

連続競泳ストローク情報とその表示法の検討

—感覚をサポートする計測法を目指して—

Examination of continuation swimming stroke information and its displaying method

黒野 剛弘 (Takehiro Kurono)

浜松ホトニクス(株) 中央研究所

木村 祐一 (Yuichi Kimura)

浜松ホトニクス(株) 中央研究所

村越 崇宏 (Takahiro Murakoshi)

浜松ホトニクス(株) 中央研究所

【要旨】

The display method about the acquired swimming stroke information was considered using Swim Stroke Watcher which can carry out continuation automatic measurement of the swimming stroke information. By carrying out comparison with the computing method, whenever it is obtained from the lap time of the conventional fixed position, the swimming speed display for every swimming stroke showed that it is intelligible for a swimmer, that the feature of a swimming style can be expressed more, and that the feature of a swimmer's performance was reflected, and showed according to it that it was a method effective in race analysis. Moreover, since the performance change before and behind training and swimming speed change can be known easily and data can be immediately offered after a race end by devising the method of a display of swimming stroke information, it may be set to one of the measuring methods which can support a swimmer's feeling, and thing expectation is carried out.

◆キーワード：Swim Stroke Watcher、競泳、連続競泳ストローク計測、泳速変化、表示法

1. 緒言

レース直後の選手の感覚が残っている間に客観的なデータを提供すること、さらに泳ぎながら泳法のパフォーマンス状況を選手に伝えられる新しい計測法を検討している。競泳のストロークごとの時間と距離をリアルタイムに自動計測できるSwim Stroke Watcher (SSW) を新たに開発し、装置の活用に向けた検討を進めている。2001年7月に福岡で開催された世界水泳で日本水泳連盟医科学研究班（以下「医科学」と略す）と共同で映像計測を行い、SSWの一部装置を用いて、選手の連続ストローク情報の自動抽出の試験実験を現場で行った。ストロークごとの時間、距離、泳速からなるストローク情報は、それなりに有効ではあるものの1選手の1レース結果のデータを単に提示するだけでは、データの意味やその解釈が困難で、現場でそれほど活用できるレベルには達していないという課題も得られた。

ストローク情報の活用や普及させるには、現場スタッフへのわかりやすい表示方法の工夫が不可欠である。そ

こで、泳法分析に使用できることを目指して、ストローク情報の各種表示方法や比較方法を検討したので、その一部結果を報告する。

2. Swim Stroke Watcherの概要

本装置は、スイミングキャップやスイムウェアを追尾する従来法とは異なり、複数のビデオカメラ映像から特殊な画像処理方法を用いることで、競泳選手のストロークごとの時間と距離をリアルタイムで自動計測できる。使用するカメラ台数は、設置するカメラ位置による画角や空間分解能によって決まり、それによって、計測できるコース数も決まる。カメラを高い位置に設置できない場合には、泳者がコースロープや隣の泳者に隠れてしまい、情報を失ってしまう。また、遠い方のコースは、垂直方向の空間分解能が得にくくなり、計測精度が低下する。その場合には、装置を2セット用いて、遠方側4コースと前方側4コースとに分けた同時計測の必要性も発生する。プール施設の設置環境にもよるが、50mプールであれば、

ビデオカメラ5台、25mであれば3台は最低必要な台数で、処理装置の規模もカメラ台数に比例した規模となる。福岡の世界水泳では、会場での種々の制約もあったが、医科学のレース分析^{1,2)}と同様の構成で5台のビデオ映像 (SONY EVI-D30) とSSWの一部処理機能を用いて自動計測した。下記にSSWの主な特徴を示す。

<無拘束計測>

SSWは、ビデオ映像による独自画像処理手法を用いるため、選手への拘束が全くない無拘束計測が可能となっており、練習だけでなく、公式大会での計測が可能である。4種目の泳法計測が可能で、泳法による切り換えなどの操作が不要となっている。

<グラフ・数値表示モード>

ストロークごとの時間 (Stroke Time: 以降「ST」と略す) と距離 (Stroke Length: 以降「SL」と略す)、泳速 (Swimming Speed: 以降「SS」と略す) をリアルタイム計測し、泳ぎ終わってから直ちに結果表示できる。表示には、数値の他にストローク情報表示、SL-STマップ表示、SS-STマップ表示、ペース配分表示、相対位置比較表示、相対時間比較表示などの各種グラフ表示機能がある。

<パフォーマンスフィードバックモード>

SSWは、リアルタイム計測が可能なことから、泳ぎながら連続のストローク情報の算出が可能で、ストロークごとの時間や距離、速度を泳者に伝えることができるオプション機能を持っている。個人ごとの泳法パフォーマンス評価の条件設定と、水中スピーカを用いれば、泳いでいる選手に直接ストロークごとの情報を伝えることができる。このパフォーマンスフィードバック法を用いることで、選手の泳法改善に利用できる。また、現状の身体能力で、効率の良い泳法を開拓する用途にも利用できる。

<ラップタイムモード>

時間計測用に任意の距離をパソコン上で位置設定し、その位置を通過した時間を自動計測できるモードで、スタート時、フィニッシュ時の通過時間、および泳速を算出するのに用いられる。飛び込みやターンの局面での速度分析に有効である。

しかし、水中の選手を映すためには、できるだけカメラ位置を高く設置する必要がある。

区間	ストローク時間 (sec)				区間速度 (m/sec)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
医科学データ	1.49	1.72	1.74	1.29	1.5	1.43	1.4	1.44
SSW解析結果	1.49	1.73	1.76	1.29	1.52	1.43	1.40	1.45
誤差 (%)	0.22%	0.78%	1.15%	-0.26%	1.18%	0.04%	0.13%	0.99%

区間	ピッチ (stroke/min)				ストローク距離 (m)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
医科学データ	40.16	34.72	34.32	46.44	2.25	2.47	2.45	1.86
SSW解析結果	40.18	34.62	34.09	46.63	2.27	2.48	2.47	1.87
誤差 (%)	0.05%	-0.30%	-0.67%	0.41%	0.73%	0.39%	0.71%	0.60%

表1 日本水泳連盟医科学データとの比較

<医科学データとの精度比較>

医科学が規定している分析パラメータに従い、SSWで計測されたストローク情報から自動算出して比較した事例を表1に示す。カメラの設置位置や使用台数に影響されるが、世界水泳計測では、±1%程度であった。これは、ビデオの±1フレーム程度のバラツキ誤差に相当する。また、日本水連医科学が実施しているプール中央付近の平均ストローク情報との比較においても高い精度での一致が確認できた。

3. 連続ストローク情報の表示法

1選手の1レースの連続ストローク情報をそのまま提示しても、忙しい現場では、理解しづらくトレーニング法の評価、レースでのペース配分、速度効率、泳法チェックなどにどれだけ直接役立つかはまだ疑問な点も多い。現場ではよりわかり易い表示法や比較法が重要となる。そこで、連続ストローク情報の表示法について、世界水泳での計測データを用いて、その効果、用途を検討した。

3.1 絶対値表示法及び比較値表示法の検討

レース分析の表示方法には大きく2通りの方法がある。ひとつは、スタート時間、ターン時間、固定点通過時間、フィニッシュ時間、ST、SL、SSの数値を1選手の泳法の特徴としてわかりやすく表す絶対値表示法である。もうひとつの表示法は、1選手だけでは、特徴がわかりにくいデータでも、トップ選手やトレーニング前後の自分のデータとの比較を行うことで、その違いを客観的に理解することができる比較値表示法である。もちろん、絶対値表示法を用いて、複数の選手データをそのまま比較することも有効ではある。

今回実施した表示法は、絶対値表示法として、連続ストローク情報 (ST、SL、SS) の表示、およびST、SL、SSの組み合わせによる相関表示について検討した。また、50mごと分割重ね表示なども試みた。

3.2 移動距離に対応した連続ストローク情報

(ST, SL, SS) 表示

絶対値表示法のストローク情報は、泳法パフォーマンスの基本的な要素で、STは、一定時間内のストローク数であるピッチ数の逆数を意味し、このピッチ数を上げることで、一般的には泳速を上げることになる。しかし、実際は、ピッチを上げたからといって、泳速が簡単に上がるわけではない。SLはSTにほぼ比例することから、両数値の微妙な増減とSS = SL / STの関係で決まることになる。

200m個人メドレー準決勝のデータ（三木選手）は、SSWの連続ストローク情報の例としてわかり易いので、4泳法の事例として図1に示す。これは、横軸に距離、縦軸にそれぞれST、SL、SSを示した基本的な表示法で、ストローク数と距離とが対応しているのが、選手にとってわかりやすい表示法である。縦軸スケールの関係でデータが一部切れている所もあるが、バタフライのSTは、ほぼ1.1秒～1.2秒、SLは、1.9m～2.1m、泳速は1.8m/s～1.7m/sで、ストローク情報は連続なので各局面での変化の様子がわかる。

自由形と背泳は、選手によってSTとSLに左右差が見られる。特に背泳は、SLの左右差が大きい選手が多く、左右20%程度の差がある選手もいる。一般的にSLの左右差が少ない方が無駄がなく、効率が良くとされるが、50mなどの自由形短距離では、左右差が大きく、できるだけ大きなストローク長を出す選手の方が良い記録が出ている場合もある。左右差バランスの評価に関しては、種目や個人差にもよるので、今後の検討が必要と思われる。必要であれば、泳いでる選手に直接左右差情報をフィードバックすることも可能である。フォーム変動による水抵抗や疲労との関係の分析にも利用できる。

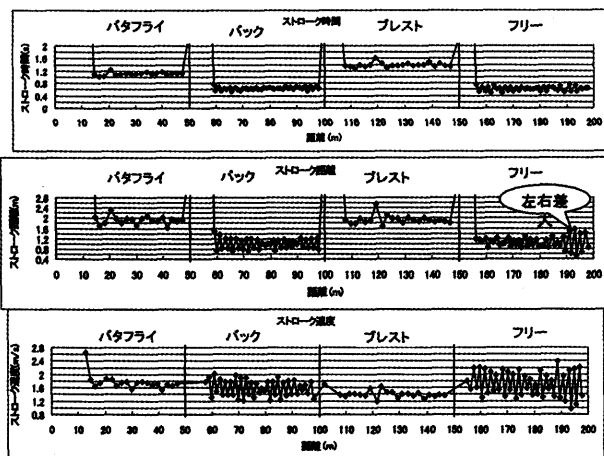


図1 男子200M 個人メドレー準決勝

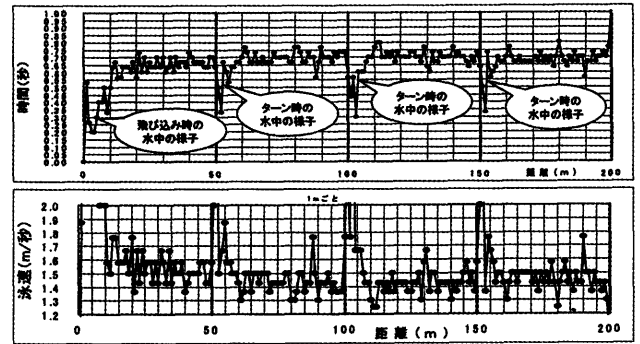


図2 スプリットタイムと速度変化 (1mごと)

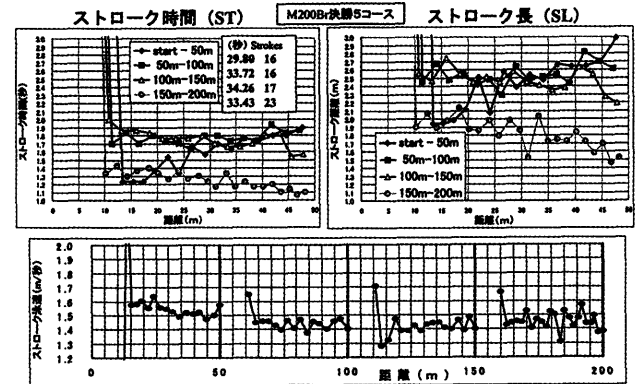


図3 連続ストローク情報表示

3.3 ラップタイムから求める泳速

泳速を求める方法には、一般に複数の固定距離を通過する時間から算出方法がある。図2上段には、SSWを用いてM200Br決勝の北島選手のデータで、1mごとの距離を通過するスプリットタイムから算出したラップタイムを示している。これから求めた泳速結果を図2下段に示す。SSWは、ビデオを用いて算出しているため、通過時間の時間分解能は33msとなり、計測距離間が短いと量子誤差が目立つ。このような方法で泳速も計測できるが、固定距離からの泳速では、ストロークごとの変化が平均化され、泳速変化の特徴が出にくくなる。また、通過距離を2m、5mと長く取るとさらに平均化され、詳細な泳速変化が見えなくなってしまう。一方ストローク周期に対応したST、SLから算出したSSは、ストロークごとの泳速変化がはっきりするため、泳者には分かり易い。したがって、ストロークごとに連続変化する泳速を選手に提供できることの意味は大きい。

次にSSWで自動計測した連続ストローク情報（図2と同じ選手）を図3に示す。上段左図がST、右図がSLで、50mごとに重ね表示している。最後の50m後半は、STが極端に短く、SLも短くなっていることがわかる。下段図は、

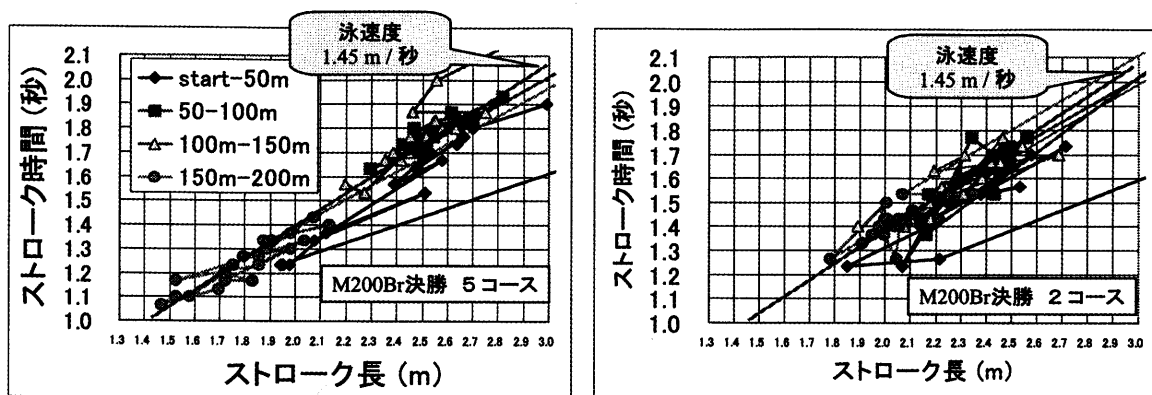


図4 SL-STマップ表示

ST、SLから求めたSSを示している。前述の固定距離1mのラップタイムから求めた泳速(図2下段)と比較すると、この方がストロークごとに微妙に泳速が変化していることが良くわかる。

3.4 SL-STマップ表示

連続ストローク情報のSTとSLをSL-STマップ(相関分布)として表示したものが図4である。データは、同じくM200Br決勝で、左が5コースの北島選手(3位)、右が2コースのハンセン選手(1位)で、50mの局面ごとにST、SLの分布がかなり異なっていることがわかる。参考のために1.45m/sの斜めの泳速ラインを図中に示した。このマップ上で、右下の方向に移動できれば、SSを向上することができる。STを単に短くしてピッチを上げるだけでは、SLも比例して短くなるので、この泳速の直線上を左下に移動するだけとなって泳速は上がらない。SS=SL/STの関係から、微妙にSLを伸ばすか、STを短くする泳法が要求される。このわずかな変化をこのマップを用いることで、目視で確認できる。この事例では、50mごとに分けて表示することで50mごとの違いが明確にわかる。図4左図の選手は、150mまでは、明らかにSTを長くしてSLを伸ばす、いわゆる大きな泳ぎをし、SSをできるだけ落とさない泳ぎをしている。最後の50mは、STを徐々に上げ、最後の20mは、極端に短いSTでSSをわずかに上げる。右図の選手では、マップ上の分布は、比較的固まって極端なバラツキは少ない。この表示マップは、レース戦略にも活用できる。また、SSを維持するには、STとSLをどのぐらいにすれば良いかをマップとして確認できるので、この位置と選手の感覚とが一致すれば、さらに有用な活用が期待できる。

図4右図選手との分布の違いは明らかで、このように

競合選手とのマップと比較することで、泳法の特徴、レースのペース配分、身体組成の違いなどの情報もわかりやすく得られる。また、トップ選手の泳法をこのマップ上にプロットすれば、若手選手の目標設定や、トレーニングによる途中経過の評価用にも活用できる。

3.5 SS-STマップ表示

SL-STマップ表示は、選手の泳法の特徴を見るには有用であるが、泳速の細かい変化は、わかりにくい。そこで、STとSSとの相関分布として、SS-STマップ表示することで、速度変化がよりわかりやすくなる。図5のSS-STマップも図4と同じ選手のデータを用いている。縦軸がST、横軸はSSで、右に移動すれば泳速が増加していることになる。この表示は、50mごとに分けて重ね表示しており、50mごとのストロークの違いがよくわかる。STとSLは、ほぼ比例関係にあるが、微妙に変動しており、それらの変化率がSSの効率に結びついている。SSが増加すれば、SS-STマップ上で右に移動するので、パフォーマンスが上がったことがわかる。逆に左に移動すれば、効率は低下したことになる。この表示法では、STとSLの組み合わせによる微妙なSSの効率の変化をストロークごとにチェックできる。

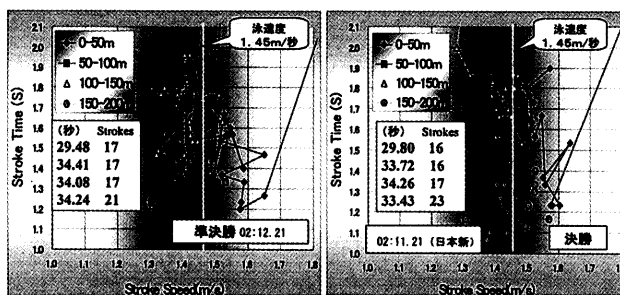


図5 ストローク情報の比較 (M200Br準決勝と決勝)

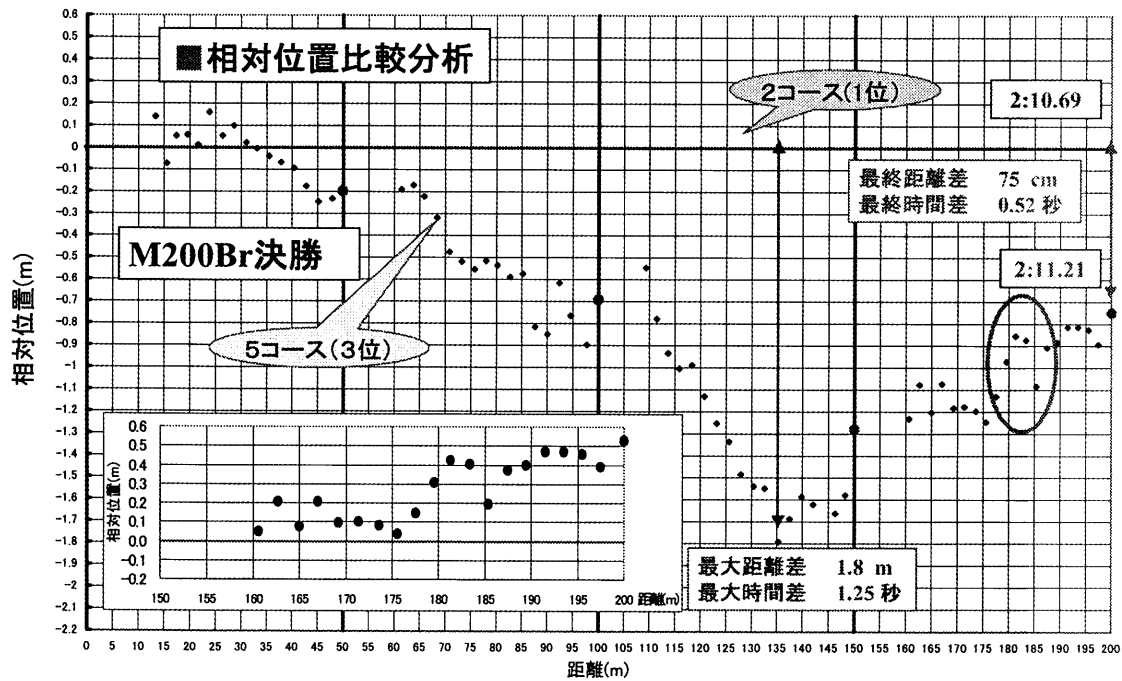


図6 相対位置表示法

4. 比較表示法

競技は、自己記録および相手との時間差、距離差が重要となる。何ストローク目で差がついたのかストロークタイミングの位置や時間で比較できると分析がわかり易くなる。ここでは、比較したい泳速、距離、時間などの物理量によって、相対時間差表示法、相対距離差表示法、ペース配分表示法などを選手にわかり易い幾つかの比較法について検討した。

4.1 選手比較における相対位置表示法、相対時間表示法

図6は、同様にM200Br決勝における比較事例で、2コース選手に対して、5コース選手がどのぐらいの距離離れているかをストロークのタイミングで表示したもので、図中の各ドットが5コース選手のストロークを表している。50mまでは、約20cm程度の遅れであるが、135m付近では、1.8mの遅れとなっている。しかし、最後の50mで、差を75cmまで差を縮めている。この最後の50mは、図6左下の図に示すように、同じ時間にスタートしたら差はどのぐらいになるかを表した表示法で、50cmほど差を付けたすばらしい泳ぎをしている。また、比較量は、距離差だけではなく時間差も同様に表示することができるが、ここでは省略する。目標選手、予選と準決勝、1年前とのデータ比較をすることで、泳法のパフォーマンスの特徴をより鮮明に理解することができる。同時に、改善手段

の手がかりを得られることも期待できる。また、SSが上がる、下がるといったことの原因をビデオ映像とストロークのタイミングに同期させて見ることで、より深い理解ができる。このように過去の泳法と比較すれば、泳法向上の程度が評価でき、競合選手対策、予選、準決勝、決勝などのレース戦略やペース配分対策にも有効と思われる。

4.2 ペース配分の表示法

レース戦略には、前半押さえて、後半スパートをかけるなど選手の身体能力、コンディションや相手選手能力に対応して、ペース配分が重要な位置を占める。従来は、50mのラップタイムから判断して、50mごとのペースを基準に組み立てられている。しかし、50mを全く同じ速さで泳ぐことはなかなかできず、前盤、中盤、終盤に分けたペースチェックが必要となる。基準となる平均速度のマークを仮想的に設定して、この仮想マーカとの距離比較を行って表示したものを図7に示す。平均速度は、一般に50mのスプリットタイムを用いるが、飛び込みやターンの影響を含むため、ここでは、飛び込み、ターン後の最初のストロークの時間と距離を求め、スプリットタイムから差し引いた時間と距離から泳いだ平均速度を仮想マーカとした。また、泳者が目標とする平均速度を仮想マーカとしてもよく、これと比較表示しても良い。

図7の事例では、100-150mの1、2番目のストロークが他と比べ大幅に遅れている(丸印)ことがわかる。この原因は、水中ビデオ映像と比較してみると、最初のストロークのみ水上に手が出ており、泡が多く発生していることから、それが低速の主な原因と推測される。その水中ビデオ映像を図8に示す。続く2番目のストロークは、STが長い。この1、2ストロークを他と同じレベルに改善したシミュレーション結果を図7*印で表示すると、基準マーカとほぼ同じ速度で泳いだことになり、0.36秒の短縮結果が得られた。

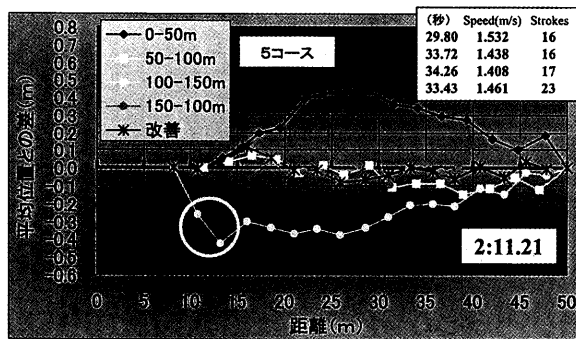


図7 平均速度との比較 (M200Br決勝)

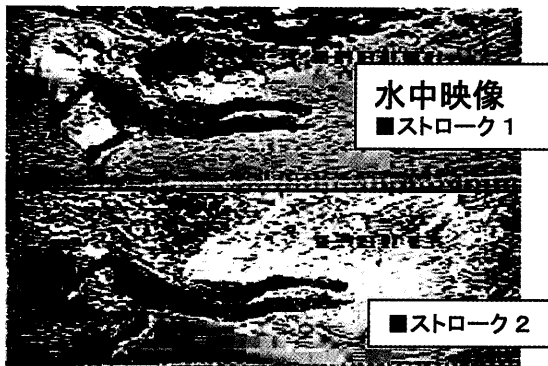


図8 水中映像での比較

5. まとめ

主に200m平泳ぎ決勝のデータを用いて、泳法分析を絶対値表示法と比較表示法に分け、それぞれの特徴を示し、目的別にそれぞれの活用法を示した。現場での目的に応じた表示法を選択することで、よりわかりやすく泳法分析が可能となることを示した。また、ペース配分分析から、一部のストローク速度が著しく低下したことがわかり、その原因は、水中ビデオ映像との比較から、手が水面に出てからプッシュしたためとわかった。

このように特異なストロークを見つけて、水上ビデオ

映像や水中ビデオ映像などの併用によって、より詳細な分析が可能であることがわかった。こうしたストロークという接点で、多角的な情報を複数の角度から検討できる機能を準備することは、分析法を進める上で有効であると期待される。

SSWは、オプション機能ではあるが、リアルタイム計測が可能であるので、泳ぎながら、あるいは泳ぎ終わってから直ちに表示できるので、トレーニング内容に合わせた表示法をあらかじめ準備することで、より効果的な活用が期待される。

本計測は、日本水泳連盟医科学宮下充正委員長、レース分析プロジェクトおよびヤマハ発動機(株)プール事業部 矢倉裕事業部長など多くの方々のご協力により実現した。心より感謝したい。

【参考文献】

- 1) 野村照夫(1996)：競泳のレース分析、体育の科学、Vol.46、7月号。
- 2) 生田泰志(2001)：Australian Institute of Sport研修動向 水泳水中運動科学 NO.4。