

# スローモーション映像と二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未経験者と経験者のシュートフォームの比較評価

石垣 翔汰<sup>1</sup> 向井 鉄人<sup>1</sup> 安部 恵一<sup>1</sup>

**概要:** 本研究では二次元骨格情報を取得できる Open Pose を用いて、フリースローラインからバスケットボールのシュート映像をもとに 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。今回は被験者のシュートフォームを撮像する際にスローモーション有りの方が姿勢解析後の映像にノイズが少なく綺麗に分析できることが判った。さらに今回、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し、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。

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

SHOTA ISHIGAKI<sup>1</sup> TETSUTO MUKAI<sup>1</sup> KEIICHI ABE<sup>1</sup>

### 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し評価することで最適なシュートフォームについて考察した。また被験者のシュートフォームをスローモーションで撮像の有無についても評価したので、その詳細を述べる。

### 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。そこで、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. 二次元骨格情報取得システムの概要

本稿で使用した 2 次元骨格取得システムの概要を図.3-1

<sup>1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology.

に示す。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スマートフォン及び高精度カメラなどで取得し、オープンソース系の Open pose で 2 次元骨格情報により姿勢解析を行った。今回使用したハードウェアは図. 3-1 示すように GPU と CPU の両方を搭載した Jetson NANO を使用した。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 2 次元骨格情報 (X 軸と Y 軸の座標データ) を Comma Separated Value (CSV) 形式で取得した。Open pose では図. 3-2 に示すように 18 箇所 (0-17) の 2 次元座標データを出力するが、切り出した静止画像の左上が原点座標となる。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、実際取得される身体部位データのなかから右肩、右肘、右手首、右腰、右膝、右足首の 6 箇所のデータを抽出し解析を行った。

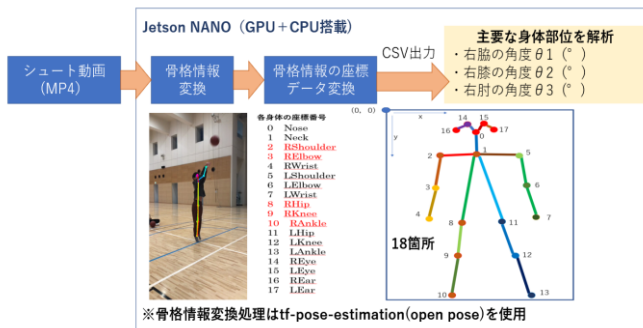


図 3-1 2 次元骨格情報取得システムの概要

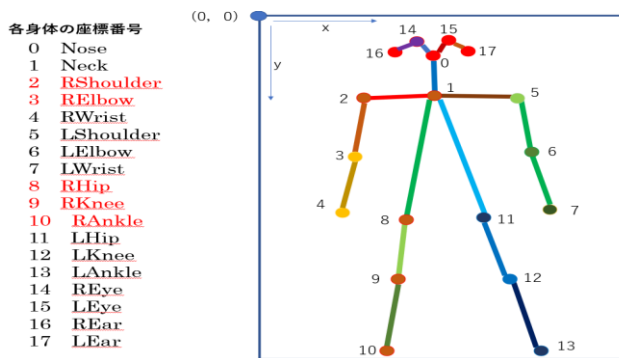


図 3-2 Open pose で解析される骨格情報

## 4. 本解析システム

### 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。本研究と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。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もとに分析した結果、

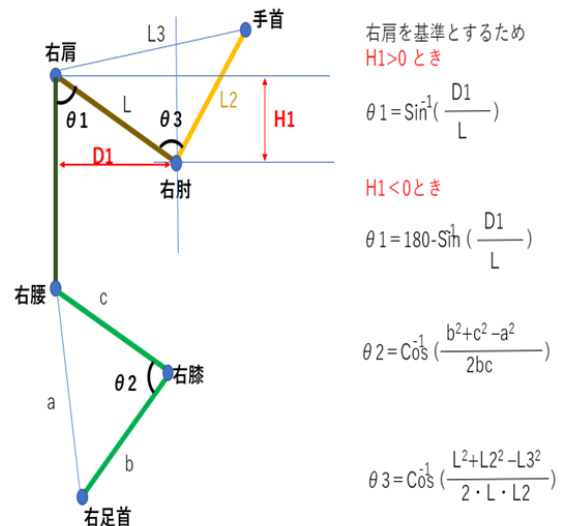


図 4-1 角度の算出方法

脇の角度、膝の角度、肘の角度が重要なファクターになると考えた。図 4-1 に示すように 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した。本稿では Open Pose により取得した 2 次元骨格座標データより、図 4-1 に示すように右肩と右肘の 2 つの座標データから右脇の角度  $\theta 1$  を算出した。右腰と右膝と右足首の 3 つの座標データから右膝の角度  $\theta 2$  を算出した。右肩と右肘と右手首の 3 つ座標データから右肘の角度  $\theta 3$  を逆正弦関数並びに余弦定理等を用いて算出した。算出方法と取得した 2 次元骨格情報の身位の座標番号を図 4-1 に示す。まず右脇の角度  $\theta 1$  の算出方法は図 4-1 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  $\theta 1$  を (4-1) 式と (4-2) 式で求めた。Open pose 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  $\theta 1$  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  $\theta 3$  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  $\theta 3$  を求めた。

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

次に図. 4-1 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解析方法

Basketball Medical Support Lab のサイト[5]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中間となる「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る。本稿における「動作の区切り」と「リリース」に定義については述べる。まず「動作の区切り」の定義は、シュート動作の中で膝の進展運動について注目する。図 4-2 に Open Pose で取得したシュート成功時の経験者の右脇の角度  $\theta 1$ 、右膝の角度  $\theta 2$ 、右肘の角度  $\theta 3$  のグラフを示す。横軸はフレーム数である。この図 4-2 に示すように、灰色のグラフが右膝の角度  $\theta 2$  のグラフになっており、一度角度が最小値になってから再び右膝が伸びていくところがシュートを放っているポイントとなる。図 4-2 の示すように、右膝の角度  $\theta 2$  が最小の角度になってから右膝が再び伸び上がる所を、本稿では「動作の区切り」と定義した。一方の「リリース」の定義は図 4-2 に示すように、右膝の角度  $\theta 1$  のグラフに注目して「リリース」については、右膝の角度  $\theta 1$  の進展運動が最大値付近になっており、かつボールが手から離れているところを「リリース」と定義した。米国で活躍する NBA のプロ選手の場合、「動作の区切り」において、脇の角度が  $90^\circ$  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る。つまり、脇の角度が  $90^\circ$  以降に肩関節と肘関節が同時に動いている。そこで、本稿では「動作の区切り」と「リリース」の動作のときに、2 次元骨格情報取得により被験者の右脇の角度  $\theta 1$ 、右膝の角度  $\theta 2$ 、右肘の角度  $\theta 3$  を同時に算出することでフリースローラインからシュートフォームの解析を詳細に分析する。

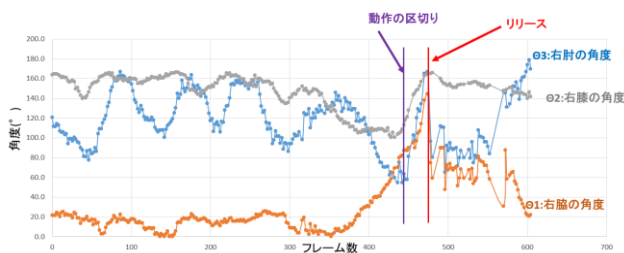


図 4-2 Open pose で取得したシュート成功時の経験者の右脇角度  $\theta 1$ 、右膝角度  $\theta 2$ 、右肘角度  $\theta 3$  のグラフ

## 4.3 評価方法

今回、シュート動画の撮影は 2 回行いそれぞれの評価に協力して頂いた被験者は 5 名であり全員右利きの男性である。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。場所は神奈川県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高性能カメラでスローモーション撮影を行った。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でフリースローラインの延長線上にカメラを設置し、被験者

が真横になるようにカメラを三脚で固定し撮影した。今回撮影に使用したカメラは SONY 製  $\alpha 7III$  である。このカメラの様を表 4-1 に示す。この高性能カメラではスローモーション撮影の機能があり、本研究で使用した。

表 4-1 カメラの仕様

使用カメラ	写真撮影時の有効画素数	動画撮影時の画素数など
$\alpha 7III$ (LCE-7M3K/SONY)	2,420万画素	200万画素(1920x1080ピクセル)、60fps、スローモーション撮影120fps

## 5. 評価結果

### 5.1 バスケットボール経験者及び未経験者の動作分析

今回、経験者と未経験者の動作分析にはシュートに成功したときの動画を用いて解析した。図 5-1 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 Open Pose により二次元骨格情報に変換後した静止画を示す。図 5-1 は、セット、動作の区切り、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。経験者及び未経験者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  $\theta 1$ 、右膝の角度  $\theta 2$ 、右肘の角度  $\theta 3$  を算出した表を表 5-1 に示す。表 5-1 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。表 5-1 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  $88^\circ$  と NBA 選手の  $90^\circ$  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  $69^\circ$  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  $135^\circ$  と、NBA 選手  $140^\circ$  に近いのに対し、未経験者 2 の  $\theta 1$  は  $56.9^\circ$  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。次に図 5-2 に経験者の横軸フレーム数に対する右脇の角度  $\theta 1$ 、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。図 5-2 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角度  $\theta 2$  の値が一旦最小値となり、最小値から膝が伸び上がろうとする点となり、一方のリリース動作は動作の区切りをスタートし右脇の角度  $\theta 1$  が最大値となる点となっている。

表 5-1 経験者と未経験者の比較

被験者	(1)動作の区切り			(2)リリース			備考		
	Frame No	右脇角度 $\theta 1^\circ$ (°)	右膝角度 $\theta 2^\circ$ (°)	右肘角度 $\theta 3^\circ$ (°)	Frame No	右脇角度 $\theta 1^\circ$ (°)		右膝角度 $\theta 2^\circ$ (°)	右肘角度 $\theta 3^\circ$ (°)
経験者1	444	87	113	63	474	144	164	167	Shota
未経験者1	260	116	106	78.5	286	125	176	173	Koku
NBAプロ選手		90.0		60.0		140		180	

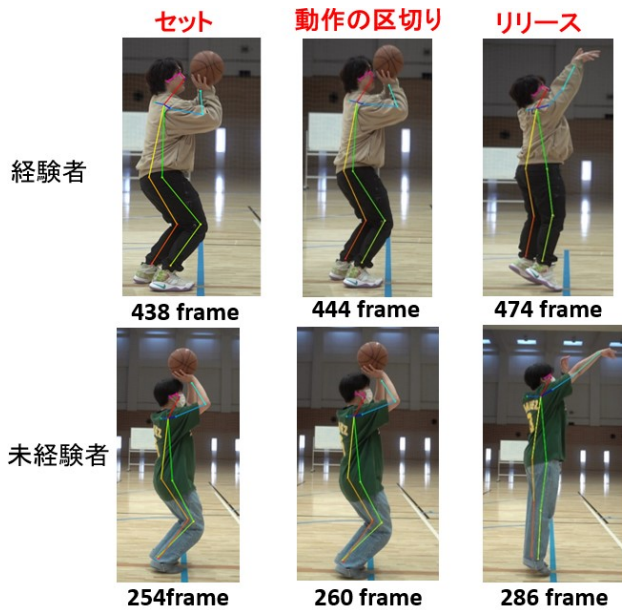


図 5-1 経験者及び未経験者のシュート動作

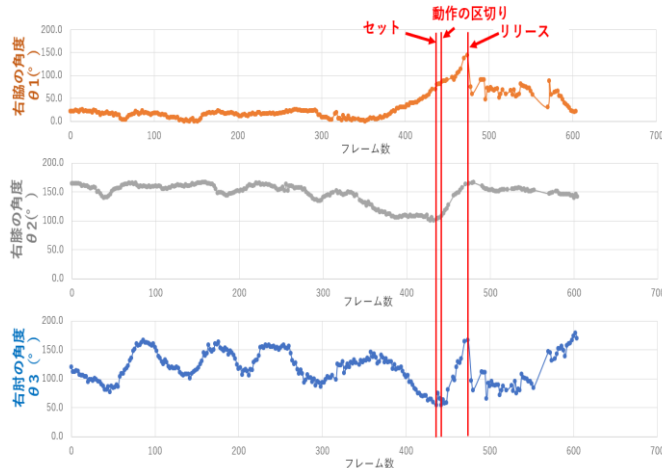


図 5-2 経験者 1 の横軸フレーム数に対する  
脇の角度  $\theta_1$ , 肘の角度  $\theta_2$ , 膝の角度  $\theta_3$  のグラフ

## 5.2 シュート成功時の経験者と未経験者の比較評価

次にシュート成功時の経験者及び未経験者の比較評価を行った。被験者は経験者 1 名, 未経験者 3 名の合計 4 名である。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  $\theta_1$ , 右膝の角度  $\theta_2$ , 右肘の角度  $\theta_3$  を算出した表を表 5-3 に示す。また, NBA 選手のデータも参考に入れてみた。表 5-3 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。表 5-3 に示すように右脇の角度  $\theta_1$  は, 経験者と未経験者との差が大きくなる事が確認できた。経験者 1 はシュートを放つ際の右脇の角度  $\theta_1$  は約 90 付近であり, リリース時の右脇の角度  $\theta_1$  は 140° 付近となっている。これは NBA 選手の値とほぼ同じである。ところで, 未経験者 3 が  $\theta_1$  及び  $\theta_3$  が経験者 1 と似たような値になっているが, 図 5-3 に示すように, シュート一連の動作を見ると経験者 1 は脇を閉じて左手はボールに添え片手でシ

ートを放っているが, 一方の未経験者 3 の方を見ると, 脇が開いていて, 両腕でシュートを放っており経験者 1 とのシュートフォームが違っている。しかし未経験者 3 のように両手打ちの場合  $\theta_1$  及び  $\theta_3$  の値だけみると同じような結果になったという。次に右肘の角度  $\theta_3$  は, 「動作の区切り」から「リリース」に移行したときの移動量  $\Delta \theta_3$  でみると, NBA 選手の  $\Delta \theta_3$  は 120° である。経験者 1 の  $\Delta \theta_3$  は 104° で NBA 選手と近い値になっている。未経験者 3 以外の未経験者の  $\Delta \theta_3$  は 100° 未満となることが判った。次にシュート成功時の動画において「動作の区切り」から「リリース」に移行する期間中に右脇の角度  $\theta_1$  が  $90 \pm 5^\circ$  になるフレーム数を数えた値及び有無を表 5-3 に示した。未経験者 1 以外の被験者においては右脇の角度  $\theta_1$  が  $90 \pm 5^\circ$  になる数が 1 フレーム以上であることが確認できた。次に表 5-3 に経験者及び未経験者のシュート成功率を示す。このシュート成功率の算出は, 5 回ボールを投げてゴールした割合を示すが, 5 回投げて入らなかった場合は入るまでボールを投げてもらった。この結果ではボール経験者 1 のシュート成功率は 75% で, その他の未経験者は 20% 以下であることが確認できた。



図 5-3 経験者 2 と未経験者 3 のシュート動作の比較

表 5-3 シュート成功時の経験者及び未経験者の  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  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 $\theta_1$ が $90^\circ$		シュート成功率 (%)	備考		
	右脇角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	右脇角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	$\Delta T$	$\Delta \theta_1$ (°)	$\Delta \theta_2$ (°)	$\Delta \theta_3$ (°)	有無			期間 (frame)	
経験者1	87	113	63	144	164	167	30	57	51	104	有	6	75	Shota	
未経験者1	116	106	78.5	125	176	173	26	9	70	95	無	0	16	Koku	
未経験者2	42	119	101	123	179	176	34	81	78	75	有	1	20	hama	
未経験者3	93	101	31	106	165	145	28	13	64	114	有	3	9	sano	
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180		50.0	-	120	-	-			



### 5.3 シュート失敗時の経験者と未経験者の比較評価

次にシュート失敗時の経験者1及び未経験者の比較を表5-4に示す。表5-4には「動作の区切り」と「リリース」ときの二次元骨格情報により、右脇の角度 $\theta_1$ 、右膝の角度 $\theta_2$ 、右肘の角度 $\theta_3$ を算出した結果を示す。シュート失敗時においては、経験者1及び未経験者ともに右脇の角度 $\theta_1$ は $90 \pm 5^\circ$ になっておらず、かつ「動作の区切り」から「リリース」までの移行動作期間に右脇の角度 $\theta_1$ が $90 \pm 5^\circ$ になるフレーム数はゼロであった。このことからシュート成功時の経験者及び未経験者の結果である表5-3と比較すると、フリースローラインからのシュート成功に関しては「動作の区切り」のとき右脇の角度 $\theta_1$ が $90^\circ$ 付近にあり、かつ「リリース」までの間に右脇の角度 $\theta_1$ は $90 \pm 5^\circ$ になるフレーム数が1以上あると良いと考えられる。また、右肘の角度 $\theta_3$ に着目する。「動作の区切り」から「リリース」動作移行までの差分 $\Delta\theta_3$ では、経験者1のシュート成功時及びシュート失敗時の $\Delta\theta_3$ の値は、成功時は $104^\circ$ に対して、失敗時は $70^\circ$ となっている。よって、スリースローラインからのシュートにおいては、「動作の区切り」から「リリース動作」の移行期間において、右腕の振りきる移動量も重要であると考えられる。

表5-4 シュート失敗時の経験者及び未経験者の $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 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 $\theta_1$ が $90^\circ$		備考
	右脇角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	右脇角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	$\Delta\theta_1$ (°)	$\Delta\theta_2$ (°)	$\Delta\theta_3$ (°)	有無	期間 (frame)	
経験者1	83	127	99	129	157	169	46	30	70	無	0	Shota
未経験者1	116	126	91	131	177	175	15	51	84	無	0	Koku
未経験者2	60	118	97	123	176	180	63	58	83	無	0	hama
未経験者3	101	118	103	155	178	152	54	60	49	無	0	sano
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180	50.0	-	120	-	-	

### 5.4 スローモーション無しで撮影した場合の姿勢解析の評価

5.3節までの姿勢解析では、スローモーション撮影で解析した結果であった。5.4節ではスローモーション無しの場合、即ち通常速度でカメラ撮影したときの姿勢解析評価について述べる。図5-4は経験者2の「動作の区切り」及び「リリース」のときの骨格情報取得の静止画像となる。図5-4に示すように経験者2は成功及び失敗時でも「動作の区切り」で右脇の角度 $\theta_1$ は $90^\circ$ になっており、リリース後の右脇の角度 $\theta_1$ は $140^\circ$ とNBA選手に近いことが判る。しかし、図5-4に示すようにスローモーション無しの通常速度で撮影した場合、「動作の区切り」のときは正確に解析できているのに対して、「リリース」のような動きが速くなる箇所では、手首や肘などが正確に2次元骨格情報を

取得できないことが多い。表5-5には経験者2のシュート動画を5本解析したときの結果である。表5-5内で「リリース」時の右肘の角度 $\theta_3$ の値が青字になっている箇所は誤検出した値を示す。このため、「リリース」時の右肘の角度 $\theta_3$ が5本中1本分しか正確に解析できなかった。これは右手首が正常に検出されていないのが原因と考えられる。この結果から通常速度でカメラ撮影するよりもスローモーション映像で撮影したもので、二次元骨格情報を取得した方が正確に姿勢解析できると考えられる。



図5-4 骨格情報の検出ミスの様子

表5-5 通常速度でカメラ撮影したときの経験者2のシュート解析結果

シュート	(1)動作の区切り			(2)リリース			(1)~(2)の期間で $\theta_1$ が $90^\circ \pm 5$		備考
	右肘角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	右脇角度 $\theta_1$ (°)	右膝角度 $\theta_2$ (°)	右肘角度 $\theta_3$ (°)	有無	期間 (frame)	
成功	90	91.6	64.4	140	173	72	有	2	ayumi1
	90	84.3	67.7	139	175	71	有	2	ayumi2
	90	88	66	141	178	179	有	1	ayumi5
失敗	90	90	64	141	179	73.5	有	1	Ayumi3
	87	94	64.8	142	174	74.9	有	2	Ayumi4
NBAプロ選手	90.0		60.0	140		180	-	-	

### 6. 考察

第6章では、日本バスケットボール協会が発行する「バスケットボール指導教本」[7]を参考に、本研究で得られた知見より、フリースローラインからの効率的なシュートについて考察する。この「バスケットボール指導教本」ではバスケットボールのシュートとして、「ボールがリングを通過可能な面積はリングに対するボールの入射角によって異なる。入射角が大きくと入りやすくなるがループを高くする必要があり飛距離が出せなくなる。小さすぎるとボールがリングを通過可能な面積が減るため適していない。理想的なループと飛距離を取得するには投射角度を $45 \sim 50^\circ$ でシュートするのがよい」と述べている。つまり、この「バ

スケッチボール指導教本」[7]ではリリース時のボールの投射角は  $45^\circ$  から  $50^\circ$  と述べられており、これが理想的な角度であると考えられる。よって、「動作の区切り」で右脇の角度  $90^\circ$  からボールを投げたとするとリリース時の右脇の角度  $\theta_1$  は  $135^\circ$  から  $140^\circ$  となると考えられる。表 5-3 に示した NBA のプロ選手のリリース時の右脇の角度  $\theta_1$  は  $140^\circ$  となっていることから裏付けられた数字といえる。

## 7. まとめ

本稿では Open pose 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で比較して 2 次元で姿勢解析を行った。今回はスローモーションで撮影した映像で姿勢解析を行った。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  $\theta_1$  が  $90^\circ \pm 5^\circ$  であり、リリース時は  $135^\circ$  前後になることが確認できた。しかし、経験者であっても下記の条件を満たさないとシュートミスに繋がるものと考えられる。

- (1) 「動作の区切り」のとき右脇の角度  $\theta_1$  が  $90 \pm 5^\circ$  なること。
- (2) 「動作の区切り」から「リリース」までの期間において、右脇の角度  $\theta_1$  が  $90 \pm 5^\circ$  が 1 フレーム以上あること
- (3) 「リリース」時の右肘角度  $\theta_3$  が  $135^\circ$  から  $140^\circ$  であること
- (4) 「動作の区切り」から「リリース」に移行したときの右膝角度の移動量  $\Delta \theta_2$  は人によって異なるが、適度な上下の運動量が必要であること

「動作の区切り」のときの右脇の角度  $\theta_1$  が  $90^\circ$  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けたものである。この脇の角度が  $90^\circ$  がなぜ良いのか今後科学的に調査が必要である。今回得られた知見より最適なシュートフォームについて考えてみた。その最適なシュートフォームを図 7-1 に示す。動作の区切りのときに右脇の角度  $\theta_1$  は  $90 \pm 5^\circ$  で、右肘は  $\theta_3$  も  $60^\circ$  程度、右膝の角度  $\theta_2$  も適度に曲げ、一方リリース時に右脇の角度  $\theta_1$  は  $135^\circ$  から  $140^\circ$ 、右肘の角度  $\theta_2$  は  $180^\circ$  と伸び、右膝の角度も  $180^\circ$  伸びきることで、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る練習を行う場合には、図 7-1 に示すように  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  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。

また、今回スローモーションの有無での二次元骨格情報姿勢を評価したところ、モーション有の方がリリースの時に於いて正確に 2 次元骨格情報を取得できることを確認した。

## 8. 今後の展望

今回の研究で得られた効率的な練習方法を未経験者に対して実践し、シュート率や経験者に近い値になるかを実証実験で証明していきたいと思っている。また今回のシステムではシュート動画を撮影してから結果が得られるまでかなりの時間を有してしまうことや、作業量が多くなってしまいが問題であると考えている。そこでリアルタイムで解析できるようなシステムを提案していきたいと考えている。

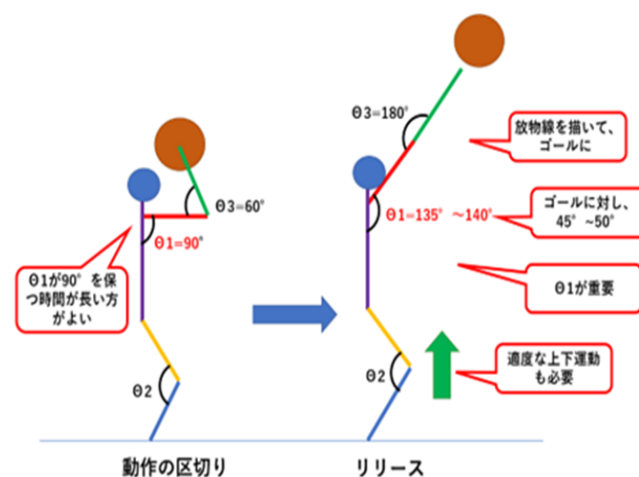


図 7-1 理想的なシュートフォーム

### <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] 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).
- [6] 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).
- [7] 財団法人日本バスケットボール協会, バスケットボール指導教本, p63-65, 9 月 2006 年.