

昭和50年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IV 泳法の分析的研究

- その 1 水泳記録向上の要因と研究経過
- その 2 人体水抵抗に関する研究
- その 3 コンピューターによる自由形選手の泳法分析
—アメリカ、日本のトップスイマーの分析—
- その 4 水泳運動の基礎的研究
—幼小児期におけるバタ足運動の筋電図的研究—
- その 5 泳法の体力因子に関する研究
—水泳選手の体力の縦断的研究—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和50年度日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IV 泳法の分析的研究

報告者	スポーツ科学委員会 泳法の分析的研究班			
班長	宮下 充正 ¹⁾			
班員	岡本 恒 ¹⁾	菊地 邦雄 ²⁾	小林 寛伊 ¹⁾	
	田口 正公 ³⁾	徳山 広 ⁴⁾	鈴木 巳 ¹⁾	
	増永 公明 ¹⁾			

報告その1 水泳記録向上の要因と研究経過

班長 宮下 充正 (東京大学)

1976年、モントリオール・オリンピックにおいて、日本選手はいくつかの日本記録の更新にもかかわらず、1名の入賞者も無かった。この理由について、特に戦前の日本選手の活躍との対比で、いろいろと論評がなされている。また、米国の男子選手、東独の女子選手による世界記録の更新も、記録はどこまで伸びるのかといった形の質問となって論議されている。

ここで、時代とともに水泳記録が向上する理由なるものを考えてみる必要がある。記録の向上は、勿論記録を生み出すそれぞれの選手個人の体力と泳ぐ技術に直接的には因ることは確かである。しかし、最近のプール建設技術の開発による、泳ぎやすいプールという形での記録向上への間接的影響も見逃せないところであろう。

選手個人の体力と泳ぐ技術とともに、素質といわれる遺伝的な制約を受けるが、このうち泳ぐ技術の多くは個体発生的なものであり、練習によって改善される余地は大きい。いずれにしろ、体力向上のトレーニングと技術向上の練習とにおける量と質の増大が、好結果をもたらしていることは間違いない。米国のあるコーチに、何故米国選手の記録は伸び続けるのかという質問をしたところ、非常に簡単明瞭な答えが返ってきた。それ

は、オーストラリア選手が1日10,000m泳いで成功すれば、米国選手は12,000mを泳ぎ、東独選手が15,000m泳げば、米国選手はそれ以上泳ぐといった努力の結果であるというものであった。今日、東独の一流選手は1時間30分の練習を1日4回消化しているということである。

このように質・量ともに増大した水泳トレーニングないし練習は、さらに3つの要因によって支えられているといえよう。

第1は、第二次大戦後の水泳施設の増加及び改良であって、水泳施設が住居ないし学校の近くにあるということは、遠くにあった時に比べ、移動する時間が短縮され、その分だけ泳ぐ時間に向けることができるようになったと言えよう。東独の一流選手は住居、学校、プールが一体となったところで生活しているという。また、我が国においても、尾道高校水泳部は、学校の敷地内に合宿所とプールを有し、モントリオール・オリンピック代表の男子選手全員が卒業生ないし在校生という結果を生んでいる。

さらに、プールが温水になったという改良の方向は、特に寒い気候の諸国では、飛躍的な水泳時間の延長をもたらしている。しかしながら、米国の各大学はかならず室内プールを有しているというのに比較して、我が国における事情はきわめて劣り、室内プールを有する大学は2、3を数える

脚注 1) 東京大学 2) 広島大学 3) 福岡大学
4) 大阪教育大学

に過ぎない。

第2は、食糧事情の改善であって、相当量の水泳練習に耐え得るだけの食事が補給されるようになったことが上げられる。終戦直後、古橋選手がイモを食べて練習したという時代に比べれば、今日は非常に恵まれた環境と言えよう。

第3は、練習の質に関係する練習法の改善が上げられる。これは、コーチの経験が積まれたこと、またスポーツ科学の研究成果が応用され始めたこと等によるといえよう。前者については、米国において最も充実しているといえる。米国では、コーチ相互が、コーチ・クリニックや雑誌によって、情報を交換することが盛んに行われている。後者については、東独におけるスポーツ科学者とコーチの表裏一体なる協力体制が指摘されている通りである。

以上の他に、先きにやや触れたように、選手それぞれの素質の問題がある。これは、素質のある者を探し出す、ないし、素質のある者の参加人口を増やすシステムが必須な条件となる。この点に関しては、社会学的な問題となるので、ここでは深く触れないでおこう。

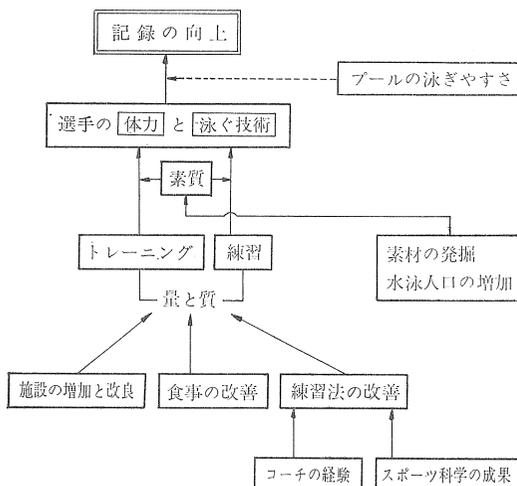
とにかく、時代とともに記録が向上する理由を考えると、実にさまざまな要因がからみ合っていることがわかる。そして、それらの要因のいずれが最も強く働いて、米国や東独の選手のモンテリオール・オリンピックでの活躍となったの

か、また、いずれの要因の欠如によって、日本選手が入賞を果せなかったのか等、具体的な問に対しては、明確な答えは出来ないが、およその推定が可能ではなかろうか。

ところで、記録向上の一つの支えとなるであろうスポーツ科学専門委員会は、1975年度の研究プロジェクトチームの1つとして、泳法の分析チームを結成した。ここでの研究の主題は、勿論何が最も良い泳法なのかという問に解答をあたえることであった。したがって、研究の主力は優秀選手の泳ぎをフィルムに収め、分析することに置いたが、先きに述べたように、そのような泳ぎが完成されるまでには、さまざまな要因が背後にあるわけであって、完成された泳ぎの結果だけを真似したところで、かならずしもそれぞれの選手の身につくものではない。そして、スポーツ科学の研究はいくつかの方向から、またいくつかの拠点から連続的に続けられなければならない。このような配慮の下に、東京以外にも、九州、広島、大阪等の研究者に依頼し、水泳に対する興味をさらに深めてもらうと同時に、それぞれ独自の立場からの研究を実施してもらうことにしたわけである。

幸いにも、日本水泳連盟の役員、コーチ、選手及び1975年来日の米国のコーチ、選手の方々の協力を得て、1975年の研究は一応まとめることができた。その中でも、函館製網船具株式会社の方々には、回流水槽の利用に際し、絶大なる援助を得、世界のトップ・スイマーの泳法を高速フィルムに収めることに成功した。記録されたフィルムは直ちに編集し、すでに昨年から機会あるごとに、日本の水泳関係者に観察してもらい、実に良い刺戟となったものと信じている。

今回、報告書としてまとめたものは、これら研究成果の一部であって、まだ未整理のものもある。したがって、近い将来にその後の分析結果及び新しい研究成果を報告したいと考えている。日本水泳界のさらなる発展の一助ともなるならば幸いである。



報告その 2 人体水抵抗に関する研究

角 田 俊 幸 小 島 武 次 宮 下 充 正
(東京大学教育学部)

岡 本 恒 増 永 公 明
(東京大学工学部)

一定速度で泳ぐ者は水による抵抗に等しい推進力を発揮している。従って、人体の受ける抵抗を測定することは水泳の動作や泳者のパフォーマンスの分析に欠かすことのできないものである。

本研究は人体に加わる水抵抗をいくつかの水泳速度において測定し、抵抗と速度との関係を明らかにし、また抵抗を生み出すいくつかの要因について流体力学を援用しつつ考察したものである。

— 方 法 —

抵抗を測定するために泳者を牽引する機器が従来用いられてきたが、本研究では回流水槽(図1)を用いた。すなわち、水を一定速度で回流させ、水槽の縁に固定したロープに被検者をつかまらせ、そのロープの張力を測定した。ロープの張力は50kgまで測定可能なロードセルを通してペン書きオシログラフで記録した。

回流水槽は函館にある函館製網船具株式会社の研究用のもので、測定部分内寸法が長さ8m、幅3m、水深1.2mで、水流速度は2.5 m/sec まで

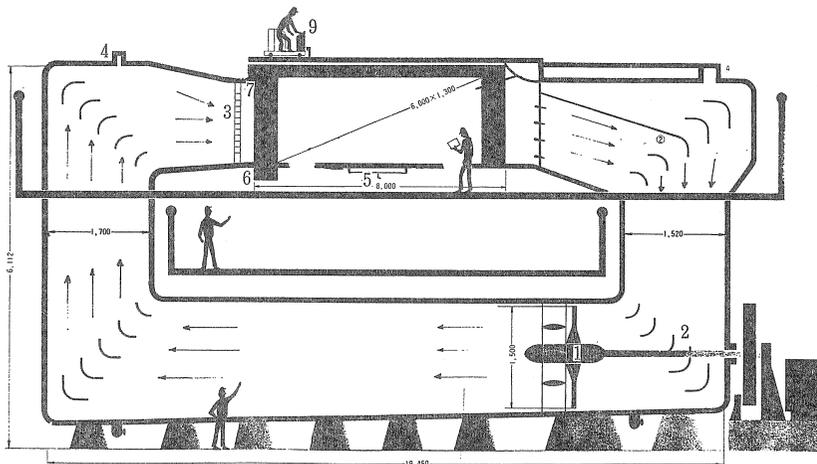
自由に変えられるようになっている。

被検者は男子12名、女子8名であった。その内訳は男子が10歳から38歳までの中程度鍛練者6名、16歳から24歳までの全日本レベル4名、19歳と20歳の世界のトップクラスのアメリカ人2名で、女子が9歳から13歳までの中程度鍛練者5名、及び17歳から18歳までの全日本レベル3名であった。

測定は伏臥頭部水中姿勢及び伏臥頭部水上姿勢のふたつについて行った。伏臥頭部水中姿勢はうつぶせで、顔をさげ、手脚を伸ばし、頭部が水中にある姿勢である。伏臥頭部水上姿勢は顔をあげ、口のあたりで水を切るように頭部を水上に出した姿勢である。これらの姿勢に対して、0.4から1.8 m/sec まで0.2 m/sec ごとに5速度あるいは6速度について抵抗を測定した。また、体表面積を知るために身長、体重の測定も行った。

着衣は普通の競泳用の水着だけである。

測定は1975年7月30日、9月1日及び2日であった。



1. 送流インペラー
2. ガイドベイン
3. 整流格子
4. 真空ポンプ
5. 底部観測窓
6. 底附近加速ローター
7. 水面加速ローター
8. 消波装置
9. 観測ブリッジ

図1 回流水槽

表1 人体水抵抗の測定値〔伏臥姿勢〕 (1)

氏名	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m ²)	流速 (m/sec)	抵抗 (kg)	
					頭部水中姿勢	頭部水上姿勢
坂井 敦 男 10 歳 (A. S.)	130.0	27.0	1.00	0.4	0.340	2.312
				0.6	0.918	2.890
				0.8	1.496	3.230
				1.0	2.040	4.046
				1.2	2.550	4.845
亀谷 千代和 男 17 歳 (C. K.)	170.4	63.0	1.75	0.6	1.275	3.638
				0.8	1.870	4.437
				1.0	2.805	5.610
				1.2	4.420	6.766
				1.4	4.590	8.585
1.6	5.950	9.894				
野村 俊一 男 18 歳 (S. N.)	169.3	86.0	1.98	0.6	1.020	3.757
				0.8	1.377	5.219
				1.0	2.040	6.732
				1.2	3.077	8.449
				1.4	4.930	11.050
1.6	5.100	12.410				
高沢 隆 男 32 歳 (T. T.)	168.9	61.5	1.72	0.8	1.564	
				1.0	2.125	
				1.2	2.975	
				1.4	4.165	
				1.6	5.525	
阪田 浩司 男 35 歳 (K. S.)	170.0	62.0	1.73	0.8	1.122	
				1.0	2.040	
				1.2	2.720	
				1.4	4.199	
				1.6	5.525	
宮下 充正 男 38 歳 (M. M.)	163.4	67.5	1.75	0.8	1.445	
				1.0	2.244	
				1.2	3.400	
				1.4	4.250	
				1.6	6.749	
川上 武彦 [*] 男 16 歳 (T. K.)	176.0	69.8	1.87	0.8	2.003	3.721
				1.0	2.147	3.429
				1.2	3.434	4.179
				1.4	4.150	5.638
				1.6	6.440	7.928
新屋 千城 [*] 男 17 歳 (C. S.)	174.7	64.0	1.79	0.8	2.003	3.148
				1.0	3.835	5.724
				1.2	5.438	6.440
				1.4	7.384	8.872
				1.6	7.814	11.591
泉 真也 [*] 男 17 歳 (S. I.)	177.2	64.0	1.81	0.8	2.416	3.864
				1.0	3.377	6.440
				1.2	4.465	8.014
				1.4	5.667	10.675
				1.6	7.613	12.850
1.8	8.243	14.0453				
田口 信教 [*] 男 24 歳 (N. T.)	173.1	68.6	1.83	0.8	1.631	3.864
				1.0	2.347	4.179
				1.2	3.034	5.237
				1.4	4.121	5.581
				1.6	4.980	8.357

* 印は全日本レベルの日本選手

人体水抵抗の測定値〔伏伏姿勢〕 (2)

氏名	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m ²)	流速 (m/sec)	抵抗 (kg)	
					頭部水中姿勢	頭部水上姿勢
J. Naber** 男 19 歳	196.6	85.0	2.20	0.8	1.000	1.724
				1.0	1.771	2.857
				1.2	2.457	6.428
				1.4	4.057	6.628
				1.6	5.400	8.857
				1.8	7.657	11.657
J. Montgomery** 男 20 歳	193.4	88.5	2.21	0.8	2.000	1.742
				1.0	2.914	4.171
				1.2	3.428	5.400
				1.4	4.860	7.342
				1.6	6.885	9.428
				1.8	9.400	11.342
門脇 妙子 女 9 歳 (T. K.)	137.5	29.0	1.05	0.4	0.051	0.765
				0.6	0.340	1.530
				0.8	0.748	2.040
				1.0	1.530	3.916
				1.2	2.380	4.216
中島 美智恵 女 11 歳 (M. N.)	147.2	40.0	1.26	0.4	0.085	0.510
				0.6	0.374	1.275
				0.8	0.765	2.448
				1.0	1.292	3.094
				1.2	2.040	4.743
				1.4	2.754	5.814
松下 由美子 女 11 歳 (Y. M.)	144.7	43.0	1.28	0.4	0.340	1.105
				0.6	0.510	2.210
				0.8	0.918	3.026
				1.0	1.615	4.981
				1.2	2.295	6.018
大浜 則子 女 12 歳 (N. O.)	155.8	40.5	1.32	0.4	0.408	1.700
				0.6	0.510	1.445
				0.8	1.071	2.550
				1.0	1.785	3.876
				1.2	2.227	4.335
小向 千香子 女 13 歳 (C. K.)	157.3	58.5	1.55	0.6	0.510	1.870
				0.8	0.867	2.550
				1.0	1.700	4.670
				1.2	2.550	5.950
初田 恭江* 女 17 歳 (Y. H.)	159.9	47.7	1.44	0.6	0.916	2.032
				0.8	1.259	2.776
				1.0	2.003	3.950
				1.2	2.290	5.438
				1.4	3.263	8.071
坂野 邦子* 女 17 歳 (K. B.)	165.6	56.4	1.59	0.6	1.116	2.748
				0.8	1.717	3.978
				1.0	2.776	5.409
				1.2	2.948	7.098
				1.4	3.721	8.014
大沢 元子* 女 18 歳 (M. O.)	161.4	55.5	1.55	0.6	1.517	3.578
				0.8	2.576	4.436
				1.0	3.434	5.867
				1.2	4.035	7.813
				1.4	5.438	9.158

* 印は全日本レベルの日本選手, ** 印はアメリカ選手

(1) 抵抗と流速との関係

被検者全員の測定結果は表1の通りである。これらの結果の中から、代表的な例を図2, 3, 4に示した。伏臥頭部水中、頭部水上の両姿勢ともに流速が増すにつれて抵抗も増している。両姿勢の抵抗の変化はおおよそ並行している。男子については、流速 0.8 m/sec において頭部水上姿勢の抵抗の方が頭部水中姿勢のそれよりも約 2 kg 大きく、流速 1.4 m/sec においては2乃至5 kg大きい。女子については、流速 0.6 m/sec におい

表2 日本選手の抵抗の Range

流 速 (m/sec)		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
男	伏臥頭部水中姿勢 (kg)		0.36 (3)	1.29 (10)	1.80 (10)	2.89 (10)	3.26 (9)	2.83 (9)
	伏臥頭部水上姿勢 (kg)		0.87 (3)	2.07 (7)	3.30 (7)	4.27 (7)	5.47 (6)	4.92 (6)
女	伏臥頭部水中姿勢 (kg)	0.36 (4)	1.18 (8)	1.83 (8)	2.14 (8)	2.00 (8)	2.68 (4)	
	伏臥頭部水上姿勢 (kg)	1.19 (4)	2.30 (8)	2.40 (8)	2.77 (8)	3.60 (8)	3.34 (4)	

括弧内は被検者数

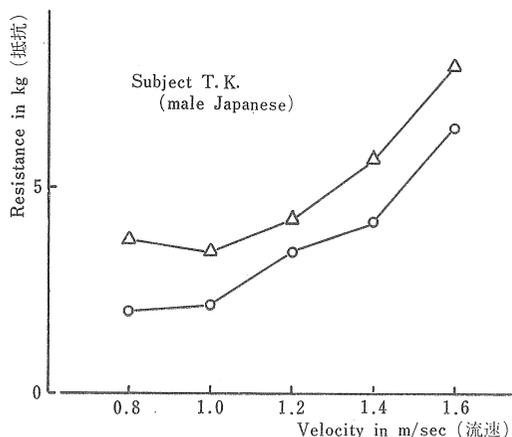


Figure 2. Relation between Resistance and Velocity, in Prone Position.

○: with the head held Under Water.
△: with the head held Above the Water.

図 2. 抵抗と流速との関係 (日本人男子T.K.)

○: 伏臥頭部水中姿勢
△: 伏臥頭部水上姿勢

て頭部水上姿勢の抵抗の方が1乃至2 kg大きく、流速 1.2 m/sec においては2乃至4 kg大きい。

(2) 抵抗値の個人差について

抵抗の測定値にはかなりの個人差がみられた。表2に抵抗のばらつきの範囲 (range) を示したが、頭部水中姿勢の方が頭部水上姿勢より range

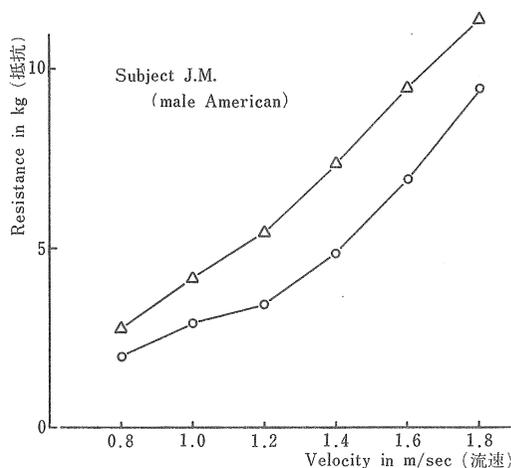


Figure 3. Relation between Resistance and Velocity, in Prone Position.

○: with the head held Under water.

△: with the head held Above the Water.

図 3. 抵抗と流速との関係 (アメリカ人男子J.M.)

○: 伏臥頭部水中姿勢
△: 伏臥頭部水上姿勢

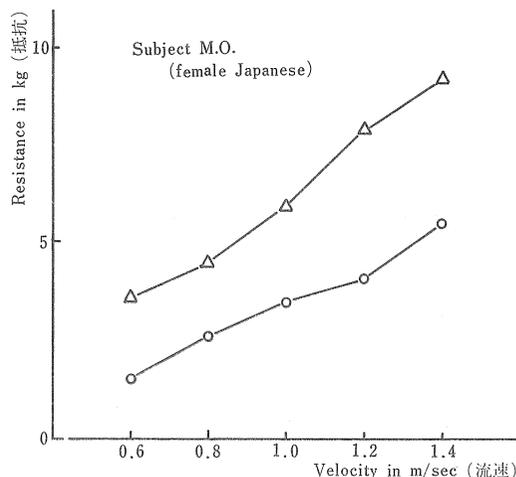


Figure 4. Relation between Resistance and Velocity, in Prone Position.

○: with the head held Under water.

△: with the head held Above the Water.

図 4. 抵抗と流速との関係 (日本人女子M.O.)

○: 伏臥頭部水中姿勢
△: 伏臥頭部水上姿勢

はせまい。また両姿勢の range はともに流速が増すにつれて、広がっている。これは男子、女子の両方について言える。

個人差を生みだす要因として、体表面積の違いが考えられてきている。そこで、図10, 11, 12, 13に抵抗と体表面積との関係を示した。

— 考 察 —

(1) 抵抗と流速との関係の一般的傾向

流体力学において、抵抗は流速の二乗に比例すると考えられ、次の式で表わされる。

$$R = C \cdot \frac{1}{2} d L^2 V^2$$

Rは抵抗を、Vは流速を、dは流体の密度を、Lは物体の長さ（本実験においては被検者の身長）をそしてCは物体（被検者）固有の定数をそれぞれ表わす。ここにおいて、抵抗は流速の関数であると仮定し、測定結果から最小二乗法を用いて回帰式を導いた。日本人被検者に関する回帰式は次の通りである。（R kg, V m/sec）

1) 男子、伏臥頭部水中姿勢

$$R = 2.49 V^{1.91}$$

2) 男子、伏臥頭部水上姿勢

$$R = 5.39 V^{1.18}$$

3) 女子、伏臥頭部水中姿勢

$$R = 1.81 V^{2.37}$$

4) 女子、伏臥頭部水上姿勢

$$R = 4.29 V^{1.63}$$

1), 2), 3), 4)の回帰曲線はそれぞれ図5, 6, 7, 8に示してある。図5, 6には二人のアメリカ人の抵抗値が比較のために書き込まれてある。

男子、女子両方について言えることであるが、頭部水上姿勢の回帰曲線の方が頭部水中姿勢のそれよりもより直線的である。このことは頭部水上姿勢の抵抗値が低流速域において比較的大きいということを示している。さらに、このことはこれら二種の姿勢の違いばかりでなく、その姿勢の実際の抵抗値に対する影響のし方における違いもまた存在するというを示している。低流速域においては、頭部水上姿勢の場合、下肢が沈んでしまうため一定の姿勢を保つことが困難である。こ

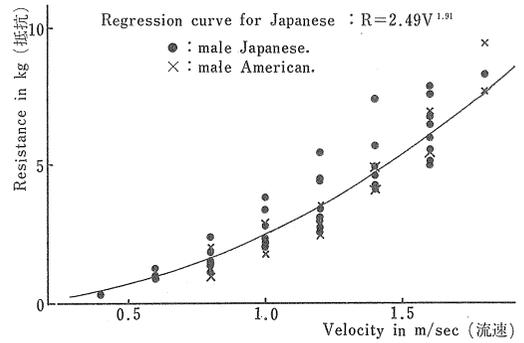


Figure 5. Relation between Resistance and Velocity, for Male, in Prone Position with the head held Under Water.

図 5. 抵抗と流速との関係(日本人男子・伏臥頭部水中姿勢) 回帰式(日本人男子について) : $R = 2.49V^{1.91}$
●:日本人男子
×:アメリカ人男子

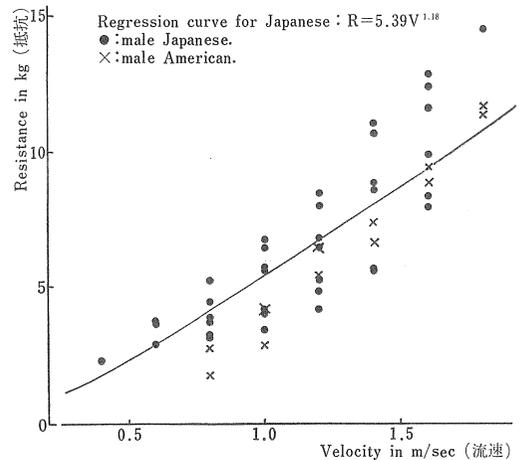


Figure 6. Relation between Resistance and Velocity, for Male, in Prone Position with the head held Above the Water.

図 6. 抵抗と流速との関係(日本人男子・伏臥頭部水上姿勢) 回帰式(日本人男子について) : $R = 5.39V^{1.18}$
●:日本人男子
×:アメリカ人男子

の点に関しては、頭部水中姿勢についても同じであるが、下肢の沈む程度は大変小さい。Karpovich⁵⁾, Alley¹⁾, 及び Counsilman²⁾は抵抗の測定に際して、姿勢を一定に保つために低流速域ではバルサでできた浮きを用いている。

二人のアメリカ人の抵抗値は、頭部水中姿勢については日本人の抵抗値の増加傾向にほぼ一致しているが、頭部水上姿勢では、低流速域で日本人の値よりも小さい傾向を示している。

Karpovich⁵⁾は牽引方法を用いて抵抗値を概算

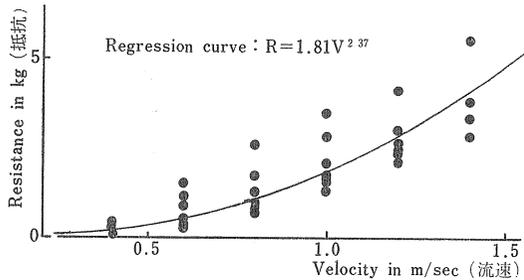


Figure 7. Relation between Resistance and Velocity, for Female, in Prone Position with the head held Under Water.

図 7. 抵抗と流速との関係
(日本人女子・伏臥頭部水中姿勢)
回帰式: $R = 1.81V^{2.37}$

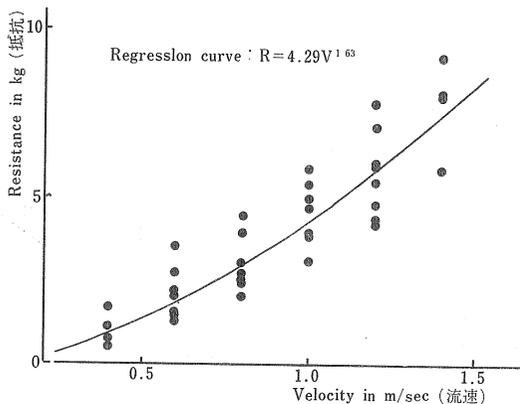


Figure 8. Relation between Resistance and Velocity, for Female, in Prone Position with the head held Above the Water.

図 8. 抵抗と流速との関係
(日本人女子・伏臥頭部水上姿勢)
回帰式: $R = 4.29V^{1.63}$

表 3 Karpovich による抵抗の回帰式

	体表面積 (m^2)	水抵抗の計算式	
		伏臥姿勢	仰臥姿勢
男	2.23~1.77	$R = 3.17V^2$	$R = 3.66V^2$
男と女	1.77~1.53	$R = 2.69V^2$	$R = 2.93V^2$

R (kg), V (m/sec)

表 4 鞆田らによる抵抗の回帰式

	水抵抗の計算式	
	伏臥姿勢	仰臥姿勢
頭部水中姿勢	$R = 2.51V^{1.92}$	$R = 2.80V^{1.95}$
頭部水上姿勢	$R = 3.20V^{1.65}$	$R = 3.20V^{1.70}$

R (kg), V (m/sec)

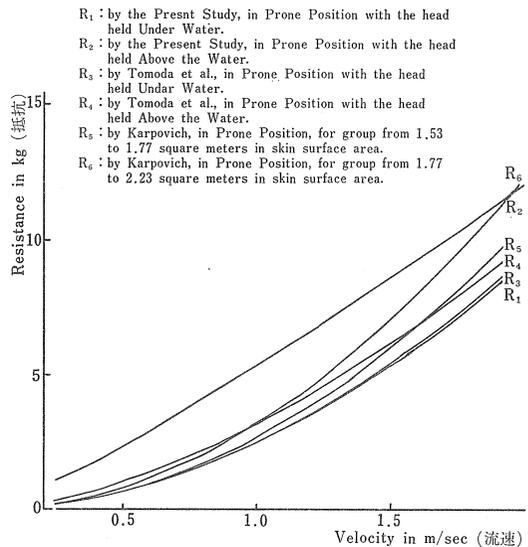


Figure 9. Comparison of Water Resistance Curve, for Male in Prone Position.

図 9. 抵抗曲線の比較(男子・伏臥姿勢)
 R_1 : 本研究、伏臥頭部水中姿勢
 R_2 : 本研究、伏臥頭部水上姿勢
 R_3 : 鞆田ら、伏臥頭部水中姿勢
 R_4 : 鞆田ら、伏臥頭部水上姿勢
 R_5 : Karpovich、伏臥姿勢、体表面積1.53から1.77 m^2 までの群
 R_6 : Karpovich、伏臥姿勢、体表面積1.77から2.23 m^2 までの群

する式を体表面積別に算定している。その回帰式は表3に示されている。また、鞆田、宮下、高橋⁷⁾らは男子について同じく牽引方法で表4に示される回帰式を算定している。これらの結果と本研究の結果とを比較するために、男子の伏臥姿勢について回帰曲線を描いたものが図9である。頭部水中姿勢では、本研究で得られた回帰曲線と鞆田らによるものとはほとんど一致している。しかし、頭部水上姿勢ではかなりの差がある。Karpovich⁵⁾による回帰曲線は、ほとんど全流速域で頭部水中姿勢の回帰曲線よりも大きな値をとっている。

これらの差は実験方法の違い、すなわち、測定機器の違いや水中姿勢の違い、及び浮きを使用しているか、使用していないかの違いによるものと考えられる。

(2) 抵抗値の個人差の原因について

表2に示されるように、抵抗値にはかなりの個人差がみられた。この個人差の原因を理解するためには、抵抗を生み出す要因を検討する必要がある。

流体中を動く物体に加わる全抵抗は次の三つの部分から成っている。

- 1) 摩擦抵抗
- 2) 造渦抵抗
- 3) 造波抵抗

摩擦抵抗に関しては、浸水面積と物体の表面の状態とが重要な要因である。人体に加わる水の抵抗を考える場合には、皮膚表面の状態は同じであるとみなすことができるし、また着衣の影響は小さいものと考えられる。また浸水面積は体表面積にほぼ等しいと考えられる。従って摩擦抵抗に関しては、一定流速では体表面積が唯一の要因である。

造渦抵抗及び造波抵抗は流体中を動く物体がそれぞれ渦をつくる時に、及び波をたてる時に受ける抵抗である。これら二つは別々に分けて考えることが困難であるので、流体力学においては剰余抵抗として一緒に扱われている。この剰余抵抗に関しては物体の形が重要な要因である。人体について考える場合には、体型及び水中姿勢が重要な要因となる。

このように全抵抗は摩擦抵抗と剰余抵抗とに分けられ、次のように仮定されている。

$$R_t = R_f + R_r$$

R_t は全抵抗を、 R_f は摩擦抵抗を、 R_r は剰余抵抗をそれぞれ表わす。

摩擦抵抗及び剰余抵抗の両観点から個人差について以下のように考察した。

摩擦抵抗

抵抗の式は上記のように $R = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho L^2 V^2$ で表わされる。摩擦抵抗については、 L^2 を同じ次元で表わされる浸水面積 (S) におきかえて、次のように表わす。

$$R_f = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho S V^2$$

C_f は摩擦抵抗係数を、 S は浸水面積、すなわち体表面積をそれぞれ表わす。従って、抵抗が摩擦抵抗のみから成っているものとすれば、一定流速では次のように表わされる。

$$R = kS$$

k は定数を表わす。すなわち、抵抗は体表面積に

比例する。そこで、体表面積に対する抵抗値の回帰式を求めてみた。図10, 11, 12, 13がそれぞれである。抵抗値と体表面積との相関係数及び回帰係数は表5, 6に示した。

相関係数の検定によれば、男子、女子ともにほとんどの流速において有意ではなく、また回帰係数の検定によっても同様である。すなわち、体表面積が大きくなれば、抵抗値も大きくなるという関係は得られなかったということである。このこ

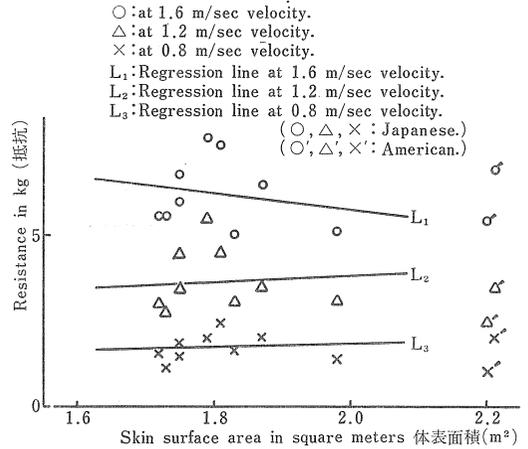


Figure 10. Relation between Resistance and Skin Surface Area, for Japanese Male in Prone Position with the head held Under Water.

図 10. 抵抗と体表面積との関係

(日本人男子、伏臥頭部水中姿勢)

- : 流速1.6m/sec, L_1 : 流速1.6m/secにおける回帰直線
- △: 流速1.2m/sec, L_2 : 流速1.2m/secにおける回帰直線
- ×: 流速0.8m/sec, L_3 : 流速0.8m/secにおける回帰直線
- ', △', ×': 日本人男子
- ', △', ×': アメリカ人男子

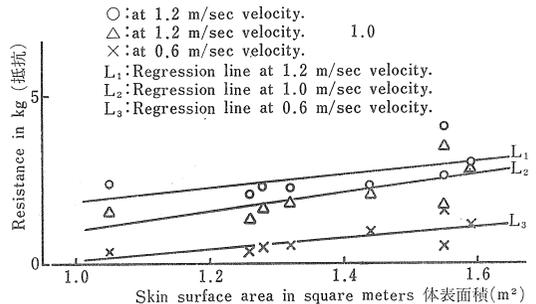


Figure 11. Relation between Resistance and Skin Surface Area, for Japanese Female in Prone Position with the head held Under Water.

図 11. 抵抗と体表面積との関係

(日本人女子、伏臥頭部水中姿勢)

- : 流速1.2m/sec, L_1 : 流速1.2m/secにおける回帰直線
- △: 流速1.0m/sec, L_2 : 流速1.0m/secにおける回帰直線
- ×: 流速0.6m/sec, L_3 : 流速0.6m/secにおける回帰直線

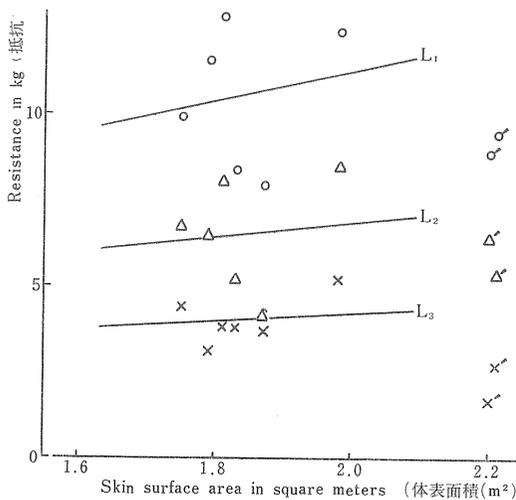


Figure 12. Relation between Resistance and Skin Surface Area, for Japanese Male in Prone Position with the head held Above the Water.
 ○: at 1.6m/sec velocity.
 △: at 1.2m/sec velocity.
 ×: at 0.8m/sec velocity.
 L₁: Regression line at 1.6m/sec velocity.
 L₂: Regression line at 1.2m/sec velocity.
 L₃: Regression line at 0.8m/sec velocity.
 (○, △, ×: Jaqanese.)
 (○', △', ×': American.)

図 12. 抵抗と体表面積との関係 (日本人男子・伏臥頭部水上姿勢)
 ○: 流速1.6m/sec L₁: 流速1.6m/secにおける回帰直線
 △: 流速1.2m/sec L₂: 流速1.2m/secにおける回帰直線
 ×: 流速0.8m/sec L₃: 流速0.8m/secにおける回帰直線
 ○, △, ×: 日本人男子
 ○', △', ×': アメリカ人男子

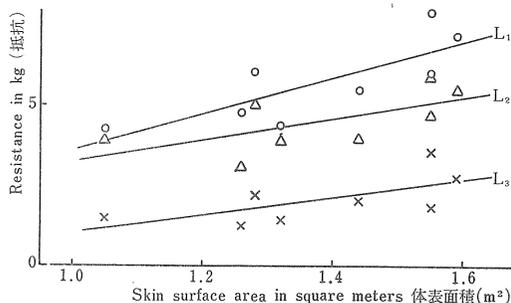


Figure 13. Relation between Resistance and Skin Surface Area, for Japanese Female in Prone Position with the head held Above the Water.
 ○: at 1.2 m/sec velocity.
 △: at 1.0 m/sec velocity.
 ×: at 0.6 m/sec velocity.
 L₁: Regression line at 1.2 m/sec velocity.
 L₂: Regression line at 1.0 m/sec velocity.
 L₃: Regression line at 0.6 m/sec velocity.

図 13. 抵抗と体表面積との関係 (日本人女子・伏臥頭部水上姿勢)
 ○: 流速1.2m/sec L₁: 流速1.2m/secにおける回帰直線
 △: 流速1.0m/sec L₂: 流速1.0m/secにおける回帰直線
 ×: 流速0.6m/sec L₃: 流速0.6m/secにおける回帰直線

表 5 体表面積に対する抵抗の回帰式
伏臥姿勢・日本人男子

流速 (m/sec)	0.8	1.2	1.6
頭部水中姿勢 (10図)	R=0.28 S +1.21 r=0.197 n=10	R=1.18 S +1.52 r=0.339 n=10	R=-2.44 S +10.59 r=-0.194 n=9
頭部水上姿勢 (11図)	R=1.19 S +1.88 r=0.541 n=7	R=2.13 S +2.62 r=0.430 n=7	R=4.40 S +2.41 r=0.168 n=6

Rは水抵抗 (kg), Sは体表面積 (m²),
rは相関係数, nは被検者数

表 6 体表面積に対する抵抗の回帰式
伏臥姿勢・日本人女子

流速 (m/sec)	0.6	1.0	1.2
頭部水中姿勢 (12図)	R=1.63* S -1.53 r=0.725* n=8	R=2.67 S -1.67 r=0.687 n=8	R=1.99 S -0.15 r=0.578 n=8
頭部水上姿勢 (13図)	R=2.72 S -1.67 r=0.661 n=8	R=3.18 S +0.09 r=0.641 n=8	R=5.50* S -1.89 r=0.795* n=8

Rは水抵抗 (kg), Sは体表面積, rは相関係数
nは被検者数, * P<0.05

とは抵抗が摩擦抵抗だけから成っていると仮定したことが誤っていたことを示唆している。

この結果は梶田, 宮下, 高橋ら⁷⁾が抵抗の個人差は体表面積で表わされる体型の差によるものではないとしていることを裏づけている。一方, Karpovich⁵⁾は体表面積別の抵抗の式を算定しているが, 本研究の結果からは妥当であるとは言えない。

剰余抵抗

抵抗と体表面積の間には明瞭な関係は認められないということが明らかにされた。つまり, 抵抗値に対する体表面積の影響は小さいということである。従って, 体型及び水中姿勢の影響が大きいということが考えられる。これら二つの要因は剰余抵抗をなす要因であり, 抵抗値の個人差は主

に剰余抵抗の差によるものと考えられる。

しかし、これら二つの要因を数量化することは困難であるので、実際の測定値から剰余抵抗係数を計算し、それをもって考察することにした。

まず、全抵抗係数 (C_t) を各一定流速において次の式によって求める。

$$C_t = \frac{R_t}{\frac{1}{2}dL^2V^2}$$

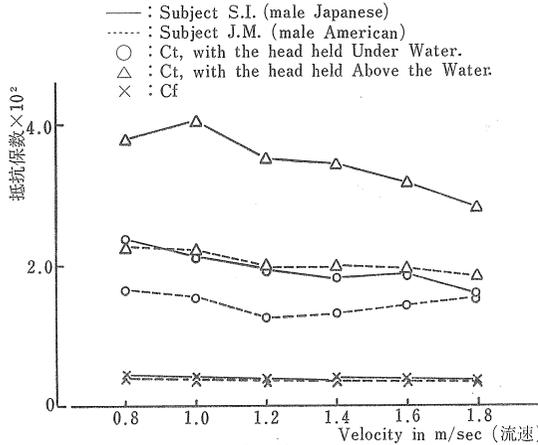


Figure 14. Coefficient of Resistance, for Male in Prone Position.

図 14. 抵抗係数(伏臥姿勢)

- : 日本人男子S.I.
-: アメリカ人男子J.M.
- : Ct, 伏臥頭部水中姿勢
- △: Ct, 伏臥頭部水上姿勢
- ×: Cf

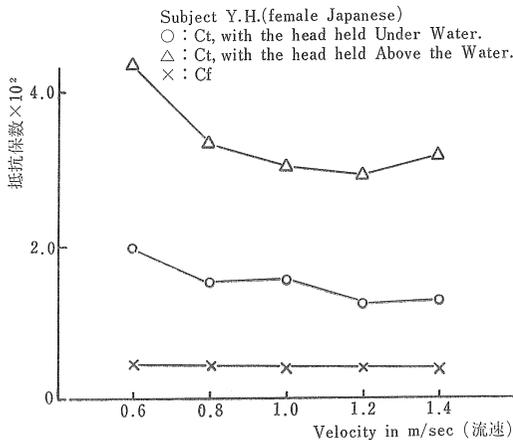


Figure 15. Coefficient of Resistance, for Female in Prone Position.

図 15. 抵抗係数(伏臥姿勢、日本人女子Y.H.)

- : Ct, 伏臥頭部水中姿勢
- △: Ct, 伏臥頭部水上姿勢
- ×: Cf

次にシェーンヘルズの乱流式から摩擦抵抗係数 (C_f) を各一定流速において求める。

最後に、剰余抵抗係数 (C_r) を次の式によって求める。

$$C_t = C_r + C_f$$

図14, 15に C_t 及び C_f と流速との関係の代表的なものを示した。流速の変化にもかかわらず C_t , C_f はほぼ一定である。

抵抗の係数については、Alley¹⁾ が計算し、流速の増加に伴うその変化について次のように述べている。流速 0.6 乃至 1.5 m/sec の範囲における係数の減少傾向は揚力の影響によるもので、流

表 7 抵抗係数(男子)

被検者	Cf	伏臥頭部水中姿勢		伏臥頭部水上姿勢	
		Ct	Cr	Ct	Cr
	平均値 (S. D.)	平均値 (S. D.)	平均値 %	平均値 (S. D.)	平均値 %
A. S.	0.440 (0.033)	2.519 (0.308)	2.079 82.5%	8.129 (4.720)	7.689 94.6%
C. K.	0.390 (0.024)	1.919 (0.286)	1.528 79.6%	4.017 (1.430)	3.626 90.3%
S. N.	0.392 (0.024)	1.563 (0.206)	1.171 74.9%	4.765 (1.282)	4.373 91.8%
T. T.	0.384 (0.017)	1.505 (0.092)	1.121 74.5%	—	—
K. S.	0.384 (0.017)	1.358 (0.105)	0.974 71.8%	—	—
M. M.	0.386 (0.017)	1.719 (0.120)	1.333 77.5%	—	—
T. K.*	0.380 (0.017)	1.560 (0.233)	1.180 75.7%	2.299 (0.706)	1.919 83.5%
C. S.*	0.380 (0.017)	2.261 (0.223)	1.881 83.2%	3.112 (0.305)	2.732 87.8%
S. I.*	0.374 (0.019)	1.946 (0.242)	1.572 80.8%	3.439 (0.403)	3.065 89.1%
N. T.*	0.381 (0.017)	1.449 (0.139)	1.068 73.7%	2.619 (0.729)	2.238 85.5%
J. N.**	0.368 (0.018)	0.981 (0.139)	0.614 62.5%	1.733 (0.291)	1.365 78.8%
J. M.**	0.369 (0.018)	1.444 (0.136)	1.075 74.5%	2.026 (0.146)	1.657 81.8%

%は、 C_t に対する C_r の割合、* 印は全日本レベル選手、** 印はアメリカ選手、表中の値は%を除いてすべて 100 倍してある。

速約 1.9 m/sec における係数の増加は舳波 (bow wave) の影響によるものである。

本研究においても揚力の影響がみられた。特に頭部水上姿勢でみられたが、このような場合 C_t は減少傾向を示している。しかし、舳波 (bow wave) の影響はみられなかった。

各被検者が固有に持つ抵抗係数の値は 5 乃至 6 速度で得られた C_t 、 C_r のそれぞれ平均値をもって与えた。 C_r は C_t 、 C_r の平均値を用いて計算された。 C_r は剰余抵抗係数であって、体型や水中姿勢を表わす指標と考えられる。また C_t 、 C_r 、 C_r は無次元数であるので異なる流速においても、身長異なる被検者においても比較できる。

表 7、8 に C_t 、 C_r 、 C_r 及び C_t に対する C_r の割合を示した。これによれば、 C_r の割合は男子で頭部水中姿勢において 62 乃至 83%，頭部水上姿勢において 79 乃至 95%，女子で頭部水中姿勢において 60 乃至 85%，頭部水上姿勢において 86 乃至 92% である。全抵抗は大部分剰余抵抗から成っている。

表 8 抵抗係数 (女子)

被検者	Cf	伏臥頭部水中姿勢		伏臥頭部水上姿勢	
		Ct	Cr	Ct	Cr
	平均値 (S. D.)	平均値 (S. D.)	平均値 %	平均値 (S. D.)	平均値 %
T. K.	0.435 (0.033)	1.168 (0.494)	0.733 62.8%	3.965 (0.708)	3.530 89.0%
M. N.	0.421 (0.035)	1.040 (0.276)	0.619 59.5%	3.011 (0.262)	2.590 86.0%
Y. M.	0.431 (0.033)	1.537 (0.242)	1.106 72.0%	5.059 (0.933)	4.628 91.5%
N. O.	0.425 (0.032)	1.454 (0.322)	1.029 70.8%	4.133 (2.257)	3.708 89.7%
C. K.	0.411 (0.020)	1.240 (0.141)	0.829 66.9%	3.572 (0.380)	3.161 88.5%
Y. H.*	0.401 (0.022)	1.501 (0.259)	1.100 73.3%	3.355 (0.512)	2.954 88.1%
K. B.*	0.398 (0.022)	1.792 (0.326)	1.394 77.8%	4.052 (0.864)	3.654 90.2%
M. O.*	0.400 (0.022)	2.602 (0.451)	2.202 84.6%	4.954 (1.386)	4.554 91.9%

%は、 C_t に対する C_r の割合、* 印は全日本レベル選手、表中の値は%を除いてすべて 100 倍してある。

ることが明らかである。このことは体型及び水中姿勢の要因が抵抗を生み出す要因の中で最も重要であるということを示している。

上記のように全抵抗係数、摩擦抵抗係数及び剰余抵抗係数は個人間の比較に用いられる。特に剰余抵抗係数は個人差を最も明確に示す指標と考えられる。

(3) 鍛練度の違いなどの影響について

前節において個人差の原因について考察し、その指標と考えられる三種の抵抗係数を算出したが、ここでは具体的に、一流選手とそうでない者とはどのように異っているかということなどについて考察した。

抵抗値そのものについては、どの被検者をとってもその大小の差はあっても、流速の増加とともに増加する傾向はほぼ同じである。そこで、全抵抗係数で比較すると、男子について頭部水中姿勢では $C_t=1.5 \times 10^{-2}$ 前後に集中しているが、一流選手の方がそのばらつきが少ないようである。さらに頭部水上姿勢では一流選手の方が C_t の平均値も標準偏差も小さい傾向にある。ばらつきが大きいということは体表面積による抵抗、すなわち摩擦抵抗は一定であるから、剰余抵抗が流速の変化とともに変化したということである。このことは水中姿勢が変化したということを示している。つまり、一流選手ほど全流速域において一定の姿勢を維持できたということを示すと考えられる。女子については、このような傾向は余り認められない。

アメリカ人男子 2 名の C_t の値は最も小さい値を示しているが、これはアメリカ人と日本人との違いを示すものなのか、あるいは 2 名とも世界のトップクラス選手であることによるものかは、はっきりしない。しかし、頭部水上姿勢においても、 C_t のばらつきが非常に小さいことから水中姿勢を一定に保つことができたことによる、すなわち鍛練度が高いことによるものであると考えてもよいように思われる。

— 結 論 —

回流水槽を用いて、被検者 20 名 (男子 12 名、女

子8名)について、人体水抵抗を測定しそれと水流速度との関係を明らかにしようとした。さらに、抵抗を生み出す要因から個人差について考察した。結論は次の通りである。

(1) 人体水抵抗と水流速度との間には、水流速度が 0.4 m/sec から 1.8 m/sec の間で次の回帰式が成り立つ。(R kg, V m/sec)

1) 男子 伏臥頭部水中姿勢

$$R = 2.49 V^{1.91}$$

2) 男子 伏臥頭部水上姿勢

$$R = 5.39 V^{1.18}$$

3) 女子 伏臥頭部水中姿勢

$$R = 1.81 V^{2.37}$$

4) 女子 伏臥頭部水上姿勢

$$R = 4.29 V^{1.63}$$

(2) 本研究で得られた回帰曲線と軋田らによるものとを比較すると、頭部水中姿勢についてはほとんど一致している。しかし、頭部水上姿勢についてはかなりの違いが認められる。

(3) 人体水抵抗にはかなりの個人差が認められた。これは体表面積の差によるものではない

く、体型及び水中姿勢の違いによるものである。

(4) 個人差について、抵抗係数で比較してみると、鍛練者の方が各流速でのそのばらつきが小さい傾向が認められた。

参 考 文 献

- 1) Alley, L. E. (1952) : An Analysis of water Resistance and Propulsion in Swimming the Crawl Stroke. Res. Quart. 23 : 253-270.
- 2) Counsilman, J.E. (1955) : Forces in Swimming Two Types of Crawl Stroke. Res. Quart. 26 : 127-139.
- 3) Faulkner, J. A. (1968) : Exercise Physiology. Academic Press, Inc., New York : 421-424.
- 4) 石田忠彦 (1958) : 水泳基本姿勢の流水中における抵抗力の研究, 体育学研究 3 (1) : 30.
- 5) Karpovich, P.V. (1933) : Water Resistance in Swimming. Res. Quart. 4 (3) : 21-28.
- 6) 大串雅信 (1958) : 理論船舶工学 (第三巻), 海文堂.
- 7) 軋田幸徳・宮下充生・高橋伍郎 (1964) : 人体水抵抗に関する研究, 体協報告書.
- 8) 山泉昌夫 (1953) : 船舶学 (抵抗篇), 天然社.

報告その 3 コンピューターによる自由形選手の泳法分析

—アメリカ, 日本のトップスイマーの分析—

田 口 正 公 (福岡大学)

宮 下 充 正 (東京大学)

撮影担当

小 島 武 次 (東京大学)

角 田 俊 幸 (東京大学)

緒 言

世界の水泳界はここ 2, 3 年記録の更新が著しい。特にアメリカ, 東ドイツの世界新記録の更新は大きく他国に差をつけている。この記録の更新は Physical Resource のトレーニングによる向上がもたらしたことはいうまでもないが Kinematics の発達による泳法技術の改善が大きく貢献している。技術の改善は高度な Performance を示す選手の運動経過を分析し合理的側面を一般化することにある。合理的な水泳技術の解明には正確な現象の把握が必要である。この為には映画撮影による Film 分析が最も運動学的に正確性をもっている。

水泳に関する映画分析の研究は水中撮影の困難さと特殊な工夫が必要な為、その数は少ない。

Kinematic な分析としては、De Vries⁹⁾(1959) のドルフィン・ストロークの分析、林ら³⁾(1966) の自由形の腕のかきの方向と速さのキネシオロジー的分析、宮下ら⁴⁾(1971)の泳者と同スピードな撮影によるトップレベル泳者の泳法分析、Dal Monte ら⁶⁾(1973)の泳者と同様なスピード変化が可能な自動カートでの水中撮影による泳法のスピード分析、Plagenhoef⁷⁾(1971)の泳法の Pattern 分析、Welch⁷⁾(1974)の世界のトップクロール泳者の Kinematic 分析、田口⁸⁾(1975)の平泳の協応動作の分析などがある。又 Kinetic な研究は Miyashita⁵⁾(1974)の平泳の Film 分析による時間とスピードからのパワーの算出法などがある。

これらはいずれも泳者が移動し、カメラが固定

されるか、あるいは泳者と同様のスピードでカメラが移動しての撮影からの分析で正確にやや欠ける点が考えられる。

そこで本研究での撮影は泳者が一定で、カメラも固定させる為、回流水槽での実験を行なった。

分析は泳法技術の改善に役立てる為、水中ストロークパターン分析、身体各部の角度変化分析 2 方向の速度分析をコンピューター動体解析システムにより行なった。

研究 方 法

(1) 被 検 者

アメリカのトップレベル、男子自由形選手 2 名、日本のトップレベル男子自由形選手 2 名、女子はアメリカのトップレベル自由形選手 3 名、日本の選手 1 名である。被検者の身体特性及び記録は表 1 に示した。

(2) 撮 影 方 法

撮影は函館にある函館製鋼船具株式会社の研究用回流水槽で行われた。撮影にはフォトソニック 16mm シネカメラ 2 台を使用した。1 台は左側方から、1 台は真下から撮影した。コマ送り速度は毎秒 100 コマとした。

(3) 分 析 法

a : ミニコンピューター導入動体解析システム
Film 分析はミニコンピューター(AICOM-C4)導入の動体解析システム(大沢商会)によって行なった。このブロックダイアグラムは図 1 に示し

表1 被検者の身体特性と記録

Sex	Subjects	Hight (cm)	Weight (kg)	Distance(m)	Records	Ranking
M	J. Montgomery (20years)	195.6	88.5	100	50—59	World Records
	B. Furniss (18years)	180.3	72.6	200	1—50—32	World Records
	S. Izumi (18years)	180.0	68.0	100	54—2	Japanese Records
	T. Kawakami (16years)	176.0	72.5	1500	16—53—1	Japanese Ranking No.2
F	S. Babashoff (18years)	172.7	59.0	400	4—14—76	World Records
	H. Greenwood (18years)	175.0	65.8	1500	16—39—54	U.S.A. Ranking No.2
	K. Peyton (18years)	176.5	61.7	100	58—36	U.S.A. Ranking No.2
	M. Oosawa (18years)	163.5	59.0	100	1—02—46	Japanese Ranking No.2

注 記録は1975年のもの

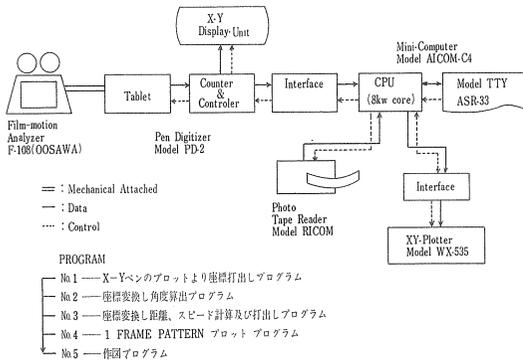


図1 Film解析システムのブロックダイアグラム

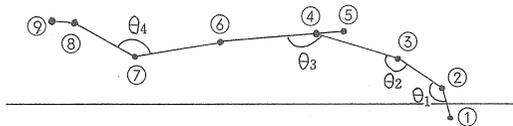


図2 身体各部の分析点と相対角度

た。

b : 分析点

身体各部の分析点は次の9点を取った。

- ①手先点—Hand Top, ②手首点—Wrist, ③肘関節中点—Elbow, ④肩峰骨突起点—Shoulder, ⑤頬骨弓点—Zygion, ⑥大転子点—Trochanter, ⑦膝関節中点—Knee, ⑧足首点—Ankle, ⑨足先点—Foot Top (図2)

c : フィルム分析

分析は左側面において肘が入水してから肘が出水するまでの水面下におけるストロークを取り行なった。

又フィルム分析は 100/sec. Frame より, 男子は 5 Frame 間隔, 女子 4 Frame 間隔で行ない角度変化, 速度分析とも肘入水時点を 0 Frame とした。

d : 角度変化分析

身体各部の相対角度は次のようにとった。

θ_1 —手首角 (Wrist), θ_2 —肘関節角 (Elbow joint), θ_3 —肩関節角 (Shoulder joint), θ_4 —膝関節角 (Knee joint) (図2)

e : 身体各部の垂直, 水平速度分析

身体各部の垂直, 水平の平均速度は次の点を取った。

- ①手先点 (Hand top), ③肘 (Elbow), ④肩 (Shoulder), ⑥大転子点 (Trochanter), ⑧足首点 (Ankle)

結果及び考察

1. 泳法のダイアグラム分析

水流と水面下の左腕のストローク時間は表2に示した。

アメリカ男子選手は水流 1.7 m/sec であり, 日本選手のそれは 1.6 m/sec であった。アメリカの選手は日本選手に比較していずれもストロー

表2 被検者の実験水流と水面下のストローク時間

Subjects	Velocity of Water (m/sec)	During of stroke under water (Frame)
J. Montgomery	1.7	95 Frame
B. Furniss	1.7	100 Frame
S. Izumi	1.6	75 Frame
T. Kawakami	1.6	65 Frame
S. Babashoff	1.6	68 Frame
H. Greenwood	1.6	72 Frame
K. Peyton	1.6	72 Frame
M. Oosawa	1.5	56 Frame

100F/sec

ク時間が長い結果であった。

アメリカ女子選手は水流 1.6 m/sec, 大沢は 1.5 m/sec であった。アメリカ女子選手は大沢選手よりストローク時間が長い傾向を示した。

ダイヤグラムは Film よりコンピューターを介してX-Yプロッターに描かせた。ダイヤグラムはいずれも、右方に顔をオープンして呼吸した左側面のストローク及びキックである。Montgomery は図3, B. Furniss は図4, 泉は図5, 川上は図6に示した。

アメリカの2選手は肘入水後, 5Frame 間隔の腕の移動距離が小さい傾向が見られた。特に Montgomery は入水直後, 腕のダイヤグラムが重なって描かれ腕の前方へのグライディングが示されていた。日本の泉, 川上選手はこの傾向がみ

図4

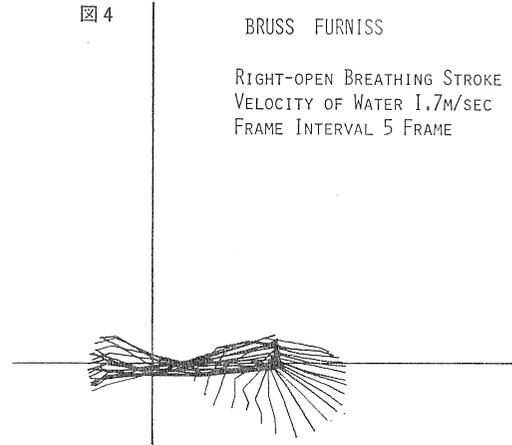


図5

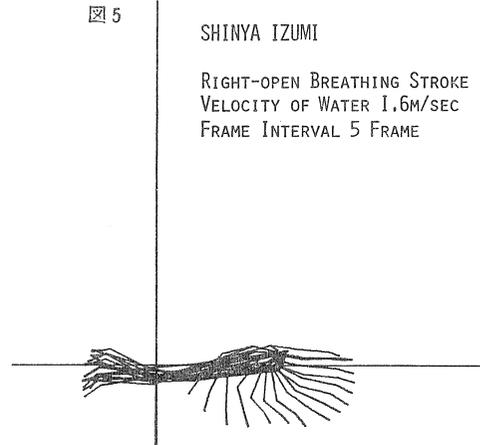


図3

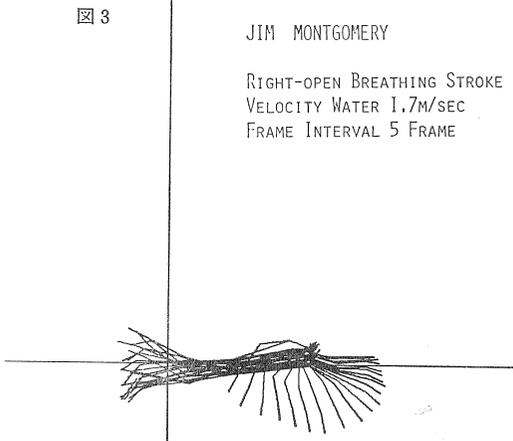


図6

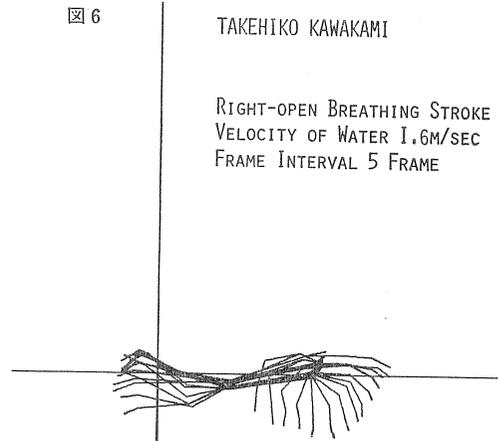


図 7

S. BABASHOFF

RIGHT-OPEN BREATHING STROKE
VELOCITY OF WATER 1.6M/SEC
FRAME INTERVAL 4 FRAME

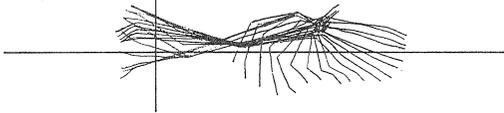


図 8

H. GREENWOOD

RIGHT-OPEN BREATHING STROKE
VELOCITY OF WATER 1.6M/SEC
FRAME INTERVAL 4 FRAME

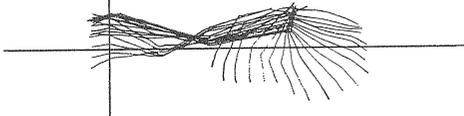


図 9

KIM PEYTON

RIGHT-OPEN BREATHING STROKE
VELOCITY OF WATER 1.6M/SEC
FRAME INTERVAL 4 FRAME

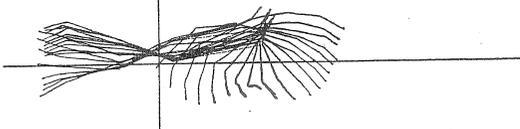


図10

MOTOKO OOSAWA

RIGHT-OPEN BREATHING STROKE
VELOCITY OF WATER 1.5M/SEC
FRAME INTERVAL 4 FRAME



られず入水後腕の下方又は斜め後方への早いおさえのパターンであった。

又アメリカの2選手はフィニッシュ時の前腕及び手掌部の後方への押えが日本の2選手より深い傾向がみられた。

このことはフィニッシュ時も前腕及び手掌部の後方への分力が大きいことを示し推進にとって合理的であると考えられる。

手先の軌跡において Montgomery, 泉選手は水面に対し横に広がった楕円の円弧を示し, 川上選手は縦に広がった楕円の円弧を示していた。又 Furniss はやや斜めの楕円の円弧を示しストローク前半の半径が長い水面下のパターンであった。大転子点と肩の点を結ぶ上体の線分は Montgomery が水面に対し最も平行であった。これはプロアー¹⁾が述べるように前進のための前面抵抗が少ないと考えられる。

Kick は Montgomery と川上選手が最も深いけりのパターンであった。

女子選手 Babashoff のダイヤグラムは図7, Greenwood は図8, Peyton は図9, 大沢は図10に示した。

Babashoff 選手は入水後, 肘を伸展した斜め後方への腕の押えを示し, Greenwood 選手は水面に対し垂直な押えであった。Peyton と大沢選手は肘を上方に張った斜め後方の腕のダイヤグラムを示していた。ストローク中盤のいわゆるプルの局面では Babashoff と Peyton 選手は肘を深く屈曲したストロークを行なっている特徴が認めら

れた。フィニッシュの時、アメリカの女子3選手はともに手掌部が後方向きで体側まで水を押しているダイヤグラムであった。

又アメリカの3選手は大転子点を中心としてKickのリカバリー時とけり下げ時大きくクロスしたダイヤグラムを示し、腰を支点とした上体と下肢とのスピンのみられた。これはストロークによる肩のローリングが腰で吸収されている為と考えられる。

手先の軌跡は Babashoff 選手が水面に対し最もフラットな円弧を示し、左側面のストローク距離が長い傾向にあった。又 Peyton 選手はストロークの中盤、肩の鉛直下より肘を屈曲してのプルに移行し、力学的に合理的な腕の出力を行っているとみられる。Greenwood 選手の手先の軌跡はやや円弧の大きいパターンであった。大沢選手は円弧が小さいパターンを示していた。

アメリカ女子3選手のキックは左腕の推進ストローク局面1回のけり下げである為いずれも深く行なっているダイヤグラムを示した。大沢選手は2回行っている為浅い Kick を示した。

以上ダイヤグラム分析の結果、アメリカの選手はいずれもストロークの手先の移動距離が長く、横にフラットな円弧がみられた。又入水後の水のキャッチ局面は腕の移動間隔が狭く肩の鉛直下以後、プルからフィニッシュにかけてその間隔が広くなり、加速度が大きいと見られる特徴であった。エネルギー消費量を無視すればプロアー⁹⁾が述べるように「進む方向と反対方向に出来るだけ大きい面をつくりこの面を出来るだけ長い距離にわたって押し、できるだけ速く水中を動かせば、最大限の力が得られる。」アメリカの選手はこの力の生産がダイヤグラムで見る限り、合理的に行なっていると考えられる。日本の泉選手はダイヤグラムでは最もアメリカ選手に近いパターンと言えよう。

又アメリカ選手は入水からプルに移行するまで重なったダイヤグラムであった。このことは腕の下向きの分力が小さくなり、上向きの浮力を小さくすることにより肩の上方へのローリングを押える為と考えられる。アメリカ選手のプルのフォームは Councilman¹²⁾が述べる「The Correct Pull」

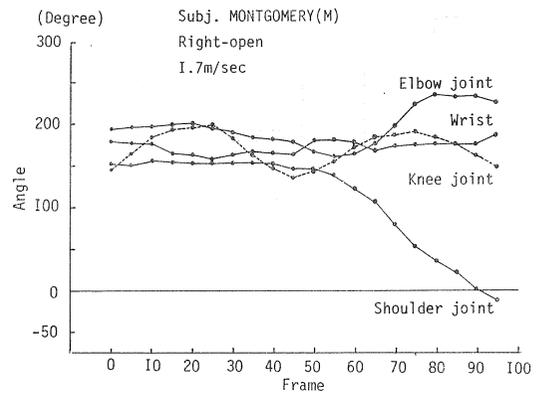


図11 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

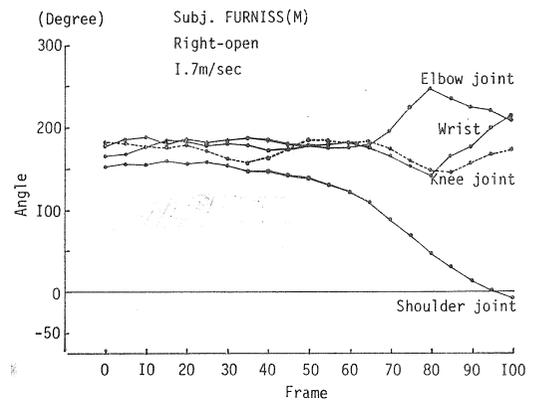


図12 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

に忠実なダイヤグラムを示した。

2. 身体各部位の相対的角度変化の分析

左側面からのフィルム分析により、手首、肘、肩、膝の各関節角度の変化をグラフ化した。

Montgomery は図11, B. Furniss は図12, 泉は図13, 川上は図14に示した。

それによると Montgomery, B. Furniss のアメリカの2選手はストローク中盤 (50Frame) まで肩関節の角度変化がみられなかった。このことは肘関節角度、手首角度の大きな変化がみられないことと合わせて、肩関節を伸展したままのグライディングを示している。この期間は逆脚の Kick による推進相であり、脚による推進の効果を高めていると考えられる。日本の泉, 川上の2選手は、このグライディング期間がアメリカの選手に比較して短い特徴を示していた。特に川上選手はこの期間に肘関節の屈曲がみられ前腕と手掌部の水の

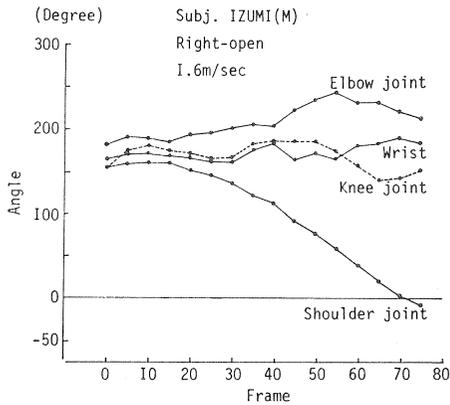


図13 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

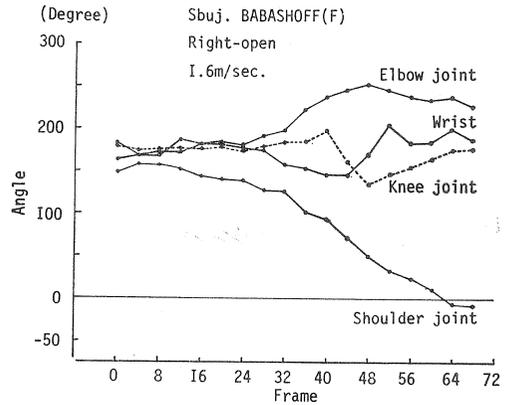


図15 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

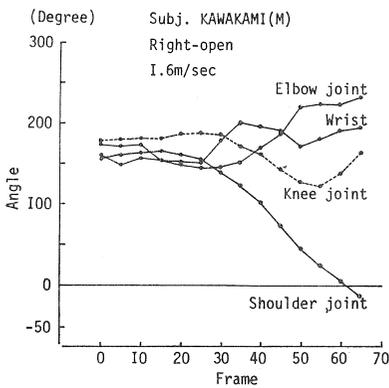


図14 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

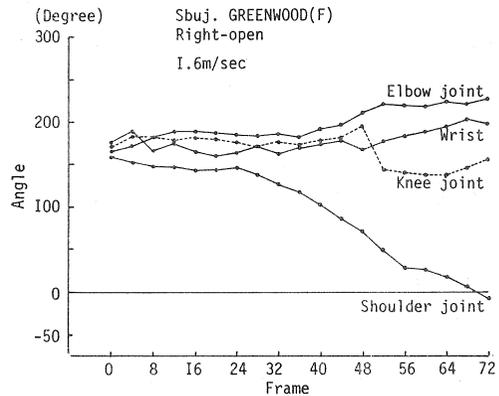


図16 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

押えに移行していることがわかった。又 Montgomery はストローク中、手首関節角度変化が最も少ない特徴がみられ、前腕と手掌の Straight なかきであった。

Montgomery は肘入水から膝関節角度の大きな伸展がみられ、ストローク中盤で 137° まで屈曲し、その後 191° まで伸展していた。この間 0.3 秒の角速度は $180^\circ/\text{sec}$ で膝の大きなモーメントが認められた。これに対し B. Furniss は角度変化が少なく膝の大きな屈曲、伸展がみられない。

川上の Pull 終了からフニッシュ (55 Frame ~ 65 Frame) にかけて膝の伸展角速度は $316^\circ/\text{sec}$ で最も大きく、深い屈曲からの膝のモーメントであった。

Babashoff の角度変化曲線は図15, Greenwood は図16, Peyton は図17, 大沢は図18に示した。

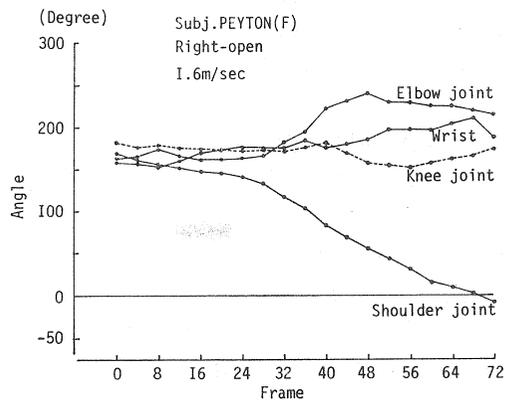


図17 Change of angle of joint actions in left stroke.

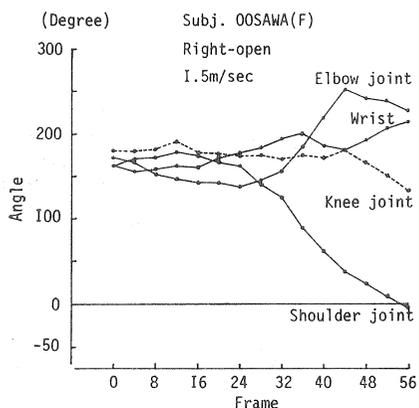


図18 Change of angle of joint actions in left arm stroke.

アメリカの女子選手はアメリカの男子選手と同様、肩関節を伸展したままのグライディング時間が長い傾向を示した。大沢は肘入水後肩関節を伸展した後、アメリカ選手と比較して肩関節の角度変化が著しい傾向がみられた。

膝関節角度の変化において、Babashoff 及び Greenwood はストロークの中盤から後半にかけて角速度の大きい膝の屈曲を行なっている特徴がみられた。これは膝を伸展したりカバリーから速いけり下げの Kick へと移行していることを示している。

以上身体・部位の相対角度変化の分析においてアメリカ選手の大きな特徴は肩関節の伸展したままのグライディング時間が長いことと、その後の肩関節のゆっくりとしたモーメントにある。このことは力学的に肩の負荷が小さくなり無駄なエネルギー消費を押えると同時に肩の大きなローリングをさける為と考えられる。

3. 身体各部の垂直、水平速度の分析

競泳において大きな推力を得る為には身体各部の動きが合理的でなければならない。このことを決定する大きな要素として身体各部の動きの速さと方向⁴⁾があろう。

そこで左側面における主要点の速度分析を行なった。速度は座標変換から水平、垂直の2方向を算出しグラフ化した。垂直速度においてマイナスは下向き

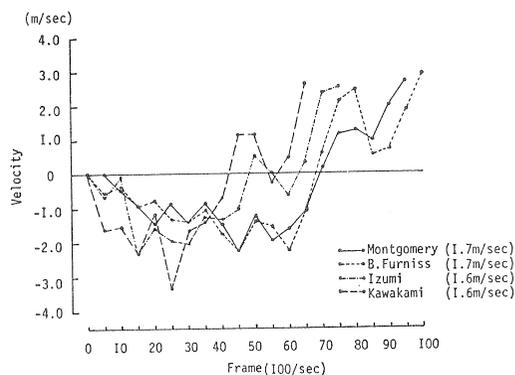


図19 The vertical velocity of hand top in crawl stroke under water.

速度である。

推進と最も関係の深い男子選手の手先の垂直速度は図19に示した。

Montgomery, Furniss の2選手は肘入水後下向きの速度が日本の泉、川上と比較して小さい結果であった。

またアメリカの2選手は上向きの速度への移行が70 Frameで行なわれ、日本選手のそれは45 Frame, 50 Frameで行なわれていた。4選手ともストロークが $\frac{2}{3}$ 進んだ時点で上向きの速度へ移行していた。しかしながら日本の2選手は一端上向きに移行した後、再び下向きになり腕のかきによる推進の効果を減少させていると考えられる。

又男子選手の手先の水平速度は図20に示した。

Montgomery, Furniss, 泉の3選手は肘入水後手先が前向きの速度であるのに対し、川上は入水時から後向きの速度を示していた。このことは川上の手先にグライドが認められず、入水後から手

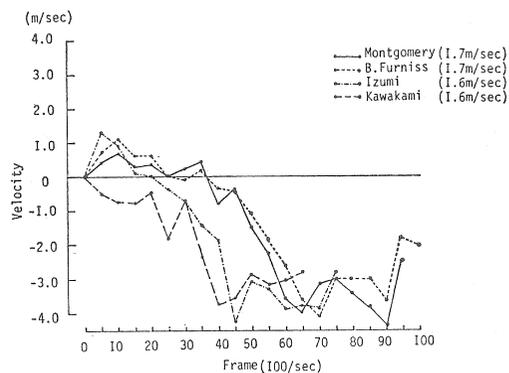


図20 The horizontal velocity of hand top in crawl stroke under water.

掌部の後方へのかきが始まっていることを示す。又アメリカの2選手は手先が後向きに速度に移行後、速度グラフが直線を示し、比較的等加速しているのに対し、日本選手は加速に変動がみられた。

Montgomery はフィニッシュ時 (90 Frame) に最高速度 4.33 m/sec であった。Montgomery を除き、他の選手は Pull 終了時にかけて手先の後方への速度が最高に達していた。

女子選手の手先の垂直速度は図21, 水平速度は図22に示した。

アメリカの女子3選手はともにストロークのフィニッシュ時に手先の上向きの速度が大きい特徴がみられ、手の引き上げが速いことを示した。水平速度において、Greenwood は入水後、前向きに速度が大きくなり、後向きに移行した時、手先に最高の加速がみられる。このことは腕の前方へ

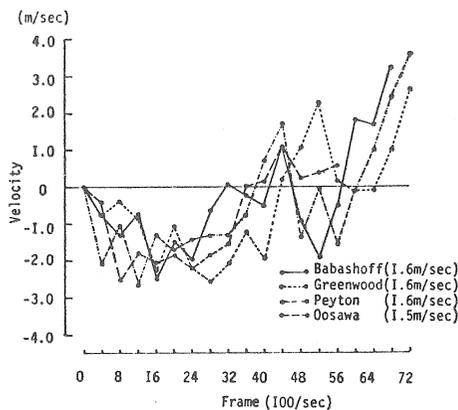


図21 The vertical velocity of hand top in crawl stroke under water.

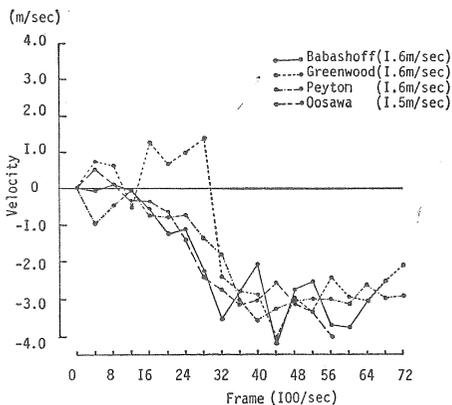


図22 The horizontal velocity of hand top in crawl stroke under water.

の大きなグライドとその後の速いキャッチであり、Armbruster¹¹⁾ が述べるように次のプルへのけん引力増大の効果的な動作であろう。

Babashoff はストロークの後半、後向きに速度変化が他の選手より大きい結果であったが、後向きに速度は最も大きく 4.23 m/sec であった。このことはプルの推進効果にややロスがあり、それを手のかきの速さでカバーしているようである。

男子選手の肘の垂直速度は図23, 水平速度は図24に示した。

Montgomery はストロークの中盤まで肘の垂直、水平速度ともその変化が最も少ない特徴を示した。これは上腕の動きが等速度で行なわれ、エネルギー消費が少ない、効率的な動作と考えられる。川上は肘の後向きに速度が最も大きく 3.34 m/sec であった。又川上は肘入水直後の垂直、水平の速度変化が大きく、この時点で肘の上下及び前後の調節を行なっているものと考えられる。

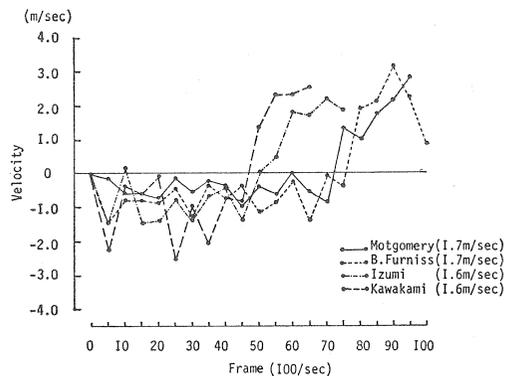


図23 The vertical velocity of elbow in crawl stroke under water.

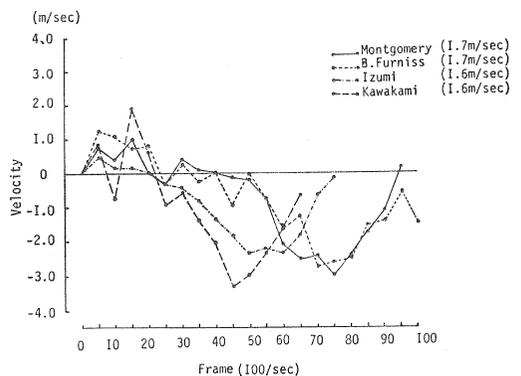


図24 The horizontal velocity of elbow in crawl stroke under water.

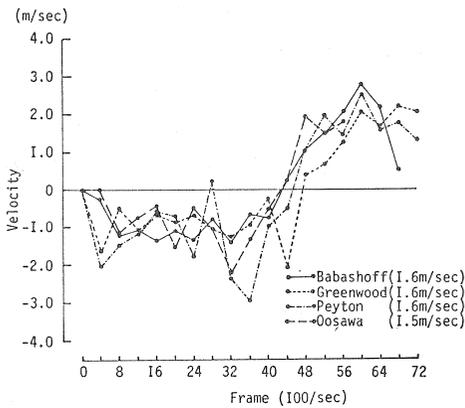


図25 The vertical velocity of elbow in crawl stroke under water.

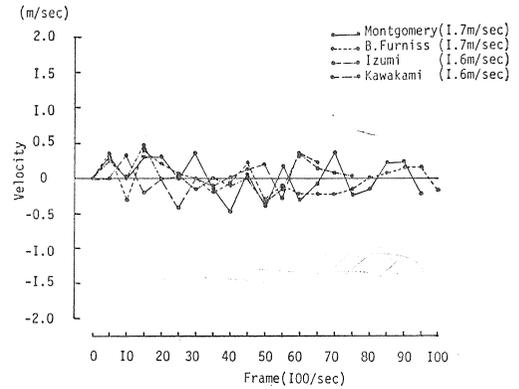


図27 The horizontal velocity of trochanter in crawl stroke under water.

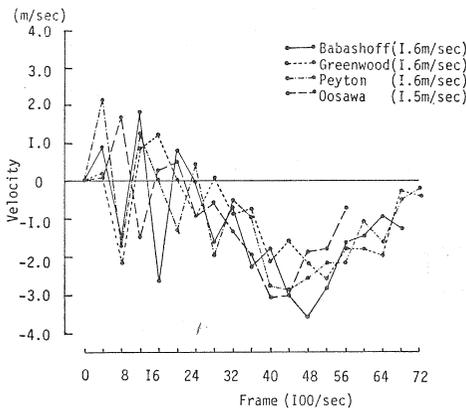


図26 The horizontal velocity of elbow in crawl stroke under water.

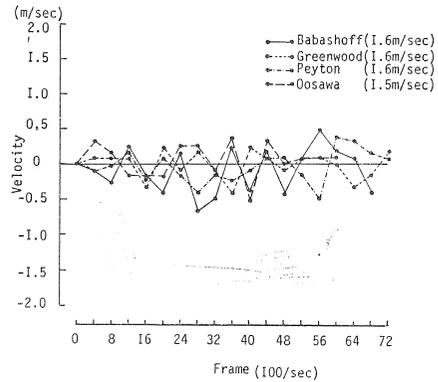


図28 The horizontal velocity of trochanter in crawl stroke under water.

女子選手の肘の垂直、水平速度は図25、図26に示した。

女子は4選手とも肘入水後の水平速度変化が男子選手と比較して著しく、前後の大きな調節を行なっていると思われる。

Babashoff は Montgomery と同様にストロークの前半に最も垂直速度の変化が少なく、効率的な動作であった。

大転子点は Crawl 泳法において身体各部で最も動きが少ない。そこで水流との関係を見る為分析した。

男子選手の大転子点の水平速度は図27、女子選手は図28に示した。

各選手とも前後の速度はいずれも小さく、推進及び後退の大きな変化が認められなかった。これは実験水流が最も遅い大沢選手の場合 1.5m/sec

で、100m の平均スピード以下であり、水流にマッチングした泳ぎが出た為と考えられる。分析した8選手の中で Babashoff は最も速度変化が大きく前向き速度が最高 0.5 m/sec 後向き速度 0.66 m/sec であった。

足首の垂直速度はストロークの Kick の周期と速さを知る為分析し男子選手は図29、女子選手は図30に示した。

Montgomery は左手のストローク中盤で完全な Kick を行ない肘入水時は Kick のフィニッシュ肘出水時、けりははじめの動作を行なっていた。すなわちほぼ $1\frac{1}{4}$ サイクルを示していた。Furniss は肘入水時上向き速度でリカバリーを示し、その後ストローク中2回の Kick を行なう2サイクルの速度変化であった。泉は $1\frac{1}{2}$ 周期を示し、川上はストローク中盤に下向きの速度の小さい Kick

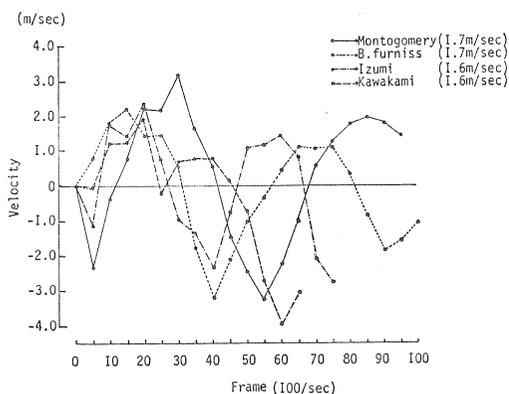


図29 The vertical velocity of ankle in crawl stroke under water.

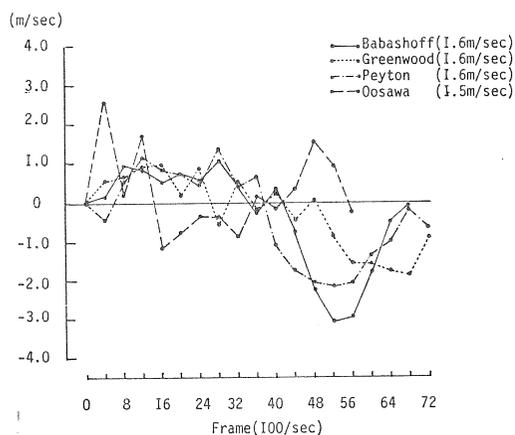


図30 The vertical velocity of ankle in crawl stroke under water

がみられ後半に加速の大きいけりがみられた。

Montgomery はリカバリーの 上向き の速度が最高で 3.28 m/sec であった。けり下げの最高速度は川上の 3.97 m/sec であった。アメリカの女子選手 Babashoff, Greenwood, Peyton はともに 1 サイクルの周期であった。大沢は 1.5 サイクルの Kick であった。Kick の下向き の最高速度は Babashoff 3.05 m/sec であった。又リカバリーの上向き の最高速度は大沢の 2.57 m/sec で肘入水直後であった。

アメリカの選手は Kick の速度変化曲線の振幅が大きく周期時間も長い傾向が認められた。特に女子選手はストローク中 1 ビートを示し、泳法は 2 ビートであった。

以上身体各部の垂直、水平速度分析においてア

メリカの選手は肘入水からキャッチにかけて手先の垂直速度及び速度変化が小さく、プルからプッシュにかけて水平速度及び速度変化が大きい特徴がみられた。このことは、ストローク前期の下向きの分力を小さくし、浮力による肩のローリングを少なくし抵抗が小さい姿勢を保持する為と考えられる。又足首の垂直速度及び水平速度よりアメリカの選手はけり下げが長時間にわたり大きい特徴を示し推進に有効な作用を及ぼしているものと考えられる。

総 括

流水による映画撮影から Film を分析した結果、次のような知見を得た。

1. アメリカの選手は水流が速いにもかかわらず日本選手と比較して左腕のストローク時間が長い。
2. アメリカの選手は肘入水後、腕のダイヤグラムが重なって描かれグライデングしたパターンであった。
3. 手先の軌跡において、アメリカ選手は水面に対し、日本選手と比較してフラットな円弧であった。
4. フニッシュ時にアメリカの選手は前腕部が後方まで描かれたダイヤグラムである。
5. 水面に対し上体は Montgomery が最もフラットなダイヤグラムを示した。
6. アメリカの選手はストローク中盤まで肩関節の角度変化が少なく腕のグライデングがみられた。
7. Montgomery は手首関節の角度が最も少なく前腕と手掌部の Straight なストロークであった。
8. 膝関節の最大屈曲角度は川上が最も屈曲し(121°)、伸展、屈曲の角度変化も大きく 68°であった。
9. 肘入水後、Montgomery, Furniss, 泉、は手先の前向き の速度を示し、川上は後向き の速度を示した。又 Greenwood は手先の前向き の速度が最大であった。
10. Montgomery は手先の 後向き の速度が最高で 4.33 m/sec で 90 Frame に出現していた。

又 Montgomery, Furniss は手先が後向きに移行後, 等加速的であった。

11. Montgomery はストローク前半の手先, 肘の下向きの速度が最も小さく速度変化も少ない。

参 考 文 献

- 1) プロアー, M. R. (宮畑訳) : 身体運動の力学, ベースボールマガジン社, 1964.
- 2) COUNSILMAN, J. E. : The Science of Swimming. Prentice-Hall, 1968.
- 3) 林 裕三 : 自由形の腕のかき, 水泳マガジン 1 巻 1 号, 1966.
- 4) 宮下充正 : 水泳の科学, 体育の科学社, 1971.
- 5) MIYASITA, M. : Method of Calculating Mechanical Power in Swimming The Breast Stroke. The Research Quarterly, Vol. 45, No. 2,

1974.

- 6) DAL MONTE, A. : Analysis of Swimming by Self-Moving Cart at the Same Speed of Swimmers. Proceeding of 4th International Seminar on Biomechanics, 1973.
- 7) PLAGENHOEF, S. : Patterns of Human Motion, Prentice-Hall 1971.
- 8) 田口正公 : ミニコンピューター 動体解析システム導入による平泳の協応動作の分析的研究, 福岡大学体育学研究, 第 5 巻第 2 号, 1975.
- 9) DE VRIES, H. A. : Cinematographical Analysis of the Dolphin Swimming Stroke. The Research Quarterly Vol. 30, No. 4, 1959.
- 10) WELCH, J. H. : A Kinematic Analysis of World-class Crawl Stroke Swimmers. Biomechanics IV. University Park Press 1974.
- 11) アムブルスター, D. A, アレン, R. H, ビリングスレイ, H. S. (江橋, 宮下訳), 水泳教程, ベースボール, マガジン社, 1975.

報告その4 水泳運動の基礎的研究

——幼小児期におけるバタ足動作の筋電図的研究——

徳山 広 (大阪教育大学)

岡本 勉 (関西医科大学)

吉沢 正 尹 (福井大学)

熊本 水 頼 (京都大学)

I 目 的

水泳運動のバタ足動作はクロール系泳法の基礎的技能として重要であるばかりでなく、初心者が水に対する感覚をつかみ種々の泳法を獲得していく上で欠くことのできない動作であると思われる。従来より水泳運動に関するキネオロジー的研究は Karpovich (1975)¹⁾ 宮下 (1974)²⁾ らをはじめとして数多くなされているが、バタ足運動に関するものは殆んどみあたらない。わずかに Cureton (1930) 等³⁾ により両脚の有効なキックについて、Counsilman (1970)⁴⁾ の映画分析から検討した報告があるにすぎない。

筋電図は骨格筋の活動状況を連続的に記録できるとともに、その背後にある筋の収縮を指令伝達する中枢神経——筋に至る運動神経支配の様式をも同時に知ることができる。このような観点から身体運動のキネオロジー的研究の一方法として数多くのスポーツ種目にとり挙げられてきた。しかしこの筋電図を水中での運動に適用することは技術的に非常に困難なことであった。

猪飼, 石井, 宮下 (1961)⁵⁾ は水泳運動の研究に筋電図をはじめて応用し, 成功させた。

今回著者等は水泳運動の基礎的研究の一環として, バタ足動作をとり挙げ, 幼小児(初心者)期のバタ足動作の特性を筋の作用機序の面から検討しようとした。

II 方 法

1) 被 験 者

3~12才の幼小児24名と, スイミングスクール

で2~4年間水泳の指導を受け技術的に熟練した幼小児3名, 比較検討のため成人熟練者, 未熟練者それぞれ3名の計31名を対象とした。

2) 被 験 筋

猪飼等(1961)⁵⁾ の水泳の筋電図の研究ならびに高木 (1960)⁶⁾ 岡本 (1966)⁷⁾ の基本動作の研究を参照し, 主として下肢, 軀幹の8筋を選んだ。

M. tibiae anterior	前脛骨筋
M. gastrocnemius	腓腹筋
M. vastus medialis	内側広筋
M. rectus femoris	大腿直筋
M. biceps femoris	大腿二頭筋
M. gluteus maximus	大殿筋
M. rectus abdominis	腹直筋
M. sacrospinalis	仙棘筋

3) 筋 電 図

筋電図は直径 10mmの皿状電極を用い, 電極貼付部位を防水し, 通常の皮膚表面誘導法により有線で, 18素子万能型脳波計(三栄測器製)を用いて記録した。

4) 動作の記録

実験は水中窓を有する(25m×15m×1.5m)プールと実験用(4m×1.5m×0.8m)プールで行ない, 動作の記録は16mm撮影機(BOLEX製, H16RX-MATIC型)を用いて32P.P.Sで側面あるいは後面より撮影し, パルス発生器(ナック社製)を用いて, 各フィルムのフレーム・シグナルパルスが筋電図記録紙に同時記録できるようにした。

このフィルムを現像し、ミニコピーリーダープリンター (FUJI-FILM 製, Q4A-型) を用いて拡大複写し、膝、股関節の角度変化、および大転子の水平移動速度、等を計測した。また足、膝、股関節などの運動の様相をより正確に把握するためにエレクトロゴニオメーターを防水し、筋電図記録紙に同時記録した。

Ⅲ 研究成果

図1はスイミングスクールで約3年間指導を受け、4泳法が可能な5才熟練者のバタ足動作のフォーム、筋電図、膝のゴニオグラムならびに映画から求めた股関節、膝関節の角度変化を示したものである。この膝、股関節の動作分析から、一般に熟練者におけるバタ足動作の特徴としては、膝、股関節を十分に伸展し、大きなけり動作を行なっていることがわかる。しかも膝伸展中のほぼ中頃で股関節が最大屈曲のほぼ中頃で股関節が最大伸展されている。すなわち膝伸展(キック期)の前半では、股関節の屈曲に導かれるような膝伸展(キック動作)が行なわれ、キック期後半では股関節の伸展に誘導されるような膝伸展(キック動作)がなされている。このように熟練者のバタ足動作は、股関節の積極的な屈曲や、強い水面上方への引きあげによる過伸展動作をともなったキックがなされていることがわかる。

Cureton (1930)³⁾ はキック(膝伸展)後半の股関節の過伸展動作を「up-kick」とし、推進力に最も関係する動作であることを指摘している。

すなわち熟練者のバタ足動作における動作特徴として、膝、股関節がそれぞれ常に位相を異にした波動運動を行っていることがわかる。

筋電図の面からみると、キック期の前半は膝伸展筋の vastus medialis, rectus femoris に強い放電が見られる。これは股関節屈曲を伴った強い膝伸展を行っているための放電と考えられる。キック期後半では股関節伸展筋の biceps femoris, gluteus maximas に強い放電がみられ、gastrocnemius にも顕著な放電がみられる。これらの放電は、股関節を起点としたいわゆる下肢の各関節(股・膝・足)を棒状に保っての水面上方への強い引き挙げ動作がなされているためのものと考

えられる。とくに gastrocnemius の放電は、足裏全体での水の押し上げに働いていると考えられ、いわゆる魚の尾びれのような、足首での強力なスナップ動作がなされているものと考えられる。さらに膝リカバリ期の後半では、rectus femoris にのみ放電がみられ、他の下肢、軀幹筋群にはいずれも放電の休止がみられる。この時期はキック動作中で下肢が最もリラックスされ、泳者は膝を自然に水中に落とし込むような動作を行ない、次の強いキックのための準備動作としての溜めを行なっているものと思われる。このようにして熟練者では股・膝・足関節をそれぞれ巧みに駆使し、推進力に生かしていることがわかる。

一方図2は、みようみまねでかろうじて3~4m泳ぐことができる習得初期の5才幼児について「図1」同様に示したものである。

まず膝、股関節の運動の特徴を動作分析からみると、バタ足動作中終始、膝、股関節がのびきらず、有効なキックがなされていないことを示している。すなわち股関節は前方に屈曲されたまま(150°~170°の間)動作し、膝関節も(90°~160°)といずれも屈曲位を保持した姿勢でのバタ足動作を行なっていることがわかる。さらに膝、股関節の曲げ伸しの関係をみると膝屈曲に同期して股関節屈曲が、膝伸展に同期して股関節伸展がなされている。これらの動作はいずれも推力に殆んど関与していないことを示している。

筋電図では、膝伸展期であるキック期前半に vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris に顕著な放電がみられる。これは動作分析から膝伸展と股関節伸展が同時になされていることを示している。またキック期後半では熟練者にみられた股関節伸展筋の gluteus maximus や足関節の足底屈曲に働く gastrocnemius に殆んど放電がみられず、拮抗筋である tibialis anterior に顕著な放電がみられる。これは股関節の後方伸展が全くなされず、足関節ではキック期を通じて足背屈位を保持していることを示している。

すなわち未熟練な幼児のバタ足動作中の下肢筋群の放電様相をみると強力な膝伸展や股関節の積極的な伸展を示す放電がみられないこと、さらに足関節の背屈動作がみられることなどの動作特

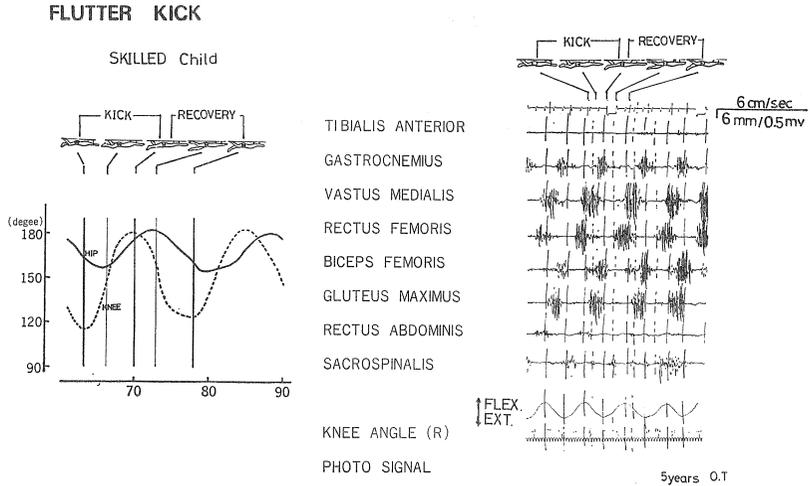


図1 熟練者（5才幼児）におけるバタ足動作の筋電図

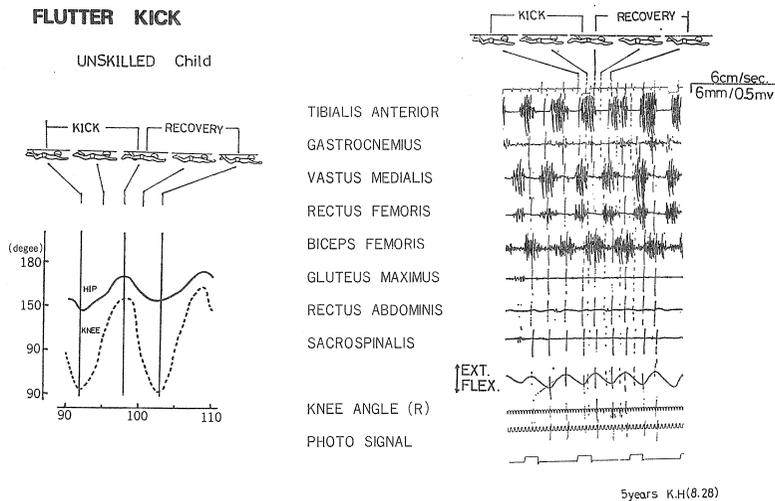


図2 未熟練者（5才幼児）におけるバタ足動作の筋電図

徴が明らかとなった。

本実験は、イトマンスイミングスクール加藤浩時監督、パンジョスイミングクラブ新谷時雄監督の多大の御配慮のもとに行なわれたことを申し述べ実験に協力下さった関係諸氏の御厚意に対し謝意を捧げます。

文 献

- 1) Karpovich, P.V.: Analysis of the propelling force in the crawlstroke. Res. Quart. 6 : 49-58, 1935.
- 2) Miyashita, M. : Method of calculating mecha-

nical power in swimming the breast stroke. Res. Quart 45 : 128-137, 1974.

- 3) Cureton, T.K. : Mechanics and kinesiology of swimming. (The crawl flutter kick). Res. Quart 1 : 87-121, 1930.
- 4) Counsilman, J.E. : The science of swimming. Prentice-Hall. 1970.
- 5) 猪飼道夫, 石井喜八, 宮下充正 : 水泳に関する筋電図学的研究. 体育学研究, 7 : 4, 47-54, 1964. Prentice-Hall, 1970.
- 6) 高木公三郎 : 四肢筋の機能の筋電図的研究. 三重医学, 4-5, 999-1018, 1960.
- 7) 属本 勉 : 自転車走行に関する筋電図的研究. 関西医科大学教養部紀要, 1, 55-61, 1966.

報告その 5 泳法の体力因子に関する研究

——水泳選手の体力の縦断的研究——

菊 地 邦 雄 (広島大学)

はじめに

水泳についてのキネシオロジー的ならびに生理学的研究は、古くは Liljestrand と Stenström⁶⁾ にはじまり、そして Karpovich³⁾⁴⁾, Cureton¹⁾²⁾, 宮下⁷⁾⁸⁾ によって数多くの報告がなされているが、同じ競泳種目の泳法を異にした文献は少ない⁵⁾⁹⁾。

筆者等は、全国から有望な選手を集めているフジタドルフィンクラブ (広島市) の選手達の体力測定を、過去 4 年間に亘って実施し、体力の縦断的検討を行ってきた。また、併せて泳法のちがいによる体力因子の分析を試みているが、今回は過去 4 年間の体力の発達と記録との関係および競泳種目別からみた体格、体力の特性について報告し、次年度の報告に、泳法のちがいによる体力因子の分析について述べる予定である。

測定方法

1) 被検者：フジタドルフィンクラブには、ミュンヘンオリンピックで優勝した田口選手はじめ約 28 名の男子選手が現在登録している。これらの選手達は、年齢が 10 才から 24 才までのいわゆる発育期にある者である。被検者数は、延べ 36 名であるが、クラブへの出入が以外に多く、測定 4 回とも実施した者 4 名、3 回実施した者 5 名、2 回実施した者 11 名、1 回実施した者 16 名であった。

2) 測定期日：第 1 回目が昭和 47 年 10 月、第 2 回目が昭和 48 年 2 月、第 3 回目が昭和 48 年 11 月そして第 4 回目が昭和 50 年 2 月である。

3) 測定項目：形態面では、身長、体重、胸囲、座高、上腕囲 (屈と伸)、大腿囲、下腿囲および皮下脂肪 (臍部と上腕部) の 8 項目である。機能面では、握力、背筋力、垂直跳、腕立伏臥腕屈伸、肺活量、息こらえ (安静時と運動後)、ス

テップテスト (台の高さ：40 cm, 3 分間の運動負荷)、パーピーテストおよび柔軟度 (体前屈と体後屈) の 9 項目であるが、第 3 回目の測定から、脚筋力の項目を加えた。

水泳記録は、長水路のみの公認記録を参考にした。

測定結果と考察

1. 個人別からみた体力の発達と水泳記録

表 1 および図 1～12 は、体力測定を 3～4 回行った選手 6 名、すなわち、平泳の田口、樺谷両選手、自由形の小野、泉選手、バタフライの沖田選手および背泳の林選手について、個人別に体力の発達と水泳記録との関係を検討したものである。各選手についての主な特徴はつぎのとおりである。

(1) 田口選手

競泳種目は平泳 100m と 200m で、いままでの最高記録は、100m が 1 分 4 秒 94 (昭和 47 年, 21 才), 200m が 2 分 23 秒 11 (昭和 48 年, 22 才) である。形態の面では、身長、体重の著るしい伸びはみとめられないが、上腕囲では僅かな増加がみとめられた。また、皮下脂肪は、臍部で著明な減少がみとめられたが、その他の項目では著明な傾向はうかがわれなかった。機能の面では、握力、背筋力および柔軟度 (体前屈と体後屈) に著るしい増加がうかがわれたが、肺活量およびステップテストスコアは徐々に減少していた。3 回目の測定 (昭和 47 年 10 月) は、田口選手がミュンヘンオリンピックで優勝した直後であり、その当時に体力は、形態、機能とも最高の状態にあったと思われる。水泳記録も、その当時に 100m, 200m において最高記録を出しており、以後記録の更新がみら

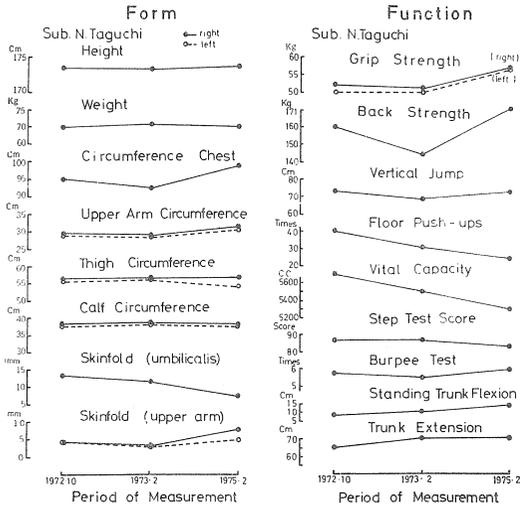


図1. 田口選手(平泳)の体力の推移

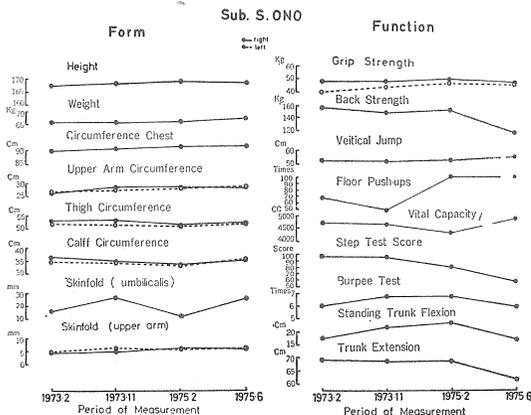


図2. 小野選手(自由形)の体力の推移

れないことから、体力の発達と水泳記録は相関が高いことが考えられる。

(2) 小野選手

競泳種目は自由形の長距離であったが、昭和50年5月に交通事故に会い、それ以後、短距離の200mに専念している。いままでの最高記録は、200mが2分1秒34(昭和51年, 19才), 400mが4分17秒84(昭和50年, 18才)である。形態の面では、各測定項目とも僅かに増加の傾向がみられた。機能の面では、肺活量、ステップテストスコアは僅かに減少しているが、その他の項目は、徐々に増加している。しかし、第4回目の体力測定(昭和50年6月)は、事故後37日目に行ったものであり、機能の面でかなりの低下がみられる。現

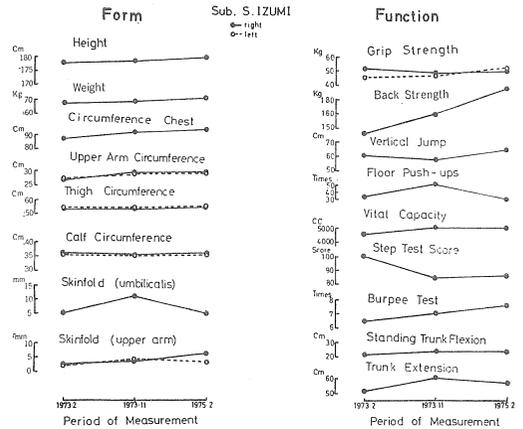


図3. 泉選手(自由形)の体力の推移

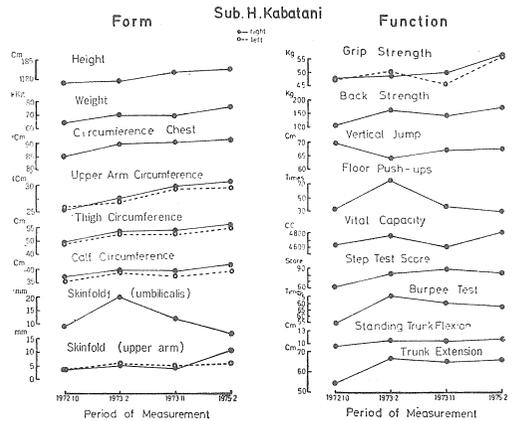


図4. 樺谷選手(平泳)の体力の推移

在では、200mで自己最高を記録し、後遺症もなく完全に回復している。

(3) 泉選手

競泳種目は自由形短距離で、100mが54秒2(昭和50年6月)の日本新記録を持っている。形態、機能両面とも、ステップテストスコアおよび腕立伏臥腕屈伸を除いて増加の傾向がみとめられ、特に3年間の背筋力の伸び率は38.2%を示した。記録の方も年々更新されている。

(4) 樺谷選手

競泳種目は平泳で、いままでの最高記録は、100mが1分7秒16(昭和50年, 18才), 200mが2分31秒85(昭和50年, 18才)である。形態面では、皮下脂肪を除いて各項目とも順調な伸びを示している。また、機能面でも、腕立伏臥腕屈伸を除いて、ほぼ増加の傾向を示している。記録の方

表1 被検者6名についての体力測定値 (1)

氏名	年齢	競技種目	測定期日	身長 cm	体重 kg	胸囲 cm	座高 cm	上腕囲				大腿囲		下腿囲			
								屈		伸		右	左	右	左	右	左
								右	左	右	左						
1 田口 信教	21	平泳	①昭和47年10月	173.2	69.6	95.0	96.3	34.0	33.2	29.2	29.0	56.3	55.4	38.0	37.5		
	21		② 48年2月	173.3	70.8	92.4	95.2	33.0	32.6	28.6	28.6	56.8	56.2	38.5	38.0		
	24		③ 50年2月	173.5	69.8	98.8	96.0	32.2	33.0	31.2	30.5	56.7	54.0	38.0	37.4		
2 小野 修司	16	自由形	①昭和48年2月	167.4	62.0	89.6	88.7	30.8	30.0	26.2	27.0	53.0	52.0	36.6	34.8		
	16		② 48年11月	168.4	61.3	91.6	90.8	30.6	30.0	28.5	27.4	53.4	51.6	35.0	34.4		
	17		③ 50年2月	168.8	61.8	92.5	91.8	30.3	30.2	29.0	28.1	52.0	51.1	34.6	33.2		
	17		④ 50年6月	168.5	62.1	91.5	91.5	30.2	30.1	28.1	28.3	53.0	51.5	35.1	35.2		
3 泉 真也	15	自由形	①昭和48年2月	177.9	67.9	87.0	96.1	30.4	30.0	26.8	27.2	53.1	53.4	36.5	36.4		
	16		② 48年11月	178.3	68.0	91.4	97.5	31.2	31.2	29.4	29.0	52.4	53.5	36.0	35.8		
	17		③ 50年2月	179.4	70.0	93.0	97.9	31.8	30.6	29.7	28.6	54.0	54.3	36.3	36.2		
4 榊谷 博	15	平泳	①昭和47年10月	179.4	64.8	85.2	98.7	30.1	29.0	25.5	26.0	50.0	49.3	33.1	35.3		
	15		② 48年2月	179.9	70.7	89.6	98.9	31.8	31.0	27.6	26.8	53.4	53.1	37.3	37.0		
	16		③ 48年11月	181.8	69.5	90.0	99.2	31.4	30.8	29.8	28.3	53.5	52.7	37.2	36.2		
	17		④ 50年2月	182.4	75.4	91.3	100.8	32.6	32.5	30.5	29.6	55.5	54.8	38.0	37.2		
5 沖田仁友寿	15	バタフライ	①昭和47年10月	175.9	76.9	94.0	93.7	32.2	31.8	29.0	28.8	56.9	57.0	38.4	38.3		
	15		② 48年2月	177.0	76.8	96.6	94.3	33.0	32.2	30.8	30.0	55.8	56.0	38.5	38.0		
	16		③ 48年11月	178.0	74.1	97.0	95.4	32.3	32.0	31.2	31.2	55.2	55.2	37.6	37.0		
	17		④ 50年2月	179.3	77.2	98.0	96.8	33.2	32.4	32.2	31.3	55.3	55.5	37.8	37.0		
6 林 克哉	13	背泳	①昭和47年10月	161.4	44.6	77.6	87.2	24.2	24.0	21.0	21.5	42.0	42.7	32.9	32.9		
	13		② 48年2月	164.9	48.9	80.6	88.6	25.6	25.0	22.0	21.8	43.0	44.0	33.0	32.8		
	14		③ 48年11月	170.2	50.8	83.8	92.8	25.4	25.2	23.0	23.2	43.5	44.4	32.7	33.0		
	15		④ 50年2月	175.6	57.7	90.3	96.2	27.9	27.7	26.0	25.0	46.8	47.5	34.5	34.6		

表1 被検者6名についての体力測定値 (2)

氏名	皮下脂肪				握力		背筋力 kg	垂直跳 cm	腕立伏臥 腕屈伸 回	肺活量 cc	息こらえ		安静時 脉搏数 回/分	ステッ プ・ス テア コ ア	パー ビー テ ス ト	柔軟度		備考
	上腕部		臍部		右	左					運動前	運動後				体前屈	体前屈	
	mm	mm	mm	mm	kg	kg					sec.	sec.				cm	cm	
1 田口 信教	4.0	4.0	13.2	13.2	52.0	50.0	160.0	73.0	40	5,660	100以上	60	50	86.5	5.75	15.0	65.8	昭和48年11月の測 定は実施していな い。
	3.5	3.5	11.5	11.5	51.0	50.0	144.0	69.0	31	5,420	100以上	43	52	78.3	5.50	10.8	70.3	
	7.5	4.5	7.0	7.0	57.0	57.0	171.0	72.0	24	5,280	100以上	60	56	83.3	6.00	14.0	70.2	
2 小野 修司	4.5	5.0	16.0	16.0	48.0	40.0	156.0	52.0	68	4,720	60	60	60	96.8	6.25	17.4	69.2	昭和50年5月4日 交通事故24日間入 院、4回目の測定 値は退院後13日 目のもの。
	5.0	6.5	27.0	27.0	48.0	44.0	148.0	52.0	50	4,660	65	36	60	95.7	6.00	22.0	68.6	
	7.0	6.0	13.0	13.0	50.0	47.0	153.0	53.0	100以上	4,340	46	50	64	80.4	6.75	23.6	69.2	
	5.5	6.0	26.0	26.0	49.0	46.5	118.0	56.0	100以上	4,880	90	75	70	59.2	6.50	17.2	62.0	
3 泉 真也	3.0	2.9	5.5	5.5	51.0	46.0	136.0	61.0	33	4,580	34	20	66	100.0	6.50	21.5	51.6	
	3.5	4.0	11.0	11.0	48.0	47.5	160.0	58.0	50	5,000	60	30	64	82.6	7.00	24.0	60.4	
	3.0	3.0	5.0	5.0	50.0	52.0	188.0	64.0	30	4,960	70	30	72	86.5	7.50	24.0	57.3	
4 榎谷 博	3.5	3.5	8.1	8.1	48.0	47.5	114.0	69.5	33	4,620	72	15	72	62.5	5.50	9.4	57.2	
	5.0	5.3	20.1	20.1	48.5	50.0	164.0	64.0	75	4,750	87	36	56	80.4	7.50	10.7	66.3	
	4.0	5.0	12.0	12.0	50.0	46.0	147.0	67.0	36	4,600	70	30	56	89.1	7.00	10.9	65.0	
	6.5	6.0	10.5	10.5	56.5	56.0	172.0	67.5	30	4,800	73	34	54	83.3	6.75	11.2	66.1	
5 沖田仁友寿	9.0	9.0	29.0	29.0	40.5	41.5	117.0	51.5	15	4,860	63	15	62	88.2	5.25	23.5	57.4	昭和50年10月退部
	10.5	9.5	19.5	19.5	40.0	43.0	124.0	46.5	15	5,100	70	21	62	94.8	6.50	21.3	63.6	
	8.0	10.5	20.0	20.0	43.0	45.5	140.0	46.5	45	4,940	92	39	64	85.7	6.50	27.8	66.9	
	9.5	6.5	11.0	11.0	47.5	47.5	150.0	46.0	30	4,900	100以上	40	70	90.0	6.75	22.0	65.8	
6 林 克哉	3.0	4.0	7.0	7.0	30.0	25.0	62.0	43.9	22	3,780	61	20	70	76.9	5.25	15.6	55.5	3回目の測定は、 ケガのため実施し ない項目あり。
	3.2	4.1	7.5	7.5	27.0	20.5	87.0	44.0	50	4,320	64	44	76	66.2	6.50	16.0	60.0	
	3.0	3.5	9.0	9.0	30.5	29.5	114.0	—	—	4,600	90	50	66	—	—	17.4	57.0	
	5.5	5.5	6.5	6.5	46.0	40.0	123.0	51.0	60	4,940	100以上	58	62	88.2	6.25	19.2	55.0	

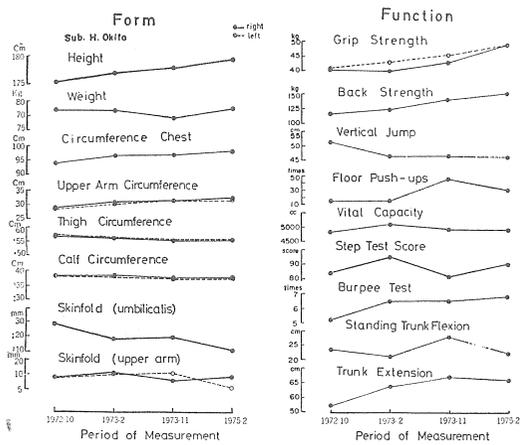


図 5 . 沖田選手(バクフライ)の体力の推移

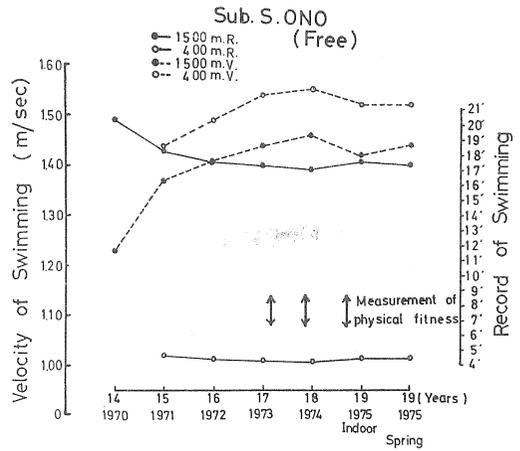


図 8 . 小野選手の水泳記録の発達

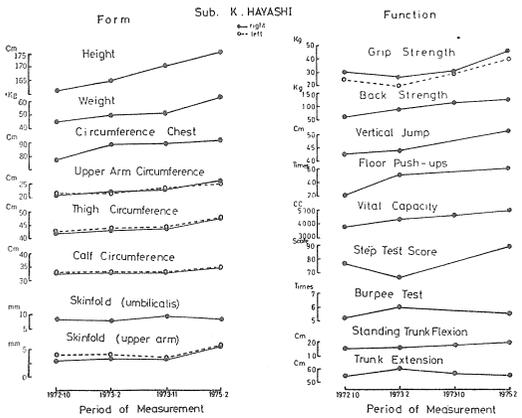


図 6 . 林選手(背泳)の体力の推移

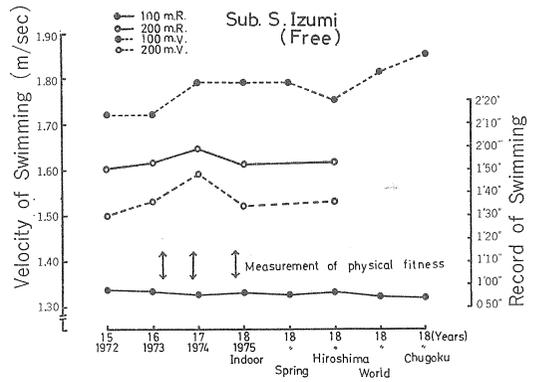


図 9 . 泉選手の水泳記録の発達

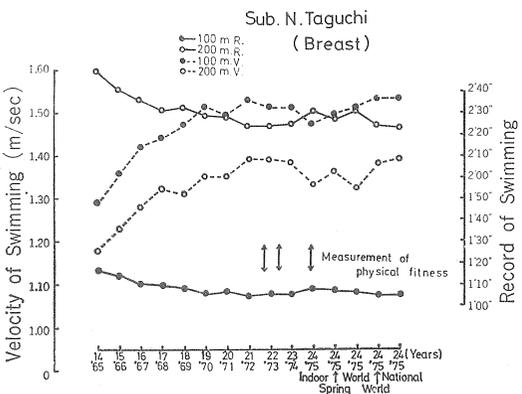


図 7 . 田口選手の水泳記録の発達

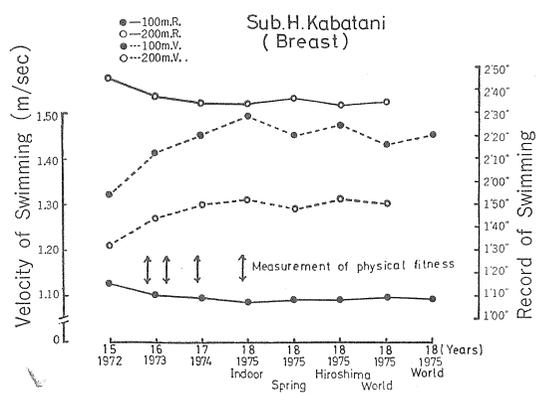


図 10 . 樺谷選手の水泳記録の発達

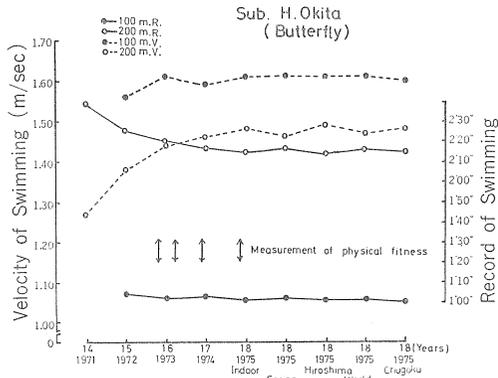


図11. 沖田選手の水泳記録の発達

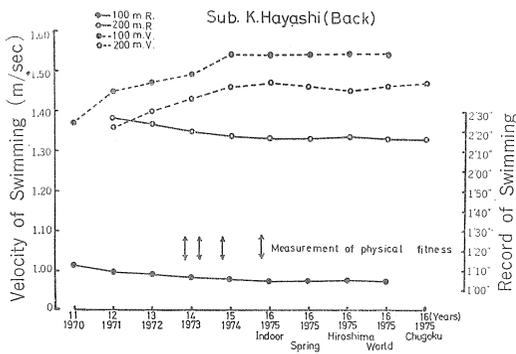


図12. 林選手の水泳記録の発達

は、18才頃から安定した記録を出しているが、大幅な記録の更新は見られない。

(5) 沖田選手

競泳種目はバタフライである。自己最高記録は、100m が1分0秒3（昭和50年、18才）、200mが2分13秒6（昭和50年、18才）である。形態面では、各項目とも年々増加しており、特に入部以来現在までの皮下脂肪の減少が著明である。また、機能面では、垂直跳を除いて徐々に増加している。記録の方は、18才までは著しい短縮を示したが、18才になってからの更新はみられない。

(6) 林選手

競泳種目は背泳であり、自己最高記録は、100m、1分2秒71（昭和51年、16才）、200m、2分13秒08（昭和51年、16才）である。過去4年間の形態、機能面での伸び率は著るしく、身長は44.1%、体重29.4%、胸囲16.0%、そして握力（左右の平均値）56.4%、背筋力98.4%、垂直跳14.0%、肺活量30.7%を示した。記録の方は、11~16

才までは驚異的な短縮を示したが、16才から現在まで大幅な更新はみられない。

以上のことから、体力および記録の向上が見られる年齢には、個人差および競泳種目によって差がみられる。林選手のように水泳を開始した時期が早ければ早い程、若い年齢で自己最高記録を生んでいることから、開始する時期が早ければ、よい記録が期待されるようである。

宮下⁸⁾は、日本のオリンピック代表選手(男子)について検討し、水泳の開始年齢は14.2才、記録の最も向上する年齢は14~18才であると報告している。

2. 発育期（13~18才）における体力の発達

図13および図14は、13~18才のいわゆる発育期にある選手5名について、体力の発達を検討したものである。形態面では、身長、体重、胸囲、上腕囲（左右の平均値）、比体重および比胸囲を選び、また、機能面では、背筋力、垂直跳、肺活量、ステップテストスコア、パービーテストおよび体前屈を選んだ。測定4回実施した者については、第1回目と第4回目の測定値を、3回実施した者については第1回目と第3回目の測定値を用いた。

各項目毎に伸び率を検討してみると、身長では平均伸び率は3.8%、体重では14.0%、胸囲で8.2%、上腕囲で12.4%、比体重で6.3%、そして比胸囲で5.5%を示し、体重および上腕囲の伸び率が特に大きい傾向を示した。また、年齢の低い者程、各項目とも伸びる割合は大きかった。機能の面で伸び率を検討してみると、背筋力で48.8%と高い値を示し、パービーテスト23.2%、体前屈17.0%、肺活量14.1%、ステップテストスコア13.4%、そして垂直跳3.1%の順に大きい値を示した。一般に水泳の記録と呼吸・循環機能の相関が最も高い年齢に、記録の向上が見られると言われているが、筋系および神経・筋系の発育の時期とも水泳の記録は相関があるように思われる。また、機能の面でも、各項目とも年齢の低い者程、伸びの割合は大きい傾向を示した。

年齢の低い被検者2名（林選手と中川選手）の水泳記録の伸びを、他の被検者（榎谷、沖田およ

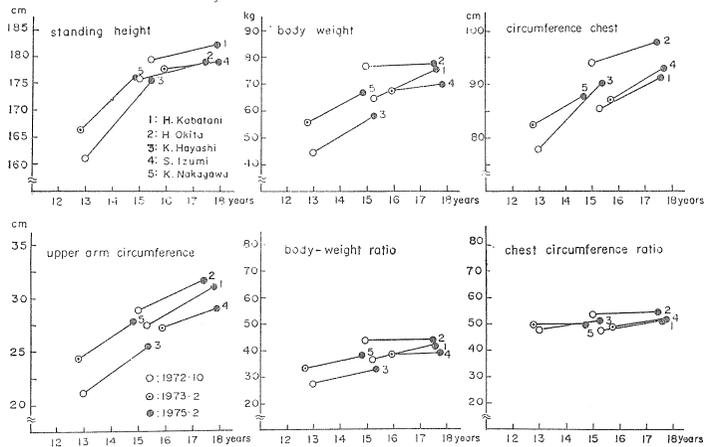


図13 13～18才の発育期にある選手5名の体力（形態）の発達

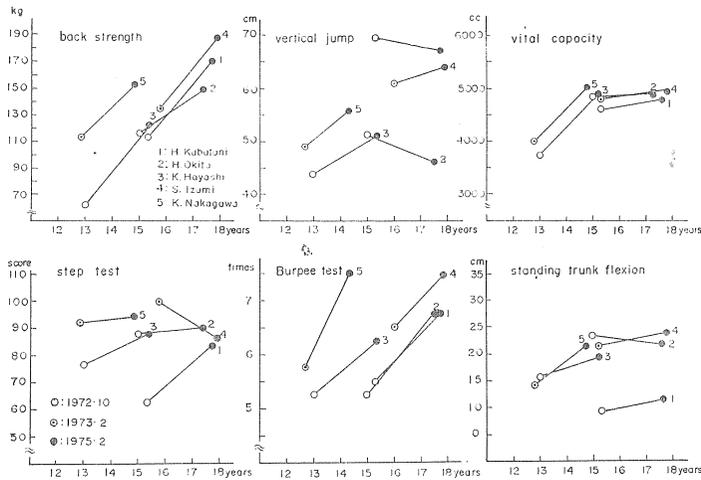


図14 13～18才の発育期にある選手5名の体力（機能）の発達

び泉選手)と比較してみても、かなり伸び率に差があり、水泳の記録更新を狙うためには出来るだけ早い時期から水泳を始めることが理想といえよう。

3. 競泳種目別にみた体力の特性

過去4年間の測定値から、年齢が14～21才の選手の中で、自由形10名、平泳6名、背泳6名、バタフライ2名および個人メドレー4名の計28名を選び、競泳種目別に体力の特性を検討した結果は、表2および図15に示すとおりである。28名の全体の平均値と比較したものである。測定項目には、形態面では、比体重、比胸囲、比座高を算出し、また、上腕囲、大腿囲、下腿囲の左右の平均

値を求めた。機能面では、特に水泳種目に関係が深いと思われる肺活量、運動後息こらえ時間、安静時脈拍数、ステップテストスコアに加えてバーピーテストおよび体前屈を選んだ。

その結果、形態面では、自由形と個人メドレーの体型がほぼ全体の平均値に近い値を示したが、平泳では、比体重、比胸囲の僅かな減少と上腕囲、大腿囲の僅かな増加がうかがわれ、背泳では上腕囲、大腿囲の僅かな減少と比体重の増加の傾向を示し、さらにバタフライでは、上腕囲、下腿囲が少し劣っているが、比胸囲では増加の傾向がみとめられた。機能面では、自由形がほぼ全体の平均値に近い値を示したが、平泳では、いくつかの項目は全体の平均値に比べて劣るものがみら

表 2 競泳種目別からみた体格および体力の平均値の比較

競泳種目	人 員	平均 年 令	才	比 体 重	比 胸 囲	比 座 高	上 腕 囲 (左右平均)	大 腿 囲 (左右平均)	下 腿 囲 (左右平均)	握 力 (左右平均)	垂 直 跳	肺 活 量	運 動 後 え 息 こ ら え	脈 拍 数	ス テ ッ プ スコア	パ ー ド ー テ ス ト	体 前 屈
							cm	cm	cm	kg	cm	cc	sec.	回/分	点	回/10秒	cm
自由泳	10	16.3		38.3 (99.7%)	53.4 (100.4)	53.9 (99.6)	27.8 (99.3)	52.5 (101.2)	36.1 (100.0)	47.3 (100.9)	56.9 (101.1)	5,060 (100.9)	42 (100.0)	66 (103.1)	92.1 (100.4)	6.83 (101.6)	21.6 (107.5)
平泳	6	16.2		37.5 (97.7%)	52.5 (98.7)	54.5 (100.7)	28.9 (103.2)	52.5 (101.2)	36.2 (100.3)	48.7 (103.8)	60.8 (108.0)	4,890 (97.5)	45 (107.1)	62 (96.9)	87.4 (95.3)	6.29 (93.6)	14.6 (72.7)
背泳	6	16.3		39.5 (102.9%)	53.2 (100.0)	54.1 (100.0)	27.6 (98.6)	51.1 (97.5)	36.2 (100.3)	45.7 (97.4)	55.2 (98.0)	5,252 (104.7)	46 (109.5)	61 (95.3)	94.0 (102.5)	6.70 (99.7)	20.2 (100.5)
バタフライ	2	16.0		38.2 (99.5%)	54.9 (103.2)	54.6 (100.9)	28.5 (101.8)	50.6 (97.5)	35.7 (98.9)	42.9 (91.5)	48.5 (86.1)	4,460 (88.9)	35 (83.3)	64 (100.0)	97.4 (106.2)	7.12 (106.0)	25.0 (124.3)
個人メドレー	4	15.8		38.1 (99.2%)	53.1 (99.8)	53.9 (99.7)	27.9 (99.6)	51.5 (99.2)	36.4 (100.8)	46.9 (100.0)	53.6 (95.2)	5,025 (100.2)	35 (83.3)	72 (112.5)	91.1 (99.3)	6.93 (103.1)	21.9 (108.9)
全体の平均値	(総) 28	16.1		38.4	53.2	54.1	28.0	51.9	36.1	46.9	56.3	5,016	42	64	91.7	6.72	20.1

() 内は全体の平均値に対する割合を示す。

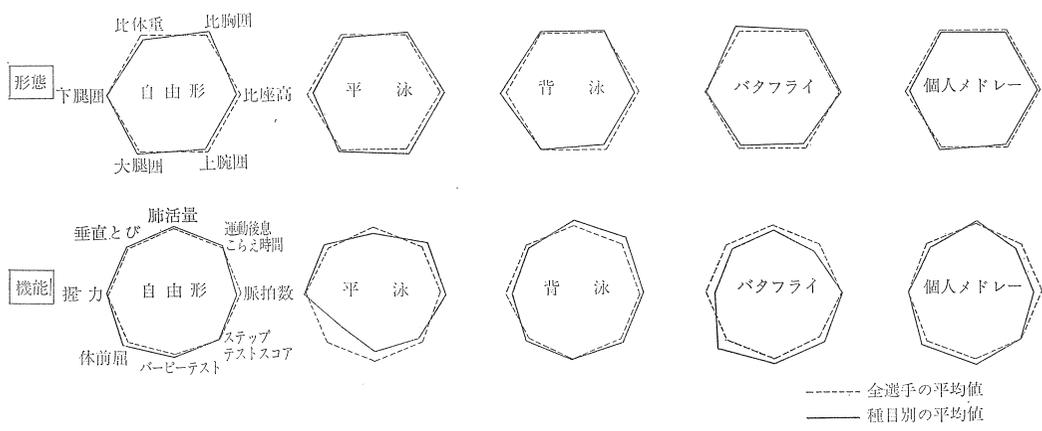


図15 競泳種目別からみた体型，体力の比較（全選手の平均値を100%とし，脈拍数のみは平均値より少ない部分（X%）を100+X%として図示した）

れ、特に体前屈が著明に劣っていた。また、背泳では、握力、垂直跳が僅かに劣っているが、肺活量、運動後の息こらえ時間は優る傾向にあった。バタフライでは、ステップテストスコア、パービーテスト、体前屈は、全体の平均値を凌いでいるが、その他の項目は劣る傾向を示した。個人メドレーはパービーテスト、体前屈に増加の傾向がみられるが、運動後息こらえ時間、垂直跳、安静時脈拍数が劣っていた。

以上の結果から、長い間、練習を重ねると競泳種目による体格、体力の特性が現われてくるようである。例数も少なく、また、特定のクラブを対象にしたので明言できないが、競泳種目別の特性がはっきりすれば、競泳種目を選択する場合に役立つものと思われる。

図16は、前述の選手28名の平均値とそれぞれの

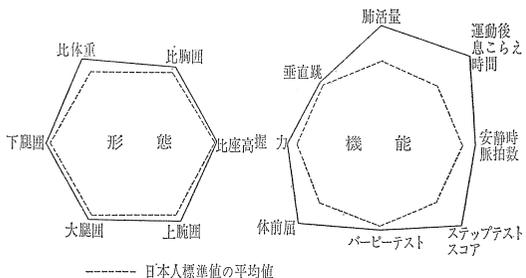


図16 フジタドルフィンクラブの水泳選手の体型および体力（日本人標準値を100%とし，脈拍数のみはその平均値より少ない部分（X%）を100+X%として図示した）

年齢に応じた日本人の標準値¹⁰⁾の平均値とを各測定項目について比較したものである。形態、機能の面とも、日本人の標準値に比べて秀れていることは明らかであるが、その傾向は、形態面より機能の面で著明である。特に、肺活量、ステップテストスコアと言った呼吸、循環機能および柔軟性が秀れていた。

ま と め

フジタドルフィンクラブに所属し、発育期にある水泳選手を対象に、過去4年間に亘って体力測定を実施し、体力の発達と水泳記録との関係ならびに競泳種目別の体力の特性を検討し、次の成績を得た。

1) 体力の発達と水泳記録の関係には、個人差と競泳種目による差がみられるが、全般的に16才頃までに体力と記録の急激な伸びがみられ、それ以後の伸びる割合が小さい。

2) 発育期（13～18才）にある選手の体力の伸びは、低い年令の者程著るしく、高い年令の者では少ない。

3) 体力の要素のなかで、呼吸・循環機能の発達の外に、筋系、神経系の機能の発達も著るしい。

4) 競泳種目により体力の特性に差が現われ、体格よりも体力の機能の面で著明である。

5) 水泳選手の体力は、日本人の標準値に比べ

て非常に秀れている。その傾向は、形態面より機能面で著るしい。

以上の結果をもとに、同被検者を対象に、泳法を異にした際の呼吸・循環機能の分析および疲労度についての検討を今後進める予定である。

本研究を行なうにあたり、徳山工専、和田実講師、広島大学、杉山允宏助手および広島工業大学、高本登助手の御協力を得たことを感謝する。

参 考 文 献

- 1) Cureton, T.K. (1930) : Mechanics and Kinesiology of the Crawl Stroke Flutter Kick, Res. Quart. 1 : 87-121.
- 2) Cureton, T.K. (1934) : Factors Governing Success in Competitive Swimming, Spalding's Intercollegiate Swimming Guide, 48-62. American Sports Pub. Co.
- 3) Karpovich, P.V. (1935) : Analysis of the Propelling Force in the crawl Stroke, Res. Quart. 6 : 49-58.
- 4) Karpovich, P.V. and Millman, N. (1944) : Expenditure in Swimming, Am. J. Physiol. 142 : 140-144.
- 5) 小村 堯, 菊地邦雄, 杉山允宏 (1975) : クロール泳法の研究 — 2 ビート泳法と 6 ビート泳法の比較 — 第26回日本体育学会抄録, P. 546.
- 6) Liljestrand, G. and Stenström, N (1919) : Studien über die Physiologie des Schwimmens, Scand. Arch. f. Physiologie 39 : 1-63.
- 7) 宮下充正 (1961) : 水泳についての身体力学的考察, 新体育, 31, 7 : 22-27.
- 8) 宮下充正 (1970) : 水泳の科学—キネシオロジーと指導への応用—, 体育の科学社, P. 1-190.
- 9) 滝瀬定文, 増原光彦, 吉田精二 (1975) : Crawl 泳法における 2 Kick と 6 Kick の違いについて, 第26回日本体育学会抄録, P. 547.
- 10) 東京都立大学身体適性学研究室編 (1970) : 日本人の体力標準値, 不昧堂。

