

水中人体抵抗係数の標準化

高木 英樹・下永田修二*・松井 健**
宮地 元彦***・宮川 健***・小野寺 昇***

Standardization of Human Drag Coefficient in the Water

TAKAGI Hideki, SHIMONAGATA Syuji*, MATSUI Takeshi**,
MIYAJI Motohiko***, MIYAGAWA Takeshi***, ONODERA Syo***

1. 研究目的

ヒトが泳ぐ環境は、摩擦および造波抵抗が急激に増大する局面に当たり、これらに打ち勝って泳ぐ水泳競技は、まさに抵抗との戦いと言える。よって古くから記録向上を目指した抵抗節減への関心は高く、人体の水中抵抗については、Alley¹⁾、Clarys³⁾、Jiskoot⁴⁾、Karpovich⁵⁾、Miyashita⁶⁾などの研究者によって数多くの報告がある。しかしながら、いずれの先行研究も各設定条件間での抵抗値そのものの大小を検討するに留まっている。抵抗値そのものは、被験者、水温、流速および測定姿勢等が異なれば、当然変化するため、これらの条件が一致しない場合、先行研究間で抵抗特性を比較検討することができない。船舶などの構造物の水中抵抗を議論する際には、一般的に抵抗値そのものではなく、構造物のスケールや流体の密度および流速の影響を排除するために抵抗係数という無次元値を用いる。人体の水中抵抗に関しても、抵抗係数を用いれば、被験者の体格差、水温（水の密度変化）、流速などの影響を取り除き、各被験者の抵抗特性を流体力学的に議論することが可能となる。しかしこれまで、人体の水中抵抗に関する研究においては、僅かに高木ら⁷⁾とToussaintら¹⁰⁾との報告において、限られた被験者を対象として抵抗係数が議論されているに過ぎない。よって人体の水中抵抗係数に関しては、未だ標準化されていない状況にある。

そこで本研究では、様々な年齢、性別および身

体的特性を持つ被験者を対象として、水中牽引時の抵抗計測を行い、個人差や水温、流速、水深などを考慮した上で、人体の水中抵抗係数の標準値を求めることを目的とする。

2. 方法

2. 1. 被験者

被験者は健康な男女、計70名とした。被験者の年齢、身長、体重、体表面積に関する平均値および標準偏差を表1に示す。

2. 2. 実験方法

水中抵抗計測に当たっては、回流水槽および競泳用プールに設置した人体牽引装置を用いた。流速は、小野寺ら⁷⁾の報告により1.0m/s以下では、下半身が沈み抵抗値が異なる傾向を示すことから、約1.0m/s～2.0m/sの範囲で5段階程度に分割して漸増させた。被験者に対しては、両腕挙上伏臥位（けのび姿勢）の体位を取らせ、両手でケーブルに接続されたハンドルを握り、できる限り抵抗の少ない姿勢を取るよう指示した。人体にかかる抵抗は、ロードセルを用いて計測し、信号は増幅、ノイズ処理を経て

表1. 被験者の年齢および身体特性

項目	平均	標準偏差
年齢 (歳)	19.29 ±	4.96
身長 (m)	1.69 ±	0.08
体重 (kg)	61.22 ±	10.51
体表面積 (M ²)	1.72 ±	0.18

* 千葉大学教育学部

** 吉備国際大学社会福祉学部

*** 川崎医療福祉大学医療技術学部

パーソナルコンピューターに取り込み、加算平均して各試技条件における平均抵抗値を算出した。なお実験の前後に水温を測定し、水の密度を求めた。

2. 3. データ処理

各流速に対応する抵抗値(D)は、水温(密度)、体格、流速の影響を取り除くために式1に代入し、無次元値である抵抗係数(Cd)に変換した。

$$Cd = \frac{D}{0.5\rho SU^2} \quad (\text{式1})$$

(ρ :密度, S :代表面積, U :流速)

なお代表面積には、高木ら⁸⁾の報告や算出の簡便性を考慮し、体表面積を用いた。体表面積(S)は、式2に示す高比良の式を用いて算出した。

$$S = 72.46 \times H^{0.725} \times W^{0.425} \quad (\text{式2})$$

(H :身長, W :体重)

さらに流速は、被験者の身長を代表長さとして、無次元値であるフルード数(Fn)に変換した。

$$Fn = \frac{U}{\sqrt{gH}} \quad (\text{式3})$$

(U :流速, H :身長, g :重力加速度)

3. 結果および考察

流速と抵抗値をそれぞれフルード数と抵抗係数に変換した後、両者の関係を図1に示す。なお縦軸、横軸の値とも無次元値であるので、単位は持たない。図1より、抵抗係数(Cd)とフルード数

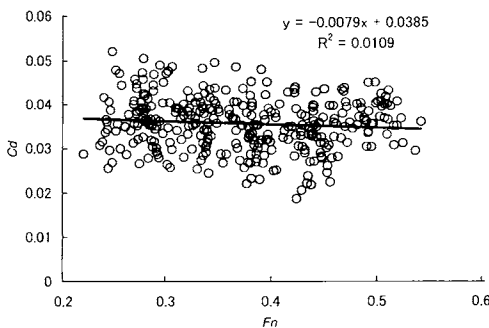


図1. フルード数の増加にともなう水中抵抗係数の変化

(Fn) との間には相関関係は認められず、フルード数が増加しても、抵抗係数は、ある一定の幅を持つもののあまり変化しない。また個人内においても、フルード数が増加しても抵抗係数はほぼ一定の値を示した。これは、けのび姿勢をとったままの受動抵抗は、ほぼ流速の2乗に比例していることを意味し、その値のばらつきは、被験者の流体力学的特性を表しているものといえる。

次にフルード数と抵抗係数の回帰分析を行い、式4の回帰式を得た。

$$Y = -0.0079 X + 0.0385 \quad (\text{式4})$$

全測定データは、回帰式のy切片である0.0385を中央値として±30%以内にほぼ収まっている。しかし最小値と最大値を比較すると最大で2倍以上の格差があり、体型や姿勢によって抵抗が2倍以上異なることが示唆された。

また先行研究結果を本研究と同様の手順で、フルード数と抵抗係数に変換し、本研究結果と比較した結果を図2に示す。先行研究においては、流速の測定範囲が狭いため、横軸に沿った抵抗係数の分散は小さい。しかし先行研究結果を統合すると、本研究において求められた回帰直線を中心に本研究結果と同様にプラス方向にもマイナス方向にも分布していた。巨視的に見れば、本研究と同様の分布を示しており、本研究結果の妥当性が裏付けられたと思われる。

4. まとめ

本研究では、水中における人体の牽引抵抗の標準化を目指した。その結果、流速が1.0m/s～2.0m/

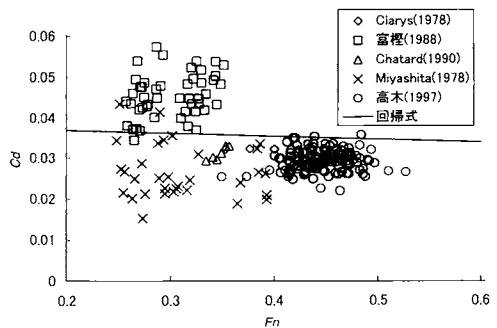


図2. 先行研究における水中抵抗係数との比較(図中の回帰直線が本研究結果を示す)

sの範囲では、各個体の抵抗係数はほぼ一定の値を示す。その値は、0.025～0.05の範囲にあり、最大2倍の格差が生じた。このことは、体格や姿勢によって同じ流速でも抵抗値がかなり異なることを示唆した。今後は、タレント発掘の観点からもさらに多くのデータを収集し、データベース化して抵抗係数とパフォーマンスとの関連を検討する必要があると思われる。

なお本研究は、筑波大学体育科学系内プロジェクト研究費による一部補助を受けて実施された。

文 献

- 1) Alley, L. E. (1952): An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke. *Research Quarterly*, 23 (3), 253-270.
- 2) Chatard, J. C., Bourgoïn, B. and Lacour, J. R. (1990): Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude. *European Journal of Applied Physiology*, 59, 399-404.
- 3) Clarys, J. P. (1978): Relationship of human form to passive and active hydrodynamic drag. *Biomechanics VI-B*, University Park Press, pp. 120-125.
- 4) Jiskoot, J. and Clarys, J. P. (1975): Body resistance on and under the water surface. *Swimming II*, University Park Press, Baltimore, pp.105-109.
- 5) Karpovich, P. V. (1933): Water Resistance in Swimming, *Research Quarterly*, 4 (3), 21-28.
- 6) Miyashita, M. (1978): Water resistance in relation to body size. *Swimming Medicine IV*, University Park Press, Baltimore, pp. 359-401.
- 7) 小野寺昇, 宮地元彦, 宮川健, 西村正広, 星場葉子, 山本健太, 山口英峰, 斉藤剛, 松井健 (1999): 異なる水の比重が回流水槽における水泳姿勢と Passive Drag に及ぼす影響. *水泳水中運動科学*, 2, 11-15.
- 8) 高木英樹, 野村照夫, 松井敦典, 南 隆尚 (1997): 日本人競泳選手の抵抗係数. *体育学研究*, 41 (6), 484-491.
- 9) 富樫泰一, 向井良生, 野村武男 (1988): 児童の人体牽引抵抗に関する研究. *筑波大学体育科学系紀要*, 11, 145-151.
- 10) Toussaint, H. M., de Looze, M., van Rossem, B., Leijdekkers, M. and Dignum, H. (1990): The effect of growth on drag in young swimmers. *Int. J. Sport Biomech.*, 6 (1), 18-28.