

# 骨格推定を用いたバレーボールスパイクの成否判定と運動能力の 相関関係の分析

生産システム工学専攻 吉良 優生, 指導教員 江崎 修央

## Analysis of the Correlation Between Success of Volleyball Spike and Exercise Ability using Skeletal Estimation Yuki KIRA, Nobuo EZAKI

Advanced Course of Production System Engineering, National Institute of Technology, Toba College

### 1. はじめに

現在では、スポーツにおいて IT 化が進んでおり練習や試合分析など広い範囲で活用されている。バレーボールにおいてもデータ分析ソフトを用いたデータバレーが主流となってきている。

バレーボールというスポーツにおいて、スパイクは基本技術の一つである。また、スパイクはアンダーハンドやオーバーハンドなどの基本技術とは異なり、コースの打ち分けや速いボールを打つなどの技術を用いて得点を決める特徴を持っている。さらに、スパイクによって得点を決めた時に観客は大きな盛り上がりを見せる。そのため、初心者がバレーボールを始めるきっかけとして、上手にスパイクを打ちたいといった人は少なくない。スパイクによる得点を多く獲得する方法として、スパイクミスが減らし精度を上げることが重要視される。スパイクミスの原因は様々だが、スパイクフォームによってミスが起こる場合においてどこに原因があるのかを明確にする必要がある。

本研究では、バレーボールのスパイクミスの原因を明確にすることにより各個人に適した練習方法を検討することを目的とする。具体的には、バレーボール初心者のスパイク練習方法としてジャンプせずに打つスパイクを対象として、SVM (Support Vector Machine) によるスパイクフォームの分析を行う。この際、男子バレーボール部員 4 人のスパイクの成否判定を行い、各被験者がスパイクを打つ際、どの骨格・関節に問題があるのかを明確にする。加えて、スパイクのインパクト時より前の動作もスパイクミスに影響を与えることも考慮して本実験を行う。

### 2. 関連研究

スパイク動作に関する先行研究では、インパクト直前における手先の速度を高めることや、フォワードスパイクにおいて肩の変位速度を高めること、また、上腕を速くスイングし過ぎないように右肩を先行させるなど、上肢の重要性が示唆されている[1]。さらに、バックスイング (助走時に腕を後ろに振り上げる動作) 時の体幹捻転角度や肩関節水平外転角度を高めるといった、体幹部の重要性を示唆する研究も散見される[2]。

### 3. 実験方法

#### 3.1. 運動能力調査

本研究では、男子バレー部員 4 人を対象にスパイクの成否と運動能力の関係性を明らかにするために、各被験者の様々な運動能力を調査する。また、得られた能力値から各被験者を評価し、各運動能力同士の相関関係を明確にする。

##### 3.1.1. スパイクのタイミング調査

各被験者によってスパイクのタイミングにばらつきが明確にあらわれるか調査を行った (図 1)。固定した位置からボールを落下させ、被験者にはそのボールを予め用意した目印に向かって打ってもらった (図 2)。この際、ボールに手が触れた瞬間、肩から手までの縦横の長さ (pixel) から腕の角度を算出した。この一連の操作を 20 回繰り返すことにより、腕の角度の平均と標準偏差を求め、各被験者の比較を行った (表 1)。

表 1 より、被験者 2、被験者 1、被験者 3、被験者 4 の順に標準偏差が小さいことがわかる。標準偏差が誰よりも小さい被験者 2 が最もスパイクのタイミングにばらつきがないといえる。また、各被験者の結果に有意な差があるのか調

査を行った (表 2). 具体的には各被験者同士の角度の偏差を絶対値にとり, 有意差検定 (t 検定) を有意水準 5%にて行った. 被験者 3 と 4 の組み合わせ以外では有意差が認められた. この結果から, タイミングのばらつきにおける有意差は大体の被験者で認められることが判明した.

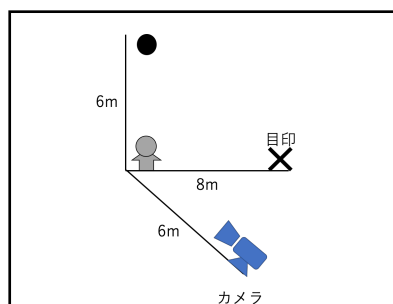


図 1 タイミング調査の概要図

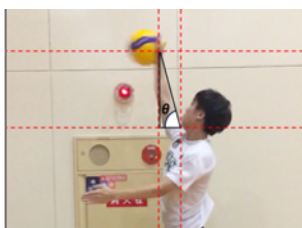


図 2 タイミング調査

表 1 タイミング調査の平均と標準偏差

	平均 [°]	標準偏差 [°]
被験者1	82.69	4.21
被験者2	91.83	3.84
被験者3	68.84	5.86
被験者4	60.41	6.02

表 2 タイミング調査の有意差検定

	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
被験者1	-	-	-	-
被験者2	○	-	-	-
被験者3	○	○	-	-
被験者4	○	○	×	-

### 3.1.2. スパイクのミート調査

各被験者によってスパイクのミートにばらつきが明確にあらわれるか調査を行った (図 3-4). ミートとは, ボールを強く打てたかどうかをあらわす. 被験者にはボールを地面に向けて全力で打ってもらい, ボールが打ちあがった高さを算出した. この一連の操作を 10 回繰り返すこ

とにより, ボールの高さにおける平均と標準偏差を求め, 各被験者の比較を行った (表 3).

表 3 より, 被験者 1, 被験者 2, 被験者 3, 被験者 4 の順に標準偏差が小さいことがわかる. 標準偏差が誰よりも小さい被験者 1 が最もスパイクのミートにばらつきがないといえる. また, 各被験者の結果に有意な差があるのか調査した (表 4). 具体的には各被験者同士のボールが打ちあがった高さを対象として, t 検定を有意水準 5%にて行った. この結果から, 被験者 3 が関わっている時のみ有意差が認められた.

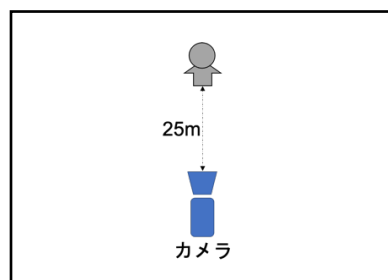


図 3 ミート調査の概要図



図 4 ミート調査

表 3 ミート調査の平均と標準偏差

	平均 [pixel]	標準偏差 [pixel]
被験者1	532.7	40.50
被験者2	537.3	50.54
被験者3	346.7	51.03
被験者4	510.9	55.16

表 4 ミート調査の有意差検定

	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
被験者1	-	-	-	-
被験者2	×	-	-	-
被験者3	○	○	-	-
被験者4	×	×	○	-

### 3.1.3. 肩関節調査

各被験者によって肩関節の柔軟性が明確にあらわれるか調査を行った (図 5). この際, 被験者の肩関節の柔軟性を評価するために, 計 4

種類の方法を用いた (図 6-9)。これらの方法で腕を最大まで開いた時、肩から手までの縦横の長さ (pixel) からそれぞれの角度を算出した (表 5)。

表 5 より、肩関節測定 1 において、被験者 3 以外は同一の角度であった。肩関節測定 2 においては、被験者 2 の肩関節が最も柔らかいと判断できる。また、被験者 1 以外の被験者は角度が近い結果となった。肩関節測定 3 では、被験者 1 の肩関節が最も柔らかいと判断できる。また、肩関節測定 3 が最も被験者同士の結果にばらつきが見られた。肩関節測定 4 においては、被験者 4 が最も柔らかいと判断できる。しかし、被験者全員あまり明確な差が出なかった。これら 4 つの結果から、測定方法によって各被験者の肩関節の柔軟性に特徴があることが判明した。

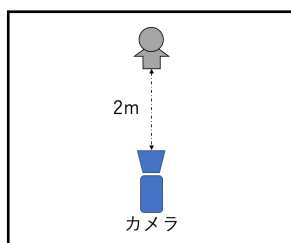


図 5 肩関節調査の概要図

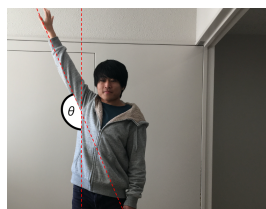


図 6 肩関節測定 1

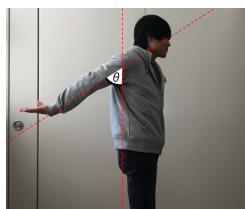


図 7 肩関節測定 2

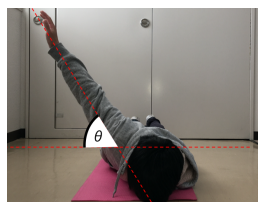


図 8 肩関節測定 3

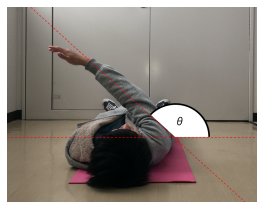


図 9 肩関節測定 4

表 5 肩関節測定の結果

	肩1 [°]	肩2 [°]	肩3 [°]	肩4 [°]
被験者1	180.00	47.15	61.73	152.41
被験者2	180.00	60.47	33.81	149.95
被験者3	140.21	59.44	49.13	149.39
被験者4	180.00	60.34	51.95	155.67

### 3.1.4. 相関関係の結果と考察

本研究では、調査した様々な運動能力の関係性を明確にする。具体的には、各運動能力同士の相関係数を求めることにより相関関係を調査し、各運動能力がお互いにどの程度影響を与えるかを検証した。全被験者の各運動能力における相関関係を表 6 に示す。

本検証では、運動能力の相関関係を調査する上で、主にミートとタイミングからみた各運動能力との相関関係に注目した。表 6 の結果から、ミートとタイミングの相関係数はおよそ 0.6 であり、相応に強い正の相関関係があることがわかる。これは、ミートが上手な人はタイミングをとることも上手であると予測できる。また、ミートと肩関節測定 2 の相関関係はおよそ 0.95 であり、とても強い正の相関関係があることがわかる。これは、肩関節測定 2 における肩関節の柔軟性があれば、ミートが高確率で上手であると予測できる。しかし、その他の相関関係はあまり関係性がみられなかった。

表 6 各運動能力の相関係数

	ミート	タイミング	肩1	肩2	肩3	肩4
ミート	1.000	-	-	-	-	-
タイミング	0.624	1.000	-	-	-	-
肩1	-0.184	-0.522	1.000	-	-	-
肩2	0.948	0.428	-0.267	1.000	-	-
肩3	-0.524	0.274	0.001	-0.746	1.000	-
肩4	0.203	0.370	0.574	-0.096	0.473	1.000

### 3.2. スパイクの成否判定

本研究では各被験者のスパイクミスは、フォームの乱れに原因があるのかを検証する。そのため、スパイクの成否判定による結果から、各被験者の特徴的なフォームの乱れを明確にする。

#### 3.2.1. 判定方法

判定に用いるフォームは、初心者がスパイクの基本として練習する状況を想定し、被験者自身でボールを上へ投げ、ジャンプせずに打つ方法を用いた。判定方法としては、ボールを打つ瞬間から 1.8 秒前までの計 10 区間に分けたスパイクフォームを分析する (図 10-12)。

本研究で使用したカメラの解像度は 1280 × 720 であり、フレームレートは 240fps を用いた。実験の概要図を以下に示す (図 13)。



図 10 -1.8 秒前

図 11 -1.0 秒

図 12 -0 秒

### 3.2.2. 骨格推定

スパイクフォームの骨格推定には OpenPose1.3.1[3-6]を用いる。OpenPoseは骨格推定に用いるアルゴリズムであり、DeepLearnigが採用されているため、単眼カメラでの骨格抽出が可能である。本研究では iPhone 6+と iPhone SE のカメラを使用し、前方面（図 14）と横方面（図 15）からみたスパイクの撮影を行った。

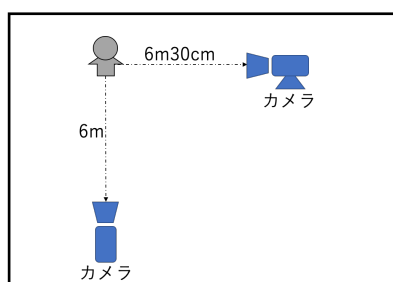


図 13 実験の概要図

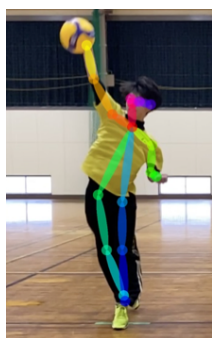


図 14 骨格検出例（前） 図 15 骨格検出例（横）

OpenPose1.3.1 を用いる骨格推定では、骨格データが全 18 箇所の体座標が出力される。本研究では、各関節の座標（X 座標，Y 座標）データを入力値としてスパイクの成否を行う。この際、各関節の座標を頭の座標との相対位置とし、前と横からみた頭の骨格以外の各 13 箇所、全 26 箇所の座標を式（1）を用いて算出した。ま

た、算出した相対位置から式（2）を用いて正規化座標を導いた。なお、式（2）の X には式（1）で算出された X 座標，Y 座標の相対位置をそれぞれ入力する。

$$\text{相対位置} = \text{体各点の座標} - \text{頭の座標} \quad (1)$$

$$\text{正規化座標} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

### 3.2.3. 成否の判定手法

本研究では OpenPose を用いて推定された骨格座標データを機械学習手法の一つである SVM を用いて成功，失敗の判定を行う。

実行環境はオープンソース SVM ライブラリである LIBSVM [7]を用いた。判定方法は 5 分割クロスバリデーションを用いて 4:1 の割合で学習データとテストデータに分けた。カーネルは RBF カーネルを用い、C, γ のパラメータチューニングはグリッドサーチを行って決定した。

### 3.2.4. テスト結果の評価方法

SVM の結果を基にテスト結果の評価を行った。評価方法としては、それぞれの分類方法におけるテストデータを TP (True Positive), FP (False Positive), TN (True Negative), FN (False Negative) により分類割合を見る。また、それぞれの割合を見ることで、何が問題なのかを検討する。

### 3.2.5. 成否の判定結果

本検証ではバレーボール部員 4 人を対象とし分析を行った。2 クラス（成功・失敗）についてそれぞれ SVM を用いてスパイク成否判定を行った。具体的には、各被験者が打ち込んだボールが目印の縦横 60cm 内に入った場合を成功、それ以外を失敗と定義した。2 クラスにおける分類基準の例を図 16 に示す。SVM に入力する学習データとテストデータの数について、被験者 1 は成功・失敗のデータを各 43 個、被験者 2 は各 41 個、被験者 3 は各 42 個、被験者 4 は各 45 個を使用した。

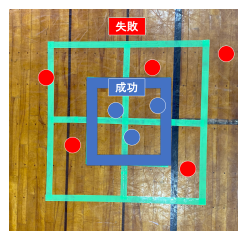


図 16 クラス分類基準



Accuracy の算出は式 (3) を用いて行った. 10 区間におけるスパイク成否の判定結果の Accuracy を図 17 に示す.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (3)$$

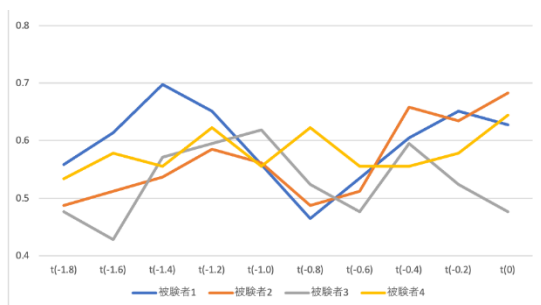


図 17 判定結果の Accuracy

被験者 4 人の成否判定 (Accuracy) は 0.5~0.7 程度の変化がみられた. また, スパイクインパクト時までの計 10 個の動作には各被験者によって異なる特徴的な結果があらわれた.

被験者 1 の場合は他の被験者に比べて全体的に高い精度で成否判定が行われている. また, 1.4 秒前とスパイクインパクト時にかけて Accuracy が高くなっている. 以上から, 被験者 1 はフォームの乱れがスパイクミスにつながる可能性が高いことがわかる. 具体的に, 1.4 秒前とスパイクインパクト時付近の動作に問題があるといえる.

被験者 2 の場合はスパイクインパクト時付近に高い精度で成否判定が行われている. 以上から, 被験者 2 は特にスパイクインパクト時付近の動作に問題があるといえる.

被験者 3 の場合は 1.0 秒前から 1.4 秒前にかけて Accuracy が高くなっている. 以上から, 被験者 3 は特に 1.0 秒前から 1.4 秒前付近の動作に問題があるといえる.

被験者 4 の場合は全体的に成否判定の結果に特徴はみられなかった. また, Accuracy が低いことから被験者 4 はフォームの乱れがスパイクミスにつながる可能性が低いことがわかる.

全体的に, 1.4 秒前とスパイクインパクト時付近が高精度で成否判定が行われている.

## 4. データの分析と可視化

### 4.1. データの分析方法

データ分析に用いる入力値として OpenPose で出力された頭の座標から各関節の座標までの正規化した相対位置を使用する. また, 横と前からみたスパイクフォームの各 13 箇所, 全 26

箇所の座標から算出した正規化した相対座標の標準偏差を求め, 失敗時の標準偏差から成功時の標準偏差の差分をとることで, 失敗時のブレの大きい座標を算出する. 前・横からみたフォームの同じ関節の標準偏差の平均をとる. 標準偏差は式 (4) で算出する.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

図 18,19 より, 被験者 1 のスパイクミスは右肘のブレがスパイクミスに関連すると考えられる. 図 20,21 より, 被験者 2 は両手両足の関節ほぼ全てがスパイクミスに関連すると考えられる. 図 22,23 より, 被験者 3 は左肩のブレがスパイクミスに関連すると考えられる. 図 24,25 より, 被験者 4 は足の関節がスパイクミスに関連すると考えられる.



図 18 被験者 1 (前)



図 19 被験者 1 (横)

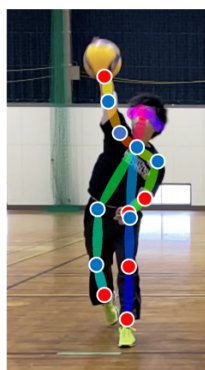


図 20 被験者 2 (前)

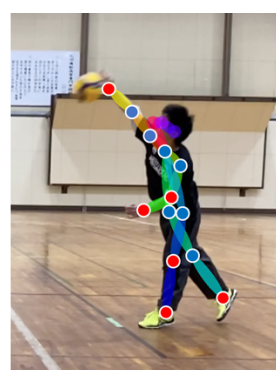


図 21 被験者 2 (横)

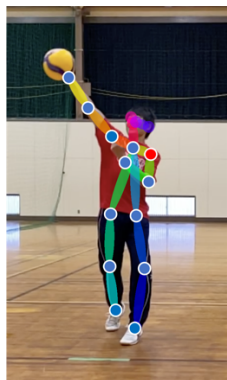


図 22 被験者 3 (前)



図 23 被験者 3 (横)

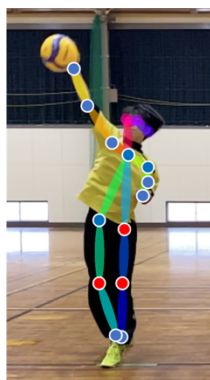


図 24 被験者 4 (前)

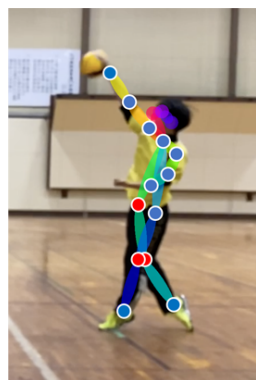


図 25 被験者 4 (横)

## 5. 運動能力とスパイクの相関関係

### 5.1. 検証概要

本研究では、調査した様々な運動能力とスパイク成否の原因の関係を明確にする。具体的には、各被験者の運動能力とスパイクミスした際のフォームの問題がある関節との相関係数を求めることにより相関関係を調査する。この方法により、スパイクミスの原因がフォームにあると明らかになった際、どの運動能力がスパイクミスに影響を与えているのかを明確にする。最後に各運動能力と各関節との相関関係の結果を用いて、各被験者に必要な運動能力を調査する。具体的には、スパイクミスの原因である関節と、各運動能力に対して高い相関係数をもつ関節が一致している箇所を明確にする。

### 5.2. 検証結果

ミートと強い相関関係のある関節を緑色、タイミングと強い相関関係のある関節を紫色、肩関節測定 1 と強い相関関係のある関節を赤色、そうでない座標を青色で示す。

各関節と各運動能力の相関関係において、被験者 1 の場合、図 26,27 より、右腕の肘関節のブレを改善するにはタイミング能力を身につける必要があることが判明した。また被験者 2

の場合、図 28,29 より、スパイクミスの原因はタイミング能力、ミート能力、肩関節測定 1 の柔軟性を身につける必要があることが判明した。被験者 3 の場合、図 30,31 より、左肩関節のブレを改善するにはミート能力を身につける必要があることが判明した。被験者 4 の場合、図 32,33 より、被験者 3 と同じようにミート能力を身につける必要があると判明した。

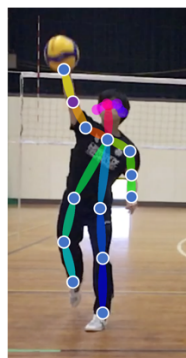


図 26 被験者 1 (前)



図 27 被験者 1 (横)

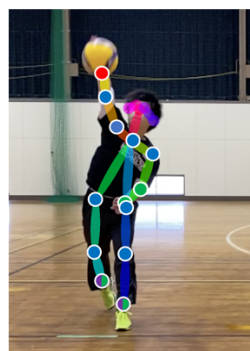


図 28 被験者 2 (前)

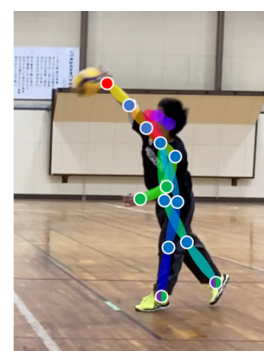


図 29 被験者 2 (横)

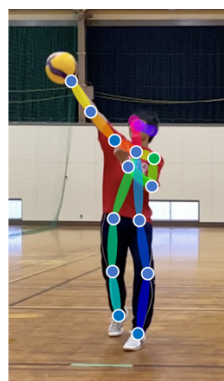


図 30 被験者 3 (前)

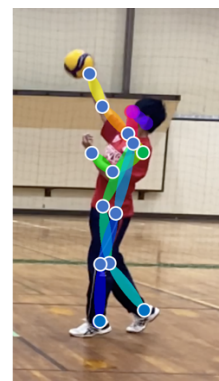


図 31 被験者 3 (横)

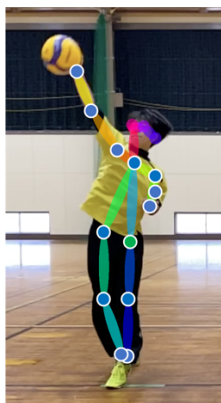


図 32 被験者 4 (前)

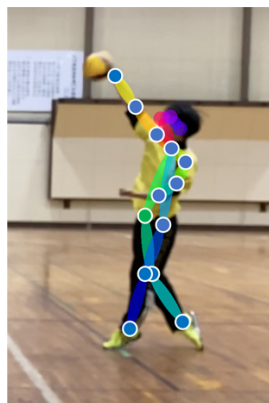


図 33 被験者 4 (横)

## 6. 結果と考察

本研究では、バレーボールを題材に、SVM によるスパイクフォームの分析を行った。具体的には、バレーボール初心者のスパイク練習方法としてジャンプせずに打つスパイクを対象とした。この際、OpenPose によって骨格検出したデータを用いて、男子バレーボール部員 4 人のスパイクの成否判定を行った。この方法により、各被験者がスパイクを打つ際、どの骨格・関節に問題があるのかを明確にした。成否判定の結果において、全体的に 1.4 秒前とスパイクインパクト付近の Accuracy は高い結果がみられた。1.4 秒前のフォームは腕を振り下ろしはじめる区間である。この際、落ちてくるボールをミートするにあたり、腕を振り下ろすタイミングが重視される。そのため、横及び前から見た際のフォームに大きな変化がみられる。対して、0.8 秒前と 1.8 秒前付近は全体的に Accuracy が低い結果となった。原因として、1.8 秒前のフォームは腕を引く段階であるため、フォームの変化があまり目立たない。同様に 0.8 秒前のフォームは横から見た際に腕が頭に隠れてしまいフォームの変化があまりみられない。最後に各被験者の運動能力を調査し、スパイクミスの原因箇所と運動能力の相関関係を明らかにした。

## 7. おわりに

今後の予定として、本研究から明確になった結果が実際に被験者のスパイク改善につながるかを検証する。具体的には、Accuracy が高い結果となったスパイクフォームを補正することによって、各被験者のスパイク技術が向上するのかを調査する。加えて、ジャンプした際のスパイクにも着目する予定である。

## 文 献

- [1] 橋原孝博, バレーボールのスパイク技術に関する運動学的研究-高い打点で強く打撃するためのスイング動作として役立つ動き-, 広島体育学研究, 14 巻, 11-22, 1988
- [2] 増村雅尚, Walter Quispe Marquez, スイング速度の異なるバレーボール選手のスパイク動作に関する研究-スパイク動作指導におけるポイント-, スポーツ方法学研究, 20 巻 1 号, 85-97, 2007
- [3] Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh, OpenPose-realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields, arXiv preprint arXiv:1812.08008, 2018
- [4] Tomas Simon, Hanbyul Joo, Iain Matthews, Yaser Sheikh, Hand Keypoint Detection in Signal Image using MultiView Bootstrapping, CVPR, 2017
- [5] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh, Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, CVPR, 2017
- [6] Shin-En Wei, Varun Ramakrishna, Takeo Kanade, Yaser Sheikh, Convolutional pose machines, CVPR, 2016
- [7] Chang, Chih-Chung, Lin, Chih-Jen, LIBSVM-A Library for Support Vector Machines, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, vol.2, no.3, 1-27, 2011