

規格化・平均化の手法による運動技術解析の試み

—バレーボールのスパイク技術について—

橋原孝博 (広島大学) 阿江通良 (筑波大学)
 横井孝志 (筑波大学) 石島 繁 (筑波大学)
 古藤高良 (筑波大学) 波川侃二 (筑波大学)

(昭和62年10月9日 受付)

A kinematic study on volleyball spiking motion by the use of
 normalization and averaging technique

Yoshihiro Hashihara¹, Michiyoshi Ae², Takashi Yokoi², Shigeru Ishijima²,
 Takayoshi Kotou² and Kanji Shibukawa²

Abstract

This study was designed to analyze the spiking motions of international-class players by normalization and averaging of the three dimensional kinematic data, and to provide these information with clarifying the basic volleyball spiking technique. Soviet, Cuban, Polish and Japanese male players who participated in the 1981 World Cup Volleyball Games held in Tokyo were filmed at 100 f.p.s. with two 16 mm cinecameras during the games. Twenty-three spikings performed successfully were selected for the analysis, and were digitized from the start of the approach run to the end of the swing in the air. Twenty-four 3 dimensional coordinates for the segment endpoints and ball were computed by the Direct Linear Transformation Method. The kinematic data were obtained from the 3D coordinates. The locations and directions of the CG pathways were different from player to player. Therefore, the 3D frame of reference during the movement phase was specified, where X, Y, Z axes indicate the right-leftward, for-backward, and up-downward directions respectively. After the rotation of the coordinate system on the horizontal plane, the averaged spiking motion from 23 players was obtained by normalization and averaging of the displacement data for 21 segment endpoints. The motion seemed to represent the basic volleyball spiking technique, because the analyzed spikings were successful spikings performed by international-class players, where the average finger height at impact was 3.18 m, and the average ball velocity immediately after impact was 22.37 m/s.

(Yoshihiro Hashihara, Michiyoshi Ae, Takashi Yokoi, Shigeru Ishijima, Takayoshi Kotou and Kanji Shibukawa, "A kinematic study on volleyball spiking motion by the use of normalization and averaging technique", *Jap. J. Phys. Educ.*, 33—3 : 201—10, December, 1988)

緒 言

現在, 一流と呼ばれている選手の多くは合目的・合理的運動過程(運動技術)¹⁾を身につけ, ゲー

ムという競技の場で確実に発揮できるようトレーニングに励んでいることと思われる。従って, ゲーム中の一流選手の運動動作を分析すれば運動技術を明らかにするための資料を得ることができると

1 Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences, 1-1-89, Higashisenda-cho, Naka-ku, Hiroshima (730)

2 Tsukuba University, Institute of Health and Sports Sciences, 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba (305)

考えられる。そして、このようなフィールド実験的研究方法により得られた知見は実践の場から得られたものであることから、実験室的研究方法のように数多くの検証実験を積み重ねる必要がなく、一般に還元できるものであるが、ゲーム中の選手の運動動作を定量的に分析する方法や精巧な測定・分析装置がなかったことなどの理由により、これまでフィールド実験的方法による運動技術の解析はほとんど行われず、報告されてきた研究成果の大部分が実験室的方法によるものであった。しかしながら最近では、コンピューターやフィルム分析装置の発達、あるいは分析方法の開発などにより、このフィールド実験的方法による研究も可能になってきている。

運動動作をとらえる方法には映画撮影法がある。従来、映画撮影法による動作分析ではたとえ複数の被験者を用いた場合でも、全被験者の時系列データを動きの全局面に亘って示すことはほとんど行われず、一般的にはいくつかの典型例を示すという方法が用いられてきた。しかしながら近年、データ処理装置などの進歩も手伝い、各被験者の動作時間に基準をもうけてデータを規格化・平均化^{11,12)}する(例えば、各選手の動作時間を100%に規格化し、規格化した時刻ごとにデータを平均化する)ことにより、複数の被験者のデータをより簡略な方法で示し、より信頼性のある結果を得ることなどが可能となってきている。

そこで本研究では、運動技術を身に付けて、それが発揮されていると考えられる一流選手の競技中の運動動作を3次元映画撮影法によりとらえ、各一流選手の運動動作に共通に内在する運動過程(本研究の場合、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術)を規格化・平均化の手法により究明していくことにする。

方 法

1. 3次元映画撮影法によるスパイク動作分析

撮影対象はバレーボールワールドカップ'81東京大会のソ連対キューバ、ポーランド対日本戦における男子一流選手の試合であった。試合に先立って、較正器(自作、高さ4m、横幅4m)を撮影

場所に設置し、3階席に固定した2台の16mmシネカメラ(フォトソニックス社製1PL、交流電源駆動式)で撮影した。同時に、センターラインとレフトサイドラインの交点を原点として、較正点(較正器の各支柱に巻かれた色違いのテープで区切られた箇所)から吊した分銅が示すコート位置(サイドライン方向をX方向、センターライン方向をY方向とする原点からの距離)を実測した。なお、較正点の鉛直距離は分銅の床からの高さをノギスで実測し、後でこれに吊した糸の長さを加えた値とした。この地点における撮影と実測が終了した後、較正器を撮影範囲全体に分布するよう移動させ、撮影と較正点の3次元座標の実測を繰り返した。このようにして得られた較正点に関する2次元及び3次元座標から連立方程式を立て、最小二乗法を使用して正規方程式を求め、これを解くことにより各カメラごと11個のDLT係数(Direct Linear Transformation Parameters)^{7),10)}を算出した。

スパイク動作の撮影は相手側のサーブ開始時からスパイカーが打撃を終了して着地するまでを2台の16mmシネカメラにより同時に撮影した。撮影スピードは毎秒100コマで、露出時間は1/400秒であった。また、時間較正のためパルスジェネレーターより発する信号(100Hz)をフィルムに同時記録した。分析試技はバレーボールを熟知したもの(バレーボール国際公認コーチインストラクター及びコーチ)が試合会場で撮影したVTR及び16mmフィルムを観察することにより、撮影した全試技を評価し、動作がスムーズであること、跳躍が高く打撃も強いこと、しかもサイドアウトを得ることに成功したスパイク動作を23試技選択した。

このようにして撮影・選択したスパイク動作のフィルムを各カメラごと分析装置(シャープMZ80Bパーソナルコンピューターとビッドパットワゴン座標読み取り装置をRS232C I/Oボードを介して接続したフィルム分析システム)にかけ、助走開始10コマ前からスパイク終了の着地後10コマまで1コマごとに身体各部位23点及びボールの2次元座標を読み取った。そして、同期フレーム(例

えば、インパクトの瞬間)を基準にして両カメラの2次元座標を同期調整した後、この同期調整した各カメラごとの2次元座標と既に算出している各DLT係数から連立方程式を立て、最小二乗法を使用して正規方程式を求め、これを解くことによりスパイク動作中の身体各部位及びボールの3次元座標を算出した、更にこれをもとに、スパイク動作中の身体各部位及び各部分の重心点の位置、各関節角度、ボール速度などの各種力学量を求めた。

2. スパイク動作の規格化・平均化処理

本研究で分析した試技は公式試合におけるスパイク動作であり、スパイクの種類やそのスパイクを行った地点が各選手とも違っている。従って本研究の場合、3次元映画撮影法により得られた身体各部位の変位データを直接加算し、平均化するには無理がある。

そこで本研究では、助走、踏切、スイングの各局面ごとに各局面開始地点から終了地点に向かう身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度をもとに身体各部位の変位データを座標変換し、各選手のスパイク運動面を統一した。そして座標変換した各選手のスパイクデータを平均化するために、助走、踏切、スイングの各局面ごと、その動作時間に基準をもうけてデータを規格化し、各選手のスパイク動作局面を一致させた。

図1は規格化・平均化処理の一例として踏切局面における右膝の位置変化を各成分ごとに分けて示したものである。踏切局面では各選手の踏切移行時、前半終了時、離地時の時点を合わせ、踏切時間を100%（このうち前半が39%で後半が61%）として各選手の動作局面を一致させた。この時、相当する時刻のデータがない場合にはラグランジェの一次補間公式によりデータを補間して求めた。また、踏切前半及び後半の時間的割合は各選手の踏切時間全体に対する前半及び後半時間の割合を23試技で平均することにより求めた。このようにして規格化した右膝の位置データについて、規格化した時刻ごと（すなわち1%ずつ）各選手の膝の位置データを加算し、23試技の平均値と標準偏差を求めた。

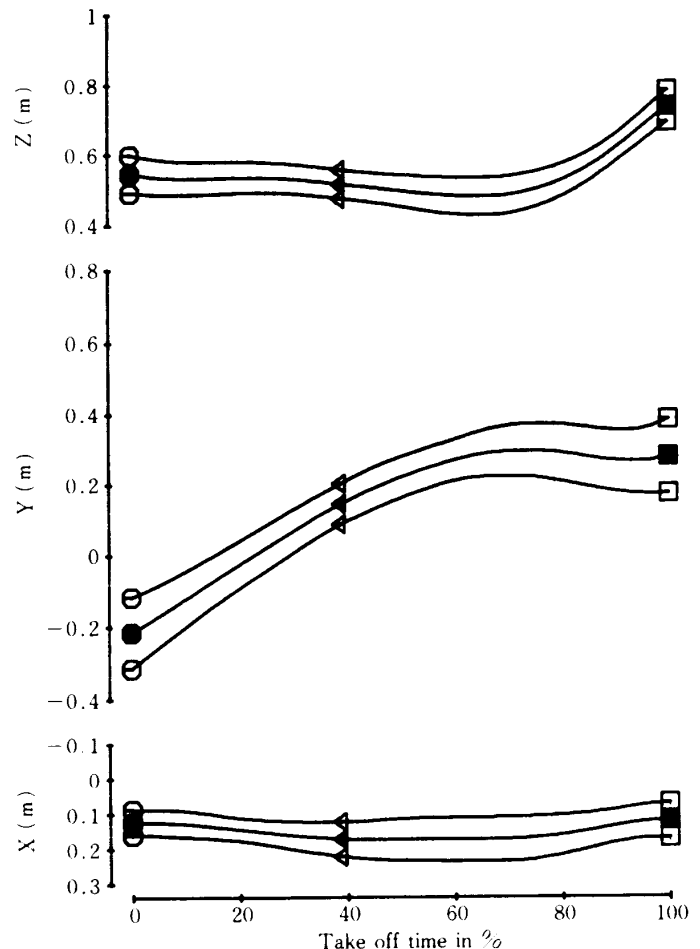


図1 規格化・平均化処理した踏切局面における右膝の位置変化 (Xは左右方向, Yは前後方向, Zは鉛直方向を示し, 各線上の○は踏切移行時, △は前半終了時, □は離地時の各時点を示す。また, ●の線が平均値で, ○が±1標準偏差を示す)

図2はこの規格化・平均化の処理を行った右膝の位置変化を上と横の2方向からみたものである。本研究では、以上述べた右膝の場合と同様に身体各部位21点、すなわち腕では左右の肩、肘、手関節中心と手先、脚では左右の腰、膝、足関節中心と踵及び足先、そして頭部中心と左右の肩及び腰の midpoint の位置の平均値を、助走開始からスパイク終了の着地まで求めた。また本研究では、得られた結果の解釈を助けるために図2上端に示すような動作パターンのスティックピクチャーも作製した。

結 果

本研究では、以上のような撮影及び分析手順を経て得られた一流選手の平均的スパイク動作を助

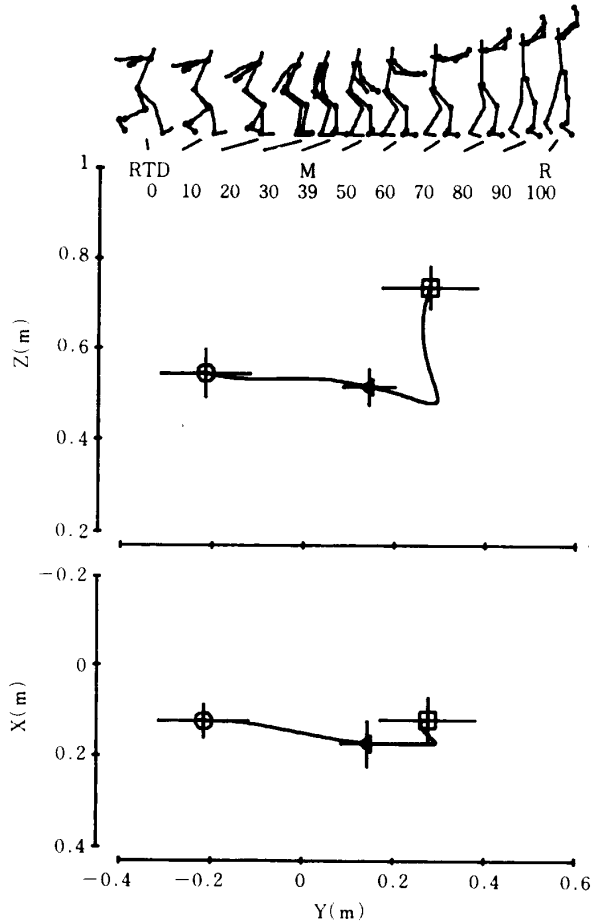


図2 規格化・平均化処理した踏切局面における右膝の位置変化(上図は真横から, 下図は真上からみたもので, 十字の印は±1標準偏差を示す)

走, 踏切, そしてスイングの各局面ごとに検討した。しかし紙面の都合上, ここでは, 跳躍高を大きくするのに最も重要な踏切局面について, その動作を身体部分ごとに整理して報告することにする。なお, 踏切動作については若干の先行研究があるので(ただし, これらの大部分が実験試技としての跳躍動作を2次元映画撮影法により分析し, その結果を典型例を用いて示したものであるが), ここでは, これら先行研究も参考にして本研究で得られた知見をまとめることにする。

1. 踏切局面における胴体の動き

図3は踏切局面における胴体各部位の位置変化を示したものである。そして図上端のスティックピクチャーは胴体の動きを約10%間隔で経時的に示したもので, 上部は真横から, 下部は真上からみたものである。なお, 黒丸のついた身体部分は左の肩と腰である。また, 表1は踏切局面におけ

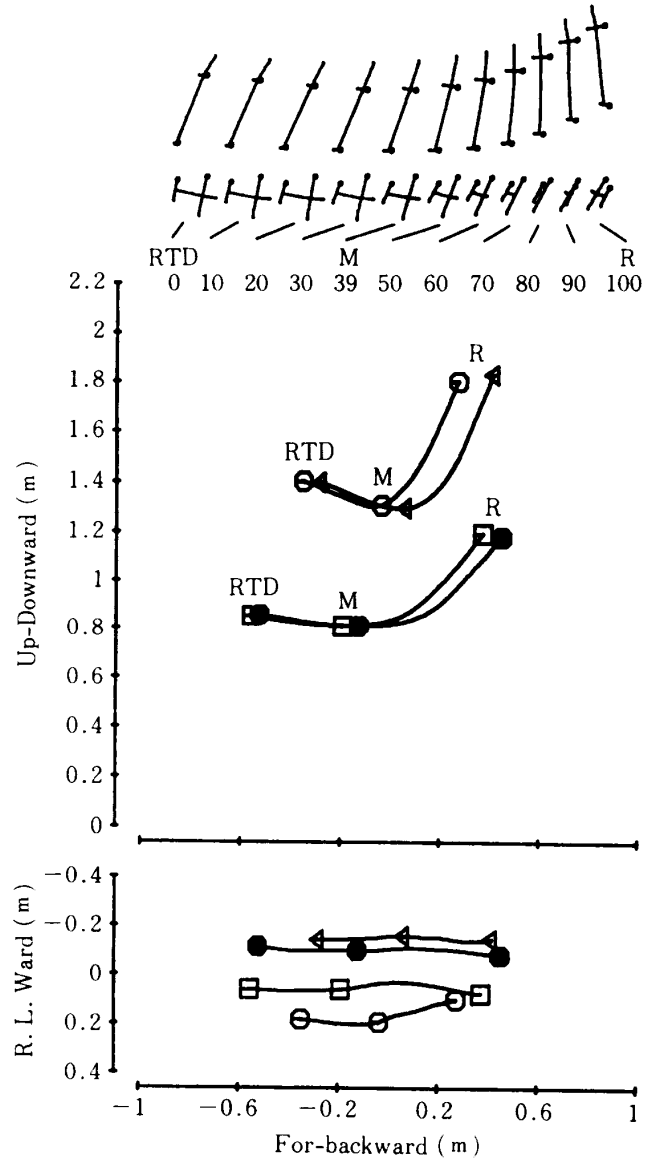


図3 踏切局面における胴体の動き(上図は真横から, 下図は真上からみたもので, ○の線は右肩, △は左肩, □は右腰, ●は左腰の動きを示す。そして各図中のRTD, M, Rはそれぞれ踏切移行時, 前半終了時, 離地時の各時点を示す)

る身体各部分及び各関節角度変化を約10%間隔で示したものであり, これらの各時点はスティックピクチャーのそれと対応している。

上図についてみると, RTD時では, 胴体は前傾した状態で右の肩及び腰を身体後方に引いた姿勢をとっている。右足接地後, 胴体はわずかに前下方へと移動する。なお, 胴角度変化を見ると, 水平及び鉛直角度は前半中頃まで小さく, 以後徐々に大きくなっていることから, 胴体は初め屈曲され, 以後徐々に伸展されながら前下方へと移動し

表1 踏切局面における身体各部分及び各関節角度変化 (deg.)

	RTD	10	20	30	M	50	60	70	80	90	R
肩 角 度 (水平角度)	102.6	101.1	100.6	102.9	105.3	109.2	112.1	114.2	116.5	118.3	119.8
(鉛直角度)	90.4	90.1	90.4	90.9	91.9	92.5	91.8	90.6	89.0	86.7	84.9
腰 角 度 (水平角度)	100.7	105.2	107.7	108.8	110.3	114.2	115.4	117.2	115.8	113.6	115.0
(鉛直角度)	88.5	88.5	89.7	90.2	90.0	90.5	91.1	90.6	91.1	92.6	94.4
胴 角 度 (水平角度)	64.8	62.9	62.6	64.7	68.2	74.1	79.6	83.9	86.8	91.0	96.5
(鉛直角度)	152.4	150.6	150.2	151.9	155.1	160.7	166.0	170.1	172.6	173.6	170.8
右上腕角度 (水平角度)	155.7	156.0	148.0	129.9	108.0	82.4	57.6	38.4	40.4	51.2	63.1
(鉛直角度)	90.8	83.5	68.8	46.3	25.3	21.6	41.1	71.1	91.3	102.6	107.2
右前腕角度 (水平角度)	143.5	142.4	133.2	116.3	90.1	54.9	33.4	33.4	47.4	57.2	55.3
(鉛直角度)	80.6	74.0	60.2	43.3	32.3	48.9	80.1	108.1	125.3	128.9	124.8
右肩関節角度	64.5	55.0	40.3	22.8	19.4	30.3	52.3	78.3	95.0	101.5	100.4
右肘関節角度	152.9	154.2	155.1	156.9	154.8	142.4	132.3	125.5	112.5	102.6	98.3
左上腕角度 (水平角度)	133.3	138.0	134.0	121.1	103.0	77.2	48.4	25.9	24.2	33.0	44.4
(鉛直角度)	88.9	80.4	65.6	43.9	26.7	22.0	44.9	79.3	99.3	116.5	130.6
左前腕角度 (水平角度)	117.0	121.8	120.9	108.6	84.2	49.5	35.7	45.7	72.3	88.0	90.9
(鉛直角度)	69.6	66.1	58.0	43.1	34.7	49.4	82.2	114.8	139.9	146.0	144.8
左肩関節角度	66.3	54.6	39.3	23.6	18.7	30.9	56.9	86.9	103.7	116.3	124.6
左肘関節角度	154.6	157.1	161.9	161.4	155.2	140.8	139.3	139.4	124.1	120.6	125.9
右大腿角度 (水平角度)	43.3	42.8	41.3	42.3	44.9	50.0	56.4	64.2	76.4	92.1	102.2
(鉛直角度)	48.9	49.2	51.2	51.8	50.4	46.9	41.5	34.3	23.3	15.2	15.0
右下腿角度 (水平角度)	72.3	79.0	88.2	97.3	105.8	113.9	118.5	120.0	117.3	110.4	107.9
(鉛直角度)	21.0	17.9	16.2	19.6	25.6	32.4	37.0	38.2	34.2	24.5	20.1
右膝関節角度	147.6	139.8	127.1	115.9	107.9	102.8	103.2	109.4	126.5	154.0	168.4
左大腿角度 (水平角度)	68.7	54.1	41.7	36.9	37.9	41.7	45.4	50.1	58.2	71.7	85.4
(鉛直角度)	27.4	39.2	50.4	55.0	54.4	51.4	48.2	43.2	33.9	19.4	10.1
左下腿角度 (水平角度)	151.2	137.5	119.3	100.8	88.7	84.7	88.6	95.2	97.9	94.9	91.7
(鉛直角度)	65.4	52.0	38.4	29.5	25.8	27.3	28.2	27.1	23.4	16.0	9.9
左膝関節角度	93.0	93.1	98.6	110.3	119.9	123.7	121.2	120.4	129.8	152.0	170.6

水平角度: 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

ていることがわかる。そして、M時付近で胴体の前下方への移動は停止する。後半が開始されると、胴体は伸展されながら前上方へと大きく移動し、わずかに後傾した状態で離地に至る。

下図についてみると、踏切前半の期間を通じて、胴体は右の肩及び腰をわずかに後方に引いた姿勢を維持しながら前方移動する。しかし、後半が開始されると、右肩が重心位置に近づくように左前方へと移動し、胴体は前半とは違った動きをする。すなわち、肩水平角度変化をみると、M時以後肩角度が徐々に大きくなっていることから、胴体は身体右側に回転されながら前方移動していることがわかる。

このように本研究では、胴体は踏切中屈曲そし

て伸展されながら右側に回転するような動きをしているが、Samson and Roy⁶⁾は踏切中胴体は伸展を続けると述べ、本研究とは若干違う結果を報告している。しかし、阿江¹⁾は「助走速度が大きくなると、踏切足接地時に加わる大きな力に抗するため、腰をあまり屈曲せず、体幹を突っ張るようにして接地し、そのまま起こしながら踏切を行う傾向が強くなるが、助走速度が小さい場合では、腰はやや屈曲されている」と述べており、踏切中、屈曲そして伸展されている本研究の結果は阿江¹⁾の助走低速の結果とほぼ一致するものであった。

2. 踏切局面における右腕の動き

図4は踏切局面における右腕各部位の位置変化を図3と同様にして示したものであり、図上端の

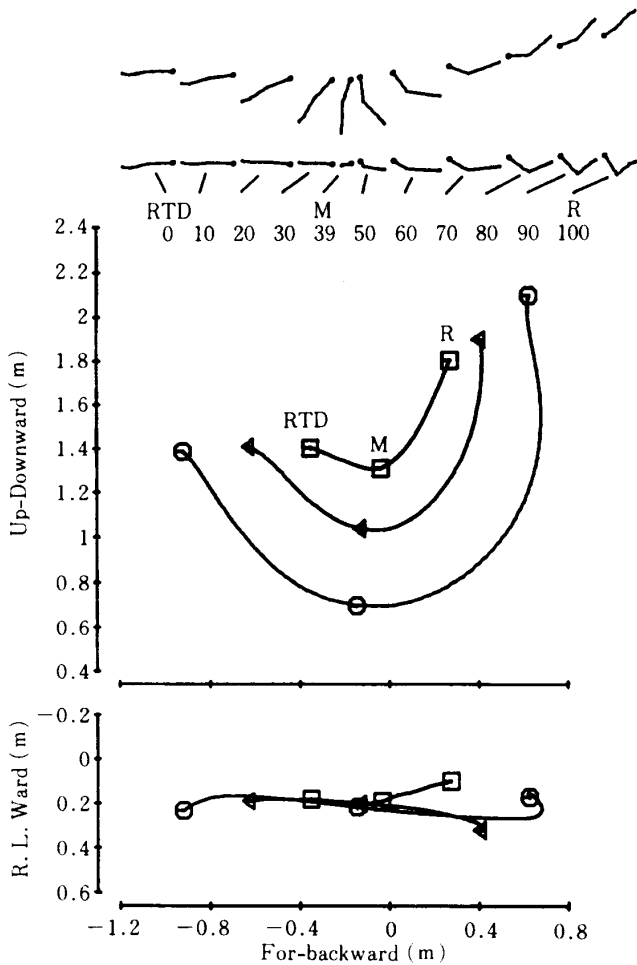


図4 踏切局面における右腕の動き(○の線は右手先, △は右肘, □は右肩の動きを示す)

スティックピクチャーにおける黒丸の部位は右肩である。

上図についてみると、RTD時では、右腕は肘関節を伸展させ、肩の高さまで身体後方に振り上げられている。右足接地後、右腕は肘関節を伸展させた状態で前下方へと振り下げられる。そしてM時では、右腕は肩の位置でほぼ真下に下げられている。後半開始後、右腕は肘関節を屈曲しながら前上方へと高く振り上げられる。しかし、肩関節角度、上腕及び前腕鉛直角度変化をみると、R時直前(80%付近)までは角度が徐々に大きくなるが、それ以後さほど変化していないことから、右腕は離地直前からほとんど振り上げられていないことがわかる。

下図についてみると、踏切前半では右腕は肩の下を前方に振り下げられるが、後半では肘及び手

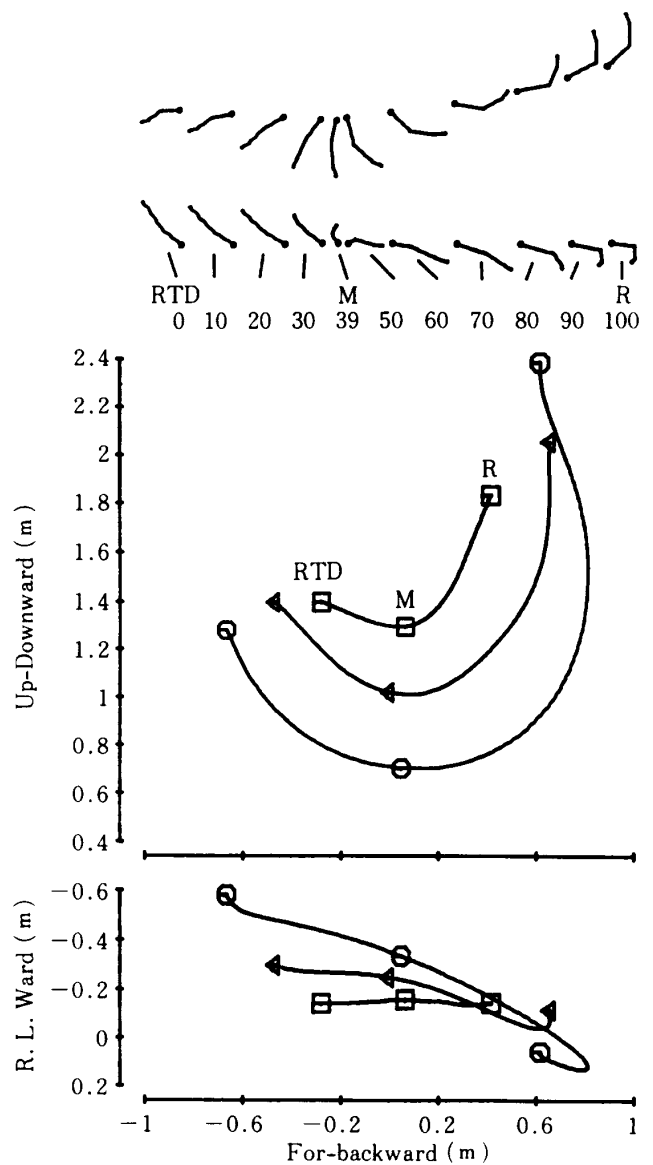


図5 踏切局面における左腕の動き(○の線は左手先, △は左肘, □は左肩の動きを示す)

先を肩の右側に位置させて前方に振り上げられている。ここで上腕角度変化をみると、R時直前(80%付近)から鉛直角度はあまり変化しないが、水平角度が徐々に大きくなっていったことから、右腕は上腕を水平に近くした状態で肘を後方に引きながら離地に至っていることがわかる。

3. 踏切局面における左腕の動き

図5は左腕各部位の位置変化を右腕の場合と同様にして示したものである。

上図についてみると、一見して左腕の動きは右腕のそれと類似した動きをしているように見える。すなわち左腕は、RTD時では肩の高さまで身

体後方に振り上げられた姿勢をとり、踏切前半では肘関節を伸展しながら前下方に振り下げられる。そして後半では、肘関節を屈曲しながら前上方へと振り上げられている。しかし、左腕の動きには右腕とは違う点もある。つまり右腕では離地直前から振り上げ動作が停滞する傾向にあったが、左腕では踏切後半の期間を通じて腕の振り上げが認められる。従って、離地時では左腕は右腕よりも高く振り上げられている。

下図についてみると、RTD時では、左腕は肩の左後方で肘関節を伸展した姿勢をとっている。右足接地後、左腕は肘及び手先が肩の位置に近づくように身体の右前方へと振られ、M時では左腕は肩のほぼ真下に振り下げられている。その後、左腕は前述した胴体の右回転に伴って、更に身体の右側方へと振られている。

橋本³⁾や阿江¹⁾が腕の振込動作として右腕の動きしか報告していない理由の一つは、左右の腕の動きに前述したような類似点があるからであろう。なお、本研究の右腕の動きは吊したボールを打撃させた橋本³⁾の結果とはほぼ一致し、打撃という課題がない阿江¹⁾の結果とは異なっていた。すなわち阿江¹⁾の研究では離地時における上腕と鉛直線とのなす角度は約122~126度であり、右腕は本研究や橋本³⁾のそれと比べて高く振り上げられていた。

4. 踏切局面における右脚の動き

図6は踏切局面における右脚各部位の位置変化を示したもので、図上端のスティックピクチャーにおける黒丸の部位は右腰である。

上図についてみると、RTD時では、右脚は膝関節をわずかに屈曲して前方に振り出し、足部を背屈させて踵から接地している。右足接地後、右脚は膝関節を屈曲しながら足部を中心にして前方回転するような動きをする。すなわち大腿は後傾状態を維持して前下方に移動し、下腿は足関節を中心にして前方回転する。そして足部は踵の接地直後(スティックピクチャーを参考にすれば20%付近)で足先を接地し、その後ほとんど動かさずM時に至る。後半開始直後(50-60%付近)、膝関節の伸展が開始されると、右脚は大腿及び下腿をそれ

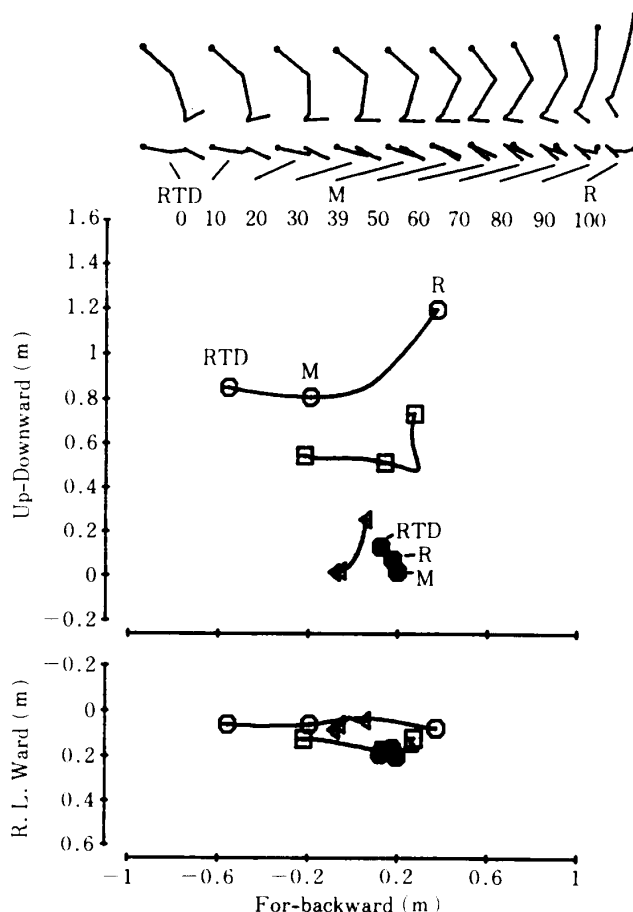


図6 踏切局面における右脚の動き(●の線は右足先, △は右踵, □は右膝, ○は右腰の動きを示す)

ぞれ膝及び足関節を中心にして前方回転させる。なお、下腿は踵が離地する付近(スティックピクチャーを参考にすれば80-90%付近)から前方回転を停止し、前傾状態で急激に上方移動しながら離地に至る。

下図についてみると、踵はほぼ重心位置に接地しているが、足先は踵よりも右側に位置し、足部が外転されていることがわかる。踏切中、腰及び膝がこの足部の真上を通るように前方移動し、右脚はやや左前方に傾斜した状態で離地に至っている。

5. 踏切局面における左脚の動き

図7は左脚各部位の位置変化を右脚の場合と同様にして示したものである。

上図についてみると、RTD時では大腿は身体前方に振り出されているが、下腿は膝関節を屈曲して足部を腰の後方に引いた姿勢をとっている。右足接地後、左脚は大腿及び下腿をそれぞれ腰及

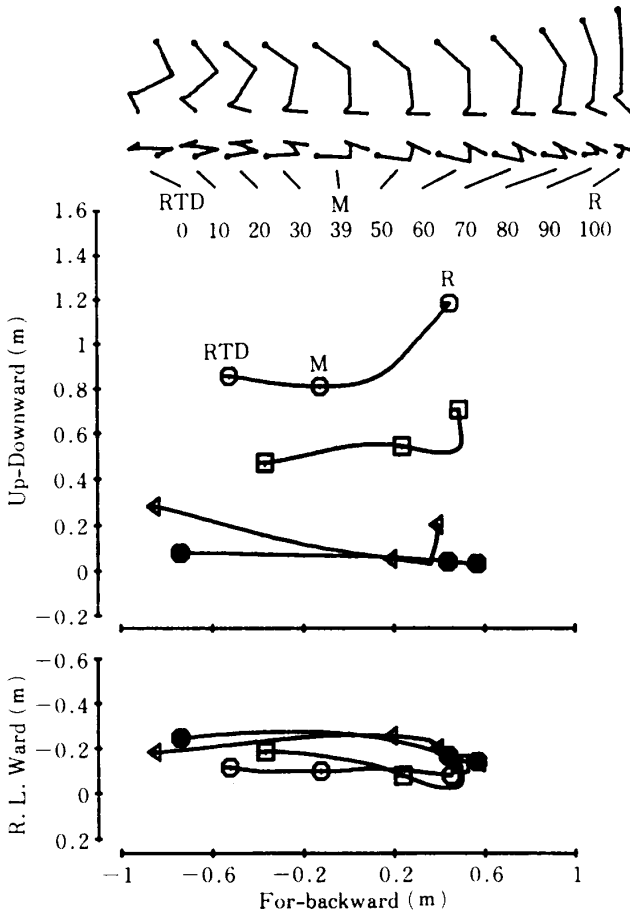


図7 踏切局面における左脚の動き(●の線は左足先, △は左踵, □は左膝, ○は左腰の動きを示す)

び膝関節を中心にして前方に振り出す。なお足部は足先の高さをほとんど変えず、踵を徐々に下げながら前方移動する。そして後半開始直後(スティックピクチャーを参考にすれば39-50%付近), 足先と踵が同時に膝の下方で接地する。その後、左脚は膝関節を屈曲しながら足関節を中心に前方回転し、後半中頃(70%付近)から膝関節を伸展しながら前方回転する。なお下腿は踵が離地する付近(スティックピクチャーを参考にすれば90%付近)から前方回転を停止し、鉛直に近く立った状態で急激に上方移動しながら離地に至る。

下図についてみると、踏切前半では左脚はやや外転された状態で足部が身体左側に半径の大きな円弧を描くように振り出されている。しかし後半にはいると、足部が内転された状態で接地し、膝及び腰が足部に近づくように移動する。そして左脚はほとんど鉛直に立った状態で離地に至る。

従って、踏切脚は前半は主として右脚のみを屈

曲することにより沈み込み、後半は両脚を伸展することにより伸び上がる動作をしていることになり、これは渡辺¹¹⁾のスパイクジャンプに関する観察と一致するものである。しかしながら本研究では、この伸び上がり動作について更に次の事が明らかにされている。すなわち、両脚ともまず膝関節の伸展に伴って大腿が上方移動し、次いで足関節の伸展に伴って下腿と足部が上方移動するが、膝関節の伸展も足関節の伸展も右脚の方が左脚よりもタイミング的に早く生じており、右脚の方が早く伸び上がり動作を行っている。

考 察

高い打点で強く打撃することは、バレーボールにおいて用いられるスパイク、すなわちクイックスパイク、オープンスパイク、時間差攻撃、移動攻撃などに共通に内在する運動過程であり、松田⁵⁾の「基本の運動の捉え方」に従えば、スパイクにおける基礎的技術の一つとみなすことができる。それ故、高い打点で強く打撃することは実践場面においてスパイク技術を身に付ける際、最も重要なポイントの一つ、すなわち一流二流を問わず如何なる競技者も最初に身に付けるべき技術であり、どのような環境変化も克服して(例えば、長時間に亘るゲームでスパイカーが疲労した時でも、あるいはトスがネットから離れてスパイクしづらい時でも)発揮できるよう訓練されるべき技術であるとして指摘されている。しかし、スパイクに関する従来の研究成果は跳躍高や打撃後のボール速度など運動成果に関するものが多く、これを生み出す原因となる運動技術そのものについては明確にされているとは言えない。

本研究はDLT法を実践場面に適用し、競技中のスパイク動作、しかも国際大会(ワールドカップはオリンピック、世界選手権と並ぶバレーボール世界三大会の一つ)における超一流の選手達によるスパイク動作を初めて定量分析した貴重な資料である。

各選手の動作は映画撮影法による身体各部位の位置変化及び各部分の角度変化などからとらえることができる。しかしながら、これらの資料は各

選手の身体的諸能力によって条件づけられた実施法としての資料であり, この段階ではまだ運動技術が明確にされているとは言えない。現在一流と呼ばれている各選手が, この運動技術を身に付け, ゲームという競技の場で確実に発揮していると仮定するならば, 運動技術は, 競技中に撮影, 次いで分析した各選手の動作から, その動作に共通に内在する運動過程を抽出することにより究明され得ると考えられる。

規格化・平均化の手法は複数の被験者における各種力学量の平均値を経時的に示すことができる。ここでもし, 運動技術あるいは運動技術の大部分が発揮されている複数の動作試技を規格化・平均化処理すれば, 結果として得られた平均値で示される運動過程は全被験者の動作に共通に内在する運動過程(運動技術)に一致あるいは近似するはずである。従って, 規格化・平均化の手法は運動技術を究明するための一つの優れた方法であると考えられる。

本研究における分析試技が目的とする運動技術を内在したスパイク動作であるか否かを確認する方法としては, 一つには跳躍高, 打点高, 打球速度などのスパイク運動成果を検討することが役立つ。一流選手による競技中のスパイク運動成果に関する研究には, これまで砂本ら^{8),9)}の日本対ソ連対抗及び日本対キューバ対抗男子バレーボール大会における研究報告があるのみである。跳躍高について本研究と比較してみると, 本研究における跳躍高は平均86.2cmであり, これは砂本ら^{8),9)}が報告している1セット当りの跳躍高平均値(87.9—66.4cm)の中で2番目に大きな値であることから, 本研究の被験者が大きな跳躍力を有していることがわかる。打点高についてみると, 本研究のインパクト時における手先の高さは, 砂本ら⁹⁾が報告している打点高平均値(3.23—3.11m)の中では4番目に大きく, 平均3.18mであるが, 跳躍高の場合と比べて順位が低くなっている。この原因としては, 一つには日・キ対抗における分析試技が跳躍高の場合と打点高の場合とで一致していないことが考えられる。最後に打球速度についてみると, 本研究におけるインパクト直後の

ボール速度は平均22.37m/sであり, 砂本ら^{8),9)}が報告しているボール速度平均値(25.6—19.3m/s)の中では3番目に大きな値となった。しかしながらこの打球速度の場合, 日・ソ対抗及び日・キ対抗の分析試技数(10—6試技)は本研究の試技数に比べてかなり少ないので, ボール速度が最も大きかったキューバ(25.6m/s)の分析試技数に合わせて, 本研究における上位6試技の平均値を求めてみると, ボール速度は26.5m/sとなり, このキューバチームの場合よりも大きな値を示した。

以上の結果から考えると, 本研究の被験者はこれまで報告されたフィールド実験的方法による一流選手の研究結果と比較して, 同等もしくはそれ以上の運動成果を発揮していたと言えよう。従って, 本研究において規格化・平均化処理された身体各部位の動きは, 分析したスパイク動作が国際的指導者の熟練した目で鑑識された優れた運動過程のスパイク動作であったこと, そして本研究の被験者が大きな跳躍力及び打撃力を発揮していたことから, 「高い打点で強く打撃するためのスパイク技術」をおおむね表していると考えられる。

なお, 本研究で用いた規格化・平均化の手法は, ①バレーボールばかりでなく他のスポーツ種目にも適用できること, ②技術究明の方法ばかりでなく他の解析用途にも利用できること, 例えば, 複数の試技をまとめて単一の動作試技として整理することができるので, 熟練者群対未熟練者群のようなグループ間どうしの各動作を比較・検討することが容易であり, 汎用性もあると考えられる。

要 約

本研究は一流バレーボール選手の国際大会におけるスパイク動作を3次元映画撮影法(DLT法)により分析した。そして, これら動作に関するデータを規格化・平均化処理することにより, 各選手のスパイク動作に共通に内在する運動過程(本研究の場合, 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術)を究明しようとした。

踏切局面における結果をまとめると, 踏切前半では, 右足から踏み込み, 脚は膝関節を屈曲しながら足部を中心にして前方回転されていた。胴体

は前半開始直後わずかに前屈されるが、以後腰関節を伸展させ上方に起こされるような動きをしていた。そして腕は肘関節を伸展させながら前下方へ振り下ろされ、前半終了時では肩の位置でほぼ真下に下げられていた。後半では、左足を接地した後、脚は右左の順で膝関節を伸展し、次いで離地直前から足関節を伸展していた。胴体は伸展しながら身体右側に回転され、やや後傾した状態で離地に至っていた。そして腕は肘関節を屈曲しながら前上方に振り上げられるが、右腕は左腕ほど振り上げられていなかった。

これら規格化・平均化処理したスパイク動作は、本研究の分析試技が国際的指導者の熟練した目で鑑識された優れた運動過程のスパイク動作であったこと、そして本研究の被験者が大きなスパイク運動成果（打点高が平均3.18mで打球速度が平均22.37m/s）を発揮していたことから「高い打点で強く打撃するためのスパイク技術」を表わしていると考えられた。

引用・参考文献

- 1) 阿江通良, 高くとぶための跳に関する運動生力学的研究—踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて—, 筑波大学体育科学研究科博士論文, 1982. pp. 168—70.
- 2) 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パイク技術について—, 筑波大学体育科学研究科博士論文, 1987. pp. 57—59.

- 3) 橋本 基「バレーボールのスパイクの分析的研究」岡山大学教育学部研究集録, 26: 95—107, 1968.
- 4) 金子明友, 「運動技術論」岸野雄三・松田岩男・宇土正彦(編), 序説運動学, 大修館書店, 1968. pp. 89—116.
- 5) 松田岩男「子供にとって「基本の運動」とは何か」体育の科学, 31—6: 392—95, 1981.
- 6) Samson, J. and Roy, B., "Biomechanical analysis of the volleyball spike," in Komi, P.V. (Ed.), Biomechanics V-B, University Park Press: Baltimore, 1976. pp. 332—36.
- 7) Shapiro, R., "Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography," Research Quarterly, 49—2: 197—205, 1978.
- 8) 砂本秀義「バレーボール日・ソ戦における競技技術の解析と比較—映像による動作学的解析—」日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 131—40, 1979.
- 9) 砂本秀義・土谷秀雄「日本・キューバ対抗バレーボールにおける競技技術の解析と比較—映像によるキネシオロジ的解析—」日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 271—84, 1980.
- 10) Walton, J.S., "Close-range cine-photogrammetry: Another approach to motion analysis," in Terauds, J. (Ed.), Science in biomechanics cinematography, Academic Publishers: Del Mar, 1979. pp. 69—97.
- 11) 渡辺太賀司「バレーボールにおける基礎技術の分析(助走を伴うスパイクの跳躍について)」福島大学教育学部論集, 28—3: 111—19, 1976.