

# 競泳用水着がパフォーマンスに与える影響

筑波大学 野村武男  
(共同研究者) 九州芸術工科大学 栃原裕  
茨城大学 富樫泰一  
筑波大学 下山好充  
同 市川浩

## **Influence of Competitive Swim-suits on Swim Performance**

by

Takeo Nomura

*Institute of Health and Sport Sciences,  
University of Tsukuba*

Yutaka Tochihara

*Department of Physiological Anthropology,  
Kyushu Institute of Design*

Taiichi Togashi

*Research Center of Health and Education,  
Ibaraki University*

Yoshimitsu Shimoyama

*Sport and Physical Education Center,  
University of Tsukuba*

Hiroshi Ichikawa

*Doctoral Program in Health and Sport  
Science, University of Tsukuba*

## ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of swim-suit on water flow around human body, passive drag and swimming performance as compared new type suits which fully covered legs and classic type suit. The subjects were male college swimmers who carried out at the swim flume during all experiments. The results were as follows.

There were approximately 4 % decrement of passive drag with wearing new type suit at 1.50 m/s, 1.80 m/s and 2.00 m/s respectively compared with wearing classic type suit but not significant.

The exhaustion time swum at 85 % best record of 100m freestyle was significantly longer in new type suit than classic type suit.

These results suggested that the new type suit might decrease the drag, make water flow laminar around human body and improve swimming performance at high intensity.

### 要 旨

本研究の目的は、最新の水着がヒトの身体周りの流れおよび抵抗にどのような影響を与えるかを従来型の水着と比較することで検証し、実際の泳パフォーマンスへの影響について検討することであった。被験者は大学男子競泳選手であり、実験には、足首まで被っている最新型のロングスパッツタイプと従来型のビキニタイプが用いられた。パッシブドラッグは1.50m/s, 1.80m/s, 2.00m/sの3段階において測定され、両者間では有意な差は認められなかったものの、ロングスパッツタイプの着用によって約4%の抵抗軽減が認められた。また水着にタフトを縫い付けることで身体周りの流れを可視化し、観察を行った。その結果、足首までを水着で被うことによって大腿部前面のタフトの挙動が安定し、その周辺の流れが層流を維持することがうかがえた。さらに、回流水槽を用いた高強度のパフォーマンス実験において、ロングスパッツタイプの方がビキニタイプよりも、同じ泳速度で泳継続時間が長く、パフォーマンスに好影響を与えることが示唆された。

### 緒 言

競泳用水着はその素材、コーティング、形状などに様々な工夫が施され、年々変化し続けている。

競泳用水着についてFINA（国際水泳連盟）の規則SW 10.7項では、レース中にスピードや持久力を向上させたり、浮力を増加させたりするようないかなるものも着用してはならないと明記されている<sup>3)</sup>。競泳用水着の開発はこのルールに基づいて行われていることから、その傾向として推進力が向上するといったポジティブな要因の促進を狙ったものではなく、パフォーマンスを低下させる要因を抑えることを目的とした開発が多く見受けられる。

泳パフォーマンスの低下を招く代表的な要因として、ヒトが水中を移動することによって生じる抵抗が挙げられる。ヒトが水から受ける抵抗は進行方向とは反対方向に働き、ほぼ泳速度の2乗に比例する<sup>5)</sup>。抵抗の増加は泳速度を減少させるが、逆に抵抗を生み出す要因を抑制することはパフォーマンスを向上させることになる。このことからこれまで商品化されてきた水着はこの抵抗を軽減

させたことをアピールしたものが多し。

過去の水着の性能評価は表面の摩擦抵抗によってなされ、水着の素材や表面の撥水加工がその開発の対象であった<sup>26)</sup>。しかし水泳中に生じる抵抗には、水着と水との間の摩擦によるものだけでなく、身体形状や大きさに起因するものやヒトが造りだす波によるものも存在する。実際の泳パフォーマンスへ水着が与える影響は、泳者がそれを着用した際の形状抵抗の変化や身体周辺の流れの変化によるものが大きく、また多岐に渡ると考えられる。

この数年の水着の変化は素材や撥水加工だけでなく、その形状が大きく変化し、その変化の様は2000年シドニーオリンピックを中心に大変注目された。動きやすさを考慮し、身体を被う面積が比較的小さかった従来の水着から、徐々に身体の多くの部分を被うものが多数見受けられるようになり、中には全身を被うような今までとは全く異なるタイプの水着が登場した。また水着を開発する側だけではなく、使用する選手においても水着をギアとして認識する傾向が高まりつつあり、男子においても下半身を全て被うようなタイプの水着や全身を被うようなタイプの水着をレースにおいて着用する者が増えてきた。近年、その効果についての検討が行われつつある<sup>1),10),14)</sup>。

Sandersら(2001)は、MADシステム<sup>15)</sup>によって測定した全身を被う水着と従来の水着を着用したときのそれぞれのアクティブドラッグを比較し、それらの間に有意な差が無かったことを示した。しかし、1.65m/sのスピードで11%のアクティブドラッグの減少が見られた被験者もいたことを報告している<sup>10)</sup>。

Stagerら(2000)は1968年～1996年に行われたアメリカのオリンピック選考会の結果をもとに独自の方法で開発した計算式を使用し、2000年の同選考会の優勝予想タイムを推測し、実際の結果と照らせ合わせ、水着のタイプによって試合で

のパフォーマンスは変化しないであろうと推測した<sup>14)</sup>。さらにアメリカのコーチであるBergen(2001)は従来の水着とBodysuit(全身を被う水着)について25mの水泳タイムを比較し、クロールにおいて全身を被う水着の方がより速く泳げることを報告している<sup>1)</sup>。Stagerらの推測は独自の計算方法で予想したタイムと実際のタイムとの比較であることからパフォーマンスに影響はないと結論づけることは難しいと思われる。さらにBergenらは25mの水泳タイムのみの比較のため生理的な測定項目が無く、信頼性に欠けることが考えられる。したがって、これらの検討だけでは一概に水着のタイプが水泳パフォーマンスに影響を与えたかどうかを結論づけることは非常に難しい。

本研究は、ヒトの身体周りの流れおよび抵抗に最新の水着がどのような影響を与えるかを従来型の水着と比較することで検証し、実際の泳パフォーマンスへの影響について検討することを目的とした。

## 1. 方法

本研究目的達成のために、以下の3つの課題について調査した。

課題1 「水着の違いがパッシブドラッグに与える影響」

泳者がけのび姿勢をとった際の牽引抵抗(パッシブドラッグ)を測定することで、形状の異なる2種類の水着の比較を行う。

課題2 「新型水着が体表面における流れに及ぼす影響」

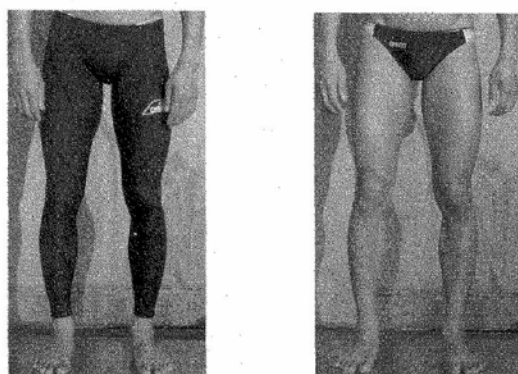
新型水着着用時の身体周辺の流れの特徴をタフト法<sup>20)</sup>を用いることによって観察する。

課題3 「水着の違いが泳パフォーマンスに与える影響」

回流水槽を用いることによって泳スピードをコントロールし、水着のタイプが水泳パフォーマンスへ与える影響についてより正確に調べる。

なお本研究では新型水着として、デサント社製

スパイラルロングスパッツタイプ (図1 a) およびデサント社製スパイラルロングジョントタイプを、従来型水着としてデサント社製ストラッシュJビキニタイプ (図1 b) を対象として扱った。



a. 新型ロングスパッツタイプ      b. 従来型ビキニタイプ

図1 使用した水着のタイプ

### 1. 1 課題1 実験方法

#### 1. 1. 1 被験者

被験者は、日頃から水泳トレーニングを行っている大学男子競泳選手4名であった。

#### 1. 1. 2 水着のタイプ

新型水着ロングスパッツタイプ (図1 a) および従来型水着ビキニタイプ (図1 b) を比較の対象とした。

#### 1. 1. 3 実験場所

筑波大学実験用回流水槽 (五十嵐工業製・垂直循環型) を用いた。

#### 1. 1. 4 試技および測定方法

ワイヤーに接続されたグリップを両手で握った状態でだけの姿勢を維持する。ワイヤーに与えられる張力はロードセル (共和電業社製 LT-100KF) によって電気信号に変換し、これをストレインアンプ (共和電業社製 DPM-310B) により増幅したものを A/D 変換器 (National Instruments 社製 DAQCard700) を介してサンプリング周波数 100 Hz にてコンピュータ (Apple 社製 Powerbook 2400c) に記録した。試技開始から被験者の姿勢

を検者が回流水槽側面の観察窓から観察し、十分に安定したと判断した時刻を電気信号を発するスイッチを使用し、張力と同様にコンピュータに記録した (図2)。被験者の姿勢が安定した時刻から3秒間の張力の平均値を各試技のパッシブドラッグとした。

被験者は3段階の流速度 (1.50m/s, 1.80m/s, 2.00m/s) にてそれぞれ10試技ずつ行い、10試技の平均値をその流速におけるパッシブドラッグとした。

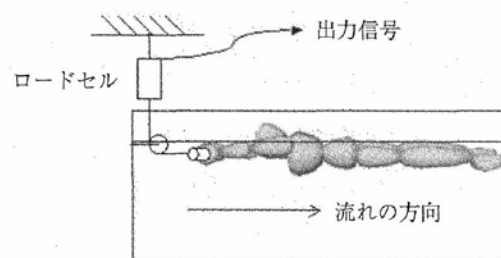


図2 パッシブドラッグ測定概略図

また全ての試技の様子は回流水槽側面の観察窓を通して、家庭用デジタルビデオカメラ (Sony 社製 DCR-TRV900) によって撮影された。

### 1. 2 課題2 実験方法

#### 1. 2. 1 被験者

被験者は、日頃から水泳トレーニングを行っている大学男子競泳選手1名であった。

#### 1. 2. 2 水着のタイプ

新型水着ロングジョントタイプを用いた。

#### 1. 2. 3 実験場所

筑波大学実験用回流水槽 (五十嵐工業製・垂直循環型) を用いた。

#### 1. 2. 4 試技および観察方法

ロングジョントタイプ水着の表面全体に蛍光色の長さ5cmの糸 (タフト) の一端を縫いつけた。被験者はこの水着を着用し、回流水槽内のワイヤーによって固定されたグリップを両手で握った状態でだけの姿勢を維持した。この間のタフトの様子

を水槽側面観察窓から家庭用デジタルビデオカメラ (Sony 社製 DCR-TRV900) によって撮影した。

### 1. 3 パフォーマンス実験

#### 1. 3. 1 被験者

被験者は、自由形を専門とする大学男子競泳選手7名を対象とした。なお、被験者はいずれも日本選手権あるいは日本学生選手権に出場しており、100m自由形において日本ランキング5位以内を1名および15位以内を1名を含んでいた。被験者の身体的特徴、100m自由形のベストタイムおよび本研究で使用した新型の水着のタイプ (ロングスパッツタイプ) 使用経験の有無を表1に示した。

#### 1. 3. 2 水着のタイプ

新型水着ロングスパッツタイプ (図1 a) および従来型水着ビキニタイプ (図1 b) を比較の対象とした。

表1 被験者の身体的特徴・100m自由形ベストタイム・新型水着着用経験

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	100m自由形 ベストタイム (秒)	新型水着 着用経験
A	181	80.1	51.5	あり
B	173.9	71	53.0	なし
C	179.5	74.9	52.8	なし
D	179.7	74.9	51.0	あり
E	178.1	74.5	52.5	あり
F	176.3	71.9	53.5	あり
G	172.2	69.4	53.0	あり
平均	177.2	73.8	52.5	
標準偏差	3.3	3.5	0.9	

#### 1. 3. 3 実験場所

筑波大学実験用回流水槽 (五十嵐工業製・垂直循環型) を用いた。

#### 1. 3. 4 試技

それぞれのタイプの水着において異なる日にそれぞれの試技を行なった。各被験者の100m自由形ベストタイムから計算された平均泳速度の85%相当の流速において、最大努力泳を行なった。この流速は実験に先立って数回行われた予備実験にて30~60秒でおおよそ疲労困憊に至るスピードで、無酸素的に非常に高い負荷がかかることが確認されている。疲労困憊に達することで被験者の身体が回流水槽内を試技開始位置から60cm以上後退するまでの試技を、それぞれの水着において4回ずつ行なった。4回の試技は1回ずつ約20分間の休息をはさみ、休息時間中、被験者はイーゼースイムを行い、回復に努めた (図3)。なお、本実験での試技の内容および回流水槽という環境などの慣れを考慮し、どちらの水着のタイプを先に行なうかは被験者ごとランダムに行なった。

#### 1. 3. 5 測定項目

泳継続時間; 回流水槽側面の観察窓から家庭用ビデオカメラ (Sony 社製 DCR-TRV900) で試技の様子を撮影することで得られた映像から、被験者の身体が試技開始位置から60cm以上後退するまでの時間を測定し、泳継続時間とした。

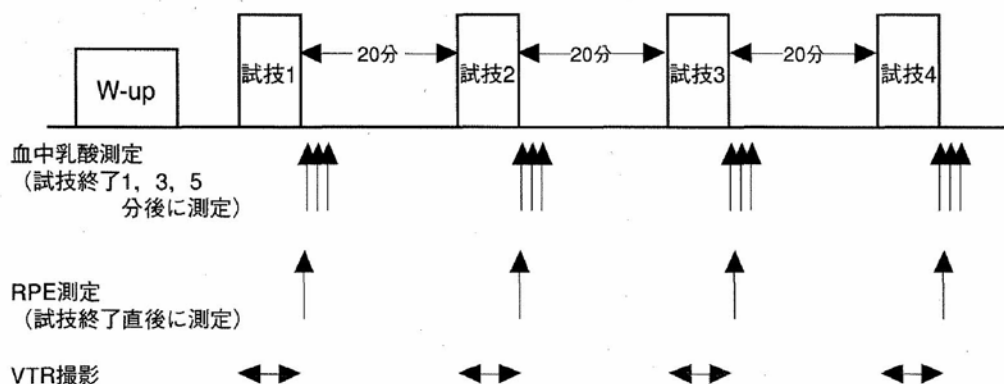


図3 実験プロトコール

血中乳酸濃度；運動終了後1分後，3分後，5分後にそれぞれ指先より採血し，乳酸分析器（BIOSEN社製5030）によって血中乳酸濃度を測定し，最も高い値を採用した。

主観的運動強度（RPE）；Borgらのスケールを小野寺ら（1976）が日本語訳したものを用いて<sup>18)</sup>，試技終了直後，被験者に対して口頭で求めた。なお，RPEは全身（RPE），腕（A-RPE），足（L-RPE）の3部位について<sup>8)</sup>それぞれ回答させた。

### 1. 3. 6 統計処理

それぞれの測定項目において，水着のタイプの違いの比較を対応のあるWilcoxon符号付順位検定を用いて行った。なお，有意水準は $p < 0.05$ とした。

### 1. 4 アンケート調査

今回の実験に先立ち，11名の大学競泳選手に対し，ビキニタイプおよびロングスパッツタイプの水着に関するアンケート調査を行なった。アンケート調査の内容は，着用のしやすさ・泳動作中の動きやすさ・パフォーマンスへの影響などに関して5段階評価にて行い，水着着用時の感覚を自由記述方式にて記入させた。

## 2. 結果

### 2. 1 パッシブドラッグの比較

全被験者のパッシブドラッグの平均値を流速ごとに図4に示した。ビキニタイプ水着のパッシブドラッグ平均値は流速1.50, 1.80, 2.00m/sにおいてそれぞれ， $72.35 \pm 10.98$ ,  $112.8 \pm 9.4$ ,  $153.1 \pm 8.4$  Nであった。一方，ロングスパッツタイプではそれぞれ， $69.52 \pm 9.18$ ,  $107.8 \pm 5.1$ ,  $145.0 \pm 10.7$  Nであった。両水着の間に統計的な有意差は認められなかったものの，いずれの流速においてもロングスパッツタイプのパッシブドラッグの平均値はビキニタイプより小さいものであった。

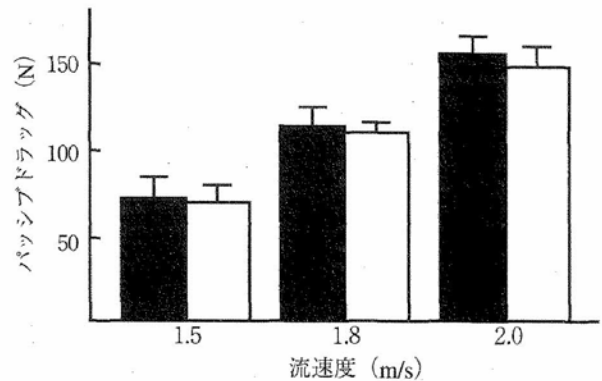


図4 パッシブドラッグ測定結果  
黒：従来型ビキニタイプ  
白：新型ロングスパッツタイプ

2. 2 新型水着着用時の身体周りの流れの観察  
ビデオカメラ撮影によって得られた画像を図5に示した。撮影した映像から水着全体に取り付けられたタフトの挙動について以下の点が観察された。体幹部背面の一部のタフトの向きが流れとは逆方向となるものがあった（図5 a）が，それ以外のタフトの向きは概ね水の流れに沿い，タフトの先端が下肢方向を向いていた。水面に近い体幹部背面，大腿部背面および下腿部背面付近のタフトは常に不安定であった（図5 a, bおよびc）。また，胸部から腹部に渡る一部（図5 d）および膝関節から下腿部にかけての部位（図5 e）においてタフトの動きに乱れがあった。それ以外の体幹部，大腿部および下腿部の前面のタフトは比較的安定していた状態を維持し続けた。

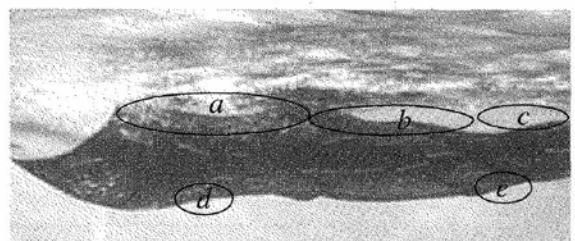


図5 新型水着着用時の身体周辺の流れ  
（楕円で囲まれた領域a-eはタフトの動きに乱れが観察された部位）

### 2. 3 パフォーマンス実験

水着のタイプにおける泳継続時間の比較を図6

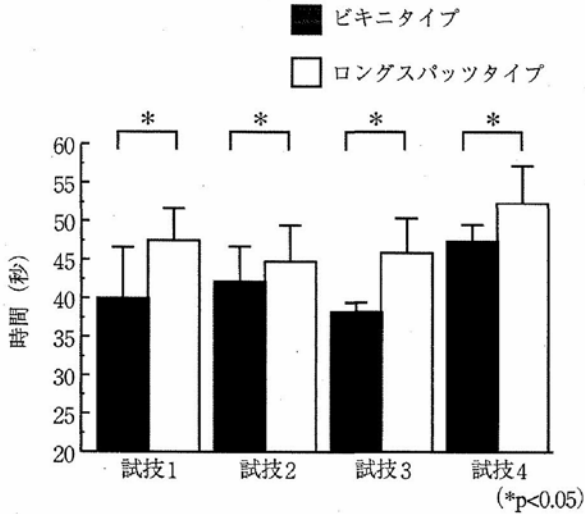


図6 泳継続時間の比較

に示した。1, 2, 3, 4回目の全ての試技において、ロングスパッツタイプの方がビキニタイプに比べ泳継続時間が有意に長いことが認められた。また、泳継続時間の各被験者における4試技の平均を表2に示した。被験者7名中7名全員がロングスパッツタイプの方がビキニタイプに比べ、4試技の平均泳継続時間が長いことが認められた。

水着のタイプにおける血中乳酸濃度の比較を図7に示した。ロングスパッツタイプの方がビキニタイプに比べ高い値を示す傾向が見られるものの、1, 2, 3, 4回目の全ての試技において、水着のタイプ間で有意な差は認められなかった。

水着のタイプにおけるRPEの比較を図8.1～8.3に示した。ロングスパッツタイプの方がビキニタイプに比べ高い値を示す傾向が見られるものの、1, 2, 3, 4回目の全ての試技において、

表2 各被験者の4試技の平均泳継続時間

被験者	ビキニタイプ (秒)	ロングスパッツタイプ (秒)
A	43.7	52.8
B	39.7	47.8
C	44.0	47.0
D	37.4	40.9
E	42.8	46.4
F	40.7	45.6
G	44.0	50.7
平均	41.8	47.3
標準偏差	2.6	3.8

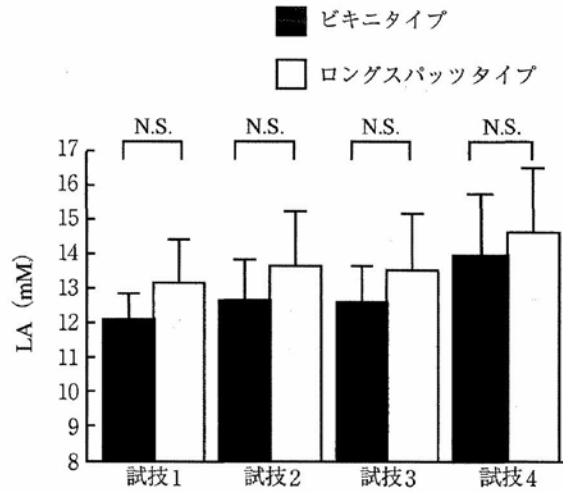


図7 血中乳酸濃度の比較

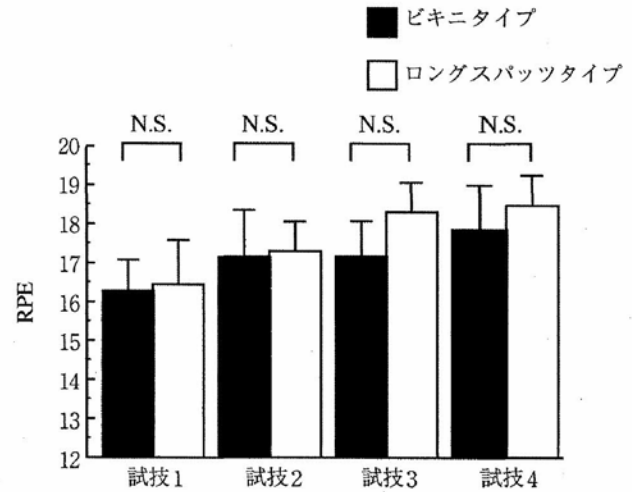


図8.1 全身のRPEの比較

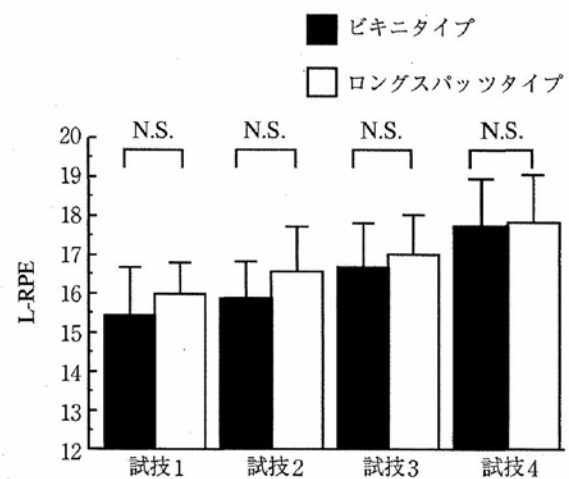


図8.2 足のRPEの比較

水着のタイプ間で有意な差は認められなかった。

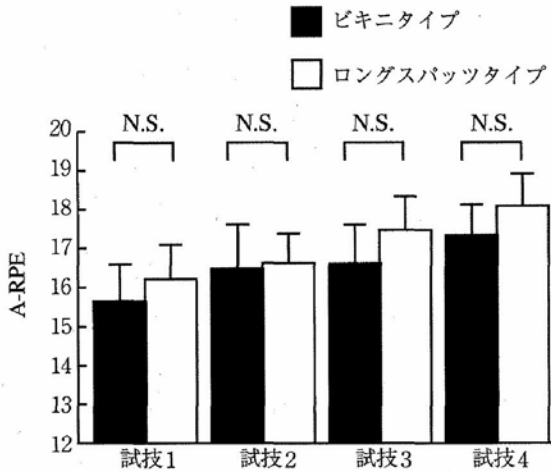


図8.3 腕のRPEの比較

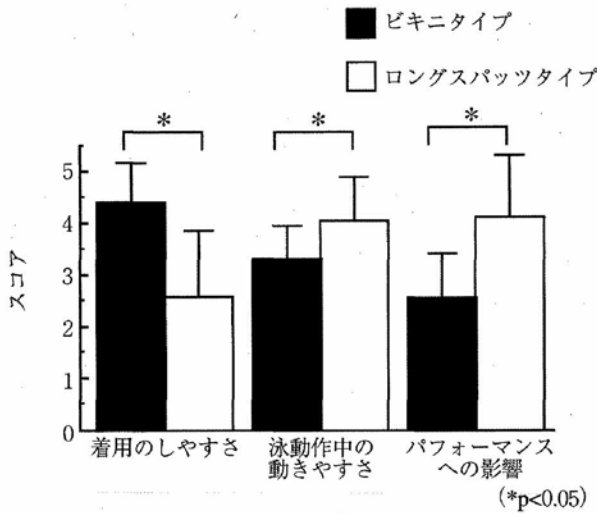


図9 アンケート調査の結果

### 2.4 アンケート調査

水着に関するアンケート調査の比較を図9に示した。「着用のしやすさ」の質問に対してビキニタイプの方がロングスパッツタイプよりも有意に高い値を示し、「泳動作中の動きやすさ」および「パフォーマンスへの影響」に関してはロングスパッツの方が有意に高い値を示した。また、自由記述方式で着用した際のフィット感を尋ねたところ、「ちょうどよい」と答えた者もいたが、臀部、股下や足首部分などがそれぞれ「緩く感じる」もしくは「違和感がある」と答えた者もあり、個人差が見られた。同様に泳動作中の感覚を訪ねたところ、全員が下肢もしくは腰部に「浮力を感じる」

と回答した。ボディバランスの変化については「あまり感じない」、「わからない」と答えた者が1名ずついるものの、不快感を訴える者はいなかった。

### 3. 考察

#### 3.1 水着によるパッシブドラッグの差異

本実験では測定を行った3段階の流速のいずれにおいても統計的に有意な差は認められなかったものの、新型水着であるロングスパッツタイプのパッシブドラッグの平均値が従来型であるビキニタイプよりも小さかった。この結果は、測定を行った各流速におけるパッシブドラッグの比に換算すると、それぞれ3.92, 4.43, 5.29%の抵抗の減少を表している。

ヒトが泳ぐ速度領域における抵抗はKarpovich (1933) が泳速度の2乗にはほぼ比例しているという測定結果を得て以降、様々な測定結果が報告されている<sup>2),4),7),19)</sup>が、水中を移動する速度に対する抵抗の増加率は、速度が高いほどより大きくなることは明らかである。また、富樫ら<sup>23)</sup>が、競泳の最高泳速度である2.0m/s 付近までの速度における抵抗の軽減を重要視した記述をしていることから、本実験で行った1.5 ~ 2.0m/s の速度領域において、新型水着と従来型水着間のパッシブドラッグに4%前後の差が生じ、さらに流速が高いほど抵抗比が大きくなる傾向を示したことは大変興味深い。本実験で用いた2種類の水着タイプの大きな特徴の違いは、身体を被う面積、水着表面のコーティング、生地のカッティングなどが挙げられる。

新型水着を開発したデサントは、新たな撥水加工などを施したことで水着表面の摩擦抵抗は従来品より5.23%減少しているとしている<sup>22)</sup>。富樫らおよび野村らは水着の素材、サイズ、コーティングなどが体表面もしくは水着表面の水との摩擦抵抗に影響し、その軽減により身体全体のパッシ



ブドラッグを低下させると報告している<sup>23),24)</sup>ことから水着表面の摩擦抵抗の軽減が本結果の一因として考えられる。またSharpら(1989, 1990)はシェービングによる体表面の摩擦抵抗の軽減が水泳パフォーマンスに好影響を及したと報告しており<sup>11),12)</sup>、さらにBergenら(2001)は身体を被う面積が大きい水着を着用することにより、表面の摩擦抵抗が軽減し、シェービングしたことと同じ効果が得られるであろうと推測している<sup>1)</sup>。

ヒトが水中を移動する際に生じる抵抗にはヒトと水との間の摩擦以外にも、ヒトの形状、ヒトが生み出す造波に起因するものもある。新型水着であるロングスパッツタイプは身体を被う面積が従来型より大きく、その被服圧が水着で被われた身体の各部の形状および剛性を変化させる。大腿部などその表面が比較的柔軟な組織である部位は水の流れによって振動することが多く見受けられ、この現象によるエネルギーロスはパッシブドラッグに影響を及すものと考えられる。今回行った実験でもビキニタイプを着用した試技の映像から明らかな大腿部の振動が観察された。ロングスパッツタイプの着用はその大腿部を水着で被うことになり、その被服圧により柔組織の振動を抑えたことでパッシブドラッグを低下させたものと考えられる。

ビキニタイプでは水着に被われていない下肢は左右二つに別れ、複雑な形状をしており、また身体周りの流れの後半部にあたることから上肢、頭部、体幹周辺の流れの影響を受ける。そのために下肢周辺の流れは複雑であり、造波や渦などによるエネルギーロスが生じる可能性が高い領域であるものと考えられる。新型水着のカッティングされた生地およびコーティングの方向は身体長軸方向に対して角度のある螺旋を描いたものであり、この特徴ある生地がロングスパッツタイプでは下肢を被うことになる。ここではビキニタイプとロングスパッツタイプの下肢周りの流れの違いを検

討することはできないものの、新型水着のこの特徴は下肢周辺の流れに影響を及していると考えられることから、パッシブドラッグに何らかの影響があった可能性がある。

### 3. 2 身体周りの流れに関する新型水着の特徴

タフトの挙動の観察結果に胸部から腹部の一部および膝関節付近でタフトの動きに乱れがあったことから、流れが身体の形状の影響を受けている可能性はきわめて高いものと考えられる。このように流れ方向に直交する身体断面積が小さくなる部分では渦が発生する可能性が高く、それによって生じる流れのエネルギーロスは身体が水中を移動する際の抵抗および泳パフォーマンスへ少なからず影響するものと考えられる。田古里ら(1985)は女性人体模型の腹部周りにスポンジなどを取り付け、体幹部の凹凸をなくすことにより、アンダーバスト部の渦が見られなくなったことを実験により明らかにしている<sup>20)</sup>。本実験において水着はこの田古里らの用いた手法とは逆に身体の凸部分を押さえる効果があるが、身体表面の高低差を小さくするという点では同様である。従来多く用いられてきたビキニタイプに比べて、身体を被う面積が大きい新型水着はその被服圧によって、より広い範囲において身体の凹凸を小さくし、滑らかにする作用があると考えられ、渦による流れのエネルギーロスを抑える作用があるものと考えられる。

また本研究課題1でビキニタイプ着用時のパッシブドラッグを測定した際に試技の様子を撮影した映像において、胸部、腹部および大腿部で観察された体表面の振動にあたるものが今回の実験では観察されなかった。特に大腿部前面のタフトの挙動は安定しており、その周辺の流れはほぼ層流を維持していたものと考えられる。本間らは剛体および柔軟体の人体模型を用いた実験で、1.4m/s以上の流速で柔軟体模型の抵抗値がより小さかつ

たと報告している<sup>25)</sup>。また極端な水着による身体の締めつけは動作の制限や泳者へ不快感を与えることから、水着によって身体各部のより高い剛性の実現が理想ではないことは明らかであろう。しかしこのことは逆に抵抗やパフォーマンスに対する適当な水着の被服圧が存在し、身体各部を水着で被うことによって、柔組織の振動によるエネルギーロスを抑えるなどの効果が得られることを示している。身体をより広く被う新型水着には身体各部の剛性をコントロールすることができる特長を有していると考えることができ、本実験で観察されたタフトの挙動からもこのことが課題1で得られた新型水着の低抵抗化の要因として挙げることができる。

### 3. 3 水着によってパフォーマンスは向上したか

水着のタイプの違いが泳パフォーマンスにどのような影響を与えるのか検討した。

近年、競泳用水着は素材や表面の加工だけでなく、その形状が大きく変化し、下半身を全て被うようなタイプや全身を被うようなタイプが主流になってきている。また、従来型の水着と新型の全身を被うような水着とを比較することによって、その効果についての検討がなされている<sup>1),10),14)</sup>。Stagerらは2000年のアメリカのオリンピック選考会において、新型の全身を被うような水着を着用する選手が非常に多かったことから、1968年～1996年に行われたアメリカのオリンピック選考会のデータから2000年の選考会のタイムを予測し、実際の結果と照らせ合わせることで水着がパフォーマンスに与える影響を推測した。その結果、全身を被う水着によってパフォーマンスは好影響を受けていないと評価した<sup>14)</sup>。Sandersらは、MAD Systemを用い、新型の全身を被う水着と従来型の水着を着用したときのアクティブドラッグを測定し、統計的に有意な差が無かったことを示し

た<sup>10)</sup>。さらにアメリカの有名なコーチであるBergenはクロール泳の25mタイムを比較し、全身を被う水着の方が従来のタイプより速く泳げることを報告した<sup>1)</sup>。しかし、上記に示したような検討だけでは水着が泳パフォーマンスに影響を与えたか否かを結論づけることは非常に難しいと思われる。そこで、本研究では回流水槽を用いることにより、泳スピードを強制的にコントロールし被験者の最大努力泳ができるようにした。さらに、本実験で用いた泳スピードは100m自由形を想定するため、スタート・ターンを考慮し、ベストタイムから計算された平均泳速度の85%相当(1.62±0.02m/s)で試技を行なった。この泳速度は予備実験によりおおよそ30～60秒で疲労困憊に至るスピードで、無酸素的に非常に高い負荷がかかる強度であることが確認された。

本実験において、4試技ともロングスパッツタイプの方がビキニタイプよりも泳継続時間が有意に長い傾向が認められた(図6)。また、本実験で初めてロングスパッツタイプを着用した被験者が7名中2名がいたにも関わらず、7名全員がロングスパッツタイプの方がビキニタイプに比べ、4試技の平均泳継続時間が長い傾向が認められた(表2)。これらの結果から、本研究で用いたロングスパッツタイプの水着は従来のビキニタイプよりも泳パフォーマンスに好影響を与えたことを示している。

さらに、試技終了後の血中乳酸濃度およびRPEにおいてはこれらのタイプ間に有意な差は認められなかった。また、血中乳酸濃度の値からこれらの試技が無酸素的に非常に高い負荷がかかっていたことがうかがえる。これらの結果から、被験者はそれぞれのタイプの試技においてほぼ同等の非常に高い生理的負荷がかかっており、指示通り全ての試技を最大努力で泳ぐことができたことを示唆している。ただし、血中乳酸濃度およびRPEとも全ての試技において、統計的に有意な差はな

いもののロングスパッツタイプの方がビキニタイプよりも高い傾向が認められたことは、泳継続時間が長かったことによる影響であると考えられる。

以上の結果から、本研究で用いたような非常に高い泳スピードにおいて、ロングスパッツタイプの方が従来型のビキニタイプよりも泳パフォーマンスに好影響を与えたことは、実際の100m自由形レースにおけるパフォーマンスにおいてもプラスの効果が期待できるものと推測される。

### 3.4 水着がパフォーマンスに与える要因

水着がパフォーマンスに影響を与える要因として、本研究で実験を行なったパッシブドラッグや身体周りの流れ以外にも、生理的応答、アクティブドラッグ、姿勢、浮力、動作の制限などが考えられる。これらの他の要因がパフォーマンスに及ぼす影響について過去にいくつかの研究報告がなされているため、本研究のアンケート結果をふまえた上で総合的に水着が泳パフォーマンスに及ぼす影響を検討した。

パッシブドラッグに関して、富樫らは人体模型を用いた研究において、競泳時の最高速度が泳速度 2.0m/s 付近であることから、この速度における抵抗の軽減を重要視しており、実際に水着によって生じた4.22 ~ 10.55%のパッシブドラッグの変化は競技成績に大きな影響を及ぼすとしている<sup>13)</sup>。本実験で用いた2種類の水着タイプの大きな特徴の違いは、身体を被う面積、表面のコーティング、生地のカッティングなどがあげられ、これらの違いにより表面の摩擦抵抗が軽減された可能性がある。Sharpらはシェービングすることは表面の摩擦抵抗が軽減し、その結果、パフォーマンス向上の可能性を示唆しており<sup>11),12)</sup>、Bergenらは身体を被う面積が大きい水着は、表面の摩擦抵抗を軽減させ、シェービングと同じ効果が得られるであろうと推測している<sup>1)</sup>。いくつかの研究においてパッシブドラッグはアクティブ

ドラッグに比べ泳パフォーマンスとは相関が低いと報告されているが<sup>6),15),16)</sup>、パッシブドラッグは身体の形状、大きさ、姿勢によって決定される。これらの要因が泳動作時の抵抗と物理的に無関係であることはありえないことから、本研究によって測定されたおよそ4%のパッシブドラッグの差は少なからず泳パフォーマンスに好影響を与えるものと考えられる。

身体周りの流れに関して、本研究に示したタフトの挙動により、ビキニタイプに比べて、身体を被う面積が大きいロングスパッツタイプはその被服圧によって身体の凹凸を滑らかにする作用があると考えられ、特に大腿部前面のタフトの挙動は安定しており、その周辺の流れはほぼ層流を維持していたものと思われる。このように比較的柔らかい身体部分を水着で被うことによって、その振動によるエネルギーロスを抑えることができることもロングスパッツの特徴であろう。これらの結果をふまえると本研究で用いたロングスパッツタイプを着用することにより、身体周りの流れが層流を維持しやすくなりパフォーマンスにプラスの影響をしていることも十分考えられるだろう。

生理的な応答に関して、荻田ら<sup>17)</sup>は女子用のビキニタイプの水着において、その材質、カット、サイズの違いが最大下水泳運動中のエネルギー消費量に及ぼす影響について検討し、これらの違いによって生理的応答に有意な差は無かったことを示している。さらにある特定のタイプの水着が生理的応答に影響を及ぼすのではなく、選手個人個人の体型や動きにその水着があっているかどうか起因していることを示唆している<sup>17)</sup>。しかし、彼らの研究で用いた水着のカットは多少の違いはあるものの従来型のビキニタイプのみであり、また実験に用いた泳スピードも0.80~1.00m/s程度の最大下強度であったことから、この結果は本研究の結果とは直接的には結びつかないものと考えられる。

アクティブドラッグに関して、Sandersらは、MAD System<sup>16)</sup>を用い、全身を被う水着と従来の水着を着用したときのそれぞれのアクティブドラッグを比較したが、統計的に有意な差が無かったことを示した。しかし、1.65m/sのスピードで11%のアクティブドラッグの減少が見られた被験者もいたことを報告しており、統計的に有意差がでなかったのは、測定誤差や被験者の姿勢の変化、プレセボ効果、水着のフィット性などが原因であろうと示している<sup>10)</sup>。本研究においてはアクティブドラッグの測定は行なっていないが、アクティブドラッグに関して、未だ正確に測定する方法は確立されておらず、様々な方法によって推定されているのが現状である<sup>6),13),15),16)</sup>。しかし、いずれの研究においてもアクティブドラッグは、泳パフォーマンスと高い相関関係があることが報告されており、水着がパフォーマンスに及ぼす影響の一要因になっているかどうか今後さらなる検討をしていく必要がある。

姿勢および浮力に関して、アンケート調査によれば、ロングスパッツタイプを着用して泳いでいるとき、多くの対象者が下肢もしくは腰部に浮力を感じると回答している。Parsonsらは浮力に関して、ウエットスーツの着用により浮力が増大し下肢が浮くことによりパフォーマンスが向上できると報告している<sup>9)</sup>。しかし、競泳用水着についてFINA（国際水泳連盟）の規則SW 10.7項では、レース中にスピードや持久力を向上させたり、浮力を向上させるいかなるものも着用してはならないと明記されており、今回使用した水着はその基準をクリアしている。さらに、水着そのものの体積を考えるとそれほど大きな浮力が得られるとは考えにくい。これらのことから、水着そのものにパフォーマンスに影響を与えるような浮力があるとは考えにくく、水流による揚力の影響や水着に施されている表面のコーティングにより発生する気泡などによって下肢が浮く感覚を得られる可能

性が考えられるだろう。

動作の制限に関して、選手の中には、身体を被う面積が大きい水着、特に手首までの水着は動きを制限するだけでなく、水の感覚が悪くなると考えている者もいる<sup>10)</sup>。しかし、アンケート調査の結果では、本研究で用いた下肢のみを被っている水着は、泳動作中の動きやすさに関して違和感なく使用できることを示したことから、ロングスパッツタイプの水着は動作の制限に関してパフォーマンスを低下させる影響はほとんどないものと考えられる。さらにアンケート調査の「パフォーマンスへの影響」の項目において、ロングスパッツタイプの方が有意に高い値を示していたことから、ロングスパッツタイプを着用することがパフォーマンスに対してより好影響を及ぼすと感じていると推測できる。

また、アンケート結果からロングスパッツはビキニタイプに比べて着用がしにくいことがうかがえ、今後、こういった部分の改良も必要になってくるだろう。

## 5. まとめ

本研究では、最新の水着がヒトの身体周りの流れおよび抵抗にどのような影響を与えるかを従来型の水着と比較することで検証し、実際の泳パフォーマンスへの影響について検討した。その結果、パッシブドラッグにおいて、最新型のロングスパッツと従来型のビキニタイプで有意な差は認められなかったが、ロングスパッツタイプの方がビキニタイプよりも約4%抵抗が軽減されていた。また、身体周りの水流に関して、ロングスパッツタイプは大腿部前面のタフトの挙動が安定しており、その周辺の流れが層流を維持していたことがうかがえた。さらに、回流水槽を用いた高強度のパフォーマンス実験において、ロングスパッツタイプの方がビキニタイプよりも、同じ泳速度で泳継続時間が長かった。

以上の結果から、新型のロングスパッツタイプは従来型のビキニタイプに比べ、高い泳速度において抵抗を少なくする可能性が示され、身体周りの水流を層流にし、高強度のパフォーマンスに好影響を与えることが示唆された。

## 謝 辞

本稿を終えるにあたって、本研究に対して助成していただいた財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。また、実験のために被験用水着をご提供いただいた株式会社デサントに深謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Bergen, P.; Coach Paul Bergen's tests of bodysuits. <http://www-rohan.sdsu.edu/dept/coachsci/swimming/bodysuit/bergen.htm> (2001)
- 2) Clarys, J. P.; Relationship of human form to passive and active hydrodynamic drag, *Biomechanics VI-B, University Park Press*, 120-125 (1978)
- 3) FINA SWIMMING RULE #10, The Race., [http://www.fina.org/swimrules\\_10.html](http://www.fina.org/swimrules_10.html), 2001.
- 4) Holmer, I.; Propulsive efficiency of breast stroke and freestyle swimming, *Euro. J. Appl. Physiol.*, **33**, 95-103 (1974)
- 5) Karpovich, P. V.; Water resistance in swimming, *Res. Q.*, **4**, 21-28 (1933)
- 6) Kolmogorov, S. V., O.A. Rumyantseva, B. J. Gordon, J. M. Cappaert; Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels, *J. Appl. Biomechanics.*, **13**, 88-97 (1997)
- 7) Miyashita, M.; Water resistance in relation to body size, *Swimming Medicine IV*, University Park Press, 359-401 (1978)
- 8) Nomura, T., T. Shono; The relationship between rating of perceived exertion and physiological exertion at different swimming speeds, *Bull. Inst. Health Sport Sci. Univ. of Tsukuba*, **18**, 99-107 (1995)
- 9) Parsons, L., S. J. Day; Do wet suits affect swimming speed?, *Br. J. Sports Med.*, **20**, 129-131 (1986)
- 10) Sanders, R., B. Rushall, H. Toussaint, J. Stager, H. Takagi; Bodysuit yourself; but first think about it, *Journal of Turbulence.*, <http://www.iop.org/Journals/JoT/extra/20>, 2001.
- 11) Sharp, R., D. L. Costill; Influence of body hair removal on physiological responses during breaststroke swimming, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **21**, 576-580 (1989)
- 12) Sharp, R., D. L. Costill; Shaving a little time, *Swimming Tech.*, Nov-Jan, 10-13 (1990)
- 13) Shimonagata, S.; Development of Equipment for Estimating Swimming Power, *Proceedings of XVIII ISBS.*, 988 (2000)
- 14) Stager, J., D. A. Skube, W. Tanner, W. Winston, H. Morris; Bodysuits a bust?, *Swimming Tech.*, Oct-Dec, 16-17 (2000)
- 15) Takagi, H., Y. Shimizu, H. Onogi, Y. Kusagawa; The relationship between coefficients of drag and swimming performance, *Bull. Fac. Educ. Mie Univ.*, **52**, 13-21 (2001)
- 16) Toussaint, H. M., G. de Groot, H. H. Savelberg, K. Vervoorn, A. P. Hollander, S. van Ingen, G. J.; Active drag related to velocity in male and female swimmers, *J. Biomech.*, **21**, 435-438 (1988)
- 17) 萩田 太：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に与える影響，デサントスポーツ科学，**17**，101-112 (1996)
- 18) 小野寺孝一：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性，*体育学研究*，**21**，191-203 (1976)
- 19) 高木英樹，野村照夫，松井敦典，南隆尚：日本人競泳選手の抵抗係数，*体育学研究*，**41**，484-491 (1997)
- 20) 田古里哲夫：水泳における人体の姿勢と水着に関する流体力学的研究，*デサントスポーツ科学*，**6**，185-203 (1985)
- 21) 田古里哲夫：水泳における人体まわりの水流および水着の影響の実験的研究，*デサントスポーツ科学*，**5**，173-184 (1984)
- 22) デサント：<http://www.descente.co.jp/arena-jp/function/compe/spiral/2.html>, 2001.
- 23) 富樫泰一，野村武男，藤本昌則：競泳用低抵抗水着に関する研究，*デサントスポーツ科学*，**10**，75-82 (1989)
- 24) 野村武男，大庭昌昭，富樫泰一：水着が水中牽引

- 抵抗力に及ぼす影響について, 筑波大学運動学研究, 14, 21-27 (1998)
- 25) 本間正信, 野村武男, 田古里哲夫, 高橋伍郎: 剛体及び表面柔軟体人体模型を用いた水泳における水着の影響に関する研究, 筑波大学体育科学系紀要, 13, 111-117 (1990)
- 26) 松崎 健: The low resistance swimsuit "FASTSKIN", ジョイントシンポジウム2000 (スポーツ工学シンポジウム) (シンポジウム: ヒューマンダイナミクス) 講演論文集, 5-8 (2000)