

# 人工知能を用いた学童野球選手における危険な投球動作の推定

## Risk Factors related to pitching mechanics of Throwing Injuries in Young Baseball Players: A Cohort Study Using Artificial Intelligence



**広瀬 統一** (Norikazu HIROSE, Ph. D.)  
早稲田大学 スポーツ科学学術院 教授  
(Professor, Department of Sport Sciences, Waseda University)  
日本アスレティックトレーニング学会 日本トレーニング科学会 他  
著書: アスレティックトレーニング学、文光堂 (2019年) 他  
研究専門分野: アスレティックトレーニング

### あらまし

学童期野球選手の投球障害に関与する危険因子について人工知能 (AI) を用いた投球動作解析により検討することとした。学童期の野球選手を対象に、マーカレスモーションキャプチャーを用い、投球動作を解析し、肘部の軌跡と矢状面上での体幹前傾角、骨盤傾斜角、前腕回旋角を計測した。初年度の測定後、3年間の投球障害肩・肘発生の有無を前向きコホート調査し、投球障害発生と投球動作の関連について検討した。投球障害に関連する動作の特徴として、足接地から肩最大外旋にかけての肘関節の上方移動がスムーズでなかったことと、骨盤の回転が少なく、下半身が円滑に使えていないことが挙げられた。AI を用いたマーカレスモーションキャプチャーは、投球動作の解析を容易にし、臨床や現場での活躍が期待できる。また、今後多くの競技に応用されることが期待される。

### 1. 研究の目的

我々は、これまで学童期の野球選手における障害調査を実施し、最も多い障害は野球肘\*1であることを明らかにした[1]。野球肘の発生率は4人に1人にも及び、その中の10人に1人は、日常生活での支障や野球の継続が困難なほどになっていた。近年、有能な野球選手に対する肘の手術もニュースなどで取り沙汰されており、世の中の関心も高い。成人期における野球肘の手術への移行は、学童期での野球肘発生がその要因で

あることがわかっており、この時期の野球肘の予防を推進する必要がある。

野球肘は投球の繰り返しにより発生しており、投球動作の不良も危険因子として考えられる。近年、人工知能 (AI) を用いた姿勢推定をする技術が開発され (リアルタイム 2 次元姿勢推定システム)、マーカーを使用しない動作解析技術が報告された[2]。実際にスポーツ動作解析への応用が実用化されてきており[3]、動作解析に必要な機材や分析時間が大幅に削減可能となってきた。本研究の目的は、AI を用い、投球動作を解析する手法を確立し、野球肘の危険因子となりうる投球動作を推定することである。

### 2. 研究の背景

投球障害の発生に関与する危険因子は多く存在し、学童期あるいはリトルリーグの選手 (13 歳以下) では、その危険因子が多岐に渡る。まず、年齢が高いことを投球肘障害の危険因子として挙げた論文が多くみられる[1、4、5]。また体格面では体重が重く、身長が低いことも危険因子として挙げられる[4]。ポジションでは、ピッチャー[1、5]の発生リスクが高く、キャッチャーも発生リスクが高いとした報告[5]もみられる。球数について、1 日当たり 100 球以上の投球数[1]、50 球以上の全力投球が危険因子として挙げられ、ピッチャーに限ると年間 600 球以上のピッチングが危険因子として挙げられている[5]。上記のように投球負荷が危険因子として挙げられるのは間違いない。

一方で投球動作に関する報告は少なく、唯一、坂田ほか[6]が足接地から肩最大外旋まで間の肩外転角の減少、いわゆる“肘下がり”を肘内側障害の危険因子として挙げている。また、投球動作の不良と肩関節や肘関節に加わる負担 (肩関節長軸へのけん引力や肘関節外反トルク) との関係性を調べた報告によると、体幹の早期回旋[7]や体幹の非投球側への過剰な側屈[8]といった骨盤に対する体幹の異常動作が大きいほど、肩関節や肘関節への負担が大きいとの報告があり、着目すべき動作と言える。以上の研究より、着目すべき動作として、本研究では、投球時の肘の軌跡や体幹や骨盤運動について調べることにした。

# 人工知能を用いた学童野球選手における危険な投球動作の推定

Risk Factors related to pitching mechanics of Throwing Injuries in Young Baseball Players: A Cohort Study Using Artificial Intelligence

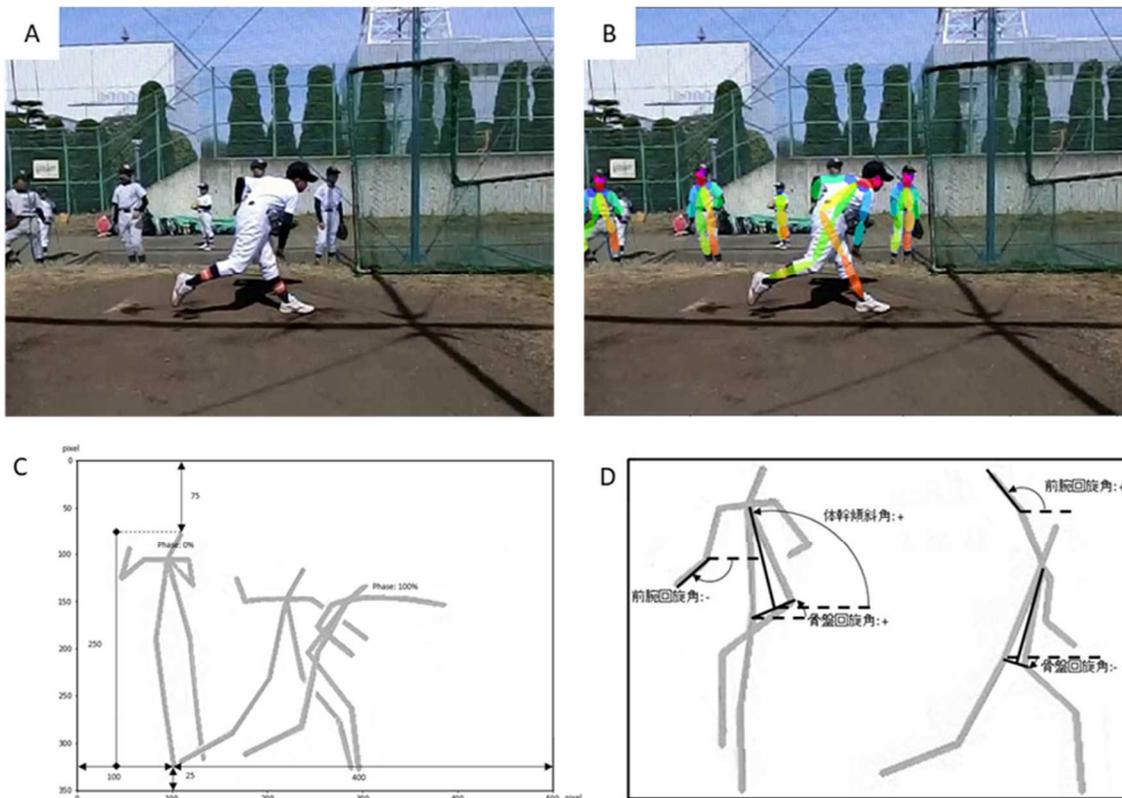


図 1 AIを用いたリアルタイム2次元姿勢推定システム

- A:解析前の静止画データ
- B:姿勢推定後の静止画データ
- C:画角と投球区間の定義
- D:体幹前傾角, 骨盤傾斜角, 前腕回旋角の定義

### 3. 研究の方法

投球動作の撮像方法について、マウンドからベースへ3球全力投球(14.02m)をした際の投球動作をハイスピードカメラ(EX-ZR100、Casio Co、Japan)を側方5mに設置し、240フレーム毎秒で撮影した。球速の最も速かった試技の動画を採用した。

初年度は、公開されているリアルタイム2次元姿勢推定システムのコードをpython\*2に実装し、姿勢推定の可否を検証した(図1AB)。つま先から頭部までの高さで画角を正規化(横1.5倍×縦1.3倍)した。足接地からボールリリースまでを100%投球区間とし、リアルタイム2次元姿勢推定システムを用い、肘部の軌跡を自動追尾した。

さらに投球動作撮像した投手138例に対し、肘内側

障害発生状況を前向きコホート調査\*3し、障害発生データを収集した。投球時の肘内側部痛に加え、超音波による内側上顆下端部の異常あるいは肘の屈伸・外反強制時痛陽性の場合に肘内側障害発生有りとした。発生の有無による軌跡の違いについて、各投球区間での移動量を一元配置の分散分析を用い検討した(有意水準P<5%)。

次年度以降は、初年度撮影時に小学3年生であった投手に対し、小学6年生まで毎年同様に投球動作を撮像した。初年度と異なる点として、解析区間を延長し、前足が離地してから肩が最大内旋するまでの投球動作(図1C)とし、矢状面上での体幹前傾角、骨盤傾斜角、前腕回旋角を計算した(図1D)。すなわち、体幹前傾角は両股関節の midpoint と胸部を結んだラインと地面のな

# 人工知能を用いた学童野球選手における危険な投球動作の推定

## Risk Factors related to pitching mechanics of Throwing Injuries in Young Baseball Players: A Cohort Study Using Artificial Intelligence

す角とした。骨盤傾斜角は両股関節を結んだラインと地面のなす角とした。肘と手を結んだラインと地面のなす角を前腕回旋角とした。傷害調査も、肘内側障害だけでなく方も含めた投球障害（肩・肘）発生の調査

とし、3年間の発生の有無を前向きコホート調査した。投球障害発生の有無と投球動作の関係について、反復測定分散分析を用い検討した（有意水準  $P < 5\%$ ）。

### 4. 研究の結果

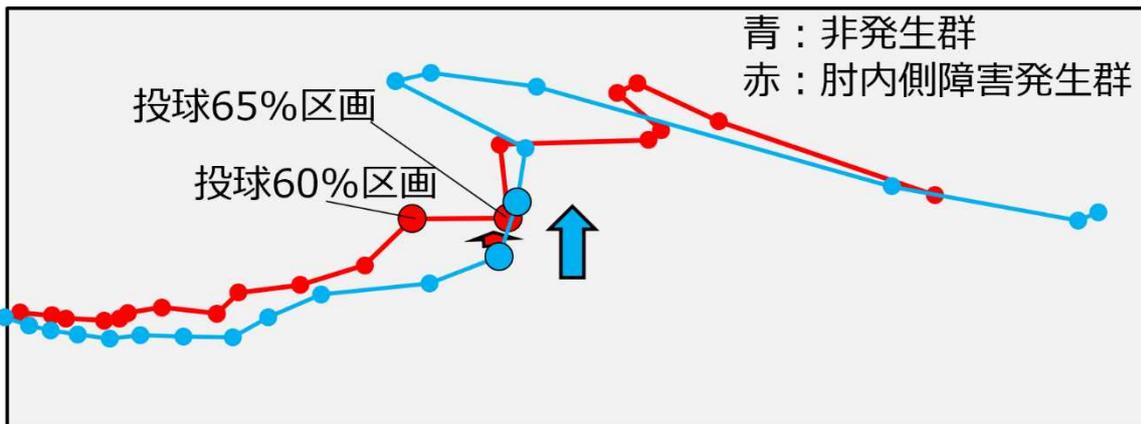


図2 投球時の肘の軌跡。投球区間が60%から65%区間において、赤の肘内側障害発生群の肘の軌跡が上方に偏位していないことがわかる。

初年度、AIを用いたリアルタイム2次元姿勢推定システムという動作解析プログラムの開発が完了した。これにより、マーカーを用いずに投球動作中における身体特徴17点（両眼、両耳、鼻、胸、両肩、両肘、両手、両股、両膝、両足）を自動的に追尾することが可能となった。一方で、AIによる自動追尾には課題も残った。具体的には、回転動作を行うことで左右の上肢の位置が逆転すると左右を誤認識するため、その修正を手作業で行う必要があった。

一年間の障害調査の結果、肘内側障害の発生率は年間で19.1%（138名中28名）であることが判明した。内側障害群において、肘部上方変位量が60–65%投球区間で低値となった（図2）。つまり、肘内側障害発生群において、肘部の上方変位量が少なく、肘が上方にスムーズに上がらないことが分かった（図3）。



図3 肘内側障害を発生しなかった選手たちの平均動作（黄緑色）と肘内側障害を発生したこの選手の動作（黄色）を比較すると、肘の位置が低いことがわかる。

# 人工知能を用いた学童野球選手における危険な投球動作の推定

## Risk Factors related to pitching mechanics of Throwing Injuries in Young Baseball Players: A Cohort Study Using Artificial Intelligence

さらに障害調査を進めると、投球障害の発生率について、小学3年生から4年生の間に97名中34名(35.1%)、小学4年生から5年生の間に63名中18名(28.6%)、小学5年生から6年生の間に45名中14名(31.1%)発生し、3年間に66名68.0%の選手に投球障害が発生した。小3、小4、小5のいずれの年代においても、投球障害群の骨盤傾斜角変位量が健常群と比べ、有意に低かった(表1)。つまり、投球障害群の方が、健常群よりも投球時に骨盤の回転が少ないことが少ないことがわかった。

表1 学年毎の骨盤回旋角変位量の推移(つま先離地から肩最大内旋まで)

骨盤回旋角変位量(°)	投球障害群		健常群		P値
	平均	SD	平均	SD	
小学3年生	53.5	17.1	63.8	19.0	.049
小学4年生	64.1	17.7	75.7	17.5	.015
小学5年生	64.1	17.7	75.7	17.5	.015
小学6年生	60.2	18.0	59.9	14.1	.940

SD, 標準偏差

### 5. 考察

肘内側障害に関連する動作の特徴として、足接地から肩最大外旋にかけての肘関節の上方移動がスムーズでなかったことと、骨盤の回転が少なく、下半身がうまく使えていない可能性が考えられた。前述のように、いわゆる“肘下がり”と言われる投球動作は肘内側障害の危険因子となりうると考えられている[6]。今回の研究結果では、実際に肘の位置が下方に偏位はしないものの、健常者が徐々に上方に偏位するのに対し、肘の高さが上がらない場面があり、投球動作中にスムーズに肘の位置を挙げられていないことがわかった(図2)。この傾向を肉眼的に見た際に、“肘が下がっている”としているのかもしれない。加えて、近年、投球時の骨盤の縦回転(矢状面)の重要性が言われている[9]。本研究においても、骨盤の縦回転が減少している選手が投球障害群で多いことから、上肢への負担が増大し、投球障害が発生する可能性がある。

### 6. 将来展望

AIを用いたマーカレスモーションキャプチャーは、投球動作の解析を容易にすることがわかった。また算出されるデータが肩関節外転角度や肘関節外反トルクといった3次元動作解析のような一見理解が難しい数値ではなく、“肘下がり”や骨盤の縦回転など、臨床や現場でみている感覚に近い数値で示すことができ、今後のスポーツ科学分野での活躍が期待できる。スポーツの現場において、投球動作の指導は、経験的なものや感覚的なものから行われることが多く、一貫性に欠けることが多い。本研究の手法と結果を踏まえ、客観的な手法を用い、危険な投球動作を推定し、フィードバックすることができれば、根拠に基づいた選手指導を行う助けとなると期待できる。

AIによる身体特徴点の自動追尾の精度の課題として、体幹の回旋など水平面での評価ができない点がある。AIの特徴点を増やすことで回旋の評価が可能となるのか、撮像するカメラの数を増やすのか、今後の工夫が必要である。また、背景に人や人のような物が映り込んだ時のエラーが課題である。さらに身体が回転し、手が片方隠れた際の精度低下があり、カメラ位置の工夫も必要かもしれない。AIを用いた動作解析は、まだその数値の算出方法にも決まったものではなく、どのような数値でそのデータを示していくのか、今後多くの研究が発表されていくことでより良いアイデアが出てくることを期待したい。

### おわりに

本研究には坂田淳氏の貢献度が極めて高く、その活動に心から敬意を表す。本研究はAIを用いたスポーツ動作の解析の先駆けとなるものと期待され、今後多くの競技に応用されることが期待される。本研究は、多くの野球少年とその保護者、監督、コーチの協力なくしては実現しえなかった。最後に心から感謝を述べたい。

### 用語解説

\*1 野球の投球動作により肘を痛めるスポーツ障害の総称。障害部位により、内側、外側、後方障害に分けられる。

# 人工知能を用いた学童野球選手における危険な投球動作の推定

Risk Factors related to pitching mechanics of Throwing Injuries in Young Baseball Players: A Cohort Study Using Artificial Intelligence

\*2 プログラミング言語の一種

\*3 ある特定の疾患の起こる可能性がある要因・特性を考え、疾患の罹患や改善・悪化の有無などを一定期間観察し、その要因・特性と疾患との関連性を明らかにする研究方法

## 参考文献

[1] Sakata J, Nakamura E, Suzukawa M, Akaike A, Shimizu K. Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. *Am J Sports Med*, 45(1):135-143, 2017.

[2] Cao Z, Hidalgo G, Simon T, Wei SE, Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 43(1):172-186, 2021.

[3] 黒瀬 龍之介, 林昌希, 石井 壮郎, 岡村麻人. 姿勢推定を用いたテニス映像の姿勢傾向分析 (メディア工学). 映像情報メディア学会技術報告 = ITE technical report, 40(43):21-24, 2016.

[4] Lyman S, Fleisig GS, Waterbor JW, Funkhouser EM, Pulley L, Andrews JR, et al. Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11):1803-10, 2001.

[5] Matsuura T, Suzue N, Kashiwaguchi S, Arisawa K, Yasui N. Elbow Injuries in Youth Baseball Players Without Prior Elbow Pain: A 1-Year Prospective Study. *Orthop J Sports Med*, 1(5):2325967113509948, 2013.

[6] 坂田淳, 中村絵美, 鈴川仁人, 赤池敦, 清水邦明, 青木治人. 少年野球選手における肘内側障害の危険因子に関する前向き研究. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 36(1):43-51, 2016.

[7] Oyama S, Yu B, Blackburn JT, Padua DA, Li L, Myers JB. Improper trunk rotation sequence is associated with increased maximal shoulder external rotation angle and shoulder joint force in high school baseball pitchers. *Am J Sports*

*Med*, 42(9):2089-94, 2014.

[8] Oyama S, Yu B, Blackburn JT, Padua DA, Li L, Myers JB. Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 41(10):2430-8, 2013.

[9] Azuma Y, Matsui T, Hiramoto M, et al. Motion Analysis Focusing on Rotational Movements of Professional Female Baseball Pitchers: Comparison with Male University Baseball Pitchers. *Int J Environ Res Public Health*, 18(24):13342, 2021.

この研究は、令和30年度SCAT研究助成の対象として採用され、令和元年度～令和3年度に実施されたものです。