

# 走行・投球フォームの映像データに基づく解析

23D7104001I 高木悠人

## 1. はじめに

本実験では、走行・投球フォームの映像データに対して、openpose 骨格解析モデルを利用したプロと素人の動作比較を行った。それにより、重心変化のように体を大きく動かすことで、直接的に関係する筋肉の部位だけのパフォーマンスでは不可能だった限界を超えることができるとわかった。そして、Openpose を始めとした物体検知モデルの有用性についても深く知ることができた。本実験では既存モデルを利用した比較のみだったため、それらのモデルにも着目、比較し、従来の社会課題に対してどのように活かすべきか考えることを今後の展望とする。

## 2. 実験メンバー

以下に、共同で実験を行った実験者を示す。本実験では、走行と投球における各実験者による個人差等が生じるため、走行時速度と利き手も明記することとした。

表 1. 共同実験者

学籍番号	氏名	走行時速度	利き手
23D7104001I	高木 悠人	20.0	左
23D7104016L	稲葉 賢二	7.1	右
23D7104018H	津賀田 晴	19.8	右
23D7104020D	石丸 朝登	17.1	左

### 3. データの収集

まずは、動画を撮影する手順について走行・投球で分けて示す。

#### 1. 走行フォームの動画撮影

走行フォームの撮影方法について以下に示す。

- (ア) 走行車、カメラ撮影者、速度調節者、解析者に分かれる
- (イ) カメラを三脚に固定し、トレッドミルとカメラを図1の通りに配置する。走行方法は、比較対象となるエリウド・キプチョゲ選手の動画の走行方法と同一にするため、走行車の左側から撮影することとする
- (ウ) 走行者がトレッドミル上に乗り、走れる状態に準備する
- (エ) カメラ(GoPro)を起動し、画角内につま先から頭までが入るようにする  
そして、トレッドミルすべてが画角内に収まっていることを確認する
- (オ) 安全タグを走行者に取り付け、転びそうになった際に自動停止できるようにする
- (カ) 速度調節者がトレッドミルをスタートし、走行者の決めた速度まで上げる
- (キ) 規定の速度に達したら、速度調節者はカメラの画角から外れる。カメラの画角内にいると、解析時に骨格が認識されてしまい外れ値になりうるため、注意する
- (ク) 速度調節者が画角から外れたのを確認したら録画を開始し約10秒間計測する

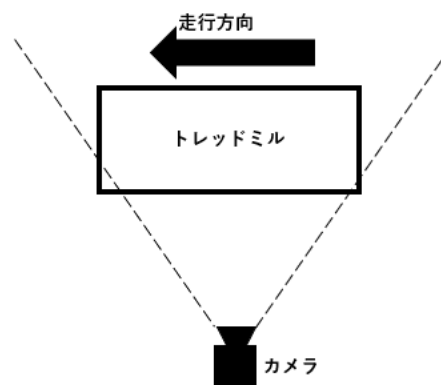


図1. トレッドミルとカメラの配置図

- (ケ) 撮影が終了したら、トレッドミル操作部の中央にある停止ボタンを押し、安全に止める

## 2. 投球フォームの動画撮影

投球フォームの撮影方法について以下に示す

- (ア) 投球者と解析者、撮影者に分かれる
- (イ) 投球者、カメラ、ストラックアウトの的を図2の通りに配置する
- (ウ) カメラを起動し、録画を開始する
- (エ) 投球者は自身のフォームで投球する
- (オ) 投球終了後3秒ほどあけてから録画を終了する

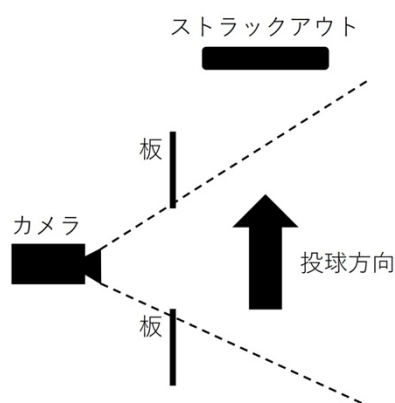


図2.投球者とカメラの配置図

次に、撮影した動画の前処理の手順を以下に示す。前処理については、走行・投球どちらも同一手順であるため、まとめて示すこととする。

1. 動画を GoPro からデスクトップ PC にコピーする
2. AviUtil を開き、動画を読み込む
3. 走行データについては、片方の足がついてから二歩分が一周期となるため、走行はそれの繰り返しと言える。よって、ランダムに抽出した一周期の解析をすることで走行フォームの特徴を捉えることができる。したがって、下のバーの部分をクリックし移動する。細かく移動する場合には、マウスホイールを利用する  
投球データについては、周期性があるものではないため投球動作開始から手から離れるまでを切り抜く
4. 選択が完了したら、動画を右クリックし「選択範囲の切り出し」を選択する
5. 切り出し完了後、「プラグイン出力」を選択し「拡張 x264 出力」を選択する
6. 走行データの場合は、「r 学籍番号 4 桁」とし、投球データの場合は、「t 学籍番号 4 桁」で保存する

7. Openpose の解析を行い、出力された.pkl ファイルをファイルアップロードフォルダーに保存する

以上でデータの収集を終了とし、データの可視化,比較にうつる。

#### 4. Openpose モデルによる解析理論

今回の解析には、Openpose という複数人の関節を同時に推定することができる骨格推定アルゴリズムである。実装は、オープンソースとして GitHub に掲載されているため、多くの研究者に利用されている。Openpose は、関節らしさを示すヒートマップと、その関節同士の関係 PAF(ベクトルデータ)を出力する。そのため、出力結果を pkl 形式で保存することで、それらのベクトル間における角度が関節における角度推移に該当する。また、それらの関節ポイント(位置)を時間推移で微分することで加速度を示すことができ、運動量と評価することができる。本実験では、モデルを利用した解析方法と解析結果の考察に焦点があたっているため、当該モデルについての具体的な解析,理論については省略することとする。

#### 5. プロの走行データとの比較

はじめに、プロの走行データとの比較を行う。本実験でのプロの走行データとしては、エリウド・キプチョゲ選手のマラソン動画を利用することとする。そして、本分析における改善とは、キプチョゲ選手の走行フォームを真とし、その走行フォームに近づけられることと定義する。そのため、身体的な特徴やそれによる走行フォームの個人差は加味せず、単純に評価することとする。

##### 1. 第二回での発表結果について

###### (ア) 走行者

今回、私達の班では、ランニングや筋トレ等について部活動や個人で深く行った経験がないため改善の余地が大きいと考え、稲葉氏を走行者とした。

###### (イ) 改善前の 1 フレーム分析

まずは、1 フレーム分析による改善案の抽出を行う。図 3 に左足着地時の 1 フレーム分析の図を示す。以下の図を見ると、着地した足の位置が、稲葉氏よりもキプチョゲ選手のほうが前にあることがわかる。換言するならば、股関節の可動域を大きくしストライドを大きくすることで、前への推進力を大きくするべきであると言える。つまり、着地位置を胴体よりも前に推移させることで、重心の真下に推移させるよりも、着地してから足で

地面を押すまでの時間を長くとることができ、大きな筋肉で押し出すことができる。もし、重心の真下で着地すると接地時間が短くなる。それにより、素早く跳ね上げる必要があり、お尻や太ももといった大きな筋肉ではなく、ふくらはぎや足首付近の小さな筋肉を使う必要がある。それにより、疲労を感じやすくなったり反発力を効率的に推進力に変えにくかったりというデメリットが生じると予測できる。更に、キプチョゲ選手はNIKEの「Alpha Fly」というエアの入った厚底シューズを着用していることが多い。そのため、従来のシューズよりもバランスを取りにくいことに加え、かかとで着地するヒールストライク走法よりも、母指球付近で着地するフォアフット走法に特化している。つまり、フォアフット走法では、腰を常に高い位置で推移させる必要があり、リズムを生み出すために、ストライドを大きく股関節から動かしているのではないかと推測した。

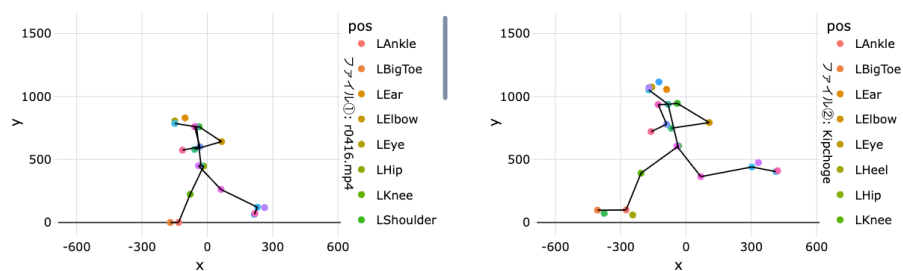


図 3. 左足着地時の 1 フレーム分析

左)稲葉 右)キプチョゲ選手

次に上半身の動かし方について着目する。図 4 は、腕の動かし方に着目した 1 フレーム分析である。以下の図を見ると肘の角度について、キプチョゲ選手のほうが大きく開いていることがわかる。具体的には、90 度二近く肩の力を抜いて走れていることと肘を後ろまでしっかりと引けていることがうかがえる。そのため、一周期での腕の振りが生み出す推進力やリズムを大きくすることができていると推測できる。そして、首の角度について、キプチョゲ選手のほうが姿勢良く、稲葉氏の走行は猫背になっていると評価できる。それにより、キプチョゲ選手は地面を足で押し上げるときに直線的に力を伝えることができ、効率的な走りが可能になっていると感じる。具体的には、棒高跳びの際に棒の方向を間違えてしまうと、違う方向に跳ねてしまう現象と類似しているといえる。

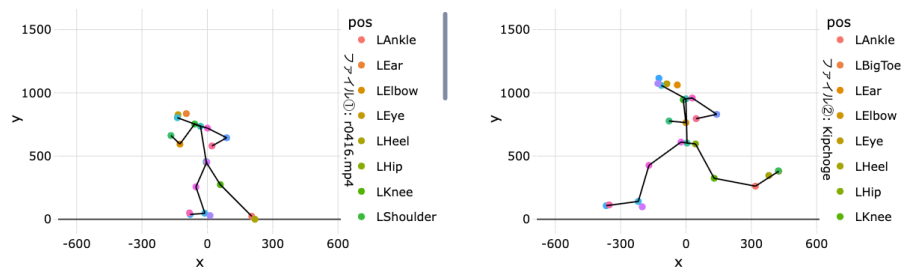


図 4. 上半身に注目した 1 フレーム分析

左)稲葉 右)キプチョゲ選手

#### (ウ) 改善前の軌跡分析

次に軌跡分析を行う。図 5 に軌跡分析の結果を示す。図 5 を見ると、全体的に変動量が小さい傾向にあるといえる。具体的には、つま先の軌跡は、2 倍ほどキプチョゲ選手のほうが大きく動いているといえる。さらに、腕の振りについても、1.5 倍近く大きく動いている。そのため、足や腕問わず、体を大きく動かすことの重要性を示唆している。

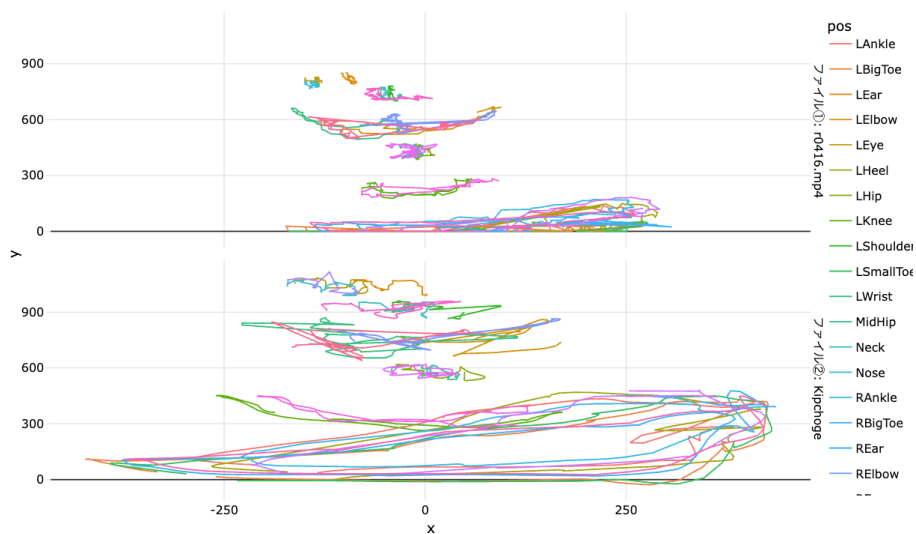


図 5. 軌跡分析

上)稲葉 下)キプチョゲ選手

## (エ) 改善前の運動量分析

次に運動量分析を行う。以下の図 6～8 に運動量分析結果について示す。以下を見ると、キプチョゲ選手のほうが運動量の推移が大きいことがわかる。具体的には、運動量の最大値は約 3 倍に達している。これは、ストライド等についてと同様に運動量を大きくするで、リズムを作りやすいためであると考ええる。さらに、Openpose のモデルでは、関節ポイントの座標と、その確からしさを確率で示している。そのため、運動量変化は、各関節ポイントの速度変化、すなわち加速度と比例するといえる。よって、加速度を大きくし体を素早く動かすことで、速く楽に前への推進力をうめると考える。

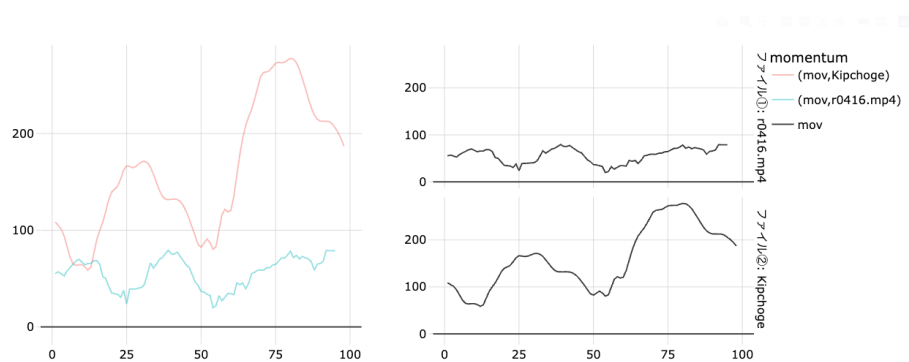


図 6. 運動量分析

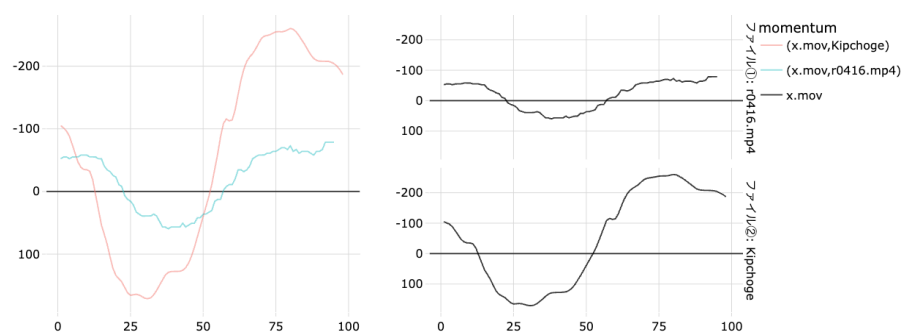


図 7. X 軸方向についての運動量分析

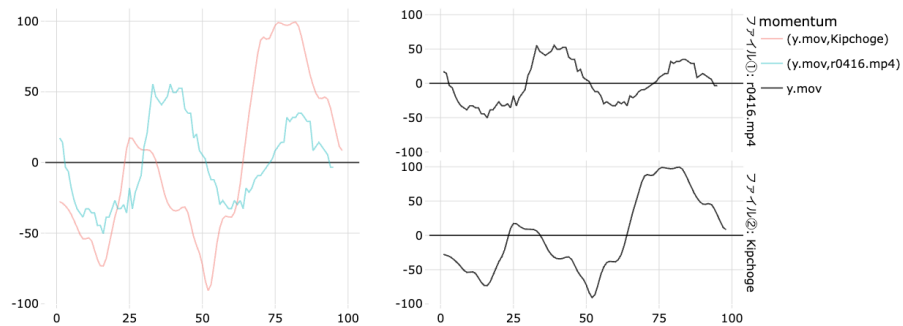


図 8. Y 軸方向についての運動量分析

#### (オ) 改善内容

今回の実験での改善内容について以下に示す。

##### ① ストライドを大きくする。

体を大きく使うという意味で、ストライドを大きくしリズムカルな周期をイメージすることを意識する。

##### ② かかとを腰の高さの少し下まで上げる。

股関節を大きく動かすことをイメージするため、後ろにある足を前に持ってくる際にかかとが腰の高さの少し下まであげ膝を曲げることを意識する。

##### ③ 肘と手の高さを変えない。

肘を 90 度に保つため、肩に力を入れずリラックスした状態で走ることを意識する。

#### (カ) 改善後の 1 フレーム分析

次に改善後の 1 フレーム分析について行う。図 9 は、改善前と後を比較した 1 フレーム分析結果である。以下の図を見ると、改善前に比べて、股関節周りの可動域が大きくなっていることがわかる。また、腕の振りも大きくなり、キプチョゲ選手に近い走りとなって、改善されたと評価できる。



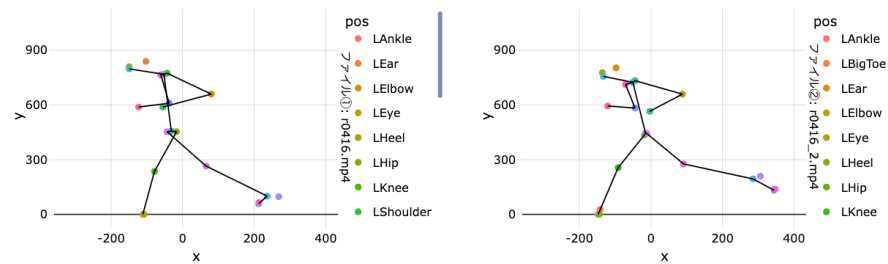


図 9. 改善後の 1 フレーム分析

左)改善前 右)改善後

#### (キ) 改善後の軌跡分析

次に改善後の軌跡分析について評価する。図 10 に軌跡分析結果を示す。図を見ると、足の腕の可動域が広がったと評価できる。特に、以下のポイントについて改善が見られた。

##### 1. ストライドを大きくする

約 1.2 倍に大きくなった。

##### 2. 腕を大きく振る

約 1.5 倍まで大きくなった。

##### 3. 前膝を前まで持ってくる

膝における軌跡分析を行うと、(-100,300)付近に少しはねている部分が見られる。それは、膝のポイントであり、高くまで上げられており股関節の可動域が大きいことと接地ポイントが重心よりも前に置くことができているといえる。

##### 4. かかとを腰の高さの少し下まで上げる

足における軌跡が y 方向に膨らんでいることから、改善していると評価できる。

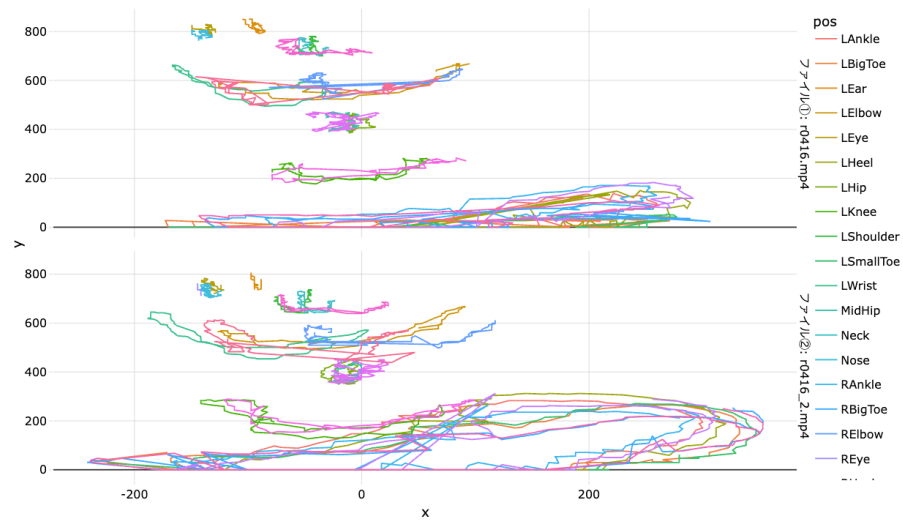


図 10. 改善後の軌跡分析  
上)改善前 下)改善後

#### (ク) 改善後の運動量分析

改善後の運動量解析を図 11 に示す。図 11 を見ると、運動量の増減が改善前寄りも大きくなっていることがわかる。つまり、速く大きく動かすことができているといえる。そして、1 フレーム分析や軌跡分析と併せて考えると、腕や足の動きを大きくすることは、歩数あたりの距離を伸ばせるだけではなく、リズムに乗りやすいことで力まずに走行できるなど、相乗的にメリットが生じると推察できる。

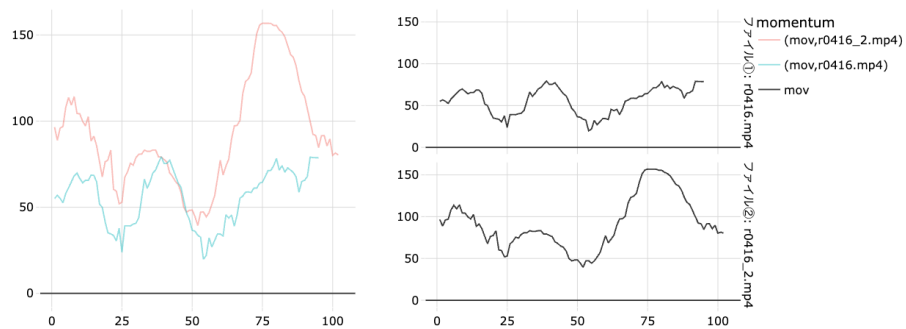


図 11. 改善後の運動量分析

## 2. 自身のフォーム解析について

次に、自身のフォーム解析についておこなう。

### (ア) 1 フレーム分析

1 フレーム分析の結果を図 12 に示す。以下を見ると、股関節を大きく開くことができている、リズムよく走れていると評価できる。また、腕の振りについても後ろまで肘を引くことができているため、躍動した走りになっていると言える。しかし、腕の振りについて 90 度を保つことができておらず、力が抜けてしまっていることが改善すべき点であると言える。そして、腰の位置について、キプチョゲ選手よりも低く推移しており、走法の違いによるものであると推測する。私は、小学校のときから高校まで駅伝を続けており、ミッドフット走法と呼ばれるミッドフットで着地する走法を続けている。そのため、着地時に足を重心よりも前に持っていき、安定的に走ることができる。ただし、足を前に投げ出すような走りになるため、腰の位置が下がってしまうという傾向があると思う。

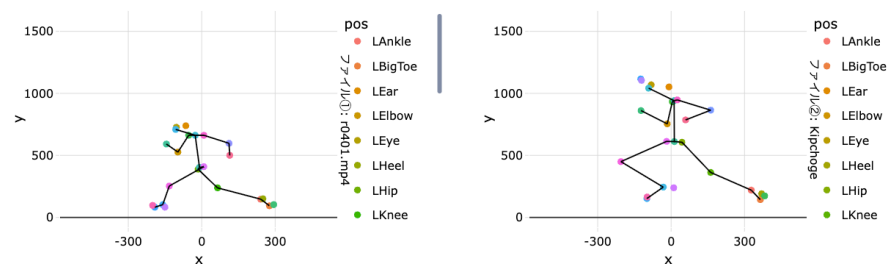


図 12.1 フレーム分析

左)高木 右)キプチョゲ選手

#### (イ) 軌跡分析

次に軌跡分析を行う。軌跡分析の結果を図 13 に示す。以下を見るとストライドが足りていないことが上げられる一方で、稲葉氏の走行フォームに比べて前膝が上がっている傾向にあることなどが評価できるポイントといえる。今後の改善方法としては、股関節の柔軟を積極的に行い可動域を大きくすることと、お尻や太もも部分の筋肉をメインに鍛えることで、速く動かし加速度を上げることでリズムカルな走りにしたいと考える。そして、自分自身、疲れにより上半身のブレが出やすいため筋トレだけではなく体幹を鍛える必要もあると考察する。

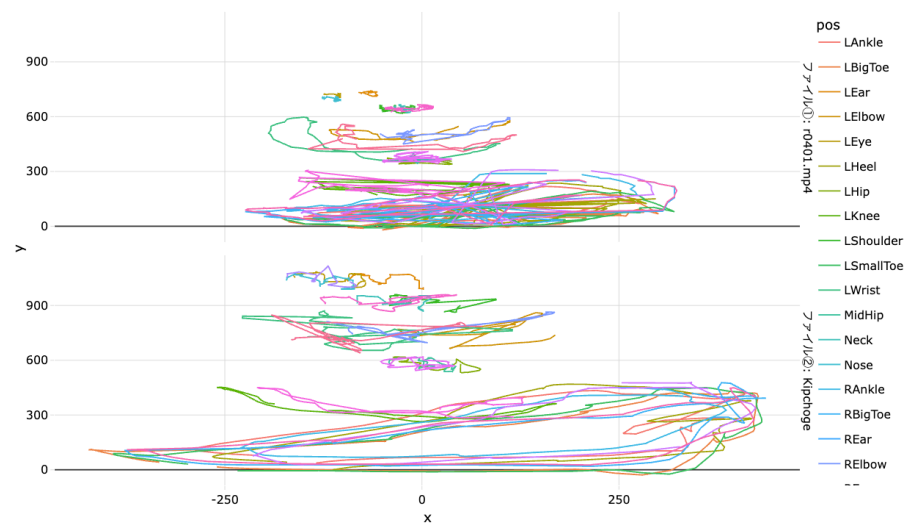


図 13. 軌跡分析結果

上)高木 下)キプチョゲ選手

## 6. プロの投球データとの比較

### 1. 第三回での発表結果について

#### (ア) 投球者

今回、私達の班では、石丸氏を投球における改善対象者とした。

#### (イ) 改善前の 1 フレーム分析

まずは、1 フレーム分析を行う。図 14 は、投球動作開始時の 1 フレーム分析である。これを見ると、どちらも、投球方向に対して後方に重心がよっていることがわかる。ただし、今永選手のほうが、片足上げていることで重心をより後方にもっていきことができているとわかる。

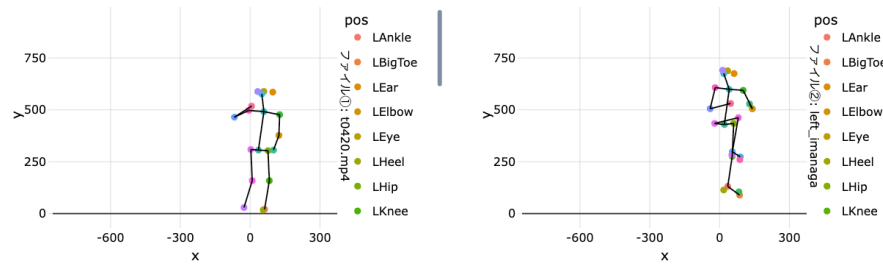


図 14. 投球動作開始時の 1 フレーム分析

左)石丸 右)今永選手

次に、球が手から離れる状態の 1 フレーム分析を図 15 に示す。これを見ると、石丸氏の重心移動が足りないことが明確にわかる。石丸氏の 1 フレーム分析を見ると、手首だけで投げており重心は鉛直方向になっている。しかし、今永選手は、肩から動かしており重心が前傾していることがわかる。これにより、球に対して力を乗せていることが伝わってくる。更に、今永選手は、後ろ足が浮いており重心移動が大きいことがうかがえる。

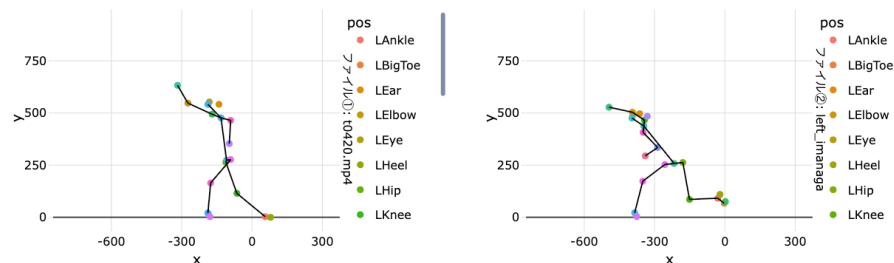


図 15. 球が手から離れる状態の 1 フレーム分析

左)石丸 右)今永選手

#### (ウ)改善前の軌跡分析

次に軌跡分析を行う。図 16 に軌跡分析結果を示す。これを見ると、位置の変化が圧倒的に小さいことがうかがえる。具体的には足先の移動が約 3 倍、腰の移動が 1.5 倍となっている。さらに、石丸氏の投球軌道が上に凸の丸みを帯びた軌道になっているのに対して今永選手は、より直線的な軌道を描いている。そのため、今永選手は遠心力を用いて加速させているというよりも、直線的に押し出す力の影響を強く受けているといえる。それにより、無駄な動作がなくなり、投球方向、重心移動の方向と腕の軌道が同一直線上に存在し、ストレートを投げやすいのではないかと考えた。

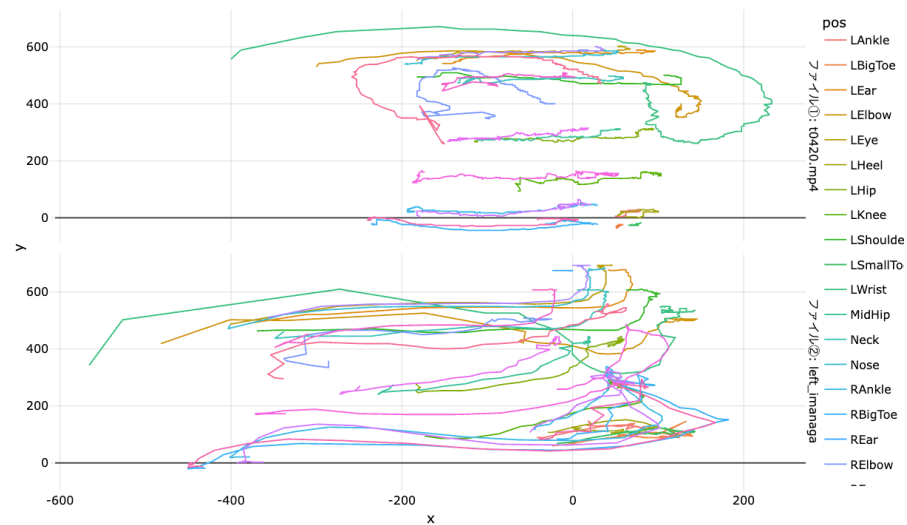


図 16. 軌跡分析結果

上)石丸 下)今永選手

#### (エ) 改善前の運動量分析

次に、運動量分析を行う。図 17 に運動量分析の結果を示す。以下の運動量分析結果を見ると、今永選手は、投球動作開始後から単調的に増加し、手から離れる直前に運動量が急増していることがわかる。それに対して、石丸氏の運動量変化の推移では、単調的に減少していき、投球直前に増加するといった推移となっている。それにより、手から球が離れる際の運動量は、倍以上も差が生じている。これは、軌跡分析で述べた通り、フォームの違いによるものであると考える。まず、石丸氏と今永選手における投球フォームの傾向を以下に示す。

##### 1. 石丸氏

肩を中心とする楕円軌道を描いてから、肘,手首を中心とする直線軌道に移り変わる。

##### 2. 今永選手

初期位置から、肘を後ろに持っていく初軌道ののち、投球方向と同一の直線運動のような軌道となっており、投球初期は、肩の力で押し込むのに対して、手から離れる前は手首のスナップを利用してコンパクトに押し出している。

上記を参考にすると、球への力のかけ方が根本的に異なっている。そのため、楕円軌道を描く石丸氏では、一度上に腕を上げる必要があり、負荷と

なるため運動量が増えにくいのではないかと考える。一方で、今永選手は直線軌道上に位置したら、そこから直線的に動くため途中で減速せずに運動量が単調的に大きくなったと考察する。

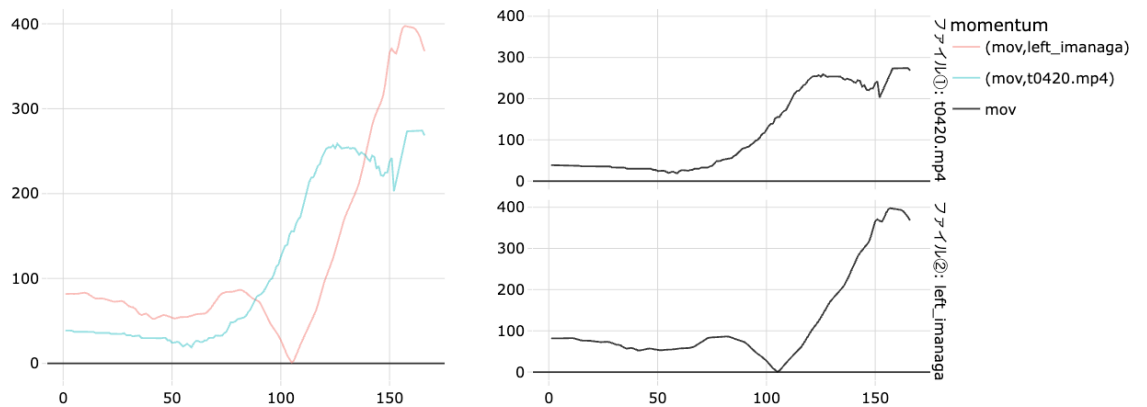


図 17. 運動量分析結果(左手首)

次に、X 軸方向での運動量分析についても比較する。以下の図を見ると、今永選手の X 軸方向の運動量が最終的に大きくなっていることがわかる。これは、石丸氏の投球において投球動作の過程で負方向に運動量が増加していることが要因であると考え。特に、大きな楕円運動を描いているためであると考え。そのため、投球の軌道はコンパクトにすることで、最終的な運動量を大きくすることができ、改善できると推測する。

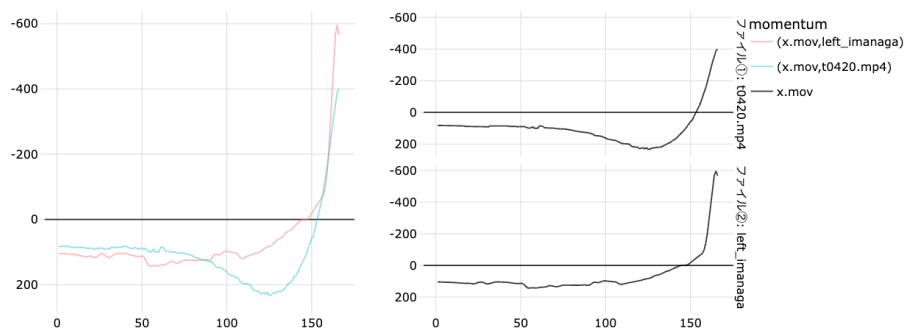


図 18. X 軸方向での運動量分析(左手首)

次に、Y 軸方向での運動量分析について考える。以下を見ると、概形は共通しているものの、石丸氏の推移のほうが大きく変化していることがわかる。本グラフは、Y 軸方向であるため、投球方向と垂直である。つまり、投球方向に効率的に力を送る場合、他の方向への力ベクトルは極力なくす

べきである。つまり、Y 軸方向の運動量変化は、減らすべきであると推測する。

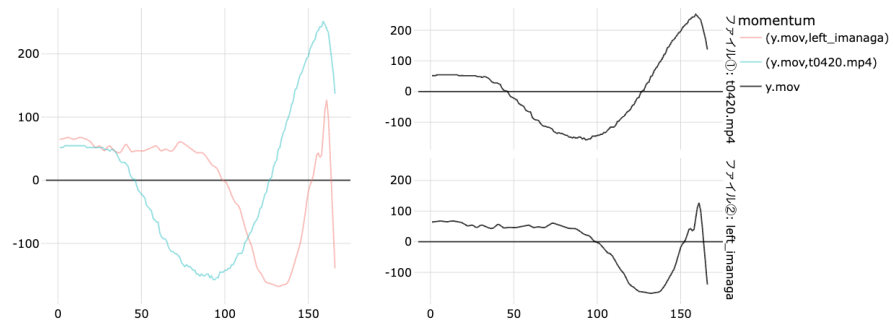


図 19. Y 軸方向での運動量分析(左手首)

#### (オ) 改善内容

以下に改善内容を示す。

- 腕の動かし方を変える  
腕の動かし方を楕円軌道ではなく、直線的な推移を目指し、無駄を削減することを意識する。
- 重心移動  
投球方向への重心移動を大きくするため初期位置について軸足でない方の膝を上げる。そして、その足をできる限り投球方向へ送るイメージで重心を移動する。

#### (カ) 改善後の 1 フレーム分析

まず、改善後の初期位置についての 1 フレーム分析を図 20 に示す。図 20 を見ると、軸足でない右足を高く上げることができており、重心を後ろよりにできていると言える。

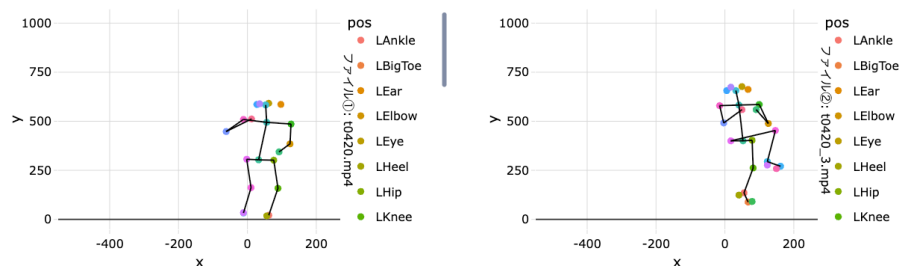




図 20. 改善後の初期フォームにおける 1 フレーム分析

左)改善前 右)改善後

次に、球が手から離れる瞬間の 1 フレーム分析を行う。以下を見ると、軸足でない右足を投球方向前方へ開くことができている、重心移動を行えていると評価できる。さらに、軸足を最後浮かせており、改善できているといえる。

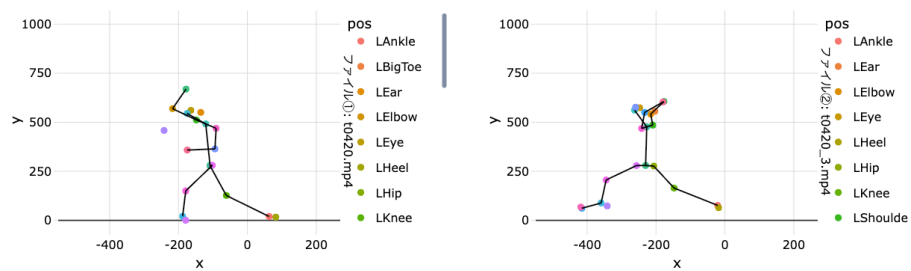


図 21. 改善後の球が離れる瞬間の 1 フレーム分析

左)改善前 右)改善後

(キ) 改善後の軌跡分析

次に軌跡分析を行う。軌跡分析の結果を図 21 に示す。以下を見ると、軌跡が水平直線的に推移していることがわかる。つまり、投球軌跡も足の運び方も、投球方向と同一直線上であるため、無駄が省かれているといえる。

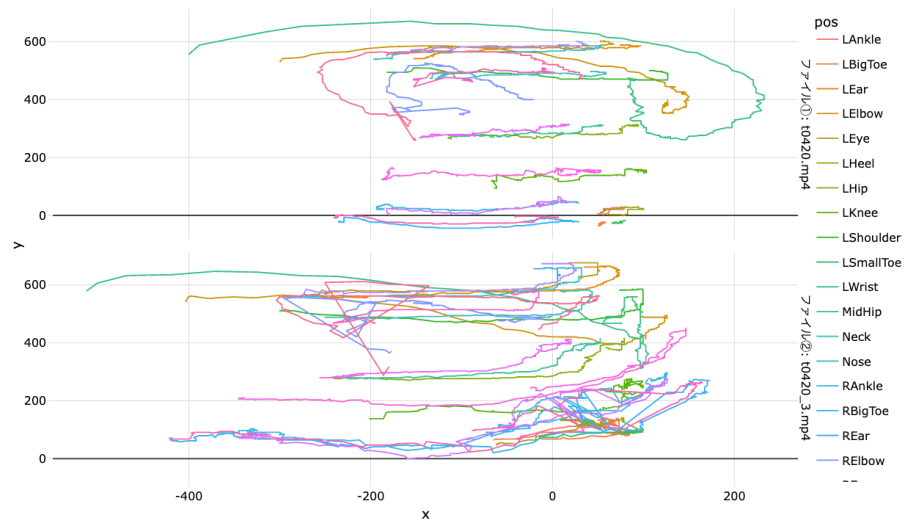


図 22. 改善後における軌跡分析

上)改善前 下)改善後

### (ク)改善後の運動量分析

改善前後, 今永選手との比較に関する運動量分析をそれぞれ図 23, 24 に示す。まず、図 23 に注目すると、左手首について、最終的な運動量を増加させることができているため、改善されたと評価できる。そして、推移の形状も、図 24 から読み取ると、推移の形式が酷似しているため大幅にフォーム改善が行われたといえる。

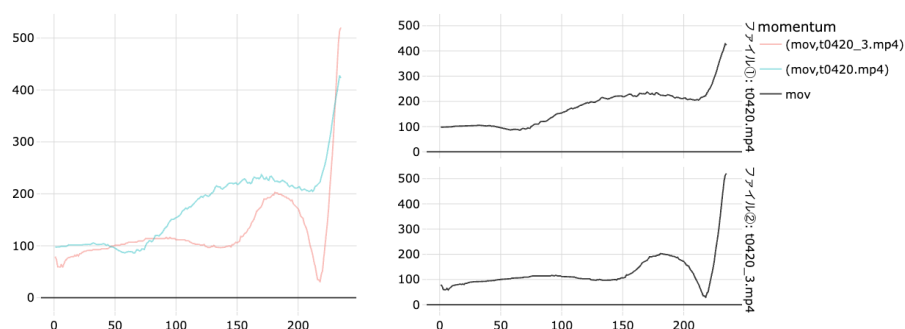


図 23. 改善後における左手首の運動量分析

改善前後での比較

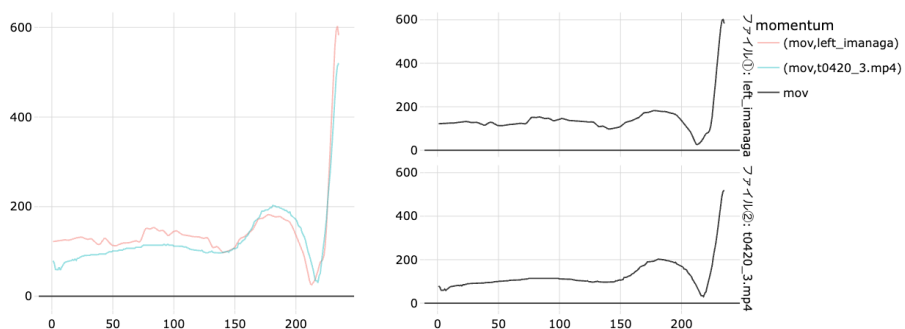


図 24. 今永選手との運動量比較

そして、腰の位置での運動量分析も確認する。改善前後, 今永選手と改善後の石丸氏の運動量分析の比較をそれぞれ図 25, 26 に示す。以下を見ると、改善前では、運動量変化が見られず重心移動がないと評価できる一方で、改善後では、運動量が大きく変化しており、重心移動が存在したと言える。更に、図 26 を見ると、その運動量変化の形状が今永選手の推移と同形状であったため、その重心移動は良い改善と評価することができる。

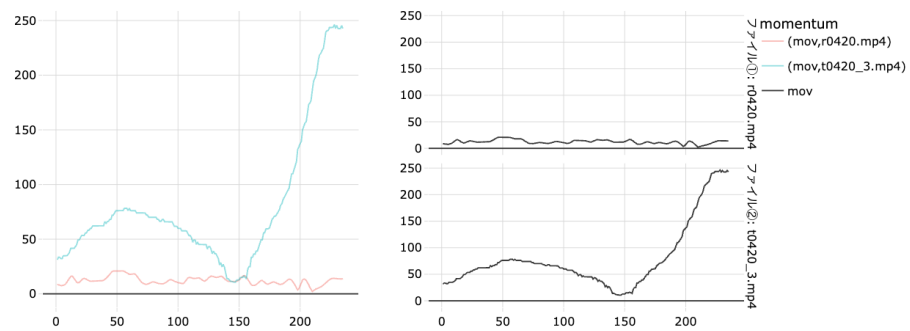


図 25. 改善前後での運動量比較

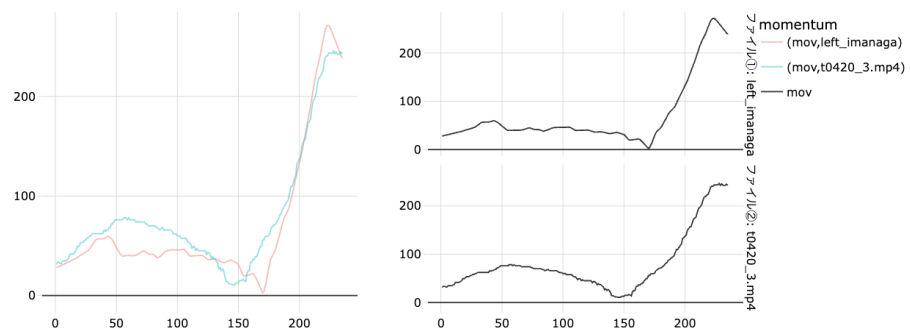


図 26. 今永選手との運動量比較

## 2. 自身のフォーム解析について

### (ア) 1 フレーム分析

まず、初期位置での 1 フレーム分析を図 27 に示す。以下を見ると、初期位置での軸足でない足の位置が異なっている。それにより、重心が垂直であり、重心移動を大きくしにくいという課題が生じている。

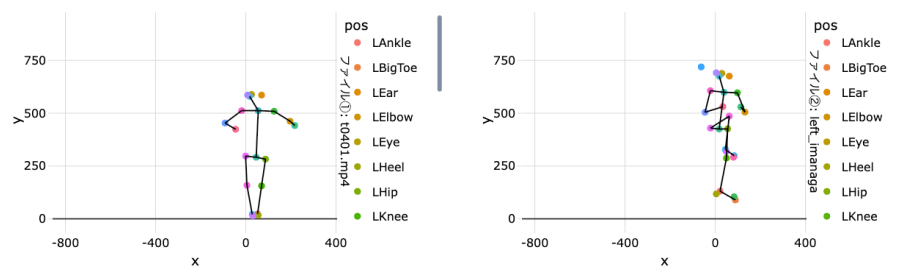


図 27. 初期位置での 1 フレーム分析

左)高木 右)今永選手

次に、投球動作過程における 1 フレーム分析を行う。図 28 を見ると、球が後方にあるときに、体全体を使って投げるのではなく手首だけで投げる投げ方になっていることがわかる。要するに、肩より下の部分が固定されている状態になっており、腕しか動いていない。それにより、大きな力を与えられないため改善点であると評価できる。

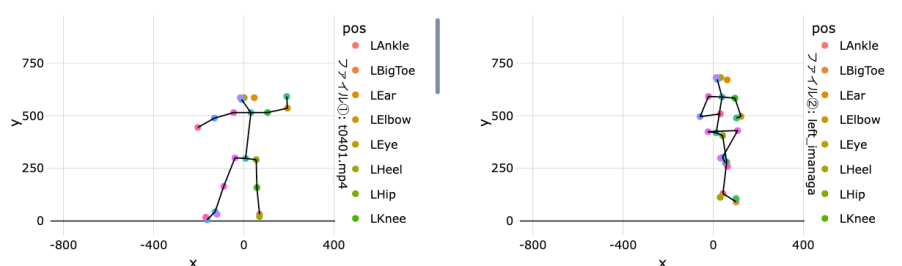


図 28. 投球動作過程における 1 フレーム分析

左)高木 右)今永選手

最後に、球が手から離れる瞬間についての 1 フレーム分析について図 29 に示す。以下を見ると、動作過程に対する評価でも言及したように、偏り下の部分がほぼ動いていないことが確認できる。そのため、投球が腕の筋力にのみ依存する。つまり、重心移動を行うことで、腕の筋力での限界を超えることができると考える。

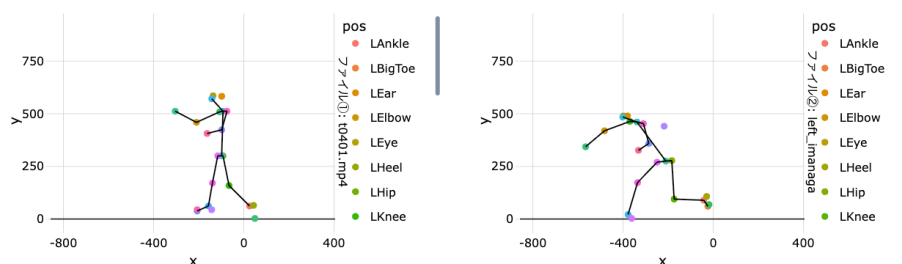


図 29. 球が手から離れる瞬間の 1 フレーム分析

左)高木 右)今永選手

#### (イ) 軌跡分析

次に、軌跡分析の結果を図 30 に示す。図 30 の上である高木の投球に関する軌跡分析を見ると、逆三角形の構図であるとわかる。つまり、腕の部分の動作は大きい一方で、足や胴体はほぼ動いていない。これは、1 フレーム分析でも述べた通り、重心の移動が全く行われていないことを示唆している。さらに、腕の動作距離及び範囲が今永選手の半分ほどになっており、体を大きく動かしていないことも改善すべき点であると考ええる。

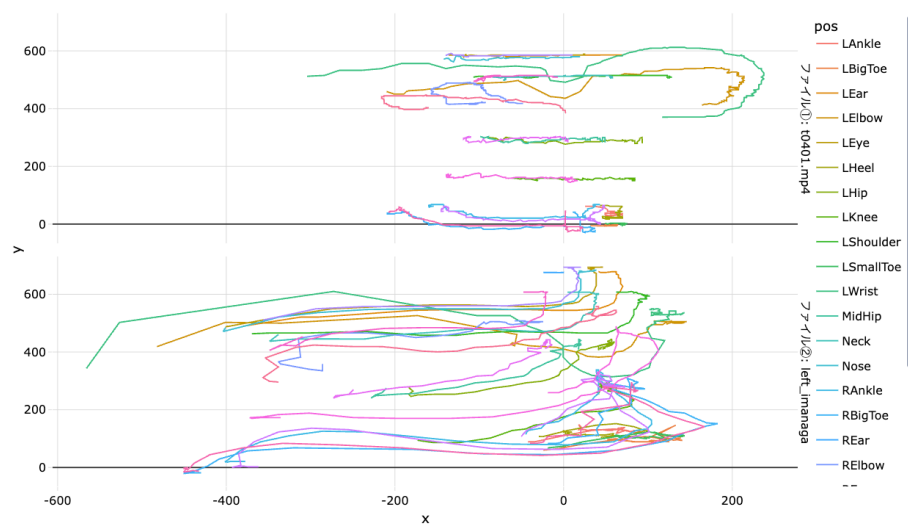


図 30. 投球フォームの軌跡分析

上)高木 下)今永

#### (ウ) 運動量分析

最後に、腰の運動量分析を図 31,32,33 に示す。以下を見ると、全てにおいて変位が小さいことがわかる。腰は体の軸となる部分であることから、重心移動が小さいことは明確である。そして、Y 軸方向における運動量分析について、高木の運動量変化に対して 7,8 倍近い変化があった。先に述べた比較では、Y 軸方向における運動量変化は、投球方向への運動ではないため無駄であると考察したが、実際には投球方向が水平ではなく、やや下向きであることで、体を Y 軸下向きに少し推移させることで、推進力につなげることができるのではないかと考える。具体的には、投球の種類がやり投げのような斜方投射ではなくやや水平投射に近い軌道になるため、体を鉛直下向きに推移させることで、球に対して下向きの力を加え円

軌道で描いてきた際に生じる鉛直上向きの力を相殺しようとしているのではないかと推察する。

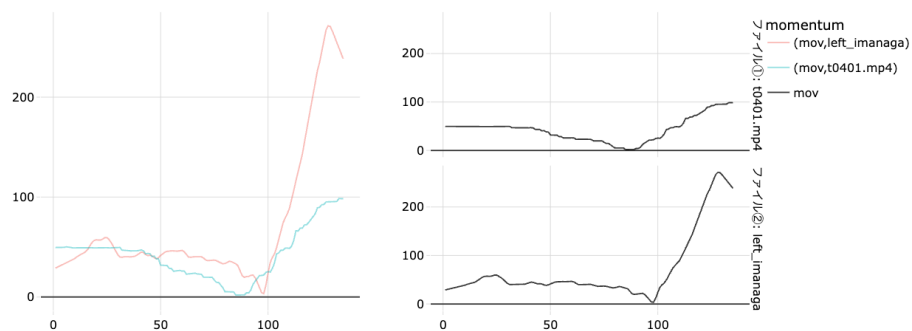


図 31. 腰における運動量分析

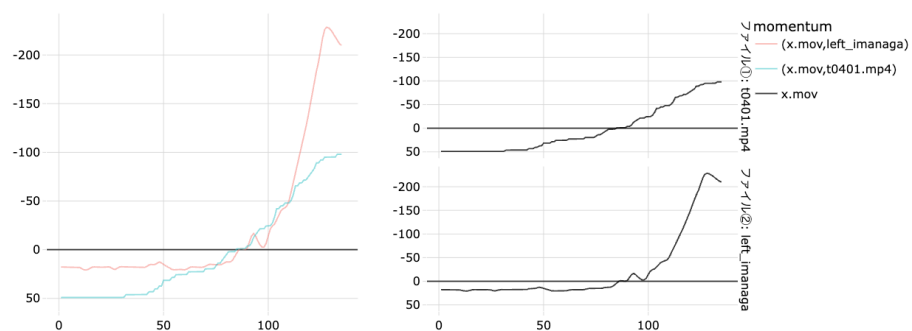


図 32. 左手首における X 軸方向の運動量分析

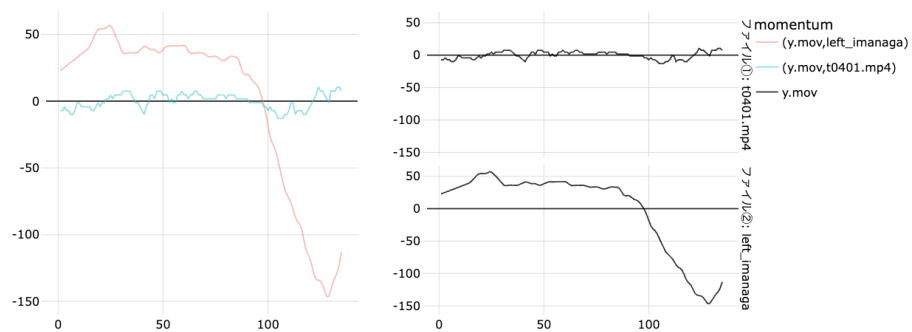


図 33. 左手首における Y 軸方向の運動量分析

## 7. 感想

本実験では、人間骨格解析モデル Openpose を利用した運動フォームの改善を行った。従来のフォーム改善では、動画を見て感覚的に評価、アドバイスしていたことが定量的に評価することができるようになったため、手本が存在する際の技術向上が容易になったと考えられる。更に、Openpose のモデルは、CNN 畳み込みニューラルネットワークで構成されており、最初は  $7 \times 7$  で構成していた畳み込みを  $3 \times 3$  に変更したことで、計算量が約半分まで削減できた。そのため、ロースペックな環境でも実装することができるのが利点である。それにより、将来的には iPhone でダンス動画を LiDAR 形式で録画し、ローカルで処理できるようになるのではないかと考える。そのようになれば、誰もがトップアスリートと同様の練習を行うことができる。そして、この骨格解析等の物体検知は小さい計算リソースで実行できれば、スポーツだけではなくオフライン環境の産業用ロボットに組み込むことができるなど、メリットは大きいと言える。本実験では、既存モデルを利用した比較解析であったが、今後はモデル自体にも着目したいと考える。その過程で、本実験で利用したソフトウェアの改良として Openpose モデルによる解析の内部化と React + Python によるインタラクティブな Web アプリケーションの構築を行うことを今後の展望とする。

## 8. 参考文献

1. 高木悠人, Speaker deck “センシングデータ解析 8 班 投球データ分析” (<https://speakerdeck.com/yut0takagi/sensingudetajie-xi-8ban-tou-qiu-detafen-xi>), 2025/05/19 参照。
2. 高木悠人, Speaker deck “センシングデータ解析 8 班 走行データ分析” (<https://speakerdeck.com/yut0takagi/sensingudetajie-xi-8ban-zou-xing-detafen-xi>), 2025/05/19 参照。
3. 今田一希, 大草孝介, “Openpose から得られる骨格解析を用いた動作解析ソフトウェアの開発”, 計算機統計学, 2025/05/19 参照。