

5 なぜヨットは風に向かって進めるのか？

(ヨットの進行方向と帆との関連性について)

1 研究の動機

夏にヨットやウィンドサーフィンの光景を眺めている時、いつも気になっていることがあった。ヨットやウィンドサーフィンの帆を横から見ると三角形の形をしている。四角形や丸い形の帆があってもいいのに、『なぜヨットやウィンドサーフィンの帆は三角形なのだろうか？』と思った。

また、ヨットなどは風の力を上手に利用して前へ進むが、私が風の強い日に風に向かって歩いたり走ったりすると、なかなか前へ進めず苦勞する。横風の時も同じである。だから、『なぜヨットは向かい風(風上)に向かって進めるのか？』と不思議に感じた。ヨットの帆は、風を受けるとたわむ。そして、風の向きに合わせて角度を変えながら、帆を強く張ったりゆるめたりもしている。

そこで私は、実際にヨットの模型を作って、ヨットの進み方や帆についていろいろ調べてみたいと思った。

2 研究の目的

- (1) 向かい風と横風の時に、ヨットが進める方向を調べる。
- (2) どんな帆がヨットの帆として良い帆なのだろうか？帆の形・帆の大きさ(面積)・帆のつける位置について調べる。
- (3) 帆のたるみは、ヨットの進み方に関係があるのだろうか？また、帆がたるむことによってどんな力が働くのだろうか？

3 研究の方法

この研究を行うためにヨットの模型を作り、以下についての実験を行う。ヨットは、発泡スチロールの台車と、ストローやビニールで作った帆で作成した。台車には15度ごとに線を引き、帆の角度がわかるようにした。帆を立てる位置は、台車の前方から4 cmとした。また、風を起こす装置として扇風機を用いたが、扇風機のみでは風が乱れてしまうので、風をまっすぐにするためにプラスチック板で風洞装置を作成した。実際に扇風機の風を当て、まっすぐな風になることを確認してから実験を行った。

(写真1、2、3)

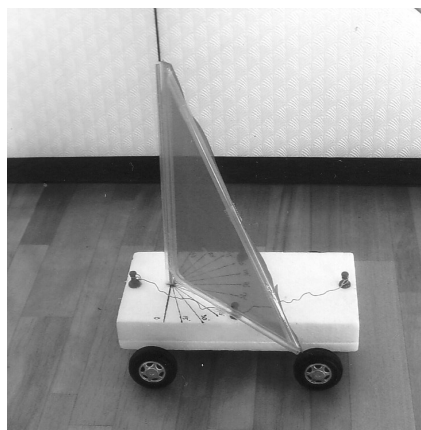


写真1 模型ヨット

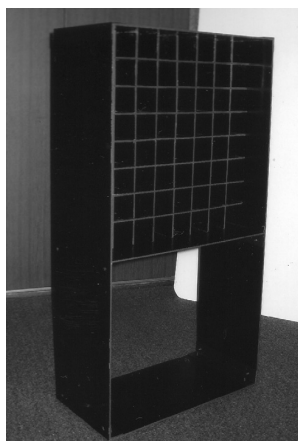


写真2 風洞装置

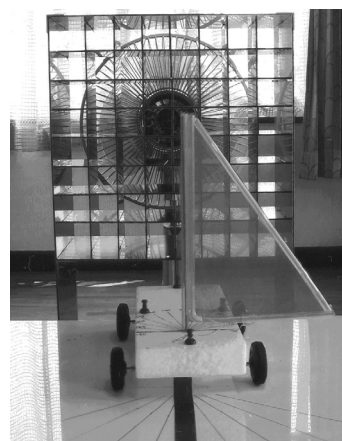


写真3 実験の様子

- (1) ヨットの後方から風を当てた時(追い風0度)のヨットの進む方向と速さについて調べる。

実験台の上にスタート位置を決め、角度を書いておく。その上に模型ヨットを置いて図1のAの位置から風を当て、ヨットが進む方向と50cm進んだ時間を記録する。帆の角度を0度から180度まで15度ずつ変えながら実験した。5回計測し、一番速い時間と遅い時間を切り捨て、残り3回の平均値を結果とした。

- (2) 風の向きの違いによるヨットの進む方向と速さについて、以下の条件で調べ、実験1と同様に記録する。

- ア 追い風(45度)の時 (B)
イ 横風(90度)の時 (C)
ウ 向かい風(135度)の時 (D)
エ 向かい風(180度)の時 (E)

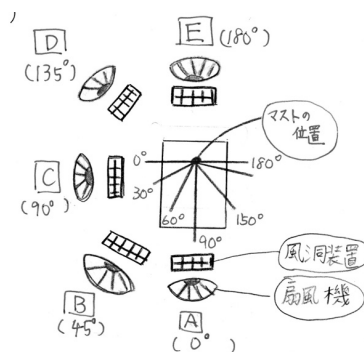


図1 風の当て方

- (3) 帆の面積を変えると、ヨットの進む方向と速さはどのように変化するか調べる。

帆の底辺を実験1、2で使った帆の半分にして、面積を半分にした帆を作り、実験2と同じ条件で実験し、結果を比較する。

- (4) ヨットのマストの位置を変えると、ヨットの進む方向と速さはどのように変化するか調べる。

マストの位置を、台車の真ん中(前方から10cm)と台車の後方(前方から16cm)とし、実験2と同じ条件で実験し、結果を比較する。

- (5) 帆の形を四角形や円形にすると、ヨットの進む方向と速さはどのように変化するか調べる。

同じ材質で様々な形の帆を作り、実験1、2と同じ条件で実験し、結果を比較する。

- (6) 帆の材質を変えると、ヨットの進む方向と速さはどのように変化するか調べる。

ダンボールとガーゼで帆を作り、実験1、2と同じ条件で実験し、結果を比較する。

- (7) 帆のたわみの影響を調べるために、紙をカーブさせてそこに風を当てた時の空気の流れ方を確かめる。(写真4)

- (8) 帆のたわみによって発生する揚力を、模型を使って確かめる。(写真5)

発泡スチロールで翼の模型を作り、風を当てる。風に当てる向きを変えて実験し、結果を比較する。

- ア 翼の丸みがある方を前にし、平らな面を下にする。
イ 翼の丸みがある方を前にし、平らな面を上にする。
ウ 翼の丸みがある方を後ろにし、平らな面を下にする。
エ 翼の丸みがある方を後ろにし、平らな面を上にする。

- (9) 実験8で使用した翼を台車に立て、発生する揚力で風上に進めるのか確かめる。(写真6)

翼の角度を60度・90度・120度として、それぞれの時に風を翼に平行となるように当て、台車の進む方向を調べる。

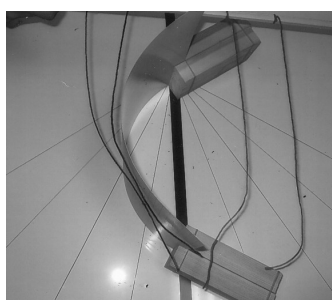


写真4 たわませた時の風の流れ

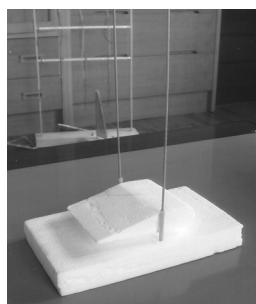


写真5 揚力の実験



写真6 翼を付けた台車

4 研究の結果と考察

(1), (2)

風の向きによるヨットの進行方向と帆の角度との関係

帆の角度 (度)		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
風の向き	追い風 A (0°)	すべて前向きに進む												
	B (45°)	前	前	前	前	動かない	動かない	前	前	前	前	前	前	前
	横風 C (90°)	前	前	後ろ	後ろ	後ろ	後ろ	動かない	前 (30°)	前 (48°)	前	前	前	前
	向かい風 D (135°)	後ろ	後ろ	後ろ	後ろ	後ろ	後ろ	動かない	前 (48°)	前	動かない	後ろ	後ろ	後ろ
	E (180°)	すべて後ろ向きに進む												

- (3) 風が帆に対して直角に当たる時が最も速く進み、帆の角度によっても速さは変化する。また、真正面からの風になるにつれて前へ進むことが難しくなり、横風や向かい風の時は、より大きな推進力が必要となる。帆の風を受けるとたわみも進行方向に関係している。
- (4) 帆の面積が小さくなると、ヨットの推進力も小さくなる。風の向きと帆の角度との関係は、実験 1、2 と同じような結果となった。ただし、進む速さは半分になるとは限らない。
- (5) マストの位置を変えると、マストが後方になるにつれて進む速さは遅くなった。向かい風の時は、マストが前方では進んだが、真ん中や後方では進まなかった。
- (6) 追い風の時は、どの形の帆も前へ進んだ。進む速さは、長方形が速かった。向かい風の時、逆三角形の帆以外は、角度が 105 度で前へ進んだ。横風の時、長方形や逆三角形は帆の上部がねじれてゆがんだ。楕円形や二等辺三角形は、ゆがむことがなく帆がたわんでいた。
- (7) 追い風の時は、ビニールの帆が速かったが、帆の角度が 90 度の時のみガーゼの帆が速かった。向かい風(135度)の時は、ダンボールとガーゼの帆は前に進めなかった。
- (8) 紙をカーブさせた時とまっすぐな時では、空気の流れ方が違っていった。カーブの外側では面に沿って風の流れが曲がったが、内側ではまっすぐ流れていた。
- (9) イ以外の翼は全て浮かび上がり、アが一番高く浮かび上がった。翼の平らな面からふくらんだ面に向けて揚力が発生していることが確かめられたが、エについては当てはまらなかった。
- (10) 帆の角度が 60 度の時は、揚力によって後方へ進んだ。90 度の時は横方向に揚力が働き、強い風では台車が倒れた。120 度の時は、揚力によって前方へ進んだ。実験 2 とほぼ同様の結果が得られた。

5 まとめ

- (1) ヨットは風上に向かってまっすぐに進むことはできないが、風上に対して左右約 40 度～45 度の範囲なら前に進むことができる。この時ヨットはヨットの向きと帆を張る方向を左右に方向転換しながらジグザグに進んでいると考えられる。
- (2) 帆の形は、一般的なヨットの帆で使われる直角三角形が最も適しており、帆の材質は、風を受けてたわむこと、風を通さないことの 2 つの条件を満たすものがよい。マストの位置は前がよい。
- (3) ヨットの帆が風を受けてたわむことで、翼のような形になり、帆の両面の圧力の差から揚力が発生する。この揚力がヨットの推進力となる。