

セーリング競技 470 級の NT 選考レースにおける中・強風域の帆走指標の特徴

萩原正大, 石井泰光

国立スポーツ科学センター

キーワード: VMG, GPS, 帆走局面, 帆走速度・角度・距離

【要 旨】

本研究の目的は, セーリング競技における 470 級の NT 選考レース時における選手艇の移動に関する GPS データを取得して, 帆走局面別(スタート局面, アップウインド, ダウンウインド, リーチング)の帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)における上位選手の特徴を検討した. その結果, 以下の点が明らかになった.

1. スタート局面について, 上位群では, スタート局面全体を通して, 帆走速度と VMG が高く, 特にスタート直後(0-5 秒後)から, すでに高い帆走速度と VMG を獲得していた.
2. アップウインドについて, 上位群では, 帆走速度が高く, 帆走角度が小さかった(帆走距離が短かった)ため, VMG が高かった.
3. ダウンウインドについて, 上位群では, 帆走速度を高めることで高い VMG を獲得していた. 一方で, 帆走角度には, 上位群と下位群に差が認められなかった.
4. リーチングについて, 上位群では, ダウンウインドと同様に, 帆走速度を高めることで, 高い VMG を獲得していた.

以上の知見は, セーリング競技(470 級)の NT 選考レースに出場するレベルの選手の特徴であり, 国内トップレベルのレースで上位を獲得するための示唆になると考えられる.

スポーツパフォーマンス研究, 8, 411-428, 2016 年, 受付日: 2016 年 3 月 14 日, 受理日: 2016 年 10 月 31 日

責任著者: 萩原正大 115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1 国立スポーツ科学センター

masahiro.hagiwara@jpnssport.go.jp

Sailing indices in middle and strong winds in a National Team screening race for a 470 class sailing competition

Masahiro Hagiwara, Yasumitsu Ishii

Japan Institute of Sports Sciences

Key words: VMG, GPS, sailing phase, sailing speed, angle and distance

【Abstract】

The present study examined features of top-class sailors' sailing indices [sailing speed, sailing angle, VMG (Velocity Made Good), and sailing distance] in various sailing phases (starting, upwind, downwind, and reaching). The data were obtained from GPS data on the movement of the sailboats during a National Team screening race for a 470 class sailing competition. The results were as follows:

1. In the starting phase, the top group had a high sailing speed and VMG throughout the phase. Particularly, right after starting (0-5 seconds), they had already achieved a high speed and VMG.
2. In the upwind phase, the top group had a high sailing speed and small sailing angle due to a shortened sailing distance, which resulted in a high VMG.
3. In the downwind phase, the top class group achieved a high VMG by increasing their sailing speed. On the other hand, there was no difference in sailing angle between the top group and the lower group.
4. In the reaching phase, the top group obtained a high VMG by increasing their sailing speed, just as they had done in the downwind phrase.

These results show features of the performance of top-class sailors participating in a National Team screening race for a 470 class sailing competition, and suggest how other sailors might obtain a higher rank in domestic top-level races.

I. 問題提起

現在、セーリング競技は、オリンピックの正式種目として採用されており、ヨット 8 種目とウィンドサーフィン 2 種目で構成されている。セーリング競技は、水上で時々刻々と変化する気象の中、既定のコースをいかに早く回航するかが競われる。

先行研究では、体力的な視点から行われた研究 (Castagna and Brisswalter, 2007; Callewaert et al, 2014; Bojsen-Møller et al, 2015; Vogiatzis and De Vito, 2015), 陸上でシミュレーターを用いた研究 (Vogiatzis et al, 2011; Callewaert et al, 2013; Manzanar et al, 2015) などが報告されている。

一方で、この競技は広範囲の海上 (水上) で行われるため、選手の帆走に関するパフォーマンスを評価することが難しく、レース分析に関連する知見が少ない。そのため、近年では広範囲の位置計測を行うために、Global Positioning System (以下「GPS」) が用いられており、セーリング競技のレース分析にも活用されつつある。

GPS を活用してレース分析を行った先行研究では、レース順位が上位の選手は、総帆走距離が短いことが報告されている (藤原ほか, 2009)。特に、アップウィンドの帆走距離が、レース全体の総帆走距離に影響するという見解である (萩原・石井, 2015)。また、レース順位が上位の選手は、帆走速度、帆走角度およびコースに対して有効となる速度 (Velocity Made Good to course, 以下「VMG」, 図 1) が、下位の選手より優れていることも報告されている (萩原・石井, 2015)。一方で、ヨット種目のレース分析に関連した知見は、レースにおける第 1 マークの回航順位とフィニッシュ順位との間に、正の相関関係が成立するという報告だけである (千足ほか, 2007)。

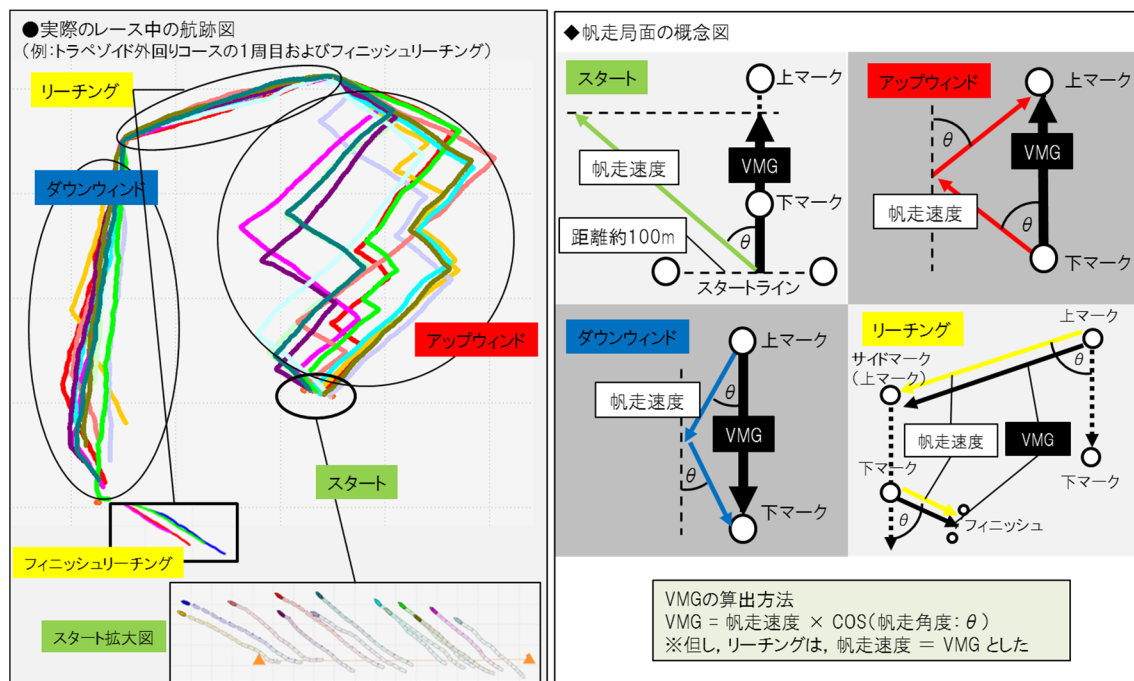


図 1. レース時の帆走局面における帆走角度と Velocity Made Good to course (VMG) の算出方法

このように、帆走指標 (帆走速度、帆走角度、VMG、帆走距離) を基に、レース分析が行われた研究は、セーリング競技の中でもウィンドサーフィン種目だけであり、ヨット種目を対象に検討された研究は

見当たらない。また、先行研究(千足ほか, 2007; 藤原ほか, 2009; 萩原・石井, 2015)では、各レースの特徴を示した知見であるが、セーリング競技のパフォーマンス(総合順位)が、複数のレース結果から総合的に決定することを考慮すると、レースの総合順位別における帆走指標の特徴を検討する必要があると考えられる。

セーリング競技は、スタート後に、風上方向へ設置された上マークに向かい、その後、既定のコースをいかに早く回航するかというレース形式であり、ヨット種目とウィンドサーフィン種目とで違いはない。そのため、ウィンドサーフィン種目を対象とした先行研究(萩原・石井, 2015)の結果は、ヨット種目に対しても同様の傾向になる可能性があるが、詳細については明らかでない。また、先行研究(萩原・石井, 2015)における対象者の競技レベルは、大学生の中級から上級レベルであったことから、トップレベルの選手を対象とした場合に、同様の結果が得られるかについては、検討の余地がある。

そこで本研究では、セーリング競技におけるオリンピック種目において、国内で最も競技レベルが高いヨット種目(470 級)の、強化指定チーム(ナショナルチーム, 以下「NT」)選考レース中の帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)を計測した。そして、レース成績(総合順位)によって分類された上位群と下位群で、帆走局面別(スタート局面, アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング, レース全体)の帆走指標を比較して、470 級の選手が、国内トップレベルのレースで上位を獲得するための示唆を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、2013 年 12 月中旬の NT 選考レースに参加した 470 級の 13 チーム(26 名)であった(ヘルムスマン: 年齢 23.3 ± 4.2 歳, 身長 169.8 ± 5.0 cm, 体重 61.5 ± 3.9 kg; クルー: 年齢 22.6 ± 4.2 歳, 身長 177.8 ± 4.2 cm, 体重 70.7 ± 3.8 kg)。全チームとも国内の全国大会(国民体育大会, 全日本選手権大会, 全日本大学対抗選手権など)で上位を獲得した経験があり、国内トップレベルの競技力を有していた。

対象が使用した艇種は、470 級(全長 4.7m, 水線長 4.4m, 重量 120kg, マスト高 6.76m, セールエリア合計 12.7 m^2 : ジブ 3.58 m^2 + メイン 9.12 m^2 , スピネーカー 13 m^2)であり、2 人乗りのオリンピック艇種である。なお、レース時に使用した用具(艇, セール, その他リグ等)は、各対象者が 470 級の規則(規格)に適合したものを使用した。

2. 測定の手順

本研究で対象とした NT 選考レースは、和歌山セーリングセンター沖合で開催された。1 日に行われたレース数は、2~3 レースであり、5 日間で合計 14 レースが実施された(1 日目: 2 レース, 2~5 日目: 各 3 レース)。本研究では、これら全てのレースを対象に分析を行った。表 1 に、レース日程, コースの種類, コースの設定角度, レース中の風向・風速を示した。

表 1. レース日程と各レースのコース設定および風向・風速

レース日	レース No.	コース設定	コース設定角度 (deg)	下マークから上マークまでの距離(m)	上マークからサイドマークまでの距離(m)	風向 (deg)	風速 (m/s)
1日目	1	O3	290	1613	1034	275±11	9.2±1.3
	2	O2	290	1620	1046	276±11	7.1±1.1
2日目	3	O2	310	1632	1073	303±10	9.7±1.3
	4	O2	310	1652	1079	307±13	8.3±1.5
	5	O2	310	1650	1066	304±14	8.3±1.5
3日目	6	O3	290	1431	1005	287±7	9.1±1.1
	7	O3	300	1308	1036	284±10	7.6±1.1
	8	L2	325	1267	-	321±9	8.5±1.0
4日目	9	L3	315	1129	-	309±18	6.0±1.4
	10	L2	325	1339	-	316±13	7.0±1.1
	11	L2	325	1341	-	308±11	7.0±1.3
5日目	12	L3	305	1350	-	303±11	5.9±1.1
	13	L3	305	1350	-	304±12	6.9±1.0
	14	L3	305	1350	-	300±11	8.2±1.2

本研究の測定機器である GPS (SPI-Pro X, GPSports 社製, オーストラリア) は, 出艇前 (海上へ出る前) に, 使用艇の艀装品であるスピンバック内に取り付けた (図 2). なお, レース中の艇の移動に関する位置座標を 15Hz で取得した.



図 2. GPS の搭載位置

各レースのコース設定は, 世界選手権や全日本選手権などの主要大会で運営経験のあるスタッフが行った. スタッフは, レースエリアの風向・風速の状況から, 国際セーリング連盟の定める Race Management Manual (International Sailing Federation, 2013) に則って, コース設定のためのマーク (ブイ) を設置した. スタートラインの長さ (約 100m) は, 470 級の全長 (4.7m) と参加艇数 (13 艇) を乗じた距離の約 1.5 倍として, 全艇がスタートするために十分な距離であった. なお, 各マークには, GPS を水面からできるだけ離れた位置に取り付け, マークの位置座標をできる限り正確に取得した.

海上の風向・風速データは, 風向風速計測機器 (ノースセールジャパン社製, 日本) を 1 艇の審判艇 (ジュリー艇) に搭載して, 対象者の艇団 (競技艇の集団) を追走しながら, 1Hz で計測した (安田ほか, 2013; 萩原・鹿取, 2014; 萩原・石井, 2015). この計測手法は, 審判艇 (ジュリー艇) が, レース中に選手の最も近い位置で風向・風速を計測できることから採用した.

3. 帆走局面および方向転換の定義

本研究で用いたコース(図 3)を,「スタート局面」,「アップウィンド」,「ダウンウィンド」および「リーチング」の 4 つの帆走局面(図 1)に分類して分析を行った. なお, 帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離からなる帆走指標は, 各レースの帆走局面(スタート局面, アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング)ごとに, 対象者別の平均値を算出した.

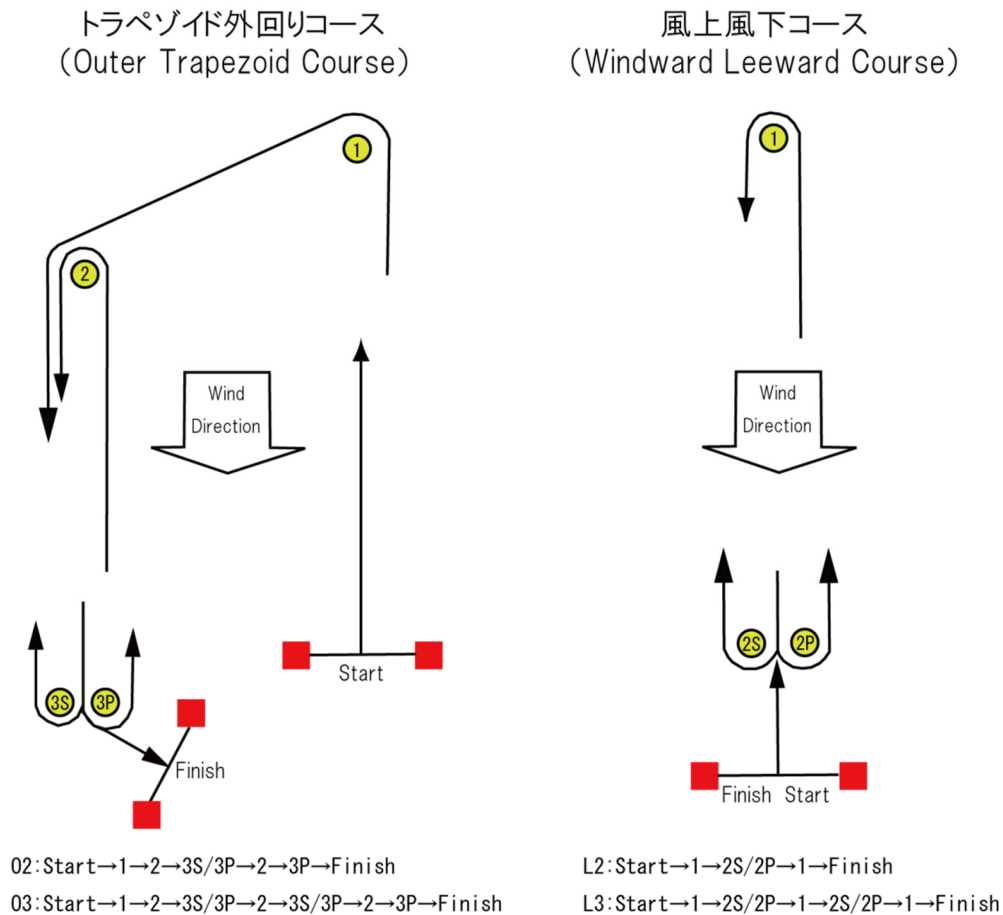


図 3. NT レースで使ったコース図

(1) スタート局面について

本研究は, スタートから 15 秒後以降では, 戦術・戦略的な理由から方向転換(タッキング)が行われる頻度が高いことから, スタートから 15 秒後までの区間を「スタート局面」と定義した(萩原・石井, 2015). さらに, スタート局面(15 秒間)をスタートの 0-5 秒後, 5-10 秒後, 10-15 秒後の 3 局面に区分した.

(2) アップウィンドとダウンウィンドについて

レース中の風上に向かう帆走を「アップウィンド」, および風下に向かう帆走を「ダウンウィンド」と定義した. 両方の帆走局面は, 本研究のコース設定の場合(図 3), 1 レースあたり 2~3 回行われた. なお, アップウィンドおよびダウンウィンド帆走中に行う方向転換(タッキング, ジャイビング)は, 各帆走局面に含むものとした.

(3)リーチングについて

本研究で対象とした NT 選考レースの第 1 レースから第 7 レースまでは、トラペジイドの外回りコース (図 3) が使用されており、その中で、上マークからサイドマークまでの帆走と、最終下マークからフィニッシュまでの帆走を「リーチング」の区間と定義した。

4. 評価項目

艇およびマークの GPS データ (緯度, 経度) を平面直角座標系に変換した。そして、マークに取り付けた GPS データ (緯度, 経度) より、コース設定角度およびマーク間の距離を算出した。レース中の風向・風速データは、各レースのスタートから最終艇がフィニッシュするまでの区間の平均値を算出した。アップウィンド、ダウンウィンドおよびリーチング区間の風向・風速データは、各対象者が各区間を帆走した時間帯のデータを抽出して平均値を算出した。

2 つのスタートマークと艇の GPS データ (緯度, 経度) より、スタート時の艇とスタートラインとの最短距離を算出した。

艇の GPS データを用いて、帆走速度と帆走距離を算出した。GPS データとコース設定角度 (表 1) から帆走角度を、マーク間距離とマーク間の移動時間から VMG を、それぞれ帆走局面別に算出した (図 1)。VMG の本来の意味は、ある目標 (風上, 風下, マーク等) に移動するための有効速度を表す際に用いられる。先行研究 (萩原と石井, 2015) では、コースに対する有効速度 (Velocity Made good to Course) を、「VMC」と略記されていたが、競技現場では、「VMG」と略して使われることが多いため、本研究では、先行研究と同様の意味で、「VMG」として用いた。

リーチングの帆走角度は、ダウンウィンドと同様に、上マークから下マークへのベクトル方位との差分とした (図 1)。なお帆走距離は、風速条件によって上マークから下マークまでの距離が調整されるため、単純に帆走距離を比較することが困難であることから、帆走局面ごとにマーク間の距離に対する相対値 (実際の帆走距離 / マーク間の直線距離) を算出した。

5. 分析方法

本研究のデータは、平均値 ± 標準偏差で表した。帆走局面別の帆走指標は、各レースの平均値を対象者別に算出した。競技レベルによる帆走指標の特徴を検討するために、レースの総合順位より、上位群 (上位 6 チーム) と下位群 (下位 7 チーム) に分けて群間で比較した。

上位群と下位群における身体特性 (年齢, 身長, 体重), アップウィンド時のタッキング回数, ダウンウィンド時のジャイビング回数, および帆走局面別 (アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング, レース全体) の帆走指標 (帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離) については、対応のない T 検定により比較・分析を行った。

上位群と下位群のスタート局面における帆走指標の経時的な変化 (0-5 秒後, 5-10 秒後, 10-15 秒後) については、対応のない 2 元配置分散分析を行い、有意性が確認された場合に、その後の検定として Bonferroni 法を用いた。

上位群と下位群ごとに、風速と帆走指標 (帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離) との関係を比較するために、それぞれピアソンの相関係数を用いて分析した。なお、各検定の有意水準は、いずれの

場合も 5%未満とした。

III. 結果

本研究で分析対象とした NT 選考レースは、平均風速が約 6-11m/s であり、クルーが艇の外に身体をしっかりと乗り出している状態(フルトラピーズ)となる中・強風域で行われた(表 1)。

表 2 は、レースの総合順位により区分された上位群と下位群におけるポジション別(ヘルムスマン, クルー)の身体特性を示したものである。いずれのポジションともに、上位群と下位群の身体特性に有意差は認められなかった。

表 2. 上位群と下位群におけるポジション別の身体特性

身体特性	年齢		身長		体重	
ポジション	ヘルムスマン	クルー	ヘルムスマン	クルー	ヘルムスマン	クルー
上位群	25.2±5.3	25.6±4.0	170.7±5.9	178.7±3.4	62.2±2.7	72.7±1.0
下位群	21.9±2.9	21.0±2.2	169.1±4.4	177.1±4.9	61.0±4.8	70.7±3.0

n.s.

アップウィンドのタッキング回数(上位群 5.5±0.6 回, 下位群 5.2±0.9 回)と, ダウンウィンドのジャイビング回数(上位群 1.9±0.3 回, 下位群 1.6±0.3 回)は、両群間に有意な差は認められなかった。

図 4 は、上位群と下位群のスタート時のスタートラインと艇との距離を比較したものである。両群間に有意な差は認められなかった。

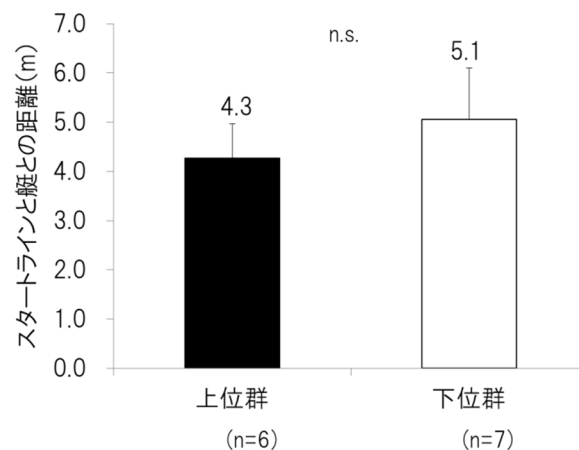


図 4. 競技レベル別にみたスタート時のスタートラインと艇との距離

図 5 は、上位群と下位群のスタート局面(0-5 秒後, 5-10 秒後, 10-15 秒後)における帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG)を比較したものである。スタート局面全体を通して、帆走速度と VMG は、上位群が下位群よりも有意に高かった。

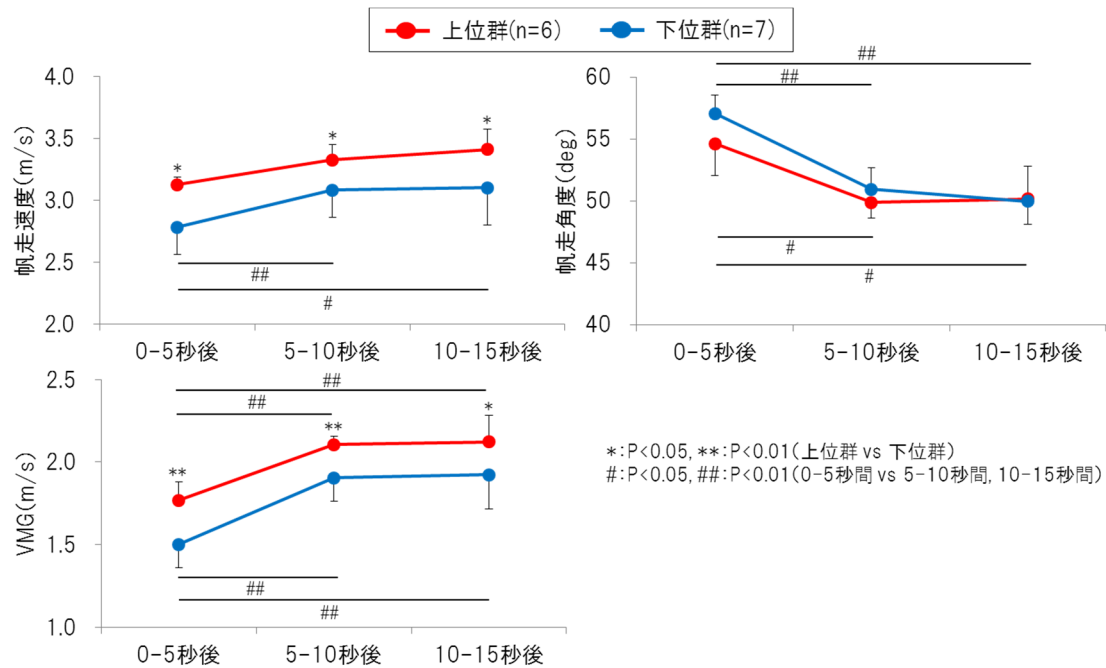


図 5. スタート局面における競技レベル別の帆走指標の比較

スタート局面の経時的な変化をみると、下位群の帆走速度は、0-5 秒後よりも 5-10 秒後および 10-15 秒後が有意に高かった。一方で、上位群の帆走速度では、0-5 秒後、5-10 秒後、10-15 秒後に、有意な変化が認められなかった。帆走角度では、両群ともに 0-5 秒後よりも 5-10 秒後および 10-15 秒後の方が有意に小さかった。VMG では、両群で 0-5 秒後よりも 5-10 秒後および 10-15 秒後の方が有意に高かった。つまり、上位群は、下位群よりも 0-5 秒後の帆走速度と VMG が高く、0-5 秒後から 5-10 秒後にかけて帆走角度を小さくすることで、VMG をさらに高めていた。

図 6 は、上位群と下位群における帆走局面別(アップウィンド、ダウンウィンド、リーチング、レース全体)の帆走指標(帆走速度、帆走角度、VMG、帆走距離)を比較したものである。帆走速度と VMG は、全帆走局面(アップウィンド、ダウンウィンド、リーチング、レース全体)において、上位群の方が下位群よりも有意に高かった。帆走角度は、アップウィンドのみ上位群の方が下位群よりも有意に小さかった。帆走距離は、アップウィンドおよびレース全体で、上位群の方が下位群よりも有意に短かった。

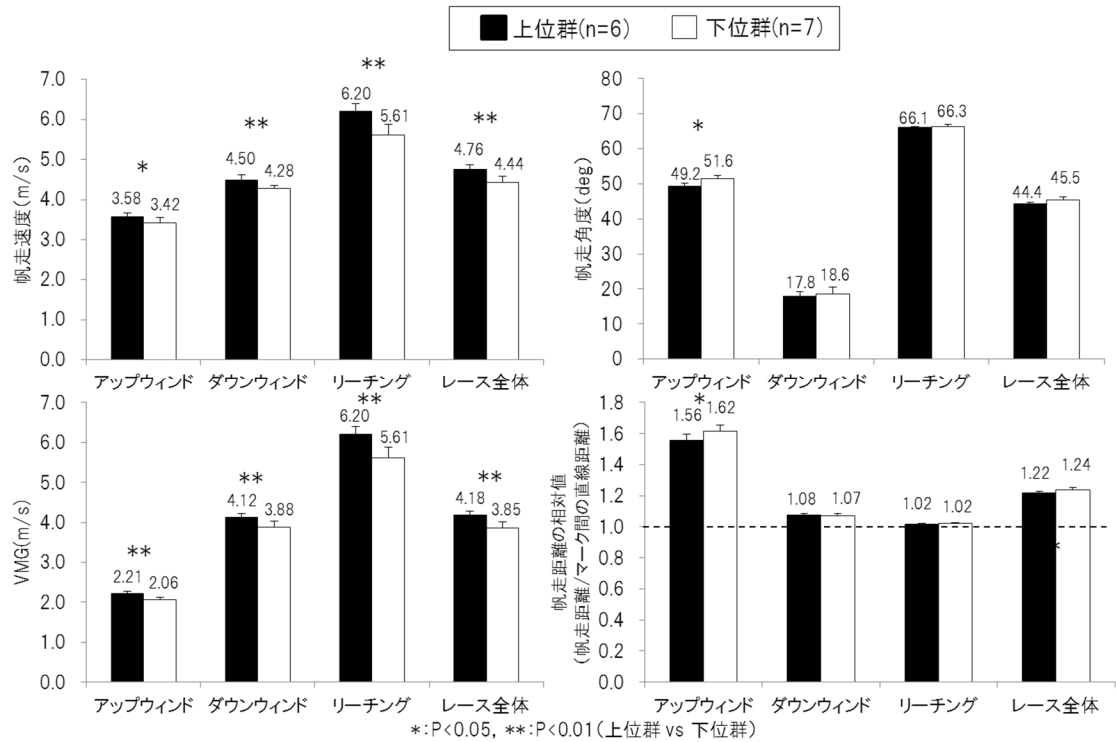


図 6. 各帆走局面における競技レベル別の帆走指標の比較

図 7 は、アップウィンドにおける風速と帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)との関係を, 上位群と下位群ごとに示したものである. 両群ともに, 全ての帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)で, 風速と有意な正の相関関係が認められた.

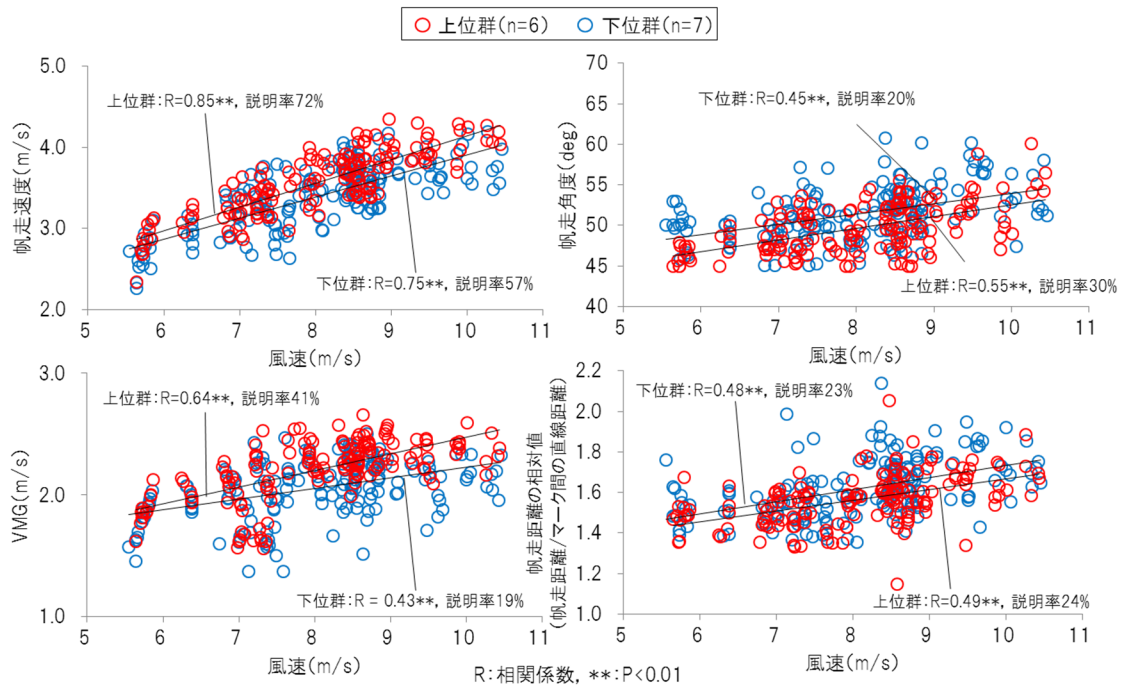


図 7. アップウィンドにおける競技レベル別の風速と帆走指標の関係

図 8 は、ダウンウィンドにおける風速と帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)との関係を, 上位群と下位群ごとに示したものである。両群ともに, 風速と帆走速度および VMG に, 有意な正の相関関係が認められた。一方で, 風速と帆走角度および帆走距離には関連性が認められなかった。

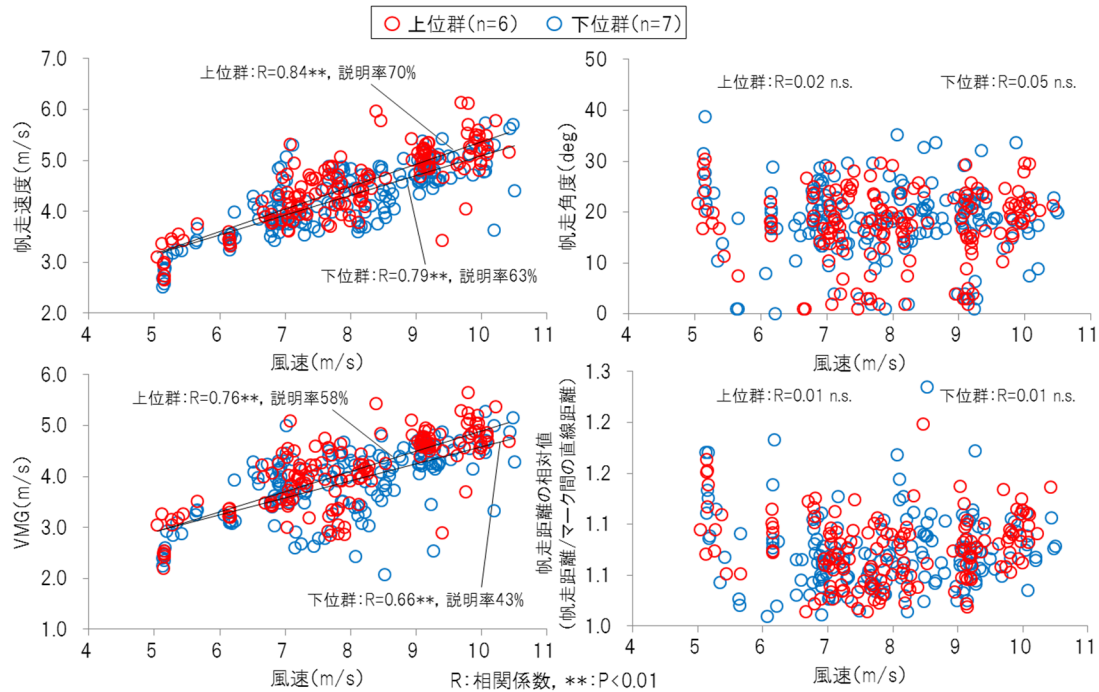


図 8. ダウンウィンドにおける競技レベル別の風速と帆走指標との関係

図 9 は、リーチングにおける風速と帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)との関係を, 上位群と下位群ごとに示したものである。両群ともに, 風速と帆走速度および VMG に, 有意な正の相関関係が認められた。一方で, 風速と帆走角度および帆走距離には関連性が認められなかった。

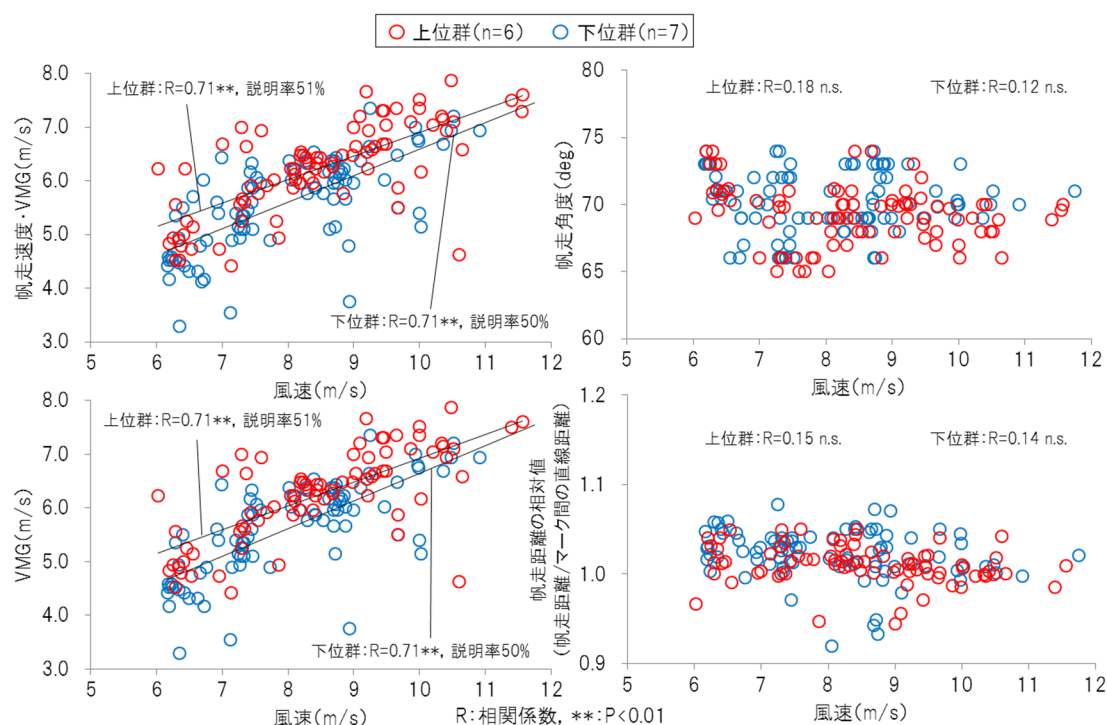


図 9. リーチングにおける競技レベル別の風速と帆走指標との関係

IV. 考察

本研究は、470 級における NT 選考レースの出場チームを対象に、GPS を搭載して、レース中の位置座標を取得した。そして、帆走局面別(スタート、アップウィンド、ダウンウィンド、リーチング、レース全体)の帆走指標(帆走速度、帆走角度、VMG、帆走距離)を、レースの総合順位をもとに、上位群と下位群に分類して比較した。その結果、上位群は下位群に比べて、全帆走局面(スタート、アップウィンド、ダウンウィンド、リーチング、レース全体)で、帆走速度と VMG が高いことが明らかになった(図 5, 6)。上位群は、アップウィンドの帆走角度が小さく、帆走距離が短いことが明らかとなった(図 6)。さらに、アップウィンド、ダウンウィンドおよびリーチングにおける風速と、帆走速度および VMG との間に有意な正の相関関係を認められた(図 7, 8, 9)。アップウィンドのみ、風速と帆走角度および帆走距離との間に有意な正の相関関係が認められた(図 7)。以下は、各帆走局面の上位群における帆走指標の特徴や、風速と帆走指標との関係について考察する。

1. スタート局面における帆走指標の特徴について

スタート時のスタートラインと艇との距離は、両群ともにスタートラインの約 1 艇身(470 級:1 艇身が約 4.7m, 注 1)程度の後方に位置しており、両群間に差は認められなかった(図 4)。ウィンドサーフィン種目では、下位群が上位群よりも、スタートラインと艇との距離が有意に長いことを報告している(萩原・石井, 2015)。このように先行研究と結果が異なった理由は、対象者の競技レベルが異なったことが影響したと考えられる。本研究の対象者は、国内トップレベルの競技力を有している。一方で、先行研究は、中級から上級レベルの大学生選手を対象としており、対象者の競技レベル差が大きかったため、下位群は上位群と比べて、スタート時のスタートラインと艇の距離が離れた位置からスタートしていたと推察

される。

スタート局面における帆走指標を比較すると、上位群の方が下位群よりも、スタート局面全体(0-15秒間)を通して、帆走速度とVMGが高かった(図5)。また、上位群は、スタート直後(0-5秒後)の帆走速度およびVMGが高く、0-5秒後よりも5-10秒後の帆走角度が小さかった(図5)。つまり、上位群では、スタート直後(0-5秒後)から高い帆走速度を獲得することでVMGを高めており、その帆走速度を維持して帆走角度を小さくすることで、さらにVMGを高めたと推察される。

スタート局面における競技力向上のためには、スタート直後の帆走速度およびVMGを高めて、スタート局面を通して高いVMGを獲得することが重要であると考えられる。ヨット種目と同種(セーリング競技)であるウィンドサーフィン種目において、スタート局面では、スタート直後に加速するための十分なスペース(自艇とスタートラインおよび他艇との距離)や、他艇の対して有利な帆走状況を作り出すことの重要性が指摘されている(萩原・石井, 2015)。したがって、ヨット種目においても、スタート局面のトレーニングを行う際に、十分なスペースを確保するための用具を上手に操作する能力(ハンドリング能力)を高めることや、スタート後の混戦の中で、他艇に対して有利な(他艇からの妨げを受けない)ポジションを維持して帆走し続ける技術を向上させることが課題になると考えられる。

2. アップウィンドにおける帆走指標の特徴について

アップウィンドでは、上位群の方が下位群よりも、帆走速度が高く、帆走角度が小さいことから、VMGが高かったと考えられる(図6)。上位群が下位群よりも帆走速度とVMGが高かった要因としては、適切なコース(有利な風向・風速のエリア)を選択する「戦略・戦術の思考力」が優れていた可能性が考えられる。加えて、より速く有利な風向・風速のエリアに到達して、長時間帆走し続けるためには、高いVMG(高い帆走速度、小さな帆走角度)を獲得するための「帆走技術(適切な用具を選択してチューニングする能力を含む)」も求められると考えられる。

レース全体およびアップウィンドの帆走距離は、上位群が下位群に比べて短かった(図6)。一方で、ダウンウィンドおよびリーチングの帆走局面では、帆走距離に差が認められず(図6)、ウィンドサーフィン種目を対象とした先行研究(萩原・石井, 2015)と同様の結果を示した。したがって、レース全体の帆走距離の差は、アップウィンドにおける帆走距離の差を反映した結果であると考えられる。

アップウィンドにおける競技力向上のためには、VMGを高めるための「戦略・戦術の思考力」と「帆走技術(適切な用具を選択してチューニングする能力を含む)」を身につけることが重要であると考えられる。指導現場では、優れた選手が、レースのアップウィンドで、帆走速度よりも帆走角度を優先する帆走状態(ピンチ・モード)と、帆走角度よりも帆走速度を優先する帆走状態(ドライブ・モード)を上手に使い分けていることが知られている。レースエリアの風向・風速の状況を的確に把握して、これらのモードをいつどのタイミングで使用するかという「戦略・戦術的な思考力」の獲得が必要であると考えられる。また、特に中・強風域のアップウィンドでは、風向・風速の変化と、波の向きや大きさに対して、用具(艇、セール、舵など)の操作や、艇上での前後・左右方向への体重移動を適切に行う「帆走技術」を身につける必要があると考えられる。また、対象者(ヘルムスマンとクルー)の帆走技術や体格(身長・体重)の差により、用具のチューニングが異なると考えられる。したがって、アップウィンドのトレーニングでは、対象者の体格差(主に2人の合計体重)と、用具のチューニングの差を確認した上で、複数艇で同時に帆走し

て VMG を比較する方法が有効であると考えられる. さらに, トレーニング中は, 指導者がビデオを撮影して, 選手間で用具のチューニングおよび操作方法や, 選手の帆走フォームおよび動作を比較することで, VMG を高めるための帆走技術の示唆が得られる可能性があると考えられる.

3. ダウンウィンドにおける帆走指標の特徴について

ダウンウィンドでは, 上位群の方が下位群よりも, 帆走速度と VMG が高かった. 一方で, 帆走角度と帆走距離については差が認められなかった(図 6). つまり, 上位群では, 下位群と同様の帆走角度であっても, 高い帆走速度を獲得できていたため, VMG も高かったと考えられる. これらの結果は, ウィンドサーフィン種目におけるダウンウィンドの特徴を示した先行研究(萩原・石井, 2015)でも同様であった.

このように帆走速度や VMG が, 下位群よりも上位群の方が高かった理由は, 470 級の中・強風域で行われる波乗り(サーフィング)の技術差が考えられる. 1 人乗りヨット種目であるレーザーラジアル種目では, ダウンウィンド時のサーフィングを繰り返し行うスネーキング帆走を成立させるための条件として, 艇を波に乗せる帆走技術に加えて, 「波に乗ることのできるポジションを見つける判断力」と, 「タイミングよく動作を繰り返し出していける動作の熟練度」の重要性が指摘されている(安田ほか, 2013). したがって, 本研究の対象(470 種目)でも同様に, 波乗りの技術差が, 上位群と下位群との帆走速度の差となった可能性がある.

また, トップレベルの選手は, 適切なタイミングで, 帆走角度を一時的に大きくして, 帆走速度を高めることでサーフィングを成立させるような動作を行っている. つまり, サーフィング技術が優れた選手であれば, 一時的に帆走角度を大きくしたとしても, その後の波乗りにより, 帆走速度を高めて, 帆走角度をより小さくできる(下マーク方向により近づけられる)と考えられる. 加えて, サーフィングの状態を長く持続することや, サーフィングをスムーズに連続して行うことにより, 小さい帆走角度を維持した状態で, 高い帆走速度を獲得できた可能性も考えられる. 以上のような理由から, 上位群と下位群で, ダウンウィンドの帆走角度と帆走距離に差が認められないものの(図 6), VMG に差が認められた(図 6)と考えられる.

ダウンウィンドの VMG と, 帆走速度および帆走角度との関係については, 今後検討が必要であるが, 特に中・強風域(風速約 6-11m/s)では, 帆走角度および帆走距離を優先(下マークに向かって直線的に帆走)し過ぎると, 高い VMG を獲得できない可能性が考えられる.

これらのことから, ダウンウィンドにおける競技力向上のためには, 帆走距離よりも帆走速度を優先した帆走角度で, トレーニングを行う必要があると考えられる. 加えて, 高い帆走速度を獲得した上で, サーフィングの技術を向上させることも重要であると考えられる. ヘルムスマンとクルーは, 適切なタイミングでそれぞれが担当するセールのパンピング(風をはらませたセールを引き込むことで, 艇に推進力を与える動作)を行い, 艇を加速させて, サーフィングのきっかけを作る必要がある. また, サーフィング中は, ヘルムスマンとクルーで, 艇のバランスを適切に保ちながら, 次に乗る波の位置まで艇を移動させていくため, 2 人で連携して行う動作を, 適切なタイミングで繰り返し出すことができるようにトレーニングを行うことが重要であると考えられる.

4. リーチングにおける帆走指標の特徴について

リーチングでは、上位群の方が下位群よりも帆走速度(=VMG)が高かったものの、帆走角度と帆走距離には差が認められなかった(図 6)。つまり、上位群は、リーチングの帆走角度が下位群と同等であっても、帆走速度(=VMG)が高かったことが特徴として挙げられる。

470 級におけるリーチングの帆走は、ダウンウィンドと同様に、スピナーカー(アップウィンドでは使用しない 3 枚目のセール)を用いて、風をより効率的に受けることで、帆走速度を高めることができる(ただし、強風域でスピナーカーを用いることが困難な状況は除く)。各選手は、上マーク回航後に、マーク付近の風向・風速の状況や他艇との位置関係から、他艇に対して有利な位置を見極めて、選手ごとに異なるタイミングでスピナーカーを使用し始める。また、フィニッシュ前のリーチングにおいても、他艇との位置関係を十分に確認しながら、適切なポジションを確保するように帆走している。

どのような状況の場合に、どの位置およびタイミングでスピナーカーを使用し始めるかという戦略・戦術については、まだ研究が進んでおらず、今後検討する必要があるといえる。

風向に対して適切に設定されたリーチング(図 1, 3)のコースは、一般的にスターボードタック(右舷側から風を受けて帆走する状態、注 2)か、ポートタック(左舷側から風を受けて帆走する状態、注 2)のいずれかのみで帆走できるため、タッキングやジャイビングといった方向転換を必要としない。したがって、帆走したコース(帆走角度、帆走距離)に上位群と下位群の違いが認められなかった理由は、リーチングでは、アップウィンドやダウンウィンドと比べて、目標となるマークに対して直線的に帆走するためであると推察される。

これらのことを踏まえ、リーチングにおける競技力向上を考えると、スピナーカーを使用した状態の帆走速度を高めることと、上マーク回航後にスピナーカーを使用し始めるタイミングや、リーチング中に他艇との位置関係を十分に把握して、適切なポジションを見極める判断能力を獲得することが考えられる。帆走速度を高めるためには、風向・風速や波の状況に応じて、用具(セールや舵など)を適切に操作して、他艇と帆走速度を比較するトレーニングが有効であると考えられる。また、リーチングにおけるマーク回航後の戦略・戦術の習得方法としては、トレーニングのスタート地点からトレーニング用のマークまでの距離を意図的に短くして、上マーク回航時(アップウィンド→リーチング)や、最終下マーク回航時(ダウンウィンド→リーチング)に、選手間が混戦する状況を作り出し、他艇との位置関係と風向・風速の状況を同時に判断させるようなトレーニングが、効果的であると考えられる。

5. 風速と帆走指標との関係について

本研究では、レースエリア内に入れる 1 艇の審判艇で風向・風速を計測したため、全対象者の帆走エリアを網羅できなかったことが限界であった。しかしながら、原則、審判艇は、艇団を追走していたことから、より多くの対象者付近の風向・風速が計測されているといえる。また、審判艇から離れた位置を帆走していた対象者に対しても、レースエリア外のある定点(レース運営船など)よりは、審判艇の方が距離的に近いと、実際に帆走した際の風向・風速が反映されている可能性が高いと考えられる。以上のことを踏まえた上で、風速と帆走指標との関係について考察を加える。

アップウィンド、ダウンウィンドおよびリーチングにおいて、風速と帆走速度および VMG は、両群ともに、有意な正の相関関係が認められた(図 7, 8, 9)。本研究の風速域(約 6-11m/s)では、いずれの帆

走局面(アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング)でも, 風速の大きさに伴い, 帆走速度と VMG が直線的に高まると考えられる. これは, ウィンドサーフィン種目においても, 同様の傾向が報告されている(萩原・石井, 2015). 今後は, 未検討な 6m/s 未満の風速域や, 11m/s を超える風速域に対して, 風速と帆走速度および VMG との間に, 相関関係が認められるか検討していく必要がある.

また, アップウィンドにおける帆走角度と帆走距離は, 両群ともに風速と有意な正の相関関係が認められた(図 7). したがって, 本研究における風速域(約 6-11m/s)のアップウィンドでは, 風速の増大に伴い, 帆走角度が大きくなり, 帆走距離が長くなるが, 帆走速度を高めることで, 高い VMG を獲得していたと考えられる. この理由として, フルトラピース以上の風速域(約 6-11m/s)では, 風速が増大するのと共に, 用具(セール, 艇, その他リグ等)のチューニングを変えて, セールにあたる風をより速く流れる(溜め過ぎない)ようにすることや, 艇を滑走させた(プレーニング)状態で帆走するため, 帆走速度, 帆走角度および VMG に変化が認められたと推察される.

また, 一般的には, 風速が大きくなるほど, 風上側からの波高が高くなり, 艇が風下側に流される傾向にある. 特に, 帆走角度を小さくすることに着目し過ぎることで, 帆走速度が低下(不足)した場合には, 風下側に艇が横流れする割合が大きくなり, 結果的に VMG が低下する可能性もある. したがって, 風速が増大するのと共に, 帆走角度を大きくすることで帆走速度を高めて, 波の影響を受けにくくすることにより, 結果的に VMG を高められた可能性が考えられる. 今後は, 風速別に VMG と帆走速度および帆走角度との関係について, 詳細に検討する必要があるだろう.

6. 現場への提言と今後の課題

本研究の結果および考察より, GPS を用いたセーリング競技のレース分析では, いずれの帆走局面(スタート局面, アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング)においても, 帆走速度と帆走角度(帆走距離)のバランスと VMG を比較することが有効であると考えられる. たとえば, 帆走速度が高いが, 帆走角度が大きく, VMG が低い選手には, 帆走角度を小さくした時にも, 帆走速度を維持できる「帆走技術」を習得させる必要がある. さらに, 帆走角度を小さくして, 帆走距離を短くするために, レースにおける「戦略・戦術の思考力」を指導することも有効であると考えられる.

本研究で評価したレース中の帆走指標は, 「帆走技術(適切な用具を選択してチューニングする能力を含む)」や「戦略・戦術の思考力」を総合的に評価した指標である. そのため, より正確に「帆走技術」のみを評価するためには, スピードトレーニング中の帆走指標を取得して, 評価する必要がある(萩原・鹿取, 2014). また, 「戦略・戦術の思考力」の評価方法に関しては, 未だ十分に確立されていないため, 評価方法の開発および検討が, 今後の課題である.

また, レース中における各選手が帆走した際の風向・風速データをより正確に取得するためには, 各選手の競技艇ごとに風向・風速計を搭載するか, レースエリア内に風向・風速計測用のモーターボートを多数配置する必要がある. しかしながら, 現状の技術では, 470 級の競技艇に搭載できる機器が存在せず, さらにモーターボート用の機器の台数にも限りがあるため, 今後の技術開発および向上や, 機器の低コスト化が期待される.

V. まとめ

本研究では、セーリング競技における 470 級の NT 選考レース時における選手艇の移動に関する GPS データを取得して、帆走局面別(スタート局面, アップウィンド, ダウンウィンド, リーチング)の帆走指標(帆走速度, 帆走角度, VMG, 帆走距離)における上位選手の特徴を検討した。その結果, 以下の点が明らかになった。

1. スタート局面について, 上位群では, スタート局面全体を通して, 帆走速度と VMG が高く, 特にスタート直後(0-5 秒後)から, すでに高い帆走速度と VMG を獲得していた。
2. アップウィンドについて, 上位群では, 帆走速度が高く, 帆走角度が小さかった(帆走距離が短かった)ため, VMG が高かった。
3. ダウンウィンドについて, 上位群では, 帆走速度を高めることで高い VMG を獲得していた。一方で, 帆走角度には, 上位群と下位群に差が認められなかった。
4. リーチングについて, 上位群では, ダウンウィンドと同様に, 帆走速度を高めることで, 高い VMG を獲得していた。

以上の知見は, セーリング競技(470 級)の NT 選考レースに出場するレベルの選手の特徴であり, 国内トップレベルのレースで上位を獲得するための示唆になると考えられる。

<注 1>

「艇身」とは, 艇(船首から船尾まで)の長さを基準に, 距離や長さを相対値(○艇身)として表す単位である。艇の種類により 1 艇身の長さが異なる。セーリング競技では, 他艇や目標物(他艇, マーク, スタートラインなど)から自艇までの距離を表す際に汎用される。

<注 2>

「スターボードタック(Starboard Tack)」は, 右舷側(Starboard)から風を受けて帆走する状態を示す。昔は, 船の右舷に操舵用板(Steering board)があり, それが訛って「Starboard」になったことに由来する。その対義語である, 「ポートタック(Port Tack)」は, 左舷側(Port)から風を受けて帆走する状態を示し, 昔, 左舷から港(Port)に接岸していたことが語源である。

付記

本研究は, 国立スポーツ科学センターの医・科学研究および支援事業費を用いて実施された。

参考文献

- ・ Bojsen-Møller J., Larsson B., Aagaard P. (2015) Physical requirements in Olympic sailing. Eur. J. Sports Sci., 15: 220-227.
- ・ Callewaert M., Boone J., Celie B., De Clercq D., Bourgeois J. (2014) Indicators of sailing performance in youth dinghy sailing. Eur. J. Sports Sci., 15: 213-219.
- ・ Callewaert M., Geerts S., Lataire E., Boone J., Vantorre M., Bourgeois J. (2013) Development of an upwind sailing ergometer, Int. J. Sports Physiol. Perform., 8: 663-670.
- ・ Castagna O., Brisswalter J. (2007) Assessment of energy demand in laser sailing; influences of

exercise duration and performance level. Eur. J. Appl. Physiol., 99: 95-101.

- ・ 千足耕一, 榮樂洋光, 藤原 昌, 中村夏実, 松下雅雄 (2007) セーリング競技の戦術に関する基礎的研究; 第1マーク回航順位とフィニッシュ順位の関係. 鹿屋体育大学紀要, 35: 55-59.
- ・ 藤原 昌, 千足耕一, 山本正嘉 (2009) ウィ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.
- ・ 萩原正大, 石井泰光 (2015) ウィ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.
- ・ 萩原正大, 鹿取正信 (2014) セーリング競技におけるパフォーマンス評価システムおよびソフトウェアの開発. バイオメカニクス研究, 18: 101-108.
- ・ International Sailing Federation (2014) ISAF Race Management Manual 2013. [http://www.sailing.org/tools/documents/RMManual201325Apr-\[18217\].pdf](http://www.sailing.org/tools/documents/RMManual201325Apr-[18217].pdf)
- ・ Manzanares A., Menayo R., Seqado F., Salmeron D., Cano J. A. (2015) A probabilistic model for analyzing the effect of performance levels on visual behavior patterns of young sailors in simulated navigation. Eur. J. Sports Sci., 15: 203-212.
- ・ Vogiatzis I., Andrianopoulos V., Louvaris Z., Cherouveim E., Spetsioti S., Vasilopoulou M., Athanasopoulos D. (2011) Quadriceps muscle blood flow and oxygen availability during repetitive bouts of isometric exercise in simulated sailing. J. Sports Sci., 29: 1041-1049.
- ・ Vogiatzis I., De Vito G. (2015) Physiological assessment of Olympic windsurfers. Eur. J. Sports Sci., 15: 228-234.
- ・ 安田真之助, 石井泰光, 布野泰志, 榮樂洋光, 中村夏実, 松下雅雄 (2013) セーリング競技におけるレーザーラジアル級のスネーキング帆走の有効性; 国内一流シングルハンド選手による検証. スポーツパフォーマンス研究, 5: 189-201.