

[資 料]

平泳ぎの 1 ストローク中の速度変化と泳動作の分析

——指導現場への実践的応用法——

河田 聖良\*・小早川ゆり\*\*・西山 哲成\*\*\*・楠本 恭久\*

(2003 年 10 月 24 日受付, 2004 年 2 月 19 日受理)

**Relationship between Swimming Motion and Speed Change during  
a Stroke in Breaststroke**

——A Simple Method for a Practical Approach——

Seira KAWADA, Yuri KOBAYAKAWA, Tetsunari NISHIYAMA  
and Yasuhisa KUSUMOTO

The relationship between the change of speed and the swimming motion during a stroke in breaststroke was examined on three university male swimmers. In the experiment, a digital video camera was used to two-dimensionally determine the displacement and the velocity of the swimmer during 2 or 3 strokes in 50 meters experimental trials. A point at the top of head and of the lateral side of the hip on the swimmers were digitized by using a video motion analyzer. On repeated analysis, there was a reproducibility in the coordinate data. Swimming speed obtained from the displacement of hip in each stroke was ranged from 1.28 to 1.53 m/s in the subjects. It was observed that the pattern of speed change and the stroke-time (1.3-1.6 s) in each stroke were different with each subject and indicated the reproducibility in each subject. Onset of peak speed in each stroke differed among subjects as following; the peak speed appeared at last half of pulling phase during a stroke in subj. 1 and 2, and at first half of pulling phase in subj. 3. These differences could be explained by considering the relationships between the water resistance force, the propulsive force and the swimming attitude observed in the pictures of under-water video images. Although the simple measurement method, as indicated in the present study, may not indicate a sophisticated scientific data, it was suggested that the present data induced by our method could show practical information of swimming skill. It was concluded that a each subject a simple method proposed in the present study would be useful in the cases of competitive and educational swimming practice.

**Key words:** Breaststroke, Simple measurement method, Displacement of head, Change of swimming speed, Observation of motion

**キーワード:** 平泳ぎ, 簡便測定法, 頭部上下変位, 速度変化, 動作観察

I. 結 言

速く泳ぐためには, 水の抵抗を減らし, 前方への推進力を多く得ることが必要である。水の抵抗は空

中に比べて約 800 倍であり, 発揮されるパワーの大半は抵抗に逆らって進むために消費される<sup>1)</sup>。したがって, 水泳競技のパフォーマンス向上や水泳学習

\* 教職教育 II 研究室, \*\* 運動方法 (水泳) 研究室, \*\*\* 身体動作学研究室

指導においては、体力面からは身体を推進させるためのパワーとその持久力の強化、技術面からは発揮したパワーをいかに効率よく推進力に換えられるかという点と、水の抵抗を小さくするフォームスキルの改善などのアプローチが考えられる。

古くからこれらの体力、技術に関する研究は多く、近年でも水泳中の力量測定の結果も少なくない<sup>2,3)</sup>。また、レース中の至適ストローク長とストローク頻度を見つけ出す試みやレースのペース配分を明らかにすることを目的にして身体の移動速度をデータ化するレース分析が行われてきた<sup>4-6)</sup>。これらの速度記録から選手へのフィードバックを実施するまでには複数台のビデオカメラやスタート合図の同期処理装置、ビデオデッキなどの複数の機材、分析者が必要となる場合も少なくなく、それだけの費用もかかる。確かに、これらのデータは指導現場では有力な資料を提供してくれるが、日常の練習等で同方法を実行することは容易ではない。

平泳ぎは他の3泳法と比較して上肢の動作範囲が狭く、一般には、かき始め（スカーリング動作）からリカバリー動作まで水中で行われるという特徴がある。この特徴のため呼吸動作前後では水の抵抗を受ける要素が多く、上肢のかき動作による発揮パワーが全身の推進速度に貢献する割合が低いと考えられている<sup>7)</sup>。さらに、平泳ぎは上肢と下肢の動きが時間的にずれて現れ、1ストローク中の前進スピードの変動が大きい<sup>8)</sup>。平泳ぎの1ストローク中の動きを分析するときにはキック、グライド、プル、リカバリーの4つの局面に分けることがある<sup>9,10)</sup>。

本研究においても上記同様の4局面に分けて分析することを試みた。

水泳指導の場面では、指導者が泳者に向かって「呼吸のときはあごをひきなさい」と注意する声をよく耳にし、頭部の変位に関する指示がある。先行研究<sup>11)</sup>では世界の一流選手の泳法において、肩をすぼめるようなリカバリー動作から腕を前方へ素早く突き出すのに対し、頭部の動きはあごを引きつけるように下方向へ倒すような動作、同様に頭部を下方向に倒す一方、その動きは大きくはなく、少し遅れて倒し始める動作もあることが報告されている。このような頭部の動きに関する視点は少なからず上半身の動きが考慮されていると考えられ、泳中の頭部変位を分析することは水の抵抗に対するフォームスキルについての指導ポイントに接近することにもなると考えられる。

本研究では、平泳ぎの1ストローク中の移動速度の指標として腰部の速度を座標化した。そして、この速度変化と泳フォーム（水中動作と頭部上下変位の軌跡）とを照合して分析し、水泳競技や体育授業で扱われている平泳ぎ動作の習熟、改善を目指す指導に有用な情報を得ることを目的とした。また、本研究のデータ収集、分析過程については、実践現場での応用を念頭においたので、選手へデータをフィードバックする際に容認できうる程度のデータ精度が得られ、なおかつ簡便なデータ記録法、分析法を採用した。

表1 被験者の身体的特徴と専門種目、ベストタイム、実験泳の記録

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	専門種目
被験者1	20	171.0	61.0	個人メドレー
被験者2	22	173.0	70.0	平泳ぎ
被験者3	21	172.0	70.0	個人メドレー、平泳ぎ

	ベストタイム	実験時の平泳ぎ50mの計測タイム(ベストタイムとの相対評価)	実験泳の1ストロークの平均速度(m/s)
被験者1	平泳ぎ50m: 31'00, 個人メドレー200m: 2'04'1	33'89 (91%)	1.38
被験者2	平泳ぎ50m: 30'50, 100m: 1'07'00	34'15 (89%)	1.28
被験者3	平泳ぎ50m: 29'40, 100m: 1'03'50	33'82 (87%)	1.47

## II. 方 法

### 1. 被験者

被験者は本学水泳部に所属する男子選手3名であり、その身体特性、種目、ベストタイム、実験泳の記録を表1に示す。彼らの競技レベルは日本選手権出場レベルであった。被験者には本研究の意義および内容を十分に説明した上で、実験参加の承諾を得た。

### 2. 泳速度と頭部変位の記録

被験者には、スイミングキャップをかぶせ、頭頂部に直径0.12 mの球状マーカーを貼付した。25 m室内プールにて、被験者は飛び込みなしで泳ぎ出し、最大下の速度で50 mを1回泳がせた。その時の全被験者の平均タイムは33.95秒であった(表1)。このタイムは飛び込みなしの泳ぎなのでレース時のものと直接比較できないが、自己ベスト記録の9割程度の泳速度であった。泳動作撮影のための地

上ビデオカメラ(DCR-TRV900, Sony社製)の設置位置はスタート地点(0 m)から12.5~18 mの範囲内の2または3ストロークが収まるように設定した(図1)。すなわち、その設置位置はスタートから15.8 mの地点で、プールサイドのギャラリー(水面から高さ約5 m)に固定した。得られた映像はムービーファイル(30 frames/s)としてパーソナルコンピュータに保存し、動作解析ソフト(Image Express, application Version 1.33, nac社製)を用いて頭頂点のマーカー、および腰側部(水着の上方部)の一点を1/30秒のサンプリング頻度で座標化した。同一被験者の2または3ストロークについて得られた座標データより平均値を算出し、変位および速度曲線を描いた。

測定に用いたコース幅の真中に長さ2 mのスケールを水面上に位置させ撮影し(図1, 上段)、座標データを実長換算した。導き出された変位データ

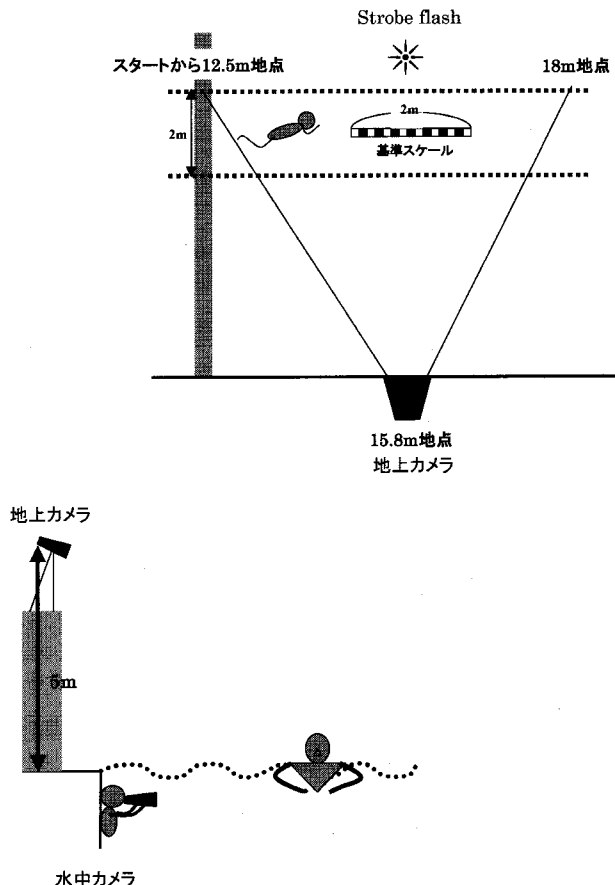


図1 撮影カメラの設置位置

のうち腰部の水平変位データより速度を計算し、進行方向への移動速度とした。座標化作業画面内の頭部の垂直変位データを用いて頭部上下動の指標とした。

### 3. データの再現性

座標化作業より得られたデータの再現性を確認するために、分析対象となったすべての映像について2回の座標化作業を遂行した。

### 4. 水中動作の撮影

泳中の被験者の水中動作を水中撮影用ビデオカメラ (GR-DVP9, Victor 社製) を用いて、被験者の側方より撮影した。水中と地上の両カメラの同期処理のために両カメラの撮影範囲内でストロボフラッシュを写しこんだ。分析のため、1ストロークを以下に記す4つの局面に分けた。この局面分けは、先行研究<sup>9)</sup>に基づき、水中と地上の両動画の観察より行った。

- グライド局面: キック終了  
→キックのための脚伸展終了から前腕キャッチ動作開始直前まで
- プル局面: プル開始からプル終了  
→前腕のキャッチ動作開始から上腕の前方への動作開始直前まで
- リカバリー局面: プル終了からキック開始  
→上腕の前方への動作開始からキックのための脚 (特に膝) の伸展開始直前まで
- キック局面: キック開始から腕のリカバリー終了  
→脚伸展の開始から終了まで

## III. 結果および考察

本研究では泳者の前進スピードを示す指標として腰部の移動速度を分析した。多くの陸上動作を対象とした動作分析の研究において移動運動中の移動速度を評価するとき、重心に関する測定値を用いるのが一般的である。重心変位を検出するには全身20点近い解剖学的測定点の入力作業が必要であるが、本研究のように水中での全身にわたる多くの測定点の座標化は、現時点では容易ではなく、むしろ測定の不正確さを生む可能性もある。また競泳に関する先行研究でも腰部座標点を泳速度の指標とした試みがなされており<sup>12)</sup>、国内一流選手における泳法指導の場面でも同様の分析が多く実施されている。した

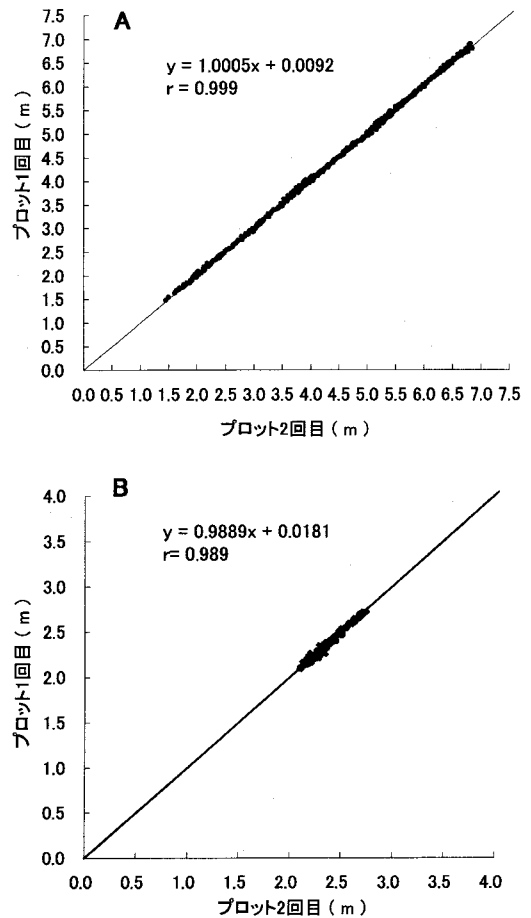


図2 座標化作業の再現性  
被験者3名の2~3試行についての反復座標化データである。プロットは頭部の水平変位 (A), 上下方向 (B) を示す。図中の実線はアイデンティティラインを示す。

がって、本研究で得られたデータは将来的には、それらのデータと比較できる可能性がある。

### 1. 座標化作業の再現性

図2は全被験者の全試行についての座標化作業1回目と2回目の頭部変位データを示している。図中の実線はアイデンティティライン ( $Y=X$ ) を示し、各プロットは同ライン上に分布配置した。全被験者の1回目と2回目の腰部水平変位、頭部上下変位の誤差は  $0.018 \pm 0.011$  m,  $0.018 \pm 0.001$  m (平均土標準偏差) であった。

### 2. ストローク間の再現性

図3は各被験者の腰部水平変位 (A), 頭部の上下方向の変位 (B) の経時変化を示している。頭部の上

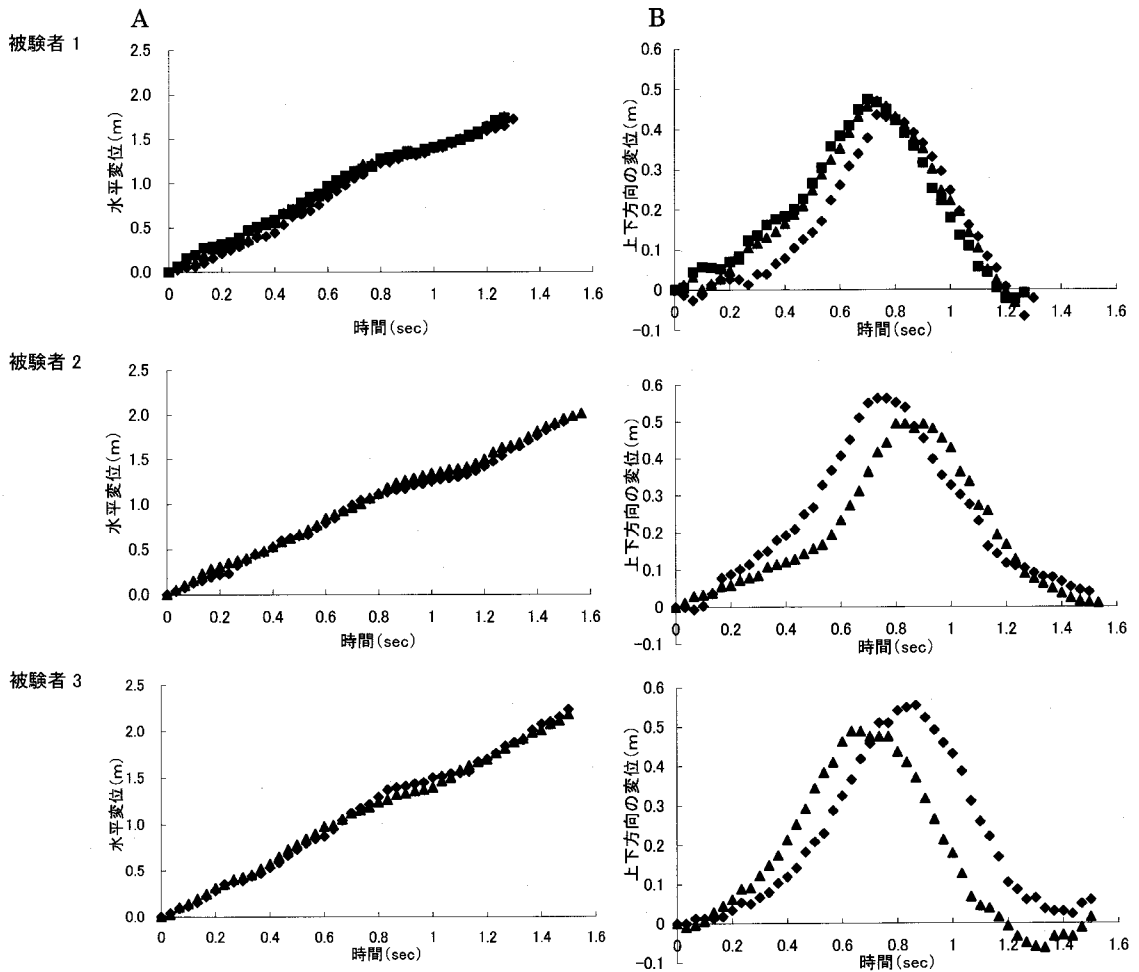


図3 1ストローク中の腰部水平 (A) および頭部の上下方向の変位 (B).  
 ◆は1ストローク目, ▲は2ストローク目, ■は3ストローク目.

下変位において、大きな上方向への動きは呼吸動作への、またその後の下方向への動きは水中動作への移行を表している。

1ストローク中の平均所要時間は、被験者1, 2, 3について各々1.28, 1.53, 1.50秒であった。また、頭部上下変位をみると、被験者2, 3については1と2ストローク目において時間的な局面のずれが少々みられるが、変位のパターンそのものについては個人内で似ていた。これらの結果より本データは、個人間差や個人内差を指摘できる可能性を有することを意味する。

3. 1ストローク中の動作局面と水平速度の関係

各被験者の1ストローク中の腰部水平速度と頭部の上下方向の変位を図4に示す。これらのデータ

は1ストロークの所要時間で標準化し、相対時間10%ごとに平均化して表した。

速度変化を見ると、全被験者ともにプル局面で最も高い速度を示し、その後のリカバリー局面で大きく減速し、再びリカバリー局面後のキック局面で速度増加する2峰性の傾向を示した。これらの傾向は、先行研究<sup>13~15)</sup>のそれにはほぼ一致した。

個人間差についてみると、例えば被験者1の速度ピーク値はプル局面の後半(相対時間45~50%付近)で認められ、被験者3はプル局面前半(相対時間35%付近)で認められた。被験者2においては、他の被験者に比してプル局面が長く、同局面で現れた速度のピークは顕著でなく、キック局面(相対時間85%付近)におけるピーク速度とほぼ等しかっ

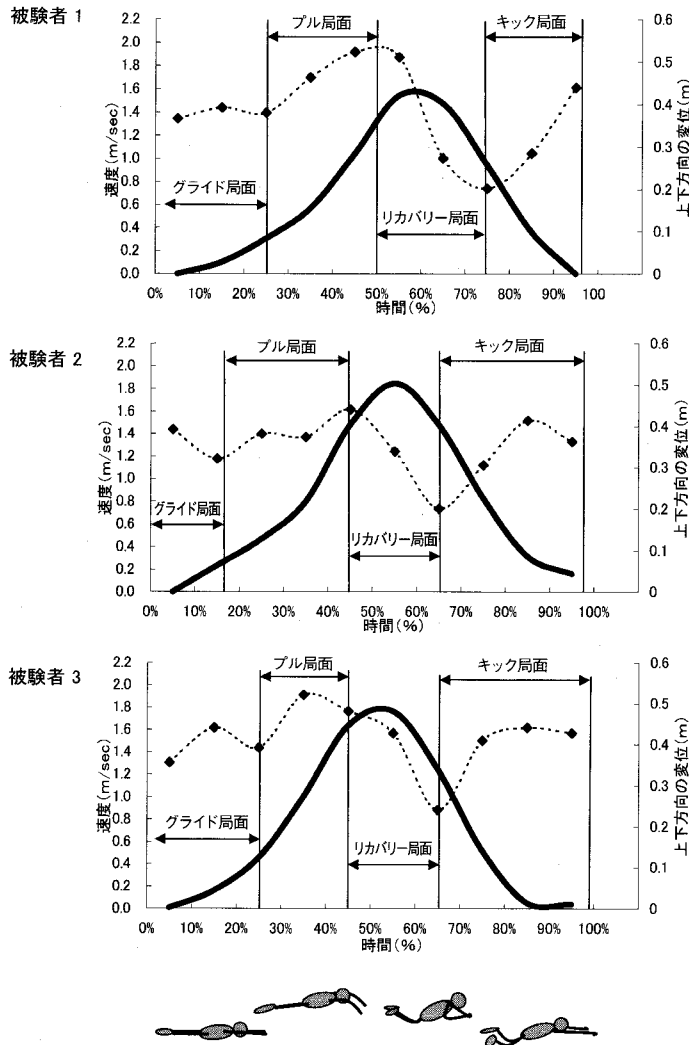


図 4 1 ストローク中の腰部速度変化と頭部の上下方向の変位の関係

◆印と点線は 2 ストロークまたは 3 ストローク分の平均水平速度を示し、実線は頭部マーカー点の 2 ストロークまたは 3 ストロークの上下方向の平均変位を示している。

た。しかし、この被験者は他の被験者に比べてピーク速度の値が低かった。

#### 4. 水中撮影した映像と速度変化の分析

水中撮影した動画を各局面の静止画像として図 5 に示し、被験者ごとに水中でのフォームと速度変化について検討した。

被験者 1 の特徴は、上述したようにリカバリー局面の大きな減速と、キック局面の急峻な速度増加であった。同被験者の水平速度の変化をみれば、プル局面前半から進行方向への速度増加が始まり、プル最終局面～リカバリー始めまでの間に最高速度に達

している。ここでの静止画像（プル局面、図 5）から、プル最終局面まで身体を水平に保持した姿勢であることがわかる。その後、リカバリー局面に入ると減速しており、静止画より（リカバリー局面、図 5）、脚の引きつけ動作となる股関節屈曲が他の被験者に比較して大きく、大腿がより垂直位に近いフォームになっていることが認められた。このことは水の抵抗を増大させ、大きな減速を生じさせる原因になるだろう。また、この被験者は比較的リカバリー局面が長く、キック局面が短い傾向を示した。これはリカバリー終了とほぼ同時にすばやいキック

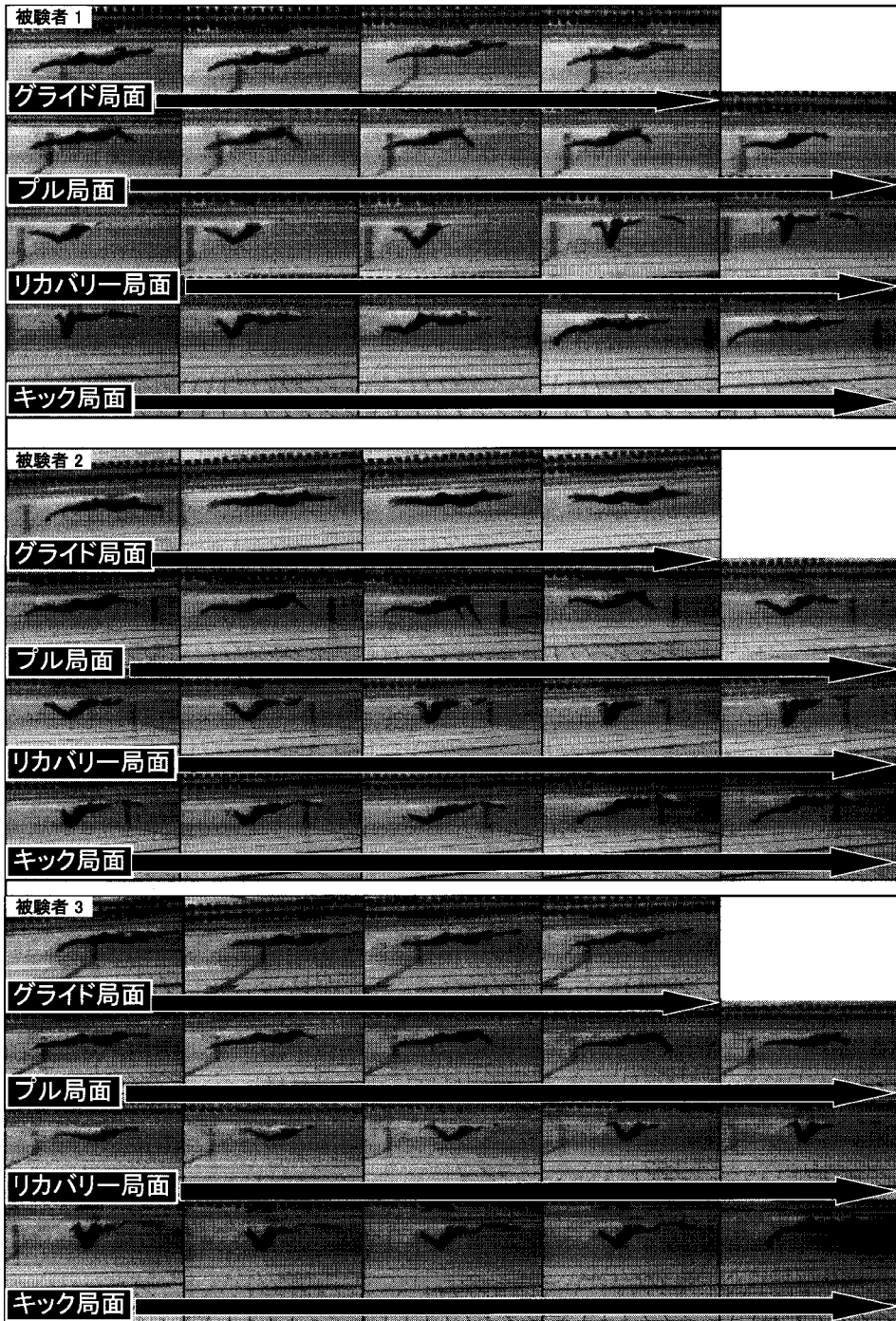


図 6 水中画像

動作が行われていることを示し、上肢のリカバリー動作が終了する前にキック動作（供応動作）が始まるというタイプを示した。

被験者2はプル局面の速度増加が小さいこと、ピーク速度の値が低いこと、上下方向の頭部変位が大きかったことが特徴である。静止画（図5）より、

被験者は水平位に身体を保持した状態から顔部のみを水上に上げるような頭部先行の呼吸動作を始め、背部が反り、膝が屈曲し、前腕がより深い位置を通るプル動作となっていた。おそらくプル局面後半（呼吸時）では上体も頭部上位に傾斜しており、より水の抵抗を大きくし、リカバリー局面の減速を招くと推察される。また、水中静止画より、この被験者の腕（特に肘）は水中に入ったまま前方へ戻すリカバリー動作を行っていることがわかる。これが抵抗となり、リカバリー局面の減速の一因となっていることも推察される。

被験者3の水平速度が被験者1と異なる点は、プル局面の半ばで最高速度に達し、プル最終局面では減速が始まることである。この要因を水中静止画より推察してみると、プル局面前半、キャッチ時の姿勢が水面と平行にあり、その姿勢を保持した状態で肘関節が屈曲し、前腕で水をとらえている。水面上に近く平行な姿勢が身体を推進方向へ押し出しやすくしているように見える。このことがプル局面中の早期での速度増加を導く一因になっていると考えられる。

## 5. 簡便的記録・分析法の検討

### 1) 座標化作業における誤差

同一映像について2回の座標化作業反復の結果、得られた測定誤差（腰部水平変位、頭部上下変位、 $0.018 \pm 0.011$  m,  $0.018 \pm 0.001$  m（平均±標準偏差））を用いて分析結果への影響度を計算した結果、考察に用いたピーク速度発現局面や、速度、変位データの急激な変化、および動作観察とあわせた分析（フィードバック）に大きな影響を与えるものではなかった。

### 2) 実験、分析の所要時間

本研究のカメラ設置、マーカー付けなどの実験準備に要した時間は約10分で、日々の練習メニューの中で極めて簡素に撮影を実施することができた。検者は地上カメラ、水中カメラ、ストロボ係の3名を必要としたが、それらの作業はいずれも単純作業であり、特別な実験技術を必要とするものではなかった。

画像分析について、本研究の座標化作業を行った検者は、この作業を初めて行う者であったが、1時間程度の経験者からのインストラクションのみによって、変位データの取得作業を獲得した。同作業

において、1被験者の2,3ストロークあたりの座標化作業には約30分の時間を要した。これらより1日に数人の被験者であれば、翌日のデータフィードバックが可能であると推察できた。

### 3) データのフィードバック

動作局面ごとのフォームについてのフィードバックに対して、各被験者は指摘されたポイントを理解し、その指摘事項を感覚的には認識していた。そして、被験者は動作フォームの修正に関して特に強い印象があったと述べ、今後の日々の練習に対する動機づけ、目標設定に関して有効なデータであるという感想が得られた。

本研究で試みた方法は、被験者にも検者にもそれほど大きな時間的、技術的負担を与えず、水泳の指導、練習に有効に活かせる方法であったと考えられた。

## IV. まとめ

本研究は、選手および指導者へかかる実験・分析の時間、労力、費用等の負担をできるだけ軽減できるような簡便的方法でフォームスキルを評価することにより、競技や教育場面における指導に活かせる情報を得ることを目的とした。腰部変位から得られた1ストロークの速度変化と水中動作、頭部上下方向の変位を照合して分析し、フィードバックを試みた結果、以下のことが明らかになった。

1. 個人内において、1ストロークごとの所要時間と頭部上下方向の変位パターンの再現性がみとめられた。水中映像と照合することにより、ストローク中の速度増加、減速の要因となるフォームを指摘することができた。
2. 本方法で得られたデータより速度、変位のパターンにおける個人間差が明確に示されたので、個人間のフォームに相違が生じる局面、動作を推察することができた。
3. 本研究データの頭部上下変位は実空間内での垂直変位を表していないが、フィードバック時に動作をイメージさせる補助資料として有用なデータであると考えられた。
4. フィードバック対象となった被験者からの内省報告より、普段の練習ポイントの明確化、およびスキルアップの動機づけ等に有用であるという感触が得られた。



5. 以上より、本研究で用いた記録・分析法により水泳競技の練習や他の指導現場で有用なフィードバック資料が得られることが示された。

### 謝 辞

本研究は平成15年度体育研究所課題研究の援助を受けて実施した。また、本研究遂行にあたり、日本体育大学スポーツ局・藤森善弘コーチより有益なご助言と多大なるご協力を賜りました。併せて感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 池上康男, 若吉浩二: スポーツバイオメカニクス, pp. 49-54, 朝倉書店, 東京, 2000.
- 2) 石井喜八, 熊本和正, 上野裕一, 趙秋蓉, 陳 崢: ワイヤと力量計による水泳中の牽引力の測定—簡便法を指導場面に応用—, 日本体育大学紀要, **18**(1), 23-27, 1988.
- 3) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎: 簡易泳パワー計測システムの開発と検討, バイオメカニクス研究, **6**(1), 15-23, 2002.
- 4) 若吉浩二, 生田泰志, 黒野剛弘: 競泳のレース分析プロジェクトの現状と今後の課題, バイオメカニクス研究, **7**(1), 72-81, 2003.
- 5) 若吉浩二: 競泳のレース分析データの具体的活用法, 体育の科学, **52**(9), 711-714, 2002.
- 6) 若吉浩二, 劉 華, 森 弘暢: 日本選手権における競泳100m自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化に関する研究, スポーツ方法学研究, **14**(1), 31-40, 2001.
- 7) 高木英樹, 清水幸丸, 松井敦典: 平泳ぎのストローク技術に関する流体力学的考察・手部に生じる流体力と推進力の関係から, 水泳水中運動科学, **2**, 33-41, 1999.
- 8) Holmer, I.: Swimming physiology. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **11**(3), 269-76, 1992.
- 9) 田口正公, 梶山彦三郎, 宮下充正: 泳法の分析—水中写真による—, 体育の科学, **28**(6), 374-380, 1978.
- 10) 吉澤正尹: 筋電図による平泳ぎの泳法分析, 体育の科学, **28**(6), 381-384, 1978.
- 11) 高橋繁浩: 世界一流平泳ぎ選手の特徴, 平成7年度水泳の普及振興事業 平泳ぎに関する調査報告書, pp. 43-55, 財団法人日本水泳連盟, 1996.
- 12) Miyashita, M.: Method of calculating mechanical power in swimming the breaststroke. *Res. Q.*, **45**(2), 128-37, 1974.
- 13) 岡本 勉: 幼小児の水泳指導過程の分析, 体育の科学, **26**(6), 409-414, 1976.
- 14) 辻野 昭: 水泳のキネシオロジー的考察—平泳ぎのキック動作について, 大阪教育大学紀要, **22**, 181-191, 1974.
- 15) 宮下充正: 水泳のキネシオロジー, 体育の科学, **21**(6), 359-363, 1971.