

[各種報告]

フィンスイミング競技の紹介と競技力向上に繋がる最近の研究
ーフィンスイミング・ワールドカップ2011 ゴールデンファイナル
中国大会の参加報告を兼ねてー

大下 和茂¹⁾, 湯浅 安理²⁾, ロス みさき³⁾, 小泉 和史⁴⁾,
川上 雅之⁵⁾, 矢野 澄雄⁶⁾

Introduction of "Finswimming", and review of recent studies to
contribute for development of finswimming performances

Kazushige OSHITA¹⁾, Ari YUASA²⁾, Misaki ROSS³⁾,
Kazushi KOIZUMI⁴⁾, Masayuki KAWAKAMI⁵⁾, Sumio YANO⁶⁾

Abstract

Finswimming is a speed competition sport practiced on the surface or underwater, by using monofins or normal swimfins (called bi-fins or stereo-fins). The swimming style is based on whole-body oscillations called "waving." In surface events (SF), competitors should surface within 15 m after the start and any turns. A centre-mounted snorkel is used to breathe. The competition distances for finswimming are the same as that for classical swimming (50, 100, 200, 400, 800, and 1500 m). The apnea event (AP) refers to swimming underwater or at the surface with no breathing allowed. The immersion events (IS) discipline involves the use of an air tank and a regulator. Although the world record (as of January 1st, 2012) for the 50 m freestyle is 20.91 s (by Cesar Cielo of Brazil), the same for the 50 m AP is 14.10 s (by Pavel Kabanov of Russia). This is a 48% increase in speed as compared to conventional swimming.

In SF performances, the average frequency of waving cycle (waving rate; WR) during the 100 m SF is higher in experts than in novices. Further, the mean joint amplitude for the upper limbs is smaller for experts than for novices. Regarding the lower limbs, amplitude at the ankle level is larger for experts than for novices (i.e., the oscillation amplitude increased from shoulder to ankle). Therefore, experts attempt to reduce drag forces by a low upper limbs pitch (Gautier et al., 2004).

In expert's performances in sprint events (such as 50 or 100 m), there is no significant difference between finalists and non-finalists in the 50 m SF in the world championship with regard to WR (2.65 Hz vs. 2.64 Hz). However, the swimming distance per waving (waving length; WL) of finalists is longer than that of the non-finalists (1.16 m vs. 1.06 m). Further, the average swimming speed is significantly

1) 九州共立大学 スポーツ学部 スポーツ学科
2) 呉竹学園 東洋医学臨床研究所
3) 東レ株式会社
4) 日本体育大学 体育学部 社会体育学科
5) 倉敷芸術科学大学大学院 人間文化研究科
6) 神戸大学大学院 人間発達環境学研究科

1) Department of Sports Science, Faculty of Sports Science, Kyushu Kyoritsu University
2) Oriental Medicine Clinical Laboratory, Kuretake College Of Medical Arts & Sciences
3) TORAY Industries, Inc.
4) Department of Lifelong Sports and Recreation, Nippon Sports Science University
5) Graduate School of Science and the Humanities, Kurashiki University of Science and the Arts
6) Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

correlated with WL ($r = -0.88$, $P < 0.01$). These results suggest that WL is concluded to be an important factor that influences the performance of elite athletes in sprint events (Oshita et al., 2008).

Regarding expert's performances in the middle or long distance events (i.e., 400 to 1500 m), the average swimming speed is significantly correlated with the fluctuation in the lap time (defined as the coefficient of variation of the lap time (lap time per 100 m)). Further, the average swimming speed is significantly correlated with the variability of WR. Therefore, experts in middle or long distance events attempt to reduce speed fluctuation during the race by reducing the variability of WR (Oshita et al., 2008 & unpublished data).

KEY WORDS : Finswimming, Monofin, World cup, Swimming performance

1. フィンスイミングとは

フィンスイミングとは、足ヒレ（フィン）をつけて水中や水面を進み、速さを競う競技である。フィンスイミングで用いられる道具として、競泳競技で用いられるゴーグルなどのほかに、フィンやスノーケル、空気タンクなどがある。フィンは1枚のフィンを両足で履くモノフィンと2枚のフィンを片足ずつ履くビーフィンがあり、呼吸はスノーケルを使用して行う場合や空気タンクを使用する場合があります、種目によって異なる (Fig.1).

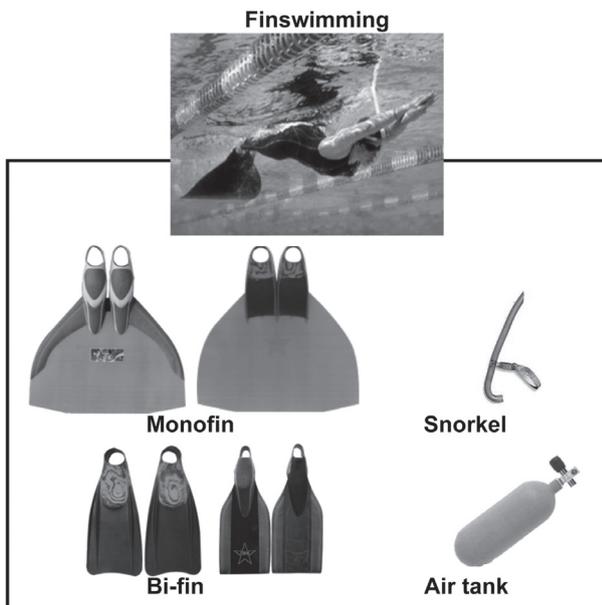


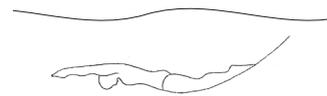
Fig. 1 フィンスイミングに使用する道具

フィンスイミングは、サーフィス (SF), アプニア (AP), イマージョン (IS) そしてビーフィン (BF) と呼ばれる4つの種目で構成される (Fig.2).

Surface (SF)



Apnea (AP)



Immersion (IS)

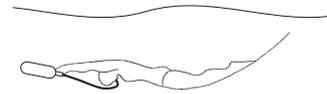


Fig. 2 フィンスイミングの種目

SFは、フィンをつけて水面を泳ぐ種目であり、スタート後およびターン後以外のレース中は、フィンを含む身体の一部が常に水面から出ていなければならない (すなわち、潜ってはならない)。プールで行われる種目は、男女共に、50m, 100m, 200m, 400m, 800mそして1500mが公式種目となっている。その他、海や湖、河川などを泳ぐオープンウォーター種目も設けられており、世界選手権の場合、6kmと20kmが、ワールドカップの場合、4kmが正式種目となっている。APはフィンをつけて無呼吸で50mを泳ぐ種目であり、スタートからゴールまで息継ぎをしてはならない。ISはフィンをつけて水中を泳ぐ種目であり、呼吸は空気タンクを用いて行う。BFはビーフィンを用いて水面を泳ぐ種目で、SF同様、スタート後およびターン後以外のレース中は、フィンを含む身体の一部が常に水面から出ていなければならない。

フィンの歴史として¹⁾、最も古い記録と考えられて

いるものが、紀元前885年頃の浮き彫り細工（レリーフ）であり、古代アッシリア（現在のイラク北部を占める地域に興った王国・世界帝国）の兵士がフィンらしきものを付け、水中を移動している姿が確認されている。この他、ルネッサンス期には、「水掻き」がレオナルド・ダ・ビンチによって考案され、その際のイラストが残っている。フィンスイミングとしては、1950年代に、スクーバダイビングの発達に伴い欧州を中心に様々なフィンが考案され、競技会を通して改良が加えられるようになる。そして、1970年代に、旧ソビエト連邦においてモノフィンが考案され、推進力が飛躍的に向上し、現在に至っている。2012年1月1日現在では、競泳・男子50m自由形の世界記録が20秒91（Cesar Cielo, ブラジル）であるのに対し、男子50m APの世界記録は14秒10（Pavel Kabanov, ロシア）と、競泳に比べて、圧倒的な泳速がフィンスイミングにおける魅力のひとつとなっている。この他、スクーバダイビングから派生していることもあり、イルカと泳ぐドルフィンスイミングなどのレジャー目的でもフィンスイミングは注目されている²⁾。

2 フィンスイミングの競技会

2. 1. 日本のフィンスイミング競技会

各国の競技会は、フランスで1920年代に、またイタリアで1930年代に行われたとされている。日本では、1989年に第1回の日本選手権大会が筑波大学で行われた。現在は、日本水中スポーツ連盟の主催で年に1回行われており、2011年で23回大会（横浜国際プール）を迎えた。60以上の団体が活動しており、日本選手権には約500人のフィンスイマーが出場する。また、25mプールで行われる短水路日本選手権や大学生日本一を決める学生選手権、そして、2011年度からはマスターズ大会（ジャパンオープンマスターズ）も開催され、幅広い世代で競技が行われている。

2. 2. 世界選手権

1976年に旧西ドイツで第1回世界選手権大会が開催され、その後、プール種目の世界選手権が偶数年、オープンウォーター種目のロングディスタンス世界選手権が奇数年に行われていた。2006年に、プール種目およびオープンウォーター種目などが同時開催となり、2007年からは、主催団体である世界中連盟（CMAS）の名を取り、通称“CMAS GMAES”として2年に1回の頻度で開催されている。

2. 3. ワールドカップ

ワールドカップは2006年から導入された大会であり、毎年、欧州を中心に世界各国を転戦し、各レース毎の順位によって与えられる点数の総計によって年間のチャンピオンを決定する。世界選手権が国別で出場するのに対し、ワールドカップは各国に所属するチーム別で参加するため、チーム単位の総点数でも争われる。現在、プールでは50m～800mのSF各種目、50m～200mのBF各種目、50m AP, 100m IM, そして4×100m SFリレーが、そしてオープンウォーターでは4kmが正式種目となっている。

2. 4. ワールドゲームズ

ワールドゲームズとは、オリンピック競技以外の種目で行われる国際的総合競技大会であり、第2のオリンピックとも言われる。SportAccord；国際スポーツ団体総連合（旧・GAISF；国際スポーツ団体総連合）と国際ワールドゲームズ協会加盟競技の中から、オリンピック競技として認められてはいないが世界的に盛んな競技・種目（世界の4大陸40カ国以上に協会があり、かつ3回以上の世界選手権等が行われていることが条件）で行われる。1981年に第1回大会がアメリカ・カリフォルニアで行われ、4年に1回、夏季オリンピックの翌年に行われている。フィンスイミングもワールドゲームズの正式競技であり、現在、100m～400mのSF各種目、50m AP, そして4×100m SFリレーが正式種目となっている。

2. 5. 各大陸での競技会

世界レベルでの競技会のほか、大陸別でも競技会が行われている。欧州選手権は、世界選手権大会よりも前の1967年にイタリアで行われ、2年に1回の頻度で開催されている。アジア選手権は1989年に愛知県の東海市で行われ、欧州選手権同様、2年に1回開催されている。この他、1993年にはアメリカ（Pan-American）選手権がコロンビアで開催され、Arab Zone選手権は、昨年からPan-Arabian選手権として、レバノンで開催されている。

2. 6. ジュニアの国際競技会

18歳以下のフィンスイマーを対象とした世界選手権も2年に1回の頻度で開催されている。第1回は1989年にハンガリーで開催され、その後、奇数年に開催されていたが、CMAS GAMESの導入に伴い、2006年からは偶数年の開催となっている。また、大

陸別でも、欧州ジュニア選手権やPan-Arabianジュニア選手権が行われている。

3. フィンスイミング・ワールドカップ2011 ゴールデンファイナル中国大会に参加して

(Fig. 3)

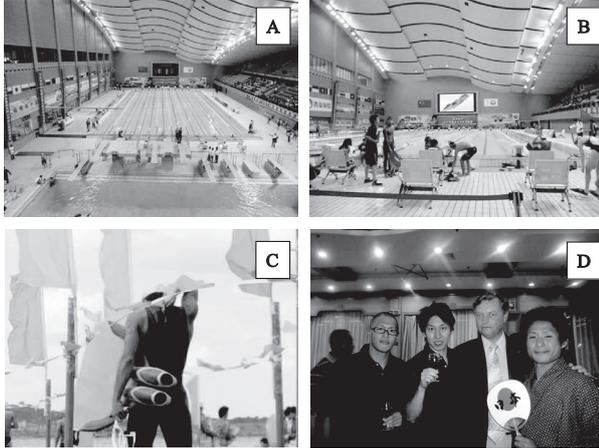


Fig. 3 ワールドカップ2011ゴールデンファイナル 中国大会の写真 (AB: プール種目の会場, C: 4km出場直前の著者 (大下), D: GALA Dinnerにて, 世界水中連盟 フィンスイミング委員会の委員長GAUNARD Michel氏と右端が筆者 (大下))

今回、私 (大下) は、9月16~18日に中国・煙台で行われた、2011年のワールドカップ最終戦に参加した。今年のワールドカップは、第1戦がハンガリーで開催され、その後、イタリア、ポーランド、ドイツ、スペインそしてオーストリアを経て、最終戦が中国で行われた。最終戦に先立ち、8月にハンガリーで世界選手権が開催されており、参加者が少なく、レベルの低い大会になるのではないかと懸念されていた。しかし、欧州諸国の参加が少なかったものの、約20カ国から参加者が集まり、世界新記録が2つ生まれるなど、レベルの高い大会であったと言える。

私自身、世界レベルの大会出場は、オープンウォーター種目では2007年に行われた世界選手権 (イタリア・バーリ) 以来4年ぶり、プール種目では2004年に行われた世界選手権 (上海・中国) 以来6年ぶりの参加と言うことで、参加を決めた頃から、久々の世界大会に気持ちが高揚していた。自身の記録としても、今年2月に行われた国内大会、そして5月に行われた日本選手権大会で自己ベストを更新できており、心身共に調子が良いと言えた。加えて、5月の日本選手権大会以降、陸上トレーニングの内容を抜本的に見直したことも奏功し、ワールドカップ前の練習では好記録で泳げていた。

そうして迎えたワールドカップでは、出場した全種

目で自己ベストを更新でき、特に800m SFでは自己ベストを約6秒と、大幅に更新できた。また、オープンウォーター4kmでは6位入賞でき、久々に参加した世界大会を好感触で終えることができた。

しかし、プール種目では自己ベストを大幅更新したものの、すでに国際レベルでは歯が立たないという印象を受けた。とりわけ、アジア諸国の速さと泳ぎに、私は驚かされた。私がフィンスイミングを始めた2001年頃のアジア勢力図は、中国に次いで、日本と韓国が争い、ベトナムなどが続いていた。2005年に参加したアジア選手権でも、韓国の飛躍やベトナムの台頭はあったが、中国-韓国-日本もしくはベトナムと言う順位で、メダル争いをしてきた。それ以降、私はプールでの国際大会に参加していなかったが、近年、ベトナム、インドネシア、そして台湾などが力をつけてきていたことは、大会結果等で知っていた。そして、今回は身をもってそれを感じた。2005年当時、これらの国々の選手は、泳ぎのフォームが巧いと言えず、力で泳いでいる印象であった。そのため、短距離種目はある程度のレベルで泳げるが、長距離では劣るという印象であった。しかし、今大会で選手の泳ぎを見ると、泳ぎのフォームが格段に上達していたことに驚かされた。その証拠に、短距離種目だけでなく、長距離種目のレベルも向上していた。一方、日本勢の記録は、ここ数年間、大幅に向上しているわけではなく、日本は完全に置いていかれていることを実感した。

さらに、これらの国々におけるジュニア世代の記録向上も目立った。BFを除くワールドカップ正式種目のジュニア部門で、ロシア (13個) や中国 (12個) などの強豪国に加えて、台湾 (3個) やインドネシア (2個) 勢もメダルを獲得した (日本はメダル獲得できなかった)。近年、日本のナショナルチームは大幅な正代表のメンバー交代が見られず、高齢化が懸念されている。ジュニア世代をはじめとする若手の育成は国内でも問題として挙げられているが、本大会に参加して、この問題解決が急務であることを感じた。そこで、次章に、フィンスイミングの競技力向上に繋がりうる、近年の学術的研究を紹介する。

4. フィンスイミングに関する最近の研究

同じ水中スポーツで、速さを競う競技である競泳では、これまでに様々な分野での研究結果が報告されており、競技力向上に繋がっていると考えられる。競泳とフィンスイミングは、単にフィンの有無だけではな

く、生理的およびバイオメカニクス的な特長などが大きく異なる。その一例として、競泳に対して、フィンスイミングがどの程度速いかを調べると、その結果は距離種目によって一様ではない。競泳の自由形とフィンスイミングのSFにおける世界記録、欧州記録、そしてアジア記録から平均泳速を算出し比較した結果³⁾、いずれの場合でも、泳速は泳距離の増加に伴い低下する。そして、泳速と泳距離との関係は有意な曲線関係を示す (Fig. 4は、男女、世界記録、欧州記録、そし

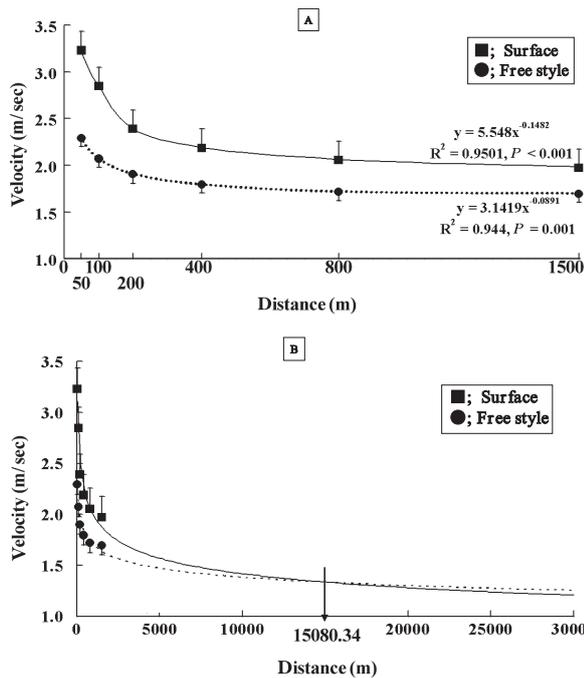


Fig. 4 フィンスイミング・SFおよび競泳・自由形の世界、欧州およびアジア記録から算出した平均泳速と泳距離との関係³⁾
 (グラフは、男女の世界、欧州およびアジア記録の平均)

てアジア記録の平均値). Fig. 4Aから、自由形とSFの泳速を比較すると、自由形に比べSFの泳速は高いが、その割合は泳距離の増加に伴い小さくなる (すなわち、泳距離の増加と共に自由形とSFの泳速の違いは小さくなる). 自由形およびSF共に、50mから1500mまでの距離と泳速との関係が有意な曲線を示したことから、この曲線を利用し、1500m以上の距離について推測してみると (Fig. 4B)、約15000mで自由形の泳速がSFの泳速よりも高くなった。この結果は、競泳に比べてフィンを付けて泳ぐことが、必ずしも競泳よりも速く泳げるとは限らないことを示しており、フィンを付けて泳ぐことでの身体への負担や主動筋群の違いなどによって、泳距離が長くなると、SFよりも自由形で速くなる可能性を示唆している。このように、フィンスイミングは同じ水中競技である競泳と特徴が異なると考えられ、競泳の先行研究を応

用したフィンスイミング独自の検討が必要になると考えられる。本章では、フィンスイミングにおいて競技力向上に繋がり得る、近年の研究結果を紹介する。

4. 1. バイオメカニクス的研究

競泳を例に挙げると、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、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が高くなる⁴⁾。最大努力のスプリント泳時^{5, 6)} 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⁸⁾。これをフィンスイミングに応用した場合、フィンスイミングにおける泳ぎ方は“waving”と呼ばれる^{1, 9-12)} ため、フィンスイミングにおいて、泳速を高めるためには、単位時間あたりのwaving回数、すなわちwaving頻度 (WR) や単位wavingあたりで進む距離、すなわちwaving長 (WL) といった、waving変数の片方、もしくは双方の増大が必要である⁹⁻¹²⁾。

Gautier et al.¹³⁾ は、100 m SFにおけるエリート選手 (フランスナショナルチーム) と初心者のWRを比較した結果、エリート選手のWR (平均1.88 Hz) は初心者のそれ (平均1.54 Hz) よりも有意に高かったことを報告している。また、同研究では、waving動作における垂直方向の振幅も比較しており、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、大きな推進力を生み出し、かつ、より高いWRによって推進力を増大させていると考えられる。

また、大下ら⁹⁾ は、エリート選手 (世界選手権出場者) のみを対象に検討を行っている。50m SFにおける世界選手権の決勝出場者と非出場者のwaving変数を調べた結果、WRは両群間に有意な差を認めなかった (平均2.65 Hzおよび2.64 Hz) が、WLは非出場群に比べ、出場群で有意に長かった (平均1.16 mおよび1.06 m) ことを報告している。また、泳時間とWRとの間に有意な関係は認められなかった ($r = 0.32$) が、泳時間とWLとの間には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.88$) (Fig. 5)。世界選手権における50m SFのWRが2.6Hz程度、日本選手権における50m

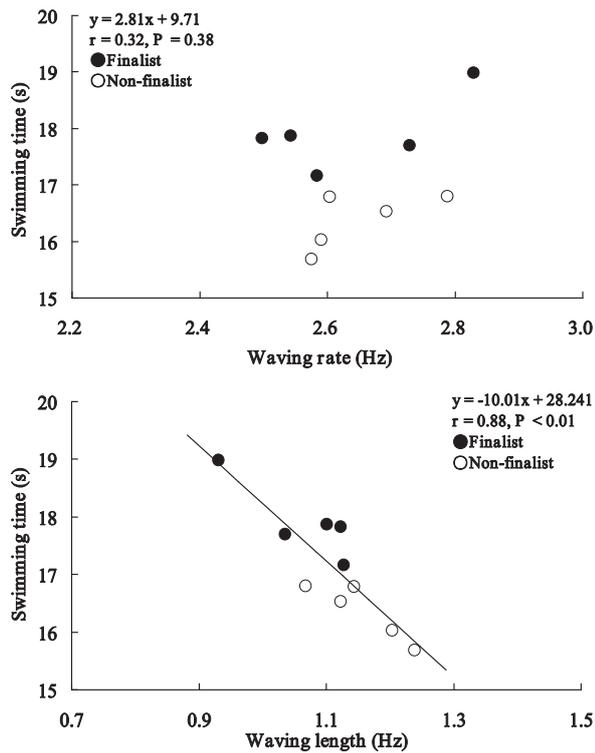


Fig. 5 2004年世界選手権 男子50m SFにおける決勝出場者 (●) と非出場者 (○) の泳時間とwaving変数との関係⁹⁾

SFおよびAPのWRを調べたOshita et al.¹⁰⁾の結果でも、2.6~2.8 Hz程度であり、エリート選手の50m (15~20秒) 全力泳におけるWRは概ね3Hz程度である。この程度のWRがヒトの限界だと考えると、いかにWLを延長させるかが世界で上位に入るための重要な因子になると考えられる。これには、先述のように、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って大きな推進力を生み出す必要性があるほか、フィンの選択も重要な因子となる。フィンの形態と泳速度との関係を調べた研究¹⁴⁻¹⁷⁾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、柔らかい (flexible) フィンに比べ、硬い (stiff) 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、硬い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と考えられる。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を調べたZamparo et al.¹⁶⁾の研究結果から、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結果、両者間に有意な正相関 ($r = 0.97, P = 0.005$) が認められた。この結果は、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ことを示唆しており、1 wavingに発揮できるエネルギー量が多いほど、硬い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の延長に貢献すると考えられる。

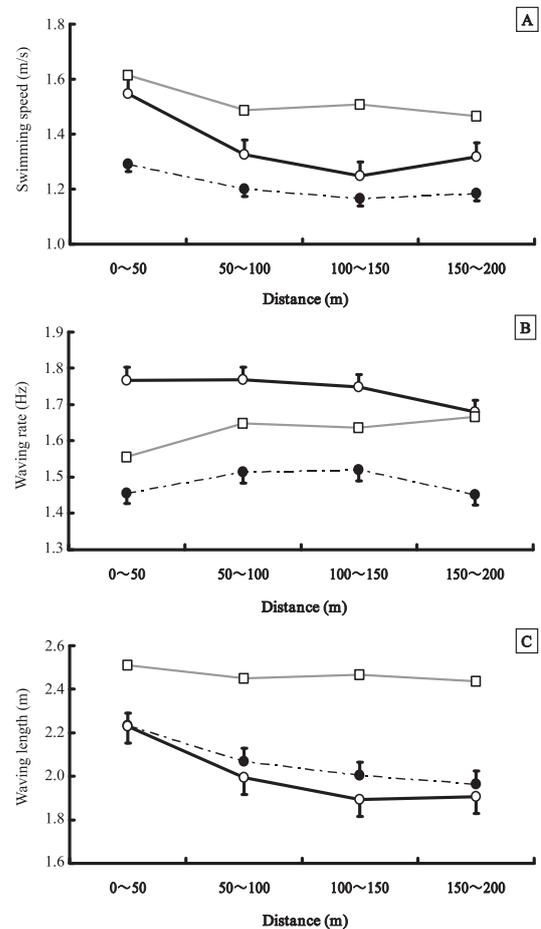


Fig. 6 世界記録保持者 (□)、日本選手権出場・日本代表選手 (n=5; ●) および日本選手権出場・非日本代表選手 (n=4; ○) の200m SFにおける50m毎の泳速 (A)、waving頻度 (B) および waving長 (C)¹¹⁾

一方、泳距離が長くなった場合について、200m SFにおける50m毎のwaving変数を世界記録保持者、日本代表選手 (代表群) および非日本代表選手 (非代表群) で調べた結果¹¹⁾、WRは、世界記録保持者、非代表群、そして代表群の順で低くなった (Fig. 6B)。一方WLは、代表群、世界記録保持者、そして非代表群の順で低くなった (Fig. 6C)。このことから、距離が長くなった場合は、waving変数そのものがSFのパフォーマンスに関与する可能性は低いと言える。一方、(Fig. 6A) を見ると、世界記録保持者の50m毎の泳速が安定している (変動が少ない) ように見える。これについて、代表群および非代表群における50m毎の泳速の標準偏差 (SD) を求めることで、50m毎の泳速変動を評価し、200m SFの泳速との関係を調べた結果、両者は有意な負相関を示した (Fig. 7A)。すなわち、200m SFの泳速が高い者は、高い泳速を安定

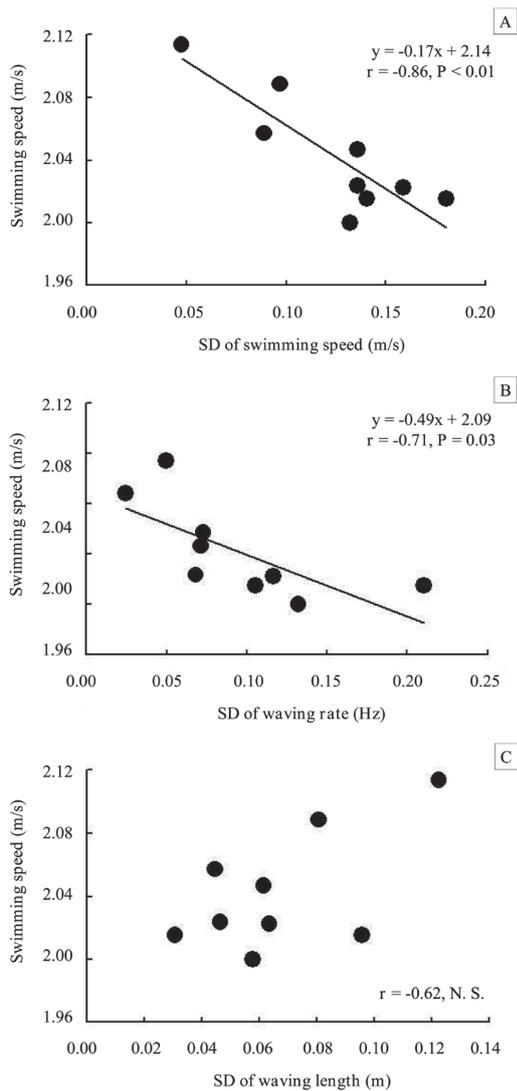


Fig. 7 日本選手権200m SF (日本代表選手; n=5, および非日本代表選手; n=4) における平均泳速と50m毎の泳速変動 (A), waving頻度変動 (B) およびwaving長変動 (C) との関係 (変動は標準偏差; SDにより算出)¹¹⁾

させて泳いでいることを示している。さらに、この要因について、50m毎のwaving変数のSDを算出して調べてみると、WLのSDは泳速と有意な関係を示さなかった (Fig. 7C) のに対し、WRのSDは泳速と有意な負相関を示した (Fig. 7B)。この結果は、200m SFの泳速が高い者は、高いWRを安定させて泳いでいることを示している。さらに、我々 (未発表資料) は、2009年および2011年に開催された世界選手権のうち、400m~1500m SFの各種目について、100m毎のラップタイムの変動 (変動係数により算出) と平均泳速との関係を調べた結果、男女共、いずれの種目においても両者間には有意な負の相関関係が認められた (Fig. 8; 図は男子のみ)。すなわち、中・長距離種目における競技成績の一つに、レース全体の泳速変動が関係

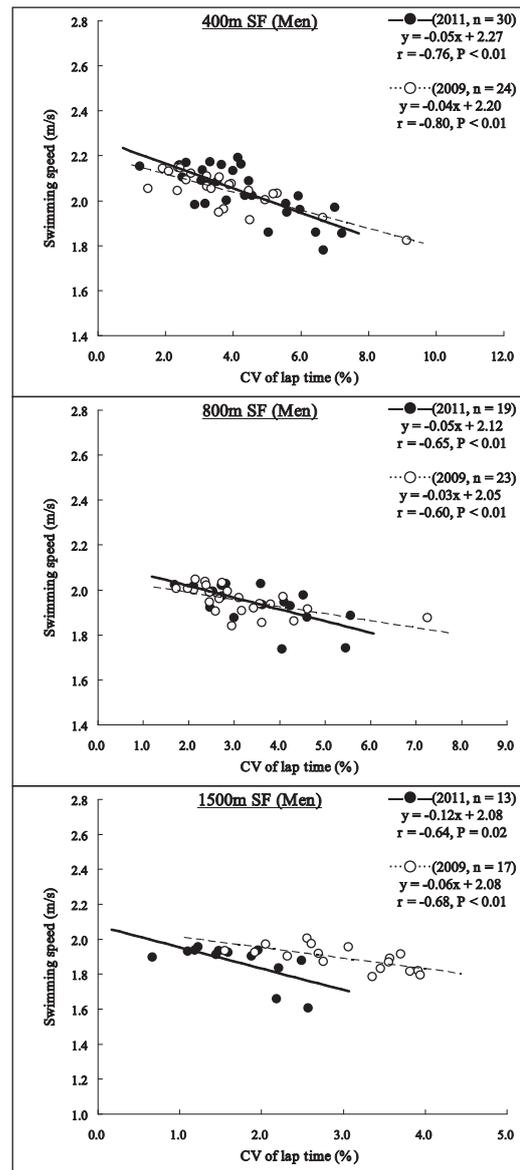


Fig. 8 2009年 (○) および2011年 (●) 世界選手権大会における男子400m, 800mおよび1500m SFの平均泳速と100m毎のラップタイム変動との関係 (変動は変動係数; CVにより算出)

しており、好成績な者ほど泳速変動が小さく、その要因として、WRを安定させている可能性が考えられる。

4. 2. 生理学的研究

これまで述べてきた、バイオメカニクスの検討に加え、生理学的な検討も重要といえる。生理学的な検討項目の一つとして、各種目における有酸素性および無酸素性エネルギーの供給割合を把握することが挙げられる。これは、レース戦略を練る時や練習メニューを作成する時などに重要となる。すなわち、出場する種目がどのようなエネルギー供給割合なのかを把握し、それに対し、練習ではどのようなエネルギー供給割合の配分でメニューを作成するのかなどが、競技力向上

に重要な因子となろう。クロール泳で用いられる有酸素能力の一指標にCritical velocityと言う理論的な指標がある^{18, 19)} (なお、この理論の詳細は先行研究¹⁹⁻²²⁾を参考にされたい)。Oshita et al.²⁰⁾ および大下ら²¹⁾は、この理論をフィンスイミングのSF種目に応用し、SF各種目の泳速における有酸素能力の貢献度を調べた。その結果、Critical velocityは、400m以上の距離種目で泳速と有意な相関関係を示した。さらに近年、性差を配慮して再検討した結果²²⁾、男性では、Critical velocityが800m以上の種目で泳速と有意な相

関関係を示すのに対し、女性では200m以上の距離で泳速と有意な相関関係を示した (Fig. 9)。これらの結果は、男性では800m以上の距離種目、女性では200m以上の距離種目における泳速に、有酸素性エネルギー供給能力が、特に重要である可能性を示している。しかし、これらは、理論的検討のみに留まっており、今後、呼気ガス分析や血中代謝物質 (血中乳酸値等) などの生理学的指標を用い検討を加える必要がある。

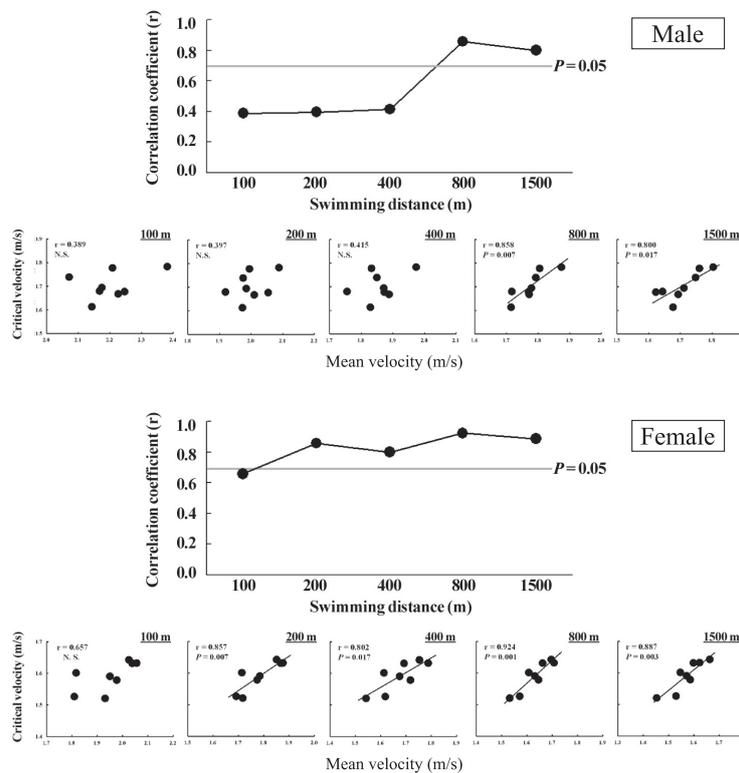


Fig. 9 Critical velocityと100m~1500m SF各種目の平均泳速との関係²²⁾

4. 3. シミュレーション解析

最近、フィンスイミングの泳動作について、シミュレーション解析が試みられている。Nakashima et al.²³⁾は、SWUM (SWimming hUman Model)²⁴⁻²⁶⁾と呼ばれる、水中での身体運動解析ツールを用い、フィンスイミングでのシミュレーション解析を試みている。このツールは、ヒトの泳運動について、全身の相対運動 (関節角) を与え、流体力と身体の慣性力の運動方程式から身体の絶対運動を求めることで、泳フォームの違いにより生じる泳速度や身体全体の運動の変化等が解析できる。フィンスイミングへの応用については、SFおよびAPの動作データを取得し、モノフィンの曲げ試験や流体力測定実験などにより、シミュレーションに必要なパラメータを入手し解析を行った結果²⁷⁾、

モノフィンの弾性変形とモノフィンに作用する流体力を考慮可能なフィンスイミングのシミュレーションモデルが構築されている。今後は、このような理論的側面からも、競技力向上のアプローチがなされることが期待される。

4. 4. 傷害予防の観点から

競技力向上のためには傷害予防も重要なアプローチの一つと言える。競泳では傷害に関する研究が多くみられ、ジュニアからマスターズまで幅広い世代での検討も行われている^{27,28)}。フィンスイミングに関しては、山見ら²⁹⁾の日本選手権出場者の障害に関する報告や Verni et al.³⁰⁾のフィンスイミングと腰痛に関する報告が見られるが、傷害予防の情報としては十分とはい

えない。

傷害予防には、まず、その競技における傷害の実態を把握する必要がある。競泳について、全米大学体育連合(NCAA)のDivision Iレベルを対象に調べた研究³¹⁾では、肩や上腕部の傷害発生率が最も高く、次いで頸部や背部の発生率が高かったことが報告されている。また、邦人競泳選手76名を対象に傷害部位を調べた研究³²⁾では、腰46例(24.3%)、肩38例(20.1%)、膝34例(18%)そして足関節の順で発生率が高かったことを報告している。これらの結果から、競泳における傷害は主に肩や腰部で多いことが分かる。しかし、フィンスイミングにおいて、どの部位に傷害が多いかはあまり知られていない。そこで湯浅ら³³⁾は、国際大会参加者を含む27名のフィンスイマーを対象に質問紙調査を行った結果、フィンスイミングの練習中・後あるいは競技中・後に、22名(81%)が足首、15名(56%)が腰部、9名(33%)が肩、そして4名(15%)が足部に痛みを感じていることが分かった。また、発症時の状況は、足首および腰部ともに、モノフィンを使用している練習または競技中の発症が多かった。

フィンスイミングでは、足部に大きく重たいフィンを装着して泳ぐことによる負荷がかかり、競泳よりも足首への負担が大きくなると考えられる。BFでは、競泳のクロールと同様に上肢(プル動作)と下肢(キック動作)を用いて泳ぐが、モノフィンを用いる場合、プル動作は行わず、体幹から下肢にかけてのキック動作で推進力を得ること、ビーフィンよりも大きな面積を持つモノフィンを使用することから足首への負担はより大きくなると考えられる。フィンスイミングで足首の痛みが多いのは、モノフィンを使用して泳ぐ競技特性によるものと推測される。

一方、フィンスイミングによる腰部の痛みは、競泳と同様にストリームライン(蹴伸び姿勢)を維持するための負荷、モノフィンを使用した場合には競泳のバタフライと同様に体幹の屈曲と伸展が繰り返されることによる負荷、そして、ビーフィンを使用した場合にはクロールと同様に体幹回旋や伸展による負荷などが可能性として推測される。これらの負荷により腰部の筋肉、腰椎、もしくは椎間板などへ負荷がかかり、腰痛の発症に繋がると推測される。フィンスイミングにおける腰痛の発生機序には競泳のものと同通点があり、競泳の傷害予防の情報が生かせる可能性がある。

これらの結果から、フィンスイミングはモノフィンを使用している練習または競技による足首、腰部および

肩の痛みが多く、特に足首に痛みが多いことを示している。今後、これらの結果を傷害予防に繋げるために、足首、腰および肩の痛みの病態を把握し、発生機序を明らかにするなどの詳細に検討が進められることが期待される。

5. 最後に

本稿は、フィンスイミング・ワールドカップ2011 ゴールデンファイナル中国大会の参加報告を兼ねて、フィンスイミングの紹介と競技力向上に繋がる最近の研究成果を紹介した。3章でも述べたとおり、フィンスイミングにおける世界的に見た日本のレベルは高いとはいえない。とりわけ、アジアレベルでは、ここ数年で日本以外の各国が力をつけており、日本は“取り残されている”と言わざるを得ない。そんな中、2014年もしくは2016年には、アジア選手権大会が日本で開催される可能性が高い。フィンスイミングは科学的にも未開拓の領域が多く、4章で紹介したような競技力向上のための検討要因も多く残されており、伸び代が大きい競技だといえる。練習環境の整備などの環境的な要因や選手自身の練習に取り組む努力もさることながら、学識者による科学的な検討も、競技力向上には必要であろう。これらの各取り組みがより多くなされることで、数年後、自国開催されるであろうアジア選手権大会において、日本人が一つでも多くのメダルを獲得することを期待している。

Received date 2012年1月10日

参考文献

- 1) 堀内直(著)、澤栗勝人(監修)、日本水中スポーツ連盟(編)(2002): フィンスイミング入門、日本水中スポーツ連盟、東京。
- 2) 小峰千明(2011): Sustainable Dolphin Swimming —持続可能なドルフィンスイム—. 第2回 日本水中スポーツ学会、神奈川。
- 3) 大下和茂、ロスみさき、小泉和史、樫本俊兵、高橋康輝、川上雅之(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。日本水泳・水中運動学会年次大会、神奈川。
- 4) 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。
- 5) Aujouannet Y.A., Bonifazi M., Hintzy F., Vuillerme N. & Rouard A.H. (2006): Effects of a high-intensity swim test on kinematic param-

- ters in high-level athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 31, 150-158.
- 6) 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.
 - 7) 小野寺丈晴, 荻田太, 田中孝夫 (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) Craig A.B. Jr, Skehan P.L., Pawelczyk J.A. & Boomer W.L. (1985) : Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17, 625-634.
 - 9) 大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 榎本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之 (2008) : 50mサーフィスにおけるWaving頻度, Waving長および泳速の関係. *水泳水中運動科学*, 11, 14-18.
 - 10) Oshita K., Ross M., Koizumi K., Kashimoto S., Takahashi K. & Kawakami M. (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*, 403-408.
 - 11) 大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 榎本俊兵, 矢野澄雄, 高橋康輝, 川上雅之 (2008) : フィンスイミング 200-m サーフィスにおける日本人男性選手の Waving 頻度, Waving 長および泳速の関係. *日本水泳・水中運動学会次大会論文集*: 59-62.
 - 12) 大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 榎本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之 (2009) : 100mサーフィスにおけるレース前半および後半のwaving変数と泳速の関係. *体育の科学*, 59, 131-135.
 - 13) Gautier J., Baly L., Zanone P.G. & Watier B. (2004) : A kinematic study of Finswimming at surface. *J. Sports Sci.Med.*, 3, 91-95.
 - 14) Pendergast D.R., Mollendorf J., Logue C. & Samimy S. (2003) : Evaluation of fins used in underwater swimming. *Undersea Hyperb. Med.*, 30, 57-73.
 - 15) Rejman M. & Ochmann B. (2007) : Functional Model of monofin swimming technique based on the construction of neural networks. *J. Sports Sci. Med.*, 6, 193-203.
 - 16) Zamparo P., Pendergast D.R., Termin B. & Minetti A.E. (2002) : How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *J. Exp. Biol.*, 205, 2665-2676, 2002.
 - 17) Zamparo P., Pendergast D.R., Termin A. & Minetti A.E. (2006) : Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96, 459-470, 2006.
 - 18) Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., & Miyashita M. (1992) : Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 153-157.
 - 19) Wakayoshi K., Yoshida T., Kasai T., Moritani T., Mutoh Y., & Miyashita M. (1992) : Validity of critical velocity as swimming fatigue threshold in the competitive swimmer. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 11, 301-307.
 - 20) Oshita K., Ross M., Koizumi K., Kashimoto S., Yano S., Takahashi K., & Kawakami M. (2009) : The critical velocity and 1500-m surface in Finswimming. *Int. J. Sports Med.*, 30, 598-601.
 - 21) 大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 榎本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之 (2010) : フィンスイミングのサーフィス種目におけるCritical Velocity理論から考察したエネルギー供給特性. *体育学研究*, 55, 471-480.
 - 22) Oshita K., Ross M., Koizumi K., Kashimoto S., Yano S., & Kawakami M. (2010) : Gender difference of aerobic contribution to surface events in Finswimming. *Abstract book of 11th International Sport Sciences Congress*, 431.
 - 23) Nakashima M., Suzuki S. & Nakajima K. (2010) : Development of a Simulation Model for Monofin Swimming. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 5, 408-420.
 - 24) Nakashima M., Satou K., & Miura Y. (2007) : Development of Swimming Human Simulation Model Considering Rigid Body Dynamics and Unsteady Fluid Force for Whole Body. *Journal of Fluid Science and Technology*, 2, 56-67.
 - 25) Nakashima M. (2007) : Mechanical Study of Standard Six Beat Front Crawl Swimming by Using Swimming Human Simulation Model. *Journal*

- of Fluid Science and Technology 2, 290-301.
- 26) Nakashima M. (2009) : Simulation Analysis of the Effect of Trunk Undulation on Swimming Performance in Underwater Dolphin Kick of Human. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 4, 94-104.
- 27) 山田均, 松井寿夫, 北野悟, 前田明夫, 藤田雄介 (2000) : スイミングクラブ所属の小学生スイマーの外傷・障害. *整スポ会誌*, 20, 42-46.
- 28) 金岡恒治, 清水顕, 武藤芳照, 落合直之 (2004) : マスターズ水泳選手の障害の実態. *臨床スポーツ医学*, 21, 269-273.
- 29) 山見信夫, 富田絵津子, 眞野喜洋, 梶原龍人, 吉澤俊治, 峯岸信正, 田村宏, 中澤洋二, 野村武男, 芝山正治, 高橋正好, 水野哲也 (1998) : フィンスイミング日本選手権出場者の障害. *臨床スポーツ医学*, 15, 57-60.
- 30) Verni E., Prospero L., Lucaccini C., Fedele L., Beluzzi R. & Lubich T. (1999) : Lumbar pain and fin swimming. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 39: 61-65.
- 31) Wolf B.R., Ebinger A.E., Lawler M.P. & Britton C.L. (2009) : Injury patterns in Division I collegiate swimming. *Am. J. Sports Med.*, 37, 2037-2042.
- 32) 片山直樹, 石川知志, 金岡恒治, 武藤芳照, 有吉護, 園田昌毅 (2000) : 一流水泳選手の水泳に伴う外傷・障害. *整スポ会誌*, 20, 34-41.
- 33) 湯浅安理, 宮本俊和, 森山朝正 (2010) : フィンスイマーの痛みに関するアンケート. *体力科学* 59, 782.