

2方向同時撮影による平泳ぎトップスイマーの タイミング動作の解明

愛知教育大学 合 屋 十四秋

(共同研究者) 中 京 大 学 鶴 峰 治

同 高 橋 繁 浩

Biomechanical Analysis of Elite and Selected Swimmers on Breaststroke Timing

by

Toshiaki Goya

Aichi University of Education

Department of Physical Education

Osamu Tsurumine, Shigehiro Takahashi

Chukyo University Faculty of Physical Education

ABSTRACT

With the change of the rules in the breaststroke style, the swimmer should be as streamlined as possible during the flat body position in the water. The current research on swimming has been improved with three-dimensional film data analysis procedure.

On this standpoints, present study was designed to investigate the breaststroke timing of the movement and breathing for the four swimming phases synchronized by two VTR analysis data from side view in the water and front view above the water.

The subjects of this study were Japanese Olympic swimmer in Seoul during 1988, four trained and four untrained swimmers. They were sprinted 25 ~ 50 m breaststroke with their maximum effort. Swimming form divided four phases were taken by a high speed

video camera (NAC HSV 400) operating at 200 fps and analyzed by a personal computer.

The results obtained were summarized as follows ;

1) The increased swimming velocity (SV) of top swimmer was accounted for by increased stroke length (SL) and decreased stroke rate (SR) than those of trained and untrained swimmers.

2) There were significant coefficient correlations between swimming velocity (SV) and the breathing time required during arm stroke recovery phase ($r = -.948$, $P < .001$).

3) In conclusion, the swimmer should be as streamlined as possible after immediate breathing during arm stroke recovery.

It was suggested that the streamlined flat body position was decrease the frontal and head on resistance, and increase the propulsive force (Lift) by using proper hands pitch and arms position.

要 約

平泳ぎの手足、体幹および呼吸のタイミング動作を指導実践的立場から把握するために、水中と水上からの2方向同時撮影によるバイオメカニクス的検討を行った。その結果、呼吸所要時間と泳速度との間には有意な負の相関がみられ、呼吸動作をすばやく行うことの重要性が確認された。

また、すばやい呼吸動作のあと、最も前面抵抗の少ないグライド姿勢をうまくとれるか否かが平泳ぎのパフォーマンスを大きく左右することがわかった。すなわち、体幹と水面とのなす角度はトップスイマーが顕著に少なく、熟練者、未熟練者の順となった。シンプルなグライド姿勢に至るまでの手足の協応動作がうまく調節されていることが前提と思われる。前面抵抗を少なくする単純な動作ではあるが、流体力学の原理の応用、実践の難しさを再確認させられるものである。一方、揚力を推進力に結びつける手のひらの權のような動きが観察され、このような推進力を映像解析と合わせて測定、定量化することが今後の課題とさ

れた。

ま え が き

動作分析の Limiting Factor として二次元的な撮影、解析があげられる。これは実際のスポーツ場面では複雑な三次元的な動きを行っていることが多いからである^{2,15}。特に、水という媒体を介して行われる運動では動作の記録がかなり制限される。さらに、被写体がカメラに対して並進運動することが非常に少ない。泳運動の動作の映像解析は一方向からのみの撮影だけでは実際の動きとのギャップがかなり生じやすい⁹。特に、腕のかきはジグザグプル⁹とかS字プル¹¹といわれるように三次元的なスカーリング動作をおこなっている phase がみられ、そのパフォーマンスの評価は複雑で困難である^{4,5,7}。

従来の研究では水面上と水中の情報が同時に分析された報告はほとんどみられない。したがって、コーチングや実践的な泳法指導の場面で、呼吸のタイミング動作や手足の協応動作の関連をバイオメカニクスの立場から論じた説明はな

い^{8,14,17)}. そこで本研究ではオリンピックスイマーの平泳ぎ水没泳法および異なる能力レベルの泳者の泳フォームを側面および正面の二方向から同時に撮影、分析することによって水中の手足の協応動作と水面上の呼吸のタイミング動作がどのように調整されているのかを明らかにしようとした。

1. 研究方法

被検者はソウルオリンピック出場選手1名、熟練者（大学水泳部員）4名、未熟練者（一般大学生）4名を抽出した。撮影にはNAC社製ハイス

ピードビデオ model 400 を使用し、水中側方と前方上方の2方向から同時撮影を行った。

水中側方は、被検者の左側方から約7m離れた水中窓を通して、前方上方は被検者の約6m前方から2.2mの高さより毎秒200コマで撮影した。それぞれの被検者に25～50m全力泳を水中デッドスタートにより行わせた。

また、その時のタイム、ストローク数を計測し、泳速度 (SV)、ストローク長 (SL)、ストローク時間 (ST)、ストローク頻度 (SR) を算出した。撮影されたVTR画面はNAC画像解析システムを用いて分析した。図1に1ストローク中の動作局

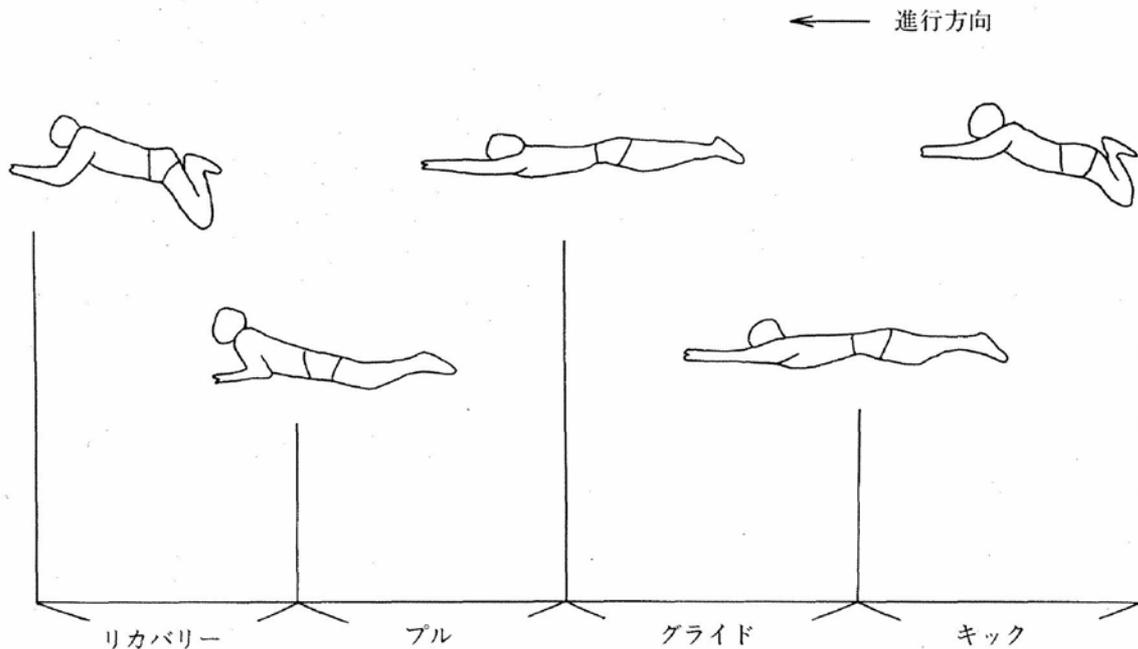


図1 1ストローク中の動作局面

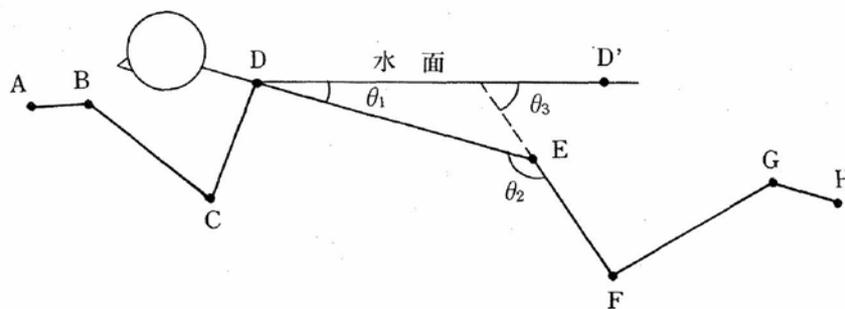


図2 分析上のポイントおよび角度

面を、図2に分析上のポイントおよび角度を示した。分析は主として手足の協応動作や、呼吸のタイミング動作を、①呼吸所要時間比率、②呼吸期の泳速度、③体幹、腰の角度変化と呼吸動作との関係により検討した。

2. 結果および考察

表1に各被検者のSV, SL, ST, SFの平均と標準偏差を示した。トップスイマーのSLは、熟練者および未熟練者に比べ顕著に大きな値を示した。宮下¹²⁾, Craigら³⁾は、1ストロークで進む距離の増加が水泳スピードを増大させる主たる要因であると報告している。本研究でもSVとSLとの間に有意な相関がみられた。

オリンピックスイマーは少ないストローク数と、1かき1けりで進む距離を長くすることによって大きな泳速度を得ており、SLの増大が泳スピードの向上につながることを示唆している¹⁾。いかえれば、水中でのストロークメカニクスを向上させることがパフォーマンスを左右するといっても過言ではない。

1かき1けりに要した時間を100%としたとき、各被検者のキック、グライド、プル、リカバリーの所要時間比率はトップスイマーがそれぞれ12.9%, 31.0%, 17.4%, 38.7%, 熟練者が16.8~24.9%, 6.0~7.5%, 17.8~25.3%, 44.4~57.9%, 未熟練者が14.9~20.1%, 22.3~29.5%, 20.1~21.6%, 33.6~42.5%であった。トップス

イマーは熟練者に比べグライド時間が長く、リカバリー時間は短かった。これはトップスイマーが頭を水中に沈めながらグライドをし、すばやいリカバリーをしているためと考えられる。

1ストローク中における呼吸所要時間(泳者の口が水面上に出て再び水面下に入るまで)はトップスイマーが0.25 sec, 熟練者が0.19 ± 0.03 sec, 未熟練者が0.41 ± 0.06 secであった。呼吸所要時間比率(呼吸所要時間/1ストローク時間×100)はトップスイマーが16.1%, 熟練者が19.3 ± 0.03%, 未熟練者が29.9 ± 0.08%とトップスイマーが最も小さな値を示した。また、呼吸所要時間と泳速度との間には高い負の相関がみられた($r = -.948$, $P < .001$, $N = 10$) (表2)。

トップスイマーおよび熟練者の値が小さいのは、呼吸のため頭の上下動が必要最低限にとどめられており、前面抵抗を少なくするような無駄の無い動作の結果と考えられる。また、呼吸所要時間と泳速度との間に有意な負の相関がみられたことから、1ストローク中における呼吸所要時間の短縮が泳者の泳速度を大きくするひとつの要因であると考えられる。

表3に1ストロークを呼吸期と呼吸期外とに分けた時の大転子点の平均泳速度を示した。呼吸期外の平均泳速度はトップスイマー、熟練者、未熟練者の順であったが、呼吸期の泳速度には一定の傾向はみられなかった。

平泳ぎでは泳速度が最も大きくなるのは腕のか

表1 SV, SL, ST, SFの平均と標準偏差

Item Subj.	SV (m/s)	SL (m)	ST (sec)	SF (times/sec)
S. T	1.33	2.06	1.55	0.65
Trained \bar{X} ±SD	1.31 0.03	1.29 0.12	0.99 0.10	1.03 0.11
Untrain \bar{X} ±SD	0.84 0.21	1.20 0.35	1.42 0.20	0.71 0.12

表2 呼吸所要時間と泳速度、ストローク長、ストローク時間およびストローク頻度との相関係数

項目	時間 呼吸所要時間
泳速度	-0.948***
ストローク長	-0.420
ストローク時間	-0.606*
ストローク頻度	-0.630*

n=10 ***: P<0.001 *P<0.05

表3 呼吸期と呼吸期外における大転子点の平均泳速度 (m/秒)

被検者	速度	泳速度	呼吸期の平均泳速度	呼吸期外の平均泳速度
トップスイマー		1.328	0.752	1.438
熟練者	A	1.319	1.300	1.322
	B	1.256	0.855	1.360
	C	1.314	1.300	1.318
未熟練者	D	0.934	0.748	1.004
	E	0.999	0.994	1.000
	F	1.094	0.883	1.161

表4 体幹の水平角度、腰角度の最大値および最小値

被検者	角度	体幹の水平角度 (θ_1)		腰 角 度 (θ_2)	
		最大値 (度)	最小値 (度)	最大値 (度)	最小値 (度)
トップスイマー		25.8	2.3	195.8	139.5
熟練者	A	25.9	8.2	189.4	130.5
	B	27.2	9.2	194.2	137.8
	C	28.9	8.3	195.9	136.4
未熟練者	D	28.8	11.0	190.5	118.9
	E	26.9	10.5	190.8	107.6
	F	30.2	5.9	198.3	116.1

きが身体の内側をかくときに生ずる¹⁰⁾。それに対して、脚のリカバリー期にはかなり多くの抵抗を受けるため、必然的に泳速度が低下する。したがって、呼吸期が脚のリカバリー期とほぼ同じ時期にあたるため泳速度の低下がみられる。トップスイマーでは熟練者および未熟練者よりも低い値を示したが、これは呼吸所要時間比率が熟練者および未熟練者よりも小さいことから呼吸期の泳速度の低下の度合はあまり大きくないことが推察された。

進行方向に対する各被検者の体幹の水平角度および腰角度を表4に示した。体幹の水平角度の最大値はトップスイマー、熟練者、および未熟練者ともほとんど変化はみられなかった。しかし、最

小値はトップスイマーが2.3度、熟練者が8.2～9.2度、未熟練者が5.9～11.0とトップスイマーが最も小さな値を示した。

腰の角度では、トップスイマーの範囲が最も小さく、未熟練者の範囲が最も大きかった。図3は体幹と大腿をスティック像であらわしたものである。

トップスイマーは他の泳者に比べて前方へグライドするときの姿勢が水面とほぼ平行になっていた。平泳ぎではキック動作の後、最も抵抗の少ないグライドの姿勢をとり、泳速度の遞減をいかに防げるかが運動成果に大きな影響を与えると考えられる。したがって、グライド姿勢をとったときの体幹の水平角度が最も小さいことが、キックに

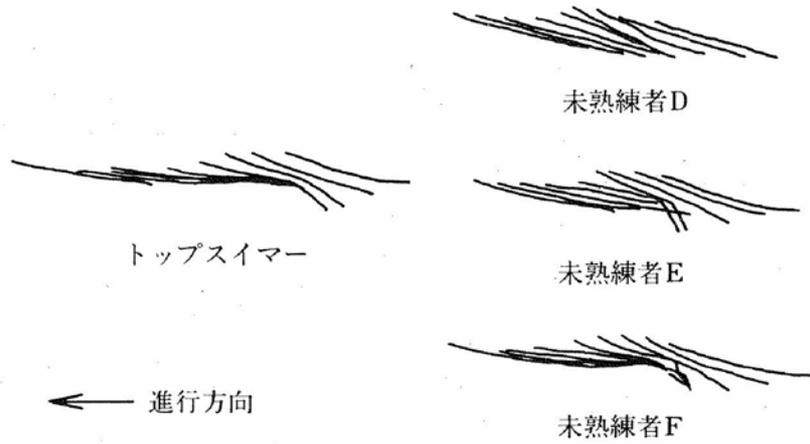


図3 18 / 100 秒ごとの体幹-大腿のスティック像

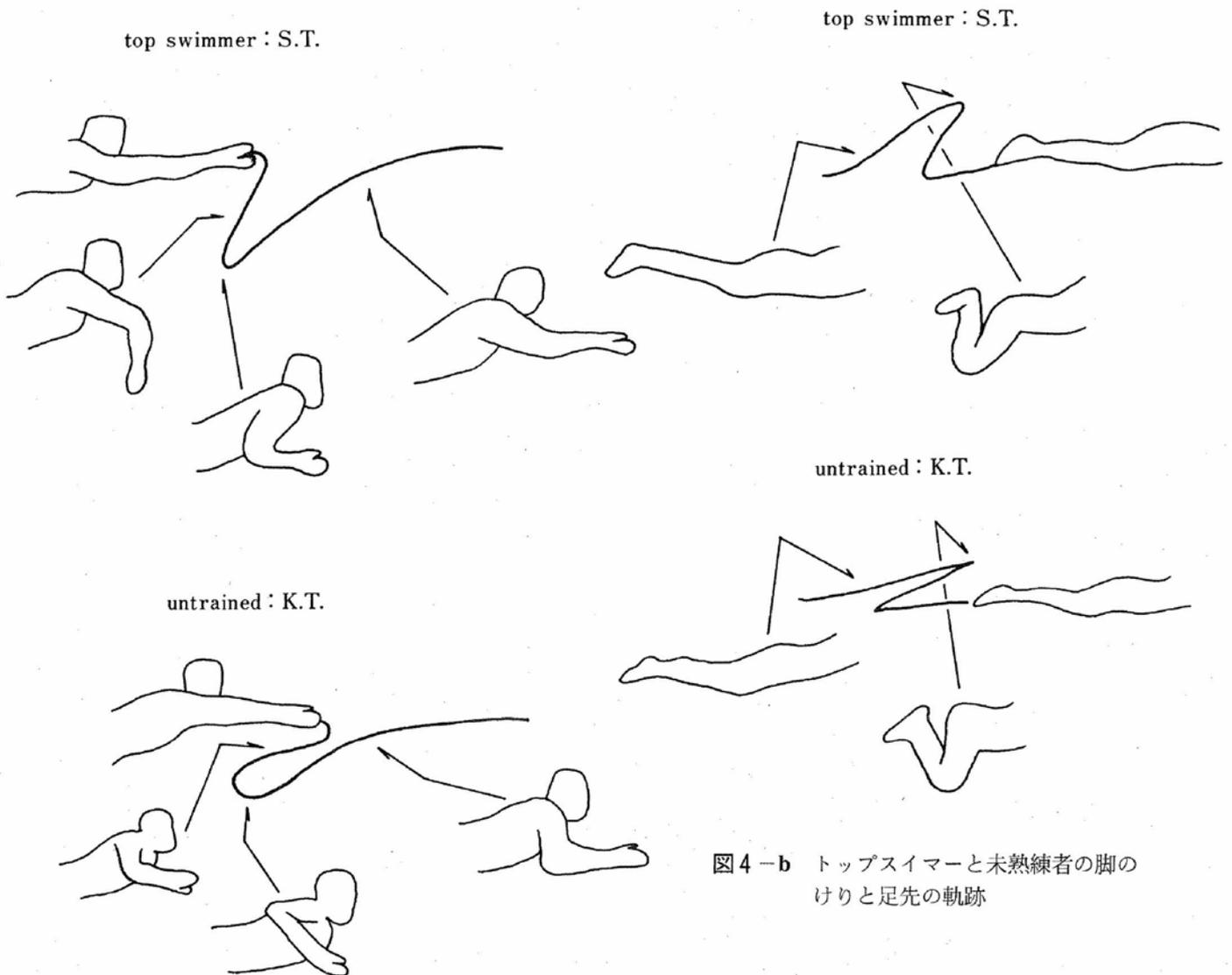


図4-a トップスイマーと未熟練者の腕のかきと手先の軌跡

図4-b トップスイマーと未熟練者の足のけりと足先の軌跡

よって得られた泳速度を減少させないことになる (図3, 表4). 同様に, 脚のリカバリー時には大腿の前面抵抗を極力少なくする必要がある. すな

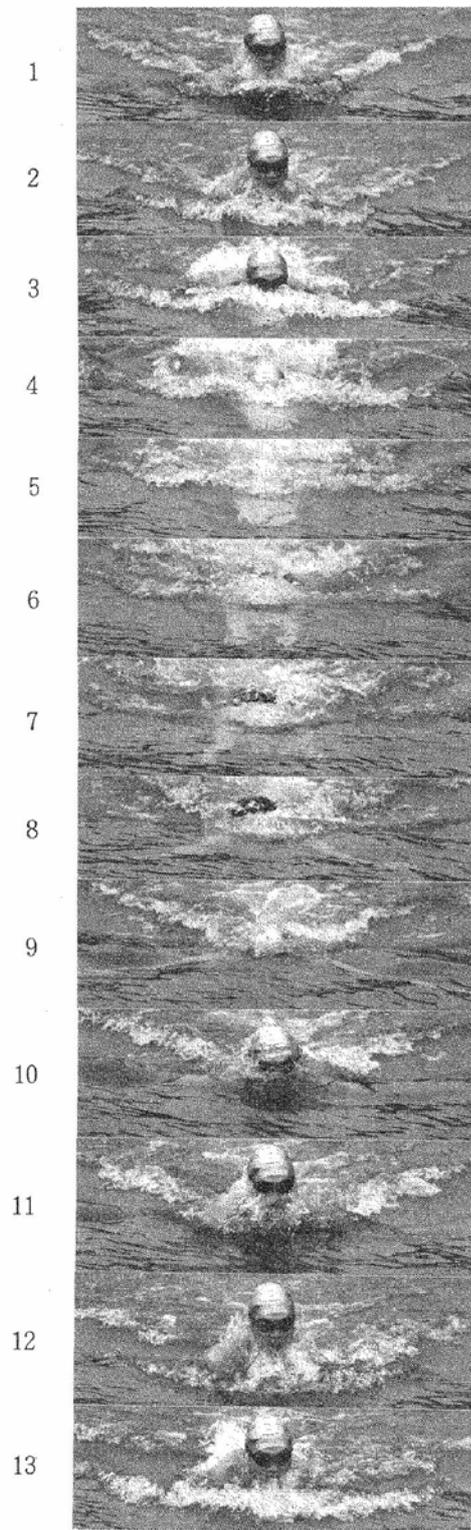
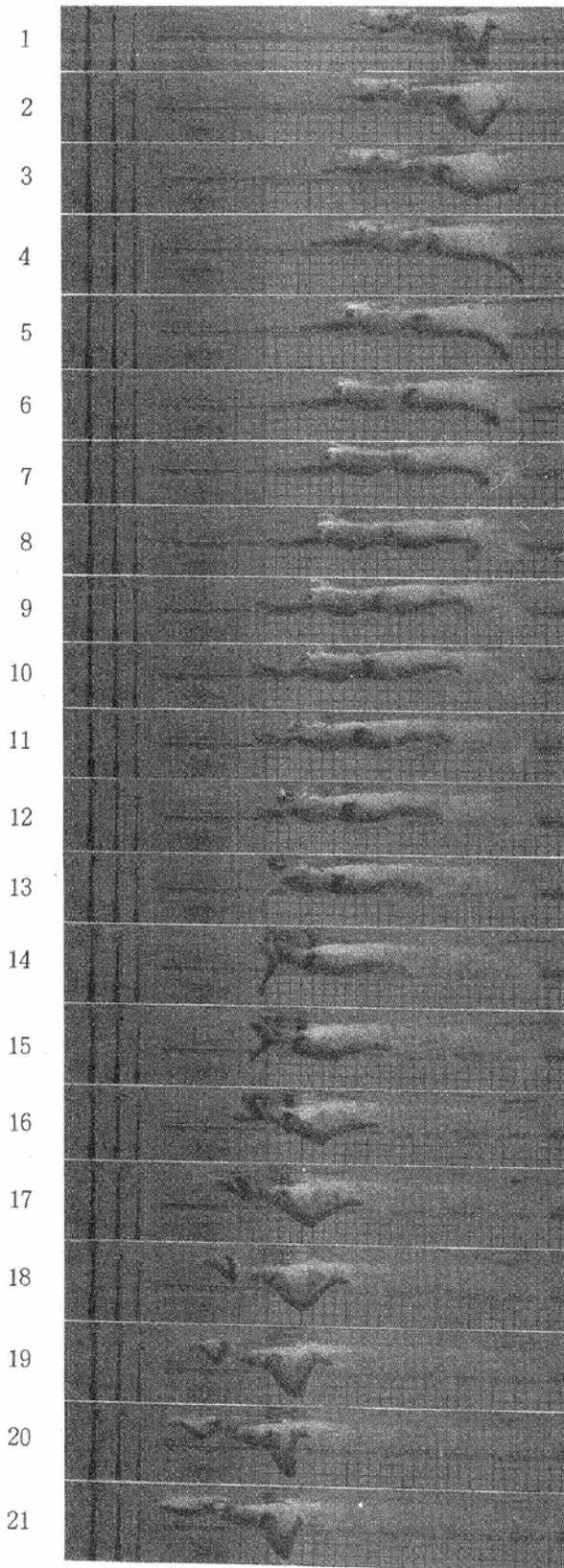


図5-a トップスイマーS. T. の泳フォーム (側面)

100 m 1'03"80

側方モータードライブ

1) 14コマ/秒

4) レンズ：f= 50 mm

図5-b トップスイマーS. T. の泳フォーム (正面)

200 m 2'17"69

2) シャッター：1/1000秒

3) 露出：1.4

5) カメラ キヤノンF1 High Speed

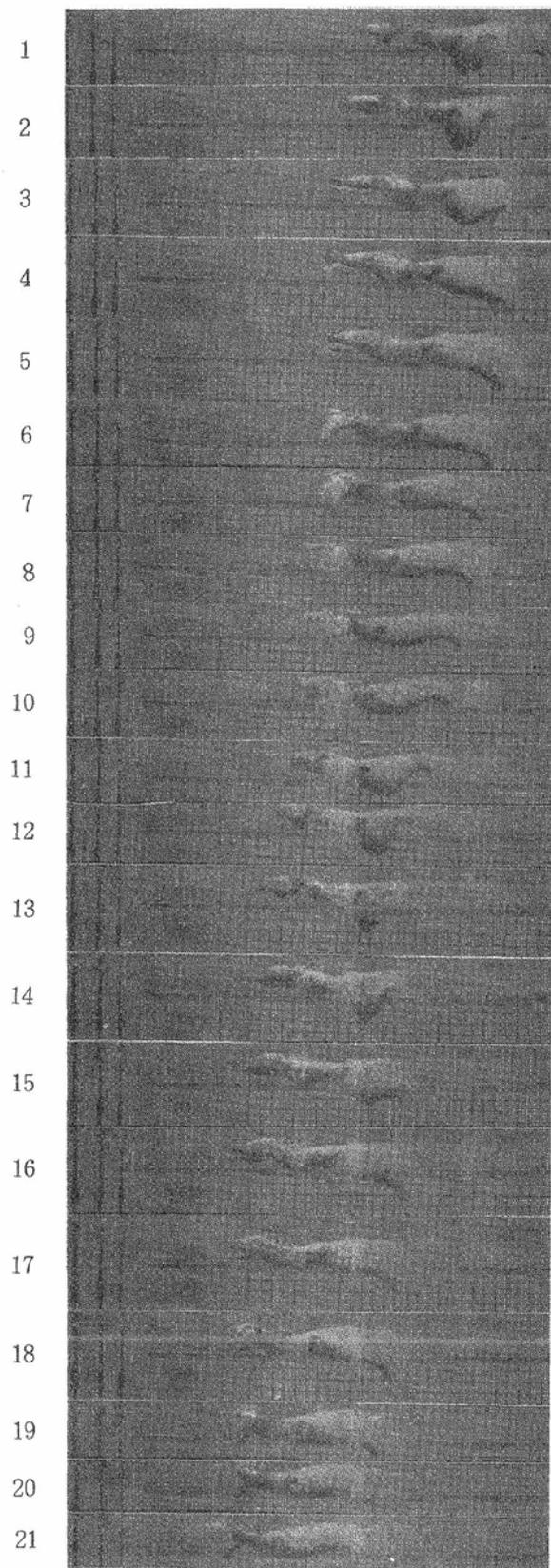


図6-a 熟練者 T. H. の泳フォーム (側面)
100 m 1'08"81

正面モータードライブ

1) 9コマ/秒

4) レンズ: $f=200\text{ mm}$

2) シャッター: $1/1000\text{ 秒}$

5) カメラ キヤノン F1

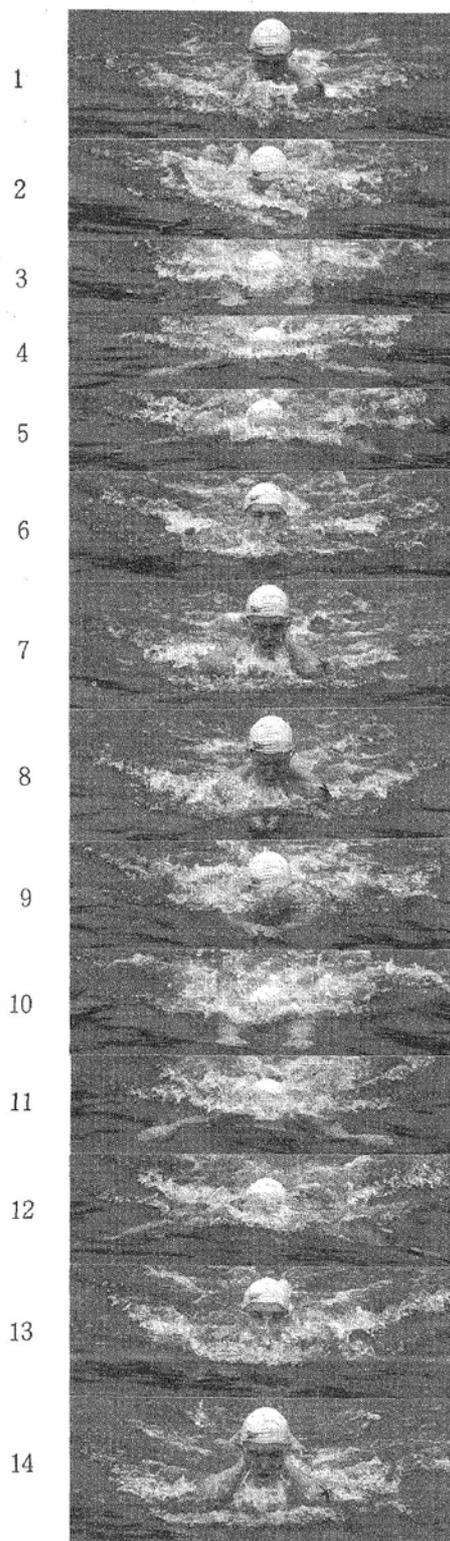


図6-b 熟練者 T. H. の泳フォーム (正面)
200 m 2'27"55

3) 露出: オート

わち、体幹と大腿のなす角度が大きい方が前面抵抗の少ないフォームとなる(表4)。

図4-a, 図4-bはトップスイマーと未熟練者の腕のかきと脚のけりおよび手先, 足先の軌跡を示したものである。腕のかきのハイエルポーと大きな抗力が得られるような後方への脚のけりがトップスイマーにはみられた。

平泳ぎの手足のタイミング動作は, 初心者や未熟練者では腕のかきと脚のけりが同じ時期に行われやすいが, 熟練者やトップスイマーなどは最初に腕のかきが始まり, 次にやや遅れて脚のひきつけが行われる^{6,17)}。図5-a, b, 図6-a, bはオリンピック選手S. T., 熟練者T. H. の正面および側方から35 mm motor driven cameraで撮影した泳フォームである。熟練者T. H. にはほとんどグライド姿勢が見られなかったが(図6-a 4~5, 16~17と図6-b 2~3, 9~10), トップスイマーでは水没しながらのグライド姿勢が顕著であり(図5-a 4~10, 図5-b 3~7), 他の熟練者にもみられない特徴のひとつでもある。また, それにともなった手のひらの權のような動き(図5-a 9~11)がみられ, この動作が大きな揚力²⁾を生み出す要因であると考えられた。

水泳中の推進力の要素は抗力(Drag)と揚力(Lift)に分けられるが^{16,15)}, グライド姿勢を保っているときの手のひらの水の押さえによる推進力の発生は宮畑³⁾の指摘するグライダー滑空の原理に見いだすことができる。このような動きにともなう抗力と揚力の発生メカニズムは今後の課題として次のようなことが解明されなければならない。

1) 水中前方, 後方, 下方などからの映像解析,
2) 圧力センサーなどによる推進力の力学量の測定, 3) ゴニオグラムによる四肢関節運動の記録, 定量化などを挙げることができよう。これらの問題を解決することによって, 水泳の指導やコーチ

ングにおける経験やカンの科学的裏付けへのアプローチが期待される。

ま と め

平泳ぎの手足, 体幹および呼吸のタイミング動作を指導実践的立場から把握するために, 水中と水上からの2方向同時撮影によるバイオメカニクスの検討を行った。結果は以下の通りであった。

1) オリンピックスイマーは少ないストローク数と, 1かき1けりで進む距離を長くすることによって大きな泳速度を得ていた。

2) 呼吸所要時間と泳速度との間には有意な負の相関がみられ, 呼吸動作をすばやく行うことの重要性が確認された。

3) すばやい呼吸動作のあと, 最も前面抵抗の少ないグライド姿勢をうまくとれるか否かが平泳ぎのパフォーマンスを大きく左右することがわかった。

4) 揚力を推進力に結びつける手のひらの權のような動きが観察され, このような推進力を映像解析と合わせて測定, 定量化することが今後の課題とされた。

文 献

- 1) Bober. T., B. Czabanski; Changes in breaststroke techniques under different speed condition, In J. P. Clarys and Lewillie. L (Eds.), Swimming II, University Park Press Baltimore, 188-193 (1975)
- 2) Barthels. K. M., M. J. Adrian; Three-dimensional spacial hand patterns of skilled butterfly swimmers, In J. P. Clarys and Lewillie. L (Eds.), Swimming II, University Park Press Baltimore, 154-160 (1975)
- 3) Craig A. B. Jr, P. L. Skehan, J. A. Pawelczyk, W. L. Boomer; Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. Medicine and Science in Sports and Exercise, (17) 6, 625-634 (1985)
- 4) Czabanski. B.; Asymmetry of the lower limbs in breaststroke swimming, In J. P. Clarys and Lewillie. L (Eds.), Swimming

- II, University Park Press Baltimore 207-213 (1975)
- 5) Czabanski, B, T. Koszyczyc; Relationship between stroke asymmetry and speed of breast stroke swimming, In J. Terauds and Bedingfield W (Eds.), Swimming III, University Park Press Baltimore, 148-152 (1979)
 - 6) 合屋十四秋, 天野義裕, 鶴峰 治; 水中ゴニオグラムおよびシネマトグラフィーからみた平泳ぎの協応動作, 第8回バイオメカニクス学会大会編, 動きのコツを探る, 60-65 (1987)
 - 7) 合屋十四秋; 水中エレクトロゴニオメータによるクロール泳のプル動作の解明, 第7回バイオメカニクス学会大会論集, 174-180 (1984)
 - 8) Homer, I.; Efficiency of breaststroke and free style swimming, In J. P. Clarys and Lewillie, L (Eds.), Swimming II, University Park Press Baltimore, 130-136 (1975)
 - 9) 松井敦典, 小林一敏; クロール泳法のアームプルについての力学的考察, 東京体育学研究(9), 15-20 (1982)
 - 10) E. W. Maglischo; Swimming faster, 129-157, Mayfield publishing co. (1982)
 - 11) 宮下充正, 波多野勲, 林 裕三; 現代スポーツコーチ全集, 競泳のコーチング, 224 (1973)
 - 12) Miyashita, M.; Arm action in the crawl stroke, In J. P. Clarys and Lewillie, L (Eds.), Swimming II, University Park Press Baltimore, 167-173 (1975)
 - 13) 宮畑虎彦; 新しいクロール, 不昧堂, 19-25 (1972)
 - 14) Persyn, U. J. J, R. G. C. Hoeven, D. J. Daly; An evaluation procedure for competitive swimmers, In J. Terauds and Bedingfield, W (Eds.), Swimming III, University Park Press Baltimore, 182-195 (1979)
 - 15) Schleihauf, R. E.; A hydrodynamic analysis of swimming propulsion, In J. Terauds and Bedingfield, W. D. (Eds.), Swimming III, University Park Press Baltimore, 70-109 (1979)
 - 16) 田口正公; ミニコンピュータ動体解析システム導入による平泳ぎの協応動作の分析的研究, 福岡大学体育学研究, 21 (1), 181-192 (1980)
 - 17) 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)