

研究報告

身体的特徴点の空間座標収集における 手動デジタイズ手法とAI手法の比較

—バスケットボールのシュート動作における
ビジュアルフィードバックシステムの構築を目指して—

鈴木 雄貴¹⁾・小林 大地¹⁾・松藤 貴秋¹⁾・瀧 剛志¹⁾・種田 行男¹⁾・竹内 優真¹⁾

Comparison of Manual Digitization Technique and AI Technique in Gathering the
Spatial Coordinates of Physical Feature Points
— Aiming to Construct a Visual Feedback System for Basketball Shooting Action —

Yuki SUZUKI, Daichi KOBAYASHI, Takaaki MATSUFUJI,
Tsuyoshi TAKI, Yukio OIDA, Yuma TAKEUCHI

I. 緒言

スポーツバイオメカニクス分野において各種スポーツ動作を定量的に研究する場合には、対象者の解剖学的特徴点(身体の関節点等)の空間座標を収集し分析する方法が広く用いられている。その空間座標を収集する主な方法は下記の2つであるといえる。①画像・動画データから解剖学的特徴点を手動でデジタイズする方法と②解剖学的特徴点に貼付した再帰性反射マーカ―に赤外線を当て、その反射光をカメラで捉えることで座標点を得るモーションキャプチャーシステムを用いた方法である。それぞれの特徴として、デジタイズによる方法は比較的低コストで実験可能であるが、デジタイズ作業に膨大な時間を必要とし、手動による誤差が生じることがデメリットである。一方で、モーションキャプチャーシステムを用いた方法は、デジタイズ作業が不要なため撮影後のデータ処理は簡捷に行え、誤差も非常に小さい。しかし、撮影に必

要な機器が高額であることに加え、天候による光の加減や複数台のカメラを配置する必要があるといった撮影環境の整備に時間を要することがデメリットである。近年、これらのデメリットを補うことのできるAI技術(OpenPose)が発表され、スポーツバイオメカニクスの分野においても活用され始めている。OpenPoseとは、AIによる深層学習を用いることでマーカ―貼付もデジタイズも必要とせず、画像や動画から人物の解剖学的特徴点の検出を可能としたソフトウェアである(Cao et al., 2017)。このOpenPoseを用いた新しい研究手法では、比較的低コストで実験が可能なうえ、即時的に解剖学的特徴点を検出することができ有用であるが、従来の方法と比べどの程度骨格の検出に差異が生じるのか検証されている報告は少ない(Ota et al., 2020; Ota et al., 2021)。特に、デジタイズの方法とOpenPoseを用いた方法とを比較検討した先行研究はほとんどない。

そこで本研究では、バスケットボールのフ

¹⁾中京大学

リリース動作の分析について、デジタイズを用いた方法とOpenPoseを用いた方法とを比較し、OpenPoseを用いた方法の妥当性を検証することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、バスケットボール競技歴10年の男性1名（年齢：33歳、身長：1.80m、体重：80kg）とした。実験を実施するにあたり、被験者に本研究の目的、方法および実験にともなう危険性等を説明し、実験に参加するための同意を得た。実験の開始前、十分にウォーミングアップするよう指示し、怪我の防止および不自然なフォームにならないよう配慮した。

2. データ収集

映像データは、バスケットボールのフリースロー試技（左投げ）を選手の前方および左側に固定した2台のデジタルビデオカメラ（HDR-PJ760V, SONY）を用いて、撮影スピード60Hz、露光時間1/1000秒で固定撮影することによって収集した。分析試技は、ウォーミングアップ終了後の撮影開始第1回目の試技とした。

撮影範囲は、前方に固定したカメラ（画角：横1m、高さ3m）、左側に固定したカメラ（画角：横4m、高さ3m）に設定し、それぞれの撮影範囲に3mのキャリブレーションボールを立てて撮影した。

3. データ分析

撮影した映像から、動作解析ソフト（FrameDIAS V, DKH社）を用いて、解剖学的特徴点（手首、肘、肩、足首、膝、大転子の6点：すべて左側）を手動でデジタイズした。もう一方の方法として、AIによる深層学習ソフトウェア（OpenPose）を用いて解剖学的特徴点を検出した。それらによって得られた特徴点の座標値を2次元DLT法（Abdel-Aziz and et al., 1971）により実座標に変換した。なお、前方に固定したカメラは選手の前額面上の動きについて、左側に固定したカメラは選手の矢状面上の動きについて、それぞれ分析を行った。静止座標系の向

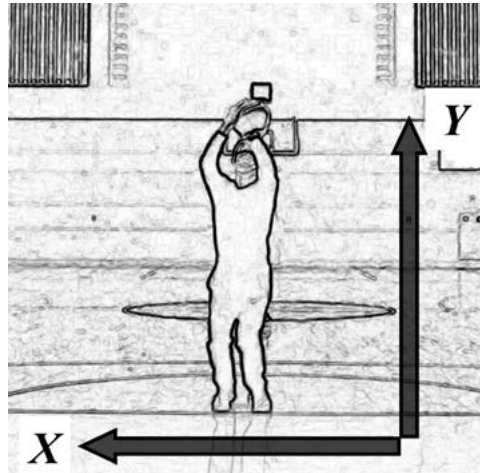


図1 前額面内の動作分析における静止座標系

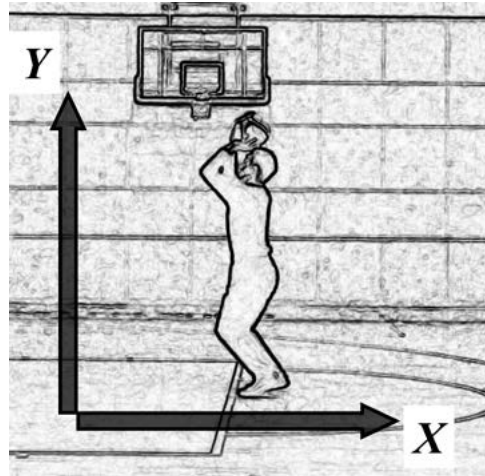


図2 矢状面内の動作分析における静止座標系

きは、図1、2に示した。そして、フリースロー試技のデータ分析は、5つのイベントが起きるタイミングに着目して行った。それらのイベントは時系列順に、ルックアップ（ゴールを見た瞬間）、リフトアップ1（ボールを持ち上げた瞬間）、リフトアップ2（ボールが胸の前にきた瞬間）、リフトアップ3（ボールがおでこにきた瞬間）、リリースとした。

4. 分析項目

1) 画面座標

解剖学的特徴点の画面上の座標を「画面座標」とし、各イベントにおいて分析を行った。また、画面座標の原点は左上隅、座標方向は横方向が

X座標、縦方向がY座標とし、単位は「pixel」とした。

2) 実座標

画面座標を2次元DLT法により実際の長さに変換した座標を「実座標」とし、各イベントにおいて分析を行った。長さの単位は、「m」とした。

5. 統計処理

OpenPoseを用いた方法により得られた分析項目とデジタイズを用いた方法により得られた分析項目との間の相関関係を調べるため、Pearsonの積率相関を用いた。これらの有意水準は5%以下とした。

Ⅲ. 結果および考察

表1は、選手の前額面上における解剖学的特徴点の画面座標をフリースロー試技のイベント毎に示すとともに、デジタイズを用いた方法、OpenPoseを用いた方法、そしてそれらの差分をまとめて示している。表2では、表1で示されている画面座標を2次元DLT法により実際の長さに換算した実座標として示している。表3、4については、表1、2と異なり矢状面上のデータをまとめて示している。そして、図3では、デジタイズを用いた方法によって得られた座標とOpenPoseを用いた方法によって得られた座標との間の相関関係を3つの条件（フリースロー試技のイベント、分析面、座標の種類）ごとに分け、散布図として示している。表1、2についての差分の最大値は、リフト3における肘のY座標に生じており、画面座標として31.80pixel、実座標にして0.14mであった。表3、4についての差分の最大値は、リリースにおける手首のY座標に生じており、画面座標として19.20pixel、実座標にして0.08mであった。これら差分の最大値であっても、散布図として示した際に大きく外れる値（外れ値）としてみられることはな

く（図3）、すべての条件において有意な相関を示した（ $r=0.99$, $P<0.05$ ）。

以上の結果から、デジタイズを用いた方法とOpenPoseを用いた方法とで、得られた座標値は同等程度であったといえる。つまり、OpenPoseを用いた方法も算出される座標値の妥当性は高いといえ、これまでのスポーツバイオメカニクス研究で頻繁に活用されてきたデジタイズ法と同等に使用できることが明らかになった。

付記

本研究は2022年度中京大学体育研究所の共同研究費を得て行われた。

Ⅳ. 文献

- Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 7291–7299.
- Ota, M., Tateuchi, H., Hashiguchi, T., Kato, T., Ogino, Y., Yamagata, M., & Ichihashi, N. (2020). Verification of reliability and validity of motion analysis systems during bilateral squat using human pose tracking algorithm. *Gait & posture*, 80, 62–67.
- Ota, M., Tateuchi, H., Hashiguchi, T., & Ichihashi, N. (2021). Verification of validity of gait analysis systems during treadmill walking and running using human pose tracking algorithm. *Gait & Posture*, 85, 290–297.
- Abdel-Aaziz, Y. I. & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry. American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, 1–18.

身体的特徴点の空間座標収集における手動デジタイズ手法とAI手法の比較

表1 各イベントにおける前額面内の解剖学的特徴点の画面座標（デジタイズ・OpenPose・差分）

解剖学的特徴点	ルックアップ			リフト1			リフト2			リフト3			リリース		
	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分
手首:X	998.00	998.20	0.20	994.00	998.10	4.10	986.00	974.70	11.30	984.00	992.30	8.30	1000.00	1001.30	1.30
手首:Y	631.00	630.40	0.60	645.00	645.10	0.10	576.00	577.30	1.30	510.00	506.70	3.30	421.00	433.10	12.10
肘:X	1019.00	1021.80	2.80	1019.00	1021.70	2.70	1004.00	998.30	5.70	999.00	995.40	3.60	1007.00	1004.20	2.80
肘:Y	606.00	603.90	2.10	614.00	615.70	1.70	605.00	609.80	4.80	568.00	536.20	31.80	482.00	483.20	1.20
肩:X	1006.00	1007.10	1.10	1008.00	1007.10	0.90	1007.00	1004.20	2.80	1006.00	1001.20	4.80	1006.00	998.30	7.70
肩:Y	563.00	556.80	6.20	566.00	571.40	5.40	564.00	562.70	1.30	564.00	574.60	10.60	519.00	530.20	11.20
足首:X	995.00	998.10	3.10	995.00	998.10	3.10	995.00	998.10	3.10	995.00	998.10	3.10	992.00	998.10	6.10
足首:Y	821.00	827.50	6.50	819.00	827.60	8.60	819.00	830.40	11.40	819.00	833.30	14.30	810.00	827.50	17.50
膝:X	993.00	998.10	5.10	991.00	995.30	4.30	991.00	995.30	4.30	983.00	980.70	2.30	987.00	992.30	5.30
膝:Y	747.00	742.30	4.70	753.00	742.40	10.60	746.00	745.10	0.90	754.00	756.80	2.80	734.00	739.10	5.10
大転子:X	991.00	995.30	4.30	995.00	998.10	3.10	995.00	995.30	0.30	991.00	992.40	1.40	989.00	986.50	2.50
大転子:Y	665.00	665.70	0.70	668.00	668.50	0.50	670.00	671.50	1.50	683.00	677.50	5.50	645.00	645.10	0.10
平均 ± 標準偏差	3.12 ± 2.13			3.76 ± 3.05			4.06 ± 3.63			7.65 ± 8.15			6.08 ± 5.03		

※単位はすべて「pixel」とした

表2 各イベントにおける前額面内の解剖学的特徴点の実座標（デジタイズ・OpenPose・差分）

解剖学的特徴点	ルックアップ			リフト1			リフト2			リフト3			リリース		
	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分
手首:X	0.97	0.97	0.00	0.99	0.97	0.02	1.02	1.07	0.05	1.03	0.99	0.04	0.96	0.95	0.01
手首:Y	1.05	1.06	0.00	0.99	0.99	0.00	1.30	1.29	0.01	1.59	1.61	0.01	1.99	1.94	0.05
肘:X	0.88	0.86	0.01	0.88	0.87	0.01	0.94	0.97	0.03	0.97	0.98	0.02	0.93	0.94	0.01
肘:Y	1.16	1.17	0.01	1.13	1.12	0.01	1.17	1.15	0.02	1.33	1.47	0.14	1.72	1.71	0.01
肩:X	0.93	0.93	0.00	0.93	0.93	0.00	0.93	0.94	0.01	0.93	0.96	0.02	0.93	0.97	0.03
肩:Y	1.35	1.38	0.03	1.34	1.32	0.02	1.35	1.36	0.01	1.35	1.30	0.05	1.55	1.50	0.05
足首:X	0.99	0.97	0.01	0.99	0.97	0.01	0.99	0.97	0.01	0.99	0.97	0.01	1.00	0.97	0.03
足首:Y	0.22	0.19	0.03	0.23	0.19	0.04	0.23	0.18	0.05	0.23	0.17	0.06	0.27	0.19	0.08
膝:X	0.99	0.97	0.02	1.00	0.98	0.02	1.00	0.98	0.02	1.04	1.05	0.01	1.02	1.00	0.02
膝:Y	0.54	0.57	0.02	0.52	0.56	0.05	0.55	0.55	0.00	0.51	0.50	0.01	0.60	0.58	0.02
大転子:X	1.00	0.98	0.02	0.98	0.97	0.01	0.98	0.98	0.00	1.00	1.00	0.01	1.01	1.02	0.01
大転子:Y	0.90	0.90	0.00	0.89	0.89	0.00	0.88	0.88	0.01	0.82	0.85	0.02	0.99	0.99	0.00
平均 ± 標準偏差	0.01 ± 0.01			0.02 ± 0.01			0.02 ± 0.02			0.03 ± 0.04			0.03 ± 0.02		

※単位はすべて「m」とした

表3 各イベントにおける矢状面内の解剖学的特徴点の画面座標（デジタイズ・OpenPose・差分）

解剖学的特徴点	ルックアップ			リフト1			リフト2			リフト3			リリース		
	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分
手首:X	914.00	907.20	6.80	911.00	907.20	3.80	870.00	862.90	7.10	896.00	898.20	2.20	873.00	877.50	4.50
手首:Y	652.00	653.90	1.90	671.00	671.50	0.50	587.00	586.20	0.80	518.00	518.50	0.50	420.00	400.80	19.20
肘:X	951.00	954.20	3.20	950.00	951.20	1.20	908.00	907.10	0.90	875.00	883.50	8.50	887.00	883.40	3.60
肘:Y	625.00	627.40	2.40	630.00	636.30	6.30	618.00	618.60	0.60	570.00	574.30	4.30	471.00	456.60	14.40
肩:X	954.00	957.00	3.00	947.00	951.10	4.10	943.00	948.30	5.30	938.00	942.30	4.30	921.00	927.60	6.60
肩:Y	560.00	562.70	2.70	575.00	574.30	0.70	573.00	568.60	4.40	575.00	574.30	0.70	534.00	527.30	6.70
足首:X	980.00	980.70	0.70	980.00	980.70	0.70	981.00	980.60	0.40	972.00	977.80	5.80	963.00	960.00	3.00
足首:Y	874.00	883.40	9.40	874.00	883.40	9.40	870.00	880.70	10.70	869.00	877.60	8.60	852.00	860.00	8.00
膝:X	949.00	951.20	2.20	946.00	945.30	0.70	944.00	945.30	1.30	920.00	924.60	4.60	926.00	927.60	1.60
膝:Y	781.00	786.30	5.30	784.00	786.50	2.50	785.00	786.50	1.50	793.00	792.20	0.80	770.00	765.60	4.40
大転子:X	968.00	974.50	6.50	973.00	977.60	4.60	974.00	974.80	0.80	955.00	954.10	0.90	929.00	930.70	1.70
大転子:Y	683.00	692.00	9.00	691.00	692.10	1.10	688.00	692.30	4.30	698.00	698.10	0.10	664.00	653.90	10.10
平均 ± 標準偏差	4.43 ± 2.77			2.97 ± 2.67			3.17 ± 3.11			3.44 ± 2.93			6.98 ± 5.10		

※単位はすべて「pixel」とした

表4 各イベントにおける矢状面内の解剖学的特徴点の実座標（デジタイズ・OpenPose・差分）

解剖学的特徴点	ルックアップ			リフト1			リフト2			リフト3			リリース		
	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分	デジタイズ	OpenPose	差分
手首:X	1.98	1.96	0.03	1.97	1.96	0.02	1.80	1.77	0.03	1.91	1.92	0.01	1.81	1.83	0.02
手首:Y	1.05	1.04	0.01	0.97	0.97	0.00	1.32	1.32	0.00	1.60	1.60	0.00	2.00	2.08	0.08
肘:X	2.13	2.15	0.01	2.13	2.13	0.00	1.96	1.95	0.00	1.82	1.86	0.03	1.87	1.85	0.01
肘:Y	1.16	1.15	0.01	1.14	1.12	0.03	1.19	1.19	0.00	1.39	1.37	0.02	1.79	1.85	0.06
肩:X	2.15	2.16	0.01	2.12	2.13	0.02	2.10	2.12	0.02	2.08	2.10	0.02	2.01	2.04	0.03
肩:Y	1.43	1.42	0.01	1.37	1.37	0.00	1.38	1.39	0.02	1.37	1.37	0.00	1.53	1.56	0.03
足首:X	2.26	2.26	0.00	2.26	2.26	0.00	2.26	2.26	0.00	2.22	2.25	0.02	2.19	2.17	0.01
足首:Y	0.14	0.11	0.04	0.14	0.11	0.04	0.16	0.12	0.04	0.16	0.13	0.03	0.23	0.20	0.03
膝:X	2.13	2.14	0.01	2.12	2.11	0.00	2.11	2.11	0.01	2.01	2.03	0.02	2.03	2.04	0.01
膝:Y	0.52	0.50	0.02	0.51	0.50	0.01	0.51	0.50	0.01	0.47	0.48	0.00	0.57	0.58	0.02
大転子:X	2.20	2.23	0.03	2.22	2.24	0.02	2.23	2.23	0.00	2.15	2.15	0.00	2.04	2.05	0.01
大転子:Y	0.92	0.89	0.04	0.89	0.89	0.00	0.90	0.89	0.02	0.85	0.86	0.00	1.00	1.04	0.04
平均 ± 標準偏差	0.02 ± 0.01			0.01 ± 0.01			0.01 ± 0.01			0.01 ± 0.01			0.03 ± 0.02		

※単位はすべて「m」とした

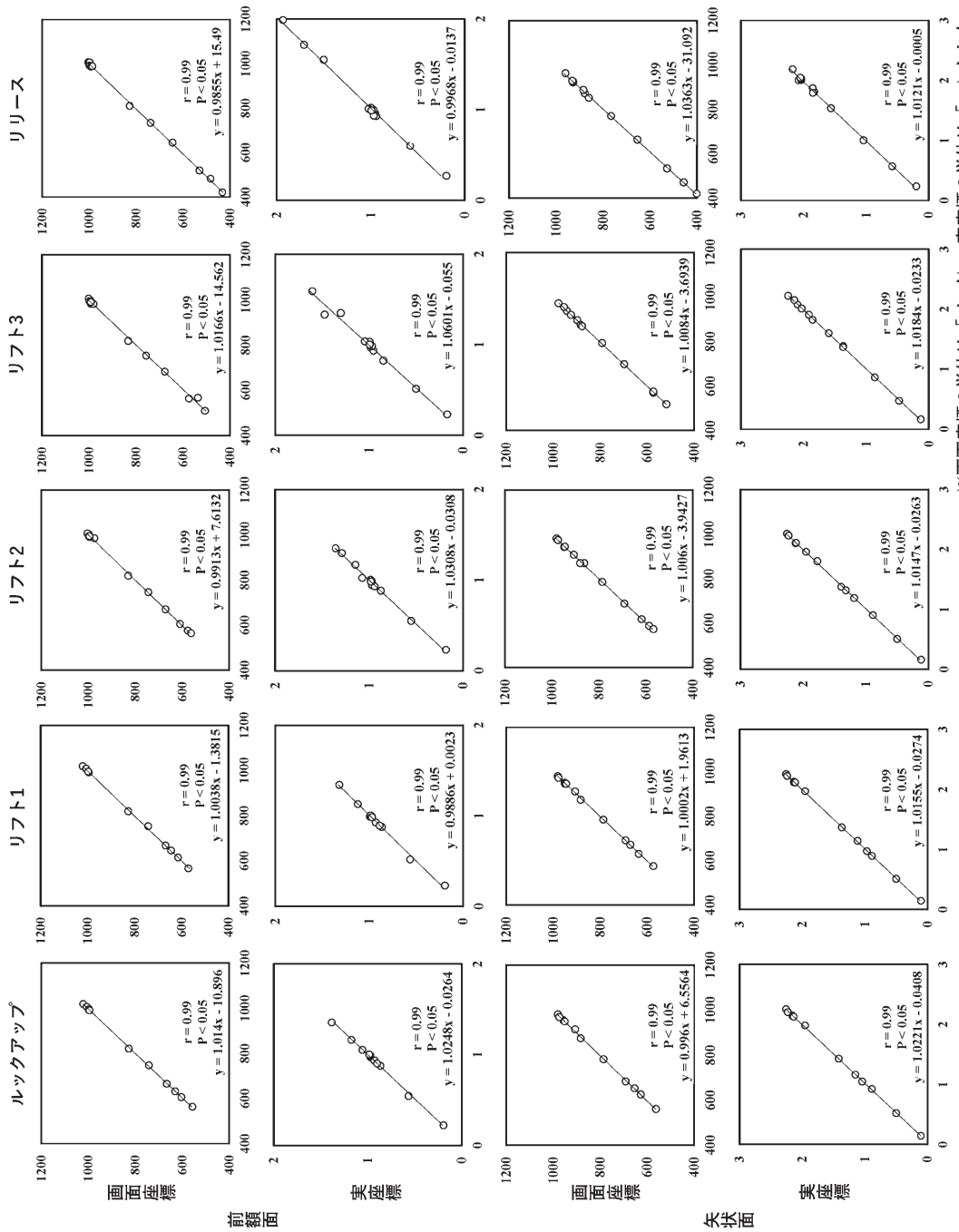


図3 各イベントにおける前額面および矢状面内の解剖学的特徴点の画面座標と実座標 (デジタルサイズと OpenPose との間の相関関係) ※画面座標の単位は「pixel」、実座標の単位は「m」とした。