

[原著論文：査読付]

## 競泳選手における簡易泳パワー測定法の妥当性

森 誠護<sup>1)</sup>，下野 晃<sup>2)</sup>，田場 昭一郎<sup>3)</sup>

### Validity of simple measuring methods to swimming power in competitive swimmers

Seigo MORI<sup>1)</sup>，Akira SHIMONO<sup>2)</sup>，Shoichiro TABA<sup>3)</sup>

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the validity of the simple swimming power estimation method using Drag Boat. Drag Boat is as large as a floating kickboard. The body is made of wood, and the load can be selected from five different levels. Drag force and swimming power can be calculated by measuring swimming velocity.

The subjects were 22 male competitive swimmers. They swam 25m front crawl at maximum effort. This swimming speed was defined as Maximal Swimming Velocity (MSV). Thereafter, subjects swam 15m tow swimming with 5 different loads.

The maximal swimming power (MSP) calculated with 5 different loads was  $113.87 \pm 25.91$  W, and the MSP calculated with 3 different loads was  $113.94 \pm 26.49$  W. As a result of comparing the MSP calculated by the two methods, there was no statistically significant difference. The above results show that method of calculating with 3 different loads is effective.

**KEY WORDS** : swimming power, simple measuring methods, competitive swimmers

---

1) 九州共立大学スポーツ学部  
2) 鈴鹿工業高等専門学校  
3) 福岡大学スポーツ科学部

1) Kyusyu Kyoritsu University, Faculty of Sports Science  
2) National Institute of Technology, Suzuka College  
3) Fukuoka University, Faculty of Sports and Health Science

## 1. 緒言

競泳のパフォーマンスを決定する要因の中で最も重要なことは泳速度を増加させることである。泳速度を増加させるためには、推進力と水泳中に発揮されるパワー（以下、泳パワーとする）を高め<sup>1)</sup>、自己推進時抵抗を減らすこと<sup>2)</sup>が必要となってくる。これまでの研究において、泳速度は泳パワーと高い相関関係にあることが多数報告<sup>1,3,4,5,6,7,8,9)</sup>されており、泳パワーを計測するために様々な測定法が開発されている。しかしながら、大掛かりな装置や電気信号を利用した装置では、準備等に時間を費やし、計測時間もかかることから、簡易的な測定方法がいくつか開発されている。下永田ら<sup>8)</sup>は、ビート板サイズで負荷を4段階に変換することができるEESP (Equipment for Evaluating Swimming Power) を開発しており、泳者がこのEESPを牽引しながら泳いている時の速度を計測するだけで泳パワーを算出する方法を提案している。森ら<sup>5)</sup>は、EESPの計測システムを応用し、同等のサイズで5段階に負荷を変換できる簡易型泳パワー測定装置（以下、Drag Boatとする）を開発している。このDrag BoatはEESPの問題点を改良しており、EESPよりも高い負荷を与えることができる装置である。同一被験者を対象に、Drag Boatと電気信号を利用した大型牽引装置で測定した泳パワーを比較した結果、同等の数値が得られ、両値間には有意な差が見られず、相関関係も高い値を示していた。これはDBを利用した泳パワー計測は有用であることを示している。

中村ら<sup>10)</sup>は、自転車エルゴメーターを用いて3種類の負荷による最大無酸素性パワーの推定法について研究しており、最大無酸素性パワーを8種類の負荷から推定した場合と3種類の負荷のみより推定した場合でのパワー値には有意な差がなく、最大無酸素性パワーを測定するためには3種類の負荷で十分であると結論付けている。

そこで本研究では、中村ら<sup>10)</sup>の研究を参考に、森ら<sup>5)</sup>が開発したDrag Boatを用いて3種類の負荷のみでの泳パワー測定という簡易的なMSP推定法の妥当性について検討することを目的とした。

## 2. 研究方法

### 1) 測定装置の概要

Drag Boatの概要を図1に示した。本装置は木製の浮遊体であり、抵抗部分である可動式抵抗翼はステン

レス製のジョイント金具を動かすことで変換可能である。また、牽引時に本体の水没を防ぐため、発砲ポリウレタン製のフロートを前下部に取り付けた。流体抵抗の一般式である式(1)から、代表面積(S)は抵抗を求める際に重要な要素であることが理解できる。本装置では本体部分及び抵抗翼の移動方向に対する断面積を代表面積とし、抵抗翼を変換させることで本体の抵抗を変化させた。

$$D=C_D (0.5 \cdot \rho \cdot U^2) S \quad \dots \dots \dots (1)$$

D: 流体抵抗,  $C_D$ : 抵抗係数,  $\rho$ : 水の密度, U: 速度, S: 代表面積

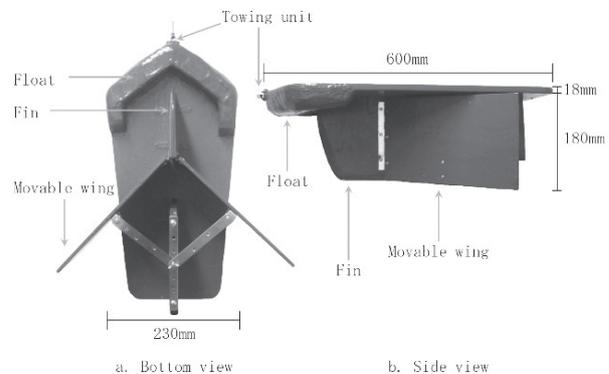


Fig.1 Details of Drag Boat

### 2) 泳パワー算出方法

森ら<sup>5)</sup>は速度と張力を同期しながら測定できる牽引装置<sup>11)</sup>を用いてDrag Boatの較正実験(図2)を行い、各負荷における速度と張力間の回帰式を求めている(図3)。この回帰式に、泳者がDrag Boatを牽引しながら泳いだ時の速度を代入することで、泳者がDrag Boatを牽引した時の力(牽引力)を算出することができる。また、式(2)の牽引力と泳速度間に直線関係が成り立つことから、式(3)を用いて泳パワーを算出した。

$$F = a \cdot V + b \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$SP = F \cdot V$$

$$= (a \cdot V + b) \cdot V$$

$$= a \cdot V^2 + b \cdot V \quad \dots \dots \dots (3)$$

F: 牽引力, V: 泳速度, SP: 泳パワー, a: 回帰係数, b: 回帰定数

式(3)で得られた泳パワーと泳速度間の曲線にお

ける最大値を最大泳パワー (Maximal Swimming Power, 以下, MSPとする) とし, その時の泳速度を MSP時泳速度 (以下,  $V_{MSP}$ ) とそれぞれ定義した. また, 式 (2) で得られた牽引力と泳速度間の一次直線における回帰定数 (b) は, 泳速度が0の時の牽引力を指しており, 本研究ではこれを最大牽引力 (Maximal Towing Force, 以下, MTFとする) と定義した (図4).

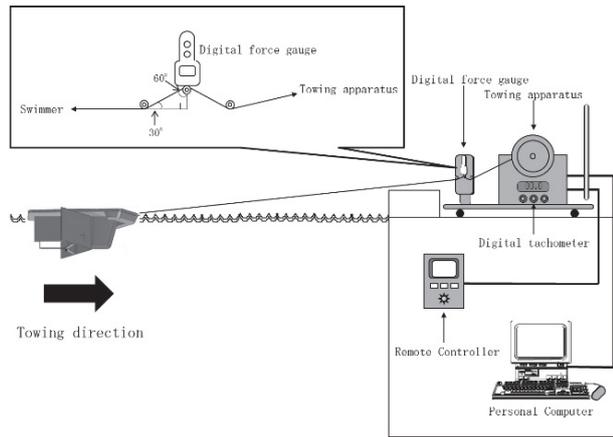


Fig.2 Calibration of Drag Boat

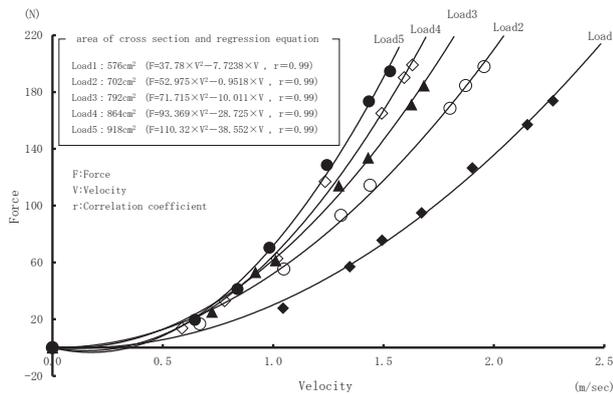


Fig.3 Relationship between velocity and force of Drag Boat

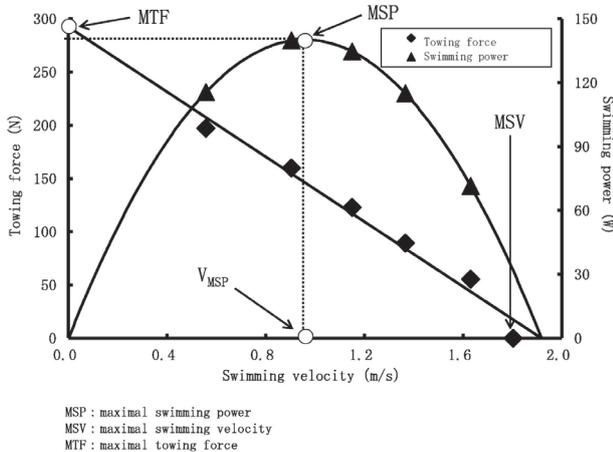


Fig.4 Relationship between swimming velocity and towing force, swimming velocity and swimming power

### 3) 被験者

本研究の被験者は, 日常的に競泳のトレーニングを実施している男子大学生競泳選手22名 (20.27±1.12歳) を対象とした. 競技レベルは日本選手権入賞レベルから日本学生選手権出場レベルと様々であった (表1). 倫理的配慮に関して, 被験者には事前に実験の趣旨を書面及び口頭にて説明した. 測定結果については統計処理により個人の特定が出来ないように十分に配慮した上で研究成果等を公表する旨を説明し, 実験参加の同意を得られた者のみを対象とした.

Table.1 Characteristics of subjects (n=22)

Age	(years)	20.27 ± 1.12
Height	(m)	1.74 ± 0.05
Body mass	(kg)	70.90 ± 5.85
%body fat	(%)	12.52 ± 1.83
Body surface area	(m <sup>2</sup> )	1.88 ± 0.10
Athletic career	(years)	11.82 ± 2.87

(Mean ± S.D)

### 4) 泳パワー測定方法

Drag Boatを用いた泳パワー測定方法を図5に示した. 試技は屋内プールにて実施し, 水中スタートから無負荷での25m全力泳を1回実施した後, DBを装着して行う15m牽引泳を5種類の負荷で各1回ずつ計5回実施した. なお, 試技間には十分な休息を入れて行なった. 牽引泳は泳者の腰にベルトを装着し, そのベルトに固定した2mのロープを介してDrag Boatを牽引した. 試技中には15m地点にデジタルビデオカメラ (SONY社製, HDR-CX270V) を設置し, スタートやゴールタッチの影響が出ずに最も高い速度で泳いでいると考えられる10m地点から20m地点までの10m間を水上より撮影した. 撮影した映像から全試技における10mの平均泳速度を算出し, この泳速度を式 (2) 及び (3) に代入することで泳者の牽引力及び泳パワーを求めた. また, 無負荷での全力泳時の10m平均泳速度を最大泳速度 (Maximal Swimming Velocity, 以下, MSVとする) と定義し, 分析を行なった. なお, 3種類の負荷による泳パワーは, Drag Boatの負荷1, 負荷3, 負荷5での測定結果から同様の回帰式を算出してMSPを求めた.

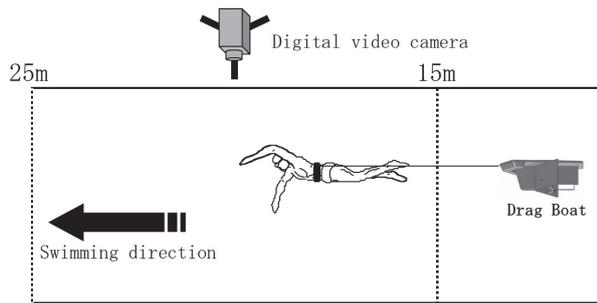


Fig.5 Swimming power measurement using Drag Boat

### 5) 統計処理

本研究において測定されたデータは、全て平均値±標準偏差 (mean±S.D) で表した。5種類の負荷及び3種類の負荷でそれぞれ算出されたMSP値の関係性についてはピアソンの相関分析を用いた。両推定法の差の検定には一元配置の分散分析を用いた。なお、有意水準はいずれも $p<0.05$ をもって有意とした。

## 3. 結果

表2に全被験者の泳パワー計測時における泳速度の平均値を示した。また、この泳速度を式(2)及び式(3)に代入して算出した回帰係数(a)、回帰定数(b)、MSP、 $V_{MSP}$ 、MSPを体重で除した値(以下、MSP/BM)を表3に示した。その結果、全ての測定項目において両推定法間には高い相関関係が認められた。また、5種類の負荷及び3種類の負荷でそれぞれ得られた値を比較したところ、3種類の負荷で算出した値は全ての項目において5種類の負荷で算出した値と近い値を示しており、その差は回帰係数が $1.02\pm 0.03\%$ 、回帰定数が $1.01\pm 0.03\%$ 、MSPが $1.00\pm 0.03W$ 、 $V_{MSP}$ が $0.99\pm 0.00m/sec$ 、MSP/BMが $1.00\pm 0.03W$ と全ての項目において1%前後の誤差であり、統計学的な有意差は認められなかった(表4)。

Table.2 Swimming velocity in swimming power measurement

	MSV	Load1	Load2	Load3	Load4	Load5
Swimming velocity(m/sec)	1.83±0.15	1.42±0.12	1.27±0.10	1.19±0.09	1.14±0.08	1.10±0.07

(Mean±S.D)

Table.3 Comparison of swimming power measurement

	5Steps (Load1, 2, 3, 4, 5)	3Steps (Load1, 3, 5)	r
	(Mean ± S.D)	(Mean ± S.D)	
a	-128.22 ± 25.44	-130.12 ± 26.04	0.987**
b	240.55 ± 44.32	242.43 ± 45.72	0.987**
MSP (W)	113.87 ± 25.91	113.94 ± 26.49	0.992**
$V_{MSP}$ (m/sec)	0.94 ± 0.09	0.94 ± 0.08	0.999**
MSP/BM (W)	1.61 ± 0.35	1.61 ± 0.34	0.991**

a-Regression coefficient, b-Regression constant

r-Correlation coefficient

\*\*: $p<0.01$

Table.4 Measurement error for swimming power measurement

	Difference	%5Steps
	(Mean ± S.D)	(Mean ± S.D)
a	1.89 ± 4.17	1.02 ± 0.03
b	-1.88 ± 7.43	1.01 ± 0.03
MSP (W)	-0.07 ± 3.35	1.00 ± 0.03
$V_{MSP}$ (m/sec)	0.01 ± 0.00	0.99 ± 0.00
MSP/BM (W)	0.00 ± 0.05	1.00 ± 0.03

a-Regression coefficient, b-Regression constant

## 4. 考察

これまでに様々な測定方法を用いて泳パワーが算出され、泳速度やパフォーマンスとの関係性について報告されている。主な泳パワー測定方法は、後方よりロープやワイヤー等で泳者を固定し、水泳中に前進を伴わないTethered swimming法<sup>12,13)</sup>、後方より一定の負荷をかけ、牽引装置のワイヤーや抵抗物を牽引しながら前進を伴うSemi-tethered swimming法<sup>1,2,5,6,8,9,11)</sup>、プールの底に一定間隔で置かれたパネルをストローク中の手部で後方へ押し、その際の速度と力の関係でパワーを算出するMADシステム<sup>14)</sup>などがある。中でも抵抗物牽引でのSemi-tethered法は場所を限定せず、かつ大掛かりな装置を使わずに計測ができることから、準備や計測に係る時間を短縮でき、簡易に計測ができる。本研究で用いたDrag Boatは簡易かつ正確に泳パワーを評価できる装置である<sup>5)</sup>。しかし、今後さらに競泳選手の詳細な泳パワー特性を見出すためには、よ

り多くの被験者を対象とした泳パワー計測が必要となる。そのためには、より簡易に、かつ正確な数値を算出する方法を開発する必要がある。

本研究では、負荷 1, 3, 5 の 3 種類の負荷のみによる牽引泳を実施し、MSPを推定する簡易的手法の妥当性について検討することを目的とした。その結果、5 種類の負荷を用いて算出したMSP (113.87±25.91W) と 3 種類の負荷を用いて算出したMSP (113.94±26.49W) の間には高い相関関係が認められ ( $r=0.992$ ,  $p<0.01$ , 図 6), 両測定値には統計学的な差は認められなかった。

中村ら<sup>10)</sup> は自転車エルゴメーターを用いて 3 種類の負荷による最大無酸素性パワーの推定法について、8 種類の負荷から推定した場合とのパワー値との比較では有意な差がなく、最大無酸素性パワーを測定するためには 3 種類の負荷で十分であると結論付けている。この中村ら<sup>10)</sup> の研究では 3 種類の負荷から算出した最大無酸素性パワーの誤差は全被験者で±10%以内であり、その平均値は4.4%であったとしている。本研究では、表 4 に示した計測値の差をみてもMSPの平均値は1.00±0.03%の差しか見られておらず、全被験者の誤差を見ても0.94～1.04%の範囲内であった。このことから本研究における 3 種類の負荷のみで算出したMSPは十分にMSPを推定できることを示している。

森ら<sup>5)</sup> は、この Drag Boatを開発した際に、従来用いられていた泳パワー計測方法と同一被験者にて泳パワー計測の妥当性について検討している。その結果、両測定で得られた泳パワー値には高い相関関係が認められ、有意な差は見られなかったことから、Drag Boatを用いた泳パワー計測方法は簡易的かつ正確な泳パワー値を推定できると報告している。

前述したように Drag Boatを用いた泳パワー計測において 3 種類の負荷でMSPを推定することが可能になると、MSPの計測時間がさらに短縮し、より簡易にかつ正確にMSPを評価できることから、本研究結果は泳パワーを定期的に評価する上で非常に有益な結果となった。また、計測時間が短縮されるため、より多くの被験者を対象とした計測も可能となるため、本推定法を用いて競泳選手のさらなる泳パワー特性の解明に役立てられると考えられる。しかし、Drag Boatを用いた本測定方法はあらかじめ牽引装置を用いて算出した速度と力の関係式に、本装置を牽引している時の泳速度を代入して泳パワーを算出している。そのため、図 3 に示した Drag Boatの較正実験における速度

以上もしくはそれ以下で Drag Boatを牽引しながら泳ぐ被験者がいる場合には、測定値に誤差が生じると考えられる。

本研究の被験者は十分に競泳のトレーニングを積み、日常的に水中でのパワートレーニングを実施している大学生競泳選手を対象としたため、本研究の被験者以上に泳パワーが高いと考えられる世界トップレベルの短距離選手や本研究の被験者より泳パワーが低いと考えられるジュニア期の選手等を対象とした場合には、負荷設定や負荷範囲について更なる検討が必要である。

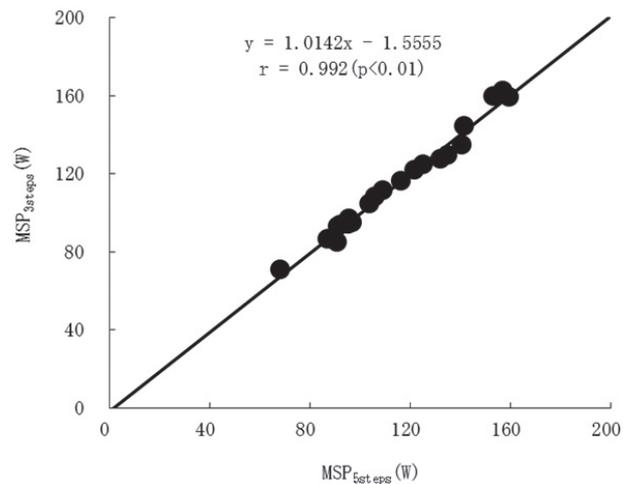


Fig.6 Relationship between 5types and 3types

#### 参考・引用文献

- 1) Costill DL, King DS, Holdren A, Hargreaves M (1983) : Sprint speed vs. swimming power. *Swimming Technique* 20 (1) , 20-22.
- 2) Kolmogorov SV, Duplisheva OA (1992) : Active drag useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics* 25, 311-318.
- 3) Costill DL, Rayfield F, Kirwan J, Thomas T (1986) : A computer based system for the measurement of force and power during front crawl swimming. *Journal of Swimming Research* 2, 16-19.
- 4) 森誠護, 田口正公, 田場昭一郎 (2014) : 競泳4泳法における泳速度と推進力, 泳パワーの関係. *福岡大学スポーツ科学研究* 44 (2) , 21-28.
- 5) 森誠護, 下野晃, 田口正公, 田場昭一郎 (2015) :

- 簡易型測定装置を用いた泳パワー計測の有用性. 水泳水中運動科学18 (1) , 10-19.
- 6) 森谷暢,吉村豊,高橋雄介 (1995) : 競泳選手の競技力向上を目的とSemi-tethered Swimmingの活用. トレーニング科学7 (2) , 85-96.
- 7) 清水潤,田口正公,森誠護 (2004) : クロール泳におけるpassive drag, active drag, 最大泳パワーの男女差の検討. 福岡大学スポーツ科学研究34 (1・2). 63-72.
- 8) 下永田修二, 田口正公,田場昭一郎,大城敏裕,三浦望慶 (2002) : 簡易泳パワー計測システムの開発と検討, 簡易泳パワー計測システムの開発と検討. バイオメカニクス研究6 (1) , 15-23.
- 9) Shionoya A, Shibukura T, Koizumi M, Shimizu T, Tachikawa K, Hasegawa M, Miyake H (1999) : Development of Ergometer Attachment for Power and Maximum Anaerobic Power Measurement in Swimming. Applied Human Science 18, 13-21.
- 10) 中村好男,武藤芳照,宮下充正 (1984) : 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法.Jpn J Sports Sci 3 (10) , 834-839.
- 11) 下永田修二,田口正公,田場昭一郎,青柳美由季 (1998) : クロール泳におけるActive Dragの定量化の試み. 福岡大学体育研究28 (2) , 65-79.
- 12) Ria B, Falgairette G, Robert A (1990) : Assessment of the mechanical power in the young swimmer. Journal of Swimming Research 6 (3) , 11-15.
- 13) Morouço P, Keskinen KL, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ (2011) : Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. Journal of Applied Biomechanics 27, 161-169
- 14) Toussaint, HM. and Vervoorn, K. (1990) : Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. Journal of Sports Medicine 11, 228-233.

Received date 2016年11月24日

Accepted date 2017年1月10日