過度な負担を与えないように考慮して行う。

### 4.2 類似度の計算

使用する骨格部位は、検出精度が高かった18個中の15個の骨格座標を使用する。計測したエルボートルク[Nm]とアームスピード[rpm]から、アームスピードとエルボートルクの商を求め、1[Nm]あたりのアームスピード[rpm]を求める。51本の投球動作動画から最大値だったものを見本投球動作とする。15部位の $x, y$ 座標ごとの時系列データにおいて、見本投球動作1本とその他の投球動作50本で類似度を求める。センサで1[Nm]あたりのアームスピードも同様に、見本投球動作とその他の投球動作との類似度を求める。

### 4.3 相対誤差の類似度

相対誤差による計算は、式(1)、式(2)を用いる。各部位の時系列ごとの相対誤差を $r$ 、見本投球動作の $x, y$ 別座標データを $s$ 、その他の投球動作の $x, y$ 別座標データを $m$ 、投球動作開始の時系列番号を $k = 1$ 、終了の時系列番号を $t$ とする。見本投球動作との対応する各部位の $x, y$ 別の時系列座標データの相対誤差 $r$ を求め、部位ごとの平均値 $\mu_p$ を出す。式(3)で、全ての部位の投球動作開始から終了までの相対誤差の平均値を求め、一つの投球動作全体としての類似度が求まる。ここで

は相対誤差はパーセント誤差に 100 を足し、類似度の最大値を 100 として使用する. 式 (3) の 30 は, 一部位  $(x, y)$  でデータが 2 個, 使用部位が 15 部位となり, 合計データ数が 30 個となるためである.

$$r = 100 - \frac{|m_t - s|}{s} 100 \quad (1)$$

$$\mu_p = \frac{\sum_{k=1}^t r}{t} \quad (2)$$

$$\frac{\sum_{k=1}^p \mu_p}{30} \quad (3)$$

#### 4.4 DTW の類似度

DTW で類似度を求める手法は文献 [1] を参考にする. DTW による計算は, 見本とその他の投球動作との各部位の  $x, y$  別の時系列データを用いて投球動作開始から終了までの誤差距離  $d$  を求め, 最終的に式 (4) を用いて一つの投球動作全体としての類似度が求まる.

$$\frac{\sum_{k=1}^p d}{30} \quad (4)$$

#### 4.5 評価方法

見本とその他で, 投球動作全体の類似度と 1[Nm] あたりのアームスピードの類似度を比較し, 二つのデータの相関係数を求める. 最終的に相関性があるかどうかは, 動作の誤差が小さいほど, 適切なフォームに近づくことができる証明となる.

### 5 結果・考察

二つの手法で求めた投球動作全体の類似度と 1[Nm] あたりのアームスピードの類似度との関係性の結果を図 1 および図 2 に示す. 相対誤差で求めると, アームストレスと投球動作の相関係数は, 経験者で 0.45, 初心者で  $-0.09$  となり, DTW で求めると, 経験者で  $-0.52$ , 初心者で  $-0.02$  となった. 経験者の場合は, アームストレスと投球動作の間に弱い相関が見られたため, 肘の負荷と投球動作には多少は影響し合う関係性を持っている. しかしながら, 初心者の場合は, 二つの計算とも 0 に近い値になったため, 肘の負荷と投球動作にはほとんど相関性がない.

他に何か関係性があるかを調べるために, 投球動作の全体で類似度を見るのではなく, 部位ごとにセンサとの相関を分析したところ, 初心者には高い相関の部位がなかった. 一方, 経験者には相対誤差で求めた右膝の相関係数が 0.64 であることから, 投球動作全体の相関と比べ高い値となり, 経験者に対しては肘の負荷と投球動作に多少は相関性があると考えられる.

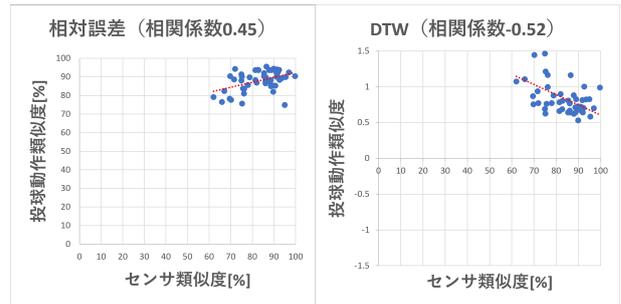


図 1: 経験者の肘の負荷と投球動作の相関図

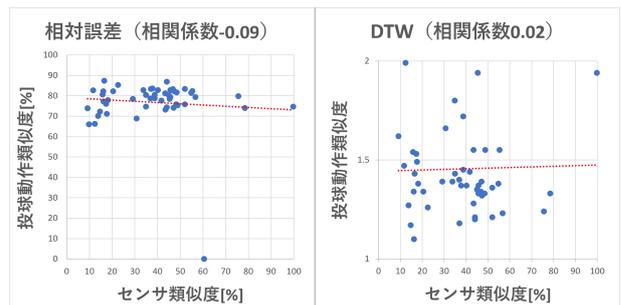


図 2: 初心者の肘の負荷と投球動作の相関図

### 6 おわりに

本研究は肘の負荷と投球動作の関係性を分析することで, 肘の怪我予防を目的とした投球動作分析手法を提案した. 研究結果として, 経験者の場合は肘の負荷と投球動作の間に多少の相関性を確認することができた. さらに有効な結果を得るためには, 被験者の数やデータ数の増加, 類似度の計算手法の改善, 座標解析の精度向上を行う必要がある.

今後は課題改善を進めていけば負荷と動作を同時にかつ定量的に比較する方法は新規性かつ有用性のある方法になるのではないかと考える.

### 参考文献

- [1] Osawa, R., Ishikawa, T. and Watanabe, H.: Pitching Motion Matching Based on Pose Similarity Using Dynamic Time Warping, *Proceedings of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 1–5 (2020).
- [2] Aouaidjia, K., Sheng, B., Li, P., Kim, J. and Feng, D. D.: Efficient Body Motion Quantification And Similarity Evaluation Using 3D Joints Skeleton Coordinates, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Vol. 51, No. 5, pp. 2774–2788 (2019).