

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実験的研究

本 間 正 信・野 村 武 男・田古里 哲 夫*・高 橋 伍 郎

Experimental study on effects of swimming suit using rigid and soft-surface human model in swimming

Masanobu HONMA, Takeo NOMURA, Tetsuo TAGORI* and Goro TAKAHASHI

The purpose of this study was to find the effect of swimming suit during various speeds. The experiments were carried out in the swim flume with three types of competitive woman's swimming suits on a same scale model of the human body. The measurements were drag force and moments. The comparison were also made between rigid and soft-surface of human body models.

The results suggested were as follows.

- 1) Higher increment of the drag force and moment with swimming suits than bare model were observed with increasing flow speed.
- 2) There was no significant relationships between the size of swimming suit and drag force.
- 3) There was slight difference in the drag force among the three types of swimming suits. However, more detail investigation of the material, cutting, and piping of the swimming suits were necessary.
- 4) The drag force and moment were smaller with the soft-surface model than the rigid model, more than 1.4 m/sec. of the flow speed.
- 5) When swimming suits were put on both models, the extent of increments of the drag force was smaller with the soft-surface model than the rigid model during maximal flow speed (1.6 m/sec.).

Key Words: Swimming suit, Rigid human model, Soft-surface human model, Drag force, Moment

緒 言

水中運動は陸上運動に比べ、粘性の高い水を媒体として行なう運動であるため、空気中とは違う様々な力の影響を受ける。そのため推力発揮のメカニズムや推進のメカニズムを流体力学的、力学的に解明することは水中運動を研究するため、また競泳競技で記録を短縮するためには、非常に重要なことである。

推力発揮のメカニズムについてはいくつかの研究^{2,3,8,9)}があり、スカーリング動作によって発生す

る揚力をつかった推力発揮についての研究が多い。特に Maglischo⁹⁾は4泳法の手の動作を分析し、どのように揚力発揮に結び付けているかを詳しく述べている。

推進のメカニズムについては、流体力学者による解説がいくつかあり、理論的には解明されている部分が多い^{10,11,14)}。大きく考えると、推進のメカニズムは人体に働く推進力と抵抗力の関係で説明され、競泳競技において、記録短縮のためには、この抵抗力を少なくすることが必要である。しかし、実際に人間が泳いでいるときの推進力、抵抗力を定量化することは不可能であり¹⁰⁾、推定する

*筑波大学構造工学系

ことも難しいのが現状である。これは、水泳中の身体姿勢が刻一刻変化していることが大きな原因の一つである。そのため、姿勢一定の時の牽引抵抗を測定し、それから推進力を推定したり、抵抗値を減少させる方法を考えるという研究が数多く行なわれている^{1,4,6,7)}。

人体を用いて牽引抵抗を測定する研究は、まず Karpovich⁶⁾によって行なわれ、抵抗値はほぼ速度の2乗に比例することを示した。同様に、人体牽引による流速と抵抗値の関係の研究は Counsilman¹⁾、鞆田¹⁸⁾、角田¹⁹⁾らによって行なわれ、推進力の推定に役立ってきた。

しかし、これらの研究のように人体を使った実験では、姿勢の変化による抵抗値への影響が大きいため、再現性が低いという観点から、最近では人体模型を使った研究がなされている。田古里らはFRP製剛体等身大模型を使い人体回りの流れを可視化するとともに、迎え角、没水深度を変えたときの抵抗値を測定している^{5,12,13)}。その結果、没水深度に関しては頭部の高さが水面上0～50mmで抵抗値が最大になると報告している。富樫らも1/4縮小模型、および等身大模型を用いて流速と揚抗比の関係、迎え角と抵抗値の関係を求めており、最大の揚抗比が得られるのは迎え角20度付近であるとしている^{15,16)}。

また近年、水着の開発による抵抗減少が目され、等身大模型を用いた、水着の種類と抵抗値の関係を調べた研究も行なわれている^{5,12,13,17)}。水着着用の場合、個々の水着による人体の変形の違いを考慮に入れる必要があり、剛体模型ではなく実際の人体に近い柔軟体の模型が望ましいのは言うまでもない。

そこで本研究は、西日本流体技研制作の等身大表面柔軟体模型を使い、まず流水中において、剛体模型と表面柔軟体模型とで受ける流体力がどのように変化するか、また、水着を着たときの影響、水着サイズの違いによる影響、水着の種類による影響を考察することとした。

方 法

1) 回流水槽

筑波大学実験用回流水槽（五十嵐工業製、垂直循環型、79001）を用いた。実験は平成元年6月13日に行ない、水温は24度であった。

2) 人体模型

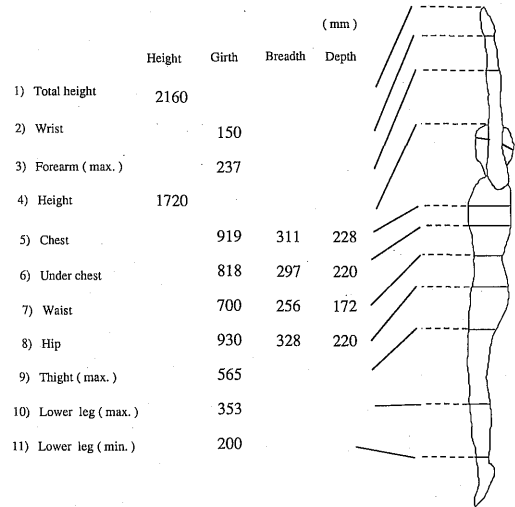


Fig. 1 The measurements of the human model

人体模型は、一流女子大学選手（個人メドレー）をモデルとして作成され、姿勢についてはターン後の蹴のびの姿勢を基準とした。人体模型の主要寸法は Fig. 1 に示す。実験には、FRP製剛体模型（㈱七彩 作製）と、FRP上にシリコンゴムを鋳造した表面柔軟体模型（西日本流体技研 作製）を用いた。この剛体模型と、表面柔軟体模型はほぼ同一形であるが、頭部のみが形状、姿勢において若干異なっている。表面柔軟体模型は、バスト、ヒップ、大腿部を、特に柔軟さを増して作られているが、水着着用時の縁の食い込みなどが人体ほど表現できてなく、若干柔軟性に欠けるものである。しかし、剛体模型よりは明らかに人体に近いということで、十分比較の対象になると考えられる。

また、両模型とも内部は空洞で、実験時にはここに水を満たし必要な深さまで沈めた。模型を計測器に取付けるため、頭部、両ふくらはぎにアルミ製金具が取付けてある。

3) 各流体力の測定方法

本研究では防水型3分力検出器（日商電気製、LMC-3504）を用いて、模型にかかる抵抗力、揚力、およびモーメントを測定した。実験の構成および3分力検出器の固定法を Fig. 2 に示す。

この3分力検出器からの信号はストレインアンブ（日商電気製、DSA-100）により増幅し、データレコーダ（TEAC製、R-81）に記録した。収録したデータは、サンプリング周波数100HzでA/

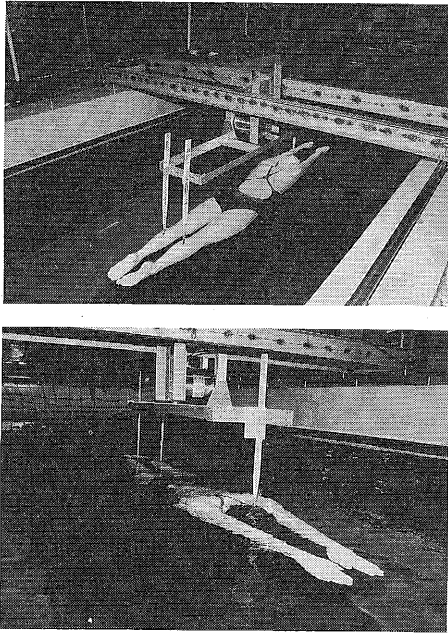


Fig. 2 The system of fixation of the human model and three-forces transducer

D変換し、5秒間のデータをマイクロコンピューターに取り込んで処理をした。従って本研究での各流体力の値は5秒間の平均値となっている。

流れの観察については模型の側面、および上方からの写真撮影により行なった。

4) 人体模型の固定条件

模型の没水深度、迎え角については富樫¹⁰⁾らの研究から、トップスイマーが最高スピードで泳ぐときのポジションに近いとした、後頭部が水面上10mm、迎え角5度とした。

5) 水着

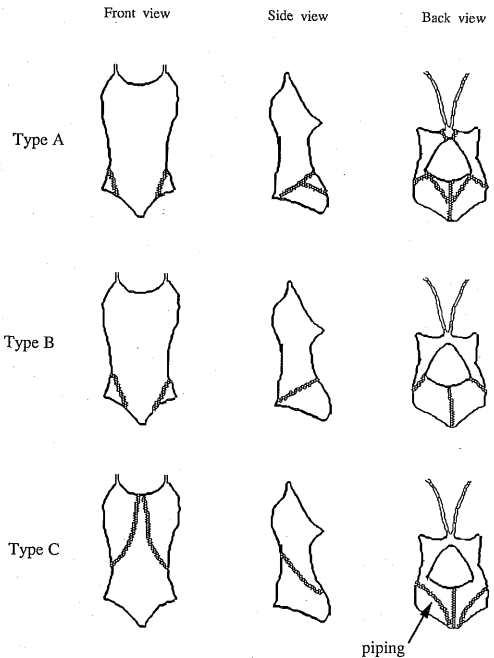


Fig. 3 The characteristics of the swimming suits

実験に用いた水着は、3種類の競泳用水着5枚で詳細はTable 1に示す。表に示すように素材は全く同じものであるが、編み方、パイピングなどは各種それぞれ大きく異なっている (Fig. 3)。

6) 流速

流速は、0.7m/sec.から1.6m/sec.まで0.1m/sec.おきに設定した。現在、女子自由型、一流選手の平均泳速は1.7m/sec.~1.8m/sec.程度であることを考えると、本研究での設定流速はそれより若干遅い流速であるが、目的から考え、それほど大きな問題とはならないと思われる。

Table 1 The characteristics of the swimming suits

種類	サイズ	素	材	備	考
1	A	M	ナイロン80%, ポリウレタン20%	表面にコーティングがしてあり 非常になめらか	
2	A	L	ナイロン80%, ポリウレタン20%	表面にコーティングがしてあり 非常になめらか	
3	B	M	ナイロン80%, ポリウレタン20% ライン部 ポリエステル80%, ポリウレタン20%	ラインが多く、縫い目が多い	
4	B	L	ナイロン80%, ポリウレタン20% ライン部 ポリエステル80%, ポリウレタン20%	ラインが多く、縫い目が多い	
5	C	L	ナイロン80%, ポリウレタン20%		

結果及び考察

本研究では3分力計により、流水中にある等身大人人体模型に働く、抵抗力、揚力、モーメントを測定した。しかしながら、測定された揚力についてはデータの再現性が低かったため本研究では考察の対象から除外した。なお、本研究でのデータは抵抗力については水流の方向を正とし、モーメントは頭が下向きに回転を起こす方を正とした。

1) 剛体模型と表面柔軟体模型の比較

Fig. 4に水着を着せていないときの2つの模型の、抵抗力とモーメントの流速に対する変化を示した。まず抵抗力についてみると、約1.4m/sec.までは両模型には大きな違いはない。また、モーメントについて見てみると、全流速を通して表面柔軟体模型の方が小さい傾向にあった。しかし、抵抗力については、流速が1.4m/sec.を越えると表面柔軟体模型の方が小さくなり、剛体模型と差が見られるようになる。この時の水流の状態は1.4m/sec.と1.5m/sec.付近では、波のはがれ点など波の様子が大きく異なっている。この要因について、本研究の測定結果からははっきりしたことは言えないが、考えられるものとして、剛体模型と表面柔軟体模型の違いによるもの、頭部の違いによるものの2点があると思われる。

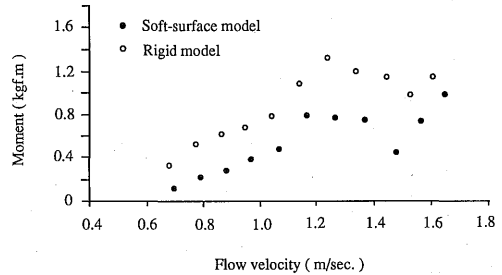
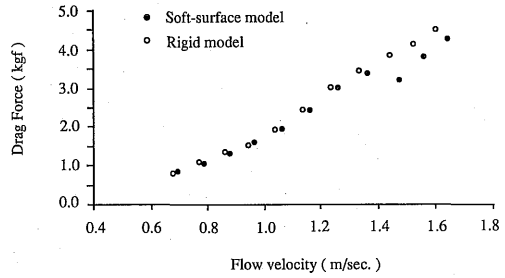


Fig. 4 The drag force and the moment acting on the human model in the nude

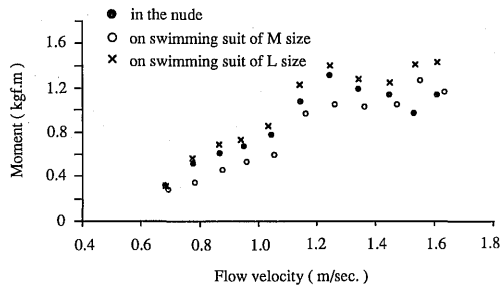
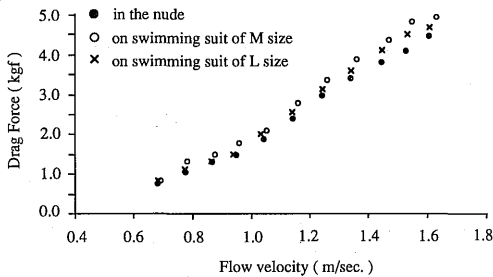


Fig. 5-1 The drag forces and the moments acting on the Rigid human model in swimming suits of type-A

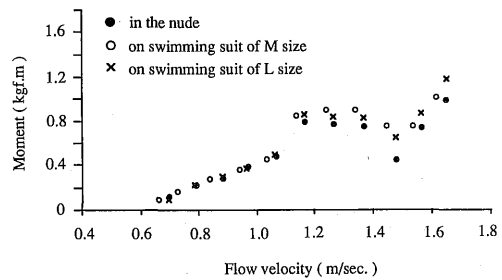
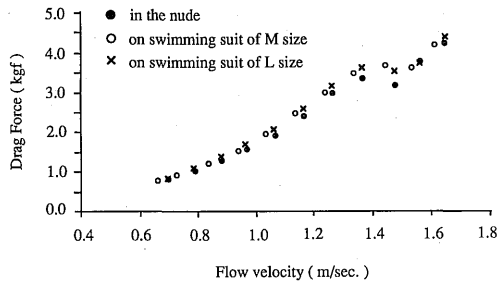


Fig. 5-2 The drag forces and the moments acting on the Soft-surface human model in swimming suits of type-A

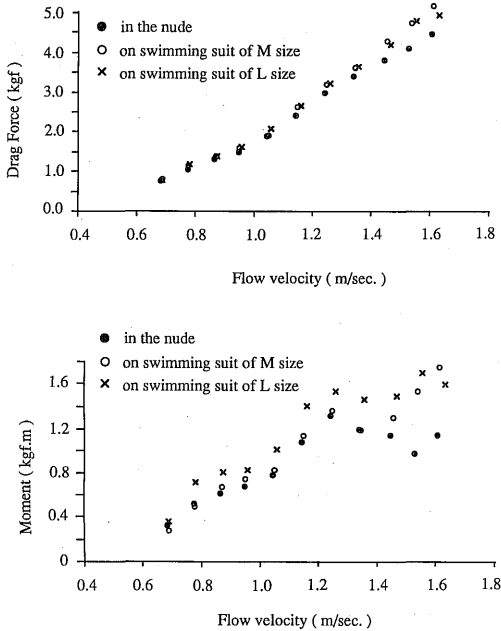


Fig. 6-1 The drag forces and the moments acting on the Rigid human model in swimming suits of type-B

2) 水着を着た時と裸の時の比較

Fig. 5-1, 5-2, 6-1, 6-2に、裸の時と2種類の水着を着た時の、抵抗力、モーメントの流速による変化を、剛体模型、表面柔軟体模型それぞれにおいて示してある。これらの図からわかるように抵抗力、モーメントとも水着を着ると大きくなる傾向にあり、剛体模型の場合、特に流速が速くなるとその差は大きくなり、流速1.6m/sec.では平均11.8%増であった。表面柔軟体模型の場合、流速1.4m/sec.で最大で平均16.1%増であった。水着を着た場合、胸部分からの水の吸い込みが見られ、これが抵抗力、モーメントが増加した原因の1つであると考えられる。

また、剛体模型、表面柔軟体模型を比較すると、表面柔軟体模型の方が、実際にレースで泳ぐような、高流速での両流体力の増加の程度が少ない傾向にある。これは、Fig. 7の抵抗差の変化で、流速1.6m/sec.において剛体模型は平均11.8%増であるのに対して表面柔軟体模型は平均0.8%増であることから明らかである。この原因については、写真撮影の結果からは明らかにはならなかったが、表面柔軟体模型の方が剛体模型よりも、水着の

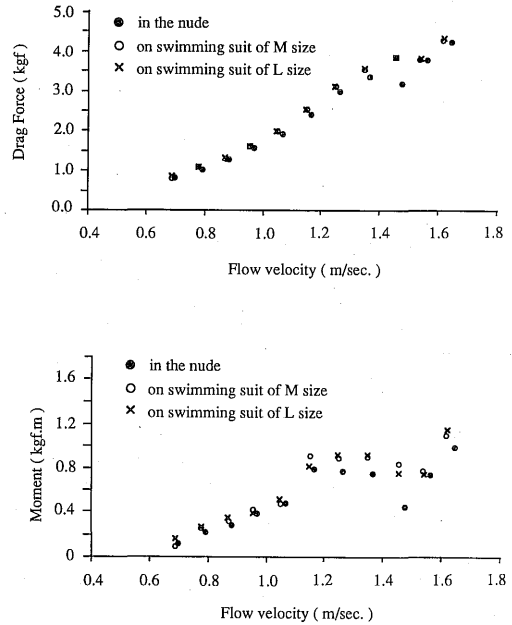


Fig. 6-2 The drag forces and the moments acting on the Soft-surface human model in swimming suits of type-B

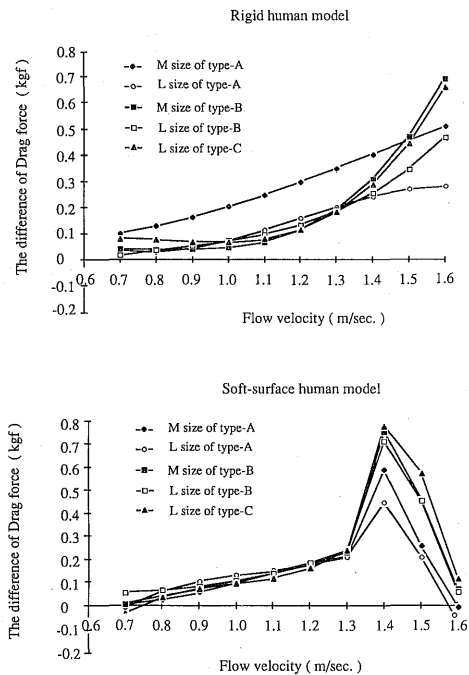


Fig. 7 The differences of Drag force acting on the Rigid (upper) and the Soft-surface (lower) human model between each swimming suit and in the nude

フィット性が良く、胸部分からの水の吸い込みが少なかったのではないかと推察される。

3) 水着サイズ間の比較

Fig. 5-1, 5-2, 6-1, 6-2はAタイプ, Bタイプそれぞれの, Mサイズ(○印)とLサイズ(×印)の比較である。剛体模型においてはL, Mの順で抵抗値, モーメントとも少ない傾向にあるが有意なものではない。表面柔軟体模型においては図からも明らかなようにその差はほとんどない。これは富樫ら¹⁷⁾の研究結果と同じであり, 水着のサイズによる抵抗値の影響はほとんど見られず, 胴体模型から表面柔軟体模型にかえて, その傾向はさらに強くなったと思われる。

4) 水着の種類による比較

ここでは, 記録に直接的に影響すると考えられる抵抗力の違いに注目してみる(Fig. 7)。各種類を比較すると(CタイプはLサイズのみ), 特に速い流速時では, 剛体模型ではC, B, Aタイプの順で抵抗差が大きい傾向が見られた。表面柔軟体模型においても, その程度は低くなるが同じような傾向が見られる。これらのことから本研究では, Aタイプの水着が最も裸時に近いという結果を得た。しかしながら, その差はわずかであり, 原因については素材や水着のカットの面からも含め, より詳細な研究が必要であると考えられる。

まとめ

本研究は流水中に人体が受ける力が水着を着ることによりどのような影響を受けるかを明らかにしようとした。実験は回流水槽において, 等身大剛体模型と表面柔軟体模型を用い, 模型にかかる抵抗力, モーメントを測定した。3種類5枚の競泳用水着についてサイズ, 種類の違いによる影響を考え, また同時に剛体模型と表面柔軟体模型を用いたときの違いについても考察した。

結果は以下の通りである。

1) 剛体模型と表面柔軟体模型の裸時の違いは, モーメントについては表面柔軟体模型の方が小さい傾向にあった。抵抗力については流速1.4m/sec.付近までは大きな違いはないが, それ以上速い流速になると表面柔軟体模型の方が小さくなった。

2) 水着を着た時の影響は抵抗力, モーメントとも大きくなり, その傾向は流速が増すと強くなった。最大時では, 剛体模型平均11.8%増, 表

面柔軟体模型平均16.1%増であり水着の抵抗に及ぼす影響は無視できないと考えられる。

3) 水着を着たときの剛体模型と表面柔軟体模型の違いは, 最高流速度において剛体模型の方が裸時との抵抗差が大きかった。これは, 水着の食い込みがなく, フィット性が低いことから水の吸い込みが多くなったためと考えられる。

4) 水着のサイズ間の違いについてはほとんど差が見られなかった。

5) 水着の種類による違いについてはその原因が素材, カッティング, パイピングなどにもあるため, それらの方面からの研究も含め, より詳細な研究が必要と思われる。

参考文献

- 1) Councilman J.E., Forces in Swimming Two Types of Crawl Stroke, Res. Q., Vol. 26, pp. 127-137, 1955
- 2) Councilman J.E., Competitive Swimming Manual, pp. 221-247, 1977
- 3) G. Takahashi, A. Yoshida, S. Tsubakimoto, M. Miyashita, Propulsive Force Generated by Swimmers during a Turning Motion, Biomechanics and Medicine in Swimming, Vol. 14, pp. 192-198, 1983
- 4) G. Takahashi, T. Nomura, A. Yoshida, M. Miyashita, Physiological Energy Consumption during Swimming, Related to Added Drag, Biomechanics VIII-B, pp. 842-847, 1983
- 5) 田古里哲夫, 回流水槽セミナー, pp. 181-197, 回流水槽懇談会, 1985
- 6) Karpovich P.V., Water Resistance in Swimming, Res. Q., Vol. 4, pp. 21-28, 1933
- 7) Katharine M.B., Swimming Biomechanics Resistance and Propulsion, Swimming Technique, Vol. 14, No. 3, pp. 66-70, 1977
- 8) 波多野勲, 水泳の力学的考察, Nagare, 第9巻2号, pp. 76-95, 1977
- 9) Maglischo E.W., Swimming Faster, pp. 11-52, 1982
- 10) 種子田定俊, 自己推進運動を行なう物体の抵抗, Nagare, 第9巻2号, pp. 72-75, 1977
- 11) 種子田定俊, スポーツと抵抗, 数理学, No. 181, pp. 5-9, 1978
- 12) 田古里哲夫, 荒川忠一, 増田公明, 岡本恒, 水泳における人体回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, Vol. 5, pp. 173-184, 1984

- 13) 田古里哲夫, 荒川忠一, 増田公明, 岡本恒, 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, Vol. 6, pp. 185-203, 1985
- 14) 高木隆司, 泳ぐ, 数理科学, No. 181, pp. 21-24, 1978
- 15) 富樫泰一, 黒川隆志, 高橋伍郎, 人体模型による水泳時の揚力と抗力, 第7回バイオメカニクス学会大会口演集, pp. 27-28, 1984
- 16) 富樫泰一, 野村武男; 人体模型を用いた水泳時の揚力および抗力に関する研究, 筑波大学体育科学系運動学研究, pp. 17-22, 1987
- 17) 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, Vol. 9, pp. 75-82, 1988
- 18) 鞆田幸徳, 宮下充正, 高橋伍郎, 人体水抵抗に関する研究, 昭和39年度体協報告書, 1963
- 19) 角田俊幸, 小島武次, 宮下充正, 岡本恒, 増永公明, 人体水抵抗に関する研究, 昭和50年度体協報告書, 1975