

風による力の研究 ～見えない力に挑む～

八王子市立第四小学校 6年 熊ノ郷 公人

1. 研究の動機

この夏、母が当選したチケットでインドア・スカイダイビングを無料体験できた。風の流れによる力の大きさや風をとらえる難しさを体感し感動した(図1)。風の力を利用して動くヨットを使って、風による力の発生について調べたいと思った。

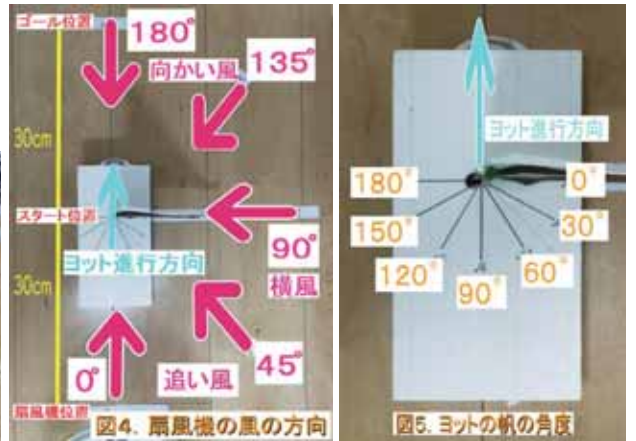
2. 準備

模型のヨットは台車の上に発泡スチロールの板を固定し、竹串、ストロー、割り箸、針金で、様々な角度に設定できる帆を作る(図2)。実際のヨットは、ヨットの底から水の中に突き出したセンターボード(横流れ防止板)が、水の抵抗によりブレーキの役割を果たし、帆に働く風によって進む力を得て走る。この模型のヨットでは、前後にしか進まない台車がセンターボードの代わりとなる。

3. 研究

実験1：帆の角度や風を当てる向きを変え、ヨットの進み方を調べる

- (1)床にヨットを置き、マストから30cm離れた場所に扇風機を置く(図3)。扇風機を0°(図4)の位置からスイッチを入れて強風にする。帆の角度を0°(図5)に合わせ、風が落ちていたら手を放しストップウォッチで30cm進む時間を測る。10回測定し平均値を出す。
- (2)帆の角度を30°～180°(図5)まで30°ずつ変えながら(1)の操作を繰り返す。
- (3)扇風機の位置をマストから30cm離れた45°～180°(図4)まで45°ずつ変え(1)、(2)と同じようにヨットの進む向きと速さを調べる。



実験1の結果

帆の角度	風の向き	0°	45°	90°	135°	180°
0°	進む向き	前	前	前	前	前
	時間	0.731秒	0.826秒	0.922秒	2.173秒	0.919秒
45°	進む向き	前	前	前	前	前
	時間	1.255秒	1.298秒	2.098秒	1.245秒	1.142秒
90°	進む向き	前	前	前	前	前
	時間	1.556秒	1.556秒	2.000秒	1.429秒	1.142秒
135°	進む向き	前	前	前	前	前
	時間	1.556秒	1.556秒	2.000秒	1.429秒	1.142秒
180°	進む向き	前	前	前	前	前
	時間	1.556秒	1.556秒	2.000秒	1.429秒	1.142秒

実験1の考察

風(扇風機0°)のとき帆の角度が垂直に近いほど、ヨットが早く進んだ。また、風(扇風機45°)のとき、帆の角度が150°のヨットが一番早く進んだ。風に対して垂直に近い方が、風を受ける帆の面積が大きいためだろう。横風(扇風機90°)と向かい風(扇風機135°)のとき、帆の角度によって、ヨットが前後に進み、不思議に思った(実験3に続く)。

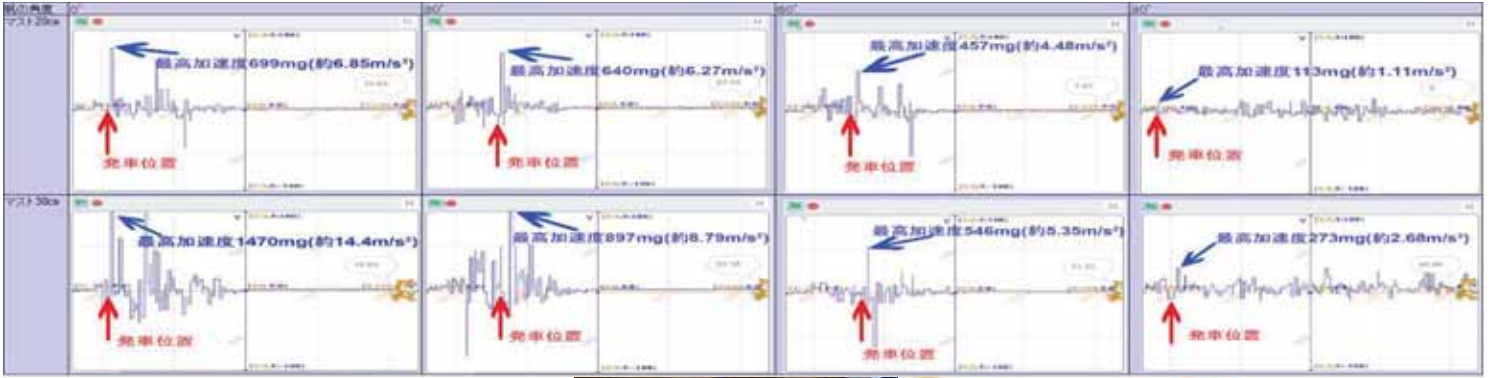
実験2：マイコンボードでヨットにかかる風の力を測る

マイコンボード(図6)とプログラミング(図7)で、一番早く進んだ追い風(扇風機0°)(図4)で加速度を測る。加速度の大きいときは風の力を大きく受けたときである。加速度を使って風による力の加わり方を調べる。風の方向0°(図4)のとき、帆の角度0°～90°と90°～180°(図5)は左右対称なので、0°～90°で測る。同じ幅でマストの高さが1.5倍(30cm)の帆を使い、同様に測る。



実験2の結果と考察

マストの高さ30cmの方が風を受ける面積が大きいからか、20cmより大きな加速度が出たが、マイコンボードの電池が重いからか、加速度の比は様々だった。帆の角度が同じとき、加速度の上がり下がりが似ていた。同じ角度で帆が受ける風は当たり方や流れ方が似ているようだ。単位[mg]は重力加速度の1/1000。



実験3：ガガミンソフトで風の力を分解してみる

実験1で横風(扇風機90°)と向かい風(扇風機135°)のとき、帆の角度によりヨットが前後に進み、不思議に思った。

風で帆に生じる揚力を、ヨットを前後に押す力(推進力)とヨットを横に押し流そうとする力(横方向への力)に分解し、ヨットの動きにどのように影響するか調べる(図8)。

揚力は帆の正面から風を受けるとき空気の流れ(気圧差)によって生じる力なので、揚力の発生しやすい角度60°~180°(実験1表中枠部分)で調べる。



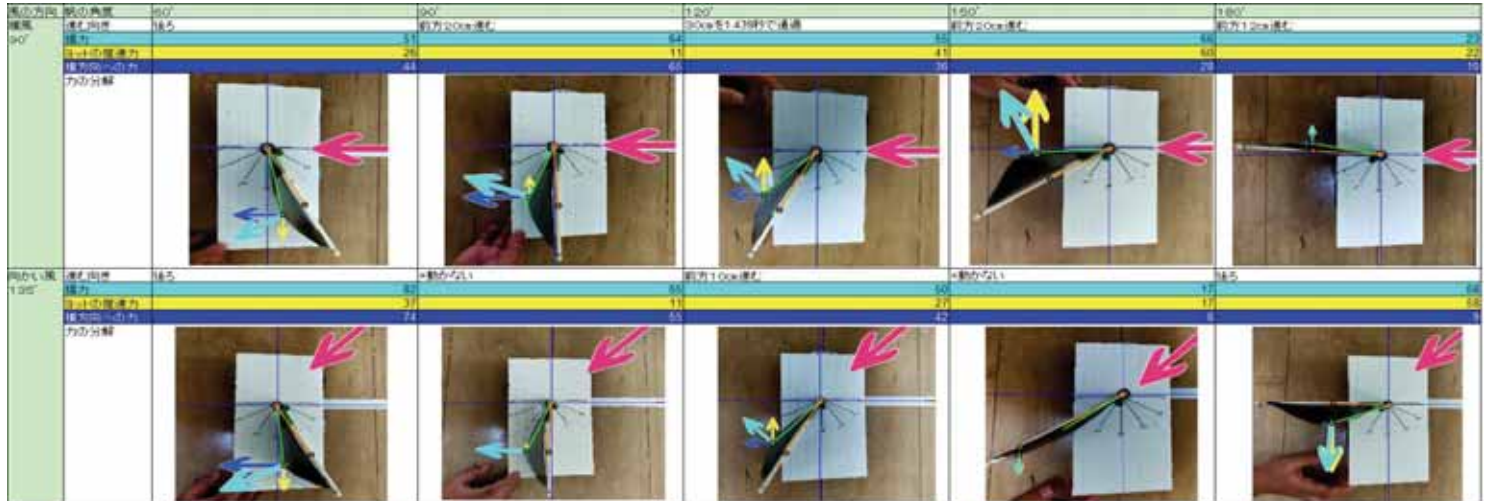
- ・力の分解：1つの力を同じ働きをする2つの力に分ける。
- ・揚力：帆の表面を流れる風向と直角に発生する力。大きさは写真の帆の膨らみから計算する。
- ・横方向への力：風がヨットを横に押し流そうとする力。実際のヨットでは、この力とセンターボードからの水圧による抵抗力が打ち消しあう。
- ・推進力：揚力の力の分解により、「横方向への力」を除いて残った船首方向への力。ヨットを押す推進力となる。

揚力が生じる向きから「横方向への力」と「推進力」に分けたときの大きさを写真とガガミンソフトのプログラムを使い比較する(図9)(図10)。

実験3の結果と考察

写真から分析して、向かい風(扇風機135°)(図4)でも、ヨットの帆が120°(図5)のとき風に向かってヨットが前進するのは、揚力を分解して生じる推進力の矢印が前に向くからだと思う。また、後ろ向きに進むときは推進力の矢印も後ろ向きで、動かないときは推進力の矢印の大きさが小さかった。

ただ、スピードが早くても矢印が大きくなりすぎるところなどもあった。3次元を上から見た2次元の写真で分析していることによると思う。3次元でのヨットの帆の形や、扇風機の風の流れなども原因にあるのではないと思う。



4. まとめ・感想

インドア・スカイダイビングに戻る。最大時速360kmの風が下から垂直に僕に当たっている。空中で停止しているとき、下からの風の力と僕にかかる重力が釣り合っているときになる。

実験1や実験2のように、手足を広げ風の当たる面積を増やすと、風の力が重力を上回り浮力が生まれ、上昇する(図11)。また逆に、手足を折り曲げ風に当たる面積を小さくすれば、風の力が重力を下回り、下降する(図12)。

僕は初心者なので腹ばいで飛ぶベリー(Belly)というポジションで風を垂直に受けて上昇と下降しかできなかったが、インストラクターは直滑降で降りたり、回転しながら上昇したりする。インストラクターは実験3のように風の力をほとんど受けない角度で直滑降したり、3次元の風を利用して回転していることに気がついた。

実験をすればするほど、ヨットが予想と違う動きをするときがあり、複雑な風の流れがあることが分かってきた。

また、帆の固定や台車の微調整といった実験の準備が重要であることもわかった。家の扇風機の前で300回以上、帆をセットし、実験したので、とても寒い夏となった。

いつか3次元の複雑な風の力を制御できるようになって、熱い太陽の下で、スカイダイビングをしたい。



参考文献

- [1] micro:bitは、英国放送協会(BBC)によって開発されました(<https://microbit.org/>)。
- [2] Scratchは、MITメディア・ラボのライフロン・キンダーガーデン・グループによって開発されました(<https://scratch.mit.edu/>)。
- [3] 学研教育出版(編) 2013年『中学生の理科自由研究 チャレンジ編 改訂版』学研教育出版
- [4] 横川耕二 2021年『理科がもっとおもしろくなるScratchで科学実験』誠文堂新光社
- [5] コトバンク(<https://kotobank.jp/>)『ヨット』『揚力』