

## ウィンドサーフィン選手の帆走能力と技術をディファレンシャル測位 GPS を用いて 評価する試み - パンピング動作を対象として -

藤原昌<sup>1)</sup>, 萩原正大<sup>2)</sup>, 石井泰光<sup>3)</sup>, 山本正嘉<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 鹿屋体育大学大学院

<sup>2)</sup> 国立スポーツ科学センター

<sup>3)</sup> 鹿屋体育大学

キーワード: セーリング, ウィンドサーフィン, パンピング動作, 移動特性, GPS

### [要 旨]

国内の一流ウィンドサーフィン(RS:X級)競技者2名を対象とし, ディファレンシャル測位GPS(DGPS)を用いて, 軽風域でのパンピング動作の有無による帆走能力の違いについて定量化するとともに, 競技レベルの違いによる帆走能力や技術の相違についても検討した. その結果, 被験者2名に共通して, パンピング動作を行うことで平均風向に対するボードの進行角度(BHA)を変えずに移動速度(BS)を増大させ, 帆走効率を示す平均風向に対する速度成分(VMG)を高めていることが示唆された. さらに, 競技レベルのより高い被験者は, 最適なBHAを維持するためのセイル操作(BSを上昇させる上では無駄な動作)を最小限に留めつつ, 律動的かつ素早く大きくセイルを引きこむことでBSを高め, VMGをより上昇させていた. 以上のようにDGPSを用いることで, BS, BHA, およびVMGといった移動特性に関する指標を詳細に捉えることが可能であり, ウィンドサーフィン選手の帆走能力や技術を評価する上で有効であると考えられた.

スポーツパフォーマンス研究, 5, 295-309, 2013年, 受付日:2013年3月26日, 受理日:2013年12月10日  
責任著者:藤原昌 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1 鹿屋体育大学大学院 akira.fujiwara@jpnport.go.jp

-----

### **Evaluation of the sailing ability and technique of windsurfers using differential GPS: Focusing on the sail pumping technique**

Akira Fujiwara<sup>1)</sup>, Masahiro Hagiwara<sup>2)</sup>, Yasumitsu Ishii<sup>3)</sup>, Masayoshi Yamamoto<sup>3)</sup>

1) Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

2) Japan Institute of Sports Sciences

3) National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key Words: sailing, wind surfing, sail pumping, movement characteristics, GPS

**[Abstract]**

The participants in the present study were 2 domestic top class windsurfers (RS:X class). The study used differential GPS (DGPS) in an attempt to quantify differences in their sailing ability from information on the presence of the pumping technique in the light breeze range, and to evaluate differences in their sailing ability from information on the presence of the pumping technique in the light breeze range, and to evaluate differences in their sailing ability during the pumping technique on the basis of differences in their performance level. It was found that both participants commonly used the pumping technique to increase the boat moving speed (BS) without changing the advancing angle (BHA) of the board toward the mean wind direction, and to raise the velocity component (VMG) to the mean wind direction as an indication of sailing efficiency. Furthermore, the participant who was at a higher competitive level minimized the sailing operation that maintained the optimal BHA which was useless for increasing the BS, and raised the BS and increased the VMG by pulling hard on the sail rhythmically and quickly. These results suggest that the use of DGPS made it possible to capture in detail indicators of movement characteristics, that is, the BS, the BHA, and the VMG, and thus that DGPS can be effective for evaluating the technique and sailing ability of windsurfers.

## I. 緒言

セーリング競技は、野外の水上で行われ海象(風や波)の影響を受けることから、移動様相に関するパラメータの計測が困難であった。さらに、レースは非常に広範囲に渡って行われるため、レース領域全体に散在した選手の移動様相を捉えることが難しいという問題もあった。

しかし近年、この問題を解決するために、Global Positioning System(以下「GPS」)を利用して移動様相や特性を捉え、選手のパフォーマンスを評価する試みが行われている。例えば、ウィンドサーフィン競技では、単独測位のGPSから得られた位置情報を用いて、選手や艇の移動様相や特性が検討されている(千足・藤原,2007;Castagna et al.,2008)。またこの手法を用いて、海上における模擬レース中の航跡情報を選手にフィードバックすることで、レース戦略に有効であることも報告されている(藤原ほか, 2009)。

さらに近年では、単独測位GPSよりも測位精度が高く、より詳細なデータを取得できるディファレンシャル測位のGPS(以下「DGPS」)が開発された。カナディアンカヌー競技においては、これを用いてパドリング動作と移動様相(移動速度、ストロークレート、1ストロークあたりの推進距離)との関連を検討し、パフォーマンスを評価する試みも行われている(藤原ほか, 2010;藤原ほか, 2013)。この手法をセーリング競技にも応用することで、これまで困難であった帆走動作および技術と移動様相との関係について、より詳細な検討や評価が可能になると考えられる。

特に、ウィンドサーフィン競技において多用されているパンピング動作(セイルを扇ぎボードに推進力を与える方法)は、1回の動作が非常に短時間で、かつ律動的に反復して行われるため、DGPSを用いることにより、これまで明らかにできなかったパンピング動作の詳細な移動特性を捉えられると考えられる。またウィンドサーフィン競技では、国際ルール(The Racing Rules of Sailing)の改定(1993年)により、いかなる風域であってもパンピング動作が許可され、レース時にはパンピング動作が多用される。これは他のセーリング種目に比べ特異な点といえる。

パンピングの動作に関する研究は、陸上の実験室内のシミュレーター上(Buchanan et al.,1996)および実際の水上においてパンピング動作の筋電活動の特徴(Dyson et al.,1996)やシミュレーター上でのビデオカメラを用いた動作分析については観察されている(So et al.,2004)。また、Castagna et al.(2007, 2008)は、セイル面積の拡大によってレース中の運動強度が最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )の80%以上に高まるとともに、それに応じたパンピング技術も必要とされると報告している。このため、この動作に関する詳細な知見を獲得することは、競技力向上のために有益といえる。

そこで本研究では、国内における一流ウィンドサーフィン選手を対象とし、DGPS を用いて、パンピング動作の有無による帆走能力の変化や、競技レベルの違いによる帆走能力および技術の違いを検討することとした。

## II. 方法

### 1. 対象

対象者は、国内の一流ウィンドサーフィン RS:X 級競技者 2 名(以下「被験者 A」,「被験者 B」)であった。彼らの年齢、体格、および競技成績を表 1 に示した。被験者の競技レベルは、両者とも 2009 年度日

本セーリング連盟が指定した男子強化指定選手であった。そのうち被験者 A は、オリンピック出場経験者であり、被験者 B よりもさらに競技レベルの高い選手であった。対象者にはあらかじめ、本研究の目的、方法、およびそれに伴う危険性を説明し、本研究に参加する同意を得た。なお、本研究は著者の所属機関の倫理審査小委員会の承諾を得て実施した。

表 1. 被験者の年齢、体格および競技成績

| 被験者 | 年齢(歳) | 身長(cm) | 体重(kg) | 競技成績  |
|-----|-------|--------|--------|---|
| A   | 24    | 182.0  | 71.1   | 2009年度ナショナルチーム選考レース: 1位<br>2008年RS:X級世界選手権: 18位<br>2009年RS:X級世界選手権: 24位<br>2008年北京オリンピック大会: 10位 |
| B   | 30    | 168.1  | 62.9   | 2009年度ナショナルチーム選考レース: 2位<br>2008年RS:X級世界選手権: 74位<br>2009年RS:X級世界選手権: 86位                         |

## 2. 海上での測定

本研究では、RS:X級(ボード部の寸法:286cm L × 93 cm W, セイル面積:9.5m<sup>2</sup>)においてパンピング動作を行うことの多い軽風域(風速1.6~3.3 m・sec<sup>-1</sup>の間)で測定を行った。各セット前後で風向と風速を、Plastimo社製のハンドベアリングコンパス(Iris 100 compass)と携帯型風速計(Windy)を用いて測定した。なお、風速および風向の計測は、伴走船からモーターボードを停止させて行い、計測間隔は、各セットの開始前と終了時(60秒間隔)に計測した。測定時の海上の環境は、平均風向295±5.7deg, 平均風速3.0±0.4 m・sec<sup>-1</sup>であった。

測定は、風上側の艇による引き波や風の乱れを避けるため 1 名ずつ行い、できる限り測定環境を統一するため、同じ日の 30 分以内に行った。海上には、スタート地点となる浮標を設置し、1 分間の帆走を行わせた。前半の 30 秒間はパンピング動作を行わずに帆走を行う条件(以下「パンピング無」)、また後半の 30 秒間は、パンピング動作を行う条件(以下「パンピング有」とした。

なお試技は、1 分間(パンピング無:30 秒間、パンピング有:30 秒間)を 1 セットとし、ポートタック(風を左舷から受けて帆走する状態)とスターボードタック(風を右舷から受けて帆走する状態)を交互に 3 セットずつ合計 6 セット行った。各セットのスタート前にはパンピング無で約 5 秒間の助走を行い、各セット間にはタッキング(方向転換)と1分間の休憩を加えた。測定開始とパンピング開始の合図を伝えるために、伴走船から 10 秒前よりカウントを数え、測定開始およびパンピング開始のタイミングにホイッスル音を鳴らした。

また被験者は、帆走中に絶えずバランスをとりながら、パンピング動作を行っており、進行方向を微調整するための動作の頻度や度合いが被験者ごとに異なる。そのため、被験者に対してパンピング動作の頻度や努力度合いについては規定せずに、レースと同様に風向に対して最も効率良く、風上へ帆走することを心がけるよう指示した。

### 3. DGPS を用いた艇の位置情報の取得方法

本研究は、帆走中の移動様相を測定するために、アンテナ一体型のDGPS 受信機(A100:20Hz, Hemisphere 社製, 寸法:12.95cmL × 12.95cm W × 5.47cmH, 400g, 水平精度:<0.5m 95%)をジョイント(ボード部とそれ以外のセイルを含むリグ部を接続する装具)の動きに干渉されず、パンピング動作による船首の横振れが影響しにくい箇所(ボード部の中心線上かつジョイントから20cm船首側)に搭載した(図1).

使用したDGPS 受信機は、静止衛星を用いて位置情報(緯度・経度)の誤差を広範囲で補正する技術(Satellite-Based Augmentation System;SBAS)を利用した機器であり、固定観測における精度誤差は10cm程度である(Odaka et. al., 2011). さらにデータロガー(Data Bridge SDR, Acumen Instruments Corporation, 寸法:12.4 cmL × 8.57cmW × 3.12 cmH, 241g)を専用のバックパックに入れ、被験者に背負わせた(図1).



図1. 測定の様子

また試技中は、被験者の後方よりモーターボートで被験者との距離を一定に保ちながら追走し、デジタルビデオカメラ(Handycam, Sony社製:30Hz)を用いてパンピング動作を撮影した. DGPSとデジタルビデオカメラとの同期方法は、モーターボートに搭載したGPS受信機をPCに接続し、モニタ上に表示される時刻情報を試技開始1分前にビデオカメラで撮影することで行った. なおDGPSの位置情報(緯度・経度)は、ビデオカメラと同期するために、MATLAB R2012a(MathWorks社)を用いて、3次のスプライン関数により20Hzを30Hzに補間した.

### 4. 分析項目

#### (1) 帆走中の移動様相に関する項目

DGPSから得られた位置情報を時間微分することで移動速度(Board Speed:以下「BS」)を算出した. また、各セットのスタート地点とフィニッシュ地点の2点間の位置座標より、平均風向に対するボードの進行角度(Board Heading Angle:以下「BHA」)を算出した(図2). さらに帆走効率を評価する指標として、平均風向に対する速度成分(Velocity Made Good;以下「VMG」)を求めた(図2).

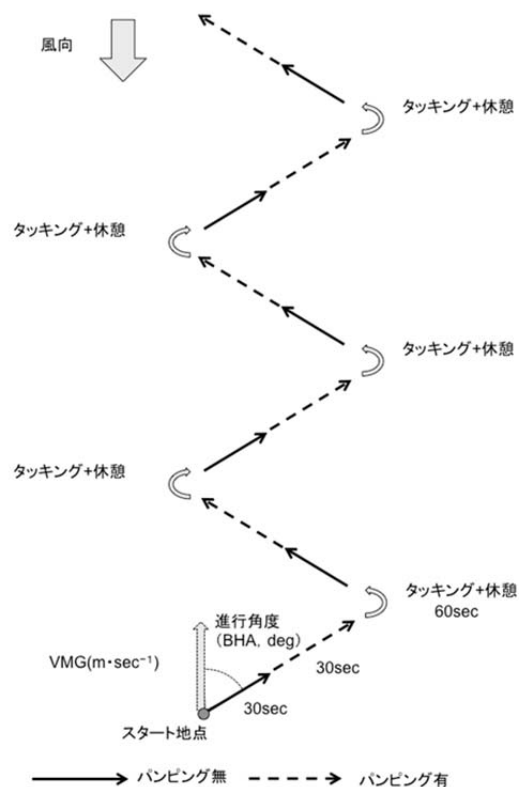


図 2. 測定プロトコール

(2) 1回のパンピング動作中の局面分け

さらに本研究では、パンピング動作中の移動様相を観察するために、30秒間に行われた全てのパンピング動作を対象として1回のパンピング動作中におけるBSとVMGの平均波形を算出した。なお、海上での測定結果は、風向や風速の微妙な変化、また波の大きさやタイミングなど様々な要因に影響を受け、ばらつきが大きくなるため、全6セットの中で両被検者の風速および風向の値が、最も近かった1セットを代表値として抽出した。

1回のパンピング動作は、膝関節を最大屈曲後、「セイルが身体と最も離れた状態(図3-①, 以下「局面①」)」から次の同地点(図3-⑤, 以下「局面⑤」)までと定義することで、各パンピング動作の時間、BS、およびVMGを規格化して平均波形を算出した。なお平均波形は、1回のパンピング動作中におけるBSとVMGを、測定時間(30秒間)内で観察されたパンピングの回数分だけ加算平均することで算出した。

また、1回のパンピング動作は、「セイルを手前に引き込む動作(図3-②, 以下「局面②」)」局面と「セイルに風を溜める動作(図3-④, 以下「局面④」)」局面の2つの動作局面に分類するために、その局面分けのポイントを「セイルと身体が最も近づいた状態(図3-③, 以下「局面③」)」と定義した。

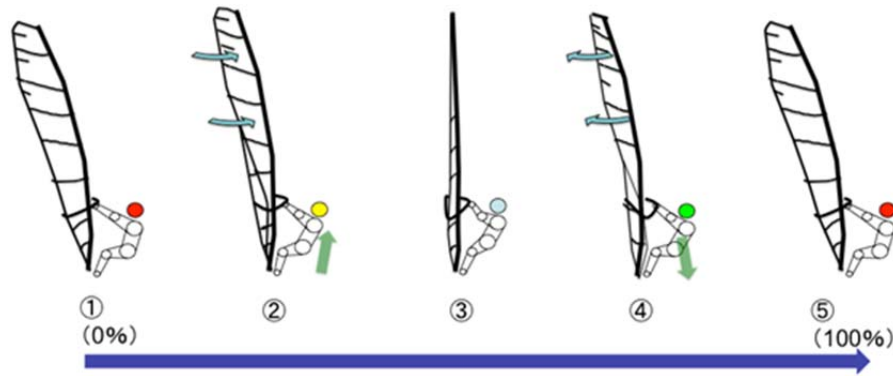


図 3. 1 回のパンピング動作中の身体とセイルの動きの局面分け

※局面①;セイルと身体が最も離れた(セイルに風が溜まった)状態(規格化時間 0%, 100%), 局面②;セイルを手前に引き込む動作, 局面③;セイルと身体が最も近づいた状態, 局面④;セイルに風を溜める動作, 局面⑤;セイルと身体が最も離れた(セイルに風が溜まった)状態(規格化時間 100%, 局面①に戻る)

### 5. 統計処理

測定値は, すべて平均値±標準偏差で表した. パンピング動作の有無による違いおよび被験者間の違いに関する各測定項目の比較については Mann-Whitney の U 検定を用いた. なお, 統計処理の有意性は 5%未満で判定した.

## III. 結果

### 1. パンピング動作の有無による各測定項目の比較

図 4 は, 被験者 A, B のある 1 セット(パンピング無:30 秒間, パンピング有:30 秒間)中における BS の推移を示したものである. 両被験者のデータは, 全6セットの中で両被験者の風速および風向の値が, 最も近かった1セットを抽出した. 両被験者ともにパンピング動作を開始すると同時に BS が上昇した. なお, パンピング開始後に BS が上昇する様相は, 全てのセットにおいて観察された.

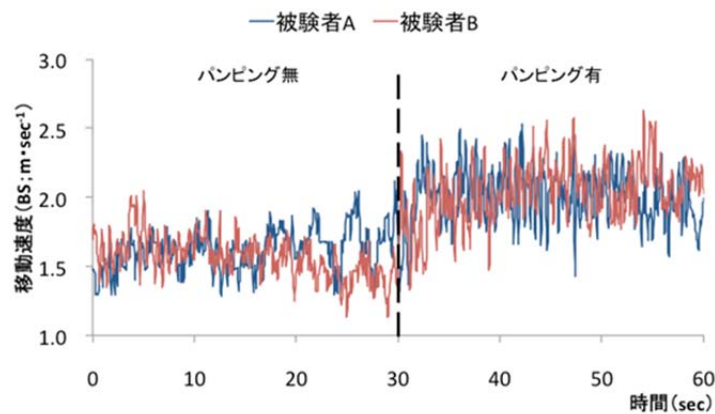


図 4. 被験者 A, B におけるある 1 セット中の BS の推移

表 2 は, 被験者 A, B の全 6 セットについて, パンピング無と有の両条件ごとの BS, BHA, VMG と測定時の風速の平均値と標準偏差について示したものである.測定中の平均風速は, 被験者 A, B ともに同等

であり、有意な差は認められなかった。各項目ともに、被験者 A, B 間の比較では測定値に有意差は認められなかったが、パンピングの有無による比較ではいくつかの項目で有意差が認められた。

表 2. パンピング動作の有無による BS, BHA, VMG の変化および風速情報  
被験者 A と B の値には、いずれの指標についても有意差は認められなかった。

|   |      | パンピング無    | パンピング有    | 変化率 |    |
|---|------|-----------|-----------|-----|----|
| 艇速度(BS, m·sec <sup>-1</sup> )           | 被験者A | 1.55±0.12 | 1.96±0.10 | 26% | ** |
|   | 被験者B | 1.54±0.18 | 1.90±0.17 | 23% | ** |
| 進行角度(BHA, deg)                          | 被験者A | 48.1±5.0  | 47.6±4.2  | -1% |    |
|   | 被験者B | 48.6±2.4  | 50.0±2.8  | 3%  |    |
| 平均風向に対する速度成分(VMG, m·sec <sup>-1</sup> ) | 被験者A | 1.03±0.12 | 1.32±0.15 | 28% | ** |
|   | 被験者B | 1.01±0.12 | 1.22±0.10 | 20% | ** |
| 平均風速(m·sec <sup>-1</sup> )              | 被験者A | 3.0±0.5   | 3.0±0.5   | 0%  |    |
|   | 被験者B | 3.0±0.3   | 3.0±0.4   | 0%  |    |

\*\* : p<0.01, パンピング無 vs パンピング有

BS は、被験者 A, B ともに、パンピング無よりもパンピング有の方が有意に高値を示した (p<0.01)。またその変化率は、被験者 A が 26%、被験者 B が 23% であった。

BHA について、被験者 A はパンピング無よりもパンピング有の方が 1% 減少し (風上側へ向き)、被験者 B では 3% 増加する (風下側へ向く) 傾向を示したが、その他の項目のように有意な差は認められなかった。

VMG については、BS と同様、被験者 A, B ともにパンピング無よりもパンピング有の方が有意に高値を示した (p<0.01)。またその変化率は、被験者 A が 28%、被験者 B が 20% であった。

また、パンピング無では、被験者 A, B の BS と VMG の値はほぼ同等であったが、パンピング動作を行うことで被験者 A の方が BS および VMG ともに、被験者 B よりも優れた値を示す傾向がみられた。しかし、いずれの項目においても有意な差は認められなかった。

## 2. パンピング動作中の動作局面の特徴と移動特性

### (1) 1 回のパンピング動作中における動作局面の現れ方

本研究におけるビデオ動画から、全 6 セットの中で両被験者の風速および風向の値が、最も近かった 1 セットを抽出した。被験者 A と B の 1 セットにおけるパンピング中の動作 (30 秒間) の特徴を検討したところ、被験者 A, B における 30 秒間のパンピング動作回数、それぞれ 52 回、49 回であり、104 times·min<sup>-1</sup>、98times·min<sup>-1</sup> の頻度で動作が行われていた。

図 5 は、被験者 A, B における 1 セット (30 秒間) を対象に各パンピング動作中の規格化時間の中で、セイルが身体に最も近くなるポイントである局面③ (図 3) が出現したタイミングを示したものである。局面③の状態は、被験者 A では規格化時間の中の 20-30% の区間で、被験者 B では 30-40% の区間で多く出現した。

また、局面③が出現したタイミングを、全てのパンピング動作の平均値として算出したところ、被験者 A では規格化時間の 21.3±5.3%、被験者 B では 31.1±5.5% のところで出現していた。したがって、1 回のパンピング動作において「セイルを手前に引き込む動作 (局面②) の占める割合は、被験者 A の方が B よりも小さい結果となった。



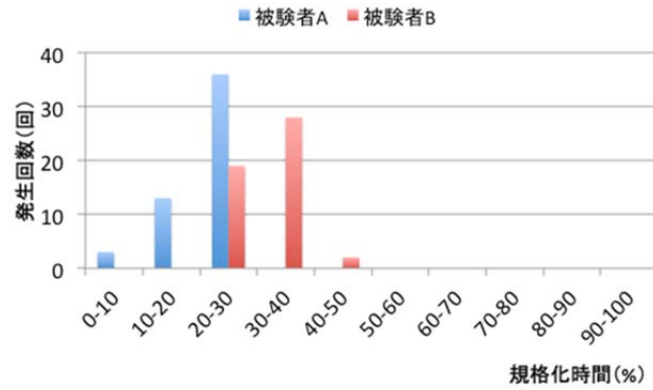


図 5. 被験者 A, B における 30 秒間に行われた各パンピング動作中の規格化時間の中で「セイルが身体に最も近くなった状態(図 3-③)」が見られた区間

(2) 1 回のパンピング動作中の BS と VMG の変化

図 6 は、被験者 A, B における 1 回のパンピング動作中の BS と VMG の変化について示したものである。これは、1 セット中のパンピング有(30 秒間)でみられた全てのパンピング動作の値を加算平均した結果を示している。

規格化された 1 回パンピング動作中の BS の様相として、被験者 A は、規格化時間 10-40%付近にかけて BS が上昇する傾向が窺えた。一方で、被験者 B については、被験者 A のような様相は観察されなかった。

また、規格化された 1 回パンピング動作中の VMG の様相として、被験者 A は、規格化時間 20-50%付近にかけて VMG が上昇する傾向が窺えた。一方で、被験者 B については、BS と同様に被験者 A のような様相は観察されなかった。

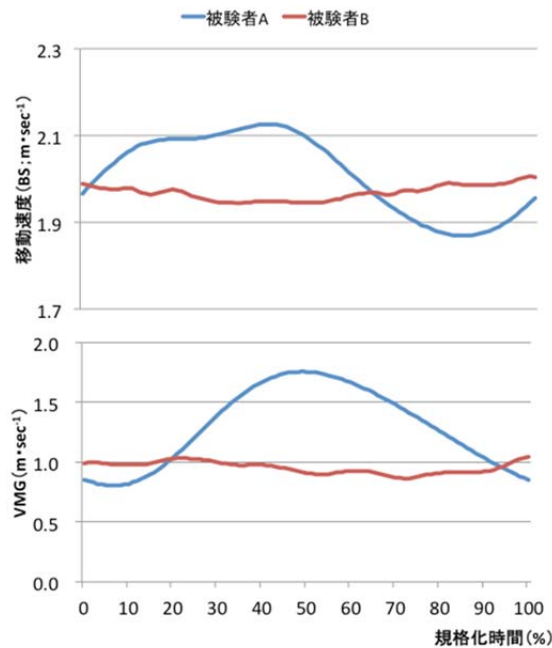


図 6. 被験者 A, B のパンピング動作における BS および VMG の変化  
 ※規格化時間 0%と 100%地点は、セイルが身体と最も離れた状態(図 3-①, ⑤)を示している。

(3) 1 回のパンピング動作中の動作局面と移動特性との関係

(1)と(2)で述べたとおり, 被験者 A, B を比べると, 規格化された 1 回のパンピング動作中の動作局面の出現タイミング(図 5)や, BS および VMG の変化様相に違いがみられた(図 6). そこで, パンピング動作の特徴的な局面の一つとなる局面③の出現タイミングと, セーリング競技における帆走効率を示す VMG が最大となるタイミングとの関係について検討した.

図 7 は, 両者の関係について示したものである. 被験者 A は, ほとんど全てのパンピング動作で局面③が規格化時間 10-30%の間で起こっており, VMG が規格化時間 40-60%の間で最大になるという一定の傾向がみられた. 一方で被験者 B では, 局面③については規格化時間 20-40%の間に出現しているものの, VMG が最大となるタイミングには一貫性は見られず, 全ての範囲(規格化時間 0-100%)に散在していた.

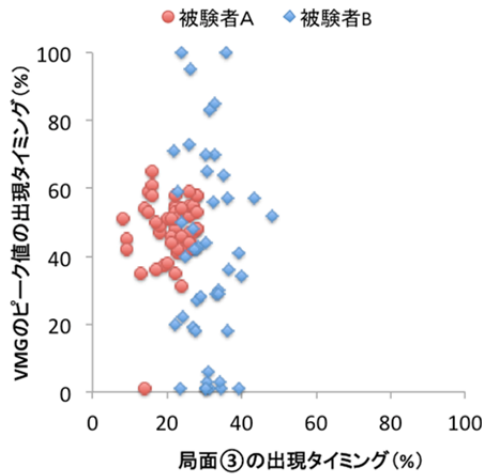


図 7. 局面③と VMG のピーク値が出現するタイミングの関係  
※縦軸, 横軸とも規格化時間(%)を示す.

図 8 は, 競技レベルの高い被験者 A のパンピング時の BS および VMG と, 各動作局面との関係について示したものである. 被験者 A の「セイルと身体が最も近づいた状態(局面③)」は, 動作の前半(規格化時間 20-30%の間)で現れ, それに合わせて BS が上昇していた(規格化時間 10-40%の間). そしてそれに引き続いて, 動作の中盤(規格化時間 50%付近)にかけて VMG が上昇する傾向がみられた.

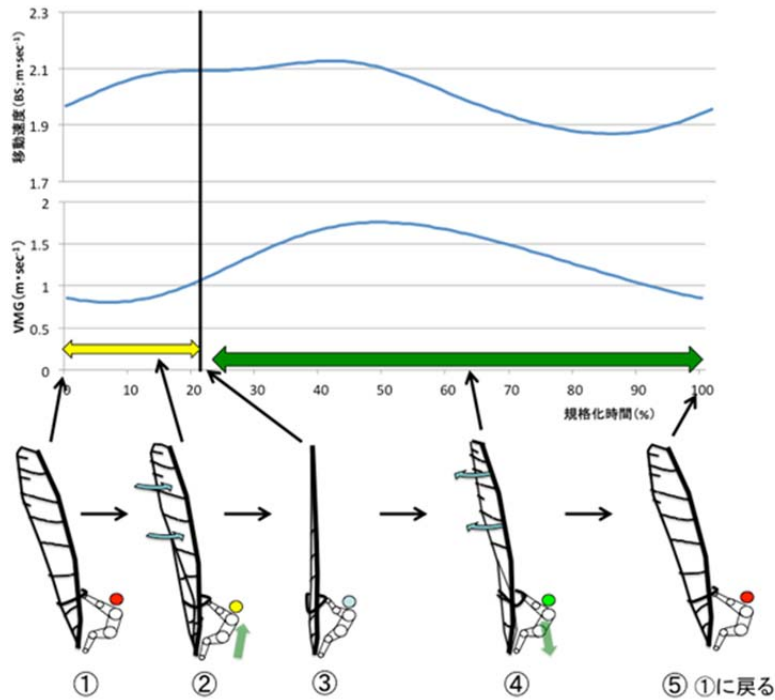


図 8. 被験者Aのパumping技術の特徴

※局面①;セイルと身体が最も離れた(セイルに風が溜まった)状態(規格化時間 0%), 局面②;セイルを手前に引き込む動作(黄色の矢印部分), 局面③;セイルと身体が最も近づいた状態(縦の実線), 局面④;セイルに風を溜める動作(緑色の矢印部分), 局面⑤;局面①に戻る(規格化時間 100%)

#### IV. 考察

本研究では、国内における一流ウィンドサーフィン選手を対象とし、DGPS を用いて軽風域でのパンピング動作中の移動様相の評価を試みた。その結果、パンピング動作の有無による帆走能力の変化や、パンピング動作中の動作局面と移動様相との関係について、数値化して表すことができた。

本研究における被験者 A, B の過去の成績(表 1)を見ると、いずれも日本国内においてはトップレベルの選手であるが、被験者 A は毎年の世界選手権で 20 位程度、2008 年の北京オリンピック大会での日本人の過去最高成績(10 位)を収めた選手である。一方で、被験者 B は、同時期の世界選手権で 80 位程度であることから、被験者 A の競技レベルの方がより高いといえる。

したがって以下の考察では、被験者 A と B の競技レベルの違いを踏まえた上で、1) パンピング動作の有無による帆走能力の変化、2) 異なる競技レベルの被験者間におけるパンピング動作や技術の違いの 2 点について検討を加える。

##### 1. パンピング動作の有無による帆走能力の変化について

風を主な動力源として利用するセーリング競技では、艇は直接風上の方角に向かうことはできない。また用具自体の性質や能力を示す帆走性能は、風向に対する進行角度、帆走速度、風速の比によって構成され(加藤, 2008), RS:X 級においては軽風下における風上方向への帆走の場合、風向に対して約 50deg で帆走すること(Gourlay and Martellotta, 2011)が報告されており、本研究の結果と概ね一致する

(表 2).

同じ風速下において、風上に向かい過ぎて帆走すると、BHA はより風上 (<50deg) に向くことになるが、風の力を最大限に利用できずに BS が著しく低下する。一方で、風下に向かい過ぎて帆走すると、BS は上昇するが BHA が浅くなり (>50deg)、風上から遠退くことになる。すなわち、両者は相反する関係になるため、これらのバランスが最良の時に、VMG が最も高い帆走状態になる。

本研究において BS は、パンピング無よりもパンピング有の方が高値を示し、被験者 A では 26%、被験者 B では 23% の増大であった (図 4, 表 2)。このことについては、経験で知られていた事実を数量的に裏付けた結果といえるが、本研究で得られたデータからは、さらに以下のようなことも明らかとなった。

表 2 をみると、BHA についてはパンピング無・有の両条件間に大きな変化はみられなかった (表 2)。したがって被験者 A, B ともに、パンピング無の時の BHA を維持しながら、パンピング動作を行うことで BS を高め、その結果として、帆走効率の指標である VMG が高まったと考えられる。つまり、国内の一流選手のパンピング動作の特徴として、BHA を維持したままセイルを仰ぐことで、BS を向上させる効果を生じさせていると言える。

さらに、被験者 A の方が、被験者 B よりもパンピング動作を行うことによる BS および VMG の変化率が高い傾向がみられた (表 2)。これは、結果 2(1) に示すように 1 回のパンピング動作において、被験者 A の方が被験者 B よりも「セイルを手前に引き込む動作 (局面②)」の占める割合が小さかったことによるものと考えられる。つまり、被験者 A の方が素早くセイルを引き込むことでより高い BS を獲得でき、VMG の向上に繋がったと考えられる。

このことに関して、被験者 A の「セイルと身体が最も近づいた状態 (局面③)」は、動作の前半 (規格化時間 20-30% の間, 図 5) で現れ、それに合わせて BS が上昇していた (規格化時間 10-40% の間, 図 6)。そしてそれに引き続いて、動作の中盤 (規格化時間 50% 付近, 図 6) にかけて VMG が上昇する傾向がみられた (図 8)。つまり、パンピング動作による VMG の上昇は、「セイルを手前に引き込む動作 (局面③)」によって、BS を高めたことによってもたらされている可能性が考えられる。

## 2. 異なる競技レベルの被験者間におけるパンピング技術の違い

被験者 A は、被験者 B よりも競技レベルがさらに高く (表 1)、しかも軽風域におけるパンピングを得意としている。したがって、被験者 A のパンピング動作の特徴は、ウィンドサーフィン競技における理想的なパンピング動作の典型例として捉えることも可能と考えられる。そして、被験者 A と被験者 B のパンピングの特徴を比較することで、被験者 B がより効率的な動作を習得するための課題を見出すヒントになるとも考えられる。

[動画 1](#) は、被験者 A におけるスターボードタック時のパンピング動作と、その際の BS および VMG の推移についてスロー再生で示したものである。ほとんどのパンピング動作において、セイルを引き込んだ後 (局面③-④間) に、まず BS が上昇し、その後 VMG が上昇する一連の流れが安定して行われていることが分かる。つまり、高い VMG を獲得するためには、セイルの引き込み動作によって、BS を高めるような一連の動作を安定して繰り返すことが必要であるといえる。

一方で被験者 B は、動作は律動的であるものの、被験者 A と比べて、セイルの煽りが小さく、セイル操作中のブーム(セイルを操作するための楕円形をした取手)を進行方向前後に傾ける(進行方向の調整)回数が多く、その傾き量も大きいことが分かる(動画 2-右側)。すなわち被験者 B は、被験者 A (動画 2-左側)に比べてセイルの引き込み動作が、BS や VMG を上昇させる上では効果的な動作ではない可能性がある。

この原因としては、考察 1 で述べたように、最適な BHA を保つために行うセイル操作が影響していると考えられる。ウィンドサーフィン選手は、帆走中に絶えずバランスをとりながら、パンピング動作を行っており、進行方向を調整するためのセイル操作の度合いは 1 回 1 回のパンピング動作ごとに異なる。そのため、図 5 のように両被験者ともセイル操作の度合いによって引き込み動作(局面②)に要する割合がいくつかの区間に分かれる結果となった。さらに被験者 B は、パンピング動作中にベアリング(セイルを進行方向に対して前方へ傾け、艇を風下に向ける操作)やラフィング(セイルを進行方向に対して後方へ傾け、艇を風上に向ける操作)といった BHA を調整するためのセイル操作が大きくかつ多くなり、このような BS を高める上では無駄な動作の割合が大きいため、セイルの引き込み動作が BS や VMG の上昇に対して効率的ではなかったと推察される。そして結果的に、図 7 に示すように 1 回 1 回のパンピング動作ごとに VMG の最大値が出現する地点が散在してしまったと考えられる。図 6 で、被験者 B の平均波形が平坦になっている理由も、このことが原因であると考えられる。

被験者 A のようにより高い VMG を獲得するための効果的なパンピング動作の方法としては、「律動的に、かつ素早く大きなセイルの引き込み動作によって、BS を高める正しい動作を再現性よく行うこと」、「最適な BHA を維持するためのセイル操作を出来るだけ小さくかつ少なくし、無駄な動作を最小限にすること」が挙げられる。

以上のことをまとめると、DGPS から得られた帆走能力に関する指標を用いることで、ウィンドサーフィン競技におけるパンピング動作の特徴を様々な面から捉えることが可能と考えられる。また、競技レベルの異なる被験者間で比較することにより、パンピング動作における帆走能力および技術差を評価できることも示唆される。これらの手法や知見は、ウィンドサーフィン競技選手のパフォーマンスの分析および向上に寄与するものと考えられる。

## V. まとめ

国内の一流ウィンドサーフィン(RS:X 級)競技者 2 名を対象とし、DGPS を用いて、軽風域でのパンピング動作の有無による帆走能力の違いや、競技レベルの違いによる帆走能力や技術の相違について検討した。

その結果、被験者 2 名に共通して、パンピング動作を行うことで BHA を変えることなく BS を高めることができ、帆走効率を示す VMG を高めていることが示唆された。さらに、競技レベルのより高い被験者 A は、最適な BHA を維持するためのセイル操作を最小限に留めつつ、律動的かつ素早く大きくセイルを手前に引きこむことで BS を高め、VMG をより上昇させていた。

一方で被験者 B は、動作は律動的であったが、BHA を調整するためにブームを進行方向前後に傾け

る回数が多く、その傾き量も大きいことから、セイルの引き込み動作が BS や VMG の上昇に効果的に繋がっていないことが示唆された。

以上のように DGPS を用いることで、BS、BHA、および VMG といった移動特性に関する指標を、多面的に捉えることが可能であり、ウインドサーフィンの帆走能力や技術を評価したり、ひいてはパフォーマンスを向上させるための示唆を得る上でも有効であると考えられる。

## 付記

本研究は平成 20 年度の鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター共同研究「一流ウインドサーフィン競技者の体力測定および競技中のパフォーマンス評価」の研究費を受けて行われた。

## 参考文献

- Buchanan, M.,P.Cunningham,R.J.Dyson,P.D.Hurriion(1996) Electromyographic activity of beating and reaching during simulated boardsailing. J Sports Sci.14:131-137.
- Castagna,O.,C. VazPardal,J. Brisswalter(2007) The assessment of energy demand in the new Olympic windsurf board: Neilpryde RS:X®.Eur J Appl Physiol.100:247-252.
- Castagna,O.,J.Brisswalter,J.R.Lacour,I.Vogiatzis(2008) Physiological demands of different sailing techniques of the new Olympic windsurfing class.Eur J Appl Physiol.104:1061-1067.
- 千足耕一, 藤原昌(2007) セーリング競技－GPSを用いた航跡分析の可能性.バイオメカニクス研究.11:124-129.
- Dyson,R.J.,M. Buchanan,T.A. Farrington,P.D. Hurriion(1996) Electromyographic activity during windsurfing on water. J. Sports Sci. 14(2):125-130.
- 藤原昌, 千足耕一, 山本正嘉(2009) ウインドサーフィン競技におけるレース戦略の改善を目的としたGPSの活用.トレーニング科学.21:57-64.
- 藤原昌, 中村夏実, 山本正嘉(2010) カヌーにおけるDifferential GPSを用いた艇の移動様相に関する包括的な評価システムの構築.体育測定評価研究.10: 67-75.
- 藤原昌, 萩原正大, 山本正嘉(2013) Differential-GPSを用いたカナディアンカヌー競技の500m全力漕における艇の移動特性の解明.コーチング学研究.26(2):155-165.
- Gourlay, T.P., J.M. Martellotta (2011) Aerohydrodynamics of an RS:X Olympic racing sailboard. Centre for Marine Science and Technology, Curtin University, Research Report, 2011.
- 加藤道生(2008) ウインドサーフィンの運動力学.日本機械学会スポーツ工学シンポジウム・シンポジウムヒューマン・ダイナミクス講演論文.pp.191-196.
- Odaka, Y., S. Takano,Y. In, M. Higuchi, H. Murakami (2011) The evaluation of the error characteristics of multiple GPS terminals. CSCS '11 Proceedings of the 2nd international conference on circuits, systems, control, signals. pp.13-21.

- So, R., K.M. Chan, R. Appel, Y. Yuan (2004) Changes in the multi-joint kinematics and coordination after repetitive windsurfing pumping task. *J.Sport.Med.Phys.Fitness*.44:249-257.
- Witte, T.H., A.M. Wilson(2007) Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *J Biomech*.37(12):1891-1898.
-