

1963

人体水抵抗に関する研究

財団法人 日本体育協会
東京オリンピック選手強化対策本部
スポーツ科学研究委員会

人体水抵抗に関する研究

水泳トレーニング・ドクター 梶田幸徳

共同研究者 宮下充正

高橋伍郎

人体が静止した水中を進むとき水の抵抗を受ける。逆にいえば、人体が水中を進むためには、最低、水から受ける抵抗と同じだけの力を発揮しなければならない。

本研究の目的は、この水の抵抗と人体の進むスピードとの関係を明らかにすることを目的とした。

水泳が競技として盛んになるにつれて、この人体の水抵抗が人々の間で問題となるのは当然であり、その研究もすでに幾つか行われている。1933年、P. V. Karpovich¹⁾ は電動力機を使用して実験を行ない、第1表のような体表別のスピードと

第1表

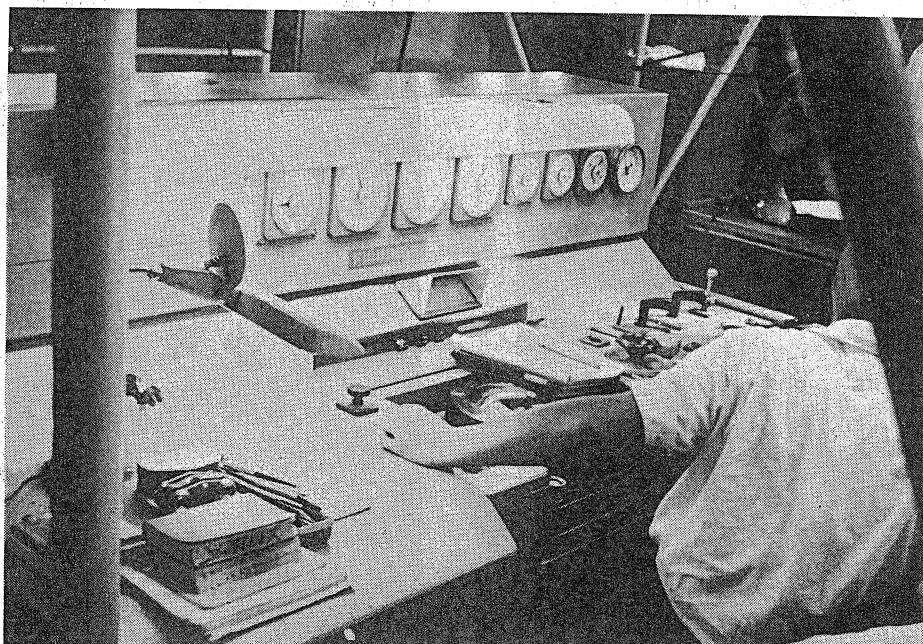
	体表面積 (feet ²)	水 抵 抗	
		伏	仰
男	24~19	0.65V ²	0.75V ²
男と女	19~16.5	0.55V ²	0.60V ²

V (feet/sec)

人体水抵抗の実験式を得た。

1955年には、J. E. Counsilman²⁾ が新しい装置を考案して4人の被験者について実験を用い、結果を図に表わした。日本においては、1930年代に実験が行なわれたといわれているが、現在文献を見つけないことができない。1958年には石田³⁾

写真1 牽引車運転器



が、水流 1m/sec のところで、種々の姿勢での人体水抵抗を測定した。

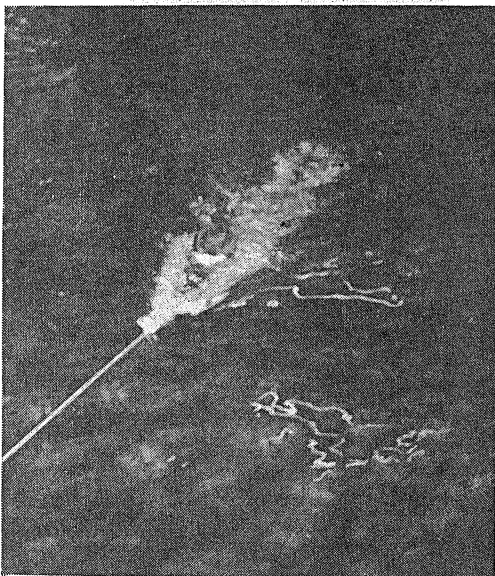
本研究は、P. V. Karpovich の実験式の再検討、すなわち、米国人とは体型の非常に異なる日本人について、この実験式がどの程度あてはまるかを主目的として実験を行ない考察したものである。

1. 実験方法

現在の流体力学の理論の発達の程度をもってしては、この純理論だけでは、ある与えられた一定の条件に対し、抵抗が最小の船体、あるいは、効率の最良の推進器の形状を決定することは勿論、ある一定の形状をもつ船体または、推進器に対し、その抵抗または効率および推力を正確に算出することさえ不可能であるといわれている。したがって、この方面の研究は、理論とともに実験に俟たねばならないことが極めて多いわけである。まして人体のように形状が非常に複雑である物体ではその抵抗を求めるためには、実験を主とし、理論を従とせざるを得ないのである。^{5,6)}

純粋な前進抵抗を知るためには、ロープにより人体を牽引して、その時の張力を計ればよいわけである。本研究は東京にある運輸省船舶技術研究所内の第一水槽試験装置を利用してこれを行なっ

写真 2 牽引姿勢 (伏臥頭部水上)



た。水槽は長さ 200m、幅 10m、深さ 6m で電動式の牽引車が水面上約 0.6m にあるレールの上を動くようになっている。

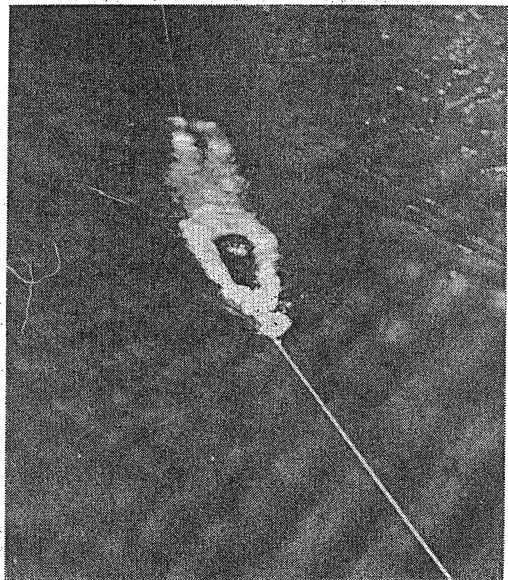
牽引車のスピードは、無断変速機 (写真 1) で自由に変えられ、そのスピードは、円周 10cm の車輪の回転を基準にして測定できるようになっている。張力の測定は 20kg まで計測可能なスプリングバランスを使用した。このバランスは牽引車の最下部に固定し、人体と 3.6m の長さのロープで結んだ。

人体の姿勢は伏臥と仰臥で、それぞれ両腕を伸ばしてロープを握り、両脚は伸ばし、頭部を後頭部まで水が流れる位置まで下げる状態と、頭部を額のところで水をきる程度に上げる状態との計 4 種類である。すなわち伏臥頭部水中 (写真 2) 伏臥頭部水上 (写真 3) 仰臥頭部水中、仰臥頭部水上である。この 4 種類の姿勢全部に亘って被験者はロープの牽きに全身をゆだね、何らの動作も行なわないよう注意した。

スピードは約 0.7m/sec から 2.2m/sec の間で、各人、4~5 種目のスピードについて測定した。

被験者は、水中での姿勢を一定に保持できるまでに水泳練習を積んだ東京オリンピック候補選手男子 23 名と 1963 年、日米対抗水上競技大会出場の米国選手 5 名であった。着衣は市販されている競

写真 3 牽引姿勢 (伏臥頭部水中)



第 2 表 牽引スピードと人体水抵抗の測定値 (日本選手)

I 伏臥姿勢

氏 名	年令 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	牽 引 ス ピ ー ド (m/sec)	水 抵 抗	
					伏 臥 頭 部 水 中 (kg)	伏 臥 頭 部 水 上 (kg)
佐 藤	20	159.7	62	0.698	0.986	1.479
				1.013	2.366	3.352
				1.312	4.141	4.930
				1.571	4.733	7.395
				1.869	7.888	8.874
藤 島	18	168.5	59	0.714	0.986	1.183
				1.039	2.465	2.958
				1.342	4.437	4.733
				1.609	5.719	6.113
				1.904	7.888	8.381
上 田	22	166.2	63.5	0.692	1.380	1.479
				0.996	2.169	2.465
				1.292	3.352	3.352
				1.587	4.930	4.930
				1.896	8.381	7.888
				2.037	9.860	11.832
山 南	18	169.2	62	0.711	1.183	1.479
				1.029	1.774	2.366
				1.328	3.352	3.747
				1.598	4.930	5.423
				1.894	8.381	8.282
岡 部	22	167.1	65.0	0.712	1.183	2.958
				1.033	2.958	3.944
				1.333	3.944	4.437
				1.595	5.324	7.691
				1.896	8.085	9.663
石 原	24	165.3	67	0.714	1.972	2.761
				1.024	3.155	4.930
				1.316	4.930	6.902
				1.596	6.409	8.085
				1.883	10.848	10.848
山 影	18	169.5	65	0.693	0.493	0.986
				0.991	2.169	2.465
				1.288	2.958	3.944
				1.592	4.930	4.930
				1.899	7.888	8.381
				2.191	11.832	11.339
佐々木	20	172.9	67	1.877	8.381	12.325
				0.706	1.972	2.366
				1.020	4.141	4.437
				1.322	5.423	5.127
				1.609	6.310	8.381
福 井	23	168.7	70	0.708	0.986	1.380
				1.025	2.169	2.465
				1.316	3.747	3.944
				1.598	5.324	5.127
				1.891	8.874	8.381
山 田	20	169.8	67.2	0.711	1.972	3.352
				1.032	2.958	3.747
				1.328	4.437	4.930
				1.603	5.719	6.310
				1.896	8.381	9.860

氏名	年齢 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	牽引スピード (m/sec)	水 抵 抗	
					伏臥 頭部 水中 (kg)	伏臥 頭部 水上 (kg)
中 島	22	169.9	69	0.705	1.774	3.747
				1.021	2.958	3.352
				1.312	4.141	4.338
				1.593	6.409	7.691
				1.888	7.395	8.874
松 本	19	170.8	71.0	0.714	1.380	2.465
				1.027	3.352	3.451
				1.320	4.733	5.916
				1.597	6.310	8.677
				1.899	8.677	9.860
藤 本	23	174.3	67	0.710	0.986	1.183
				1.025	2.169	2.465
				1.303	3.451	3.451
				1.586	5.423	5.423
				1.876	9.86	8.874
大 林	20	173.0	72.0	0.726	1.972	2.169
				1.038	3.155	3.944
				1.332	4.930	5.423
				1.600	6.902	7.888
				1.900	9.367	12.325
岩 本	21	174.2	72.5	0.715	1.183	1.774
				1.027	2.465	2.761
				1.318	4.338	4.930
				1.598	4.733	4.930
				1.886	8.282	8.282
後 藤	21	181.4	70	0.727	1.774	2.465
				1.042	2.958	4.930
				1.336	3.451	4.437
				1.604	4.437	5.916
				1.907	7.888	7.395
2.212	8.381	11.339				
多 田	18	172.6	74	0.698	1.479	2.465
				0.967	2.958	3.944
				1.225	4.437	5.423
				1.481	5.719	6.902
				1.738	7.395	8.874
2.184	12.325	12.818				
山 中	24	169.4	79	0.741	0.887	1.774
				1.049	2.169	3.352
				1.333	4.338	6.113
				1.588	5.324	7.099
				1.884	9.663	10.057
増 永	24	180	80	0.700	1.380	2.958
				1.012	3.944	7.888
				1.309	4.338	9.860
				1.597	5.719	7.395
				1.879	9.367	13.804

泳用パンツだけであった。期日は、1963年6月29日、7月6日、7月7日、8月30日であった。

2. 測定結果

(1) 全員の測定結果

測定者全員の測定結果は第2表(日本選手)第3表(米国選手)のとおりである。

II 仰臥姿勢

氏名	年齢 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	牽引スピード (m/sec)	水 抵 抗	
					仰臥頭部水中 (kg)	仰臥頭部水上 (kg)
富 田	24	166.6	65	0.699	1.380	1.183
				1.018	2.465	2.564
				1.310	3.944	4.141
				1.595	6.409	7.395
				1.884	9.367	10.254
伊 藤	19	168.2	71	0.713	1.578	1.774
				1.033	2.761	2.761
				1.326	4.535	4.338
				1.596	7.099	6.705
				1.889	10.254	9.860
田 中	19	178	70.5	0.725	1.774	3.352
				1.036	2.958	2.761
				1.327	4.930	4.535
				1.600	6.409	6.902
				1.894	10.848	10.057
福 島	20	180.5	74.5	0.716	1.972	1.479
				1.030	2.958	2.958
				1.325	5.423	4.930
				1.597	6.902	6.409
				1.891	11.339	10.353

第 3 表 牽引スピードと人体水抵抗の測定値 (米国選手)

氏 名	年令 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	牽引スピード (m/sec)	水 抵 抗	
					伏臥頭部水中 (kg)	伏臥頭部水上 (kg)
R. マ ッ ツ ゲ イ	19	193.9	80.5	0.747	1.380	2.169
				1.090	2.761	3.155
				1.363	5.127	4.930
				1.673	7.888	7.001
				1.938	10.353	9.860
R. サ ー リ	18	192.2	84.5	0.745	2.958	3.944
				1.035	3.451	4.141
				1.330	4.141	6.705
				1.642	6.902	9.071
				1.925	9.071	12.818
D. シ ョ ラ ン ダ ー	16	181.4	73.0	0.738	0.986	1.972
				1.043	2.465	3.944
				1.344	4.938	6.409
				1.646	8.085	8.381
				1.923	10.353	10.057
S. ク ラ ー ク	20	182.6	70.0	0.736	1.183	1.479
				1.039	2.465	2.958
				1.333	3.451	4.437
				1.645	7.099	6.902
				1.928	9.367	9.367
				2.189	11.832	12.818
C. ロ ビ ー	18	177.9	80.5	0.737	0.986	1.577
				1.037	2.465	2.958
				1.340	2.958	3.944
				1.643	5.719	7.888
				1.931	7.099	8.874

(2) 個人別牽引スピードと

人体水抵抗との関係

① 伏 臥

17名の被験者について伏臥姿勢でのスピードと人体水抵抗の測定結果をみると、およそ3つの傾向がみられる。この傾向を典型的に示す3人の被験者の結果を第I図に表わした。

第I図のIは山南選手(平泳, 身長169.2cm, 体重62kg, 体表面積1.74m²)の結果である。

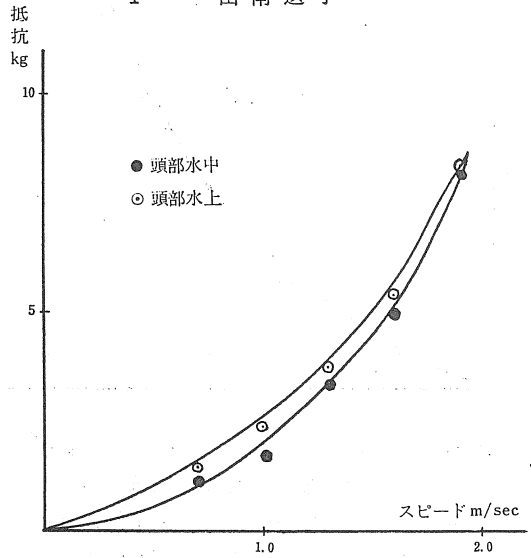
それぞれのスピードで頭部水上が頭部水中より0.5kg程度大きく、スピードの増加とともに抵抗は急激に増加している。このような傾向を示したのは、19名中7名であった。

第I図のIIは岩本選手(蝶泳, 身長174.2cm, 体重72kg, 体表面積1.89m²)の結果である。それぞれのスピードで頭部水上が頭部水中より0.2~0.5kg程度大きい、Iに比較してスピードの増加とともに増大する抵抗が1.3~1.6m/secのところまで一時休止している。すなわち、あるスピードあたりで抵抗があまり変らない値を取る。このような傾向を示したのは、19名中7名であった。

第I図のIIIは後藤選手(自由型短距離, 身長

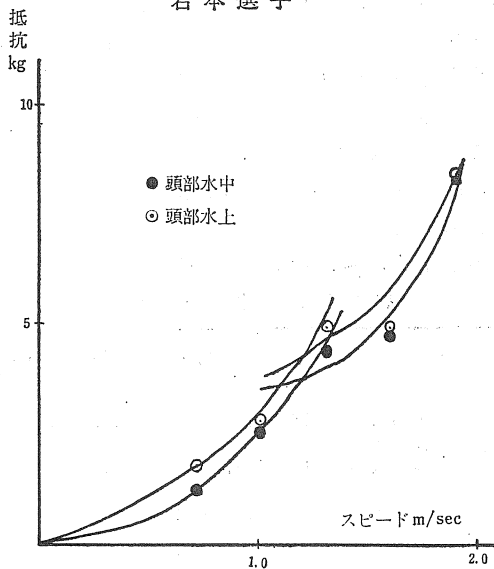
第I図 伏臥姿勢

I 山南選手



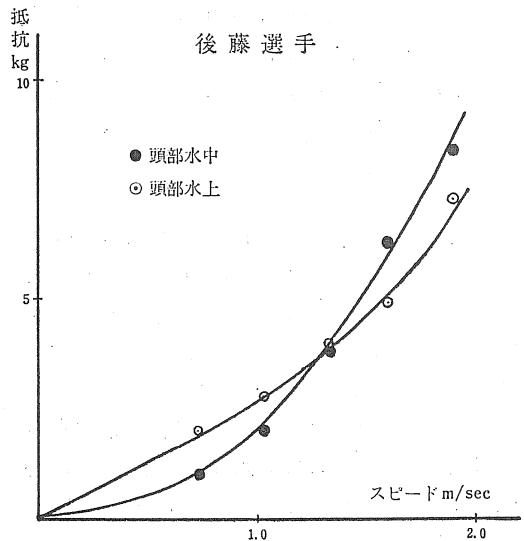
II

岩本選手

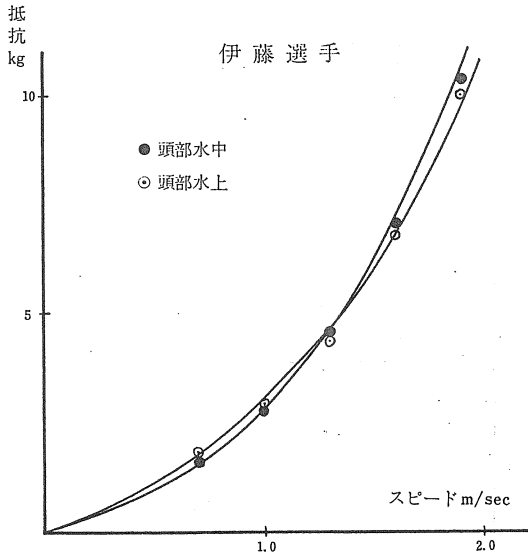


III

後藤選手



第II図 仰臥姿勢



181.4m, 体重70kg, 体表面積1.90m²)の結果である。スピードの増加とともに、抵抗は増大するがIとIIの結果と異なり、頭部水上が低スピードでは大きい、高スピードでは頭部水中の方が大きくなっている。このような傾向を示したのは、19名中5名であった。

② 仰 臥

4名の被験者について仰臥姿勢でのスピードと人体水抵抗の測定結果は4名ともほぼ同じ傾向を示している。第II図が伊藤選手(背泳, 身長168.2cm, 体重71kg, 体表面積1.81m²)の結果である。頭部水上と頭部水中の抵抗には差がなく、ほぼ同じような傾向でスピードの増加とともに、抵抗は、急激に増大している。

3. 考 察

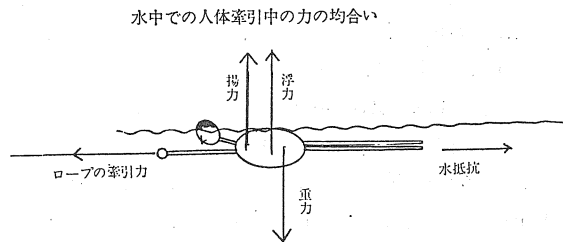
(1) 牽引スピードと人体水抵抗との全体の傾向

牽引スピードと人体水抵抗の全体の傾向をみるために、被験者全員の値をグラフに表わした。そしてスピードと抵抗との回帰曲線を求め、そのグラフに書き入れた。

第III図のIは伏臥頭部水上, IIは伏臥頭部水中, IIIは仰臥頭部水上, IVは仰臥頭部水中である。I・II・III・IVのいずれの場合もスピードの増加にしたがって抵抗はふえているがその増加の割合は各々

の姿勢によって異なる。それぞれの姿勢での回帰曲線はスピードをV, 抵抗をRとすれば, Iは $R = 2.51V^{1.92}$, IIは $R = 3.20V^{1.65}$, IIIは $R = 2.80V^{1.95}$, IVは $R = 3.20V^{1.70}$ であった。頭部水中と頭部水上とを比較してみると伏臥姿勢, 仰臥姿勢ともに低いスピードでは頭部水中の方が頭部水上より抵抗が少ない。しかし高いスピード, すなわち, 牽引スピードが2.0m/secを越えると頭部を水上に出す姿勢と没する姿勢の間

第 III 図



の差がなくなる。この時の実際の姿勢をみると身体全体がかなり水面上より出ることがわかる。これは、牽引スピードが一定の時の人体にかかる力のつり合いを考えてみると揚力の増加になるものと思われる。すなわち、人体の水平方向はロープの牽引力と水抵抗がつり合い、鉛直方向は重力と「浮力+揚力」がつり合っている。そこで揚力が増加すれば重力が一定であるから、浮力が減少することを意味するわけである。したがって頭部水中と、頭部水上との姿勢の差が少なくなるためであると推測される。

(2) 人体水抵抗の個人差

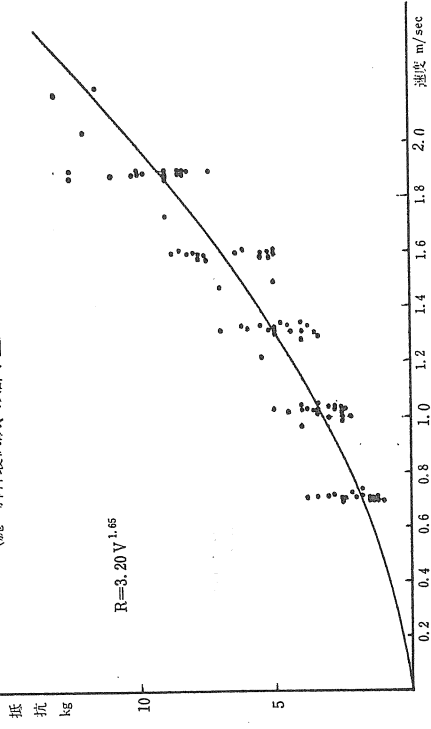
今回の測定の結果、人体の水抵抗にはかなりの個人差があることがわかった。第5表はスピード0.98m/sec~1.10m/secの時とスピード1.90

第5表 人体水抵抗の個人差

		人数	0.98~1.10 m/sec	1.87~1.91 m/sec
伏臥	頭部水上	18	2.37~4.44kg	7.30~13.80kg
	頭部水中	18	1.77~4.14kg	7.40~10.85kg
仰臥	頭部水上	4	2.56~2.96kg	9.86~10.35kg
	頭部水中	4	2.47~2.96kg	9.37~11.34kg

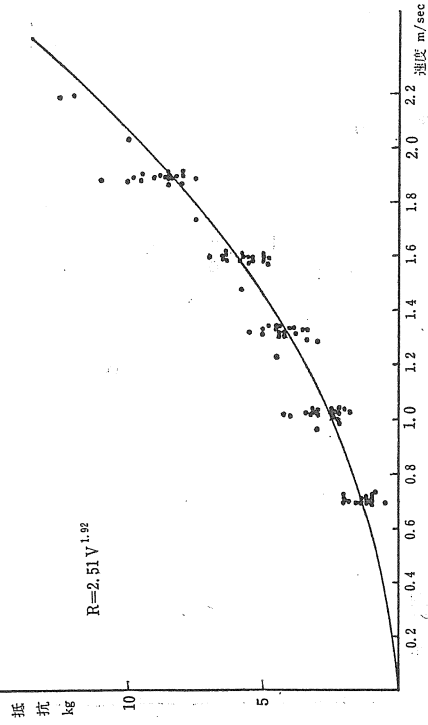
第III図 I

速度と人体水抵抗の関係
(腕・胸伸最伏臥、頭部水上)



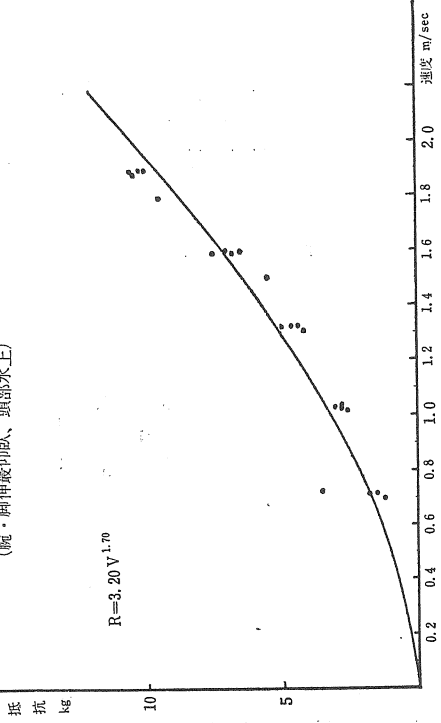
第III図 II

速度と人体水抵抗の関係
(腕・胸伸最伏臥、頭部水中)



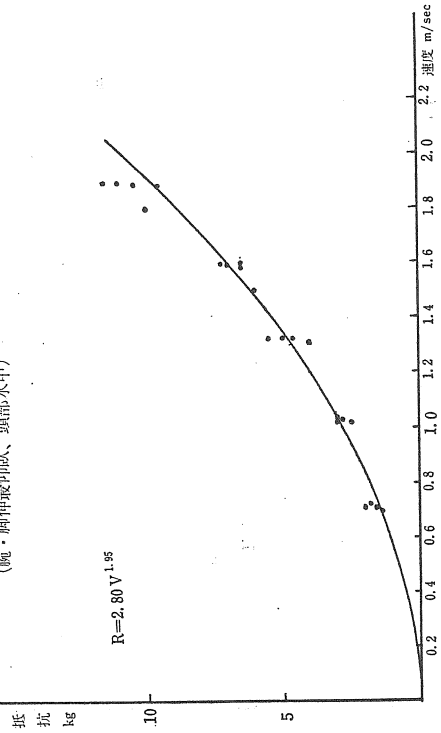
第III図 III

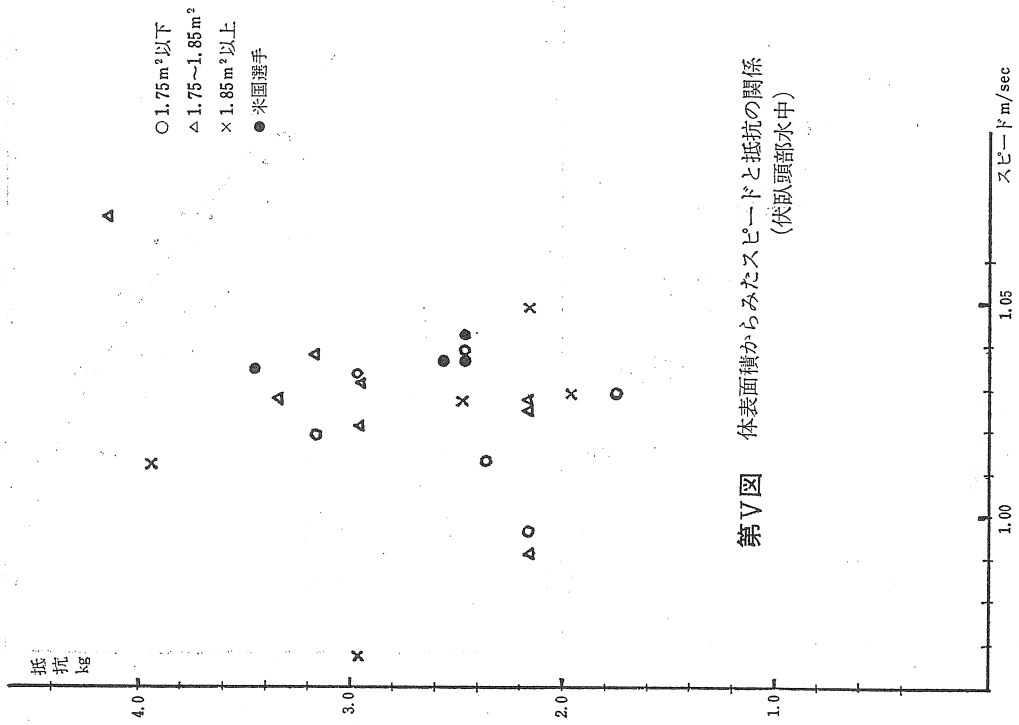
速度と人体水抵抗の関係
(腕・胸伸最仰臥、頭部水上)



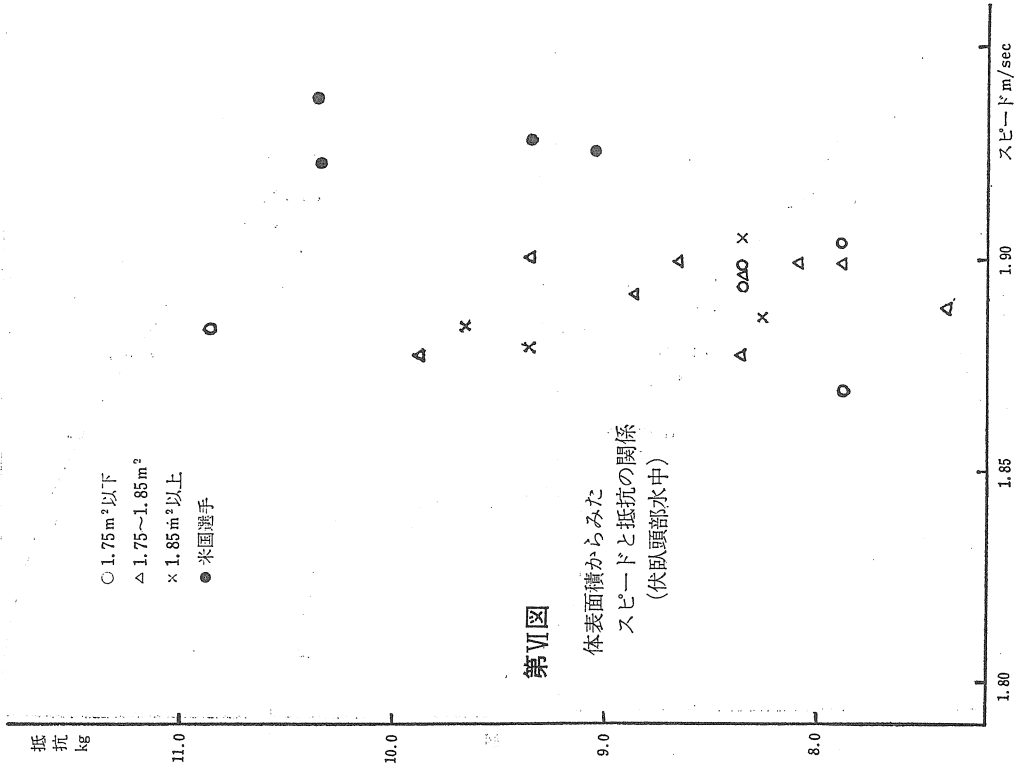
第III図 IV

速度と人体水抵抗の関係
(腕・胸伸最仰臥、頭部水中)





第V図 体表面積からみたスピードと抵抗の関係
(伏臥頭部水中)



第VI図 体表面積からみた
スピードと抵抗の関係
(伏臥頭部水中)

m/sec~1.91m/secの時の抵抗の個人差である。これによると抵抗の個人差は伏臥姿勢でスピードが増加するに従って大きくなっている。すなわち、秒速約1.0m(100mを1分40秒で泳ぐ速さ)の時は2~3kgの抵抗の差があり、秒速約1.9m(100mの世界記録に近い52秒位で泳ぐ速さ)の時は、3kg~4kgの差となっている。

この牽引による水抵抗の個人差の原因は何であるか。まず考えられるのは体型の差である。そこで各被験者の身長と体重から体表面積を算出し、抵抗と比較してみた。第V図はスピード約1.0m/secの時、第VI図はスピード約1.9m/secの時の結果である。各々のスピードで体表面積から1.75m²未満、1.75m²以下、1.85m²未満、1.85m²以上の3つに分類してみたが、体表面積の大きさと抵抗の大きさとの関係は明らかではない。したがって身体の大きいものが、抵抗は大きいということは一概にいえないということがわかった。

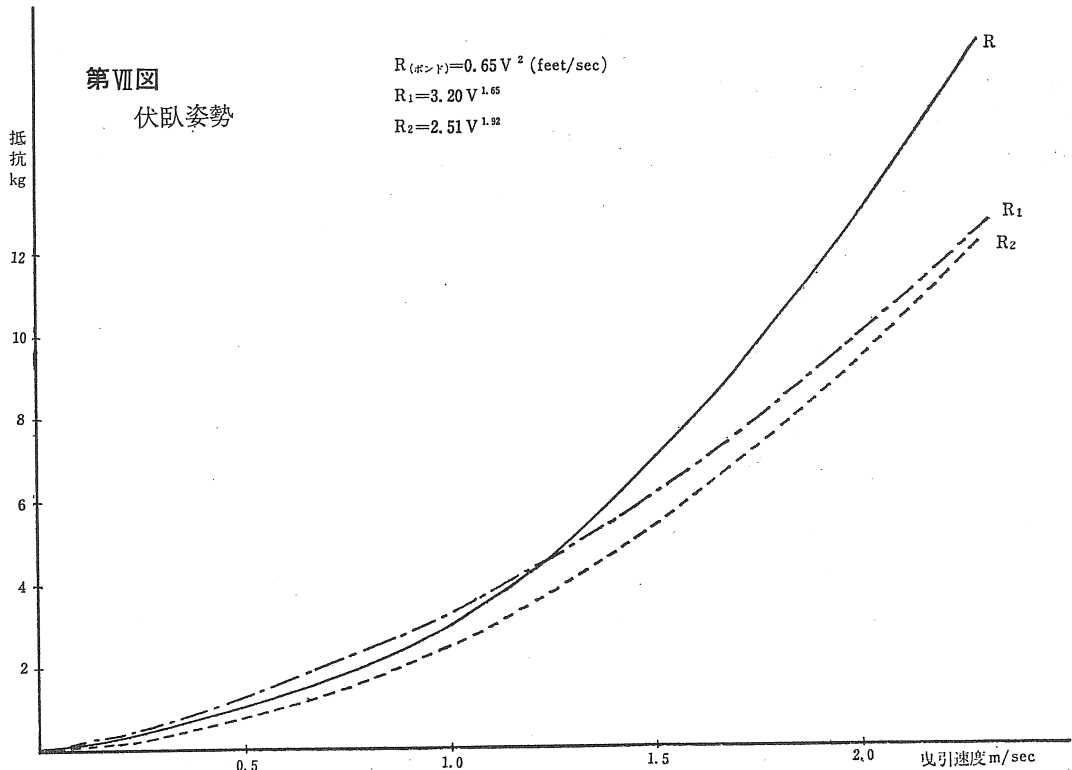
個人差の現われる原因の二番目として考えられることは、各個人の浮力、重力のバランスの問題である。今回はこの点については分析を行なわな

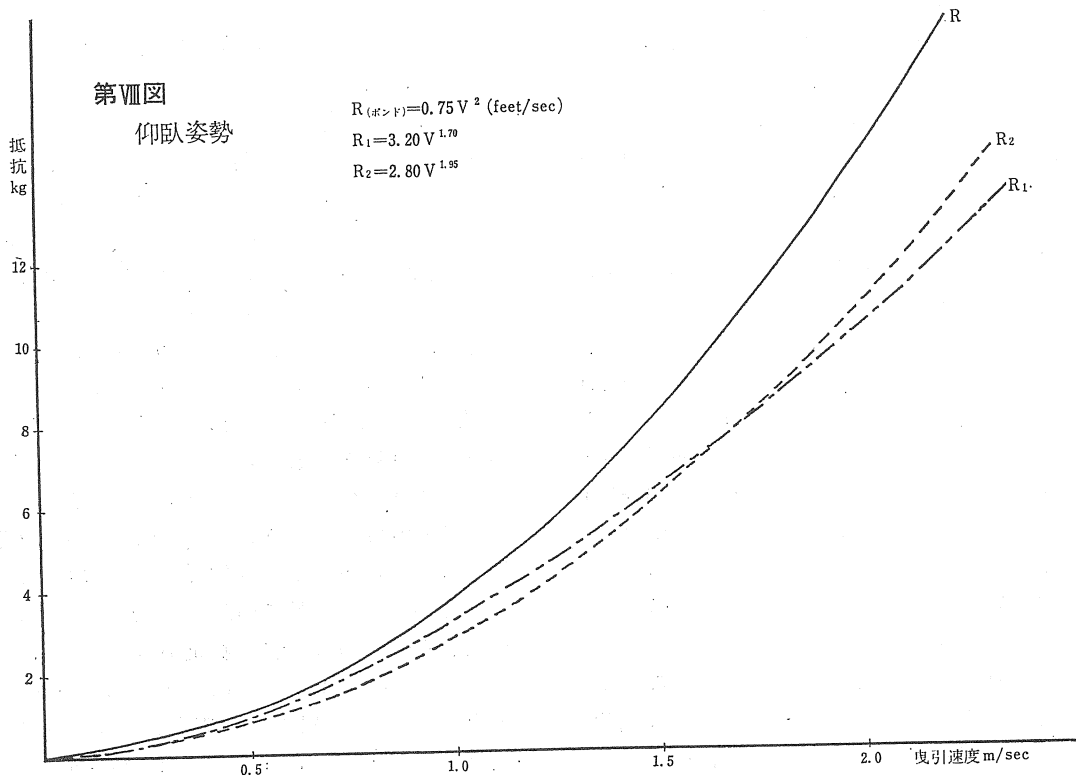
かった。

三番目として考えられることは、各人の姿勢のとり方の問題であり、これはかなり大きな影響を抵抗の個人差に与えているようである。すなわち水中での頭部、体幹、四肢のわずかな屈曲あるいは伸展の度合、またローリング、ピッチング等が抵抗値を左右しているようである。今回の被験者が水泳練習を10年以上も積み、水中での動作にはなれている者ばかりであり、彼らに最も抵抗を少なくし、安定した姿勢をとるように指示した結果であることからみると、水中牽引姿勢に個人に差が現われるのは個々の人間が生れながらに持っている動作の型の相異からではないかと思われる。

(3) P. V. Karpovich の研究との比較

すでに1933年に P. V. Karpovich が人体水抵抗とスピードの関係式(第1表)を発表しているが、これを今回の実験で得た結果と比較してみた。P. V. Karpovich の式は抵抗がポンド、スピードがfeet/secの単位であるがこれからメートル法に換算したのが第VII図、第VIII図である。第VII図は伏臥姿勢であるがスピードが約1.3m/secまでは





今回の実験の結果とほぼ同じ値を示しているが約 1.5m/sec から大きくなり、約 2.0m/sec では、約 4.5kg 程度抵抗が大きい。

第Ⅷ図では、仰臥姿勢であるが、第Ⅶ図と同様な傾向であり、約 2.0m/sec では約 4.0kg 程度抵抗が大きい。

これは、日本人と米国人の人種的な体型あるいは水中姿勢の差とも思われるが、後述するように、来日した米国選手のスピードと抵抗の関係が日本選手と同じであることから、そうともいえない。したがって実験法の差ではないかと思われる。すなわち、水中姿勢あるいは牽引スピードの相異からくるのではないかと思われるが今回は P. V. Karpovich の原著をみる機会がなかったので、くわしい考察は次の報告にする。

(4) アメリカ選手との比較

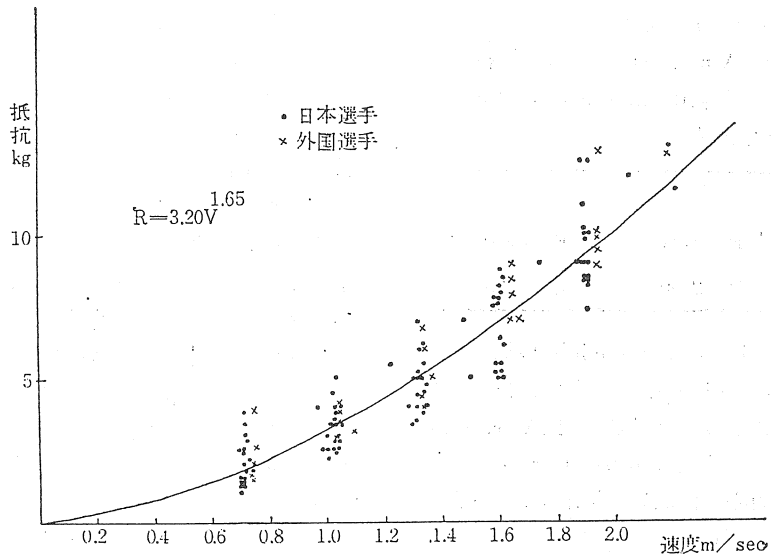
1963年、日米対抗水泳競技大会に参加するため来日した D. ショランダー (自由型中距離) R. サーリ (自由型長距離) S. クラーク (自由型短距離) C. ロビー (バタフライ) R. マックゲイ

(背泳) の 5 選手と日本選手との比較を試みた。5 選手の形態、および各スピードでの人体水抵抗は第 3 表に示すとおりである。これを、日本の選手の伏臥頭部水中、水上の回帰曲線 $R = 2.51V^{1.92}$, $R = 3.20V^{1.65}$ と全員のスピードと抵抗値とをグラフにしたものへ、米国の 5 選手の測定値を記入してみた。(第 IX, X 図) 平均して比較するとわずかに多い抵抗値を示す米国選手ではあるが、この図からみると、各個人の各測定値は、すべて日本選手のちらばりの中に入ってしまう。すなわち、日本選手と米国選手の差は、問題にされる程ではないことがわかる。

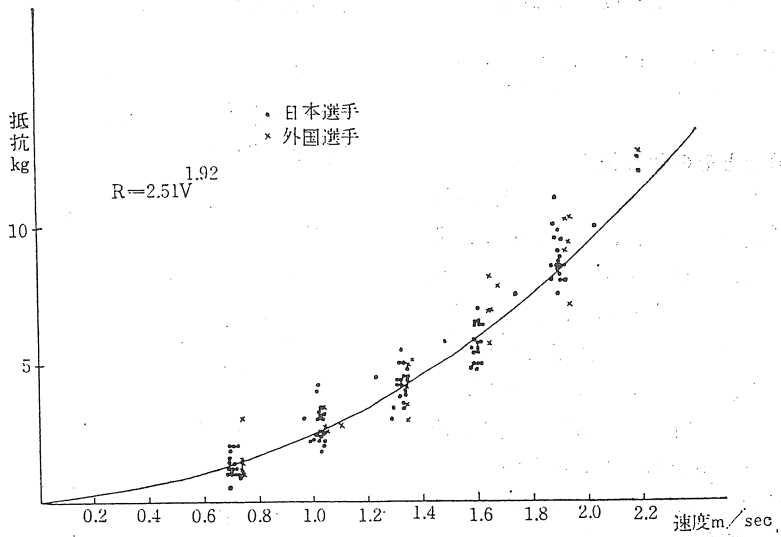
4. 結 論

船舶技術研究所の水槽試験装置を利用して、水泳の優秀選手 (日本選手 23 名、米国選手 5 名) について、牽引スピードと人体水抵抗との関係を明らかにしようとした。結果は次のとおりである。

(1) 人体水抵抗には個人によってかなりの相異があり、牽引スピード約 1.0m/sec では 2~3kg、約



第Ⅷ図 速度と人体水抵抗の関係
(腕・脚伸展伏臥，頭部水上)



第Ⅸ図 速度と人体水抵抗の関係
(腕・脚伸展伏臥，頭部水中)

1.9m/sec では 3~4kg である。

(2)人体水抵抗にみられる個人差は、体表面積で表わされる体型の差によるものではない。

(3)牽引スピード (V m/sec) と人体水抵抗 (R kg) には、スピードが約 0.7m/sec から 2.2m/sec の間で次の関係が成り立つ。

	頭 部 水 中	頭 部 水 上
伏 臥 姿 勢	$R = 2.51V^{1.92}$	$R = 3.20V^{1.65}$
伏 臥 姿 勢	$R = 2.80V^{1.95}$	$R = 3.20V^{1.70}$

(4)今回の結果と P. V. Karpovich の結果とはスピードが約 0.7m~1.3msec の間ではほぼ一致するが、1.3~2.2m/sec の間では、P. V. Karpovich の結果の方が人体水抵抗が多い。

(5)日本選手と米国選手では、牽引スピードと人体水抵抗の関係にそれほど差がない。

参 考 文 献

- 1) Karpovich P. V. Physiology of Muscular Activity, W.B. Saunders Com. 1957.
- 2) Counsilman J. E. Forces in Swimming two Types of Crawl Stroke Res. Quart. 2: 26 1955.
- 3) 石田忠彦 水泳基本姿勢の流水中に於ける抵抗力の研究 体育学研究Ⅲ-I 1958.
- 4) 森山茂男・大橋誠二 人体の曳引抵抗試験 未発表
- 5) 大串雅信 理論船舶工学(下巻) 海文堂 1958
- 6) 山県昌夫 船型学(抵抗篇) 天然社 1953

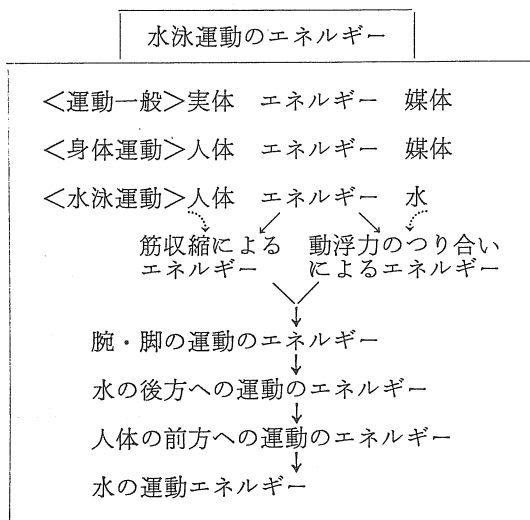
附・水泳運動の分析とその研究経過

複雑な自然現象を分析していく上で、手がかりとなる一つの総括的な考え方は、生物にせよ、非生物にせよさまざまな変化を示す“もの”と変化の原因としての“もの”の内や外ではたらく“ちから”を区別することである。自然現象のうちで運動という言葉で表わされるものは、この“もの”が主体と媒体の二つであり“ちから”は主体と媒体との間に存在するエネルギーであるといえる。したがって身体運動は主体が人体であり、身体運動の中で水泳運動は媒体が水である。即ち、主体である人体と媒体である水とがエネルギーの受け渡しをすることによって、水泳運動が成り立つといえる。

このエネルギーは、まず主体である人体が自ら生むもの、いいかえれば、筋収縮によって化学的エネルギーから転換したエネルギーと、主体である人体と媒体である水との間にあるもの、いいかえれば重力と浮力のつり合いからのエネルギーに分けることができる。この二つのエネルギーが合わさって主体である人体の腕、脚を主とした運動のエネルギーになり、それが媒体である水に影響する。そして水が反作用し人体の前進の運動のエネルギーが生れる。最終的には、この人体の運動のエネルギーが水の運動のエネルギーに転移されることによって、人体の移動は終了するわけである。これらのエネルギーの転換および転移が絶えずくり返されることによって、人体はある程度の速度の変化をしながら、ある距離を移動しているわけである。

水泳運動を分析し、その結果を指導法へと結びつけようとする時、このような総括的な分析では不十分である。そのためには、エネルギーの転換および転移のそれぞれの場合に、身体がどのように働くか、またどの位の力を受けるか、あるいは発揮しなければならないかというような事柄を、具体的に分析し明らかにしていかなければならない。

今回の人体水抵抗に関する研究は、前述の水泳運動のエネルギーの転換および、転換の過程の中で丁度、最終段階である。人体の前方へのエネルギー



ギーが水の運動エネルギーに転換するときの問題に相当するわけである。この結果人体水抵抗Rとその時の速度Vの間は $R = aV^b$ ($a \cdot b$ は定数) という関係が成立することがわかった。したがって一定速度で水中を進んでいくためには、最低いくらの馬力が必要かということが求められる。即ち馬力Pは次の式で速度Vから得られる。

$$P = R \times V = aV^{b+1}$$

これは造船関係では有効馬力と呼ばれるものであって船体を曳航するときに必要な馬力である。このように、人体が水中を速度Vで進むために最低必要な馬力Pは求められたわけであるがこのPはVの増加とともに、急激に増大する。即ち、増加率 P' と速度Vの関係は次のようになる。

$$P' = a(b+1)V^b$$

したがってVの値が大きければそれだけVの増加のために必要なPは多くなるといえる。今回の実験の結果では人体水抵抗には、個人によるあるいは姿勢による差があることがわかった。それゆえ速度があがれば、上がる程水中での姿勢が必要な馬力に大きく影響してくるわけである。即ち水泳フォームの練習は非常に重要な役割をはたしていることがわかる。

しかし今回の実験では、人体が水中を牽引される際、頭部を水中に没した方がいくらか抵抗が少ないということはわかったが、どのような姿勢が最も抵抗が少なくないかという点までは明らかにすることができなかった。

このように、有効馬力は明らかになったわけであるが、船の場合にも、曳航される時と比較して自航する場合は、何倍もの馬力を必要とするわけであり、人体でも同様のことがいえる。人体の場合では、この時の馬力は酸素消費量からある程度推測可能である。これは、水泳運動のエネルギー転換における人体の筋収縮の時の化学的エネルギーから機械的エネルギーへの転換の量にあたるわけであり、すでに、P. V. Karpovich 山岡誠¹⁾ 阿久津邦男²⁾ 等が実験を行ない、酸素需要量と速度との関係を求めている。即ち、酸素需要量をE、速度をVとすれば次の式が成立する。

$$E = KV^c$$

ここで自由型(クロール・ストローク)の場合、

山岡によればKは 6319×10^{-9} 、Cは3.09 阿久津によれば、K、C3.33である。したがって速度の上昇とともに、酸素需要量は、急激に増大するわけである。

酸素消費量を限定するのは、呼吸循環機能である。したがって持久力のトレーニングの必要性はいうまでもない。持久力のトレーニングでは水泳中の心拍数変動をとらえることによって適当な運動処法を行なった³⁾。またこのように、水泳運動に際して、人体が実際に消費するエネルギーに対する、なしたげた仕事量の割合を人体の効率というわけであるが、今回の人体水抵抗の測定結果から算出してみるとおよそ速度約 1.15m/sec の時最高で約5%であることがわかる。

このように水泳運動のエネルギー転移および、転換の過程の最初と最後の段階については、ある程度、具体的に明らかにされてきたわけであるがその中間の過程についてはどうであろうか。

○重力、浮力の場合によるエネルギーから腕、脚の運動のエネルギーへ変わるところでは、ピッチング・ローリング等の動作と、身体の比重の問題が残されている。即ち、重力と浮力の関係から、上体はどの程度水上に出すべきか、あるいは腕を水中から出して前方へもっていくときにどのようにつり合いを保持すべきか等である。

○筋収縮によるエネルギーから腕、脚の運動のエネルギーへ変わるところでは、すでにその時の主働筋については水泳中の筋電図によって明らかにした³⁾。即ち、直接推進力を生む腕脚の運動に参与する筋群、それらの働く力と時間等が優秀選手と二流選手の間で確められた。またこれらの筋の収縮の強さ、即ち筋力についても水泳速度との関係を求め⁴⁾、すでに水泳選手の陸上トレーニングに取り入れられ成果をあげている^{5) 7)}。

○腕脚の運動のエネルギーが水の後方への運動エネルギーへ変わるところでは、腕脚の運動の軌跡と、腕、脚にかかる圧力を調べなければならない。即ち、腕・脚の運動の方向、および速さと発揮すべき力等を明らかにする必要がある。

運動軌跡に関しては、泳者を追従し真横から水中写真を撮影し分析を始めている。また圧力に関しては、ストレンゲイジを装置した膜を作成し、腕・脚の主要部分に密着させ、水泳中に、そこにかかる圧力の変化を測定しある程度測定できるようになってきている。

○水の後方への運動エネルギーから人体の前方への運動エネルギーへ変わるところでは、張力計を人体に結び、水中で一定の場所にいて腕をかき、脚をキックする時の牽引する力を測定し、推進力の目安としている。この牽引力は時間とともにどのように減少するか、あるいは腕・脚の力のバランスはどうであるか、また水泳スピードとはどのような関係にあるか等、すでに選手のトレーニング過程で測定し指導の参考にしているわけであ

る。

参考文献

- 1) 山岡誠一 遊泳のスピードと酸素需要量の関係 体育学研究Ⅲ—Ⅲ P. 45 1958
- 2) 阿久津邦男 水泳のスピードと酸素需要量ならびに効率との関係 体育学研究Ⅶ—Ⅰ P.171 1962
- 3) 猪飼道夫他 水泳中の筋電図 olympia No. 8 P. 258—263 1961
- 4) 宮下充正 水泳選手の筋力と技術について 体育の科学Ⅺ—12 1961
- 5) 田口正治編 泳法と練習法 日本水泳連盟 1961
- 6) 宮下充正 筋力測定 水泳 No. 145 P. 8~9 1962
- 7) 梶田幸徳 トレーニング方法確立のための基礎資料調査並びにその結果 体協報告書 1962
- 8) 梶田幸徳, 宮下充正 水泳練習におけるインターバルトレーニングについて 体協報告書1963