

GPS・慣性センサーを用いたウインドフォイルのパフォーマンス分析

穴見知典, 和田智仁

鹿屋体育大学体育学部

キーワード: ウインドフォイル, GPS, 慣性センサー, 姿勢計測

【要 旨】

ウインドサーフィン競技の新しい種目であるウインドフォイルは、ボード下に水中翼を装着し、この水中翼から大きな揚力を得ることで水面からボードが離れ飛ぶように滑走する。このため従来のウインドサーフィンとは異なった特性を有するが、現時点では競技パフォーマンスに関する技術的な情報は少ない。そこで本研究ではウインドフォイルの帆走状況を GPS や慣性センサーにより測定し、風上帆走におけるボード操作とパフォーマンスとの関係性を明らかにすることを目的とした。

実験では 2 つの異なる海上状況において 1 名の被験者にウインドフォイルを風上帆走させ、安定して帆走した 30 秒間を対象とし、海上状況ごとに 5 試技ずつの計測値から分析を行った。

その結果、ウインドフォイルでは 5m/s 程度の微風時において帆走速度を高めても帆走角度を小さくすることが可能であった。ボード姿勢を分析したところ、ボードをプレイヤー側に傾けるアンヒール状態を保つことが有効であった。これらは従来のウインドサーフィンとは異なる結果で、ウインドフォイルの特性と推察される。これらの特性を踏まえたトレーニングやレースを行うことで、ウインドフォイルのパフォーマンス向上につながると考えられる。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 137-145, 2020 年, 受付日: 2019 年 3 月 28 日, 受理日: 2020 年 4 月 7 日

責任著者: 和田智仁 893-2393 鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学 wada@nifs-k.ac.jp

Analysis of windfoil performance using GPS and an inertial sensor

Tomonori Anami, Tomohito Wada

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: windfoil, GPS, inertial sensor, posture measurement

【Abstract】

Windfoil is a new form of windsurfing in which a hydrofoil mounted under the board lifts the board off the surface of the water to sail. Windfoils have different features from conventional windsurfing, however, technical information regarding the influence to

performance is still limited. The present study examined the relationships between board operations and performance when sailing against the wind by measuring sailing states with a GPS and an inertial sensor.

One participant performed five trials in two different water conditions. Data was analyzed during stable sailing against the wind for 30 seconds per trial.

It was found that windfoiling decreased the sailing angle while increasing sailing speeds in light wind conditions such as 5 m/s, and that it was effective to keep the board lean to the surfer's side. These results were different from those found in conventional windsurfing, suggesting that elucidating features specific to windfoiling may be important for training and racing in order to improve performance.

1. はじめに

ウインドfoilはウインドサーフィン競技の最も新しい種目であり、2018 年からは PWA (Professional Windsurfers Association) が主催する国際大会にも採用され、2024 年パリオリンピックでも採用が決定している。ウインドfoilのレースはコースレース形式で競われることから風上、風下帆走が含まれており、帆走速度やコース取りといった要素がパフォーマンスの要因となる。

ウインドfoilでは、ウインドサーフィンのボード下に水中翼(ハイドロfoil)を装着する(図 1)。水中翼は、長さ 90cm 前後のマストと、水平方向に伸びた主翼と尾翼、それらを接続する胴体から構成されている。帆走時にはこの水中翼により大きな揚力が生じ、ボードが水面から離れ浮上し、飛ぶように滑走するという特徴がある(ビデオ 1)。水中翼の揚力でボードが浮上するとボードと水面との摩擦が小さくなることから、従来のウインドサーフィンと比較して弱い風でも帆走速度を高めることができ、またセイルを小さくすることができると言われている。このような機材の構造と帆走特性の違いから、ウインドfoilでは従来のウインドサーフィンとは異なる艇の動作や反応がある。



図1 ウインドfoilのボードとfoil

従来のウインドサーフィンに関しては、一般的な技術書や指導書が数多く存在し、また競技パフォーマンスに関する研究として GPS により帆走能力を評価したもの(藤原ほか, 2013)や、GPS から得た航跡に基づき模擬レース中の移動様相を分析したもの(萩原・石井, 2015)、生理的な負荷に関するもの(Castagna et al., 2008)など多様なものが報告されている。しかしながらウインドfoilに関しては技術的な情報が少なく、またウインドfoilを対象とした競技パフォーマンスに関する研究も見当たらない。これはウインドfoilが誕生して間もないことが理由であると考えられる。

近年では小型軽量で運動中の選手やスポーツ器具に装着可能な各種のセンサーが利用可能となり、スポーツ関連研究や実際の競技場面において動きの分析などに用いられている。これまでセンサーを用いたスポーツに関する研究としては、センサーから得られる加速度や角速度の値を直接的に用いて身体活動量を推定するものや、動作特性を評価するものが中心であった。例えば、水上競技に関する研究として中村ら(2007)は腰背部に装着した加速度センサーから得られた加速度の積分値を用い水上動作を行う選手のローイング・パドルングに関する身体運動量の推定やパフォーマンス評価の可能性

を示している. 一方で, 最近では複数のセンサーから得られる情報を合成し, 姿勢など情報を抽出するセンサーフュージョン技術が利用可能となっている. この技術を応用した水上競技に関する研究として Tessendorf らは(2011)ボートと左右のオールに 3 つの慣性センサーを設置し, センサーの角度変化から漕動作のパフォーマンス分析を行っている. 商用製品としては Motionize 社 (<https://www.motionizeme.com/>)は SUP やカヤックのパドル向けの慣性センサー製品を開発しており, ストローク数などのデータをフィードバックするシステムとして提供している. 日本ウインドサーフィン協会などはセーリングスキルの向上を目的とし GPS や 9 軸センサーを用いてセイル操作をデータ化する実証実験を開始している(富士通, 2017). これらの例のように, センサーフュージョンによってセンサーの姿勢変化を測定する手法はスポーツ活動中の器具や選手の動きの分析に有用であり, 特に水上などの従来は測定の難しかった環境での測定に適していると考えられる. しかしながら, 現時点でセンサーを姿勢計測に用いた先行研究は少なく, 特にウインドfoilにおいてロールやピッチといったボードの姿勢とパフォーマンスとの関連は明らかにされていない.

そこで本研究では, レースにおいて重要となる風上方向への帆走を対象として, 異なる風速と海面におけるウインドfoilの帆走状況を GPS や慣性センサーを用いて測定し, 帆走速度や帆走角度, ボード姿勢に着目した分析を行い, ウインドfoilの競技パフォーマンスとの関連を明らかにすることを目的とした.

2. 方法

対象者は, ウインドfoil競技者 1 名(2018 年 PWA foil ランキング 26 位/ユース 1 位)とした. 使用した機材は, ボードおよびfoilセットが Starboard 社製の Foil Board177 および Foil RACE, セイル, マストおよびブームが Severne sails 社製の Mach 1 (7.8m²), APEX および ENIGMA (190cm)であった.

位置情報の計測には, ウェアラブル GPS (GPSport 社製 SPI ProX)を使用した. GPS はライフジャケット背面のポケットに装着し, 計測周波数は 15Hz とした. ボード姿勢情報の計測には, 小型の慣性センサー(スポーツセンシング社製 DPS 防水型ワイヤレス 9 軸モーションセンサ 16G)を使用した. 慣性センサーは, 計測周波数 100Hz とし, 実験者が作成した金具に固定した後にマストベースとともにボード上面の中央部に設置した(図 2).

測定は, 風速と風向が安定する日に実施した. 風速によるコース取りやボード操作への影響を調査するために, 同一海域で風速が異なる日に同様の測定を実施した. 帆走方法は, スターボードタック(ボードの右舷から風を受ける状態)のみのクローズホールド(風上帆走)とした. 各試技では 60 秒程度の帆走を行わせ, この中から安定して帆走できた試技について十分に加速した後の 30 秒間を抽出し分析対象とした(図 3). 試技中は観測用の船を走路近くに置き, 実験者が風向をハンドベアリングコンパス(Plastimo 社製 Iris100)で, 風速を携帯型風速計(Kaindl 社製 Windtronic2)にて手動で計測し, 記録した.

GPS から得られた緯度・経度を直交座標系に変換し, 分析開始時および終了時のボード位置を算出し, ボードの移動距離と進行方位角を求めた. この移動距離を分析対象時間の 30 秒で割ったものを帆走速度, 進行方位角と記録された風向との差を帆走角度(Boat Heading Angle, BHA)とし, さらに

風上方向への速度成分 (Velocity Made Good, VMG) を求めた (図 3). VMG は風上方向への有効速度を表すもので, VMG が高いほど目標地点への到達が早いことになる. そこで本研究では VMG を帆走パフォーマンスの指標とした.

慣性センサーから得られたクォータニオン表記の姿勢情報は, スポーツセンシング社の提供する「角度追加アプリケーション」によりオイラー角に変換し, ボードのロール (進行方向を軸としたボードの回転, 横揺) とピッチ (船首が上下する方向の回転, 縦揺) とした.



図 2 慣性センサーの装着状況 (右は拡大図)

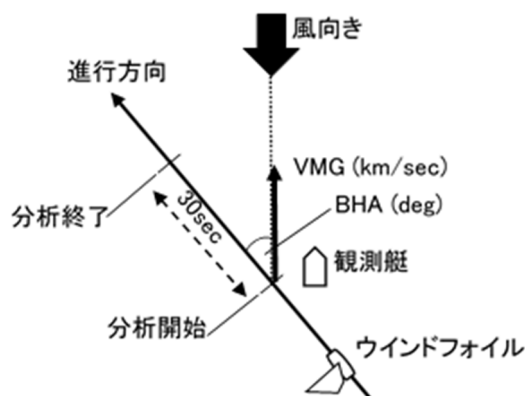


図 3 実験方法と評価項目

3. 結果

測定は, 風速が異なる 2 日に分けて実施された. 初回は実測値で風速 5m/s 程度 (以下, 微風時), 2 回目は風速 8m/s 程度でやや風が強い状態 (以下, 中風時) であった. 両日も測定中の風速, 風向は安定していた. 海面状況については, 初回は水面が荒れておらず滑走時にボードに波がほぼあたることのないフラット海面, 2 回目は滑走時にボードに波があたることもある程度のラフ海面であった.

測定結果を測定日ごとに VMG の値が高い順に並べた結果を表 1, 2 に示す. ロールおよびピッチは, 30 秒間の平均値および標準偏差を示している. 帆走速度は微風時の方が全体的に高速であったが, BHA に関しては中風時の方が低値を示しており, 帆走パフォーマンスを示す VMG の平均値は, 微風時が $13.2 \pm 1.9 \text{ km/h}$, 中風時には $13.5 \pm 0.9 \text{ km/h}$ とほぼ同等の結果であった.

表1 微風時の測定結果

試技#	風速 (m/s)	風向 (deg)	帆走速度 (km/h)	BHA (deg)	VMG (km/h)	ロール (deg)	ピッチ (deg)
1	5.6	300	29.4	56.3	16.3	-16.4±3.0	-5.8±3.3
2	4.7	300	28.2	62.6	13.0	-7.8±4.0	15.3±2.3
3	5.1	300	27.2	61.6	12.9	13.8±4.3	-2.3±3.7
4	5.3	290	28.3	64.1	12.4	14.2±4.0	-7.3±2.4
5	4.3	300	27.1	65.4	11.3	2.8±2.6	16.3±3.5

表2 中風時の測定結果

試技#	風速 (m/s)	風向 (deg)	帆走速度 (km/h)	BHA (deg)	VMG (km/h)	ロール (deg)	ピッチ (deg)
6	7.6	310	26.0	55.6	14.7	-21.4±3.6	6.1±3.6
7	7.8	310	24.4	55.3	13.9	14.7±3.2	-1.4±4.1
8	8.1	310	23.3	54.1	13.6	20.3±3.6	-6.2±2.5
9	8.3	310	20.9	51.6	13.0	13.4±3.1	-0.1±5.7
10	8.6	320	20.9	53.9	12.3	8.3±4.2	-9.4±3.1

図4に全試技における帆走速度とBHAの関係を示す。なお、ここでは海上状況ごとに回帰分析を行った結果を掲載しているが、今回の実験ではサンプル数が少なく分析範囲も限られている点に注意されたい。微風時では、最も帆走速度の速かった試技においてBHAが最も低く、全体的には負の相関関係が見られた。この結果は、帆走速度を上げた場合にBHAを小さくできることを示しており、通常のウインドサーフィンとは異なる傾向であった。中風時においては、BHAの変化は小さく、微風時と比較して低い値を示した。

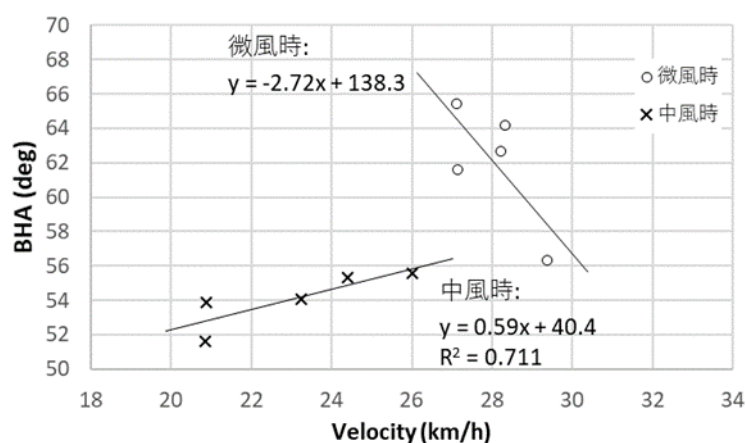


図4 帆走速度とBHAの関係

慣性センサーから計測したボード姿勢に関しては、試技によって傾向が異なり全試技に共通する一貫性は見られなかった。これは試技間の風速、海面の細かな差異からボード操作の方策が異なった可能性が考えられる。そこで本研究では海上状況ごとに最もパフォーマンスの高い試技と最もパフォーマンスの低い試技(試技#1,5 および 6,10)を抽出し、比較することとした。図 5 に海上状況ごとのロールの時間的変化、図 6 にピッチの時間的変化を示す。

ボードのロールに関しては、両風速とも高パフォーマンスではロールが負の値で、低パフォーマンスでは正の値となった。今回の計測条件ではロールが負の値を示すのは、ボードがアンヒール(プレイヤー側に傾く)状態であり、アンヒールの方が高パフォーマンスとなる傾向が示された。

ボードのピッチに関しては微風時においては高パフォーマンス時に低ピッチ(ノーズダウン)、中風時にはこれとは逆に高パフォーマンス時に高ピッチ(ノーズアップ)となっており、海上の状況により逆の傾向が見られた。

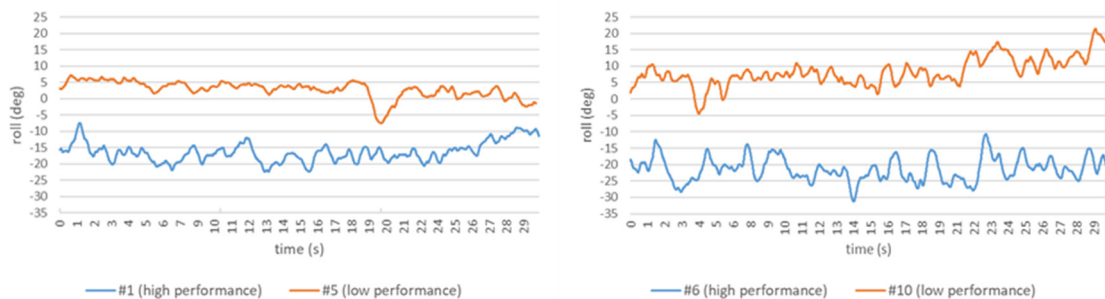


図 5 ロールの時間的変化(右:微風フラット海面時, 左:中風ラフ海面時)

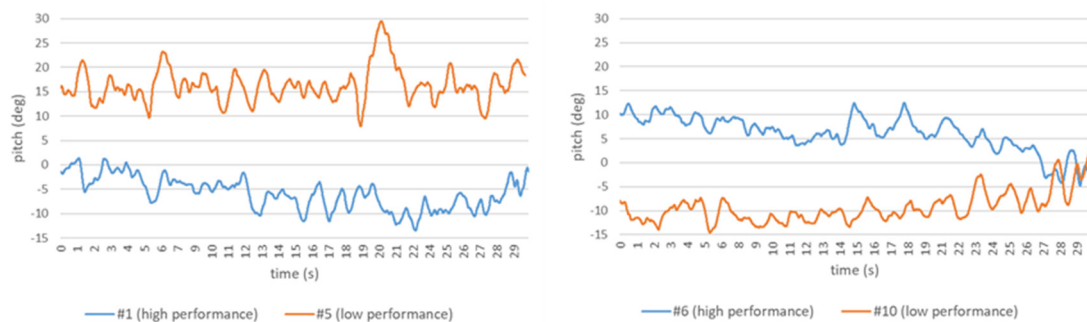


図 6 ピッチの時間的変化(右:微風フラット海面時, 左:中風ラフ海面時)

4. 考察

ウインドサーフィンでは風と直角方向(BHA=90 度)の状態が最も安定し、風上方向へ向かって上るクローズホールドでは 45 度程度より小さい角度の上りはできないと言われている(村田, 2005)。また、ウインドサーフィンでは一般的にクローズホールドにおいて BHA を小さくすると帆走速度が低下すると理解されている。しかし、今回の実験で、風速 5m/s 程度の微風時にこれとは逆に帆走速度を高めても

BHA を小さくすることができていた。これはウインドfoilの「飛ぶように滑走する」という特性により、帆走時にはボードが水面に接することなく進むためボードが水から受ける抵抗が帆走速度増加時においても大きく増加しないことが一つの要因として考えられる。ウインドサーフィンレースの上位選手と下位選手の移動様相を調査した萩原ら(2015)は、風上帆走時に上位選手は下位選手に比べ帆走速度が高く BHA も小さいことから「高い帆走速度を保ったまま BHA を小さくすること」が重要であると指摘している。本実験の結果でも、ウインドfoilでの微風での帆走時に高い帆走速度で BHA を小さくできることが示された。このことはレース戦略を決定する一つの知見となり得ると考えている。ただし、中風時には帆走速度と BHA の関係に同様の傾向がみられなかった。これはボードに当たる波が帆走速度を低下させたことが要因として考えられるが、風速や海面の影響については今後詳細に検討する必要がある。

帆走速度と VMG との関連に着目すると、ふたつの海上状況ともに、正の相関関係を示した。従来のウインドサーフィンについて調査した萩原ら(2015)の報告においても、帆走速度と VMG との間には正の相関関係が確認されている。ウインドfoilも従来のウインドサーフィン同様、風速および海面に関わらず帆走速度の向上が帆走パフォーマンスの向上に直接的に寄与するものと考えられる。

ボードの姿勢については、従来のウインドサーフィンではロールに関し帆走時はフラットまたはヒール(風下側を沈める)が良いと言われており(真壁, 1991), これはボードのボトム(裏面)が水から受ける抵抗を小さくするためと考えられる。[ビデオ 2](#) に従来のウインドサーフィンにおける帆走の様子を示す。しかし今回の実験では風速および海面状況に関わらずアンヒール状態の方が高パフォーマンスとなった。ウインドfoilではボードが水面から浮いて帆走するため、アンヒールさせてもボード底面が水の抵抗を受けることがない。そのため風上側に重心をのせることでボード自体はアンヒールするものの帆走時のフォームが安定し、foilの浮き沈みが小さくなり帆走速度の上昇につながっていると考えられる。

一方でピッチに関しては、海上状況によって異なる傾向を示した。実験の対象者にボードのピッチ操作に関して尋ねたところ、ノーズダウンが高パフォーマンスにつながると感じており、それを意識していると回答した。今回の結果では、微風時のフラット海面においては実験結果と対象者の意識は一致しているが、中風時のラフ海面においてはこれとは逆の状態となっていた。この理由については、ラフ海面においては波がボードに当たるため意図的にノーズアップすることで波を避けている、あるいは波がボードに当たり無意識にノーズアップとなっている、などの理由が考えられる。ピッチに関しては一貫した結果が得られなかったことから、海面状況に応じた対応が重要である可能性が高いと考えているが、より詳細な分析が必要であろう。

今回、慣性センサーを用いたボード姿勢の分析を行ったが、これまでは確認することが難しかった滑走中のボード姿勢を簡便に測定できる点が非常に有効であることが示された。今後、同様の方法でより多くのデータを収集することで、ボード操作とパフォーマンスの関係性はもとより、風速や海面といった状況に適したフォームの分析、選手間の比較など多様な視点からの分析が可能になるのではないかと考えている。

5. まとめ

本研究では、ウインドfoilにおける風上への帆走状況を GPS と慣性センサーにより測定し、帆走速度や帆走角度、ボード姿勢とパフォーマンスの関連性について分析した。

その結果、ウインドfoilでは帆走速度を保ったまま帆走角度を小さくすることが可能であり、ボード姿勢においてはアンヒール状態を保つことが有効であることが確認された。これらの知見は、従来のウインドサーフィンとは異なるもので、ウインドfoilの特徴であると推察される。

これらの結果から、ウインドfoilの風上帆走トレーニングにおいては、スピードを意識することが重要であると考えられる。帆走速度の上昇によりウインドfoil全体が安定し、これによって帆走角度も小さくできるようになるためと考えられる。また、帆走速度の上昇のためにはアンヒールを意識することも有効であると言える。アンヒールによりフォームを安定させることでウインドfoilの浮き沈みが小さくなり、帆走速度の向上につながると考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K01675 の助成を受けたものです。

参考文献

- ・ 藤原昌, 萩原正大, 石井泰光, 山本正嘉(2013) ウイ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—。スポーツパフォーマンス研究. 5: 295-309.
- ・ 萩原正大, 石井泰光(2015) ウインドサーフィン競技における模擬レース中の移動様相の特徴。スポーツパフォーマンス研究. 7: 320-333.
- ・ Castagna, O., Brisswalter, J., Lacour, J., Vogiatzis, I. (2008) Physiological demands of different sailing techniques of the new Olympic windsurfing class. Eur J Appl Physiol, 104-6: 1061-1067.
- ・ 中村夏実(2007) 加速度計を用いた水上競技のパフォーマンス評価の可能性。バイオメカニクス研究. 11: 113-123.
- ・ Tessendorf, B., Gravenhorst, F., Arnrich, B. Tröster, G. (2011) An IMU-based sensor network to continuously monitor rowing technique on the water. Proceedings of the 2011 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, ISSNIPDOI: 10.1109/ISSNIP.2011.6146535
- ・ 富士通(2017) 日本ウインドサーフィン協会と富士通, ラピスセミコンダクタ, IoT を活用したウインドサーフィンのセーリングスキル向上に向けた実証実験を開始
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/05/10-1.html> (2019/3/24 参照)
- ・ 村田浩(2005). ウインドサーフィンの力学. 日本歯科大学紀要. 34: 21-25.
- ・ 真壁克昌(1991). ボードセイリング・マスター 改訂版. マリン企画