

# 第9回世界水泳選手権(福岡/2001)シンクロルーティン分析

## Routine Analysis of Synchronised Swimming at The 9th FINA World Championship in FUKUOKA

本間 正信(HOMMA Masanobu)	神戸商船大学商船学部
高松 潤二(TAKAMATSU Junji)	国立スポーツ科学センター
窪 康之(KUBO Yasuyuki)	国立スポーツ科学センター
伊藤 浩志(ITO Koji)	国立スポーツ科学センター
本間三和子(HOMMA Miwako)	筑波大学体育科学系
上田千穂子(UEDA Chihoko)	東京医科大学大学院
市川 浩(ICHIKAWA Hiroshi)	筑波大学大学院
三輪 飛寛(MIWA Takahiro)	筑波大学大学院
清水 潤(SHIMIZU Jun)	筑波大学大学院
伊藤 道代(ITO Michiyo)	筑波大学大学院
田原 亮二(TAHARA Ryouji)	千葉大学大学院
山崎小百合(YAMAZAKI Sayuri)	千葉大学大学院
小島 勝徳(KOJIMA Katsunori)	新潟大学教育学部

### 【要旨】

Recently, scientific support is done in many sports events. However, there are few such supports in synchronised swimming event, so The Scientific Committee of Japan Swimming Federation carried out a routine analysis project at the 9th FINA World Championships 2001. The purpose of this project was to videotape routine performances and analyze the images qualitatively and quantitatively from biomechanical aspect.

Routine performances were videotaped. Two cameras were set on the catwalk, one camera was set on the pool deck and two cameras were set in the water. The items of data analysis were pool coverage which was described as the pathway the swimmer took through the water, the horizontal traveling speed, total distance traveled, the height above the water surface and three dimensional motion analysis of the underwater movements. These data were analyzed for all routines in the Solo, Duet and Team Technical Routines.

In a comparison of the top 12 routines and others in each item, there was a significant difference between the top 12 routines and others in peak height. From these results, it was clear that height is an important factor for the performances.

◆キーワード：シンクロナイズドスイミング、ルーティン分析、画像分析

### 1. はじめに

シンクロ科学サポートとして従来から、日本水泳連盟シンクロ委員会科学技術部を中心に、体力測定、食事調査、得点分析、立泳ぎの技術分析などが行われてきた<sup>1,2,4,6</sup>。競技会においても地上、水中からのVTR撮影による視覚的分析を行ったこともあるが、競技中の画像分析については、さらに詳しい分析が要求されていた。2001年に福岡で世界選手権が開催されることから、そこでの分析を

目標に、シンクロ委員会科学技術部では、国立スポーツ科学センターと共同で2000年の日本選手権からシンクロ競技をバイオメカニクス的に分析するプロジェクトをスタートさせた。

スポーツにおいて競技中の選手の移動の様子から、移動距離、速度などを求め、競技特性を探ることは、ボールゲームなどでよく行われてきている。しかし、シンクロではそのような研究が行われたことがなく、シンクロ

の競技特性を実際の競技の分析から定量的に示した報告はほとんど見られない。また、シンクロは主に水上動作が競われているが、その動作を支えている水中動作の分析についても実験的な巻き足動作の分析<sup>4)</sup>などはあるが、それ以外の動作や競技中の水中動作についての分析はまだ行われていない。

そこで本研究では、福岡で行われたシンクロ世界選手権において、画像分析を行い、シンクロ競技の特性を定量的にとらえること、水中映像による水中動作の分析を行うことを目的とした。さらに、日本人選手の競技力向上につながるデータの提示を目指した。

## 2. 分析項目

### 2-1. プール上での演技の軌跡

選手がプール内をどのように動いているのかを定量化した。そこから選手の総移動距離、移動範囲、移動速度変化を求めた。

### 2-2. 演技中の選手の高さ

シンクロでは、演技中に身体がどれだけ高く水面上に出ているかが採点のポイントの1つである。これは、ジャンプやブーストなどの水中から飛び上がる動作はもちろんであるが、持続動作中の身体の高さも関係している。そこで演技中すべてに渡っての高さ変化を求めた。

### 2-3. 水中動作

シンクロには演技を構成する基本的な技術がある。その動作は水上からは詳細にはわからない。またシンクロの動作は3次元空間で行われているものがほとんどであることから、水中での下肢や上肢の動きの3次元分析を行った。

## 3. 分析対象

軌跡と高さの分析については、ソロ、デュエット、チームのテクニカルルーティン（以後TRとする）の全演技とし、3次元分析についてはソロ競技上位入賞者のTRのうち、ボーディプース動作について行った。

## 4. 撮影方法

プールに配置したビデオカメラ（30fps）の位置は図1に示す通りである。カメラ1、2（Victor：TK-S542）は演技の軌跡を求めるためのもので、競技エリア（30×25m）を約半分づつ撮影できるように、会場のキャットウォークに設置した。カメラ3（Canon：VC-C4）は

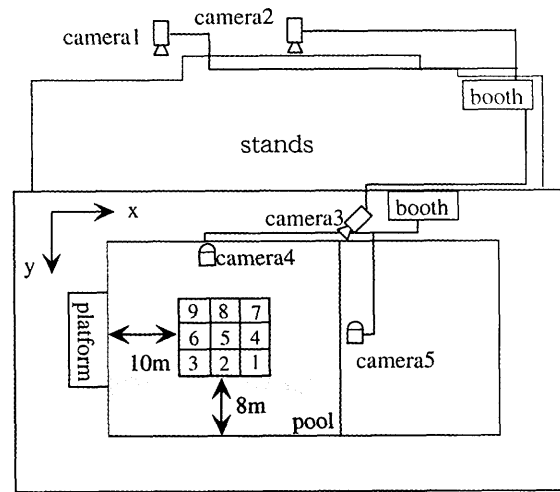


図1 カメラの配置と水中カメラの撮影エリア

RS-232Cによりカメラの向きを遠隔制御できる機能を持っており、選手の水面からの高さ算出のためのものでプールサイドに設置した。カメラ4、5（YAMAHA：水中モニターシステム）は水中動作3次元分析用にプール底にそれぞれ設置した。

カメラ1、2は定点撮影とし、カメラ3は左右方向にのみレンズを動かし競技者を画面の中央でとらえるように撮影した。カメラ4、5は水中カメラで、これは、レンズの向いている方向を9種類記憶でき、ボタンを押すことにより瞬時にその設定された方向にレンズを向ける機能を持ったカメラである。この機能を使い、図1に示すように、競技プールの中の9m×9mの範囲を9分割し、その各エリアを撮影するカメラの向きを記憶させ、競技者の移動に合わせ、最も適したカメラ方向の設定で撮影を行った。

カメラからの映像は、カメラ1、2、3間とカメラ4、5間でそれぞれ同期し、デジタルビデオに録画した。

## 5. キャリブレーション

カメラ1、2から2次元座標を得るためのカメラパラメータの算出は、2次元DLT法を用いた。較正は、ワイヤーにマーカーをつけ、それをプールに浮かせたものを撮影して行った。それぞれ45ヶの較正点の復元座標と実座標の平均誤差は、カメラ1でx方向1.1cm、y方向2.0cm、カメラ2でそれぞれ1.5cm、3.5cmであった。

競技者の高さ測定のためのカメラ3の較正については、プールサイド10ヶ所に較正棒を立てて行い、カメラ3からの距離と高さにより較正係数を求めた。同じように較

正点の復元座標と実座標の平均相対誤差は1.6cmであった。

水中動作の身体各部の、3次元座標の算出は3次元DLT法を用いた。較正は、ワイヤーでプールに1.5×1.5mの枠を浮かべ、その四隅に吊した2.0mの棒を撮影することにより行った。9つのエリアの較正点の平均数は47.1±7.0個、復元座標との平均相対誤差はx、y、z方向それぞれ1.03±1.68、2.83±5.88、0.56±0.68cmであった。

## 6. 分析方法

デジタル化はデジタルビデオの映像をコンピュータに取り込み、宮地作成のMovieDigitizerを使い<sup>3)</sup>、Mathematica上で行った。

### 6-1. 選手の軌跡

カメラ1、2の映像から選手の位置を15フレーム毎(2 Hz)に、水上、水中演技ともデジタル化した。図2に示すように、その結果を軌跡図としてあらわした。デュエット競技は2人の位置を、チーム競技の場合は、8人の位置をデジタル化し、その8つのデータの中心を代表値として位置変化をあらわした。さらに、その位置データを差分微分することにより速度変化を求めた。

また、この位置変化の軌跡に外接するような長方形(図2の点線)を考え、その大きさのプール(30m×25m)

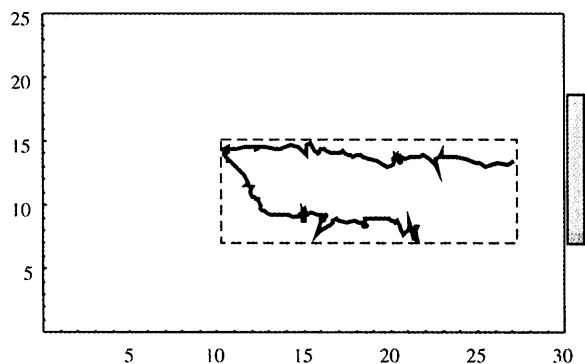


図2 軌跡図の例とプール利用率

に占める割合をプール利用率として求めた。

### 6-2. 高さ

選手の水面上の高さについては、カメラ3の映像により、水面レベルと身体の中で最も高い部位の2点をデジタル化し、1で求めた選手の位置データを使い、カメラ3から選手までの距離求め、画面上の高さとカメラからの距離により求めた。チームではそのフレームで最も高い位置にいる選手の身体部位をデジタル化した。なお、デジタル化は5フレーム毎(6 Hz)に行い、この結果から最高到達高と平均高さを求めた。シンクロでは、水中に潜っている時間や、水面付近で伏臥、横臥姿勢で演技している時間があるため、平均高さについては、0.2m以上の高さがある場合のみを計算対象とした。

### 6-3. 3次元分析

本研究では日本とフランスのソロ選手のTRの中のボディブース動作の下肢の動きについて分析した。画像から読み取ったデータは3次曲線近似で120Hzのデータに補間した後、Butterworth low-pass digital filterにより8 Hzの遮断周波数で平滑化し、種々の解析を行った。

## 7. 結果および考察

### 7-1. プール軌跡データと高さデータ

#### 7-1-1. 種目間の比較

表1に各種目における算出項目の平均値を示した。総移動距離においては、表1に示すような有意差が見られた。しかし移動距離は演技時間により影響を受けるので、単位時間あたりの泳距離をあらわす平均移動速度を見ると、デュエットが他の2種目に比べ少ないという結果であった。しかし、プール利用率を見ると、デュエットが他の2種目より有意に高く、デュエットは演技のスピードは遅いが、プールをより広く使っているという特性が見られた。

表1 種目別算出項目の値

チーム数	総移動距離 [m]	平均移動速度 [m/s]	プール利用率 [%]	平均高さ [m]	最高到達高 [m]	
Solo	30	50.4±4.2	0.42±0.03	15.2±4.4	0.51±0.04	1.05±0.10
Duet	26	54.0±4.8*	0.40±0.03*	17.9±4.3*	0.51±0.03	1.03±0.08
Team	12	71.2±4.7*	0.43±0.03*	10.4±3.4*	0.50±0.03	1.10±0.08*

\* p < 0.01

高さに関する指標については、最高到達高についてはチーム種目が高い結果であった。しかし、チーム種目は12カ国しか出場しておらず、多くの国が参加しているソロ、デュエット種目と単純に比較できない。そこで、技術点をあらかずテクニカルメリット（以後TMとする）の上位12カ国のみで比較すると、3競技間に有意な高さの差はなかった。

### 7-1-2. 得点との関係

TMと表1に示した総移動距離、平均移動速度、プール利用率、平均高さ、最高到達高との相関係数は、それぞれ0.335、0.207、-0.293、0.523、0.663とすべて有意な相関（平均移動速度は5%水準、それ以外は1%水準）であった。このうち、TMと高い相関を示したのは、平均高さとも最高到達高であると考えられ、特に相関の高かった最高到達高とTMの散布図を図3に示す。

競技では当然のことながら、決勝出場枠の上位12位に入ることが重要であるので、次に、上位12カ国（ソロはTRの12位が同得点で13カ国、デュエットは1カ国の

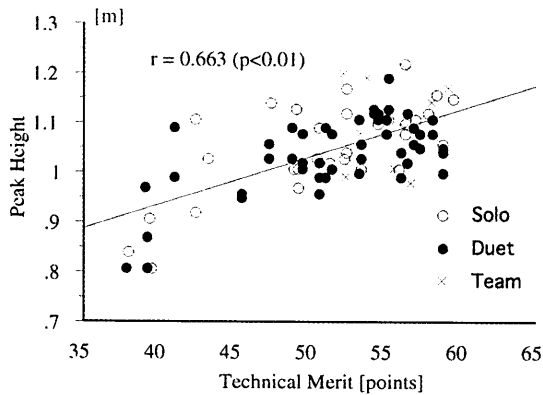


図3 テクニカルメリットと最高到達高の関係

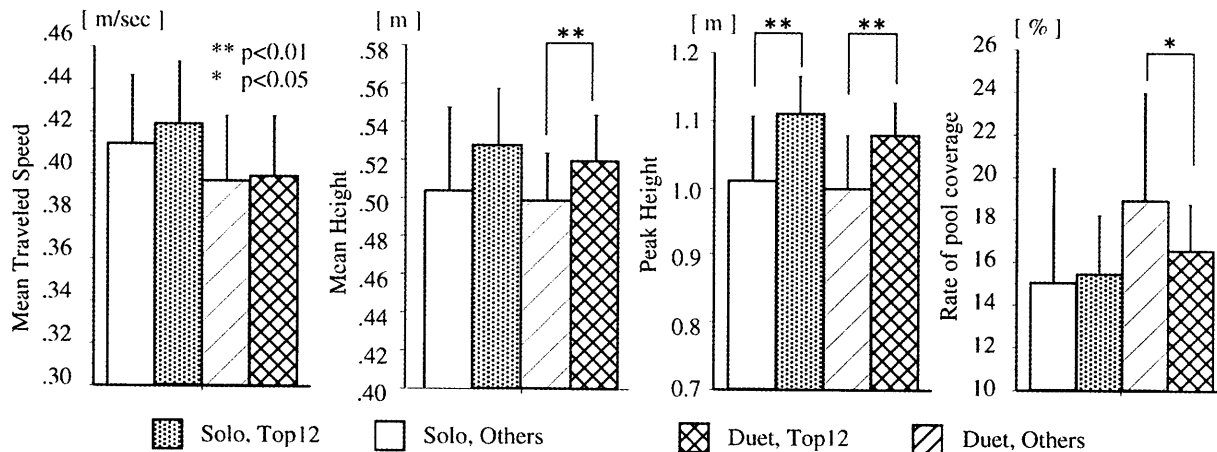


図4 各算出項目におけるソロ、デュエットでの上位国、下位国の比較

データが不備であったため11ヶ国のデータ）とそれ以外の国で比較を行い、図4に示した。上位国と下位国でソロ、デュエットともに有意差が見られた項目は最高到達高であった。シンクロ競技では身体の高さが高いほど良いと言われてきており、相関関係や、上位国と下位国の比較で、そのことを裏付ける結果となった。

### 7-1-3. 上位国の中での日本の特徴

シンクロでは日本は長年、世界のトップクラスの地位を維持し続け、どの種目でも金メダルを狙っている。そこで、さらに上位6ヶ国のデータを比較し、日本の特徴について考えてみた。

表2はソロ、デュエット、チームの上位6ヶ国（デュエットはデータ不備のため5ヶ国）の算出項目の結果を一覧にしたもので、日本はいずれの種目においても総移動距離が他国に比べ多く、したがって平均移動速度も大きい傾向にあった。プール利用率を見ると、ソロ、チームは逆に他国より少ない傾向にあり、比較的小さい範囲を速い速度で移動しながら演技を行っていることがわかった。

一方、高さに関する項目を見ると、最高到達高では、ソロ、デュエット種目では対象チーム中最下位で、チーム種目では4位の高さであり、平均高さを含めて見ても上位6ヶ国の中では高さに関しては劣っているという結果であった。日本は審判員等から、高さが課題と指摘されてきたが、今回の定量的な分析結果からも高さが日本チームの課題であると言える。ただ、平均高さについては、0.2m以上を対象としたが、この値が持続的な高さを正確にあらわしているとは言えないので、これについてはさらに細かい分析が必要である。

表2 各種目上位6ヶ国のデータ

nation	テクニカル メリット	総移動 距離 [m]	平均移動 速度 [m/s]	ブール 利用率 [%]	平均高さ [m]	最高 到達高 [m]
RUS	59.4	52.89	0.45	17.1	0.37	1.15
JPN	58.8	61.94	0.50	12.9	0.36	1.06
FRA	58.4	50.16	0.42	10.8	0.35	1.16
USA	57.8	49.21	0.40	14.6	0.33	1.12
CAN	57.0	52.31	0.43	13.9	0.31	1.11
ESP	56.3	49.98	0.39	17.0	0.37	1.22
-----						
JPN	58.8	62.11	0.43	17.6	0.33	1.00
JPN	58.8	59.44	0.41	17.6	0.33	1.05
RUS	58.8	47.93	0.36	12.8	0.35	1.04
RUS	58.8	49.56	0.37	12.8	0.35	1.04
CAN	58.0	57.69	0.42	18.8	0.34	1.08
CAN	58.0	55.56	0.40	18.8	0.34	1.11
FRA	57.2	57.80	0.40	18.3	0.35	1.08
FRA	57.2	61.40	0.43	18.3	0.35	1.05
ESP	56.8	50.41	0.36	14.3	0.37	1.09
ESP	56.8	48.35	0.34	14.3	0.37	1.06
-----						
RUS	59.2	71.30	0.43	5.7	0.37	1.17
JPN	58.4	78.24	0.47	9.9	0.29	1.07
CAN	58.0	65.08	0.38	14.1	0.37	1.14
USA	57.2	79.52	0.46	12.5	0.28	1.06
ESP	56.6	73.99	0.45	13.4	0.36	0.98
ITA	56.4	74.69	0.44	15.5	0.36	1.21

7-2. ブースアップの3次元動作分析

これまでの結果で、高さの項目とTMの間に高い相関があり、上位国の中で日本は最高到達高において若干劣っているという結果を得た。そこで、ソロ競技のなかのブースアップ動作に注目し、3次元分析により高さが低い原因を探ることとした。対象とした選手は日本の立花選手、フランスのドデュ選手である。3次元分析は水中カメラによるものである。下肢の動作のみを分析対象とし、左右の大転子点、膝関節中心点、足関節中心点、つま先点、踵点の各点をデジタル化した。水中からの左右大転子点の中点の最高到達高さは立花選手が-6cm、ドデュ選手は+5cmであった。ドデュ選手の大転子点は最高到達時は水上に出ているため、水中にある大転子転のデータを3次曲線により近似し、水上の最高到達高さを推測した結果である。この結果では、大転子点の高さで11cmの差が見られ、非常に大きなものである。図5は、左右大転子点中点の位置データを2階微分した加速度の変化を示したものである。図5を見ると、手を水上に抜いてから、最高点に達するまで、つまり身体の上昇局面において、立花選手はドデュ選手に比べマイナスの加速度が大きく発生していることがわかる。これはつまり、身体の上昇時により大きな抵抗があることであり、このことが最高到達高を低くしている一つの要因ではないかと考えられる。

では、この抵抗はどのような原因で発生しているであ

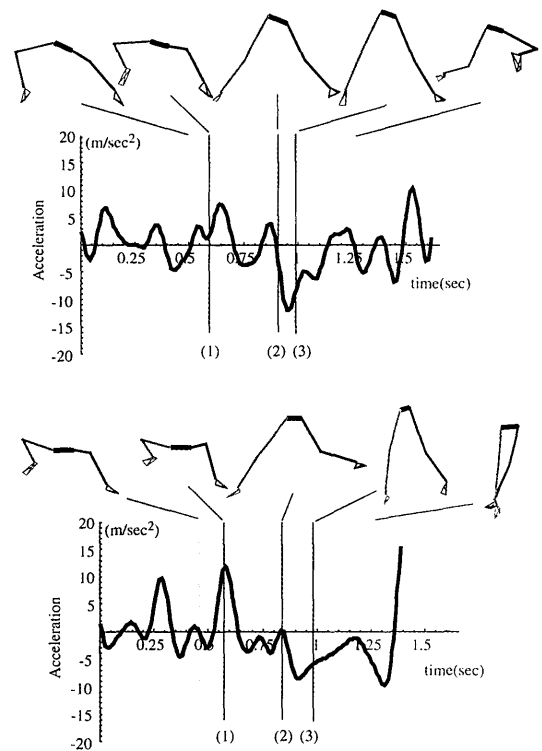


図5 左右大転子点中点の鉛直方向加速度変化  
スティックピクチャーは正面から見た図  
上段：立花選手、下段：ドデュ選手  
(1) 膝の引きつけ終了、(2) 手が水上に出た時、  
(3) 最高到達時

ろうか。抵抗を規定する要因には、速度や抵抗係数などがあるが、その中の横断面積に注目してみた。ブースアップ時の横断面積にあたるものとして、図6に示すような、左右下肢の最大幅の大きさを考えてみた。図6は、その左右下肢の幅の変化を示したもので、やはり立花選手はこの大きさがドデュ選手に比べ大きいことがわかる。

しかし、これは技術の差だけではなく、ブースアップ前後の演技の組立にもよると考えられる。ドデュ選手は水中移動後、水中からブースアップにつながり、その後また水中に潜って移動という構成であったが、立花選手は水面上での演技からブースアップを行い、その後上肢を水上に出したまま次の演技を続けるという構成であった。立花選手のように、ブースアップ後水中に沈まないようにするには、股関節を広げるなど身体の上昇に対して抵抗を増す動作が必要である。もし高さをより高くしたいということ優先するのであれば、ブースアップ後は水中に潜るような構成にしたほうが効果的である。

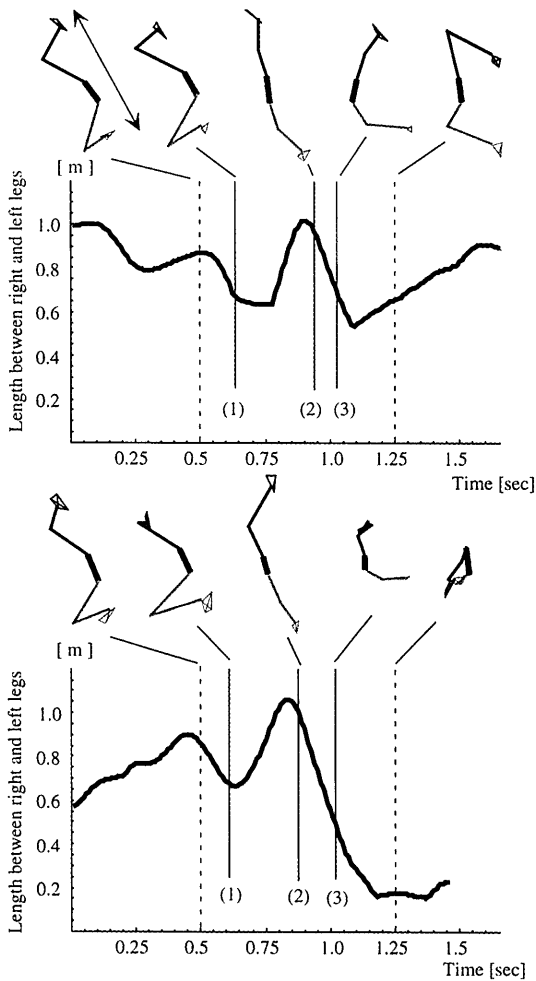


図6 左右下肢のx-y平面上の最大幅の変化  
スティックピクチャーは下面から見た図  
上段：立花選手、下段：ドデュ選手  
(1) 膝の引きつけ終了、(2) 手が水上に出た時、  
(3) 最高到達時

$p < 0.01$ ) が認められ、上位12ヶ国と下位国の平均最高到達高にも有意な差が認められた。

3) 日本は上位6ヶ国のなかで、高さに関して劣っており、これが課題であると考えられた。

4) 水中動作の3次元分析により、日本選手の高さが低い原因を推測することができた。

## 謝 辞

本研究で使用したデータは、国際水泳連盟、(財)日本水泳連盟、及び第9回世界水泳選手権大会組織委員会の協力により得られたものであります。ここに記して感謝いたします。

## 【参考文献】

- 1) 1997 - 1998年度活動報告及び研究成果報告 (1999) . (財)日本水泳連盟シンクロ委員会科学・技術部, 69-77
- 2) 1999 - 2000年度活動報告及び研究成果報告 (2001) . (財)日本水泳連盟シンクロ委員会科学・技術部, 45-64
- 3) 宮地 力(1998), Mathematicaによるネットワークプログラミング, 岩波書店, 81-137
- 4) 本間正信, 本間三和子, 萬久博敏, 山村千晶 (1999) . 一流シンクロナイズドスイミング選手の巻き足動作の運動学的分析, バイオメカニクス研究概論, 第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 287-292
- 5) The 9th FINA World Swimming Championships FUKUOKA 2001 Routine Analysis in Synchronised Swimming - Biomechanical Analysis of Routine - (2001) , The Scientific Committee of Japan Swimming Federation, 3-6
- 6) 山村千晶, 本間三和子, 田中 京, 上田千穂子, 錦織山紀 (2000) . ジュニアシンクロナイズドスイミング選手の体力に関する横断的研究, 水泳水中運動科学3号, 12-16

## 8. まとめ

2001年世界水泳選手権においてシンクロルーティンの画像分析を行った。分析は2台のキャットウォークからのカメラにより、選手の軌跡を求め、プールサイドのカメラから選手の高さを求めた。また、水中カメラ2台を用いて、演技中の水中動作の3次元分析を行った。

その結果、

1) 演技中の総移動距離、平均移動速度、プール利用率、平均高さ、最高到達高などからシンクロ競技の特性を定量的に説明できた。

2) 得点と最高到達点には有意な高い相関関係 ( $r=0.663$ 、