

# 競泳用水着の材質・機能の違いが水泳中の抵抗、 エネルギー消費量に与える影響

鹿屋体育大学 荻田 太  
(共同研究者) 同 田中 孝夫  
同 田口 信教

## Effects of Materials and Functions of Swimming Suit on Drag and Energy Cost during Swimming

by

Futoshi Ogita, Takao Tanaka, Nobutaka Taguchi  
*National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

### ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effects of swimming suit with different materials and functions on active drag and oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) during swimming. The subjects were 8 well-trained male college swimmers (age:  $21 \pm 1$  yrs). For this experiment, drag-swimming velocity relationship and  $\dot{V}O_2$  during submaximal swimming were determined using conventional swimming suit (short type) and 3 new types of swimming suit (long type) developed in 2008. The active drag force was directly measured during arm stroke swimming using a system of underwater push-off pads instrumented with a force transducer (MAD system). There were no significant differences in  $\dot{V}O_2$  at the water flow rate of  $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  among the conditions. The estimated drag values at  $1.2$ ,  $1.6$ , and  $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  were not statistically significant among the suits, although drag reduction by  $1\text{-}6 \text{ N}$  ( $3\text{-}6\%$ ) was observed for new types of suits when compared to a conventional suit (but non-significant). Furthermore, when  $100\text{m}$  to  $400\text{m}$  race times were estimated based on the drag and metabolic power of each subject, a reduction of  $1$  to  $4 \text{ s}$  in race times would be expected by wearing new types of suit. These

results suggest that on a group level, there were statistically non-significant reduction of drag and energy cost during swimming when compared to those of conventional suit but that some small reduction of drag and improvement of performance might be brought.

## 要 旨

本研究の目的は、材質や機能の異なる新型水着が水泳運動時の抵抗力、酸素摂取量に及ぼす影響について明らかにすることであった。被検者は、良く鍛練された男子大学水泳選手8名（年齢21±1歳）とした。本実験では、2008年に開発された3タイプの新型水着、および従来型の水着を用い、泳速-抵抗関係、および最大下強度泳時の酸素摂取量が計測された。抵抗は、MAD (Measurement of Active Drag) システムを用いて測定された。最大下泳中 ( $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) の酸素摂取量は、水着の条件間で有意な差は認められなかった。1.2~ $2.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ にかけて推測された抵抗値にも統計上有意な差は認められなかったが、新型水着における抵抗値は、従来型より1~6N (3~6%) 低い傾向が認められた。この得られた抵抗差から100m~400mの競泳パフォーマンスを推定したところ、新型水着着用時には1秒から4秒ほどの記録の短縮が期待された。以上の結果より、新型水着を着用した場合、従来型と比較して群間で統計的有意差が得られるほどではないものの、若干抵抗が軽減し、記録が向上する傾向が示唆された。

## 緒 言

近年、競泳用水着の開発は目覚ましく、異なった特徴を有した製品が毎年のように開発されている。競泳パフォーマンスには水抵抗が大きく影響することから、材質やカット、表面加工、着圧、縫製法（無縫製）などの工夫によって抵抗を減少させることが、これまでの主眼とされてきた。ところが最近ではそれらの工夫に加え、体幹や骨盤

サポートなど姿勢安定を強化するための加工が施されたり、ストローク動作を補助し、推進力の増大を目的とした伸縮性加工が施されるなど、水泳動作に対する機能面にまで開発が進んでいる。これらの水着の改善が泳記録に影響をもたらし得ることを示唆するように、北京オリンピック前にはS社の水着を着用した選手による世界記録の更新が相次いだ。この「高速水着」と呼ばれる新型水着の出現は我が国においても強烈なインパクトを与え、オリンピックにおける水着の選択については社会問題にまで発展している。

これまでも、水着が水泳運動時の抵抗やエネルギー消費量に与える効果についてはいくつか検討されている<sup>2,3,6,11,13,14</sup>。実際に、特定の水着が、エネルギー消費量や抵抗値の軽減を認めている報告<sup>2,3,6</sup>)もあるが、必ずしも顕著な差は生じないとする報告<sup>13,14</sup>)もあり、一致した見解をみるには至らない。また、水着そのものの抵抗値が必ずしも泳いでいるときの生理応答や記録に反映するわけではなく、水着がその泳者にフィットしているか否か（動作の妨げや水の流入の具合などへの影響）の方が、より生理的応答やパフォーマンスに好影響を与えることを示した例もある<sup>11</sup>)。しかしながら、「高速水着」と呼ばれる新型水着と従来型との間で抵抗値やエネルギー消費量などの比較検討を行った例は未だない。そこで本研究では、近年本研究室で開発されたMAD (Measurement of Active Drag) システムを利用し、実際に泳いでいるときの抵抗力、最大推進パワーなど力学的な指標を定量するとともに、流水プールを用いながら同一泳速時の酸素摂取量などの生理的指標を測定し、材質や機能の異なる新型水着

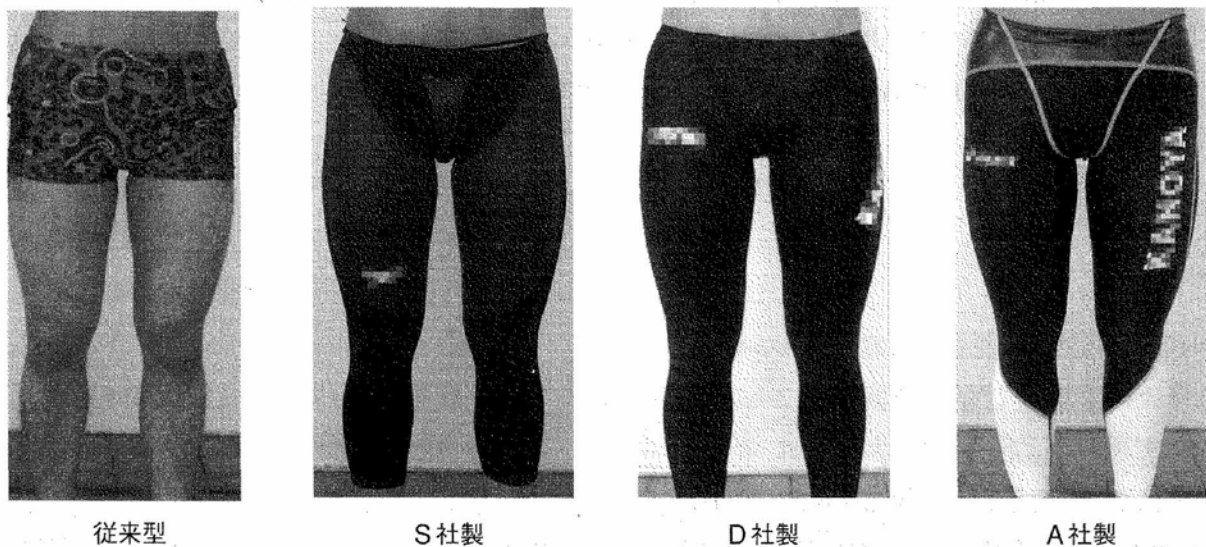


図1 従来型の水着（ボックスタイプ：左側）と新型水着（ロングタイプ）

がこれらの指標に与える影響について明らかにすることを目的とした。

## 1. 研究方法

### 1.1 被検者

本実験における被検者は、よく鍛錬された男子大学競泳選手8名（年齢 $21 \pm 1$ 歳，身長 $168.4 \pm 4.1$  cm，体重 $63.5 \pm 5.3$  kg，最大酸素摂取量 $4.17 \pm 0.36$  l $\cdot$ min $^{-1}$ ， $65.8 \pm 4.7$  ml $\cdot$ kg $^{-1}$  $\cdot$ min $^{-1}$ ）であった。実験に先駆け、本実験の実施内容は鹿屋体育大学倫理委員会によって審査され、許可を受けた。その後、被検者は実験の意義、測定手順などについての説明を受け、それらを理解した上で被検者になることに同意し、自主的に参加した。

### 1.2 水着の種類

本実験では、北京オリンピック以前までの素材で作られた従来型練習用水着（ボックスタイプ）と、北京オリンピック開催年度に開発され、ポリウレタン等によって加工されたS社製、A社製、D社製の新型水着（ロングタイプ）が用いられた。実際に用いた水着を図1に、そしてそれらの特徴を表1に示す。

### 1.3 泳速—抵抗関係、推進パワーの測定

抵抗の測定は、Toussaintら<sup>16-18)</sup>によって開発された装置に修正を加え、本研究室で開発されたMADシステム（ヤガミ社製）を用いて行われた<sup>8,9)</sup>（図2）。被検者は、クロール泳のアームストロークにおいて、水中に設置された固定板を1ストローク毎に押しながら、一定速度で25mを泳い

表1 本実験で用いられた水着の材質とその特徴

	品	質	特	徴
S社製	生地 パネル	ナイロン70% ポリウレタン100%	完全無縫製スーツ 超薄型で抵抗軽減 コアスタビライザーで姿勢保持 強い着厚で筋肉の振動軽減	
D社製	生地 パネル	ポリエステル50% ポリウレタン70%	ポリウレタン50% ポリウレタン30%	ステッチ減少による抵抗軽減
A社製	生地	ポリエステル80% ポリウレタン70%	ポリウレタン20% ポリウレタン30%	コアバランスベルトがスイマーの骨盤安定をサポート 股下水抜きメッシュ加工
従来品		ポリエステル100%		

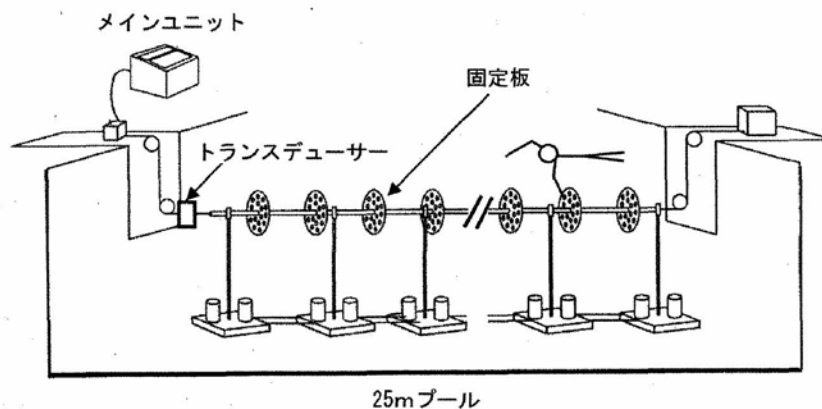


図2 MADシステムの概要図

だ。一定速度で泳いでいるとき、すなわち加減速なく泳いでいるときは、泳者が産生する推進力と抵抗力が釣り合った状態と考えられるので、本実験では、MADシステムの固定板を押した力（＝推進力）が抵抗に等しいという仮定に基づき測定されている。また、測定時には被検者がキック動作を行わないように（キックにおける推進力が作用しないように）、プルブイを下腿部に挟み、足首部をベルトで縛って泳がせた。

MADシステムの固定板は、水面より0.75mの深さに設置された23mの水平ロッドに、1.30m間隔で15枚装着された。被検者が後方向へ固定板を押した力は、プール壁と水平ロッドの連結部分に設置されたトランスデューサーによって測定された。力信号はローパスフィルター（30Hz以上をカット）処理され、デジタル信号化され、100Hzの頻度でコンピューターに取り込まれた。

本実験において、各被検者はMADシステムを用い、異なる泳速で8回以上泳いだ。尚、最後の1回は全力泳とした。各試行における平均の抵抗力を求めるに当たり、第1固定板にかかった推力は、壁を蹴ってスタートしたときの推進力の影響を除くために、また最終固定板にかかった力は、壁際の減速の影響を避けるために、計算には採用しなかった。残りの13枚の固定板より得られた力信号がすべて積分され、さらにそれら13枚の固定板を通過するのに要した時間で除すことで平

均の推進力を算出した。なお、各試行時の平均泳速は、第2固定板に手が触れた時点から最終固定板に手が触れた時点までに要した時間とその泳距離より算出された。各試行における泳速と抵抗値から、最小二乗法を用いて以下のような泳速-抵抗関係が求められた。

$$F_d = A \cdot v^n$$

ここで $F_d$ は抵抗力、 $v$ は泳速、 $A$ （抵抗係数）と $n$ （抵抗指数）はこの回帰式の比例定数である。

また、最大努力で泳いだときの推進力と平均泳速の積より最大推進パワーを算出した。

#### 1. 4 運動時酸素摂取量、心拍数、および血中乳酸濃度の測定

運動時酸素摂取量は、加減圧調整可能流水プール（五十嵐工業社製）内において、 $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ の流速で測定された。尚、局所筋群であるアームストロークにおける酸素摂取量は、3-4分以内に定常状態に達する<sup>12)</sup>ことが報告されていることから、本実験では1試行5分間とし、酸素摂取量は運動開始後3分目から2分間測定された。また、心拍数、血中乳酸濃度も併せて測定された。尚、この測定は同日に行われ、各試行間には心拍数が安静時レベルに回復するまで十分な休息を設けた。なお、各水着の着用順は無作為とした。

酸素摂取量はダグラスバッグ法によって測定された。呼気ガス中の酸素濃度（パラマグネティック

ク法)と二酸化炭素濃度(非分散赤外線吸収法)は、自動ガス分析機(Vmax29C, センサーメディアックス社製)によって定量された。ガス量は乾式ガスメーター(品川製作所社製)によって定量し、同時にガス温も求めた。心拍数は、ACCUREX Plus (POLAR社製)を用い、運動中連続してモニターし、運動終了直前の値を採用した。血中乳酸濃度については、運動終了直後に指尖より採血したサンプルを用い、自動分析機(Lactate Pro ARKRAY社製)によって測定した。

### 1. 5 統計処理

測定値は、平均値および標準偏差で表された。各水着間の平均値の差の検定は、一元配置の繰り返しのある分散分析によって行われた。また、各水着間の任意の泳速に対する推定抵抗値の比較についてのみ、繰り返しのある二元配置の分散分析によって検定した。すべて危険率5%未満を有意とした。

## 2. 結果

### 2. 1 泳速—抵抗関係と抵抗指標

各水着着用時の泳速-抵抗関係より算出された抵抗係数、抵抗指数の個人値を表2に示した。その結果、特定の水着の抵抗係数、抵抗指数が小さくなるような傾向は認められず、それぞれの水着条件間に有意差はなかった。また、得られた抵抗係数、抵抗指数より得た、それぞれの水着着用時

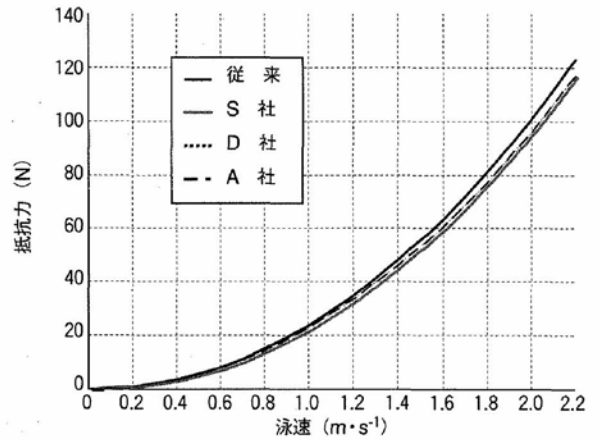


図3 従来型水着と新型水着を着用したときの泳速—抵抗関係の比較

の泳速—抵抗関係を図3に示した。S社製、A社製、D社製の新型水着着用時の関係はほぼ一致しており、従来型のそれと比較すると、泳速が高くなるにつれて抵抗が低くなる傾向を示した。そこで、泳速—抵抗関係の回帰式より、泳速1.2m·s<sup>-1</sup>、1.6m·s<sup>-1</sup>、2.0m·s<sup>-1</sup>時の推定抵抗値を算出し、比較したところ、最も抵抗値が低かった新型水着と従来型の水着との条件間では1~6 N (3~6%)の差が推定された(表3)が、これらも統計上有意な差ではなかった。

### 2. 2 最大推進パワー

最大努力泳時の泳速とそのときの推進力の積によって算出された最大推進パワーは、従来型の水着着用時に、他の条件より4-8%ほど高い値を示したが、これも統計上有意な差ではなかった(表4)。また、そのときの泳速、推進力を水着条件

表2 各社の水着を着用したときに得られた抵抗係数と抵抗指数

被検者	抵抗係数				抵抗指数			
	従来型	S社製	D社製	A社製	従来型	S社製	D社製	A社製
A	27.8	26.2	29.0	27.3	2.08	2.05	1.78	1.95
B	23.8	20.6	21.3	21.9	2.05	2.15	2.12	2.11
C	22.5	25.0	22.4	24.1	2.08	1.74	2.03	1.79
D	19.6	20.7	20.4	20.6	2.29	2.13	2.06	2.10
E	22.0	21.1	22.9	21.7	1.89	2.00	1.97	2.06
F	23.5	21.7	20.4	21.6	2.08	2.06	2.22	2.16
G	23.7	25.5	24.8	25.5	2.22	2.03	2.05	2.03
H	26.7	23.0	23.1	23.3	2.01	2.17	2.23	2.17
平均	23.7	23.0	23.0	23.3	2.09	2.04	2.06	2.05
SD	2.6	2.3	2.8	2.3	0.12	0.14	0.14	0.13

表3 泳速1.2, 1.6, 2.0m·s<sup>-1</sup>のときの各水着着用時の推定抵抗値

	従来型	S社製	A社製	D社製
抵抗力@1.2m·s <sup>-1</sup> (N)	34.7 ± 3.4	33.7 ± 2.8	33.5 ± 3.2	33.5 ± 3.1
抵抗力@1.6m·s <sup>-1</sup> (N)	63.2 ± 6.6	59.9 ± 5.5	60.8 ± 5.0	60.4 ± 4.8
抵抗力@2.0m·s <sup>-1</sup> (N)	100.7 ± 11.0	94.6 ± 9.5	96.0 ± 8.4	95.5 ± 7.5

表4 従来型水着と新型水着を着用したときの最大推進パワー、およびそれが得られたときの泳速と推進力

	従来型	S社製	D社製	A社製
最大推進パワー (W)	143 ± 115	138 ± 15	132 ± 19	132 ± 15
最大泳速 (m·s <sup>-1</sup> )	1.75 ± 0.06	1.77 ± 0.06	1.75 ± 0.06	1.74 ± 0.06
最大推進力 (N)	81 ± 7	78 ± 7	76 ± 9	76 ± 7

間で比較しても、いずれも有意な差は認められなかった。

### 2. 3 運動時酸素摂取量、心拍数、および血中乳酸濃度

最大下強度泳時の生理的応答に及ぼす影響について検討するために、1.2m·s<sup>-1</sup>の流速で泳いだときの酸素摂取量、心拍数、および運動終了直後の血中乳酸濃度について、各水着条件間で比較した。しかしながら、すべての指標において、各水着条件間には有意差は認められなかった(図4)。

### 3. 考 察

本研究は、北京オリンピック開催年度に開発された新型水着と、従来型の水着を着用した際の抵抗指標、および生理的指標における比較検討することを目的とした。

### 3. 1 最大下泳時の生理的指標に及ぼす影響

本実験において、最大下泳中の生理応答は1.2 m·s<sup>-1</sup>の泳速時に測定されたが、酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度のすべての指標において、水着条件間に差は認められなかった。その原因として、この泳速における水着間の推定抵抗値の差が1N以内(<3%)であった(表3)ことから、物理的な仕事量に差がなく、そのため生理的応答にも差が生じなかったものと思われる。

また、この最大下泳時の酸素摂取量も、各被検者の最大酸素摂取量の56 ± 7% (45 ~ 69%) にしか相当せず、血中乳酸濃度も平均値が3-4mmol·l<sup>-1</sup>程度と、OBLAあるいはそれ以下の強度であった。このように、相対的な運動強度が低かったことも、差が認められなかった一因と考えられる。

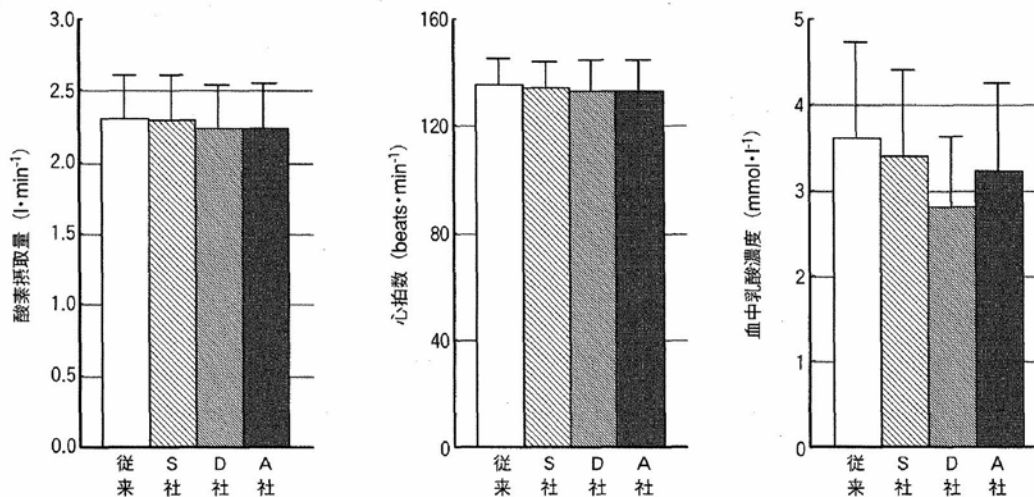


図4 流速1.2m·s<sup>-1</sup>で泳いだときの酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度の比較



### 3. 2 抵抗に影響する要因

本実験で用いた新型水着の特徴として、生地が軽薄化、高い撥水性、着圧増大による四肢の圧迫、ポリウレタン製パネルの使用などが挙げられ、それによって抵抗が軽減され、結果的に記録が高まると考えられている。本実験では、統計上有意な差は認められなかったものの、100mレースのような泳速2m時には、新型水着条件時の推定抵抗値が、5~6N (5~6%) 低い傾向を示した。

水泳中の抵抗は、圧抵抗、摩擦抵抗、および造波抵抗の総和によって決定される<sup>15)</sup>。圧抵抗とは進行方向に対する物体の前後に生じる圧差によってできるもので、主に身体の前方投影面積（横断面積）に依存する<sup>15, 18)</sup>。そのため身体の大きさは当然であるが、いかに水平姿勢を保てるかという泳技術などにも影響を受ける。

新型水着は伸縮性が乏しく、着用時の締め付けが強いことから、身体容積が減少し、それともななって身体水抵抗が軽減すると言われている。しかしながら、水着の締め付けによって身体形状が変わることは考えられても、実際に身体容積が低下することは考えにくい。事実、本実験の被検者数名において、大腿部の周囲径、および超音波画像診断装置で皮下脂肪厚、筋厚を測定したが、水着間に差は認められなかった（未発表資料）。したがって、容積低下ともなう抵抗軽減は考えにくい。

仮に、下肢の圧迫によって脚の血液が胸郭内へシフトしたとするならば、浮心がわずかに上半身側に移動することが考えられ、より水平姿勢を維持しやすくなるかもしれない。しかしながら、本実験では、抵抗測定時にプルブイを足首部に挟んで測定したため、下肢に大きな浮力が作用し、沈みにくい（水平姿勢を維持しやすい）状態であった。そのため、浮心の移動による抵抗軽減の可能性についても考えにくい。よって、本実験における新型水着着泳時の抵抗の低下を圧抵抗の視点か

ら説明することは困難といえる。

皮膚および水着と水との摩擦によって生じる摩擦抵抗は、理論上、表面が同質であるならば、全表面積に依存して増加する<sup>15)</sup>。これを裏付けるように、低抵抗の素材を用いた水着では、その素材の面積が大きくなるほど、従来型と比較して抵抗減少が大きかったという報告もある<sup>2)</sup>。本実験では、新型水着は脚全体を覆うロングタイプが、従来型水着は丈の短いボックスタイプが用いられた。したがって、吸水性の乏しいポリウレタン素材によって加工された新型水着の摩擦抵抗が、皮膚や従来型水着のそれより小さければ、摩擦抵抗を軽減させ得ることが十分考えられる。

また、摩擦抵抗は材質の表面や形状にも依存することから、着圧の強い新型水着を着用した場合、水泳中に起こる水面下での皮膚のひずみ（動作にともなう皮膚の波打ち）を押さえることで摩擦抵抗を軽減できる可能性もある。

3つ目の造波抵抗は、水面が歪んだ結果生じる抵抗である。泳速が高くなると弓状の波が形成され<sup>1)</sup>、それが抵抗となる。また、泳速が上がるほど造波抵抗の増加が全抵抗を増大させる主な要因となる<sup>5)</sup>こともわかっている。しかしながら、本実験では最大推進パワー発揮時の泳速に有意な差が認められなかったことから、水着間で造波抵抗に大きな差があったとは考えにくい。

総合的に考えると、泳速が高くなるにつれて傾向の認められた新旧水着間の抵抗差は、主に素材の影響による摩擦抵抗の違いが反映したものと推察された。

### 3. 3 本実験の抵抗値の差より推定される記録差

競泳競技の場合、抵抗を軽減させることがパフォーマンスの向上に有利に作用することはいうまでもない。本実験において観察された新型水着と旧型水着における抵抗値の差は小さく、しかも有

意なものではなかったが、この差は実際の競泳パフォーマンスにどの程度影響するのであろうか。そこで、Toussaint<sup>15)</sup>のシミュレーションモデルを参考に、泳記録の推定を試みた。

まず、水泳中のエネルギー消費率（単位時間内に消費されるエネルギー量；以下 $\dot{E}$ ）は、抵抗に打ち勝つためのパワー（以下 $P_d$ ）と推進効率（以下 $ep$ ）、および機械的効率（以下 $eg$ ）の関数によって決定される（式1）。

$$\dot{E} = P_d / (ep \cdot eg) \quad (1)$$

ここで、 $P_d$ は抵抗力（ $F_d$ ）と速度（ $v$ ）の積で表されるので、式2のように表せる。

$$P_d = F_d \cdot v \quad (2)$$

また、 $F_d$ は各泳者固有の抵抗係数（ $A$ ）、速度（ $v$ ）、および抵抗指数の関数であり、式3のように表せる。

$$F_d = Av^n \quad (3)$$

式3を式2に代入すると

$$P_d = F_d \cdot v = Av^n \cdot v = Av^{n+1} \quad (4)$$

となり、結果的に式1は式5のように変換できる。

$$\dot{E} = Av^{n+1} / (ep \cdot eg) \quad (5)$$

また、 $v$ はある時間（以下 $t$ ）当たりに進んだ距離（以下 $d$ ）として表されるので、式5はさらに次のように変換できる。

$$\dot{E} = Ad^{n+1} / (ep \cdot eg) t^{n+1} \quad (6)$$

この式6を積分すると、ある距離（ $d$ ）をある時間（ $t$ ）で泳ぐために必要な全エネルギー消費量（ $E$ ）を算出できる式となる。

$$E = Ad^{n+1} / (ep \cdot eg) t^n \quad (7)$$

ここで式7の右辺が表すある距離をある時間で泳ぐために必要な全エネルギー消費量は、 $A$ 、 $n$ に本実験で得られた各被検者の値を直接代入し、さらに $eg$ 、 $ep$ については本学水泳部選手より得られた選手の値、9%および65%<sup>4)</sup>を代入することによって推定算出できる。また、これまでの先行研究により、100m、200m、および400mにおけるエネルギー需要量は、それぞれ170%  $\dot{V}O_{2max}$ 、120%  $\dot{V}O_{2max}$ 、100%  $\dot{V}O_{2max}$ にほぼ相当する<sup>7, 10)</sup>ことから、各被検者の最大酸素摂取量をもとに、左辺の100m、200m、および400mを任意の時間泳いだときに供給されたエネルギー量（各酸素需要量×運動時間）を推定することが可能である。理論上、その被検者が任意の時間で供給し得るエネルギー供給量（式7の左辺）と、任意の距離を任意の時間を要して泳ぐために必要なエネルギー量（式7の右辺）が等しくなるときのタイムがベスト記録に相当すると考えられるので、各水着を着用したときの泳記録の推定を試みた（ただし、この算出はその距離を一定の速度で泳いでいると仮定しており、スタートやターンの影響も考慮されていない）。

このようにして算出された新旧水着間の泳記録（表5）には、100mで0.7～1.0秒、200mで1.5～2.1秒、400mで2.8～4.2秒の差が推察された。この推定に用いられた水着条件間の抵抗差は統計上有意ではないので、この記録差も実質上有意な差とはいえない。しかしながら、2007年の世界

表5 各社水着を着用したときの100m、200m、400m泳記録の推定値、およびエネルギー供給能力が10%増加したときの推定泳記録

	従来型	S社製	D社製	A社製	110%
100 m	57"9 (2"6)	56"9 (2"3)	57"1 (2"0)	57"2 (2"3)	56"1 (2"5)
200 m	2' 04"5 (5"5)	2' 02"4 (4"7)	2' 02"8 (4"1)	2' 03"0 (4"7)	2' 00"7 (5"4)
400 m	4' 24"1 (11"5)	4' 19"9 (9"5)	4' 20"7 (8"5)	4' 21"3 (9"7)	4' 16"1 (11"2)
					(分' 秒")



選手権と2008年の北京オリンピックにおける男女200m, 400mの自由形の決勝記録を比較した場合でも、それぞれ200mで約1秒、400mで約1-3秒の短縮が認められていることから、本研究における推定記録は現実的な差を表していると考えられる。

### 3. 4 水着の違いはトレーニングによって克服できるのか？

水着の違いによって推定された泳記録の差は、トレーニングによって克服可能な差なのであろうか。そこで、先述したToussaint<sup>15)</sup>のシミュレーションモデルを用い、各被検者の総エネルギー供給量が10%増加したと仮定し、従来型水着着用時の泳記録について、推定してみた(表5, 右端110%)。その結果、100mから400mに至るまで、新型水着すべての推定記録を上回ることが予測された。しかしながら、本実験に用いられた被検者は日々高度に鍛錬されている泳者であり、すでに最大酸素摂取量が平均で65.8 (59.9~73.4) ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>に達する集団である。このような被検者の最大酸素摂取量をさらに10%も向上させるということは非常に困難と言わざるを得ない。抵抗差が決して有意ではないため、新型水着を着用することで全員が記録を短縮できるわけではないと思われるが、それでも平均的にみて水着の素材によって生じる泳記録の差は、通常のトレーニングで容易に克服できるものではないと言える。平成21年7月、国際水泳連盟のルール改正により、水着に関する規制を強化し、審査が厳しくなったが、このことはより平等な条件下で、真に泳パフォーマンスを競うためには正しい判断と思われる。

### 4. まとめ

本実験は、本研究室で開発したMADシステムを用い、2008年に開発された新型水着と、従来型の水着を着用した際の抵抗力、最大推進パワー

などの力学的指標、酸素摂取量や血中乳酸などの生理的指標を定量・比較するとともに、それらの違いがどの程度競泳パフォーマンスに差を生じさせ得るのか推定を試みた。

その結果、

1) 各被検者より得られた抵抗-泳速関係より推定された抵抗値は統計上有意な差ではなかったが、レースを行うような高い泳速時には、新型水着着用の方が従来型水着着用時のそれより低い傾向が示された。

2) 最大推進パワー、および最大下運動時の酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度については、有意な差は認められなかった。

3) 本実験のデータを基に100m, 200m, および400m泳記録を推定したところ、新型水着着用時において100mで0.7~1.0秒、200mで1.5~2.1秒、400mで2.8~4.2秒の記録短縮が推察された。

以上のことより、従来型水着と新型水着の間には、全ての指標において有意な差は認められなかったが、レースが行われるような高い泳速時には、新型水着着用時に抵抗が小さい傾向にあり、推定された泳記録の短縮はトレーニングによる体力増加のみでは容易に克服できるレベルでもないことが示唆された。

### 謝 辞

本稿を終えるに当たり、本研究に対して助成を賜った(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、被検者の労をとって下さった鹿屋体育大学水泳部員、そして実験補助として協力頂いた運動生理学実験室ゼミ生の皆様に深く感謝致します。

### 文 献

- 1) Alley, M.J. An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke. *Research Quart.*, 23, 253-270 (1952)

- 2) Benjanuvatra, N., Dawson, G., Blanksby, B.A., and Elliott B.C. Comparison of buoyancy, passive and net active drag forces between fastskin and standard swimsuits. *J. Sci. Med. Sports*, 5, 115-123 (2002)
- 3) Chatard, J.-C., B. Wilson. Effect of Fastskin suits on performance, drag, and energy cost of swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40, 1149 ~ 1154 (2008)
- 4) 黄忠, 田中孝夫, 萩田太. 一流選手競泳選手における推進効率の定量化. 日本水泳・水中運動学会 2008 年次大会論文集, 70-73 (2008)
- 5) Miller, D.I. Biomechanics of swimming. In Wilmore & Keogh (Eds), *Exercise and Sports Sciences Reviews*, pp.219-248, Academic Press, New York (1975)
- 6) Mollendorf, J.C., Termin, A.C., II, Oppenheim, E., and Pendergast, D.R. Effect of swim suit design on passive drag. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 1029 - 1035 (2004)
- 7) Ogita, F. Energetics in competitive swimming and application for training. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, eds., J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques, Porto; *Portuguese journal of sport sciences*, 6, Suppl.2, 117-121 (2006)
- 8) Ogita, F., Tanaka, T., Tamaki, H., Wagatsuma, A., Hamaoka, T., and Toussaint, H.M.. Metabolic and mechanical characteristics of olympic female gold medalist. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, eds., J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques, Porto; *Portuguese journal of sport sciences*, 6, Suppl.2, 194-197 (2006)
- 9) 萩田太, 田巻弘之, 前田明, 我妻玲. 競泳パフォーマンスの限定要因に関する検討 —MAD システムを用いた力学的・代謝的解析より—, デサントスポーツ科学, 25, 122-130 (2004)
- 10) 萩田太, 小野寺丈晴, 若吉浩二. 超最大強度におけるプル, キック, スイム中の代謝特性. 水泳水中運動科学, 1: 13 - 18, 1998.
- 11) 萩田太, 田中孝夫, 田口信教. 競泳用水着の材質, サイズ, カットの違いが水泳中のエネルギー消費量に与える影響, デサントスポーツ科学, 17, 101-112 (1996)
- 12) Ogita, F. and Taniguchi, S. The comparison of peak oxygen uptake between swim-bench exercise and arm stroke. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71, 295-300 (1995)
- 13) Roberts, B.S., Kamel, K.S., Hedrick, C.E., Mclean, S.P., and Sharp, R.L. Effect of a Fastskin™ suit on submaximal freestyle swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, 519-524 (2003)
- 14) Toussaint, H.M., Truijens, M., Elzinga, M.-J., van de Ven, A., de Best, H., Snabel, B. and de Groot, G. Effect of a Fast-skin™ 'body' suit on drag during front crawl swimming. *Sports Biomech.*, 1, 1-10 (2002)
- 15) Toussaint, H.M., and Hollander, A.P. Energetics of competitive swimming, Implications for training programmes. *Sports Med.*, 18, 384-405 (1994)
- 16) Toussaint, H.M., Knops, W. de Groot, G. and Hollander, A.P. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22, 402-408 (1990)
- 17) Toussaint, H.M., Bruinink, L., Coster, R., de Looze, M., van Rossem, B., van Veenen, R. and de Groot, G. Effects of a triathlon wet suit on drag during swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, 325-328 (1989)
- 18) Toussaint, H.M., de Groot, G., Savelberg, H.H.C.M., Vervoorn, K., Hollander, A.P., and van Ingen Schenau, G.J. Active drag related to velocity in male and female swimmers. *J. Biomech.*, 21, 435-438 (1988)