50 m サーフィスにおける Waving 頻度, Waving 長および泳速の関係 ーフィンスイミング世界選手権決勝出場者と非出場者の比較ー

Relationships of Waving rate, Waving length, and swimming velocity in the 50 m Surface

ー Comparison of the finalists and the non-finalists in the world championships of Finswimming ー

大下 和茂 (OSHITA Kazushige)
ロスみさき (ROSS Misaki)
小泉 和史 (KOIZUMI Kazushi)
矢野 澄雄 (YANO Sumio)
檜本 俊兵 (KASHIMOTO Syunpei)
高橋 康輝 (TAKAHASHI Kouki)
川上 雅之 (KAWAKAMI Masayuki)

神戸大学大学院 人間発達環境学研究科 人間環境学専攻, 関西鯖泳会
東レ株式会社, 関西鯖泳会
日本体育大学
神戸大学大学院 人間発達環境学研究科 人間環境学専攻
有限会社うみのほし
倉敷芸術科学大学 生命科学部
倉敷芸術科学大学大学院 人間文化研究科

{abstract}

The aim of present study was to quantify the Waving techniques, such as Waving rate (WR; Waving per second), Waving length (WL; distance per Waving), and swimming time (ST), in the finalists and the non-finalists in Finswimming world championships in the 50 m Surface. The subjects were 5 finalist males and 5 non-finalist males in 12th Finswimming world championships in the 50 m Surface. ST of the finalists was faster than that of the non-finalists (16.37 sec vs. 17.91 sec, $P < 0.01$), and WL of the finalists was longer than that of the non-finalists (1.16 vs. 1.06 meter, $P < 0.05$). There was no significant difference between the finalists and the non-finalists with regard to WR (2.65 vs. 2.64 Hz). There was a significant negative relationship between ST and WL ($r = -0.88$, $P < 0.01$). However, there was no significant relationship between ST and WR ($r = 0.32$, $P = 0.38$). Furthermore, WR was a significantly correlated with the residual error of ST, calculated from the regression analysis for the relationship between WL and ST ($r = -0.67$, $P = 0.03$). These results suggest that WL is concluded to be an important factor that influences ST for elite athlete in the 50 m SF.

キーワード : Finswimming, Surface, Waving rate, Waving length

1. 目的

フィンスイミングとは、足ヒレをつけて水中や水面を進み、速さを競う競技である¹³⁾。このうち、水面を泳ぐ、サーフィス競技 (SF) では、50 m ~ 20 km までの距離種目で構成され、プールで行われる場合は、男女ともに、

50, 100, 200, 400, 800 および 1500 m の距離種目で競われる¹³⁾。競技時間は、世界のトップレベルの選手で、およそ 15 秒から 13 分程度を要する⁸⁾。

同じ水中スポーツである、競泳競技の自由形種目は、SF と同じ距離種目で競われる。この自由形種目における泳速は、ストローク頻度 (単位時間あたりのストローク

回数)とストローク長(単位ストロークあたりで進む距離)の関数であり⁷⁾, これらストローク変数の片方, もしくは双方を増大させることにより, 泳速は高くなる¹²⁾. 例えば, 最大努力のスプリント泳時^{1, 5)}や超最大強度泳時⁷⁾の泳速度は, ストローク頻度と有意な相関関係を示す. また, ストローク長は, 泳速が低い選手よりも高い選手で, 長いと言われている²⁾.

ところで, フィンスイミングにおける泳ぎ方は, Wavingと呼ばれる⁴⁾(図1). 競泳競技に当てはめれば, フィンスイミングにおいて, 泳速を高めるためには, Waving頻度(WR)とWaving長(WL)の片方, もしくは双方の増大が必要である. Gautier et al.³⁾は, 100 m SFにおけるWavingを調べた結果, エリート選手は, 初心者に比べWRが高かったことを報告している. しかし, WLの関与については検討されていない. また, 対象は, エリート選手(フランスナショナルチーム)と初心者(競技6ヶ月程度)と言う, 明らかに競技レベルの異なる集団であった. すなわち, エリート選手の中で競技成績とWaving変数がどのように関与するかは不明である.

そこで本研究は, フィンスイミング競技の最も短い種目である, 50 m SFにおける, 世界選手権決勝出場者と非出場者のWaving変数について検討を加えた.

Figure 1. A definition of one Waving

2. 方法

対象

対象は, 第12回フィンスイミング世界選手権大会(上海(中国), 浦東水泳館)における, 50m SFの予選および決勝レースとした. このうち, 本研究の対象は, 決勝レースからランダムに選んだ5例(上位群; 平均順位 3 ± 2 位), そして予選レースから, 10~30位の成績であり, かつ決勝に出場できなかった選手のうち, ランダムに選んだ5例(下位群; 平均順位 17 ± 3 位)であった. なお, フィンスイミング世界選手権は, 予選レースの上位16名が準決勝へ進出でき, 準決勝の上位8名が決勝に進出できる¹³⁾.

Waving変数の解析

Wavingの解析は, 以下のように行った. レースの映像は, デジタルビデオカメラを使用し, 50 m プールにおける中間の10 m (20 から 30 m)が撮影範囲となるよう, 観覧席上方から, プールと水平に撮影した. 撮影した映像は, パーソナルコンピュータに取り込み, 運動動作解析ソフトウェアDYNAS 3D/ h (新大阪商会)を用いて以下のように解析した. サンプル周波数30 Hzでフレームを作成し, 各フィールド毎に爪先部(モノフィンのブーツ部分)を分析点とし, 手動でマーカを入力した. 解析した映像から, 1 Wavingを以下のように定義し, 撮影範囲内のWavingを分析した. すなわち, 1 Wavingは, 分析点が垂直方向に最も高くなった局面を起点とし, その後, 水中に沈み, 再び垂直方向に最も高くなった局面までとした(図1)⁹⁾. Waving変数について, WRは, 撮影範囲内の5 Wavingに要した時間を計測し, 1秒間の平均Waving頻度を, WLは, 撮影範囲内の5 Wavingで移動した距離(m)を計測し, 1 Wavingの平均移動距離をそれぞれ算出した.

各選手の泳時間(ST)は, 公式計時により世界水中連盟に公認されたものを採用した.

統計処理

データの集計および統計処理は, Microsoft Excel 2003および統計処理ソフトウェアJSTAT (for windows, ver 11.1)を用いた.

上位群および下位群のST, WRおよびWLについて,

平均値および標準偏差を算出した。

ST, WR および WL について、各群間の比較には、対応のない t 検定を用いた。なお、対応のない t 検定は、F 検定を用い、有意に母分散が等しいとみなせた場合に Student's t-test を用いた。

ST と WR および WL との関係は、Pearson の相関係数を用い比較検討を行った。

WL と ST の回帰直線から求めた、WL の残差と WR の関係は、Pearson の相関係数を用い比較検討を行った。

なお、統計的有意水準は、5% 未満とした。

3. 結果

上位群と下位群の ST, WR および WL を表 1 に示す。ST は、下位群に比べ、上位群で有意に速かった (16.37

秒および 17.91 秒)。WR は、両群間に有意な差を認めなかった (2.65 Hz および 2.64 Hz)。WL は、下位群に比べ、上位群で有意に長かった (1.16 m および 1.06 m)。

ST と WR および WL の関係を図 2 に示す。ST と WR との間に有意な関係は、認められなかった ($r = 0.32$)。一方、ST と WL との間には、有意な負の相関関係 ($r = -0.88$) を認めた。

WL と ST の回帰直線から求めた、ST の残差は、WR と有意な負の相関関係 ($r = -0.67$) を認めた (図 3)。

4. 考察

競泳競技の自由形種目において、50 m のような短距離種目は、ストローク長の延長よりも、ストローク頻度を高める事が、泳速向上に大きく貢献すると考えられてい

Table 1. Mean and standard deviation of Waving rate, Waving length, and swimming time, in the finalists and the non-finalists

Variables	Finalist	Non- finalist	Probability
	MEAN $\pm$ S. D.	MEAN $\pm$ S. D.	
Swimming Time (sec)	16.37 $\pm$ 0.44	17.91 $\pm$ 0.59	$P < 0.01$
Waving Rate (Hz)	2.65 $\pm$ 0.08	2.64 $\pm$ 0.12	n. s.
Waving Length (m/ wave)	1.16 $\pm$ 0.06	1.06 $\pm$ 0.07	$P < 0.05$

Figure 2. The relationships between swimming time and Waving rate or Waving length.

Figure 3. The relationship between Waving rate and residual error of swimming time, calculated from the regression analysis for the relationship between Waving length and swimming time.

る^{1, 5, 7)}。しかし、SFについて検討を加えた本研究結果は、競泳競技と異なる結果を得た。すなわち、上位群に比べ下位群のSTは、有意に遅かったが、両群のWRは、有意差を認めなかった。一方、WLは、上位群に比べ下位群で有意に短かった。さらに、STは、WRとの関連性を示さなかったのに対し、WLとの間に有意な負の相関関係を示した。本研究の対象は、全員が世界選手権に出場するレベルであり、エリート選手と言えよう。その中で、50 m SFの泳速を決定する因子は、WRよりもWLの違いによるものが大きいと示唆された。STがWRと関連を示さない理由として、SFでは、モノフィンを着着することにより、素足よりも水を捉える面積が増大し、WRを高めることは容易ではなく、本研究程度のWRが、モノフィンを着着したヒトにおける限界である可能性が考えられるが、本研究結果からは推測の域を越えない。

一方、WLに関して、その延長は、1 Wavingにおける振幅（蹴り幅）、推進力に対し抵抗を少なくする事、そして使用するフィンの形態などが重要であると考えられる。Waving動作における垂直方向の振幅をエリート選手と初心者で比較した研究³⁾では、泳距離に関わらず、エリート選手の方が初心者に比べ、上半身（肘から腹部）の振幅が有意に小さく、下肢（足関節）の振幅が有意に大きかったと報告している。すなわち、エリート選手は、小さな上半身の振幅により抵抗を減少させる一方、大きな下肢の振幅により推進力を増大させていると考えられる。また、フィンの形態と泳速度との関係を調べた研究^{10, 11, 14, 15)}において、泳速度には、フィンの硬さが一因子として影響し、flexible ("elastic" と区別するため "flexible" と表現する) なフィンに比べ、stiff ("rigid" と区別するため、"stiff" と表現する) なフィンの方が高い泳速度に繋がると報告している。しかし、stiffなフィンを使用することは、flexibleなものに比べ、より多くの筋力もしくはパワーが要求されることが考えられる。フィンを使用して泳いだ時の泳速度、WRおよびエネルギー消費量などを調べた研究¹⁴⁾の結果から、1 Wavingあたりのエネルギー消費量を算出し、泳速度との関係を調べた。その結果、両者間に有意な正相関 ($r = 0.97$, $P = 0.005$) を認めたことから、泳速度を高めるには、1 Wavingあたりのエネルギー消費量の増大が密接に関係していると考えられる。すなわち、1 Wavingに発揮できるエネルギー量が多いほど、stiffなフィンを使用できる、もしくは、

下肢の振幅をより大きくすることができ、これが、WLの延長に貢献するため、本研究結果のように、エリート選手における50 m SFのSTにWLが影響すると考えられる。

以上のように、STを左右する因子として、そのほとんど（決定係数0.77）が、WLによって説明できる。しかし、STにWRが、全く関与しないわけではない。すなわち、本研究のSTは、WLと有意な負相関を示すが、その残差は、WRと有意な負相関を示した。この結果は、50 m SFにおけるエリート選手のSTにWLだけでは説明しきれない残差が、WRによって説明できる事を示唆している。また、100 m SFにおけるエリート選手と初心者者のWRを比較した研究³⁾では、エリート選手が平均1.88 Hzであるのに対し、初心者では1.54 Hzと有意に低かったことを報告しており、初心者者の泳速向上には、WRも重要であると考えられる。さらに、同研究³⁾では、エリート選手の100 mと800 m SFのWRを比較しており、その結果、800 m SFよりも100 m SFのWRが高かった事を報告している。すなわち、エリート選手において、泳距離（泳時間）が長くなる場合は、泳速にWLだけでなくWRの貢献度も大きくなる可能性がある。

本研究は、50 m SFにおける世界選手権上位者と下位者のWaving変数について調べたが、いくつかの問題点も挙げられる。まず、使用したデータは、泳距離が50 mであったのに対し、中間の10 m（20～30 m）を使用した。各選手は、50 mの中で様々な局面を設定し、Waving変数を変化させ、最も速いと考えられるレースパターンを選択していると思われる。したがって、50 mの全体のWaving変数の変化を調べる必要性があろう。また、本研究は、単にWaving変数のみを調べたが、これに体身長が影響する可能性も考えられる。例えば、モーメントアーム長が関節における力学的出力に及ぼす影響を調べた研究⁶⁾では、角速度が大きい際にはモーメントアームが短いほうが高い力学的出力が得られると報告し、身体運動の速さが要求される競技において、モーメントアーム長が短いことが有利に働く可能性を示唆している。これらの詳細に関しては、今後の検討の余地があると考えられる。さらに、モノフィンの硬さについても、配慮しなければならない。しかし、この点については、困難な部分が多い。すなわち、今日、世界水中連盟の定める規定は、主にフィンの大きさのみであり素材や硬さに関す

る規定はない。また、世界に流通するモノフィンは、そのほとんどがハンドメイドであり、同一のものが存在しないと言う現状である。さらに、モノフィンの硬さを規定する共通の規格や尺度も存在しないため、測定や硬さの評価自体が困難と言える。この点に関しては、今後、適切な測定および評価法の確立が望まれる。

結 語

本研究は、フィンスイミングの50 m サーフェス競技(50 m SF)における、世界選手権決勝出場者と非出場者のWaving変数について検討を加えた結果、エリート選手が50 m SFのSTを短縮させるには、WRを高めるよりも、WLの延長が重要である可能性が示唆された。

【文献】

- 1) Aujouannet, Y. A., Bonifazi, M., et al. (2006) Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 31: 150-158.
- 2) Craig, A. B. Jr., Skehan, P. L., et al. (1985) Craig AB Jr., et al.: Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci. Sports Exerc.* 17: 625-634.
- 3) Gautier, J., Baly, L., et al. (2004) A kinematic study of finswimming at surface. *J Sports Sci. Med* 3: 91-95.
- 4) 堀内直 (2002) フィンスイミング入門. 澤栗勝人 (監修), 日本水中スポーツ連盟 (編) 日本水中スポーツ連盟: 東京.
- 5) 藤原寛康, 荻田太 (1996) 最大努力によるスプリントクロールの全身泳, アームストローク, キックにおける泳速, ストローク頻度, ストローク長の関係. *トレーニング科学* 8: 33-38.
- 6) Nagano, A. and Komura, T. (2003) Longer moment arm results in smaller joint moment development, power and work outputs in fast motions., *J. of Biomech.* 36: 1675-1681.
- 7) 小野寺丈晴, 荻田太, 他 (1999) 30秒から5分程度で疲労困憊にいたる水泳中のストローク指標とエネルギー消費量の関係. *水泳水中運動科学* 2: 16-20.
- 8) 大下和茂, ロスみさき, 他 (2007) 競泳(自由形およびバタフライ)と比較したフィンスイミングの記録特性. 第11回日本水泳水中運動学会年次大会論集: 45-48.
- 9) Oshita, K., Ross, M., et al. (2008) A study about the variable of WAVING in Japanese finswimmers in the 50-m Surface and Apnea. *The Book of Proceedings of the International Scientific Conference of Aquatic Space Activities*, Nomura, T. and Ungerechts, B. E. (Eds.), pp 403-408, 2008.
- 10) Pendergast, D. R., Mollendorf, J., et al. (2003) Evaluation of fins used in underwater swimming. *Undersea Hyperb Med* 30: 57-73.
- 11) Rejman, M. and Ochmann, B. (2007) Functional Model of monofin swimming technique based on the construction of neural networks. *J Sports Sci. Med* 6: 193-203.
- 12) 若吉浩二 (1992) 競泳のレース分析. *バイオメカニズム研究* 16: 93-100.
- 13) World Underwater Federation (2006) Finswimming international rules, World Underwater Federation.
- 14) Zamparo, P., Pendergast, D. R., et al. (2002) How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *J. of Exp. Biol.* 205: 2665-2676, 2002.
- 15) Zamparo, P., Pendergast, D. R., et al. (2006) Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *Eur. J. of Appl. Physiol.* 96: 459-470, 2006.