

Active Drag (自己推進時抵抗) を指標とした トレーニング効果評価法の開発

三 重 大 学 高 木 英 樹

(共同研究者) 同 清 水 幸 丸

同 前 田 太 佳 夫

京都工芸繊維大学 野 村 照 夫

奈良教育大学 若 吉 浩 二

The Development of a Methodology to Evaluate Training Effects Using the Active Drag Index

by

Hideki Takagi, Yukimaru Shimizu, Takao Maeda

Mie University

Teruo Nomura

Kyoto Institute of Technology

Kohji Wakayoshi

Nara University of Education

ABSTRACT

In Swimming, the human body must develop enough propulsive force to counterbalance the active drag of water. Various methods have been applied to ascertain this active drag, but they invariably necessitated cumbersome devices. The purpose of this study is to determine the active drag by use of self-developed transportable towing device that could be used in any swimming pool, and to evaluate training effects of a swimmer by the active drag index.

Twenty-seven competitive swimmers (18 males and 9 females)

volunteered to participate in this study. Subjects were towed with this device for a distance of 20 meters at speeds higher than those of their free swimming speed. Thus the towing force was measured both in the gliding position and the crawl stroke movement. The active drag in the crawl stroke movement regressed as an exponential function of velocity.

Their active drags were found to increase exponentially as the swimming velocity increase. The mean drag coefficient (k) was 3.554 ± 1.166 , and mean exponent (n) was 2.07 ± 0.387 . There were significant relationships between the drag coefficient and the girth of upper arm, the percentage body fat.

要 旨

水泳運動では、水中動作に伴って発生するさまざまな抵抗 (Active Drag) に打ち勝つ推進力を発揮している。この抵抗を測定するために、これまでさまざまな工夫がされてきたが、実用化された方法論は装置が大がかりで、簡便性に欠けていた^{1,5-8,10)}。そこで本研究では、移動可能な Active Drag 測定装置を開発し、水泳におけるトレーニング効果を客観的に評価する方法論を確立することを目的とした。

本実験では、27名の被験者を用いて、自由泳速度より速い5段階の速度でけん引し、けのび姿勢とクロール泳時における張力とけん引速度の関係式を求めた。

Active Drag を $D_a = k \cdot v^n$ で近似した結果、抵抗係数： k は 3.554 ± 1.166 、指数： n は 2.07 ± 0.387 であった。また、Active Drag の抵抗係数と各身体特性の関係を検討したところ、有意な正の相関が認められたものは、上腕周囲

($r = 0.417$, $P < 0.05$)、体脂肪率

($r = 0.448$, $P < 0.05$) であった。

緒 言

ヒトが水泳運動する際、上肢によってプル動作を行うと、主に手部で揚力と抗力が発生し、その合力の水平成分が推進力として働く⁴⁾。同様に、下肢のキック動作によっても推力が生まれ、この上肢と下肢による推力を合わせた力は自己推進時推力 (推進力) と定義される。

つぎに上述の推進力発揮に伴って、さまざまな抵抗が発生する。抵抗を大別すると、粘性力に由来する摩擦抵抗と造波・飛沫・造渦などを合わせた「その他」の抵抗に分けることができる。これらの抵抗値は、ヒトが自ら四肢を動かして推進する場合、動作の1サイクル内で人体形状の変化に伴い時々刻々と変化する。これらの抵抗すべてを合わせて、時間平均した値は Active Drag (自己推進時抵抗) と定義され、泳速度の上昇に伴って指数関数的に増加すると推察される。

ここで、ヒトの水泳運動を質点系でとらえると、ストローク動作に伴って若干加減速しているが、巨視的に見れば速度が一定の等速運動とみなすことができ、その場合には推進力と Active Drag とは等しく釣り合っていると考えられる^{12,13)}。(図1)

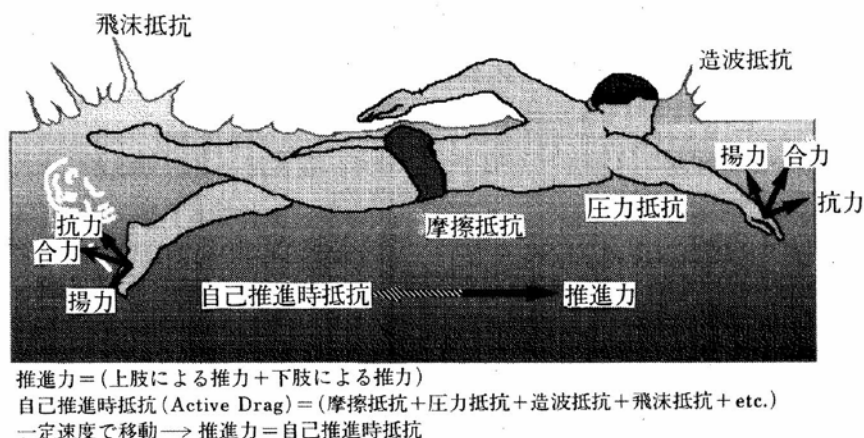


図1 水泳中の推進力と抵抗

上記のような流体力学的特性をふまえ、トレーニングによって泳速度を向上させようとする場合2つの方法が考えられる。1つは、泳速度アップによる Active Drag の増加分を筋のパワーアップによって相殺する方法と、もう1つは出力は変えず、泳技術の改善によって泳速度アップに伴って上昇するはずの Active Drag を増加させない方法が考えられる。

これまでの水泳のトレーニングメソッドにおいては、主に前者の筋のパワーアップや持久力向上のみに主眼が置かれ、後者の Active Drag の節減はあまり議論されてこなかった。その最大の理由として、Active Drag を測定することの困難さを指摘することができる。

これまで、Toussaint⁶⁾らによって測定が試みられているが、大がかりな装置を必要とし、どここのプールでも簡便に測定することができるまでには至っていない。そこで本研究では Active Drag を測定する装置および方法論を確立し、横断的に水泳技術の差異を Active Drag を指標として定量化することを目的とした。

主な記号と用語

Active Drag：自己推進時（自由水泳時）に受けるすべての流体抵抗

Passive Drag：けのび状態でけん引されたときの抵抗

D_a ：Active Drag の値

D_p ：Passive Drag の値

D_t ：クロール泳をしながらけん引した場合に受けると思われる流体抵抗値

F_t ：けん引したときのストリングに生じる平均張力

P ：自己推進時（自由水泳時）に発揮している推進力

α ：推進力の増加分

v ：けん引速度

k ：抵抗係数

n ：指数

V_{peak} ：現在の推進力で出せる最高速度

V_s ： D_a の回帰式に推進力 P を代入して推定した泳速度

1. 研究方法

1.1 被験者

本実験の被験者は群馬県内の中、高の水泳部、またスイミングスクールに所属する22名、およびK大学水泳部に所属する者5名である。また、被験者の年齢・性別・身体特性・専門種目・競技歴は表1に示すとおりである。

1.2 測定方法

1.2.1 測定装置

図2に測定装置 (Reel up System)¹¹⁾ の概要を

表1 被験者の身体特性および専門種目

被験者		年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	競技歴 (年)	専門種目
女子	平均	15.8	159.7	53.7	8.4	自由形：2，平泳ぎ：1
	標準偏差	2.9	6.3	5.9	2.5	バタフライ：3，背泳：1，個メ：2
男子	平均	19.1	174.1	68.8	9.9	自由形：9，平泳ぎ：2
	標準偏差	6.3	5.6	9.1	4.5	バタフライ：4，背泳：1，個メ：2
全体	平均	18.0	169.3	63.7	9.4	自由形：11，平泳ぎ：3
	標準偏差	5.5	9.0	10.9	3.9	バタフライ：7，背泳：2，個メ：4

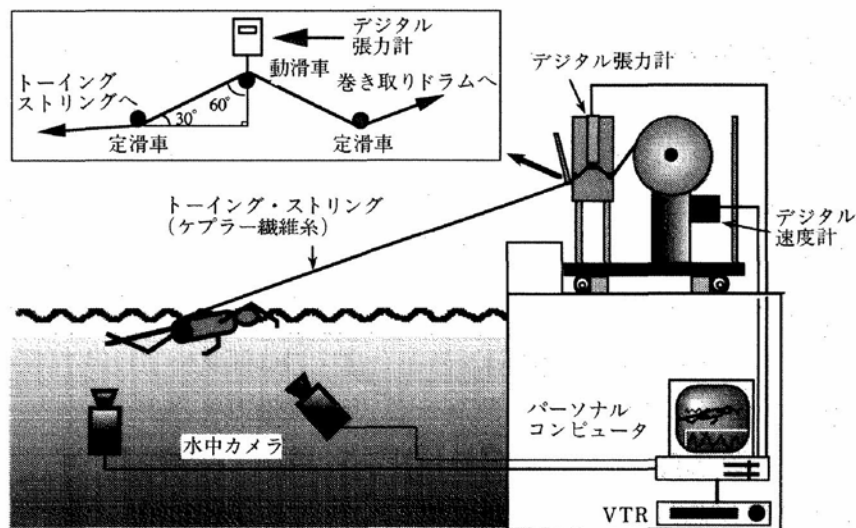


図2 Reel up system を用いた測定の概要図

示す。本実験においては、被験者をけん引した際のけん引力とけん引速度を検出し、パーソナルコンピュータ（NEC製-PC 9801）に出力する Reel up System をプールのターンサイドに固定した。また、防水加工を施した CCD カメラ（Victor 社製）2 台を被験者を正面と側面から撮影できるようにプールの底に固定した。さらに、被験者をけん引する際に、けん引用ロープの一端を泳者の腰部に固定した。

1.2.2 試技条件

本測定では、被験者の腰に固定したストリングを、Reel up System で巻き取ることにより被験者を引き寄せた。巻き取り速度は、自由泳速度よ

りも速い（自由泳速度より 2 割程度速い速度を基準とし、そこから約 0.1 m/s ずつ速度を上げていく）5 種類の速度条件で、けのび姿勢とクロール全力泳の 2 種類の試技を行った。なお測定区間は 20 m とした。

測定精度を増すために、被験者に対してけん引中に体が深く沈み込まないように指示し、けん引力が水平成分のみになるようにした。またクロール全力泳においては、すべての試技にわたり最大努力することを条件とした。

1.3 分析方法

本研究は、水泳時における Active Drag の測定方法を統計学的に検討し、その抵抗係数と指

数、および身体特性と各測定項目との関連性の検討を試みた。また同時に、Active Drag 測定方法の妥当性を検討し、本システムにより得られた推定値が水泳技能を評価し得るか否かもあわせて検討した。

1.3.1 Passive Drag の分析

Passive Drag の波形は図3に示すとおりである。測定は、けん引開始後、 D_p およびけん引速度の双方が安定した区間のデータのみを採用し、コンピュータで処理した。本実験では、5段階のけん引速度条件で測定を行い、得られた5試行分の D_p と、けん引速度との関係を式1) に代入し、抵抗係数 k および指数 n を求めた。算出方法は以下に示すとおりである。

$$D_p = k \cdot v^n \quad \dots\dots\dots 1)$$

式1) を自然対数変換すると

$$\log(D_p) = n \cdot \log(v) + \log(k) \quad \dots 2)$$

となる。ここで、5試行分の D_p 、 v の値を対数変

換し、1次回帰(式2))すれば、 n および k ($\log(k)$ の逆対数) が求まる。

1.3.2 張力 (F_t : Tension Force) の分析

ストリングにかかる張力の時間変化を図4に示す。5種類のけん引速度における F_t の代表値は、速度の安定した4ストローク区間の F_t を時間で積分し、所要時間で除した値(平均値)とした。

1.3.3 Active Drag の分析

Active Drag の算出に関する概念および手順を図5に示した。まず、1.3.2で求めた5段階の速度における F_t 値をけん引速度 v で一次回帰する。ここで一次回帰する理由は、 F_t も本来は D_p とは k や n の値は異なるが、指数関数的に変化すると考えられる。しかし狭い範囲では F_t は、直線的に変化すると考えられるので、

$$F_t = av + b \quad \dots\dots\dots 3)$$

式3) によって一次回帰した。ここで $av + b = 0$ となるような v を求め V_{peak} (m/sec) とする。

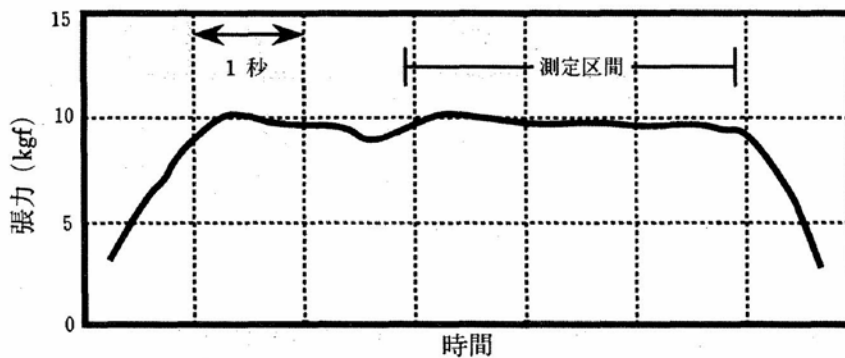


図3 けのび状態での張力の時間変化

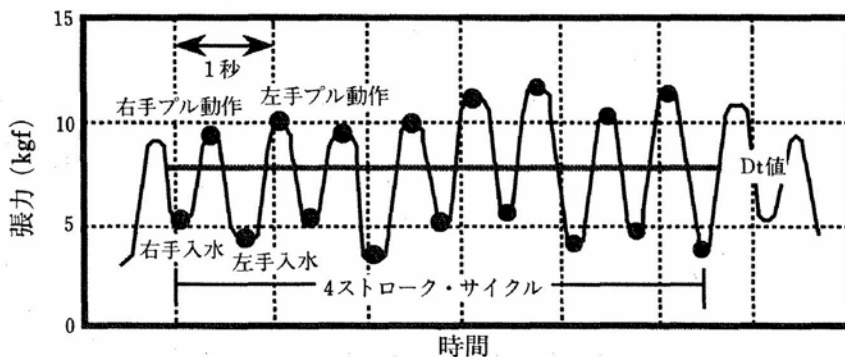


図4 クロール・ストローク時の張力の時間変化

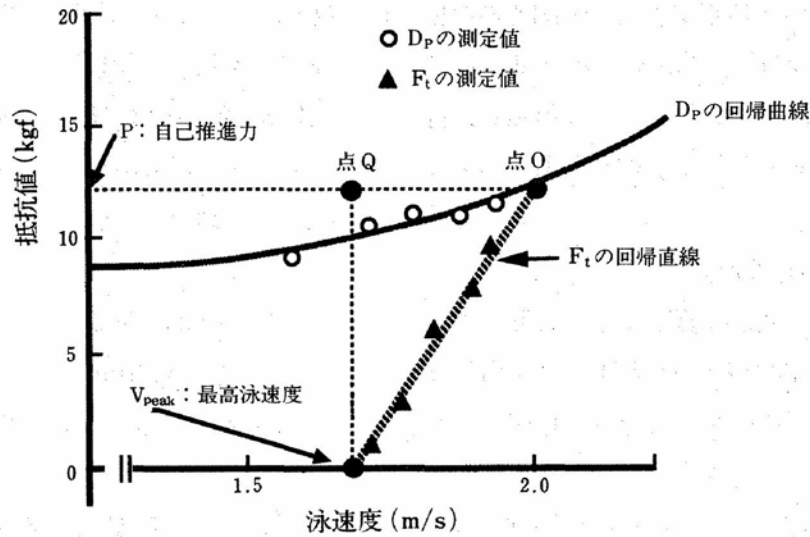


図5-1 Pおよび V_{peak} の決定方法

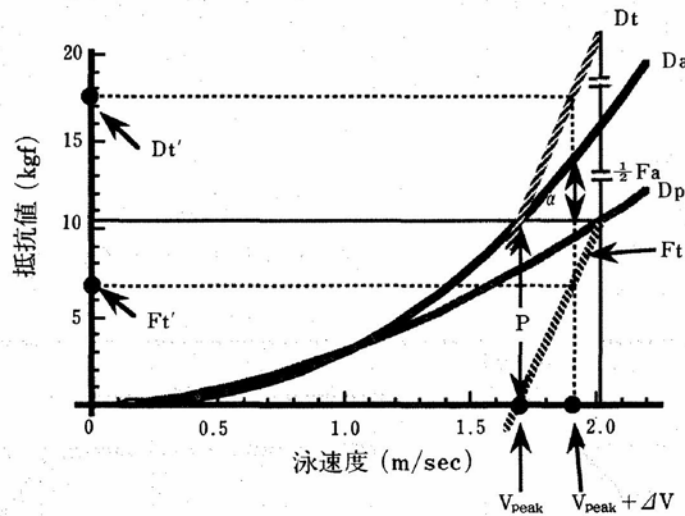


図5-2 D_p , D_a , D_t , F_t および P の関係

V_{peak} とは、クロール泳しながらけん引されたとき、張力がゼロとなる速度であるから、現在泳者が泳げる最高の泳速度と考えられる。

つぎに F_t と D_p の回帰式の交点 O ($av + b = k \cdot v_n$) を求め、そのときの力を P (kgf) とする。(図5-1参照)。点 O は、Passive Drag と張力が等しくなる点であり、これはある泳者が常に全力で推進力を発揮していても、けん引速度増加に伴い身体が受ける抵抗が増加し、推進力分が相殺され、何もしていない状態 D_p と等しくなった状況を示している。そして、そのときの力 P は全力で泳いだときの推進力 (= 抵抗値) をあらわし、式

4) が成り立つ。

$$F_t = D_p = P \dots\dots\dots 4)$$

また V_{peak} と P を通る直線が交わる点を Q とすると、点 Q においては、何のけん引力も必要とせず、自らの推進力で達成できる泳速度で泳いでいるわけであるから、そのとき発揮している推進力 P と、そのとき受ける Active Drag (D_a) はつり合っており、

$$D_a = P \dots\dots\dots 5)$$

式5) の関係が成り立つ。

つぎにけん引されながらクロール泳をしている場合、本来、身体が受けている抵抗を D_t とする

と、それは発揮している推進力 P に付加的働いている張力 F_t を加えた値となる。

$$D_t = P + F_t \dots\dots\dots 6)$$

ここで D_t , P , F_t , D_p の相互関係を示すと図 5-2 のようになる。これらの関係をふまえ、 D_a の回帰式を求めようとする、 V_{peak} において推進力 P から α だけ推進力を増して、自らの力で $V_{peak} + \Delta v$ の速度を達成する場合を考えればよい。つまり α がまだ十分に大きくなく、けん引力（張力）に助けられて泳いだ場合、受ける抵抗を D'_t 、張力を F'_t とすると式 6) より、

$$D'_t = P + \alpha + F'_t - \alpha \dots\dots\dots 7)$$

いま推進力 α が徐々に増加するとそれに伴って張力 (F_t) は減少する。そして推進力の増加分とそのときに生じる F_t とが等しくなったとき、けん引なしで $V_{peak} + \Delta v$ の速度を達成することができる。つまり、

$$\alpha = F_t - \alpha \dots\dots\dots 8)$$

式 8) が成り立つ必要がある。ここで、この条件が成り立つためには、

$$\alpha = 0.5 F_t \dots\dots\dots 9)$$

したがって、 $V_{peak} + \Delta v$ のときの Active Drag を D'_a とすると式 5), 9) より

$$D'_a = P + 0.5 F_t \dots\dots\dots 10)$$

よって、Active Drag は、水泳可能最高速度における推進力 (P) に張力 (F_t) の半分を加えた値 ($0.5 F_t$) であるといえ、以下 D_p の回帰式を求めたのと同様の手順によって、抵抗係数 k および指数 n を決定すれば、 D_a の回帰式を求められる。

$$D_a = k \cdot v^n \dots\dots\dots 11)$$

1.3.4 画像分析

泳者をけん引した際の水中動作および姿勢を、水中正面と側面から VTR 撮影し、泳者が常に同一条件で泳いでいるかをチェックした。具体的には、泳者をけのび状態でけん引する際、泳者がすべての試行 (5 試行) にわたり一定の状態を保った姿勢で泳いでいるか、またはクロールする際、

同じサイクルでプル動作を行っていたかなどを確かめるためのものである。

1.3.5 身体特性と各分析・測定項目との関連

各泳者の身体特性 (身長, 体重, 肩幅, 大転子間, 腕の長さ, 手の長さ, 大腿の長さ, 下腿の長さ, 足の長さ, 上腕周囲, 大腿周囲, 体表面積, 皮脂厚, 断面積, 体脂肪率, 体密度, 除脂肪体重) と各分析・測定項目 (Passive Drag, Active Drag の抵抗係数と指数, 最高泳速度, 推進力) の間に関連性があるかを検討した。

なお、被験者の断面積は、泳者の真上から直立状態、片腕を挙上した状態、両手を重ね挙上した状態で撮影し、その画像をスキャナー (EPSON-GT 8000) を用いデジタルデータ化し、画像分析ソフトを用いて求めた。

2. 結果

2.1 形態測定の結果

本測定における被験者の測定結果を表 2 に示した。

2.2 Passive Drag の分析結果

けのび状態でけん引したときのけん引力とけん引速度の関係式 ($D_p = k \cdot v^n$) を求めた結果、抵抗係数: k は 2.837 ± 0.405 で、指数: n は 1.825 ± 0.263 であった。また、Passive Drag の抵抗係数と各身体特性との関連性を検討したところ、有意な相関が認められた項目は、断面積 (図 6) と前腕の長さ ($r = 0.434$, $P < 0.05$) であった。

また、Passive Drag の指数と各身体特性との関連性を検討したところ、有意な相関は認められなかった。

2.3 ストローク頻度の分析結果

泳者が 5 試行にわたり、けん引速度が変化しても最大努力をしているかを確かめるためストローク頻度を求めた。その結果、けん引泳時のストローク頻度は、 $1.151 \text{ Hz} \pm 0.054$ であった。また、

表2 形態測定結果

	被験者	肩幅 (cm)	大転子間 (cm)	上肢 (cm)	上腕 (cm)	前腕 (cm)	手長 (cm)		大腿 (cm)	下腿 (cm)	足長 (cm)
							手縦	手幅			
男子	平均	41.7	31.5	57.4	31.7	25.0	19.0	9.7	41.4	42.1	26.6
	標準偏差	1.9	2.3	2.9	2.3	2.1	1.1	0.9	3.5	1.9	0.6
女子	平均	37.8	29.5	51.4	28.7	24.4	16.7	8.8	40.8	38.8	24.2
	標準偏差	2.1	1.1	2.9	2.0	3.1	1.5	0.8	2.9	6.0	0.8
全体	平均	40.4	30.8	55.4	30.7	24.8	18.2	9.4	41.2	41.0	25.8
	標準偏差	2.7	2.2	4.0	2.6	2.4	1.7	1.0	3.2	4.0	1.3

	被験者	上腕囲 (cm)	大腿囲 (cm)	体表面積 (cm ²)	皮脂厚 (cm)			断面積 (cm ²)	体脂肪率 (%)	体密度 (ml)	除脂肪体重 (kg)
					腕	背中	腹				
男子	平均	28.4	54.6	17758.3	11.5	12.6	14.5	3449.2	15.8	1.1	57.8
	標準偏差	3.8	3.7	1353.4	3.2	3.3	5.6	537.2	2.2	0.0	7.1
女子	平均	26.7	52.1	15028.4	14.6	14.3	16.4	2937.2	19.4	1.1	43.1
	標準偏差	2.6	2.9	1016.4	3.8	5.9	7.5	451.5	3.9	0.0	4.7
全体	平均	27.9	53.8	16848.3	12.5	13.2	15.1	3278.6	17.0	1.1	52.9
	標準偏差	3.5	3.6	1798.7	3.6	4.3	6.2	558.5	3.3	0.0	9.4

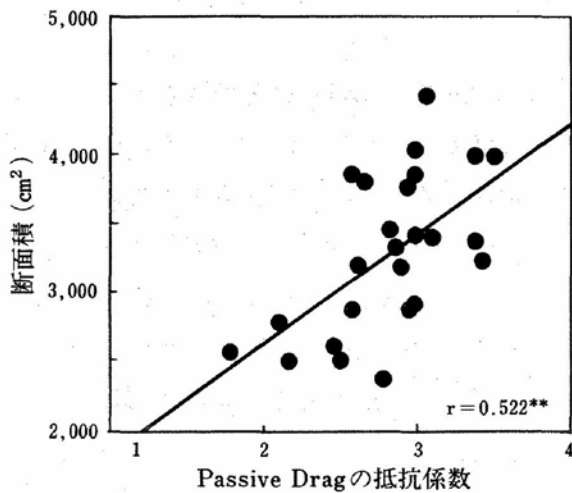


図6 Passive Dragの抵抗係数と断面積の相関関係

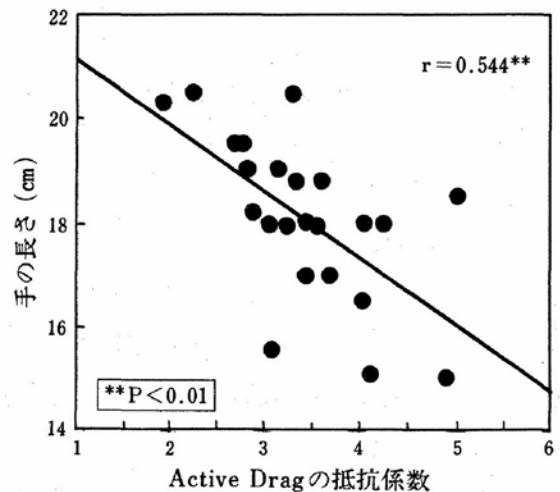


図7 Active dragの抵抗係数と手の長さの相関関係

5 試行の変動率で見ると 4.122% ± 0.021 であった。

2.4 Active Drag の分析結果

Active Drag を $D_a = k \cdot v^n$ で近似した結果, 抵抗係数: k は 3.554 ± 1.166 , 指数: n は $2.07 \pm$

0.387 であった。また, Active Drag の抵抗係数と各身体特性の関係を検討したところ, 有意な正の相関が認められたものは, 上腕周囲 ($r = 0.417$, $P < 0.05$), 体脂肪率 ($r = 0.448$, $P < 0.05$) であった。また, 有意な負の相関が見られたものは, 手

の大きさ (図7) であった。

また推進力と有意な正の相関が見られたものは、身長 ($r = 0.480, P < 0.05$), 体重 ($r = 0.591, P < 0.01$), 足の大きさ ($r = 0.636, P < 0.001$), 体表面積 ($r = 0.574, P < 0.01$), 断面積 ($r = 0.64, P < 0.001$), 除脂肪体重 (図8) であった。

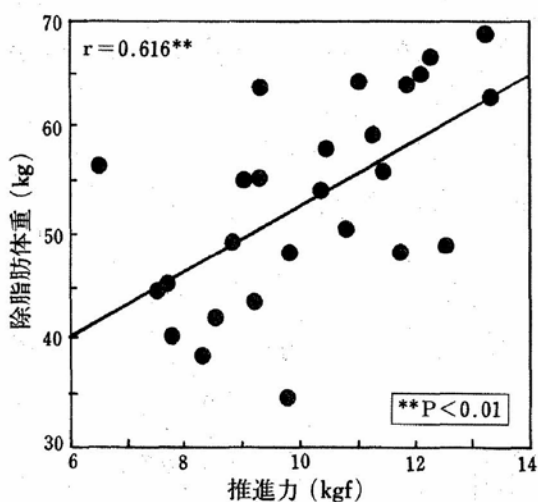


図8 推進力と除脂肪体重の相関関係

2.5 推定泳速度の分析

各選手の Active Drag の回帰式に、おのおのの推進力 P を代入して、自由水泳時の推定泳速度 V_s を求めたところ、平均では $1.671 \text{ m/s} \pm 0.114$ であり、実測値 ($V_s = 1.677 \text{ m/s} \pm 0.106$) と比較してみると、その誤差は 0.006 m/s であった。

2.6 Active Drag と Passive Drag との関連性

つぎに、泳者の全員の平均泳速度、 1.677 m/s を Active Drag の回帰式 ($D_a = k \cdot v^n$) に代入して、ある一定速度で泳いだときの抵抗値を求め、各泳者の泳速度との相関を検討したが有意な相関は見られなかった。また、平均泳速度、 1.677 m/s を Passive Drag の式 ($D_p = k \cdot v^n$) に代入して、ある一定速度でけん引したときの、Passive Drag と Active Drag の抵抗値 ($D_p = 7.162 \pm 0.819, D_a = 9.987 \pm 1.554$) の関係を検討したところ、Passive Drag と Active Drag との間には有

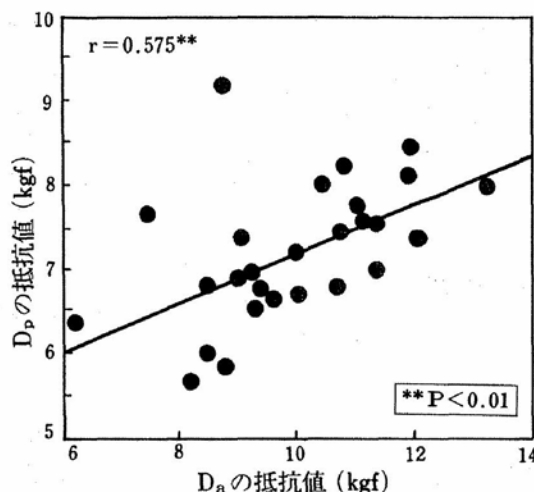


図9 平均泳速度における D_p と D_a の抵抗値の相関関係

意な相関が見られた (図9)。

3. 考 察

3.1 Passive Drag の測定方法の妥当性について

本測定から得た Passive Drag ($D_p = k \cdot v^n$) の抵抗係数: $k = 2.82 \pm 0.385$, 指数: $n = 1.812 \pm 0.241$ ($N = 27$) の値は、Karpovich⁷⁾ が用いたけん引システムの抵抗係数: $k = 3.112 \pm 0.398$, 指数: $n = 2.04 \pm 0.04$ ($N = 14$), 宮下¹⁰⁾ らが用いた流水における人体水抵抗測定の抵抗係数: $k = 2.49$, 指数: $n = 1.91$ ($N = 10$), 高橋¹³⁾ が用いた測定方法の抵抗係数: $k = 3.13$, 指数: $n = 1.81$ ($N = 5$) と比較してみると、抵抗係数は多少差があるものの指数はほぼ同様の値を示した。抵抗係数に差が生じたのは、Passive Drag の抵抗係数と断面積に有意な相関が見られたこと (図6 参照) より、被験者の断面積に関係があると考えられる。また、指数と身体特性との間に有意な相関が見られなかったことより Passive Drag の指数は身体特性に関係がないと考えられる。

Clarys^{ら^{2,3)}} が Netherlands Ship Model Test Station を用いて $1.5 \sim 1.8 \text{ m/s}$ の速度範囲で行った実験結果と比較すると、抵抗係数: $k =$

2.905, 指数: $n = 1.996$ ($N = 43$) は本実験結果ともほぼ一致しており, 本システムは抵抗検出システムとして妥当であると考えられる。

3.2 Active Drag の推定方法の妥当性について

けん引泳時のストローク頻度は5試行の変動率を見ると, $4.122\% \pm 0.021$ と非常に安定したものであった。したがって, けん引速度が増加しても泳者のストロークは安定していたものと考えられる。

全般的に推定結果を検討してみると, 抵抗係数: $k = 3.553 \pm 1.166$, 指数: $n = 2.069 \pm 0.389$ となった。この値を Active Drag の式: $D_a = k \cdot v^n$ 代入しさらに v に 1.66 m/s を代入した抵抗値について検討すると $D_a = 10.139 \text{ kgf}$ となり, この値は Toussaint⁶⁾ が用いた MAD-System (Measuring-Active-Drag) の報告: 8.286 kgf よりやや大きい結果を示した。これは MAD-System は, 腕かきだけでキックを打たない状態で行っているため本実験結果より小さな値を示したものと推察される。

また Passive Drag より Active Drag の抵抗係数が大きいのは, 泳動作により水中における断面積が大きくなるためであると考えられる。また, 抵抗係数は上腕周囲と手の大きさと正の相関があることから検討すると, ストローク中の腕の動きと関係があると考えられる。さらに D_a の回帰式を用いて, 推定泳速度を求めた結果, 実際の泳速度との誤差が 0.006 m/s であったことより Active Drag の推定方法は妥当なものと考えられる。

3.3 推進力と身体特性の関係

推進力と有意な相関のあった身体項目を検討してみると, 推進力をより大きく生む因子は, 身長, 体重, 足の大きさ, 体表面積, 断面積, 除脂肪体重であり, この結果より, 推進力をより大きく生むには体が大きく, 筋力があり, かつ体脂肪が少

ない者であると考えられる。

3.4 Active Drag と水泳技能との関連

Active Drag を示す回帰式の抵抗係数および指数と最高泳速度(実測値)の間には有意な相関関係は認められなかった。しかし, 自由水泳時の推進力と最高泳速度(実測値)の間には有意な相関関係が認められた(図10)。これは必然的に推進力が大きい選手は, 最高泳速度も速い傾向にあるが, ここで注目すべきは逆にさほど大きな推進力を発揮しない選手であっても, 高い泳速度を達成している選手が見受けられることである。

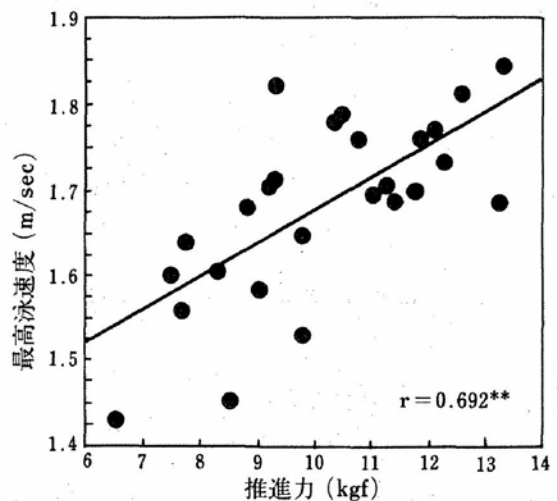


図10 推進力と最高泳速度との関係

このことは, これまで筋のパワーアップにのみ主眼がおかれたトレーニングメソッドに対して見直す契機となり得る。つまり大きな推進力を持たない選手は, それだけ相対的に受ける抵抗も少ないわけで, その選手の体型に見合った出力が発揮できれば, 高い泳速度を達成できることを示したと言える。今回の実験によって, 明らかにされた上記の事実は, 各選手の個別性を重視したトレーニングを立案する際の重要な要因になると思われる。

4. 結論と今後の課題

今回の測定により, Passive Drag および

Active Drag の抵抗係数と指数を求めることができた。この数値は、MAD-System[®]を用いた報告と近い値を示したことより、本研究で用いたけん引装置 (Reel up System) は、MAD-System より簡便で実用的であることが示唆された。また、推進力と身体特性との関連性が明らかになったことにより、今後のトレーニング方法を立案する際の指針となり得ると思われる。

また本研究では、Active Drag が水泳技術の差異を客観的に評価し得る指標となるかについて検討したが、現時点での最高泳速度と Active Drag の係数や指数との間には、明らかな因果関係が認められなかった。

今後さらにデータを積み重ね、Active Drag とパフォーマンスの関係を明らかにしていきたい。とくに今回は、横断的に被験者間の水泳技能と Active Drag の関係についてのみ論議したが、さらにトレーニング前後で測定することによってトレーニング効果を客観的に評価できる可能性を十分示唆した。

文 献

- 1) Alley, L. E.; An Analysis of Water Resistance and Propulsion in Swimming the Crawl Stroke, *Research Quarterly*, **23**, 253-270 (1952.1)
- 2) Clarys, J. P., J. Jiskoot, H. Rijken, P. J. Bro-uwer ; Total resistance in water and its rela-

- tion to body form, *Biomechanics IV*, pp 187-196 (1974)
- 3) Clarys, J. P., J. Jiskoot ; Body resistance on and under the water surface, *Swimming III*, 105-109 (1975)
- 4) Counsilman, J. E. ; Force in Swimming Two types of crawl stroke, *Research Quarterly*, **26**, 127-139 (1955)
- 5) Di Prampero, P. E., D. R. Pendergast, D. W. Wilson, D. W. Rennie ; Energetics of swimming man, *Journal of Applied Physiology*, **37**, 1-5 (1974)
- 6) Toussaint, H. M., A. P. Hollander ; Active drag related to velocity in male and female swimmers, *J. Biomechanics*, **21**, 5, 435-438 (1988)
- 7) Karpovich, P. V. ; Water Resistance in Swimming, *Research Quarterly*, **4**, 21-28 (1935)
- 8) Magel, J. R. ; Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles, *Research Quarterly*, **41**, 68-74 (1970)
- 9) 松井秀治ほか ; コーチのためのトレーニング科学, 大修館書店, **1**, pp 9-12 (1981)
- 10) 宮下充正ほか ; Water resistance in relation to body size, *Swimming medicine IV*, pp 395-401 (1978)
- 11) 野村照夫ほか ; Determination of Active Drag during Swimming, The Xth FINA World Sport Medicine Congress Abstract, **62**, 1-11 (1993)
- 12) 高木英樹ほか ; 水泳における抵抗と推進力に関する流体力学的考察, 三重大学教育学部研究紀要, **44**, 71-84 (1993)
- 13) 高橋伍郎ほか ; 水泳における身体動作, *Japan J. Sports Science*, **2**, 518-526 (1983)