

[原著]

3次元映画撮影法における同期調整に関する研究

A study on the time-matching in three dimensional cinematography

濱 景子\*

佐賀野 健\*\*

金 致偉\*\*\*

柳原 英兒\*

小村 堯\*\*\*

橋原 孝博\*\*\*

Keiko HAMA

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Takeshi SAGANO

(Kure National College of Technology)

Zhi-Wei JIN

(Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences)

Eiji YANAGIHARA

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Takashi KOMURA

(Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences)

Yoshihiro HASHIHARA

(Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences)

---

\*広島大学大学院教育学研究科

\*\*呉工業高等専門学校

\*\*\*広島大学総合科学部

## 和文要約

本研究の目的は、同期しているデータと同期上の誤差を含んだデータの解析結果を比較し、民生用ビデオの定量的動作解析への利用の可能性を検討することであった。

フレームカウンターを接続した 2 台のビデオカメラにより、バレーボールのスパイク動作を撮影した。2 台のカメラの 2 次元座標が同期している場合、No.1 カメラと No.2 カメラの 2 次元座標の時刻が  $1/120$  秒ずれている場合、No.1 カメラと No.2 カメラの 2 次元座標の時刻が  $1/60$  秒ずれている場合の 3 通りの同期誤差をもつ 2 次元座標を準備し、DLT 法により身体各部位及びボールの 3 次元座標を算出した。

スティックピクチャーによる視覚的比較、各種測定項目による数値的比較を通して、同期、同期誤差  $1/2$ field、同期誤差 1 field のデータ間に大差が見られなかったこと、そして大部分の測定項目の値は先行研究の値の範囲にあったことから、民生用ビデオによる 3 次元動作解析は可能であると考えられた。

## 緒言

16ミリ高速度カメラは鮮明な映像を得ることができる。しかし、フィルムを装填する必要があり特定期間における運動動作しか撮影できない。ビデオは連続撮影ができる。最近ではハイスピードビデオを用いるのが主流である。しかし、多量の光量を必要とすることや、コストが高いという問題がある。民生用ビデオは一般に広く普及し、スポーツ指導場面では最も利用頻度が高い。しかし、民生用ビデオには同期装置を装着できない。

現在最も信頼性の高い映画撮影法と評価されている Direct Linear Transformation Method<sup>13)</sup>は、従来測定することが困難とされた方向余弦などのカメラに関する定数<sup>9)</sup>を直接求める代わりに、あらかじめ実空間での座標が知られているいくつかの点(control points)を撮影し、この点の3次元座標とフィルム面上の2次元座標から、カメラに関する定数を回帰分析により求め、これまでの3次元映画撮影法における撮影及び分析上の問題点を解消している。

DLT法は回帰分析の方法を利用しているのだから、民生用ビデオのように同期していなくても、すなわち同期上の誤差を含んだデータでも3次元座標を算出することはできる。そこで、本研究では、同期しているデータと同期上の誤差を含んだデータの解析結果を比較し、民生用ビデオの定量的動作解析への利用の可能性を検討する。

## 研究方法

本研究は3次元DLT法の分析手順に従い、バレーボールのスパイク動作を撮影、解析した。

### 1. 撮影方法

大学男子バレーボール選手1名を被験者に用い、センターフォワードのネット直上3mに投げ上げたトスを、助走、踏切をしてスパイクさせた。

撮影には大阪商会社製VCS38Gビデオカメラ2台を使用した。カメラ1台はバレーボールコートサイドライン側方の2階観覧席に、もう1台はエンドライン後方の2階観覧席に設置した。FC60WNPフレームカウンター(同期装置)を2台のビデオカメラにケーブルで接続し、シャッタースピード1/250秒でスパイク動作の撮影を行った。

スパイク動作の撮影と同一の撮影条件で較正器の撮影を行った。較正器は自作の装置(高さ約3m)を使用し、合計24個の較正点をコントロールポイントに用いた。

### 2. 解析方法

撮影したスパイク動作のうちネットにかからずコート内に強打し、ボールと手が接触しているインパクトの画像がある動作を分析試技として3試技選択した。選択したスパイク動作の録画テープをビデオ分析装置<sup>11)</sup>にかけ、踏切1歩前助走開始から打撃を終了して着地するまで1fieldごとに身体各部位21点及びボールの2次元座標を検出した。

同期誤差の3次元データ算出結果への影響を見るために、3通りの同期誤差を持つ2次元座標を準備した。図1上図は、2台のカメラの2次元座標が同期している場合。本研究ではフレームカウンターを2台のカメラに接続していたから、2台のカメラは同一時刻にシャッターを切りながらスパイク動作の撮影

をしていた。図1中図は、No.1カメラの2次元座標の時刻とNo.2カメラの2次元座標の時刻が1/120秒ずれている(同期誤差1/2field)場合。No.2カメラの同期誤差1/2fieldの2次元座標は、ビデオ分析装置で検出した座標各2コマ間の中間値をとることにより算出した。図1下図は、同期誤差が1/60秒、すなわち1fieldの場合である。

このように同期調整した各カメラの2次元座標と既にコントロールポイントにより算出しているDLT係数から、最小二乗法を使用して正規方程式を求め、これを掃き出し法<sup>12)</sup>により解きスパイク動作中の身体各部位21点及びボールの3次元座標を算出した。

## 結果

同じ被験者のスパイク動作を分析していても、各分析試技とも移動方向や打撃を行った地点が違っており、測定項目によっては比較あるいは平均値を求められない場合がある。そこで本研究では、助走、踏切、打撃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(表1, 2, 3に示す助走方向, 踏切方向, 跳躍方向を参照)をもとに身体各部位およびボールの水平成分の座標値を座標変換し、すなわち身体重心の進行方向を前方向として、各分析試技の運動面を統一した。

### 1. スパイク動作のフォーム

図2は、試技1の同期、同期誤差1/2field、同期誤差1fieldの3次元データをもとに、スパイク動作のフォームを横から見たスティックピクチャーで示したものである。破線で示したスティックピクチャーの身体部分は左側の腕と脚である。スティックピクチャー下部の①～⑩の数值は、スパイク動作局面の名称を示した表下部の1～95のコマ番号の各時刻に一致している。

同期、同期誤差1/2field、同期誤差1fieldのスパイクとともに、助走局面では、右脚を振り出し左脚で地面を支持している片足接地期に続き、両脚とも離地する空中期がある。踏切局面では、前半は右脚だけで沈み込みをし、前半終了直後に左足を接地させて、後半は両脚を使って伸び上がりをしている。打撃局面では、下腿を背後に振り上げながらバックスイングをし、左腕そして下腿を振り下げながらフォアスイングを開始してインパクトに至るような同一の動作パターンを示す。しかし注意して見ると、例えば⑨インパクト時の右脚は、同期誤差が大きくなるにつれて前方に振り出され、同期誤差1fieldでは左脚とほぼ同じ位置にあるように、各スティックピクチャーとも若干の差違が認められる。

### 2. 助走局面における分析結果

助走局面の課題は、高い跳躍高を得るために踏切に移行する瞬間の助走速度を約4m/sにすること<sup>1)</sup>であり、そのためには踏切1歩前の歩幅を大きくすることが役立つ<sup>2)</sup>といわれている。

表1は本研究における助走局面の分析結果を示したものである。助走速度は、同期、同期誤差1/2field、同期誤差1fieldそれぞれ平均4.41, 4.43, 4.44m/sであった。同期誤差の大きいデータほど速度の値は大きくなり、試技別に見ると最も大きな差が認められたのは試技3の場合の0.06m/sであった。助走の歩幅は、同期、同期誤差1/2field、同期誤差1fieldそれぞれ平均1.70, 1.70, 1.71m/s

であり、各試技においても歩幅の値の差は1~3cm程であった。

助走速度は、これまで橋原と溝下<sup>5)</sup>が大学男子選手の平均3.72m/s、橋原ら<sup>2)</sup>が男子一流選手の2.613~4.394m/s、金ら<sup>11)</sup>がイタリアと日本代表選手のそれぞれ4.50, 5.04m/sを報告している。助走の歩幅については、橋原ら<sup>2)</sup>が男子一流選手の1.038~1.754mを報告している。これら先行研究とは被験者も技能レベルも違うので単純に比較はできないが、本研究の助走速度及び助走の歩幅は、これまでに報告されている値の範囲内にあることがわかる。

### 3. 踏切局面における分析結果

踏切局面は跳躍高を高くするための主要局面である。跳躍高の高さは、Hay<sup>8)</sup>によれば、離地時における身体重心の鉛直速度の大きさによって決定される。

表2は本研究における踏切局面の分析結果を示したものである。離地時重心鉛直速度は、同期、同期誤差1/2field, 同期誤差1fieldそれぞれ平均3.67, 3.69, 3.72m/sであり、同期誤差の大きいデータほど速度の値は大きくなった。しかし速度の値は大きくなって、跳躍高の値に変化は認められなかった。跳躍高は、同期、同期誤差1/2field, 同期誤差1fieldともに平均0.86mであった。

踏切時間は助走速度の変化に対してほぼ一定で変わらないから、離地時における身体重心の鉛直速度を大きくするには、踏切中の身体重心の鉛直変位を長くする以外にはなく、そのためには踏切脚の屈曲伸展を大きくすることが役立つ<sup>3)</sup>と言われている。

重心鉛直変位は、同期、同期誤差1/2field, 同期誤差1fieldそれぞれ平均0.46, 0.45, 0.44mであり、膝関節の最大屈曲角度は、同期、同期誤差1/2field, 同期誤差1fieldそれぞれ右膝が平均84, 83, 82度、左膝が平均120, 121, 121度であった。

これまでに、跳躍高は、橋原と溝下<sup>5)</sup>が大学男子選手の平均0.78m、橋原<sup>3)</sup>が男子一流選手の0.730~0.968m、金ら<sup>10)</sup>が男子一流選手のクイックスパイクの平均0.90m、平行トスのスパイクの平均0.99m、バックアタックの平均0.98mを報告している。離地時重心鉛直速度については、橋原<sup>3)</sup>が男子一流選手の3.213~4.048m/sを報告している。重心鉛直変位については、橋原<sup>3)</sup>が男子一流選手の0.304~0.552mを報告している。最大膝関節角度については、橋原<sup>3)</sup>が男子一流選手の右膝85~122度、左膝103~141度を報告している。本研究の踏切局面における分析結果は、平均値で見れば、これまでに報告されている値の範囲内にある。しかし右膝関節角度については、試技2と試技3が報告されている値よりもわずかに小さくなった。

### 4. 打撃局面における分析結果

打撃局面の課題の一つは打点高を高くすることである。表3は本研究における打撃局面の分析結果を示したものである。打点高は、同期、同期誤差1/2field, 同期誤差1fieldそれぞれ、手先の高さから見ると平均2.95, 2.96, 2.96m、ボール中心の高さから見ると平均2.86, 2.88, 2.89mであった。同期の誤差による打点高の値の差は、最大4cmであった。

最大重心高(跳躍高)の大きさは、助走・踏切局面において既に決定されているので、打撃局面において打点高を高くするには、打点高と最大重心高の差を大きくすること、そのためにはインパクト時における身体各部分の配列とタイ

ミングが重要である<sup>4)</sup>といわれている。

打点高と最大重心高の差は、同期、同期誤差 1/2field, 同期誤差 1field それぞれ平均 0.95, 0.94, 0.93m であった。インパクト時の頭部中心を原点としたボール中心の相対位置、すなわち打撃位置は、同期、同期誤差 1/2field, 同期誤差 1field それぞれ、左右方向が平均 0.09, 0.03, 0.01m, 前後方向が平均 0.38, 0.37, 0.36m, 上下方向が平均 0.47, 0.49, 0.50m であり、頭部の前上方でボールを捕らえていたことがわかる。

これまで、打点高については、橋原と溝下<sup>5)</sup>が大学男子選手の手先の高さは平均 2.86m, 橋原<sup>4)</sup>が男子一流選手の手先の高さは 2.932~3.329m, 金ら<sup>11)</sup>がイタリア男子選手のボール中心の高さはトス 66 回の平均 3.23m, 日本男子選手のボール中心の高さはトス 72 回の平均 3.10m であると報告している。打点高と最大重心高の差については、橋原<sup>4)</sup>が男子一流選手の 0.906~1.275m を報告している。打撃位置については、橋原<sup>4)</sup>が男子一流選手の左右方向平均 0.270m, 前後方向平均 0.225m, 上下方向平均 0.536m を報告している。男子一流選手の打撃位置が右肩の前上方にあり、本研究の被験者のインパクト姿勢とは若干異なっていたことを除けば、他の打点高に関する測定項目の値はこれまでに報告されている値の範囲内にある。

スパイクにおいては、高い打点で打撃するだけでなく、強く打撃することも重要である。インパクト直後の打球速度は、同期、同期誤差 1/2field, 同期誤差 1field それぞれ平均 28.07, 28.21, 28.39m/s であった。同期の誤差による打球速度の差は、助走速度のように遅い速度の場合よりも大きく、最大 0.35m/s あった。

打球速度は、体が空中移動することによって生じた速度と体の回転動作によって生じた速度に分けて考えることができる<sup>4)</sup>。

ブロードジャンプの距離は、同期、同期誤差 1/2field, 同期誤差 1field それぞれ平均 1.40, 1.41, 1.42m であったが、試技 1 は試技 2 および 3 に比べて約 2 倍の移動距離があった。フォアスイング中の右腕の最大速度は、同期、同期誤差 1/2field, 同期誤差 1field それぞれ、肩が平均 5.29, 5.37, 5.44m/s, 肘が平均 10.13, 10.33, 10.59m/s, 手先が平均 16.64, 16.99, 17.52m/s であった。

打球速度は、これまで橋原と溝下<sup>5)</sup>が大学男子選手の平均 22.74m/s, 橋原<sup>6)</sup>が日本代表選手の 27.28~30.78m/s, 金ら<sup>11)</sup>がイタリアと日本代表選手のそれぞれ 24.27, 27.28m/s を報告している。ブロードジャンプの距離については、橋原ら<sup>6)</sup>が日本代表選手のバックアタックの平均 2.19m, 金ら<sup>10)</sup>が男子一流選手のクイックスパイクの平均 0.96m, 平行トスのスパイクの平均 1.20m, バックアタックの平均 1.93m を報告している。腕のスイング速度については、橋原<sup>3)</sup>が男子一流選手の肩の最大速度平均 4.664m/s, 肘の最大速度平均 9.054m/s, 手先の最大速度平均 17.646m/s を報告している。これらの研究報告を見る限り、本研究の被験者は、打撃の強さに関しては、一流選手に近い運動成果を発揮していたように見える。

## 考 察

本研究では 2 台のカメラに同期装置を装着したが、同期装置が装着できない民生用ビデオを使用して 3 次元動作解析を行おうとする時は、インパクトのよ

うな瞬時に終了する動作の画像を、ビデオ再生しながら探して、同期コマとして使用する。そうすれば同期の誤差は、フィールド再生用ビデオ編集機を用いた場合最大 1/120 秒、フレーム再生用ビデオ編集機を用いた場合最大 1/60 秒であると考えられるから、算出データは、本研究の同期誤差 1/2field あるいは同期誤差 1field と同様、あるいは場合によっては同期に近い値が求められる。

3次元座標算出における同期誤差の影響を動作解析の各種測定項目の比較を通して検討するために、本研究では、これまでにバレーボールのスパイク動作解析において報告されてきた、そしてスパイクの運動成果を決定する要因を測定している項目を選択し、使用した。また、データ処理の統一を図るために、DLT法を使用して分析された研究報告を文献にした。

スティックピクチャーによる視覚的比較、各種測定項目による数値的比較を通して、同期、同期誤差 1/2field、同期誤差 1field のデータ間に大差が見られなかったこと、大部分の測定項目の値は先行研究の値の範囲内にあったことから、先行研究程度の精度を要求する動作解析を行うのであれば、同期誤差が最大 1field のデータを使用している場合でも、結果にはさほど支障はきたさないと考えられる。

最近では、映画撮影法の開発や分析装置の発達により、遠方の観覧席から斜めに撮影した映像からでも精度の高い 3次元座標が算出できるようになった。そしてこれをもとに、コンピューターを駆使して、動きに関するさまざまな力学情報が提供されるようになった。科学情報の利用について、橋原<sup>7)</sup>は「バイオメカニクスがスキル指導に役立つかと問われれば、これ程の科学情報が手軽に提供できるようになったのだから、当然、役立つと答えたい。しかしながら多くの学術雑誌を見るにつけ、なるほど詳細に精密に分析していても、何か現場と方向が違うピントはずれの研究報告が多いと感じるのは独断的な偏見であろうか」「練習あるいは指導は選手とコーチの試行錯誤の繰り返しにより行われている。これに実践的な科学データが加われば、スキル上達の近道になることは間違いない」「研究と現場の指導を両立させることは厳しいことであるが、アメリカ男子バレーボールチームのコーチングスタッフのような前例もあり、これを両立させて現場の要求に沿った研究をし、研究成果を現場に還元することは不可能なことではない。両立は現場の問題点と研究の課題を一致させる最適な方法であろう」と述べ、実践研究の必要性を指摘している。

以上見てきたように、本研究結果から判断すると、民生用ビデオによる 3次元動作解析は可能であり、この方法を利用すれば、特定の研究者に限らず幅広く現場の声を収集することができて、実践研究の活性化に役立つと考えられる。

## まとめ

本研究の目的は、2台のカメラの 2次元座標が同期している場合、同期の誤差が 1/120 秒(1/2field)および 1/60 秒(1field)の場合の 3通りのデータをもとに算出した 3次元解析結果を比較することにより、民生用ビデオの定量的動作解析への利用の可能性を検討することであった。

バレーボールのスパイク動作を同期装置を装着した 2台のビデオカメラによりシャッタースピード 1/250 秒で撮影した。打球がネットにかからず巧く打撃した、しかもインパクトの瞬間の映像が写っているスパイク動作を分析試技として 3試技選択し、踏切 1歩前の助走開始から打撃を終了して着地するまで

1field ごとにビデオ分析装置で座標検出した。同期誤差 1/2field の 2 次元座標は、検出した座標各 2 コマ間の中間値をとることにより求めた。このように同期調整した 2 台のカメラの 2 次元座標を使用して、DLT 法により身体各部位 21 点及びボールの 3 次元座標を算出した。そしてこれをもとに各種測定項目を助走、踏切、打撃の局面別に求めた。

スティックピクチャーによる視覚的比較、各種測定項目による数値的比較を通して、同期、同期誤差 1/2field、同期誤差 1field のデータ間に大差が見られなかったこと、大部分の測定項目の値は先行研究の値の範囲内であったことから、民生用ビデオによる 3 次元動作解析は可能であり、これまでに報告されているバレーボールの先行研究程度の精度の動作解析を行うのであれば、同期誤差が最大 1field のデータを使用している場合でも、結果にそれ程支障はきたさないと考えられた。

表1 助走局面における分析結果

| 試技名              | 助走方向<br>(度) | 助走の歩幅<br>(m) | 助走速度<br>(m/sec) |
|------------------|-------------|--------------|-----------------|
| 同期               |             |              |                 |
| 試技1              | 58.1        | 1.69         | 4.38            |
| 試技2              | 52.7        | 1.73         | 4.64            |
| 試技3              | 57.5        | 1.68         | 4.21            |
| 平均               | 56.1        | 1.70         | 4.41            |
| 同期誤差<br>1/2field |             |              |                 |
| 試技1              | 58.5        | 1.68         | 4.39            |
| 試技2              | 53.1        | 1.74         | 4.65            |
| 試技3              | 57.9        | 1.69         | 4.24            |
| 平均               | 56.5        | 1.70         | 4.43            |
| 同期誤差<br>1field   |             |              |                 |
| 試技1              | 58.8        | 1.68         | 4.40            |
| 試技2              | 53.5        | 1.74         | 4.66            |
| 試技3              | 58.3        | 1.71         | 4.27            |
| 平均               | 56.9        | 1.71         | 4.44            |

助走方向：助走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

助走の歩幅：助走開始時における支持脚の足先から、踏み出し脚接地時の踵までの水平距離

助走速度：踏切に移行した瞬間の身体重心の水平速度

表2 踏切局面における分析結果

| 試技名              | 踏切方向<br>(度) | 跳躍高<br>(m) | 踏切時間(sec) |       |       | 離地時重心<br>鉛直速度<br>(m/sec) | 重心鉛<br>直変位<br>(m) | 最大屈曲時<br>膝角度(度) |     |
|------------------|-------------|------------|-----------|-------|-------|--------------------------|-------------------|-----------------|-----|
|                  |             |            | 前半        | 後半    | 全体    |                          |                   | 右               | 左   |
| 同期               |             |            |           |       |       |                          |                   |                 |     |
| 試技1              | 44.6        | 0.86       | 0.117     | 0.217 | 0.334 | 3.70                     | 0.45              | 95              | 128 |
| 試技2              | 46.7        | 0.88       | 0.150     | 0.217 | 0.367 | 3.63                     | 0.47              | 77              | 116 |
| 試技3              | 48.3        | 0.85       | 0.117     | 0.217 | 0.334 | 3.67                     | 0.46              | 80              | 117 |
| 平均               | 46.5        | 0.86       | 0.128     | 0.217 | 0.345 | 3.67                     | 0.46              | 84              | 120 |
| 同期誤差<br>1/2field |             |            |           |       |       |                          |                   |                 |     |
| 試技1              | 44.2        | 0.85       | 0.117     | 0.217 | 0.334 | 3.74                     | 0.44              | 94              | 128 |
| 試技2              | 45.7        | 0.88       | 0.150     | 0.217 | 0.367 | 3.65                     | 0.46              | 76              | 117 |
| 試技3              | 47.3        | 0.84       | 0.117     | 0.217 | 0.334 | 3.69                     | 0.45              | 79              | 118 |
| 平均               | 45.7        | 0.86       | 0.128     | 0.217 | 0.345 | 3.69                     | 0.45              | 83              | 121 |
| 同期誤差<br>1field   |             |            |           |       |       |                          |                   |                 |     |
| 試技1              | 43.7        | 0.85       | 0.134     | 0.200 | 0.334 | 3.77                     | 0.43              | 92              | 128 |
| 試技2              | 44.7        | 0.88       | 0.150     | 0.217 | 0.367 | 3.67                     | 0.45              | 75              | 117 |
| 試技3              | 46.3        | 0.84       | 0.117     | 0.217 | 0.334 | 3.72                     | 0.44              | 79              | 118 |
| 平均               | 44.9        | 0.86       | 0.134     | 0.211 | 0.345 | 3.72                     | 0.44              | 82              | 121 |

踏切方向：踏切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

跳躍高：打撃局面における最大重心高と立位時重心高（身長×0.5856）との差

踏切時間前半：踏切局面において身体重心の鉛直速度が下向きにある時間

後半：踏切局面において身体重心の鉛直速度が上向きにある時間

離地時重心鉛直速度：踏切離地時における身体重心の鉛直速度

重心鉛直変位：離地時重心高から踏切局面における重心高最小値を差し引いた値

最大屈曲時膝角度：膝関節中心から足関節中心へ向かうベクトルが膝関節中心から腰関節中心へ向かうベクトルとなす角度の最小値

表3 打撃局面における分析結果

| 試技名      | 跳躍<br>方向<br>(度) | 打点高  |      | 打点高と最<br>大重心高と<br>の差(m) | 打撃位置<br>(m) |      |      | 打球<br>速度<br>(m/sec) | 腕のスイング速度<br>(m/sec) |       |      | ブロードジャ<br>ンプの距離<br>(m) |  |
|----------|-----------------|------|------|-------------------------|-------------|------|------|---------------------|---------------------|-------|------|------------------------|--|
|          |                 | 手先   | ボール  |                         | 左右          | 前後   | 上下   |                     | 手先                  | 肘     | 肩    |                        |  |
| 同期       |                 |      |      |                         |             |      |      |                     |                     |       |      |                        |  |
| 試技1      | 35.4            | 2.92 | 2.86 | 0.93                    | 0.13        | 0.30 | 0.47 | 28.61               | 17.10               | 10.68 | 6.38 | 1.98                   |  |
| 試技2      | 40.3            | 2.92 | 2.82 | 0.90                    | 0.07        | 0.49 | 0.39 | 29.32               | 16.61               | 10.28 | 4.94 | 1.10                   |  |
| 試技3      | 39.7            | 3.01 | 2.89 | 1.03                    | 0.08        | 0.35 | 0.55 | 26.27               | 16.20               | 9.43  | 4.56 | 1.12                   |  |
| 平均       | 38.5            | 2.95 | 2.86 | 0.95                    | 0.09        | 0.38 | 0.47 | 28.07               | 16.64               | 10.13 | 5.29 | 1.40                   |  |
| 同期誤差     |                 |      |      |                         |             |      |      |                     |                     |       |      |                        |  |
| 1/2field |                 |      |      |                         |             |      |      |                     |                     |       |      |                        |  |
| 試技1      | 35.5            | 2.92 | 2.88 | 0.91                    | 0.13        | 0.30 | 0.49 | 28.77               | 17.53               | 10.95 | 6.44 | 1.99                   |  |
| 試技2      | 40.4            | 2.94 | 2.84 | 0.90                    | 0.03        | 0.47 | 0.41 | 29.45               | 16.79               | 10.41 | 5.03 | 1.11                   |  |
| 試技3      | 39.9            | 3.02 | 2.91 | 1.01                    | -0.08       | 0.35 | 0.57 | 26.41               | 16.64               | 9.64  | 4.63 | 1.13                   |  |
| 平均       | 38.6            | 2.96 | 2.88 | 0.94                    | 0.03        | 0.37 | 0.49 | 28.21               | 16.99               | 10.33 | 5.37 | 1.41                   |  |
| 同期誤差     |                 |      |      |                         |             |      |      |                     |                     |       |      |                        |  |
| 1field   |                 |      |      |                         |             |      |      |                     |                     |       |      |                        |  |
| 試技1      | 35.5            | 2.92 | 2.90 | 0.89                    | 0.13        | 0.30 | 0.50 | 28.94               | 17.98               | 11.27 | 6.50 | 2.00                   |  |
| 試技2      | 40.6            | 2.95 | 2.85 | 0.90                    | -0.01       | 0.44 | 0.42 | 29.67               | 17.45               | 10.66 | 5.12 | 1.12                   |  |
| 試技3      | 40.1            | 3.02 | 2.93 | 1.00                    | -0.08       | 0.35 | 0.59 | 26.56               | 17.14               | 9.85  | 4.70 | 1.13                   |  |
| 平均       | 38.7            | 2.96 | 2.89 | 0.93                    | 0.01        | 0.36 | 0.50 | 28.39               | 17.52               | 10.59 | 5.44 | 1.42                   |  |

跳躍方向：跳躍開始地点から着地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

打点高 手先：インパクト時における床面と手先との鉛直距離

ボール：インパクト時における床面とボール中心との鉛直距離

打点高と最大重心高との差：インパクト時における床面から手先までの高さで最大重心高との差

打撃位置：インパクト時の頭部中心を原点としたボール中心の相対位置 上下方向は鉛直方向、前後方向は空中で身体が前方に流れている方向（跳躍方向）、左右方向はこれに直角をなす方向

打球速度：インパクト直後のボールの合成速度

腕のスイング速度：フォアスイング中の打撃側の肩、肘、手先の最大速度

ブロードジャンプの距離：踏切離地地点から着地地点までの身体重心の水平距離

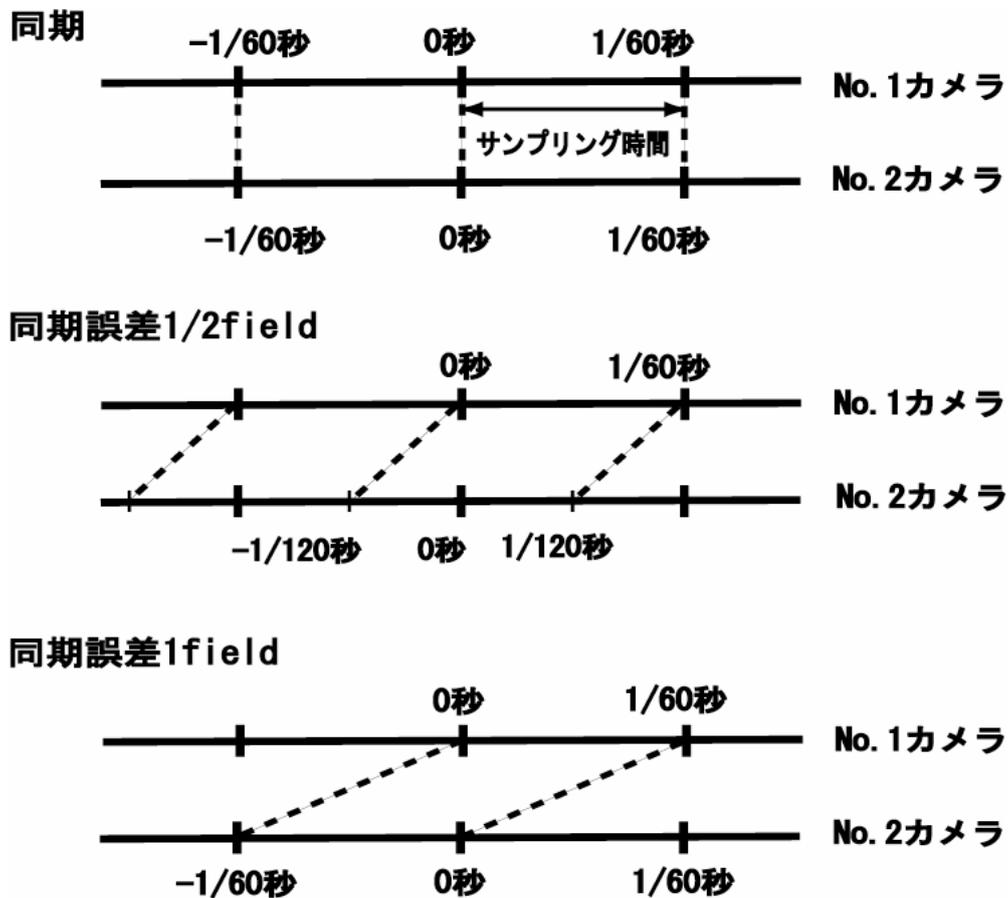
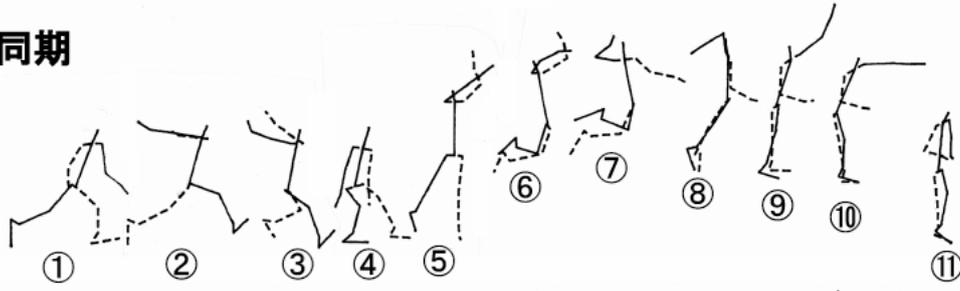


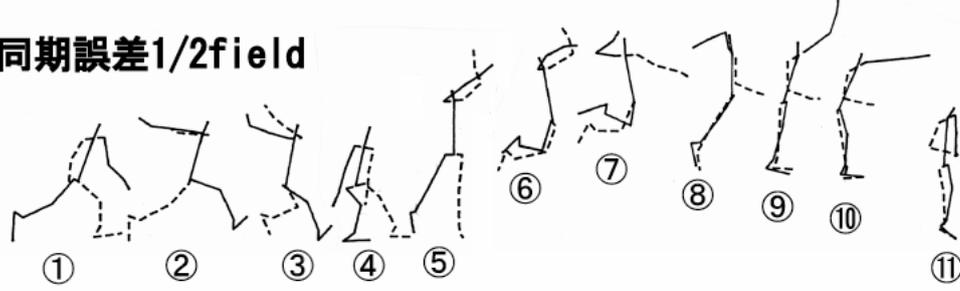
図1 3次元座標を算出するための各カメラの2次元座標の準備

上図は、No.1カメラを基準にして、No.2カメラの時刻が一致する場合(同期)、中図は、No.2カメラの時刻が1/120秒ずれる場合(同期誤差1/2field)、下図はNo.2カメラの時刻が1/60秒ずれる場合(同期誤差1field)の同期調整。サンプルング間隔は1/60秒。

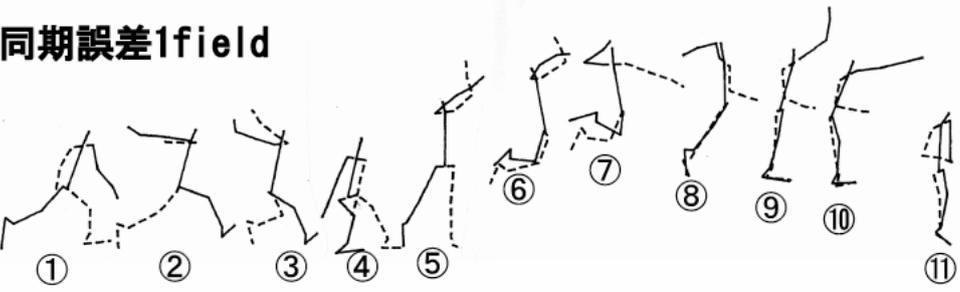
同期



同期誤差1/2field



同期誤差1field



| 助走局面  |      | 踏切局面 |      | 打撃局面    |         |         |         |       |    |    |
|-------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|-------|----|----|
| 片足接地期 | 空中期  | 前半   | 後半   | バックスイング | フォアスイング | フォアスイング | フォロースルー |       |    |    |
| 1     | 20   | 28   | 36   | 48      | 55      | 62      | 69      | 77    | 81 | 95 |
| ①     | ②    | ③    | ④    | ⑤       | ⑥       | ⑦       | ⑧       | ⑨     | ⑩  | ⑪  |
| 右足離地  | 左足離地 | 右足接地 | 左足接地 | 左足離地    |         |         |         | インパクト |    | 着地 |

図2 スティックピクチャーによるスパイク動作の比較

スティックピクチャーの破線で示す身体部分は左側の腕と脚である。①～⑪の数値は1～95のコマ番号の時刻と一致している。

## 参考文献

- 1) 橋原孝博, 渋川侃二, 阿江通良, 石島繁(1983)バレーボールのオープンスパイクジャンプに関するバイオメカニクス的研究, 身体運動の科学-V-スポーツ・バイオメカニクスへの挑戦, 杏林書院, pp.175-181.
- 2) 橋原孝博, 小村堯, 宮原満男(1987)バレーボールのスパイク技術に関する運動学的研究-大きな跳躍高を得るための踏切準備動作として役立つ動き-, 広島大学総合科学部紀要VI保健体育学研究, 5:39-52.
- 3) 橋原孝博(1987)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-, 筑波大学大学院体育科学研究科博士論文:1-343.
- 4) 橋原孝博(1988)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, 14:11-22.
- 5) 橋原孝博, 溝下洋子(1990)バレーボールのスパイクにおける打ち分け技術に関する研究, 広島体育学研究, 16:53-61.
- 6) 橋原孝博, 佐賀野健, 西村清巳(1995)バレーボールのスパイクにおける跳躍距離に関する研究-中垣内祐一選手のスパイクの場合-, 広島体育学研究, 21:67-74.
- 7) 橋原孝博(2000)バレーボールのスキル指導へのバイオメカニクスの応用, バイオメカニクス研究, 4(3):197-205.
- 8) Hay J.G., B.D.Wilson, and J.Dapena(1976)Identification of the limiting factors in the performance of a basic human movement, P.V.Komi(edt.), Biomechanics V-B, University Park Press, pp.13-19.
- 9) 池上康男(1983)写真撮影による運動の3次元解析法, Japanese journal of sports sciences, 2(3):163-170.
- 10) 金致偉, 佐賀野健, 橋原孝博, 西村清巳(1997)3次元映画撮影法におけるバレーボール・スパイクの戦術的研究, スポーツ方法学研究, 10(1):109-116.
- 11) 金致偉, 佐賀野健, 橋原孝博, 西村清巳(1998)世界トップ男子バレーボールチームのコンビネーション攻撃-1995年ワールドカップイタリア対日本戦の映像分析-, スポーツ方法学研究, 11(1):25-35.
- 12) 小林龍一(1979)相関・回帰分析法入門, 日科技連出版社, pp.35-44.
- 13) Walton J.S.(1979)Close-range cine-photogrammetry:another approach to motion analysis, Terauds J.(edt.), Science in biomechanics cinematography, Academic Publishers, pp.69-97.

## **Abstract**

The purpose of this study was to compare the analysis results of Time-Matching with Time-Error data and to find the possible utilization for quantitative motion analysis by home videos.

It took spiking motions of volleyball by two video cameras with frame counter. After prepared three cases of two-dimensional coordinates that the time of two cameras are matching, different of  $1/120$  and  $1/60$  seconds, three-dimensional coordinates of the segment endpoints and a ball were calculated by Direct Linear Transformation Method.

There were no great difference in Time-Matching,  $1/2$  and 1field data through the visual comparison by stick-pictures and the numerically comparison by various kinds of items of measurement. Consequently, the results suggest that it is possible to do three dimensional motion analysis by home videos.