

2次元骨格情報を用いたバスケットボールのフリースローラインからのシュートフォーム解析による経験者と未経験者の比較評価

石垣 翔汰¹ 安部 恵一¹

概要: 本論文ではフリースローラインからバスケットボールのシュートの取得映像をもとに2次元骨格情報に変換し, シュートフォームの解析を行った. 今回はバスケットボールの経験者と未経験者のシュートフォームを比較解析した. また, 解析結果から最適なシュートフォームや未経験者が効率よく練習するための手法について調査したので, その詳細を報告する.

Comparative of Experienced and Inexperienced People by Shoot Form Analysis from Free Throws of Basketball using 2D Joint Position information

SHOTA ISHIGAKI¹ KEIICHI ABE¹

1. はじめに

現在, 世界のバスケットボール人口は約4億5,000万人を超え, 日本国内においてもバスケットボールの愛好者を含めると約100万人以上までに普及する大人気のスポーツである. 著者も愛好家の一人としてバスケットボールのサークルに所属しており, 日々活動に励んでいる. バスケットボールにおいて得点を取得するにはシュートが必要不可欠である. しかし, バスケットボールのシュート力には個人差があり高確率でゴールに入る者もいれば, 低確率でしか入らない者もいる. よって, 実際に同じ経験歴, 同じ練習をしていてもシュート力に差が生じる課題がある.

ところで, 先行研究において, OpenPose[1][2]及びKinect[3]技術を用いて映像から人体の骨格推定手法技術やスポーツ中のフォーム解析する技術が存在する.

そこで, 本研究ではカメラの映像から2次元座標として取得する人物の骨格情報をもとにスポーツ中のフォームを解析する技術に着目した. 本研究ではこの2次元骨格情報取得技術を活用してバスケットボールのフリースローラインからのシュートフォームとして, どのようなフォームがゴールに入りやすく, かつ打ちやすいのかをバスケットボールの経験者と未経験者の姿勢情報を比較することで最適なシュートフォームについて調査したので, その詳細を述べる. また本研究を通じてフォロースローラインからの最適なシュートフォームを明らかにできれば誰でも高確率でシュートが入るようになり, かつ効率的なシュート練習方法に繋がると考えた.

2. 関連研究

2次元骨格情報取得技術の代表的な技術にマイクロソフト社のKinect[3]がある. このKinectは身体にマーカーを貼付けて使用する必要があるため, バスケットボールなどの激しく動くスポーツに使用するのは困難である. ところでマーカーを使用せずに人間の姿勢解析を行う技術にはOpenPose[1]がある. このOpenPoseとは米国のカーネギーメロン大学のZheCa氏らが論文発表[1]した人物の骨格を深層学習で推定するシステムである. このOpenPoseを用いると, マーカーを使用せずに人の間接位置を18箇所の2次元座標を取得できる. このため人の身体における特徴点がどの座標にあるかなど詳細に分析できる. 実際にOpenPoseを用いたスポーツ解析の先行研究として, サッカーのシュートシーンの映像を検出し, 初心者から熟練者まで骨格推定により熟練度を3段階に分類した研究[2]が存在する. またバレーボールのスパイクフォームを骨格推定で分析し, 運動能力との関係性を調査した研究[4]などがある.

本研究ではバスケットボールのフリースローラインからのシュートにおける2次元骨格情報による姿勢解析により, 熟練度と未経験者との比較を行うことで理想的なシュートフォームについて調査したので, 本稿でその詳細を述べる.

3. 解析システム

3.1 2次元姿勢解析システムの概要

本稿で使用した2次元姿勢解析システムの概要を Fig.1

¹ 神奈川工科大学創造工学部ホームエレクトロニクス開発学科
Department of Home Appliance Engineering, Faculty of Creative Engineering,
Kanagawa Institute of Technology.

に示す。Fig.1 に示すように本システムはフリースローラインからの被験者のシュート動画を取得し、ネクストシステム製の Vision Pose nano(以下 VPN と呼ぶ)[5]という 2 次元骨格情報解析システムより、骨格変換情報は 2 フレームごとの 2 次元骨格情報解析付き静止画像と骨格情報 30 箇所の 2 次元座標データを CSV (Comma Separated Value)形式で取得した。CSV 出力された 2 次元座標データの基準点は切り出した静止画の左上が原点座標となる。今回動画撮影には iPhone のカメラを使用した。動画は 4K/60fps の設定で撮影を行い、MP4 形式に変換した画像を使用した。VPN で取得される身体 30 箇所の 2 次元骨格情報座標データを Fig.2 示す。本研究ではフリースローラインからのシュートで重要となる脇の角度、肘の角度、膝の角度を詳細分析できるようにするため、実際は 30 箇所あるデータのなかから Fig.2 の中で丸をつけた 12 箇所のデータを抽出し解析を行った。

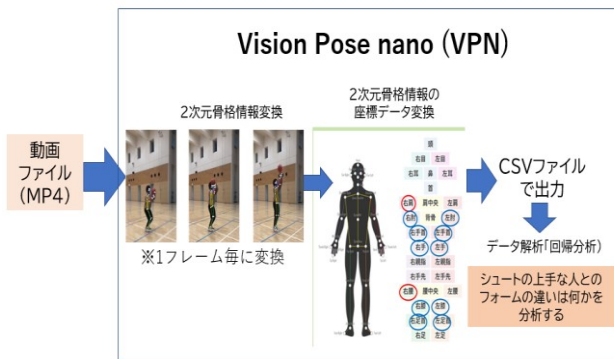


Fig.1 2次元姿勢解析システムの概要



Fig.2 身体の 2 次元骨格情報 30 箇所[5]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Timestamp	FrameID	UserOrder	Head	Nose	EyeLeft	EyeRight	EarLeft	EarRight
2	1.64E+12	0	0	[284 355]	[284 365]	[284 355]	[294 355]	[264 355]	[274 355]
3	1.64E+12	1	0	[284 346]	[284 365]	[284 355]	[286 355]	[264 355]	[274 355]
4	1.64E+12	2	0	[276 345]	[284 365]	[284 355]	[286 355]	[264 355]	[283 355]
5	1.64E+12	3	0	[276 345]	[284 356]	[284 355]	[286 355]	[264 355]	[276 355]
6	1.64E+12	4	0	[276 345]	[284 356]	[276 355]	[286 355]	[264 355]	[283 355]
7	1.64E+12	5	0	[276 345]	[284 356]	[276 355]	[286 355]	[256 355]	[276 355]
8	1.64E+12	6	0	[266 345]	[276 355]	[266 355]	[276 355]	[256 355]	[275 346]
9	1.64E+12	7	0	[273 345]	[276 355]	[273 346]	[283 346]	[256 355]	[275 346]

Fig.3 CSV 形式で取得した 2 次元骨格情報データ

4. シュートフォームの解析及び評価

本稿ではフリースローラインからのシュート解析ではバスケットボールの経験者データと未経験者データを比較し評価した。本研究でいう経験者とは現在もバスケットボールの部活に所属している人、またはバスケットボールの部活に所属していた人でバスケットボールから離れていた期間が短い人(1 年未満)のことを指し、それ以外を未経験者として扱うことにする。

4.1 身体部位の解析方法

本稿ではフリースローラインからのバスケットボールのシュートを解析するにあたって、バスケットボール経験者の話を分析した。その結果、脇の角度、肘の角度、膝の角度が重要なファクターになることから、2 次元骨格情報からこの 3 つのパラメータに変換し、シュート時の姿勢を解析することにした。本稿では VPN より取得した 2 次元座標データの右肩、右脇、右膝、右手首、右腰、右膝、右足首の各 2 次元の座標データを抽出し、右脇の角度 θ_1 、右膝の角度 θ_2 、右肘の角度 θ_3 を算出した。

まず右脇の角度 θ_1 の算出方法は Fig. 4 に示すように右肩基準とし、右肩と右肘の高さ H とし、右肩と右肘の長さ $D1$ を求め、 H の符号により右脇の角度 θ_1 を(4-1)式と(4-2)式で求めた。VPN の解析画像の左上が原点となるため、 H のパラメータのプラスとマイナスの符号の条件で右肘の角度 θ_1 を算出した。

$H \geq 0$ のとき

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{D1}{L}\right) \quad (4-1)$$

$H < 0$ のとき

$$\theta_1 = 180 - \sin^{-1}\left(\frac{D1}{L}\right) \quad (4-2)$$

次に右肘の角度 θ_3 の算出は、右肩と右肘の長さ L 、右肘と右手首 $L2$ 、右肩と右手首の長さ $L3$ を各々算出し、(4-3)式の余弦定理で右肘の角度 θ_3 を求めた。

$$\theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{L^2 + L2^2 - L3^2}{2 \cdot L \cdot L2}\right) \quad (4-3)$$

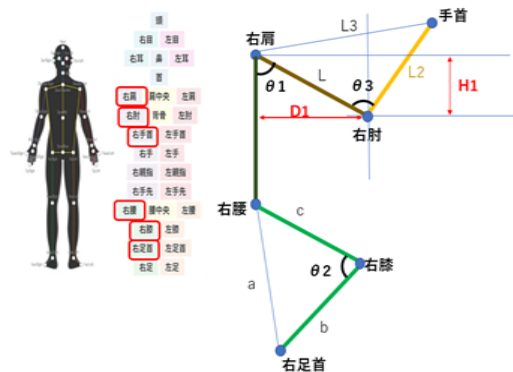


Fig.4 骨格情報座標データと角度の算出方法

次に Fig. 4 に示すように右腰と右足首の長さ a, 右膝と右足首の長さ b, 右腰と右肘の長さ c を求め, (4-4) 式の余弦定理で右膝の角度 $\theta 2$ を算出した.

$$\theta 2 = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \right) \quad (4-4)$$

4.2 シュート時のフォームの解析

Basketball Medical Support Lab のサイト[6]によると, ボールセットからリリース動作までの流れのときに, セットとリリース動作の間となる「動作の区切り」と「リリース」のときの姿勢が重要ポイントであり, NBA のプロ選手の場合, 「動作の区切り」において, 脇の角度が 90° まで持ち上がり, リリースに向けて肘はさらに上昇し, 同時に肘関節の伸展動作も始まることを示唆しています. つまり, 脇の角度が 90° 以降に肩関節と肘関節が同時に動いているとの説明があります. そこで, 本稿では「動作の区切り」と「リリース」の動作時のプレーヤーの 2 次元骨格情報取得により $\theta 1$, $\theta 2$, $\theta 3$ を算出し, バスケット選手の姿勢を詳細分析することにした. 評価方法

今回の評価に協力して頂いた被験者は 20 代の右利きの男性 6 名である. そのうちバスケットボール経験者は 2 名で, それ以外は未経験者である. 場所は神奈川工科大学のアリーナ体育館内で行った. バスケットゴールから 4.225m のフリースローラインの中心位置からシュートを放つ映像を iPhone で撮影した. カメラの設置場所はシュートを打つ被験者がカメラの画面全体に映る場所がかつフリースローライン中心から斜め 45 度の角度でスマートフォンを三脚で固定し撮影した.

4.3 評価結果

4.3.1 バスケットボール経験者及び未経験者の動作分析

Fig.5 に経験者及び未経験者のフリースローラインからのシュート映像を二次元骨格情報に変換後した静止画を示す. Fig.5 は, セット, 区切り, リリースの 3 つに分けた静止画で, 図中の数字はフレーム数を示す. また経験者 1, 未経験者 2, NBA 選手との脇の角度 $\theta 1$, 膝の角度 $\theta 2$, 肘の角度 $\theta 3$ の比較結果を Table1 に示す. Table1 内の NBA 選手の数字は, ネットの動画像[5]から手動で算出した数字である. Table1 に示すように経験者 1 の場合, 動作の区切りのときに脇の角度 $\theta 1$ が 88° と NBA 選手の 90° と近い値になっているのに対し, 未経験者 2 の場合は $\theta 1$ の値が 69° と低くなっている. 一方, リリース時の経験者 1 の脇の角度 $\theta 1$ は 135° と, NBA 選手 140° に近いのに対し, 未経験者 2 の $\theta 1$ は 56.9° と低くなっている. この結果から「動作の区切り」と「リリース」時に経験者と未経験者を比較すると $\theta 1$ と $\theta 2$ の値に差があり, $\theta 1$ と $\theta 2$ の値では経験者の方が NBA 選手に近い姿勢及び動作であることが確認できた.

次に Fig.6 に経験者 1 の横軸フレーム数に対する右腋の角度 $\theta 1$, 右肘の角度 $\theta 2$, 右膝の角度 $\theta 3$ のグラフを示す.

また, セット, 区切り, リリースの動作フレーム数の所で赤い縦線を入れた. Fig.6 の膝の角度 $\theta 2$ のグラフを見ると, 動作の区切りのときは右膝の伸展運動が始まる直前となっていると考えられる. このため, 本稿では動作の区切りの定義を右膝の伸展運動が始まる直前とし, リリースの定義は手からボールが離れ, 右膝の伸展運動が終わる動作として分析を行った.

Table1 経験者 1 と未経験者 2 の比較

被験者	(1)動作の区切り			(2)リリース			備考
	右脇の角度 $\theta 1'$ ($^\circ$)	右膝の角度 $\theta 2'$ ($^\circ$)	右肘の角度 $\theta 3'$ ($^\circ$)	右脇の角度 $\theta 1''$ ($^\circ$)	右膝の角度 $\theta 2''$ ($^\circ$)	右肘の角度 $\theta 3''$ ($^\circ$)	
経験者1	88.1	140	107	135	179	150	Ryo1
未経験者2	69.0	151	70.9	56.9	171	93.8	Hirata1
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180	

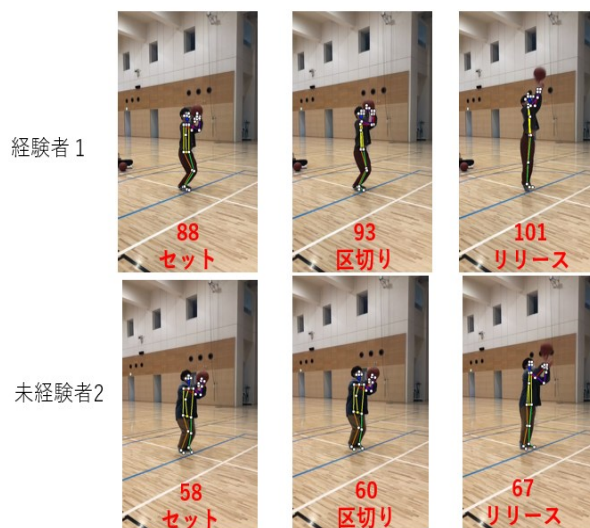


Fig.5 経験者 1 と未経験者 2 のボールシュートの動作

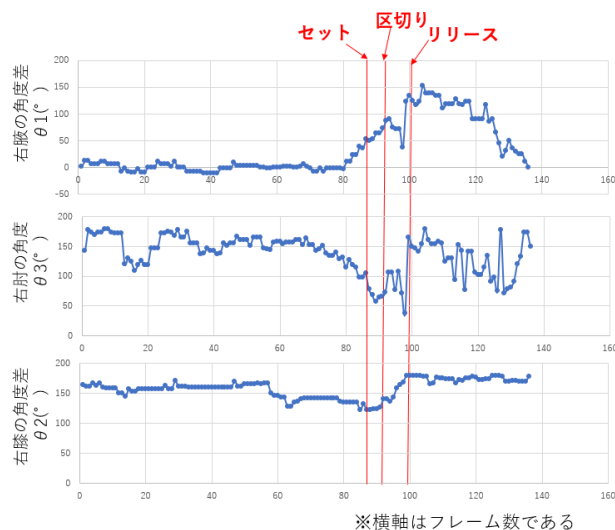


Fig.6 経験者 1 の横軸フレーム数に対する腋の角度 $\theta 1$, 肘の角度 $\theta 2$, 膝の角度 $\theta 3$ のグラフ

4.3.2 シュート成功時の経験者と未経験者の比較評価

経験者及び未経験者6名のシュート成功時の「動作の区切り」と「リリース」時の二次元骨格情報取得より、右脇の角度 θ_1 、右膝の角度 θ_2 、右肘の角度 θ_3 を算出した表をTable2に示す。また、NBA選手のデータも参考に入れてみた。Table2の $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ 、 $\Delta\theta_3$ は動作の区切りからリリースに移行した際の変化量を示す。Table2に示すように右脇の角度 θ_1 、右肘の角度 θ_3 は、経験者と未経験者との差が大きくなることが確認できた。経験者2名ともにシュートを放つ際の右脇の角度 θ_1 は約 $90\pm 5^\circ$ 付近であり、リリース時の右脇の角度 θ_1 は $135^\circ\sim 140^\circ$ となっている。これはNBA選手の値とほぼ同じである。次にTable2の内に「動作の区切り」から「リリース」に移行する間に θ_1 の値が $90\pm 5^\circ$ 近くになっているフレーム数を数えてみると、2名の経験者の場合は2フレーム以上になることが判った。Table2をみると未経験者1と未経験者3ともに2フレーム以上となっている。特に未経験者3は現在大学などのサークルに所属していないが、高校時代までにバスケットボール経験のある被験者であるため、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 においても経験者と同等の値となることが判った。次に $\Delta\theta_1$ をみると、NBA選手と同じ値になっているのは経験者1、経験者2、未経験者3であるため、 $\Delta\theta_1$ が経験者と未経験者を区別するのに重要なパラメータになると考えられる。次に右膝の角度 θ_2 は、「動作の区切り」から「リリース」に移行したときの移動量 $\Delta\theta_2$ でみると、経験者と未経験者ともに $\Delta\theta_2$ は約 35° から 40° 程度であり同等の膝運動を行っており、シュート成功時は経験者と未経験者との差は見られなかった。

4.3.3 シュート失敗時の経験者と未経験者の比較評価

経験者及び未経験者6名のシュート失敗時の「動作の区切り」と「リリース」時の二次元骨格情報取得より右脇の角度 θ_1 、右膝の角度 θ_2 、右肘の角度 θ_3 を算出した表をTable3に示す。シュート失敗時は、経験者1以外は右脇の角度 θ_1 は 90° になっていない。また、「動作の区切り」から「リリース」へ移行する期間に θ_1 が $90\pm 5^\circ$ になるフレーム数を数えると、経験者1と未経験者1のフレーム数は1であるが、それ以外0になっていることが判った。この結果とシュート成功時のTable2を比較すると、経験者であっても右脇の角度 θ_1 が 90° で、かつ「動作の区切り」から「リリース」へ移行する期間に θ_1 が $90\pm 5^\circ$ になるフレーム数が2以上でないとフリースローラインからのシュートは失敗しやすいと考えられる。次に右膝の角度 θ_2 は、「動作の区切り」から「リリース」に移行したときの移動量 $\Delta\theta_2$ でみると、シュート成功時にみられた $\Delta\theta_2$ が約 35° から 40° 以内に入っているのは、経験者1と未経験者3くらいで、それ以外は 30° 未満などとなっている。つまり、シュート成功時のTable2の結果と比較すると、経験者及び未経験者ともにシュート失敗時は膝の上下運動が適切

Table2 シュート成功時の経験者及び未経験者の θ_1 、 θ_2 、 θ_3 データの比較

被験者	(1)動作の区切り			(2)リリース			差分			(1)~(2)の期間で θ_1 が 90°		備考
	右脇の角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の角度 θ_3 ($^\circ$)	右脇の角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の角度 θ_3 ($^\circ$)	$\Delta\theta_1$ ($^\circ$)	$\Delta\theta_2$ ($^\circ$)	$\Delta\theta_3$ ($^\circ$)	有無	期間(frame)	
経験者1	88.1	140	107	135	179	150	46.9	39.0	43.0	有	2	Ryo1
経験者2	88.6	119	75.0	132	153	154	43.4	34.0	79.0	有	3	Shot1
未経験者1	38.9	120	103	45.5	166	148	6.6	46.0	45.0	有	2	Sano1
未経験者2	69.0	151	70.9	56.9	171	93.8	-12.1	20.0	22.9	無	0	Hirata1
未経験者3	87.5	134	106	135	171	179	47.5	37.0	73.0	有	2	Tomoki1 経験者近い
未経験者4	78.2	129	77.0	104	165	104	25.8	36.0	27.0	無	0	Kokubu1
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180	50.0	-	120	-	-	

Table3 シュート失敗時の経験者及び未経験者の θ_1 、 θ_2 、 θ_3 データの比較

被験者	(1)動作の区切り			(2)ボールを放った			差分			(1)~(2)の期間で θ_1 が 90°		備考
	右脇の角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の角度 θ_3 ($^\circ$)	右脇の角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の角度 θ_3 ($^\circ$)	$\Delta\theta_1$ ($^\circ$)	$\Delta\theta_2$ ($^\circ$)	$\Delta\theta_3$ ($^\circ$)	有無	期間(frame)	
経験者1	90.0	142	75.1	131	180	156	44.0	36.0	80.9	有	1	Ryo6
経験者2	71.6	143	86.0	130	167	60.3	58.4	24.0	-25.7	無	0	Shot6
未経験者1	46.0	122	179	55.2	152	67.0	9.2	30.0	-112	有	1	Sano6
未経験者2	73.4	152	91.9	47.4	168	92.4	-26	16.0	0.5	無	0	Hirata6
未経験者3	102	136	132	104	172	129	6.6	39.0	-3	無	0	Tomoki6
未経験者4	62.6	124	154	27.2	174	171	-35.4	50.0	17.0	無	0	Kokubu6
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180	50.0	-	120	-	-	

でなかったのも要因の一つと推測される。

4.3.4 本解析システムの測定精度の評価

本稿ではVPNを姿勢解析システムとして使用しているが、実際の二次元骨格情報の精度がどの位であるか評価した。被験者6名のシュート成功時及び失敗時の「動作の区切り」と「リリース」時の画像を切り出し2次骨格情報より θ_1 、 θ_2 、 θ_3 算出した結果と、解析映像より各身体の右肩、右肘、右手首、右腰、右膝、右足首の位置を目視で求めた後、右肩と右肘、右肘と右手首、右腰と右膝、右膝と右足首の身体位置を手動で直線を引き、そこから分度器で θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の角度を直接求めたものを真値とした。この真値とVPNの測定値との比較より、VPNの測定誤差率を求めたものをTable4に示す。「動作の区切り」と「リリース」の時を比較すると、「動作の区切り」のときは、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ともに測定の誤差率は低いが、「リリース」のときは右脇の平均角度 θ_1 の測定誤差は20%、右肘の平均角度 θ_3 の測定誤差率は-14%と高くなった。Fig.7に示す一部のリリース画像を示すが、このリリースの画像では被験者の右肘の角度 θ_3 が伸びきっているのに対して、骨格検出結果で示す赤色の線では θ_3 が曲がって検出されている。また右脇の角度 θ_1 も大きくずれている。リリース時はFig.7に示すようにボールの映像がぶれているように、映像が時々不鮮明になるため検出誤差が多くなったと考えられる。今回使用した映像はiPhoneで4K/60fpsで撮影し

たものであるが、VPNで2次元骨格情報に変換すると、約20~25fpsになり映像が悪くなるためと考えられる。また、もう一つの要因としては、今回被験者を45°の角度から撮影したため、骨格情報変換時に右側と左側の身体の座標が混合することがあったことも考えられる。今後、この解決には、カメラの性能や被験者の撮影距離及び角度など撮影方法を改善する必要があると考えられる。

5. まとめ

本稿ではVPNを使用し、フリースローラインの位置からバスケットボールのシュートフォームを経験者と未経験者を比較して2次元骨格情報取得により姿勢解析を行った。その結果、経験者の特徴は動作の区切りの時の右脇の角度 θ_1 が $90^\circ \pm 5^\circ$ であり、リリース時は 135° 前後となり、これはプロのNBA選手と同様の数字[2]になることが判った。しかし、経験者においても、次の(1)から(2)の条件を満たさないとシュートミスに繋がること判った。

- (1) 動作の区切りのとき右脇の角度 θ_1 が $90 \pm 5^\circ$ なる期間が2フレーム以上(約56ms以上)継続しない
- (2) 「動作の区切り」から「リリース」に移行したときの移動量 $\Delta \theta_2$ が 35° から 40° 以内でないとき

「動作の区切り」のときの右脇の角度 θ_1 が 90° というのはバスケットボールのシュートフォームにおいて理想とされている角度[5]であり、経験者は意識せずとも今までの練習や経験から身に付いているものである。この脇の角度 θ_1 が 90° がなぜ良いのか今後医学的及び科学的観点から調査が必要である。今回の研究分析により最適なシュートフォームについて考えてみた。その内容をFig.8に示す。「動作の区切り」のときに右脇の角度 θ_1 は $90 \pm 5^\circ$ で、右肘は θ_3 も 60° 程度、右膝の角度 θ_2 も適度に曲げ、一方、「リリース」の時に右脇の角度 θ_1 は 135° から 140° 、右肘の角度 θ_2 は 180° と伸び、右膝の角度も 180° 伸びきること、ゴールに対して、 $45^\circ \sim 50^\circ$ の角度で放物線を描いてゴールに入ると考えられる。未経験者が経験者のようなシュートフォームを効率よく身に付けようとするときは、Fig.8に示すように θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の各角度や、上半身と下半身の力を上手く連動させてシュートを打つ意識を持って練習すると良いのではないかと考えられる。

6. 今後の展開

今回の研究で得たFig.8の知見をもとに未経験者に対して、シュートフォームを改造する練習を行い、シュート率が現状より向上されるか実証実験により証明していきたいと考えられる。また、今回のカメラから被験者の距離や角度、カメラの画質等でシュート動画をVPNで姿勢解析した際、正確に2次元骨格情報を取得できない場面があり、特に右脇角度 θ_1 右肘の角度 θ_3 の測定誤差に繋がったと考える。この解決には、カメラの性能や被験者の撮影距離

Table4 動作の区切りとリリース時のVPNの θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の測定誤差率

被験者	(1)動作の区切り			(2)リリース			備考
	右脇の平均角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の平均角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の平均角度 θ_3 ($^\circ$)	右脇の平均角度 θ_1 ($^\circ$)	右膝の平均角度 θ_2 ($^\circ$)	右肘の平均角度 θ_3 ($^\circ$)	
測定値($^\circ$)	74.7	134.3	107	135	179	150	6名分
真値($^\circ$)	69.0	151	70.9	56.9	171	93.8	6名分
誤差率(%)	-6.7	2.7	0.7	20.0	0.2	-14.0	



Fig.7 VPNによるリリース時の検出誤差の画像

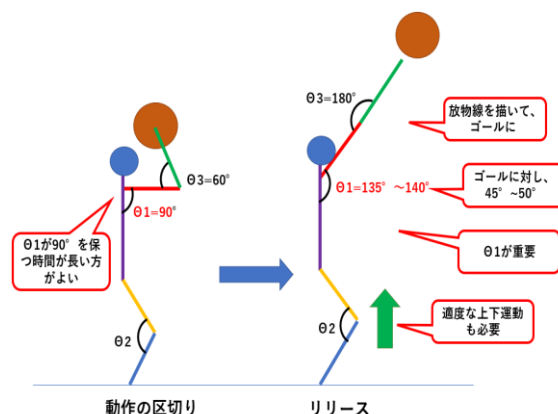


Fig.8 最適なシュートフォーム

及び撮影角度を改めて検討する必要がある。また、今後はリアルタイムで解析できるシステムを提案していきたい。

参考文献

- [1] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-EnWei, Yaser Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", <<https://arxiv.org/abs/1611.08050>>. (参照: 2022-04-29).
- [2] 金子和樹, 中村拓馬, 矢入郁子, 平田均, "OpenPoseを用いたサッカー熟練度の分類", 2020年34回人工知能学会全国大会論文集, Vol. 3M5-GS-12-05, pp. 1-4, 2020.
- [3] 飯田祥明, 内野翔太, "KINECT v2 センサーを用いたフリースロー様動作中のマーカー式関節角度測定の精度検証", 第4号, バスケットボール研究, pp.55-63, Nov.2018.
- [4] 吉良 優生他, "骨格推定を用いたバレーボールスパイクと運動能力の分析", Vol. ISS-SP-029, pp.188, 2020.
- [5] Vision Pose Nano, <<https://www.next-system.com/visionpose-nano>>, (参照: 2022-04-29).
- [6] Basketball Medical Support Lab サイト, "バスケ日本代表! #8 八村塁選手のシュート分析!", <<https://www.baske-medical-support.com>>, (参照: 2022-04-29).