

2011 年度 修士論文

オープンウォータースイミング選手の
スイミングフォームの特徴について

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5010A072-1

原 怜来

研究指導教員： 村岡 功 教授

— 目次 —

第 1 章 序論

1-1.緒言	1
1-2.先行研究小史	6
1-3.本研究の目的	12

第 2 章 OWS 選手と水泳選手のプール泳ぎの違い

2-1.方法	14
2-2.結果	23
2-3.考察	28
2-4.まとめ	33

第 3 章 OWS 選手の海泳ぎとプール泳ぎの違い

3-1.方法	34
3-2.結果	35
3-3.考察	40
3-4.まとめ	47

第 4 章 OWS 選手の海泳ぎとプール泳ぎのシーズン変化

4-1.方法	48
4-2.結果	49
4-3.考察	52
4-4.まとめ	53

第 5 章 本論文のまとめ

参考文献	56
------	----

謝辞	60
----	----

第 1 章 序論

1-1.緒言

1-1-1.オープンウォータースイミング

オープンウォータースイミング(以下、OWS と記載)とは、海、川、湖などの自然環境で泳ぐ速さを競う競技である。また、2008 年よりオリンピック正式種目となった、最も新しい水泳種目である。距離は 100m から 25km 超と様々であり、オリンピックでは 10km が採用されている。自然環境によってタイムは異なるが、現在のオリンピック選手は 10km を約 2 時間弱で完泳する(International swimming federation,2011)。2011 年の全豪選手権では、2.5km を 4 周する周回レースで、1 周約 29 分のペースで泳いでいた。これを速度にすると 1.43m/s を上回り、おおよそ 50m を 35 秒に相当する速度で泳いでいることになる。他の世界大会でも、同様なレースペースであることから、OWS は 50m を 35 秒ほどの泳速度で 2 時間近く泳ぎ続けるスポーツであることが分かる。

OWS と競泳で大きく異なる点は、泳ぐコースである。競泳はプールがコースロープによって仕切られ、決められたコースで泳がなければならない。しかし、OWS は海洋上(もしくは川)に浮いているブイ(目標物)を周回するコースが一般的であり、決められたブイを周回していれば、どのルートを通っても良い。多くの選手はクロール泳を行い、ブイとブイの間を最短距離で泳ぐように努力するが、まっすぐ泳いでいると思っても、波や流れがある為、コースアウトするケースがある。そのため、選手はクロール泳で泳ぎながら、呼吸の際に前方確認(「ヘッドアップスイム」)を行うことで、ブイを確認しながら泳ぎ、常に自分がコースから外れていないかを確認している。これは競泳では行わない動作であり、OWS に出場する際には、必須のテクニックである。このように、OWS はプールとは異なり、海には波・風・流れが存在する為、OWS 選手には自然環境を上手く利用し、環境の変化を判断する能力が求められる。

1-1-2.海外および日本における OWS の現状

OWS がオリンピック種目となってから、国内外を通して OWS の知名度は上昇した。しかし、OWS に関する情報は極めて少なく、このことは、指導書を一読することで分かる。競泳の指導者は、日本水泳連盟が発行する水泳指導教本に基づいた指導方法を学び、連盟と日本体育協会が公認する資格を取得した後、現場でコーチングを行う。指導教本には、水泳の様々な研究の結果から明らかとなった良いとされる泳ぎ、またその指導方法が記載されている。しかし、この指導書には OWS の項目がない為、日本水泳連盟は 2006 年にオープンウォータースイミング教本(日本水泳連盟,2006)を作成し、レースにおける注意点やレースで必要なこと、水分補給方法などを明記した。OWS のテクニックの項目について見てみると、「波に負けないように力強くワイルドなフォームが理想で、リカバリーの際はやや外側から前にもってくるのが有効」(p.66,オープンウォータースイミング教本,大修館書店,2006)と記載されているのみである。水泳指導教本と比較すると、非常に抽象的な表記であり、指導方法が確立されていないことが分かる。

このように OWS について明らかになっていないことが多く、身体運動の基礎である動作情報の収集や、これにもとづく運動の記述も行われていない。OWS のスイミングフォームについても明らかになっていない為、強化方法も十分でない。

OWS 強豪国であるアメリカ、ヨーロッパ諸国では、競泳オリンピック選手が OWS 大会に出場し、デュアルスイマー(水泳種目を 2 種目以上行っている選手)として存在している。彼らは主に競泳と同様の練習をプールで行い、OWS レースに出ることで経験を積むという強化方法をとっている。また、国際競技会での活躍が顕著なオーストラリアでは、海に関する知識が豊富で OWS の経験豊富なライフセーバーが出場している。彼らは、アメリカやヨーロッパ諸国と同様、主にプールで競泳選手と同様のトレーニングをし、夏はプールと海のトレーニングを組み合わせで行っている。このように海外では競泳選手やライフセーバーが OWS に出場しており、トレーニング方法として、プールで競泳と同様のトレーニングをし、それに海のトレーニングやレースを組み合わせている。

一方、日本では OWS 強化において世界から遅れをとっている。2008 年北京五輪では、世界で戦える選手がいなかったとして、日本代表選手の派遣を見送った(鷲見,2008)。そこで 2011 年から競泳強化プログラムの一つとして OWS を入れ、OWS 強化に動き始めたばかりである。しかし実際には、競泳オリンピック日本代表選手は、OWS のレースに出場しておらず、現在の OWS 日本代表選手は競泳でオリンピックに出場できなかった選手である。競泳と OWS は大会が行われるシーズンが夏と同じ時期であり、海で泳ぐことによる選手に与える影響の調査や、指導方法が確立されていないことから、競泳選手が OWS に出場することはリスクが高く、OWS 出場に積極的でないと考えられる。

実際、2010 年 OWS JAPAN OPEN に初出場した競泳選手を対象に、OWS 出場が競泳に与えた影響があるか否か、また OWS と競泳の両立についてどのように思うかアンケート調査をしたところ、多くの選手が「OWS に出場した翌日のプールでのトレーニングで、水の感覚が異なり、スイミングフォームが乱れた気がした。」と答え、両立するにはプールでのパフォーマンスが低下するリスクが高いと感じると述べた。著者自身、ライフセーバーとして活動しており、海でのトレーニングを 1 か月行い、その後プールと海のトレーニングを融合させた練習を行い、OWS に出場している。1 か月間、海でのトレーニングを行った後、プールでのトレーニングを再開すると、泳ぐ感覚に違和感があり、スイミングフォームが乱れているのではないかと感じる。また、その感覚がとれるまでに 1 週間程度かかる。これは多くのライフセーバーが体験する感覚であるが、実際にスイミングフォームが乱れているかは不明である。

1-1-3.競泳と OWS の研究

身体運動はビデオカメラや写真によって動作を記録し、それらの画像から速度や変位などの数量で表現することができる。これは運動の状況を説明する第一の段階である。

競泳選手の動作分析の研究は多くなされている。1968 年に Counsilman は初めてスイマーのストローク動作についての研究を行い、スイマーが手をどのように動かして泳いで

いるかを明らかにした。また、Adrian ら(1966)は、クロール泳は腕と脚を使って行う全身運動であるとして、競泳選手の腕と脚から発揮する推進力の割合を求めた。その結果、腕：脚=10:1 ということが明らかになった。それから現在まで、多くの研究者が推進力をより発揮している腕、手部に関する研究を行っている。

一方、OWS に関する研究を概観すると、国内外において OWS の医科学分野に関する研究は極めて少なく、アメリカのエリート OWS 選手の形態、持久的能力等を測定した Vanheest ら(2004)、OWS レース中における低体温リスクについて述べた Castro ら(2009)、心拍数の変動を通じて OWS 競技中の生理学的特性を明らかにした小林ら (2006)の 3 編である。

競泳については多くの研究がなされ、指導教本も確立されており、代表チームのサポートまでなされているのに対し、OWS のスイミングフォームに関する研究はなされておらず、身体運動の基礎的研究である泳ぎの解明も行われていない。

このように、OWS のスイミングフォームについては明らかになっておらず、指導方法、トレーニング方法については模索中である。このような中、海外の OWS 選手は海でのトレーニングとプールでのトレーニングを組み合わせて行っているという実態がある。

OWS の普及発展のためには、指導方法やトレーニング方法を確立することが必須であり、そのためには、OWS に関する研究を多く行い、OWS の現状を明らかにしていくことが急務である。

身体運動の動作解析をおこない、運動の状況を説明することで、動きの詳細な解明、トレーニング方法の確立がなされる。本研究では、OWS 選手と水泳選手のプールで泳ぐ際のスイミングフォームを撮影し、動作解析を行う。また、OWS 選手に海で泳いでいるスイミングフォーム(海泳ぎ)とプールで泳いでいるスイミングフォーム(プール泳ぎ)を再現させ、その泳ぎの違いを明らかにすることで、OWS 選手のスイミングフォームの特徴、海で泳ぐ際に必要なテクニックを解明する。さらに、ライフセーバーのシーズンのとトレーニング場所の変化による海泳ぎ、プール泳ぎのスイミングフォームに与える影響の違いを

明らかにすることで、OWS 選手の現状を明らかにし、実際に海でのトレーニングを 1 カ月行った後にプールで選手が感じる、スイミングフォームの乱れは生じているのか、また生じているとすれば、その乱れはどの程度プールでの練習を行うことで元に戻るのかを明らかにする。このように OWS 選手の現状を明らかにすることで、今後の OWS の指導方法やトレーニング方法のための基礎資料を得ることを目的とする。

1-2.先行研究小史

1-2-1.OWS 研究の現状

OWS に関する研究は極めて少なく、前述したように、Vanheest ら(2004)の研究、Castro ら(2009)の研究、小林ら(2006)の研究の3編である。また筆者は、卒業論文(原,2009)でOWSレースに必要な能力を明らかにするために、プールにおける400m自由形タイム、最大酸素摂取量(持久力評価)、OWSレースタイムの測定を行った。その結果、OWSレースの記録と400m自由形タイム、最大酸素摂取量との間にそれぞれに、有意な相関がみられた。また、被験者には、競泳経験者と競泳未経験者が含まれていたため、分類して分析してみると、女子競泳経験者では400m自由形タイムとOWSレースタイムに相関がみられないことが明らかとなった($r=0.868$)。これらの結果から、OWSレースにおいて、ある程度の泳力と共に、競泳には存在しないテクニックが必要なのではないかと考えた。このように、OWSに関する先行研究には生理学的な研究はあるものの、バイオメカニクスの研究はなされていない。そのためOWS選手がどのような泳ぎをしているかは明らかとなっていない。

1-2-2.泳ぎのバイオメカニクス

現在、泳動作に関する研究は多くなされているが、初めはスイマーがどのように動いているかを明らかにするところから始まった。Counsilman(1968)は、初めてスイマーがクロール泳のストローク動作でどのように手を動かしているかを明らかにした。その結果、当時の指導書では推進方向にまっすぐかくことが正しいと言われていたが、実際には後方へ手を移動させるだけでなく、上下左右に動かして推進していることが明らかとなった。

また、Adrian ら(1966)は、クロール泳は全身運動であることから、競泳選手の腕と脚によって発揮される推進力を求め、それぞれ10:1の割合で推進力を発揮していることを明らかにしている。同様の研究で、Hollander ら(1988)は腕:脚の推進力=6:1と報告している。

いずれにしても、腕から発揮される推進力が大きいとされたことから、上肢への注目が高まった。さらに、手のひらと前腕部による推進力への寄与は、手のひらの方が大きいと報告されている(Berger and Hollander,1995)。そのため、現在は上肢への注目、また手のひらへの注目が集まっている。

1-2-3.ストローク頻度とストローク長

OWS の勝敗は泳記録により決定する。これは競泳と同じ要素であり、勝負に勝つには、より速い泳速度をできるだけ長く維持することが求められる。

泳速度はストローク頻度(単位時間あたりのストローク回数)とストローク長(1 ストロークで前進する距離)の積で求められる(Craig ら,1979)。競泳種目において、日本水泳連盟 医・科学委員会では 1987 年よりレース分析を実施している。このレース分析方法は、まず泳速度を算出し、その後 5~10 ストローク分の時間を計時して、1 分間あたりのストローク数(ストローク頻度)を求める方法である。ストローク長は泳速度とストローク頻度から求めている(若吉,1992)。

クロール泳法において、ストローク頻度・ストローク長の増加が泳速度の増加に影響することが明らかとなっている。Craig ら(1979)は、泳速度が速い選手はストローク長が長いと報告しており、一方、奥野ら(1998) は日本選手権出場者を対象に泳速度とストローク頻度、ストローク長を測定し、泳速度とストローク頻度・ストローク長との間に有意な相関関係は認められなかったと報告している。つまり、同じ泳速度で泳ぐ選手の中には、ストローク長が長くストローク頻度が低い選手もいれば、ストローク長が短くストローク頻度が高い選手も存在するということである。そこで松田ら(2010)は、競技レベルが近い場合には、泳者は個人特有のストローク長とストローク頻度の関係性(泳タイプ)を有しているのではないかと考え、日本選手権 100m 自由形出場者を対象にストローク長とストローク頻度を変数とし、クラスター分析を用いて、泳タイプを 4 つ(①前後半通してストローク頻度の高い群、②前後半通してストローク長の長い群、③前半ストローク頻度が高く、後

半ストローク長が長い群、④前半ストローク長が長く、後半ストローク頻度が高い群)に分類した。このようにストローク頻度とストローク長は選手の特性を表す指標として使われている。

1-2-4.局面時間比率

動きの解明がなされた後、泳動作は手を上下前後左右に動かすことで推進していることは明らかとなったが、1 ストロークのどこで推進しているのかについては明らかとなっていなかった。そこで Chollet ら(2000)は、クロール泳の腕動作を「キャッチ」「プル」「プッシュ」「リカバリー」の4つの局面に分割し動きの説明を行った。この研究によると「キャッチ」は手が入水してから後方に動かす前まで、「プル」は後方に動かしはじめてから、垂直方向に肩のラインと同じになるまで、「プッシュ」は肩のラインから手が離水するまで、「リカバリー」は手が離水してから再び入水するまでと定義されている。ここでのキャッチ局面とリカバリー局面は推進力を発揮していない局面であり、プル局面とプッシュ局面でのみ推進力を発揮していると報告している。また、被験者によって、1 ストロークに要する時間が異なることから、1 ストロークにかかる時間に対する各局面の時間を比率で表し、どの局面に長く時間をかけているかを明らかにした。

局面時間比率に関する研究は多くなされており、Seifert ら(2004)は、競泳選手は泳速度が増すと1 ストロークにおけるキャッチ局面時間比率を少なくし、プル・プッシュ局面時間比率を多くして、ストローク頻度の高い泳ぎをすると報告している。また、Christophe ら(2011)は、泳レベルの異なる選手の各局面時間比率を算出し、泳レベルの高い選手は1 ストロークにおけるキャッチ局面時間比率が多く、プッシュ局面時間比率が少ないと報告している。バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、クロールの4泳法それぞれのストローク局面時間比率も算出されており、泳法によって大きく異なることが明らかとなっている(Seifert ら,2007;Collet ら,2008;Seifert ら,2005;Collet ら,2000)。Carla ら(2011)は、長距離選手と短距離選手に同じ泳速度(スプリントペース)で泳がせた時の局面時間比率を比較し、その

結果、長距離選手はプル局面時間比率が多く、短距離選手は長距離選手に比べてプル局面時間比率が少ない代わりに、短時間でより大きな力を発揮していることが示唆される、と報告している。

また、Hue ら(2003)はウエットスーツを着たトライアスロン選手と水着の競泳選手の局面時間比率を比較した実験を行っている。その結果、ウエットスーツ着用のトライアスロン選手は、競泳選手に比べて、プル局面時間比率が有意に少なく、ストレッチ局面(Collet の定義するキャッチ局面)時間比率が有意に多いことを明らかにした。これはウエットスーツを着ている為に、浮力を得ていることでより *front resistances*(抗力)を少なくでき、ウエットスーツがより効率の良い推進状況を生んでいるためとしている。

以上のように、局面時間比率は泳速度、泳レベル、ストローク頻度、泳法の違い、選手の特性と関連しており、局面時間比率を検討することで、選手がどの局面に多くの時間をかけているかが明らかとなり、選手の特徴を知ることができる。

1-2-5. 指先の軌跡

Counsilman(1968)は、初めて競泳選手の指先の軌跡を撮影し、当時、指導書では推進方向のみに手を動かしているとされていたが、実際には 3 次元的に手を動かしていることを明らかにした。またこれらの軌跡から、競泳選手は、入水後に手を後方に動かす前まで(ストレッチ局面で)は推進力を発揮することができず、そのため、ストレッチ局面では抵抗を受けないようにまっすぐ前に手を伸ばしているとし、この局面で手を上下動させると抵抗を受け、非効率的な泳ぎとなると報告している。また、高木ら(1993)は、選手の左手と右手の軌跡を明らかにし、左右のストローク動作の評価を行っている。短く深い縦長な軌跡は入水後しっかりと水をつかんで、フィニッシュを迎えており、効率の良いプルを行っているとし、一方、やや横長の楕円を描いている場合は、入水後に無駄なグライド動作(のび)をしているとしている。このように、軌跡は選手が実際にどのように手を動かしているかを明らかにすることができ、ストローク動作の評価として使用され有益な情報となる。

1-2-6.手の速度変化

Maglischo ら(1986)は、1984 年のオリンピック金メダリストを対象に、手(中指)の速度変化と体の前進速度の関係を明らかにし、1 ストロークの後半で手部速度の最大値がみられ、その時に体の前進速度も最大になることを明らかにした。また、Cappaert ら(1993)は多くのオリンピックメダリストを対象に、1 ストロークの手部(中指)速度変化とその 1 ストローク中の選手自身の速度・加速度変化を明らかにした。その結果、スイマーは手を後方に動かしている時のみ体を加速していることが明らかとなり、後ろにかく手部速度が最大の時に前進速度の加速が終了することが明らかとなった。

1-2-7.手の傾き

先述したとおり、泳ぐときの推進力は多くが上肢によって発揮される。それまでの多くの研究は手の軌跡の評価によって行われていたが、その一点の動きで、どの向きに水を押しているかまでは正確に述べることはできなかった。そこで、Schleithauf(1979)は、手の傾きによって手が水から受ける抵抗力を明らかにし、抗力(推進方向とは逆向きに働く力)と揚力(抗力に垂直に働く力)の合力として推進力を生んでいるという合力理論を打ち出した。この理論によると、ストローク動作中に揚力と抗力の両方が発生し、その合力は常に推進方向を向いていることを示している。また、手は水の推進方向に対して傾きをつけるほど、抗力が増し、揚力は手と水流との傾きが 40° あたりまで上昇し、その後低下していく傾向にあると報告している(図 1)。さらに、最大推進力のポイントは手の傾き角度が 90° の時であると報告している。このように手の動きは推進力と強く関連しており、手の傾きによって発揮される推進力が変化することが明らかとなっている。つまり、手の傾きや傾きの変化をみるだけでも、推進メカニズムの一端をみる可以说是。

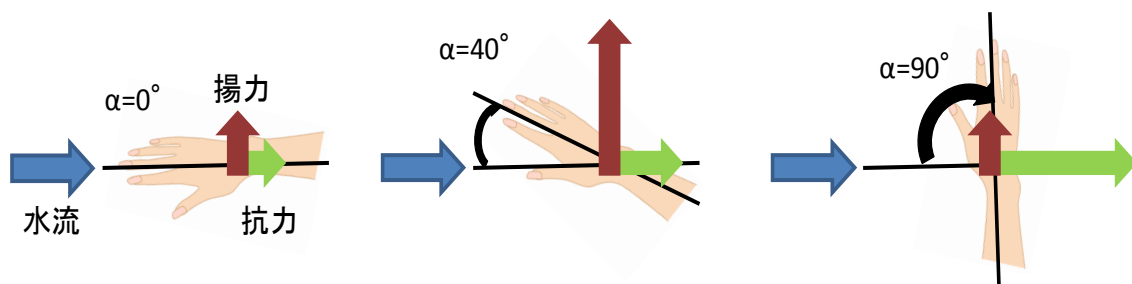


図 1 水流に対する手の傾きと揚抗力の変化

1-3.本研究の目的

OWS ではレース中に前方確認をしながら泳ぐ必要があり、OWS のタイムは競泳選手のプールにおける 400m 自己ベストタイムと必ずしも比例しない(原,2009)ことから、競泳には存在しない OWS に特有な動作が存在すると考えられる。しかし、先行研究において OWS に関するバイオメカニクス的研究はなされておらず、OWS 選手が海でどのような動きを行っているか、またそれはプールで泳ぐ時と異なるかは明らかとなっていない。動作の解明は運動の状況を説明する第一の段階であり、現状が明らかにならなければ、さらなる研究や見解を示すこともできず、トレーニング方法や指導方法を確立することはできない。そのため、現在の OWS の指導方法は非常に抽象的であり、強化方法も十分でない。

これらを解決するために本研究では、実験 1 において、OWS 選手と水泳選手がプールで泳ぐ際の通常のクロール泳(以下、プール泳ぎ)の動作解析を行い、スイミングフォームに相違があるかを明らかにする。また、実験 2 では OWS 選手に海での泳ぎ(以下、海泳ぎ)を再現させ、プール泳ぎのスイミングフォームとの違いを明らかにする。これら 2 点から、OWS 選手のスイミングフォームの特徴、海での泳ぎで特有なテクニックを明らかにする。

また、OWS 選手は海とプールという 2 か所のトレーニング場所が存在し、シーズンによってトレーニング場所を変えている。海で泳ぐということは競泳選手と大きく異なる点であり、海で泳ぐことがスイミングフォームに与える影響は明らかとなっていない。競泳選手が OWS に進出してくる際に、シーズン期間中に OWS 選手がどのようなスイミングフォームの変化があるかを明らかにしておくことは重要な資料となると考える。そこで、実験 3 では、海とプールでのトレーニングを組み合わせで行っている OWS 選手(ライフセーバー)を対象に、シーズンによって海泳ぎやプール泳ぎがどのように変化しているかを明らかにし、シーズンによる練習場所の違いは、各泳ぎのスイミングフォームに異なった影響を及ぼすか否かを明らかにする(図 2 参照)。

このように本研究により OWS 選手の現状を明らかにすることで、今後の OWS の基礎資料とすることを目的とする。

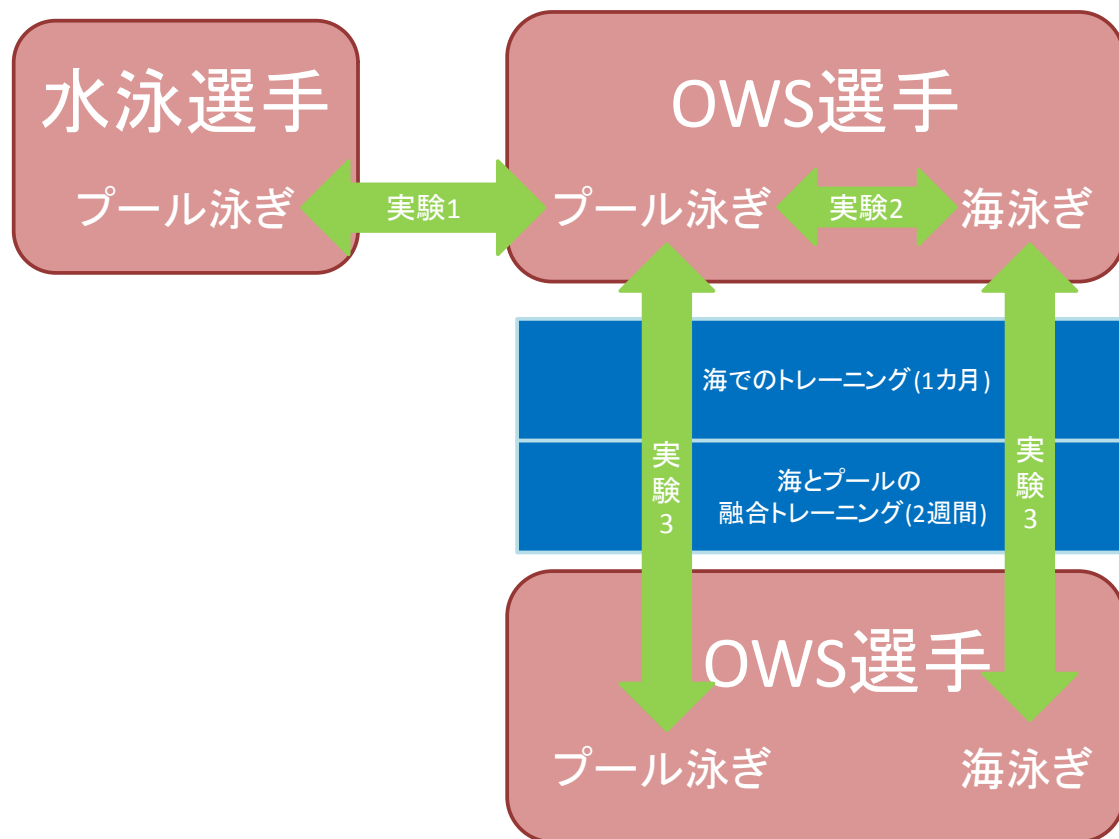


図 2 本研究のデザイン

第2章 実験1「OWS選手と水泳選手のプール泳ぎの違い」

2-1.方法

2-1-1.被験者

被験者は心身ともに健康かつ水泳のトレーニングを十分に積んでいる男子大学生 9 名(水泳群)、海での水泳トレーニングを十分に積んでいる男子大学ライフセーバー9名(OWS群)の計 18 名とした(表 1)。水泳群・OWS 群の競泳レベルは、FINA ポイントで 50m 自由形はそれぞれ 486 ポイント、491 ポイント程度であり、100m 自由形は、水泳群・OWS 群共に 540 ポイントに匹敵する。また、OWS 群はライフセービング全日本学生選手権サーフレース(400mOWS)の決勝進出者である。なお、被験者は全員右側で呼吸を行う選手とした。本研究に先立って、各被験者に対し実験の説明を行い、被験者として自主的に参加することの同意を文書で得た。なお、本研究は早稲田大学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」(承認番号 2011-094)の承認を得ている。

表 1 被験者の身体的特徴および泳力レベル

	水泳群(n=9)	OWS群(n=9)	p値
年齢(歳)	21.7±0.7	21.6±1.0	0.59
身長(cm)	170.0±4.1	169.6±5.1	0.86
体重(kg)	65.4±7.3	63.3±4.3	0.48
50mベストタイム(s)	26.6±1.0	26.5±0.8	0.86
100mベストタイム(s)	57.6±1.5	57.6±1.3	0.97
平均値±標準偏差			

2-1-2.実験設定

試技は 50m 室内プールにおいて行われた。被験者には十分なウォーミングアップ後、実際の OWS 競技中の泳速度(レースペース)と合わせるため、50m を 35 秒のペース(以下、35 秒ペース)で、プールで泳ぐ際の通常のクロール泳(プール泳ぎ)を行わせた。また試技中は通常通り、右側で呼吸をさせ、必ず撮影範囲では呼吸動作をさせた。泳速度を正確に実

現できるようにするため、ウォーミングアップの際には必ず 50m を 35 秒で泳ぐ練習をし、ペースを確認させた。本番でも 35 秒ペースを維持できるように、検者が進行方向に向かって、右側のプールサイドを歩行し、被験者が右側で呼吸をする際に確認できるようにした。

2-1-3.VTR 撮影(図 3)、座標系の定義

撮影は 2 台の水上ビデオカメラ(Everio,SONY 社製,毎秒 30 コマ)、2 台の水中高速度カメラ(Sports CorderDuo,DITECT 社製,毎秒 200 コマ,露出時間 1/500)を用いて行った。撮影範囲は、スタート地点から 40~42m の間とした。2 台の水中高速度カメラの同期は PC を用いて行った。水中高速度カメラから撮影した動作は、DLT 法(Direct Liner Transformation method)により 3 次元座標を算出した。キャリブレーションは試技前に 40cm×40cm×140cm の直方体格子を用いて行った。原点はキャリブレーション格子の水中高速度カメラに近い面の左下の頂点とし、x 軸は進行方向、y 軸は進行方向に対して左右(左右方向)、z 軸は垂直方向とした。それぞれ進行方向に向かっている場合を x 軸の正の値、カメラ側からプール奥方向に向かっている場合を y 軸の正の値、プール底面から水面に向かっている場合を z 軸の正の値とした。

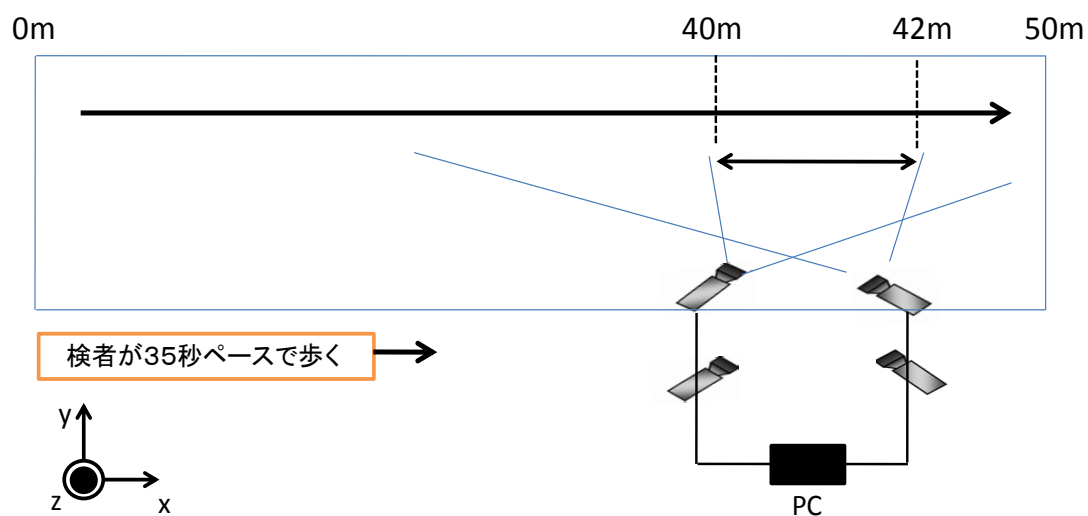


図 3 VTR 撮影図

2-1-4.データ処理

右腕を分析対象とし、測定点を図4に示した。右腕の測定点は、右手第3末節骨、右尺骨茎状突起、右肩峰の3点とした。

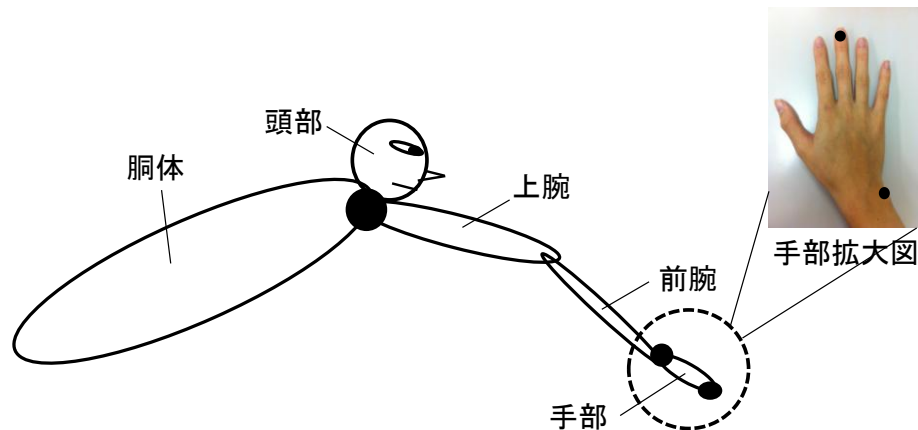


図4 測定点

撮影された水中 VTR 画像は PC に取り込み、その画像上の測定点を動作解析ソフト (Motion-pro,DITECT 社製)を用いて、1 コマごとにデジタイズした。各測定点の座標を 3 次元 DLT 法によって実長換算し、平滑化は Butterworth digital filter(Winter 1979)により遮断周波数 6Hz のローパスフィルタを用いて高周波成分を除去した。水上 VTR 画像も PC に取り込んだ。

2-1-5.測定項目およびその算出方法

2-1-5-1.分析精度検証

本研究の動作分析では 3 つの誤差要因が生じていると考えられる。

(1) 手動デジタイズによる誤差

映像画面上の分析点を数値化するには、デジタイズという作業を行う。その方法として、ソフトウェアを用いて測定点を自動追尾する自動デジタイズと、検者の目で測定点を判断し、手動でデジタイズを行う手動デジタイズがある。本研究では、手動デジタイズを行っており、検者のデジタイズによる誤差が生じていると考えられる。そこで、デジタイズか

ら得られたデータの精度を検証するために、被験者一人の一試技をランダムに抽出し、その試技に対して 10 回のデジタイズを行った。得られた座標データから各測定項目を算出し、10 回分のデータの標準偏差、及び変動係数を算出し、デジタイズ精度を明らかにした。

(2) レンズの歪みによる誤差

ビデオカメラによって撮影された映像には、レンズによる歪みが生じる。そこで、レンズの歪みによる誤差を、キャリブレーション格子を用いて算出し、キャリブレーション範囲内の x 軸方向、y 軸方向、z 軸方向に生じている誤差を明らかにした。

(3) キャリブレーション範囲外による誤差

1 コマごとに得られたデータはキャリブレーションエリア内でのみ正確性が保たれており、キャリブレーションエリア外では誤差が生じる。本研究では動作がキャリブレーションエリア外に及んだ為、得られたデータには実長との誤差が生じていると考えられる。そこで、被験者一人をランダムに抽出し、その被験者の前腕の長さの実長(上腕骨内側上顆から第 5 右手骨根までの長さ)を測定した。また、映像全コマから得られる前腕の長さ(このデータはキャリブレーションエリア外による誤差、デジタイズ誤差、レンズの歪みによる誤差が含まれる。)の平均値と標準誤差を算出した。これらと実長の長さを比較することで、一連の泳動作における誤差を明らかにした。

2-1-5-2.ストローク頻度およびストローク長

水上カメラから得られた画像を元に、分析対象である右手が入水してから、再び右手が入水するまでを 1 ストロークとし、1 分間におけるストローク回数を算出して、ストローク頻度(stroke/min)とした。ストローク長は日本水泳連盟医・科学委員会のデータ分析法を用いて、泳速度とストローク頻度から算出した。

2-1-5-3.軌跡長(xyz,xy,yz,xz)

全軌跡長(xyz 軌跡)と xy 平面、yz 平面、xz 平面上のそれぞれの軌跡を PC 上で得られた x 座標、y 座標、z 座標から算出した。

$$\text{xyz 軌跡} = \sum_{t=0}^{\text{水中ストローク動作終まで}} \sqrt{(x_{t-1} - x_t)^2 + (y_{t-1} - y_t)^2 + (z_{t-1} - z_t)^2}$$

$$\text{xy 軌跡} = \sum_{t=0}^{\text{水中ストローク動作終まで}} \sqrt{(x_{t-1} - x_t)^2 + (y_{t-1} - y_t)^2}$$

$$\text{yz 軌跡} = \sum_{t=0}^{\text{水中ストローク動作終まで}} \sqrt{(y_{t-1} - y_t)^2 + (z_{t-1} - z_t)^2}$$

$$\text{xz 軌跡} = \sum_{t=0}^{\text{水中ストローク動作終まで}} \sqrt{(x_{t-1} - x_t)^2 + (z_{t-1} - z_t)^2}$$

ここで x_t とは時刻 t における指先の座標値 x である。

2-1-5-4.1 ストロークの局面時間比率

Collet ら(2000)の算出方法を参考に、右手の 1 ストロークの局面分けを行った。

指が入水してから、後方に動かし始める前まで(右肩峰の x 座標と右指先 x 座標の距離が最大の時)をストレッチ局面、後方に動かし始めてから、指先が最深部に到達するまでをプル局面、指先が最深部を通過してから、離水するまでをプッシュ局面、離水してから再び入水するまでをリカバリー局面とし、1 ストロークを 4 つに分類した。(図 5 参照)

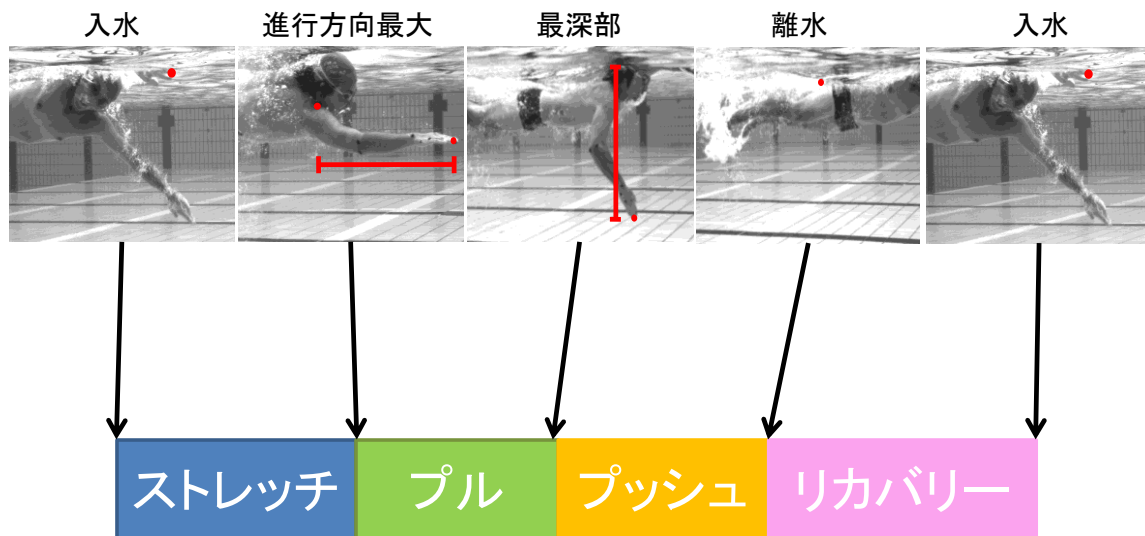


図 5 1 ストロークの局面分け

局面時間比率は、各局面に要する時間を右手の 1 ストロークに要している時間で除することで、算出した。

2-1-5-5. 水中の指先の軌跡(図 6)

(1)進行方向の最大値：指先が移動する x 座標の最大値から入水地点の x 座標を減ずることにより算出した。

(2)最深部：入水地点の z 座標から指先が示す z 座標の最小値を減ずることにより算出した。

(3)肩に対する最深部：上記で示した、指先の最深部を示した際の、肩の z 座標から指先の z 座標を減ずることにより算出した。

(4)ストレッチ局面における上下動：ストレッチ局面における z 座標から算出し、ストレッチ局面における最小値を示した後に上昇をした場合、その z 座標の最大値からストレッチ局面における最小値を減ずることによりストレッチ局面中の z 座標の変化を算出した。また上下動を示さないデータについては 0 とした。

(5)左右方向の最大値：指先が移動する y 座標の最大値から入水地点の y 座標を減ずることにより算出した。

(6)左右方向の最小値：指先が移動する y 座標の最小値から入水地点の y 座標を減ずることにより算出した。

(7)左右方向の幅：上記で示した y の最大値から最小値を減ずることにより算出した。

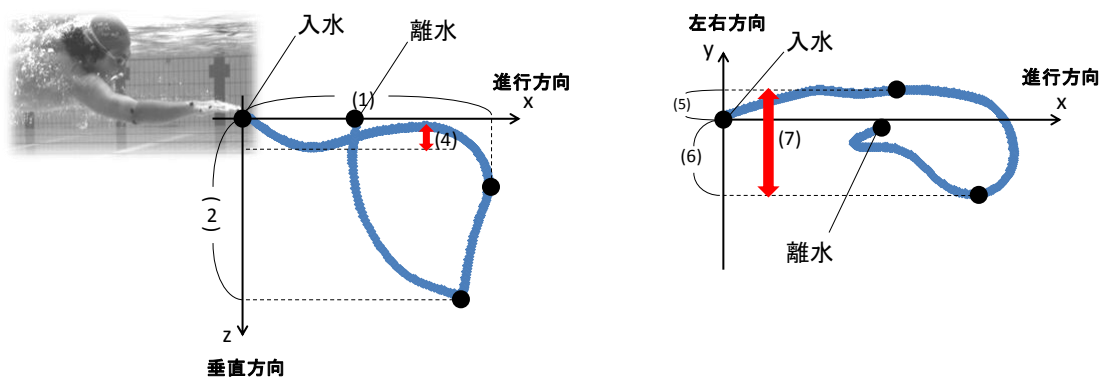


図 6 被験者 A の指先の軌跡；xz 平面(左)、xy 平面(右)

2-1-5-6. 手部の速度変化(図 7)

中指を手部の代表点とし、手部の速度の変化を明らかにした。

(1)合成速度の最大値：1 フレームで実際に進んだ距離を 1 フレームの時間で除することにより算出した。

(2)合成速度の最大値が現われる時間：上記で示した速度の最大値が現われるフレームを 1 ストロークの水中動作に要するフレーム数で除することにより、時間に対する相対値で示した。

(3)進行方向速度：1 フレームで x 軸方向に進んだ距離を 1 フレームの時間で除することにより算出した。進行方向速度については最大値、最小値を求めた。

(4)進行方向速度の最小値が現れる時間：上記で示した進行方向速度の最小値が現れるフ

レームを1ストロークの水中動作に要するフレーム数で除することにより、時間に対する相対値で示した。

(5)垂直方向速度：1フレームでz軸方向に進んだ距離を1フレームの時間で除することにより算出した。垂直方向速度について最大値、最小値、ストレッチ局面における垂直方向速度の最大値を求めた。

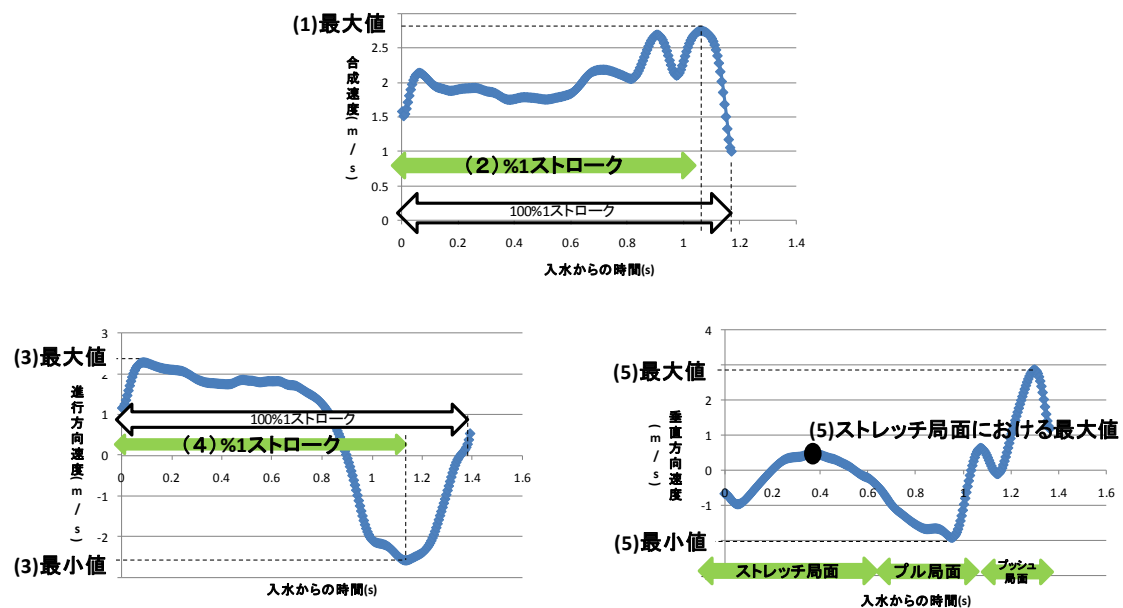


図7 速度変化グラフ(上段：合成速度、下段左：進行方向速度、下段右：垂直方向速度)

2-1-5-7. 手の傾き変化(図8)

手の傾きの定義として、xz平面上で右手第3末節骨と右尺骨茎状突起を結ぶ直線が水面となす角として求めた。水面に対して上向きをプラス、下向きをマイナスと定義した(図8左)。

(1)最大値：1ストローク中の手の傾きの最大値を求めた。

(2)最深部における手の傾き：プル局面が終了した時の手の傾きを求めた。

(3)手の傾きが-90度となる時間：手の傾きが-90°を示したときのフレーム数から手

が入水した時のフレーム数をひき、その値を1ストロークのフレーム数で除することにより算出した。

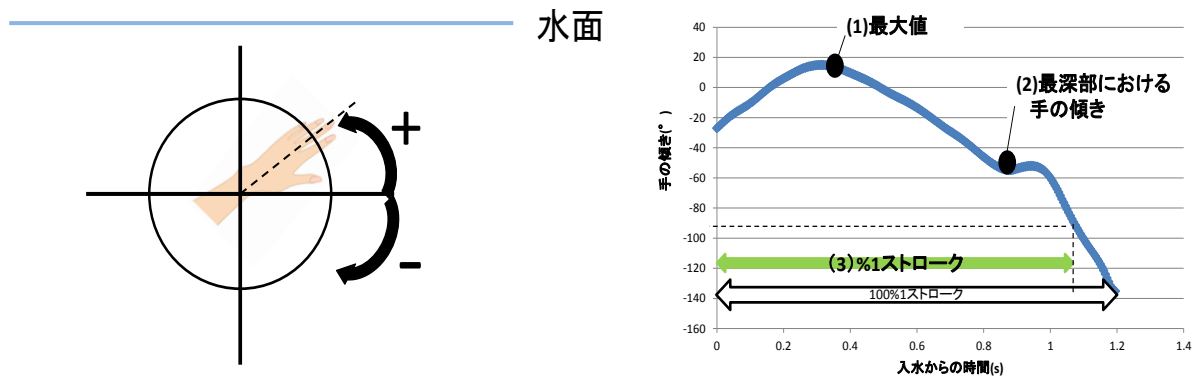


図 8 左：手の傾きの設定、右：手の傾きの変化

2-1-6.統計処理

各測定項目については平均値と標準偏差を求めた。海泳ぎとプール泳ぎにおける各項目に対して対応のない t 検定を行った。本研究ではすべての検定において有意水準を 5%未満とした。

2-2.結果

2-2-1.分析精度検証

(1) デジタイズ誤差

検者の手動デジタイズによる誤差を表 2 に示した。

表 2 デジタイズ誤差

	標準偏差	変動係数
xyz軌跡(m)	0.01	0.00
xy軌跡(m)	0.01	0.00
yz軌跡(m)	0.01	0.01
xz軌跡(m)	0.01	0.00
進行方向の最大値(m)	0.01	0.01
最深部(m)	0.00	0.00
肩に対する最深部(m)	0.00	0.00
左右方向の最大値(m)	0.01	0.17
左右方向の最小値(m)	0.01	0.06
左右方向の幅(m)	0.00	0.01
出水時の左右方向の値(m)	0.00	0.03
合成速度の最大値(m/s)	0.03	0.01
合成速度の最大値が現われる時間(%水中時間)	0.41	0.00
進行方向速度の最大値(m/s)	0.02	0.01
進行方向速度の最小値(m/s)	0.02	0.01
進行方向速度の最小値が現われる時間(%水中時間)	0.37	0.00
垂直方向速度の最大値(m/s)	0.02	0.01
垂直方向速度の最小値(m/s)	0.02	0.01
ストレッチ局面での垂直方向速度の最高値(m/s)	0.01	0.08
手の傾きの最大値(°)	0.44	0.24
最深部における手の傾き(°)	0.30	0.00
手の傾きが-90度となる時間(%水中時間)	0.00	0.00

(2) レンズの歪みによる誤差

レンズの歪みによるキャリブレーションエリア内の誤差は x 軸方向 0.5cm、y 軸方向 0.8cm、z 軸方向 0.7cm であった。

但し、この誤差には格子の組み方による誤差、手動デジタイズによる誤差を含む。

(3)1 ストローク中に生じている誤差

ランダムに抽出された被験者 A の前腕の実長は 22.2cm であり、一連の動作の映像により各フレームから算出された前腕の長さの平均値と標準誤差は $22.0 \pm 0.4\text{cm}$ であった。

このように、本研究では上記の誤差が生じている。

2-2-2. 軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

OWS 群と水泳群の xyz 合成、xy 合成、yz 合成、および xz 合成の軌跡長、ストローク頻度とストローク長を表 3 に示した。軌跡長において、有意な差は見られなかった。ストローク頻度は水泳群よりも OWS 群で高い傾向がみられ($p=0.06$)、ストローク長は水泳群よりも OWS 群で短い傾向がみられた($p=0.06$)。

表 3 軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

	水泳群	OWS群	p値
xyz軌跡(m)	2.74 ± 0.20	2.69 ± 0.34	0.71
xy軌跡(m)	2.21 ± 0.18	2.31 ± 0.68	0.68
yz軌跡(m)	1.58 ± 0.26	1.72 ± 0.28	0.28
xz軌跡(m)	2.50 ± 0.16	2.33 ± 0.39	0.25
ストローク頻度(stroke/min)	33.83 ± 3.51	36.83 ± 2.92	0.06
ストローク長(m/stroke)	2.56 ± 0.25	2.34 ± 0.20	0.06
平均値±標準偏差			

2-2-3. 1 ストロークの局面時間比率

OWS 群と水泳群の局面時間比率を図 9 に示した。

OWS 群において、水泳群に比べてストレッチ局面にかける時間の割合が有意に少なく($p=0.005$)、プル局面にかける時間の割合が有意に多かった($p=0.004$)。

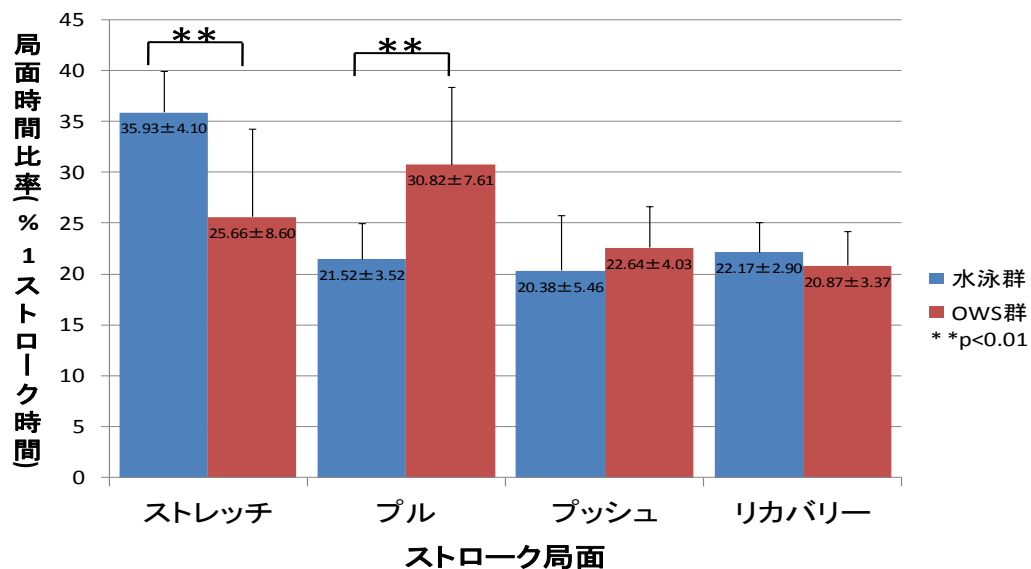


図 9 右手の 1 ストロークの局面時間比率

2-2-4. 指先の軌跡

各項目の値について表 4 に示した。また、全被験者の xy, xz 平面の指先の軌跡に対して、水中時間を 100% として時間の正規化を行い、入水位置を原点とした平均の軌跡を求め図 10 に示した。各項目において有意な差はみられなかった。

表 4 水泳群と OWS 群の軌跡のデータ

(m)	水泳群	OWS群	p値
進行方向の最大値	1.13 ± 0.10	1.00 ± 0.34	0.28
最深部	0.63 ± 0.09	0.65 ± 0.07	0.63
肩に対する最深部	0.56 ± 0.05	0.58 ± 0.04	0.31
ストレッチ局面における上下動	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.02	0.79
左右方向の最大値	0.12 ± 0.14	0.06 ± 0.06	0.20
左右方向の最小値	-0.26 ± 0.09	-0.37 ± 0.27	0.26
左右方向の幅	0.38 ± 0.11	0.43 ± 0.25	0.62
出水時の左右方向の値	-0.15 ± 0.07	-0.16 ± 0.13	0.83
平均値±標準偏差			

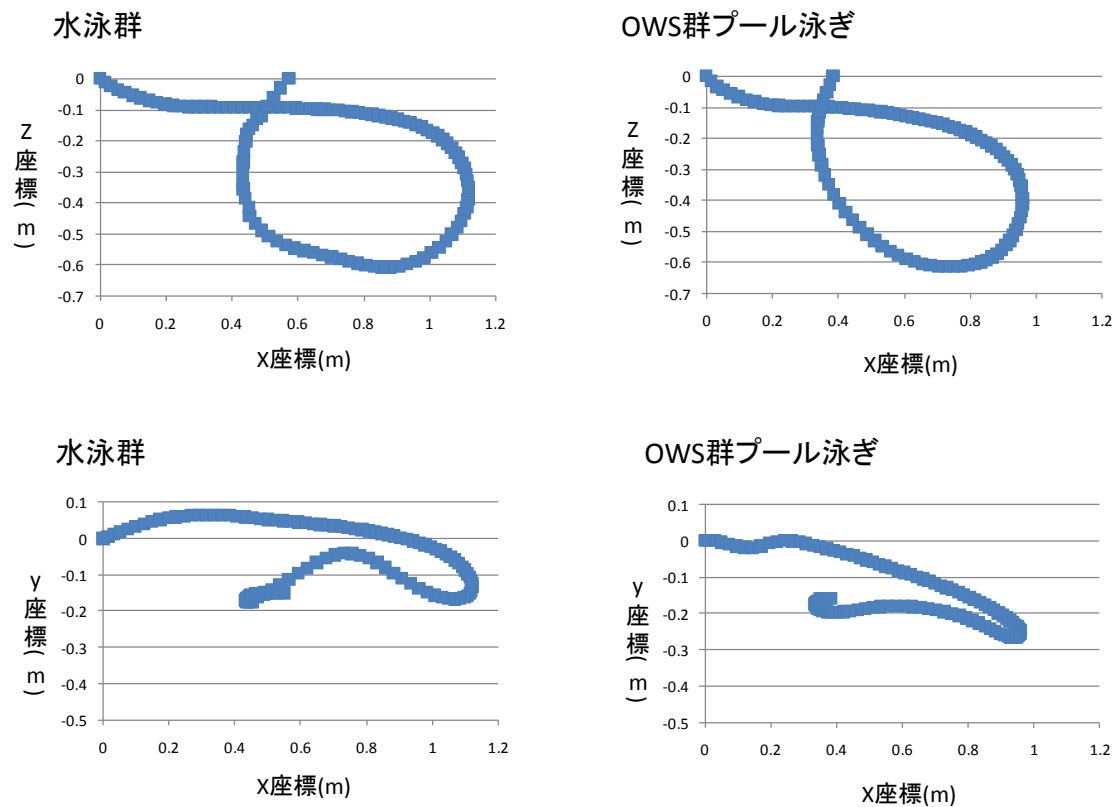


図 10 水泳群、OWS 群の指先の平均の軌跡(上段： xz 平面、下段： xy 平面)

2-2-5. 速度グラフ

速度に関する測定項目を表 5 に示した。有意差が見られた項目は進行方向速度の最小値が現われる時間で、水泳群では OWS 群に比べて、1 ストロークの水中動作のより後半で見られることが明らかになった(図 11)。その他の項目については有意な差は見られなかった。

表 5 水泳群と OWS 群の速度に関する測定データ

	水泳群	OWS群	p値
合成速度の最大値(m/s)	3.17±0.35	3.06±0.23	0.49
合成速度の最大値が現われる時間(%水中時間)	85.14±2.06	80.39±9.68	0.20
進行方向速度の最大値(m/s)	1.94±0.37	2.00±0.30	0.73
進行方向速度の最小値(m/s)	-2.58±0.41	-2.32±0.32	0.16
進行方向速度の最小値が現われる時間(%水中時間)	82.82±6.57	75.16±6.65 *	0.03
垂直方向速度の最大値(m/s)	2.79±0.15	2.95±0.53	0.42
垂直方向速度の最小値(m/s)	-1.83±0.23	-1.86±0.34	0.79
ストレッチ局面での垂直方向速度の最大値(m/s)	0.10±0.12	0.05±0.22	0.54

平均値±標準偏差

* p<0.05 vs 水泳群

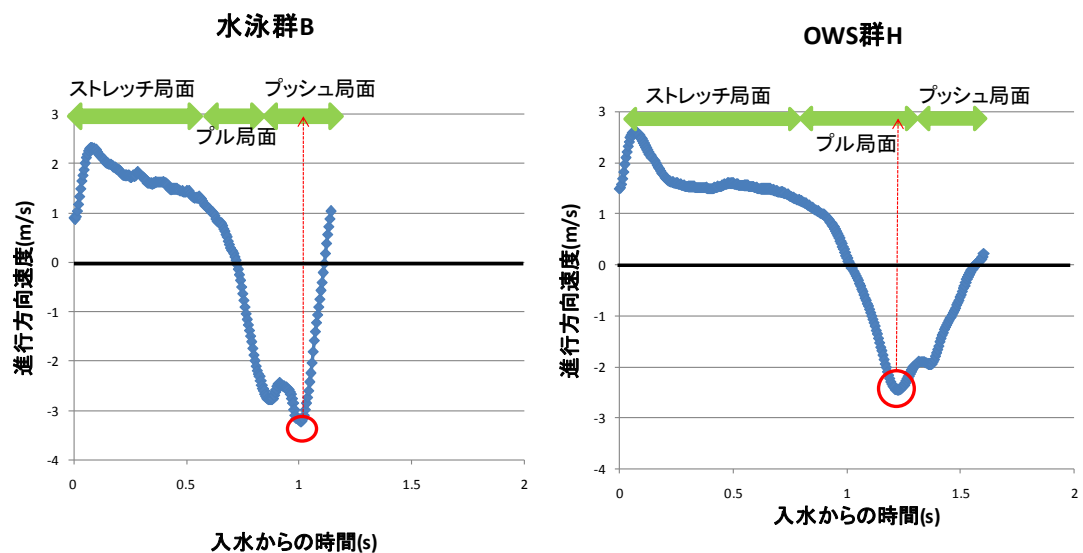


図 11 水泳群 B(左)と OWS 群 H(右)の水中時の指先の進行方向速度変化

2-2-6. 手の傾きの変化

各測定項目についての結果を表 6 に示した。全項目において有意な差はみられなかった。

表 6 手の傾きに関する測定項目データ

	水泳群	OWS群	p値
最大値(°)	4.09±6.09	1.03±7.43	0.35
最深部における手の傾き(°)	-74.90±8.18	-76.55±10.51	0.71
手の傾きが-90度となる時間(%水中時間)	82.81±3.48	79.09±6.11	0.13
平均値±標準偏差			

2-3.考察

2-3-1.軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

軌跡長について、水泳群と OWS 群で有意な差はみられなかった。また、OWS 群のプール泳ぎは水泳群のプール泳ぎに比べて、ストローク頻度が高い傾向にあり($p=0.06$,表 3)、ストローク長が短い傾向がみられた($p=0.06$,表 3)。泳速度はストローク長とストローク頻度の積によって表され、ある一定の泳速度において、ストローク頻度とストローク長の適正な値はスイマーによって異なると報告されている(Craig ら,1979)。松田ら(2010)の先行研究では、ストローク頻度とストローク長の 2 要因で選手の泳タイプを分類することができると報告している。また、現場ではストローク頻度とストローク長をストロークの評価として使用しており、同じ泳速度で泳いでいる場合に、ストローク頻度を高くし、ストローク長を短くして泳ぐ選手をピッチ型、ストローク頻度を減らし、ストローク長を長くして泳ぐ選手をストローク型と表現している。本研究により、OWS 群におけるストロークの特徴として、水泳群よりもストローク頻度が高く、ストローク長の短い泳ぎをしていたことから、ピッチ型であると考えられた。

2-3-2.1 ストロークの局面時間比率

1 ストロークの局面時間比率を見ると、OWS 群では水泳群に比べて、ストレッチ局面にかける時間の割合が少なく、プル局面にかける時間の割合が多いことが明らかとなった(図 9)。本研究のストレッチ局面は「手を入水してから、後方に動かし始める前まで」と定義しており、入水後、前の水を捉えるまでの動作を行っている局面である。プル局面は「後方に動かし始めてから、最深部に達するまで」と定義しており、推進力を発揮しはじめてから、手が最深部に達するまでの局面である。つまり、OWS 群では水泳群に比べて、入水後、前に手を伸ばして水を捉える動作にかける時間の割合が少なく、早めに後方にかきはじめ、最深部までにかかる時間の割合が多い泳ぎをしている。

局面時間比率に関する研究は多くなされている。Seifert ら(2004)はストローク頻度が高

い泳ぎをしている時、ストローク頻度が低い時に比べて、ストレッチ局面にかかる時間の割合が少なく、プル局面にかかる時間の割合が多いと報告している。

本実験では、先行研究と同様、OWS 群では水泳群に比べて、ストローク頻度が高く、ストレッチ局面にかかる時間の割合を少なくし、プル局面にかかる時間の割合を多くする泳ぎをしていた。

2-3-3. 指先の軌跡

Counsilman(1968)は、競泳選手の泳動作を撮影し、進行方向のみに手を動かしているのではなく、3 次的に手を動かし、インスweep(水面と並行な面において、体に対して内側にかく動作)、アウトスweep(体に対して外側にかく動作)の動きをすることで、推進していると述べている。また、高木ら(1993)は、競泳選手の側方から泳動作中の指先の軌跡を撮影することで、選手の泳ぎの評価を行っている。その結果、入水後しっかり水をつかんで離水している選手は短く深い縦長の軌跡(図 12 左図)を示し、効率の良いプルを行っていると評価している。また、やや横長の楕円を描いている軌跡(図 12 右図)は入水から後ろにかきはじめる前までに無駄なストレッチ局面をおこなっていると評価している。

そこで、本研究では水泳選手と OWS 選手の手軌跡に相違があるかを明らかにする為、進行方向の最大値、最深部、左右方向の幅(最大値－最小値)、出水時の左右方向の値をみることで、水泳群と OWS 群の軌跡の違いを定量化し評価した。その結果、全項目で有意な差がみられなかった(表 4)ことから、水泳選手と OWS 選手は同様の手の動きをしており、先行研究と同様に 3 次的に手を動かしていることが明らかとなった。

また、Counsilman(1968)の先行研究によると、入水後に手を後ろにかきはじめる前まで(ストレッチ局面で)は泳者は推進力を発揮することができない為、抵抗を受けないようにまっすぐ前に手を伸ばさなくてはならない。この局面で手を上下動させると抵抗を受け、非効率的な泳ぎになると報告している。そこで、ストレッチ局面における z 座標の最小値と最大値を算出し、上下動について定量化して評価した。その結果、先行研究の結果と同

様に、OWS 群と水泳群共に上下動は確認されなかった。

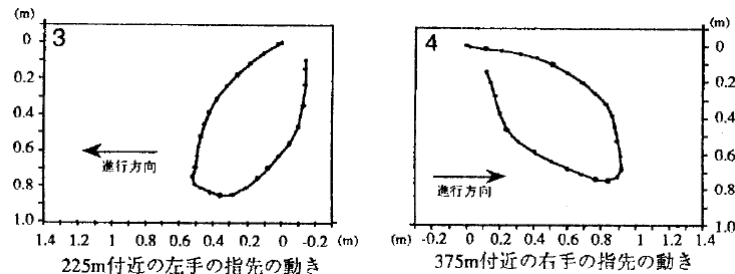


図 12 軌跡の違い(高木,1993)：左図が良いかき、右図は無駄なストレッチ動作を行っている軌跡

2-3-3-4.手部の速度変化について

本研究では先行研究と同様に中指を手部の代表点とし、手部合成速度の変化を明らかにした。その結果、合成速度の最大値、また最大値が現われる時間に有意な差は見られなかった(表 5)。Maglischo ら(1986)は先行研究で 1 ストロークの後半で手部(中指)速度の最大値がみられ、その時に体の前進速度も最大となると報告している。また、Cappaert ら(1993)の研究も同様に、スイマーは手を後方に動かしている時のみ体を加速させているとし、手部速度が最大の時に体の前進速度の加速が終了すると報告している。本実験では、先行研究と同様、水泳群と OWS 群は 1 ストロークの後半で手部合成速度が最大となり(表 5)、両群で最大となる時間に有意な差はなく、同様の手部合成速度変化をしていることが明らかとなった。

一方、先行研究では行われていないが、手部速度の相違を詳細に検討するために、中指の速度を進行方向速度(速度 x)と垂直方向速度(速度 z)に分け、それぞれの最大値と最小値を算出した。各方向速度の最大値と最小値については有意な差が認められず、水泳群と OWS 群で同程度の幅で速度変化をしていることが明らかとなった(表 5)。また、進行方向速度の最小値が現われる時間をみることで、進行方向とは逆向きの最も大きい速度成分を持っている時間が、1 ストロークにおいてどの時点で現われるかを検討した。その結果、

進行方向速度の最小値が現われる時間に有意な差がみられ、OWS 群では水泳群に比べて、1 ストロークのより前半で現われた(表 5)。このことは OWS 群では水泳群よりも 1 ストロークのより前半で、進行方向と逆向きの速度成分が最も大きくなっており、その時点まで手が加速していることを示唆している。先行研究では、水泳選手は手を 3 次元的に動かすことにより推進しているが、手を後ろにかきはじめるまでは泳者は推進力を発揮することができない(Counsleman,1968)と述べられていることから、水泳選手が進行方向に進むためには、進行方向成分の力発揮が重要であると言える。手部の進行方向速度変化から、OWS 群では水泳群よりも 1 ストロークのより前半で、進行方向に対して大きな推進力を生み、それ以降は上下左右に手を動かし、推進していると推測できる。しかし、本研究では推進力を実測していないことから、正確にどの程度の力発揮をしていたかについては言及できない。

先述した通り、Counsleman(1968)は、入水後に手を後ろにかきはじめる前まで(ストレッチ局面で)は、抵抗を受けないようにまっすぐ前に手を伸ばさなくてはならないと報告している。そこで、垂直方向速度についてストレッチ局面における最大値を算出したところ、有意な差は見られず、最大値は 0m/s 近傍にあり、先行研究と同様、OWS 群と水泳群共に上下動させていないことが明らかとなった。

本研究の手部速度は、全て固定座標系で算出しており、固定座標系で算出すると、選手自身が手を動かしていなくても体が前方に進んでいれば、手も前方に進むため、手部速度として算出される。つまり本研究の手部速度は、体に対する手の速度と体の速度を合わせたものであり、実際に体に対して手部をどのように動かしているかは明らかではない。泳者自身がどのように手を動かしているかではなく、実際に手がどのように水中を動いているかが明らかとなったのみである。

これまで OWS に関するバイオメカニクス的研究がなされてこなかったことから、OWS 選手がプールの水中でどのように手を動かしているかが明らかとなっていなかった。本研究では固定座標系で算出することにより、選手の水中での手の動きを明らかにするととも

に、速度成分の変化に違いがあることが明らかとなった。今後は、選手自身が自分の体に対して手をどのように動かしているかを明らかにしていく必要があると考える。

2-3-3-5.手の傾きについて

本研究では手の軌跡だけでなく、より手の動きを明らかにするために、手の傾きについて、中指と手首を結び、その直線と水面が xz 平面上でなす角度を算出した。Schleihauf (1979)は、手を水の推進方向に対して傾きをつけると、抵抗が増すと述べ、Counsilman (1968)は、入水後に手を後ろにかきはじめる前まで(ストレッチ局面で)は、抵抗を受けないようにまっすぐ前に手を伸ばさなければならないと記述している。そこで、本研究では手の傾きの最大値を求めることで、選手が実際に抵抗を受けないように、手を推進(進行)方向に対して傾けずに水面と並行に保ちながら、前に伸ばしているのかを検討した。その結果、先行研究と同様、OWS 選手と水泳選手は共に、手を水面とおおよそ平行に保っており、角度でみても両群で差はみられなかった(表 6)。また最大値は、 $0\sim 10^\circ$ 程度であることが明らかとなり、先行研究では1ストローク中の手の傾きの変化に関する詳細なデータは示されていないことから、このデータは今後同様の研究を行う際の参考資料になると思われる。

また本研究では、選手が最深部で手を水面に対してどの程度の角度をつけているかを検討した。その結果、水泳選手と OWS 選手共に 75° 近傍ということが明らかとなり、後方に向かって手の傾きを変化させているところで最深部を通過していることが明らかとなった(表 6)。このデータも先行研究ではみられていない項目であり、今後同様の研究を行う際の資料となりうる。

最後に、Schleihauf(1979)は、手の傾きが推進方向に対して 90° (本研究の -90°)である時が最も推進力を発揮すると述べていることから、水泳群と OWS 群で、手の傾きが -90° となるのは水中ストローク動作のどの時点であるかを検討した。その結果、水泳群と OWS 群で -90° となる時間に差はなく、%水中ストローク時間が 50%以上である水中動

作の後半でみられることが明らかとなった(表 6)。このことは、1 ストロークの後半で体の前進速度も最大となるという Maglischo ら(1986)の結果とも一致している。

このように、水泳群と OWS 群は同様の手の動きをしており、水泳選手における先行研究の結果と同様であった。

2-4.まとめ

OWS 群は水泳群に比べて、ストレッチ局面にかける時間の割合が少なく、プル局面にかける時間の割合が多かった。また、ストローク頻度を高くし、ストローク長を短くしている傾向がみられた。つまり、OWS 群はピッチ型であり、入水後、前方の水を捉えるまですにかける時間の割合が少なく、推進力を発揮しているプル局面にかける時間の割合を多くする泳ぎ方をしていた。

また、OWS 群では水泳群に比べて、手部の進行方向と逆向きの速度成分の最大値が 1 ストロークのより前半であらわれていた(水泳群： 82.82 ± 6.57 、OWS 群： 75.16 ± 6.65 [%水中ストローク動作時間])。このことは、進行方向に対して、1 ストロークのより前半で大きな推進力を発揮していたことを示唆している。しかし、ここから正確な推進力について言及することはできないため、今後はカメラを増やして、泳者の時々刻々の体の速度変化を明らかにしたり、手の発揮している力を測定するなど、さらなる検討が必要であると言える。

一方、その他の項目については有意な差は認められず、手の軌跡の特徴は先行研究と同様であった。これらのことから、水泳群と OWS 群は泳レベルが同じであっても、手の動かし方は同じであるが、手部の速度変化と各局面にかける時間が異なると結論づけられた。

第3章 実験2「OWS 選手の海泳ぎとプール泳ぎの違い」

3-1.方法

3-1-1.被験者

被験者は心身ともに健康かつ OWS トレーニングを十分に積んでいる男子大学ライフセーバー9名とした(表7,実験1のOWS群と同一被験者)。なお、被験者は全員右側で呼吸を行う選手とした。本研究に先立って、各被験者に対し実験の説明を行い、被験者として自主的に参加することの同意を文書で得た。なお、本研究は早稲田大学の人を対象とする研究倫理審査委員会(承認番号 2011-094)の承認を得ている。

表7 被験者の身体的特徴および泳力レベル

	OWS群(n=9)
年齢(歳)	21.6±1.0
身長(cm)	169.6±5.1
体重(kg)	63.3±4.3
50mベストタイム(s)	26.5±0.8
100mベストタイム(s)	57.6±1.3
平均値±標準偏差	

3-1-2.実験設定

海での動作解析が困難な為、試技は50m 室内プールにおいて行われた。被験者には十分なウォーミングアップ後、実験1と同様に実際のOWSでのペースと合わせるため、50mを35秒ペースで、海で泳ぐ際の通常の泳ぎ(海泳ぎ)を再現させ、実験1でOWS選手(同一被験者)が行ったプール泳ぎと比較した。被験者には通常通り、右側で呼吸をさせ、必ず撮影範囲では呼吸動作と前方確認動作をさせた。また、泳速度を正確に実現できるように、ウォーミングアップの際には必ず50mを35秒で泳ぐ練習をし、ペースを確認させた。本番でも35秒ペースを維持できるように、検者が進行方向に向かって右側のプールサイドを歩行し、被験者が右側で呼吸をする際に確認できるようにした。

3-1-3.VTR 撮影方法、データ処理、測定項目およびその算出方法、統計処理

実験1と同様(p.14～19 参照)。

3-2.結果

3-2-1.軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

海泳ぎとプール泳ぎの xyz 合成、xy 合成、yz 合成、xz 合成の軌跡長、ストローク頻度、ストローク長を表 8 に示した。各軌跡長、ストローク頻度、ストローク長において両泳法に有意な差はみられなかった。

表 8 各平面軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

	海泳ぎ	プール泳ぎ	p値
xyz軌跡(m)	2.60±0.21	2.69±0.34	0.53
xy軌跡(m)	2.12±0.21	2.31±0.68	0.44
yz軌跡(m)	1.76±0.33	1.72±0.28	0.80
xz軌跡(m)	2.19±0.23	2.33±0.39	0.36
ストローク頻度(stroke/min)	39.23±3.98	36.83±2.92	0.16
ストローク長(m/stroke)	2.20±0.23	2.34±0.20	0.20
平均値±標準偏差			

3-2-2.1 ストロークの局面時間比率

海泳ぎとプール泳ぎにおける局面時間比率を図 13 に示した。

海泳ぎにおいて、ストレッチ局面にかける時間の割合が多く(p=0.048)、プル局面にかける時間の割合(p=0.04)、およびリカバリーにかける時間の割合(p=0.04)が有意に少なかった。

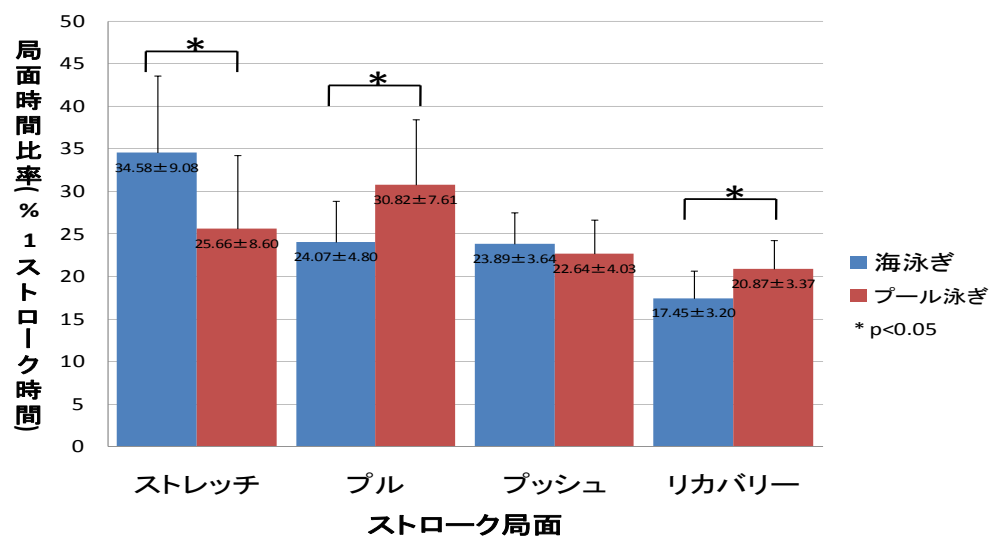


図 13 右手の 1 ストロークの局面時間比率

3-2-3. 指先の軌跡

海泳ぎとプール泳ぎにおける全被験者の xy, xz 平面上の指先の軌跡に対して、水中時間を 100% として時間の正規化を行い、入水位置を原点とした平均の軌跡を求め図 14 に示した。各値については表 9 に示した。最深部が海泳ぎではプール泳ぎに比べて、有意に低い結果($p=0.03$)となり、海泳ぎはプール泳ぎに比べて有意に浅いところをかいていることが明らかになった。しかし、肩に対する最深部をみると、有意差は見られなかった。その他の項目についても有意な差は認められず、海泳ぎとプール泳ぎで違いはなかった。

また、図 14 の軌跡を見ると、プール泳ぎでは入水後、手を上下動させず、後ろにかきはじめるのに対し、海泳ぎでは入水後、再度上にむかって指先を移動させ上下動させてから、後ろにかきはじめる動作がみられた。このストレッチ局面における上下動を、入水位置以外の最高値(図 14 の A)と最低値(図 14 の B)の差として定量化すると図 15 で示した通り、9 名中 7 名の被験者が海泳ぎにおいて上下動をしていることが明らかとなった。

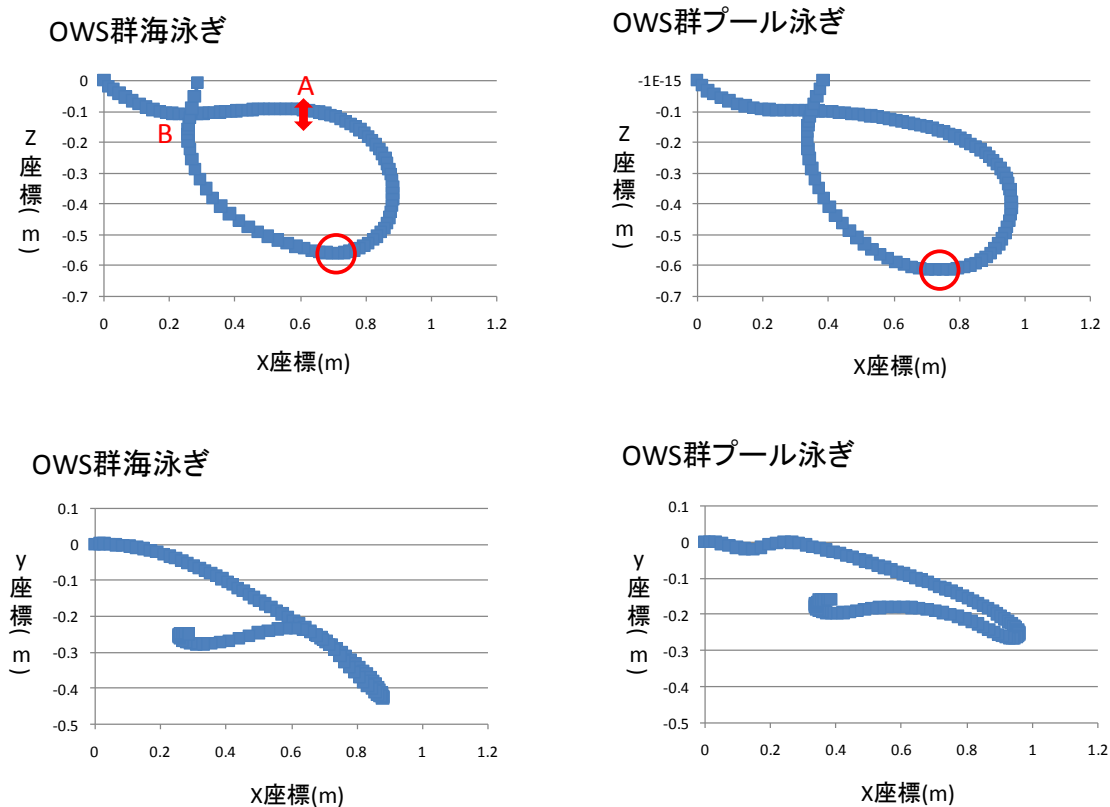


図 14 全被験者の指先の平均の軌跡(上段: xz 平面、下段: xy 平面下段)

表 9 軌跡のデータ

(m)	海泳ぎ	プール泳ぎ	p値
進行方向の最大値	0.91±0.11	1.00±0.34	0.52
最深部	0.58±0.06	0.65±0.07 *	0.03
肩に対する最深部	0.55±0.03	0.58±0.04	0.08
ストレッチ局面における上下動	0.04±0.04	0.01±0.02	0.08
左右方向の最大値	0.06±0.11	0.06±0.06	0.97
左右方向の最小値	-0.52±0.36	-0.37±0.27	0.34
左右方向の幅	0.57±0.30	0.43±0.25	0.27
出水時の左右方向の値	-0.25±0.18	-0.16±0.13	0.26

平均値±標準偏差

* p<0.05 vs海泳ぎ

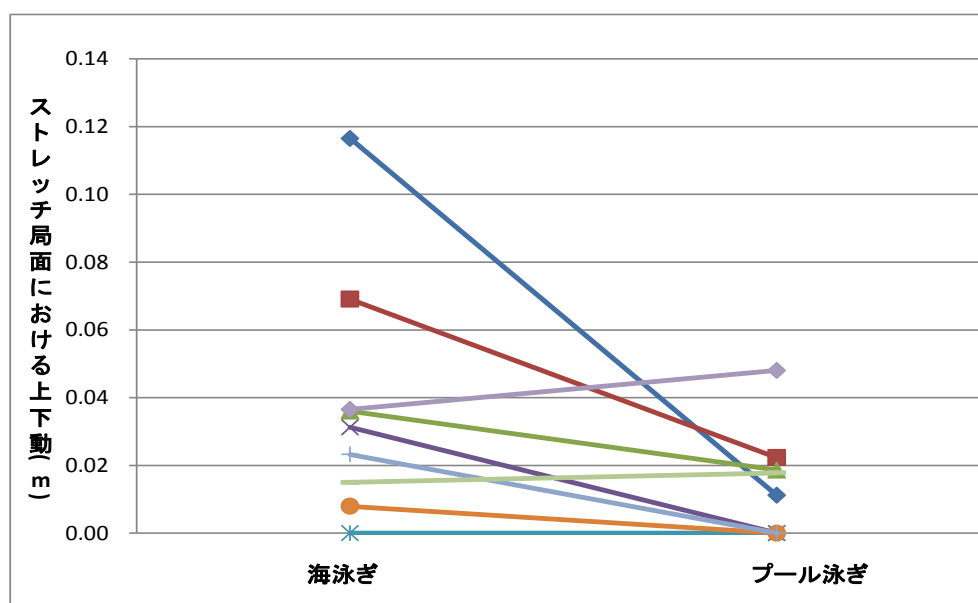


図 15 ストレッチ局面における上下動の幅(全被験者)

3-2-4. 手の速度グラフ

速度に関する測定項目を表 10 に示した。進行方向速度の最小値が現われる時間において有意差が見られたが、それ以外の項目では有意な差は認められなかった。被験者 D の海泳ぎとプール泳ぎの進行方向速度のグラフを典型例として、図 16 に示した。図 16 に示した通り、全被験者で進行方向速度の最小値は、海泳ぎではプール泳ぎに比べて、ストローク水中動作のより後半であられた。

表 10 速度に関する測定項目

	海泳ぎ	プール泳ぎ	p値
合成速度の最大値(m/s)	3.17±0.31	3.06±0.23	0.40
合成速度の最大値が現われる時間(%水中時間)	83.20±8.17	80.39±9.68	0.54
進行方向速度の最大値(m/s)	1.77±0.16	2.00±0.30	0.06
進行方向速度の最小値(m/s)	-2.56±0.33	-2.32±0.32	0.15
進行方向速度の最小値が現われる時間(%水中時間)	83.25±3.70	75.16±6.65 **	0.006
垂直方向速度の最大値(m/s)	3.17±0.37	2.95±0.53	0.30
垂直方向速度の最小値(m/s)	-1.99±0.26	-1.86±0.34	0.40
ストレッチ局面での垂直方向速度の最大値(m/s)	0.23±0.19	0.05±0.22	0.08
平均値±標準偏差			
** p<0.001 vs海泳ぎ			

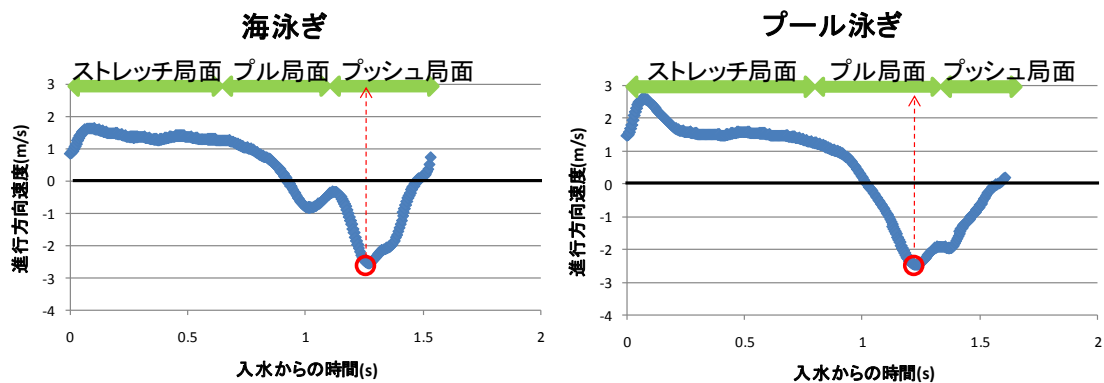


図 16 被験者 D の水中時の指先の進行方向速度変化

3-2-5. 手の傾きの変化

海泳ぎとプール泳ぎにおける被験者 D の手の傾きにおける変化を典型例として、図 17 に示し、各値については表 11 に示した。最大値については有意な差はみられなかったが、9 名中 8 名の被験者で海泳ぎに比べてプール泳ぎで低い値を示していた(図 18)。また、手が最深部に達したときの手の傾きはプール泳ぎで有意に大きい角度を示した(表 11)。さらに、入水から手の傾きが -90° に達する時間も、海泳ぎでプール泳ぎに比べて有意に水中ストローク動作のより後半でみられた(表 11)。

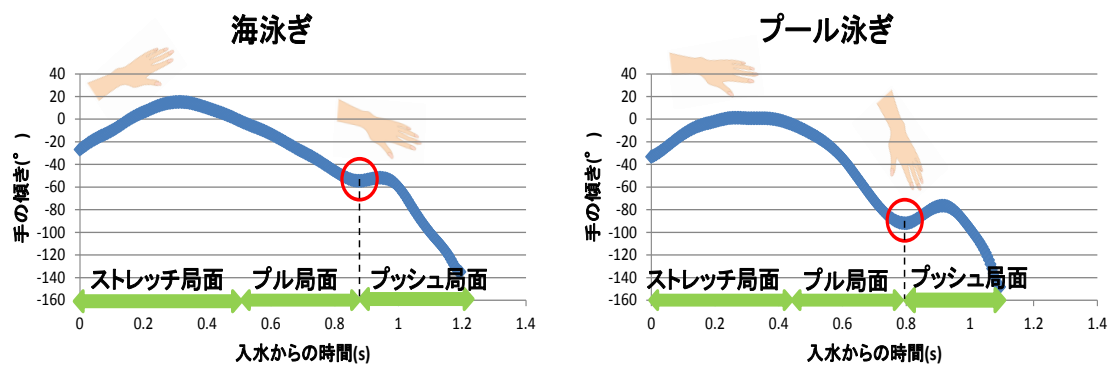


図 17 被験者 D の水中時の手の傾き変化

表 11 手の傾きに関する値

	海泳ぎ	プール泳ぎ	p値
最大値(°)	5.22±7.26	1.03±7.43	0.24
最深部における手の傾き(°)	-56.83±10.80	-76.55±10.51 **	0.001
手の傾きが-90度となる時間(%水中時間)	85.03±3.34	79.09±6.11 *	0.02
平均値±標準偏差			
* p<0.05、** p<0.001 vs海泳ぎ			

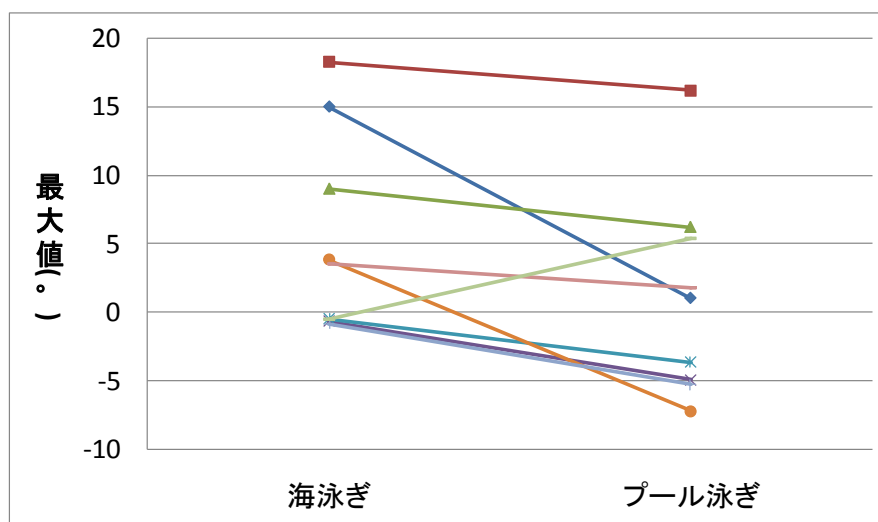


図 18 全被験者の海泳ぎとプール泳ぎにおける手の傾きの最大値(全被験者)

3-3.考察

3-3-1.軌跡長、ストローク頻度、ストローク長

軌跡長、ストローク長、ストローク頻度について、OWS 選手の海泳ぎとプール泳ぎで有意な差はみられなかった(表 8)。第 2 章の考察(2-3-1)で述べた通り、泳速度はストローク長とストローク頻度の積によって表され、ある一定の泳速度において、ストローク頻度やストローク長の適正な値はスイマーによって異なるといわれている(Craig ら,1979)。ストローク頻度・ストローク長に関する先行研究は多くなされており、また現場ではストローク頻度を高くして泳ぐ選手をピッチ型、ストローク頻度を減らしストローク長を長くして泳ぐ選手をストローク型と表現している。

本研究により、OWS 選手は海泳ぎとプール泳ぎをした際に、ストローク長とストローク頻度に有意な差が見られなかったことから、海泳ぎで前方確認動作を行っていても、ストローク長やストローク頻度は変えずに泳いでいると考えられた。

3-3-2.1 ストロークの局面時間比率

局面時間比率を見ると、海泳ぎではプール泳ぎに比べて、ストレッチ局面にかける時間の割合を多くし、プルとリカバリー局面にかける時間の割合を少なくしていることが明らかとなった(図 13)。

第 1 章で述べた通り、局面時間比率に関する研究は多くなされており、局面時間比率と関連している要因として、泳速度、被験者の泳力レベル、ストローク頻度が挙げられる。また、様々な研究で各泳ぎの局面時間比率を算出しており、泳法の違いにより局面時間が異なることが明らかとなっている(Seifert ら,2007;Collet ら,2008;Seifert ら,2005;Collet ら,2000)。本研究では、被験者が同一(泳力レベルが同じ)であり、ストローク頻度に有意差がなく、泳速度が一定であることから、泳法の違いが局面時間比率に関係していると考えられる。

リカバリー局面時間比率について、先行研究では通常のクロール泳を行わせた場合、泳

速度や泳力レベルが異なっているにもかかわらず、他の局面時間比率は変化したが、リカバリー局面時間比率は変わらないという結果が報告されている。リカバリー局面時間比率の大きさは泳法の違いによってのみ異なることから、海泳ぎは通常のプールで行うクロール泳とは異なった泳ぎ方をし、手部から推進力は生まれずリカバリー局面にかかる時間の割合を少なくしている泳ぎであると考えられた。

さらに、ストローク頻度との関係にも注目したい。Seifert ら(2004)は、ストローク頻度が高い時、ストローク頻度を低くして泳ぐ時より、ストレッチ局面時間比率が少なく、プル局面にかかる時間の割合が多いということを報告している。本研究の実験 1 でも同様の結果が見られた。

しかし、本実験では、OWS 選手の海泳ぎではプール泳ぎよりも、有意ではなかったがストローク頻度が高い値(海泳ぎ： 39.23 ± 3.98 回/分, プール泳ぎ： 36.83 ± 2.92 回/分；有意差なし [$p=0.16$])を示していた。それにもかかわらず、海泳ぎではプール泳ぎに比べて、ストレッチ局面時間比率が多く、プル局面時間比率が少ないという結果であった。このことは競泳における先行研究や実験 1 とは異なる結果である。そこで、OWS 選手は海泳ぎをする際に、ストレッチ局面で重要な動きを行おうとするために、この局面に要する時間の割合を多くしているのではないかと推測される。ストレッチ局面での手の軌跡に注目すると、海泳ぎでは多くの選手が手を上下動をさせており(図 15)、この動作に時間をかけているため、ストレッチ局面時間比率が多くなっていたと思われる。そして、この動作は、海泳ぎにとって前方確認をする際に重要であると考えられる。

3-3-3. 指先の軌跡

先述した通り、Counsilman(1968)や高木ら(1993)は、競泳選手の泳動作中の指先の軌跡を明らかにし、選手の泳ぎの評価を行っている。そこで、本研究では OWS 選手の海泳ぎとプール泳ぎの手の軌跡に相違があるかを明らかにするために、実験 1 と同様に、進行方向の最大値、最深部、左右方向の幅(最大値－最小値)、出水時の左右方向の値をみるこ

で、軌跡の違いを定量化し評価した。

その結果、進行方向と左右方向の軌跡について海泳ぎとプール泳ぎで有意差はなく、先行研究の水泳選手と同様に前後左右に手を動かしていることが明らかとなり、その大きさも海泳ぎとプール泳ぎで差が見られず、同様であった(図 14,表 9)。

海泳ぎとプール泳ぎで大きな違いが見られたのは最深部についてである。最深部について見ると、海泳ぎではプール泳ぎに比べて浅いところをかいていた(表 9)。しかし、肩に対する最深部には有意差がみられないことから、肩の位置による深さの違いによって最深部が異なっていたと考えられる。海泳ぎはプール泳ぎと異なり、ヘッドアップをするために、ストロークの途中で肩を水上にあげており、プール泳ぎに比べてローリング角度が小さいのではないかと推測された。しかし、本研究の測定点だけでは、肩のローリングや一連の動きを算出することはできなかった。今後は測定カメラとマーキングポイントを増やすことで、肩の動きやローリングについても明らかにすることが必要である。

また、多くの被験者が海泳ぎでは入水後に、垂直方向に上下に手を動かしていた(表 9, 図 15)。一方、水泳の動きにおいて、Counsilman(1968)は、水を下に押すとスイマーの体が持ち上がって、大きく減速するために、推進力の発揮に結びつかない入水後から後ろにかきはじめる局面(ストレッチ局面)では、手を水面と並行の向きで左右に動かす(本研究の左右方向の動き)のみで、上下動(本研究の垂直方向の動き)は行わないと報告している。本研究でもプール泳ぎにおいては、入水後から後ろにかきはじめるまで(ストレッチ局面)は、上下動(入水位置以外の z の最高値-最低値)を行っていなかったが、海泳ぎでは多くの選手が上下動を見せていた(図 15)。これは、プール泳ぎでは推進力の発揮と結びつかないストレッチ局面では抵抗を受けないように、手を上下動させずに前にまっすぐ伸ばしているが、海泳ぎでは手を上下動させて水を下に押すことで、体を上昇させていたものと考えられる。

オープンウォーター教本には「リカバリーの際は腕をやや外側から前にもってくると良い」と記載されている。しかし、離水の瞬間における手の位置(出水時の左右方向の値)に

については有意な差は見られなかった。ただし、この結果は入水の位置からどの程度左右に動いたかの距離を示すものであり、肩からの位置を示すものではない。本研究では、海泳ぎではプッシュ局面の途中で肩が水上に出てしまったために、本研究では肩に対する動きを追うことができなかった。それゆえ、今後は、水上カメラを増やして、水中カメラと同期させて、一連の動作を確認する必要がある。

3-3-3-4.手部の速度変化について

本実験では実験 1 や先行研究と同様に、中指を手部の代表点として、手部速度の変化を明らかにした。その結果、手部速度の最大値や最大値が現われる時間に有意な差は見られなかった(表 10)。先述したとおり、Maglischo ら(1986)や Cappaert ら(1993)は、1 ストロークの後半で手部速度が最大となり、その時に体の速度が最大となって、加速が終了する、と報告している。本実験でも、先行研究と同様に、OWS 選手では海泳ぎでもプール泳ぎでも 1 ストロークの後半で手部速度が最大となっており、その時間に有意な差はなく、同様のストローク動作をしていたと思われた。

また、先行研究では行われていないが、実験 1 と同様に、速度を進行方向(速度 x)、垂直方向(速度 z)に分けて、それぞれの最大値と最小値を明らかにすることで、手の速度に関する相違を詳細に検討した。その結果、進行方向速度の最大値と最小値については有意な差は認められなかったが、進行方向速度の最小値が現われるタイミングに有意差がみられた(表 10)。進行方向速度の最小値は、海泳ぎではプール泳ぎに比べて 1 ストロークのより後半でみられた(表 10)ことから、海泳ぎでは 1 ストロークのより後半で進行方向とは逆向きの速度成分が最も大きくなり、その時点まで進行方向への推進力を生んでいると考えられた。

一方、垂直方向速度については有意な差はみられず、海泳ぎとプール泳ぎにおいて、指先の動きに違いはなかった(表 10)。しかし、ストレッチ局面における垂直方向速度の最大値をみると、有意な差は認められなかったものの、多くの被験者で、海泳ぎでより高い値(プ

ール底面から水面にむかって手を上に動かす速度)が得られた(表 10)。このことは、前述した通り、入水後、ストレッチ局面で手が水面に向かって再び上昇していることを示すものである。

これらのことから、海泳ぎではストロークの前半(ストレッチ局面～プル局面)で、体を上昇させるための動作を行っており、それが垂直方向速度の値の変化として現れており、上下動を行う局面になっていたと言える。そのため、進行方向と逆向きの速度成分が最大となる時(進行方向速度の最小値)が、プール泳ぎよりも 1 ストロークのより後半になっていたと考えられる。

また、実験 1 と同様、本実験の速度も固定座標系から算出したものであり、体に対してどのように動かしているかが分かる移動座標系における速度ではない。水泳の研究では肩に対する手部の速度を算出することで、体に対してどのように手を動かしているかを明らかにしているものが多い。しかし、本実験は 2 台の水中カメラを用いて行っており、1 ストローク動作中の肩のマーキングを全て追うことができなかった。また海泳ぎにおいては、1 ストロークの途中で肩が水上に出てしまった。今後は、水中カメラを増やし検証することが必須であると共に、海泳ぎのスイミングフォームを明らかにするためには、水上カメラも多く準備する必要があると言える。

3-3-3-5.手の傾きについて

実際に水を押ししているか否かについては、手の軌跡よりも、手の傾きをみる方が的確である。前述した通り、ストレッチ局面にある手からは推進力を生むことができないため、いかに抵抗なく前方の水を捉えるかがポイントとなっている。Schleithauf(1979)は、水流に対する手の傾きの違いが水から受ける力に影響するかを測定している。それによると、泳者は手部を水流に対して様々な角度をつけて泳いでおり、揚力と抗力の合力を推進力(図 19)として働かせている。そのため、ストレッチ局面において、プール泳ぎではできるだけ進行方向に対して角度をつけずに、抗力を受けないように泳いでいる(図 20 左)と考えられ

る。もし抗力が生まれた場合には、それに対抗する力発揮をしなければならないからである。しかし、海泳ぎではストレッチ局面において、9名中8名の選手がプール泳ぎよりも手を傾けていた。図20の右図のように、意図的に手を傾けることで、より揚力を受けることにより、自分の体を持ち上げる動作をしていると考えられる。また、Schleihauf(1979)は、手の傾きの違いによる抗力係数、揚力係数(抗力係数・揚力係数：周りの流体から受ける抵抗の度合い、値が小さいほど抵抗の度合いが少ない。)を算出している。その結果、抗力係数と揚力係数の比率は抗力と揚力の比率と同じであり、抗力と揚力の合力が推進力となることから、推進方向(本研究の進行方向)に対して手を直角(本研究の -90°)にしている時が最大推進力を生んでいことを明らかにしている(図21、 $\alpha=90^{\circ}$ maximum propulsion)。海泳ぎではプール泳ぎに比べて、進行方向に対して手を直角(-90°)にする時間が1ストロークのより後半で現われ(表11)、その時に最大推進力を生んでいると考えられる。また、最深部においてもプール泳ぎでは -76.55° であるのに対し、海泳ぎでは -56.83° (表11)と、海泳ぎでは手の平をプール底面に向けてかき、体を上昇させていたと思われる。

これらのことから、海泳ぎでは1ストロークの前半で体を上昇させるために、手の傾きを変えて動かしており、そのためプール泳ぎに比べて、最大推進力が生まれているであろう時間も、1ストロークのより後半になっていたと言える。

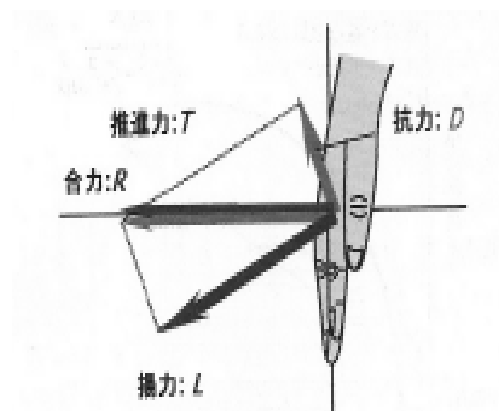


図19 手に働く抗力と揚力、およびその合力(泳のバイオメカニクス)

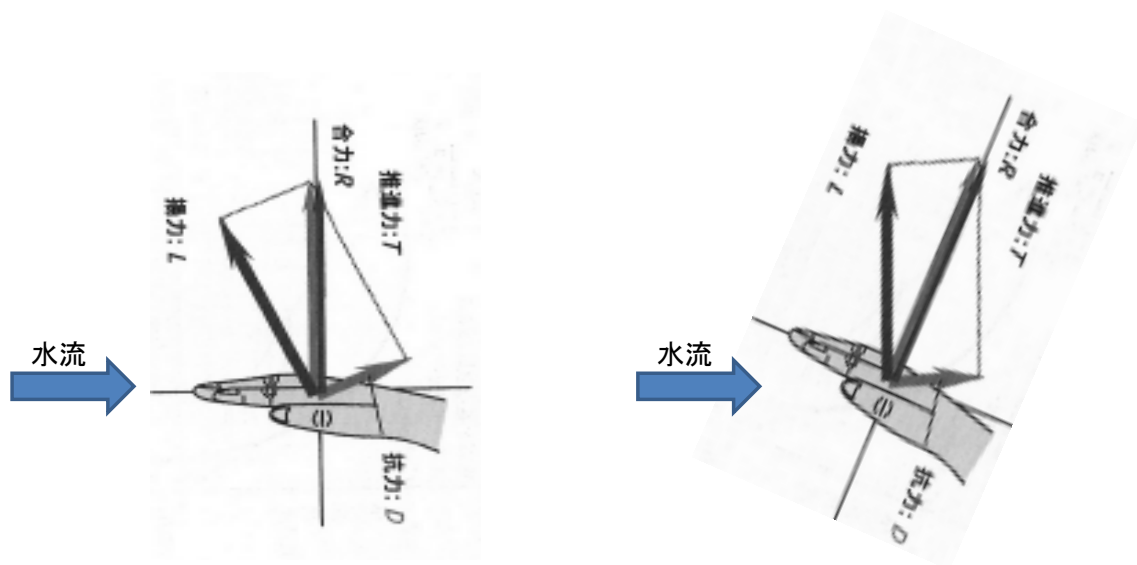


図 20 ストレッチ局面で手に働く抗力と揚力、およびその合力(左：プール泳ぎ,右：海泳ぎ)

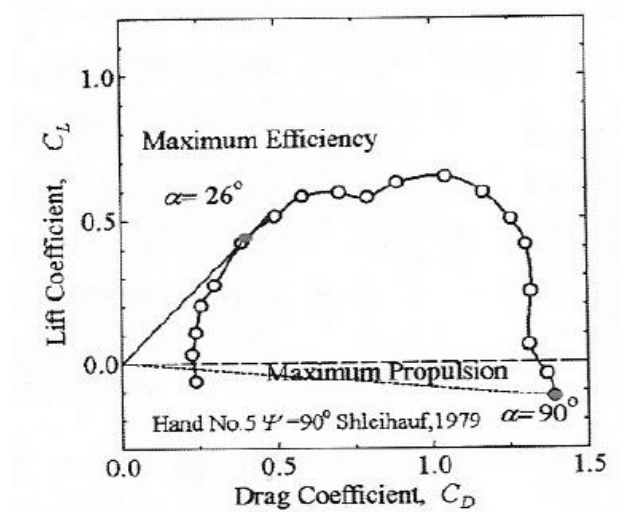


図 21 手のモデルの抗力・揚力係数変化 Schlehauf(1979)

3-4.まとめ

海泳ぎとプール泳ぎにおいて、軌跡長について有意な差は見られず、進行方向と左右方向の手の動きにも有意な差はみられなかった。一方、垂直方向において、海泳ぎで有意に浅いところをかいていることが明らかとなった。

また、海泳ぎでは、ストレッチ局面にかける時間の割合を多くして、入水後手を下から上に向かって動かし、水面に向かって手をプラスに傾けることで揚力を得ていると考えられた。さらに、海泳ぎではプール泳ぎに比べて、プル局面の終盤で手の平がプール底面に向くようにかいており、水をプール底面に向かって押していると推測できる。このストレッチ・プル局面の一連の動きで体を上昇させていると思われた。また、そのため、水を後ろに押すことにより、推進力を発揮する時期がストローク後半にずれこんでいた。このように、ストロークの前半では体を推進させる際に抵抗となる上下動を行い、進行方向に対して発揮する力が、プール泳ぎに比べて、1 ストロークのより後半で発揮されていると考えられた。これらはプール泳ぎに比べて、進行方向に推進するという観点からみると、非効率的な動きであるが、それを補うために、有意差は認められなかったものの、ストローク頻度を上げることで、ある一定時間により多くのストロークをしていると思われる。

本研究では、肩のローリングや体の速度を明らかにすることはできなかった。また、水中での手の動きを明らかにしたものの、実際にどのような力を発揮をしているかについては明らかではない。今後は水中・水上カメラを増やし、より多くの体の動きを見ると共に、手が発揮している力も測定することでさらなる知見が得られるものと考ええる。

第4章 実験3「OWS選手の海泳ぎとプール泳ぎのシーズン変化」

4-1.方法

4-1-1.被験者

実験2と同様であった。

4-1-2.実験設定、データ処理、測定項目、データ収集時期

実験設定、データ処理、測定項目は実験1と同様にし、被験者9名の夏の海でのトレーニングの前後での海泳ぎとプール泳ぎに違いがあるかを明らかにした。データ収集は海でのトレーニングを開始する前(夏前)、トレーニング直後(夏後)、海でのトレーニング終了1週間後、2週間後の計4回行った。

4-1-3.シーズンにおけるトレーニング内容

- (1) 夏中の海でのトレーニング：週5回(1回3000m程度)、
- (2) 海でのトレーニング終了直後～1週間後：海2回(1回2000m程度)、プール2回(1回3000m程度)
- (3) 海でのトレーニング終了1週間後～2週間後：海5回(1回2000m程度)、プール5回(1回3000m程度)

4-1-4.統計処理

各測定項目は平均値および標準偏差を求めた。泳ぎの違い(海泳ぎ、プール泳ぎ)におけるシーズン変化(海でのトレーニング前と後)の2つの要因に対し、SPSSを用いて、二元配置分散分析(2群;対応なし×4区間;対応あり)を行い、主効果および交互作用に有意性がみられるかを検定した。各要因間に主効果が認められた項目に関して、Bonferoniの多重比較を行った。有意水準は5%未満とした。

4-2.結果

各項目におけるシーズン変化の値を表 12、交互作用及び主効果の F 値を表 13 に示した。

多くの項目において、交互作用はみられなかった。しかし、「最深部における手の傾き」については有意な交互作用が認められた(図 22)。

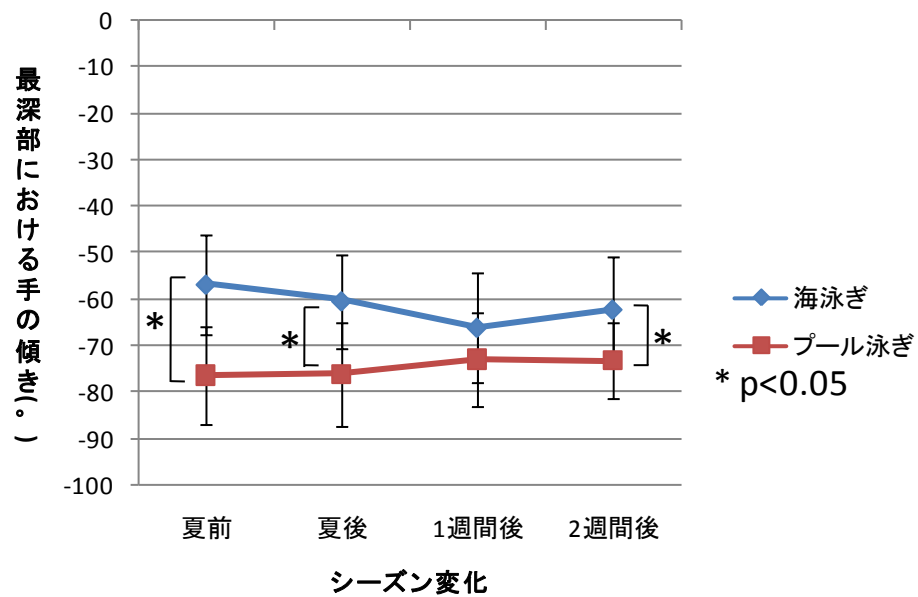


図 22 最深部における手の傾きのシーズン変化

表12 OWS選手のシーズン変化

	夏前(n=9)			夏後(n=9)			1週間後(n=9)			2週間後(n=9)		
	海泳ぎ	ブール泳ぎ	海泳ぎ	ブール泳ぎ	海泳ぎ	ブール泳ぎ	海泳ぎ	ブール泳ぎ	海泳ぎ	ブール泳ぎ	海泳ぎ	ブール泳ぎ
xyz軌跡(m)	2.60±0.21	2.69±0.34	2.61±0.18	2.78±0.28	2.84±0.38	2.80±0.35	2.84±0.38	2.80±0.35	2.71±0.37	2.61±0.27	2.84±0.38	2.80±0.35
xy軌跡(m)	2.12±0.21	2.31±0.68	2.10±0.14	2.21±0.31	2.32±0.33	2.22±0.34	2.32±0.33	2.22±0.34	2.23±0.35	2.06±0.30	2.32±0.33	2.22±0.34
yz軌跡(m)	1.76±0.33	1.72±0.28	1.60±0.19	1.68±0.18	1.66±0.29	1.72±0.25	1.66±0.29	1.72±0.25	1.57±0.22	1.61±0.22	1.66±0.29	1.72±0.25
xz軌跡(m)	2.19±0.23	2.33±0.39	2.35±0.21	2.55±0.25	2.59±0.36	2.54±0.28	2.59±0.36	2.54±0.28	2.48±0.36	2.38±0.23	2.59±0.36	2.54±0.28
ストローク頻度(stroke/min)	39.23±3.98	36.83±2.92	38.03±3.69	35.22±3.16	36.66±2.89	33.98±4.06	36.66±2.89	33.98±4.06	37.49±2.88	36.10±3.28	36.66±2.89	33.98±4.06
ストローク長(m/stroke)	2.20±0.23	2.34±0.20	2.27±0.23	2.45±0.22	2.35±0.19	2.56±0.32	2.35±0.19	2.56±0.32	2.30±0.19	2.39±0.24	2.35±0.19	2.56±0.32
ストローク局面(%1ストローク時間)	34.58±9.08	25.66±8.60	32.75±10.21	29.83±10.02	37.91±11.55	25.24±12.80	37.91±11.55	25.24±12.80	35.84±9.98	29.43±11.67	37.91±11.55	25.24±12.80
プル局面(%1ストローク時間)	24.07±4.80	30.82±7.61	22.36±5.15	27.15±6.15	23.27±7.80	28.48±6.30	23.27±7.80	28.48±6.30	23.64±7.97	26.21±6.58	23.27±7.80	28.48±6.30
ブッシュ局面(%1ストローク時間)	23.89±3.64	22.64±4.03	23.36±4.71	22.37±4.20	19.69±2.97	21.06±4.42	19.69±2.97	21.06±4.42	22.14±4.85	23.51±4.71	19.69±2.97	21.06±4.42
リカバリー局面(%1ストローク時間)	17.45±3.20	20.87±3.37	21.53±5.33	31.32±7.30	19.12±6.47	25.22±8.02	19.12±6.47	25.22±8.02	18.38±4.98	20.83±8.77	19.12±6.47	25.22±8.02
進行方向の最大値(m)	0.91±0.22	1.00±0.34	1.01±0.21	1.15±0.30	1.12±0.32	1.10±0.28	1.12±0.32	1.10±0.28	1.14±0.34	1.01±0.27	1.12±0.32	1.10±0.28
最深部(m)	0.58±0.06	0.65±0.07	0.61±0.03	0.67±0.05	0.60±0.06	0.65±0.04	0.60±0.06	0.65±0.04	0.58±0.03	0.64±0.46	0.60±0.06	0.65±0.04
肩に対する最深部(m)	0.55±0.03	0.58±0.04	0.56±0.03	0.58±0.03	0.57±0.06	0.60±0.02	0.57±0.06	0.60±0.02	0.56±0.04	0.57±0.03	0.57±0.06	0.60±0.02
ストレッチ局面における上下動(m)	0.04±0.04	0.01±0.02	0.04±0.04	0.02±0.02	0.05±0.04	0.03±0.04	0.05±0.04	0.03±0.04	0.03±0.05	0.02±0.03	0.05±0.04	0.03±0.04
左右方向の最大値(m)	0.06±0.11	0.06±0.06	-0.30±0.57	-0.22±0.56	0.12±0.09	0.10±0.07	0.12±0.09	0.10±0.07	0.12±0.08	0.13±0.07	0.12±0.09	0.10±0.07
左右方向の最小値(m)	-0.52±0.36	-0.37±0.27	-0.66±0.59	-0.60±0.57	-0.24±0.11	-0.31±0.17	-0.24±0.11	-0.31±0.17	-0.20±0.07	-0.21±0.15	-0.24±0.11	-0.31±0.17
左右方向の幅(m)	0.57±0.30	0.43±0.25	0.37±0.05	0.38±0.11	0.36±0.10	0.41±0.17	0.36±0.10	0.41±0.17	0.32±0.08	0.34±0.14	0.36±0.10	0.41±0.17
出水時の左右方向の値(m)	-0.25±0.18	-0.16±0.13	-0.14±0.09	-0.12±0.08	-0.12±0.10	-0.13±0.08	-0.12±0.10	-0.13±0.08	-0.10±0.09	-0.09±0.10	-0.12±0.10	-0.13±0.08
合成速度の最大値(m/s)	3.17±0.33	3.06±0.25	3.13±0.28	3.14±0.26	3.27±0.28	3.22±0.20	3.27±0.28	3.22±0.20	3.13±0.26	2.96±0.29	3.27±0.28	3.22±0.20
合成速度の最大値が現われる時間(%水中時間)	83.20±3.67	80.39±10.26	86.02±6.36	79.46±7.97	85.76±8.43	79.96±8.82	85.76±8.43	79.96±8.82	82.49±5.98	82.70±5.31	85.76±8.43	79.96±8.82
進行方向速度の最大値(m/s)	1.77±0.16	2.00±0.30	1.82±0.16	2.07±0.20	2.11±0.37	2.01±0.07	2.11±0.37	2.01±0.07	2.19±0.85	1.87±0.18	2.11±0.37	2.01±0.07
進行方向速度の最小値(m/s)	-2.56±0.33	-2.32±0.32	-2.50±0.21	-2.35±0.17	-2.64±0.23	-2.46±0.17	-2.64±0.23	-2.46±0.17	-2.48±0.25	-2.28±0.10	-2.64±0.23	-2.46±0.17
進行方向速度の最小値が現われる時間(%水中時間)	83.25±3.70	75.15±6.65	79.11±7.63	78.28±5.71	82.22±3.66	78.71±6.01	82.22±3.66	78.71±6.01	81.75±4.39	78.79±5.26	82.22±3.66	78.71±6.01
垂直方向速度の最大値(m/s)	3.17±0.37	2.95±0.53	3.10±0.47	2.77±0.39	3.40±0.59	3.01±0.33	3.40±0.59	3.01±0.33	3.11±0.48	2.84±0.41	3.40±0.59	3.01±0.33
垂直方向速度の最小値(m/s)	-1.99±0.26	-1.86±0.34	-1.88±0.33	-1.72±0.76	-2.04±0.17	-1.89±0.23	-2.04±0.17	-1.89±0.23	-1.89±0.25	-1.86±0.17	-2.04±0.17	-1.89±0.23
ストレッチ局面での垂直方向速度の最高値(m/s)	0.23±0.19	0.05±0.22	0.22±0.29	0.19±0.27	0.21±0.19	0.10±0.26	0.21±0.19	0.10±0.26	0.21±0.20	0.07±0.21	0.21±0.19	0.10±0.26
手の傾きの最大値(°)	5.22±7.26	1.04±7.43	5.84±8.62	2.09±7.22	6.34±10.21	1.29±8.93	6.34±10.21	1.29±8.93	7.33±5.80	1.26±8.44	6.34±10.21	1.29±8.93
手の傾きにおける手の傾き(°)	-56.84±10.80	-76.55±10.51	-60.42±10.21	-76.30±11.18	-66.12±11.78	-73.02±10.17	-66.12±11.78	-73.02±10.17	-62.22±11.27	-73.34±8.13	-66.12±11.78	-73.02±10.17
手の傾きが-90度となる時間(%水中時間)	85.03±3.34	79.09±6.11	82.57±5.25	78.50±4.80	84.35±3.28	79.99±5.50	84.35±3.28	79.99±5.50	84.34±4.18	79.60±4.99	84.35±3.28	79.99±5.50

平均値±標準偏差

表 13 OWS 選手における泳ぎの種類とシーズン変化の交互作用、主効果

測定項目	交互作用	主効果	
		シーズン変化	泳ぎの種類
xyz軌跡(m)	2.131	3.424 *	0.057
xy軌跡(m)	1.522	0.782	0.008
yz軌跡(m)	0.621	4.096 *	0.126
xz軌跡(m)	2.030	6.115 **	0.181
ストローク頻度(stroke/min)	0.338	4.029 *	3.275
ストローク長(m/stroke)	0.386	3.670 *	3.128
ストレッチ局面(%1ストローク時間)	1.481	0.373	3.671
プル局面(%1ストローク時間)	0.497	1.024	4.379
プッシュ局面(%1ストローク時間)	1.627	5.460 *	0.005
リカバリー局面(%1ストローク時間)	1.693	6.977 *	7.642 *
進行方向の最大値(m)	2.068	2.761	0.036
最深部(m)	0.43	2.950 *	8.893 **
肩に対する最深部(m)	0.732	3.658 *	1.805
ストレッチ局面における上下動(m)	0.569	1.978	1.641
左右方向の最大値(m)	0.096	6.501 *	0.073
左右方向の最小値(m)	0.332	5.445 *	0.162
左右方向の幅(m)	2.576	6.691 *	0.051
出水時の左右方向の値(m)	1.776	7.746 **	0.364
合成速度の最大値	1.316	5.961 **	0.493
合成速度の最大値が現われる時間(%水中時間)	1.000	0.096	2.099
進行方向速度の最大値(m/s)	3.103	1.110	0.022
進行方向速度の最小値(m/s)	0.172	3.068	5.229 *
進行方向速度の最小値が現われる時間(%水中時間)	1.967	0.610	4.547 *
垂直方向速度の最大値(m/s)	0.376	4.170 *	2.630
垂直方向速度の最小値(m/s)	0.175	1.041	0.981
ストレッチ局面での垂直方向速度の最高値(m/s)	0.886	0.693	1.610
手の傾きの最大値(°)	0.515	0.472	1.746
最深部における手の傾き(°)	3.521 *	0.647	9.908 **
手の傾きが-90度となる時間(%水中時間)	0.477	1.586	5.798 *

* p<0.05、** p<0.001

4-3.考察

実験 3 では多くの測定項目において、有意な交互作用は認められなかった。このことはシーズンを通して、海泳ぎとプール泳ぎの違いが変化しないことを示すものである。本研究では、夏に海でのトレーニングをすることで、プール泳ぎが変化して海泳ぎに近づき、その後プールのトレーニングをすることで、プール泳ぎは夏前と同様に戻るという仮説を立てたが、多くの項目で棄却された。

つまり、1 ヶ月以上、海でのトレーニングをしても、プール泳ぎが夏前(海のトレーニング前)へと変化するということとはなかった。この結果から、海でのみトレーニングをしても、海泳ぎとプール泳ぎに異なった影響は及ぼさないとと言える。しかし、本実験の被験者が既にライフセーバー歴 2 年以上あり、海でのトレーニングとプールでのシーズントレーニングを 2 年以上行っている者であることにも留意しなければならない。シーズンを通してトレーニングを行っていることに慣れているため、プール泳ぎと海泳ぎを泳ぎ分けることができるとも考えられる。今後は海でのトレーニングを行ったことのない者を対象に、海でのトレーニングを行い、どのように変化するかを見ていく必要がある。

唯一、交互作用が見られたのは、最深部における手の傾きについてであった。夏前と夏後において、海泳ぎではプール泳ぎに比べて有意に低い値を示したが、1 週間後には有意差はみられなくなった。しかし 2 週間後には再び有意差がみられていた(図 22)。また、海泳ぎでは、夏前から 1 週間後で減少する傾向がみられた($p=0.08$)。ライフセーバーは通常、海でのトレーニングを 1 か月行った後に、突然強度の強いプールのトレーニングを行うのではなく、海でのトレーニング終了後は海に入らずに数日休んで疲労を取ってから、プールのトレーニングを始め、徐々に強度を上げていく。通常、海でのトレーニング終了後 1 週間内に海に入る回数は 1 回で、プール中心のトレーニングである。そして 1 週間後から本格的に強度をあげて、海とプールでのトレーニングを行い、OWS に臨む。そのため、海でのトレーニングを終えて 1 週間後には海に入っておらず、前方確認動作を行う回数が減っ

ていることが影響して、最深部における手の傾きがプール泳ぎのように後方に向かってかいていると考えられる。そして、海でのトレーニング回数を増やした 2 週間後には再び上昇し、海泳ぎとプール泳ぎで有意差がでたものと思われる。

一方、いくつかの項目で、シーズン変化の主効果がみられた。このことは、シーズンを通して、トレーニングが海泳ぎとプール泳ぎに与える影響が同じであることを示している。本来、主効果がみられたデータで多重比較を行うと、各項目の値が海泳ぎとプール泳ぎで同様に増加していたり、減少しているはずである。しかし、本研究では同様の変化をみることはできず、シーズン間の多重比較で有意な差は見られなかった。このことは、本研究の被験者が 9 人と少なかったことが影響している可能性もあり、今後はさらに人数を増やして検討する必要があるだろう。

4-4.まとめ

本章では、シーズンを経て、海泳ぎとプール泳ぎの違いが多く項目で変化しないことが明らかとなった。一方、唯一シーズンを通して、海泳ぎとプール泳ぎで異なった変化を示したのは最深部における手の傾きであった。海でのトレーニング前、直後および 2 週間後では、海泳ぎではプール泳ぎに比べて、手の傾きが有意にプール底面に向かってかいているが、海でのトレーニング終了後 1 週間では、海に入る回数を減らし、プールのトレーニングを中心に行っていることから、海でのトレーニング効果が薄れ、プール泳ぎに近づいたものと考えられる。

本研究の被験者は、2 年以上に亘って海でのトレーニングとプールでのトレーニングを行っている選手であった。2 年以上このようにトレーニングを行えば、海泳ぎとプール泳ぎを泳ぎわけることができ、シーズンを通して、トレーニング場所の違いによる影響を受けることはないのかもしれない。よって競泳選手が海で泳いでも必ずしもスイミングフォームに影響はないとは言えないが、本研究により、OWS 選手がシーズンを通してどのようにスイミングフォームを変化させているかを明らかにすることができたと言える。

第5章 本論文のまとめ

本論文はニュースポーツである OWS の現状を把握し、今後の OWS の指導方法やトレーニング方法のための基礎資料とするために、OWS 選手のスイミングフォーム解明と、それがシーズンを通してどのように変化するかを検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. OWS 選手がプールで泳ぐ際には、水泳選手に比べて、ストローク頻度が高く、ストローク長を短くする傾向があり、ストレッチ局面にかかる時間比率が少なく、プル局面にかかる時間が多かった。また、1 ストロークのより後半で進行方向と逆向きの速度成分が最大となるが、手の軌跡や傾きについては違いが見られない。
2. OWS 選手は海で泳ぐ時とプールで泳ぐ時とで、スイミングフォームを変えている。海で泳ぐ際には、手を入水した後、進行方向に対して手の傾きをつけることで、揚力を得ていると考えられ、またプル局面では手のひらを底面に向けていることから、底面に向かって水を押していると考えられる。このようにストレッチ局面、プル局面では体を上昇させて前方確認を行い、そのため、推進力を最も発揮すると考えられる進行方向と逆向きの手部速度および手の傾きが -90° となるタイミングは、プール泳ぎに比べて1 ストロークのより後半になっていた。プールで泳ぐ時に比べて前方確認を行う海泳ぎでは、泳者が推進すると言う観点からみると、非効率的な動作を行っているが、それを補うために、有意差は認められなかったものの、ストローク頻度を高くしていると考えられる。
3. OWS 選手は、季節によって、プールでのトレーニング、海でのトレーニング、および海とプールでの融合トレーニングを行うが、シーズンを通して、プール泳ぎと海泳ぎの違いに多くの測定項目で変化はみられない。しかし、最深部における手の傾きについては、交互作用がみられ、夏前と夏後では、海泳ぎの方でプール泳ぎに比べて手のひらを底面にむけていたが、夏後の1週間後には違いがみられなくなった。しかし、2週間後には再び

海泳ぎではプール泳ぎに比べて手の平を底面をむけていた。手の平を底面に向けるのは、前方確認を行うためであり、これは海で泳ぐ際に行われる動作である。このように、海での練習回数が手の傾きと関連していると考えられ、夏後 1 週間には海での練習回数が減っていることが影響して、両泳ぎで違いがみられなくなったと考えられる。

以上のように、OWS 選手は海において、前方確認をするためにプールとは異なる泳ぎを行っている。また、プールで泳ぐ際には水泳選手と類似した手の軌跡を示し、海泳ぎとプール泳ぎは最深部における手の傾き以外の多くの点でシーズンの影響を受けないことが明らかとなった。このことは、OWS では競泳にないテクニック習得が必要ではあるが、トレーニングを積み、そのテクニック習得と共に、プール泳ぎとの泳ぎ分けもできるようになり、海でトレーニングしてもそれが可能となることを示唆するものである。しかし、海泳ぎとプール泳ぎでのパフォーマンスを測定していないことから、競泳選手が海でトレーニングをしても問題はないと提言することは出来ない。

参考文献

- 1)Adrian, M. J.,Singh, M.,Karpovich, P. V. (1966) Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. J Appl Physiol. 21(6):1763-6
- 2)Berger, M. A.,de Groot, G.,Hollander, A. P. (1995) Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. J Biomech. 28(2):125-33
- 3)Cappaert, J. (1993)1992 Olympic Report. Limited circulation communication to allFINA Federations. Colorado Springs,CO :United States Swimming.
- 4)Castro, R. R.,Mendes, F. S.,Nobrega, A. C. (2009) Risk of hypothermia in a new Olympic event: the 10-km marathon swim. Clinics (Sao Paulo). 64(4):351-6
- 5)Chollet, D.,Chalies, S.,Chatard, J. C. (2000) A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. Int J Sports Med. 21(1):54-9
- 6)Chollet, D.,Seifert, L. M.,Carter, M. (2008) Arm coordination in elite backstroke swimmers. J Sports Sci. 26(7):675-82
- 7)Counsilman J.E. (1968) The Science of Swimming. EnglewoodCliffs,N.J. :prentice-Hall
- 8)Craig, A. B., Jr.,Pendergast, D. R. (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. Med Sci Sports. 11(3):278-83

- 9) Hollander, A. P., de Groot, G., van Ingen Schnau, G. J., Kahman, R., Toussaint, H. M. (1988) Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming. In Ungerechts, B., Wilkie, K., Reischle, R., editors. *Swimming Science V* (International Series on Sport Sciences) NO.5:39-43. Champaign, IL : Human Kinetics
- 10) 原 怜 来. (2009) オープンウォータースイミングの生理学的強度と種目特性. 早稲田大学スポーツ科学部卒業論文.
- 11) Hue, O., Benavente, H., Chollet, D. (2003) The effect of wet suit use by triathletes: an analysis of the different phases of arm movement. *J Sports Sci.* 21(12):1025-30
- 12) International swimming federation. (2011) *FINA 10km Marathon Swimming World Cup 2011 Result*. <http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_content&view=category&id=224&Itemid=629> (2012 年 1 月 6 日).
- 13) 小林生海, 綾部誠也, 鈴木大地, 内藤久士, 青木純一郎. (2008) オープンウォーター水泳の競技記録と有酸素性作業能の関連性. *体力科学*. 57(4):443-52
- 14) Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Higgins, J., Hinrichs, R., Luedtke, D., Schleihau, R. E., Thayer, A. (1986) A biomechanical analysis of the 1984 U.S. Olympic swimming team: the distance freestylers. *J Swimming Research*. 2(3):12-6
- 15) 松田有司, 山田陽介, 赤井聡文, 生田泰志, 野村照夫, 小田信午. (2010) 100m 自由形におけるストローク頻度とストローク長からみた泳タイプ分類. *体力科学*. 59(5):465-74

- 16)McCabe, C. B.,Psycharakis, S.,Sanders, R. (2011) Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at sprint pace. *J Sports Sci.* 29(2):115-23
- 17)奥野景介,生田泰志,若吉浩二,野村照夫. (1998) 一流選手の 100m 自由形における競泳のレース分析-1996 年度および 1997 年度日本選手権大会の比較-. 大阪教育大学紀要. 47:211-23
- 18)Schleihauf, R.E. (1979) A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. *Swimming III* :70-179 Baltimore,MD:University Park Press
- 19)Schnitzler, C.,Seifert, L.,Chollet, D. (2011) Arm coordination and performance level in the 400-m front crawl. *Res Q Exerc Sport.* 82(1):1-8
- 20)Seifert, L.,Chollet, D.,Bardy, B. G. (2004) Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *J Sports Sci.* 22(7):651-60
- 21)Seifert, L.,Chollet, D. (2005) A new index of flat breaststroke propulsion: a comparison of elite men and women. *J Sports Sci.* 23(3):309-20
- 22)Seifert, L.,Delignieres, D.,Boulesteix, L.,Chollet, D. (2007) Effect of expertise on butterfly stroke coordination. *J Sports Sci.* 25(2):131-41
- 23)驚見全弘. (2008) わが国におけるオープンウォータースイミング(OWS)の成長発展に関する研究.(リサーチペーパー) <http://www.waseda.jp/sports/supoken/rishu_gakui/researchpaper2008.html>(2012 年 1 月 6 日)

24)高木英樹,野村照夫,若吉浩二,小堀優子,生田泰志. (1993) 一流競泳選手のストロークパターン : バロセロナ五輪選考会における 400m 自由型出場選手の水中動作について. 日本体育学会大会号. 44:743

25)VanHeest, J. L.,Mahoney, C. E.,Herr, L. (2004) Characteristics of elite open-water swimmers. J Strength Cond Res. 18(2):302-5

26)若吉浩二. (1992) 競泳のレース分析～レース分析とその現場への応用～. バイオメカニズム学会誌. 16(2):93-100

27)財団法人日本水泳連盟 (2006) オープンウォータースイミング教本.東京 :大修館書店

28)財団法人日本水泳連盟 (2002) 水泳指導教本. 東京 :大修館書店

謝辞

本研究を行うにあたり、学部在籍時から6年間に渡り、指導して下さった指導教員の村岡功教授に心から謝意を表します。さらに、助言ならびに指導をして頂いた副査の土屋純教授、奥野景介教授に心より御礼申し上げます。

修士課程の2年間では、村岡研究室だけでなく、奥野研究室のゼミでも勉強させていただき、丸藤祐子先生、武田剛先生には研究計画からご指導ならびに論文執筆まで多大なご助力を賜りました。両先生に厚く御礼申し上げます。

そして、研究を行うにあたり、予備実験、本実験と何度も協力して下さった村岡研究室の大学院生、金岡研究室の大学院生、被験者として快く実験協力をして頂いた学生ライフセーバーの皆様、水泳同好会の皆様にも深く感謝の意を表します。

2012年1月13日

原怜来