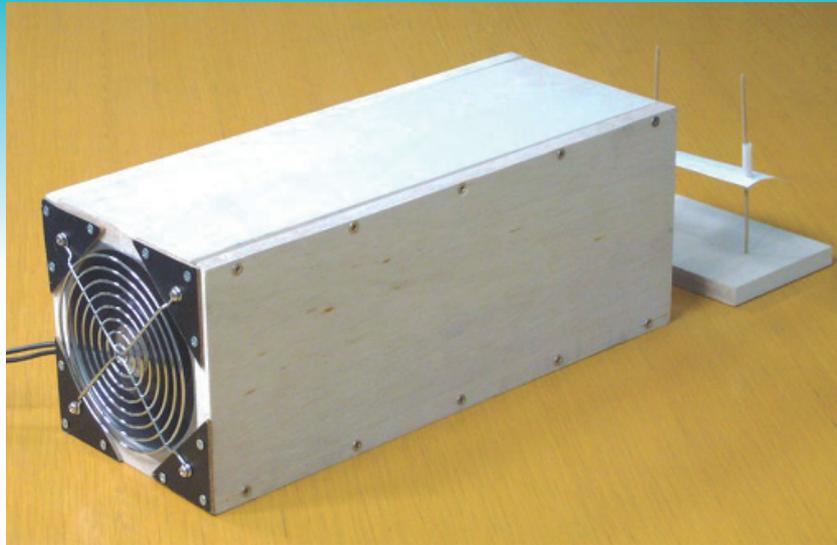


## — ミニ風洞 —

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●  
日本宇宙少年団  
福岡分団 麻生 茂氏

2007年2月28日 発行  
2008年4月1日 改訂

### 目標とねらい

20世紀の始め、1903年にライト兄弟がアメリカ合衆国で初めて動力飛行に成功してから100年以上が経ちました。ライト兄弟が、鳥が空を飛んでいる姿を参考にしているいろいろな翼の模型を作り、風洞で実験をして翼の力を測定したことは有名です。

ここでは、誰でも簡単に作れるミニ風洞を製作し、それを用いて翼の実験をします。小さなグライダーも、セスナ機も、大きなジャンボジェット機も同じように翼を使って飛行します。この実験では、翼のはたらきを知ること、300トン以上のジャンボジェット機を翼が持ち上げることができる秘密に迫ります。

対象学年	小学校高学年以上	所要時間	2～3時間
------	----------	------	-------

## 1 材料や工具の用意

### ●工作に使う材料や工具など

- (1) 空冷ファン：1辺が12cm、厚さ40mm程度、AC100Vで駆動するもの  
厚さ20mm程度の出力がやや小さいものしか入手できない場合は、それでもよいでしょう。その際は(10)のボルトの長さは首下長さ30mmでよい。電子部品のパーツセンターなどで購入できます。パソコン用のファンではパワーが不足するので、電子装置用の冷却ファンを用いてください。
- (2) 上記(1)空冷ファンの防護フェンス  
空冷ファンを売っている店で、たいてい売っています。子どもたちが指を入れないためのフェンスです。なければ防虫用のネットでもよいですが、気流の速度がやや遅くなります。
- (3) バルサ板またはベニヤ板  
風路用：120×360×厚さ13mmを2枚、146×360×厚さ13mmを2枚  
(2)の空冷ファンをちょうど入れることができる長さ360mmの四角い筒が作れば、寸法は自由でよい。  
翼の模型用：146×100×厚さ13mm 1枚
- (4) 厚めの工作用紙あるいはプラスチックの下敷：40×120mmの長方形 10枚
- (5) 竹串：長さ136mm、直径3mm 2本
- (6) ストロー：長さ30mm、直径5～6mm程度 2本

(次のページに続きます)

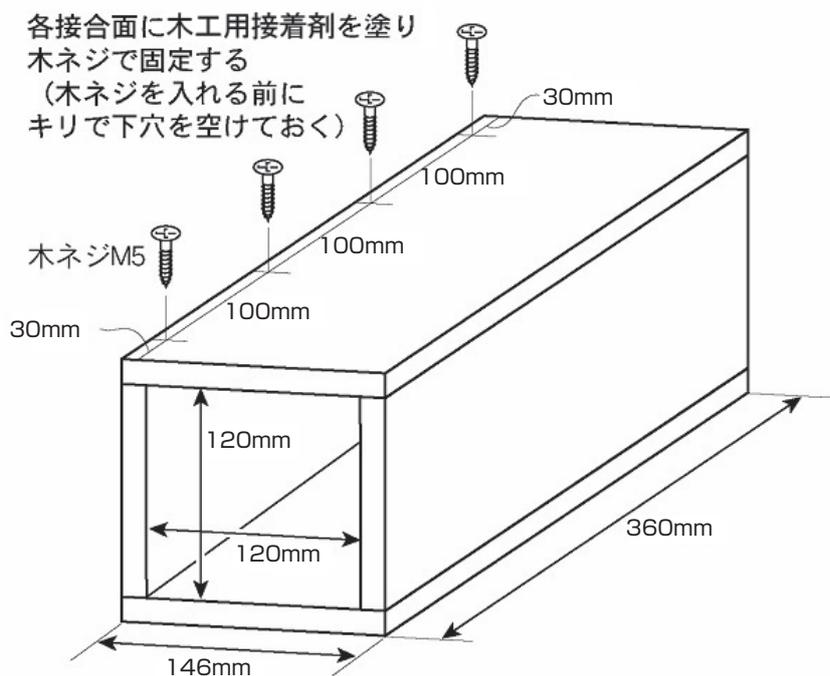
- (7) 画用紙：48×100mm 数枚
- (8) 木ねじ：3.2×32mm 16本
- (9) ベニヤ板：厚さ3mm程度、1辺が60mmの直角2等辺三角形 4枚
- (10) ボルト：M4 首下長さ50mmのもの、ナット、スプリングワッシャー 4組
- (11) 木ねじ：3×12mm 12本
- (12) AC電源コード（スイッチ付きが便利です）

- 【工具など】
- 木工用きり
  - ドライバー
  - はさみ
  - 速乾性木工用接着剤
  - カッターまたはドリル
  - ハンダごて、ハンダ
  - ビニールテープ

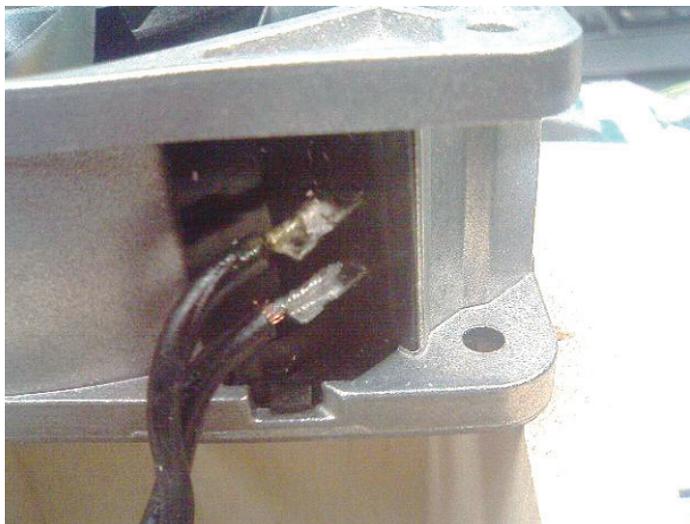
## 2 ミニ風洞の工作

### 風路を作る

① (3)の板(120×360×13mm 2枚、146×360×13mm 2枚)を使って、(1)の空冷ファンをぴったり入れることができる長さ360mmの四角い風路を作ります。(右図参照)  
 板の組み合わせを確認した後、キリで木ねじ用の下穴を100mm間隔であけます(下穴をあけておかないと板が割れることがある)。板の接合面を木工用接着剤で貼り合わせ、乾燥する前に(8)の木ねじで固定します。

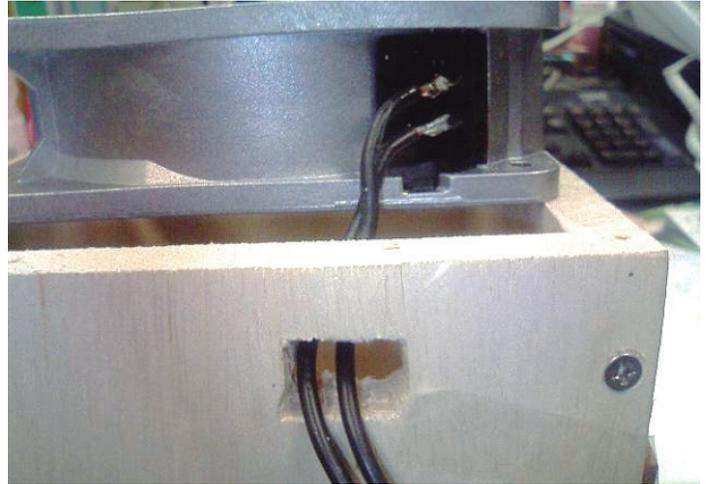


② (1)の空冷ファンに(12)のAC電源コードをハンダづけし(右写真)、接続した部分をビニールテープでカバーします。



★コードは、バルサ板(またはベニヤ板)の穴に、先に通しておきます。(③の写真参照)

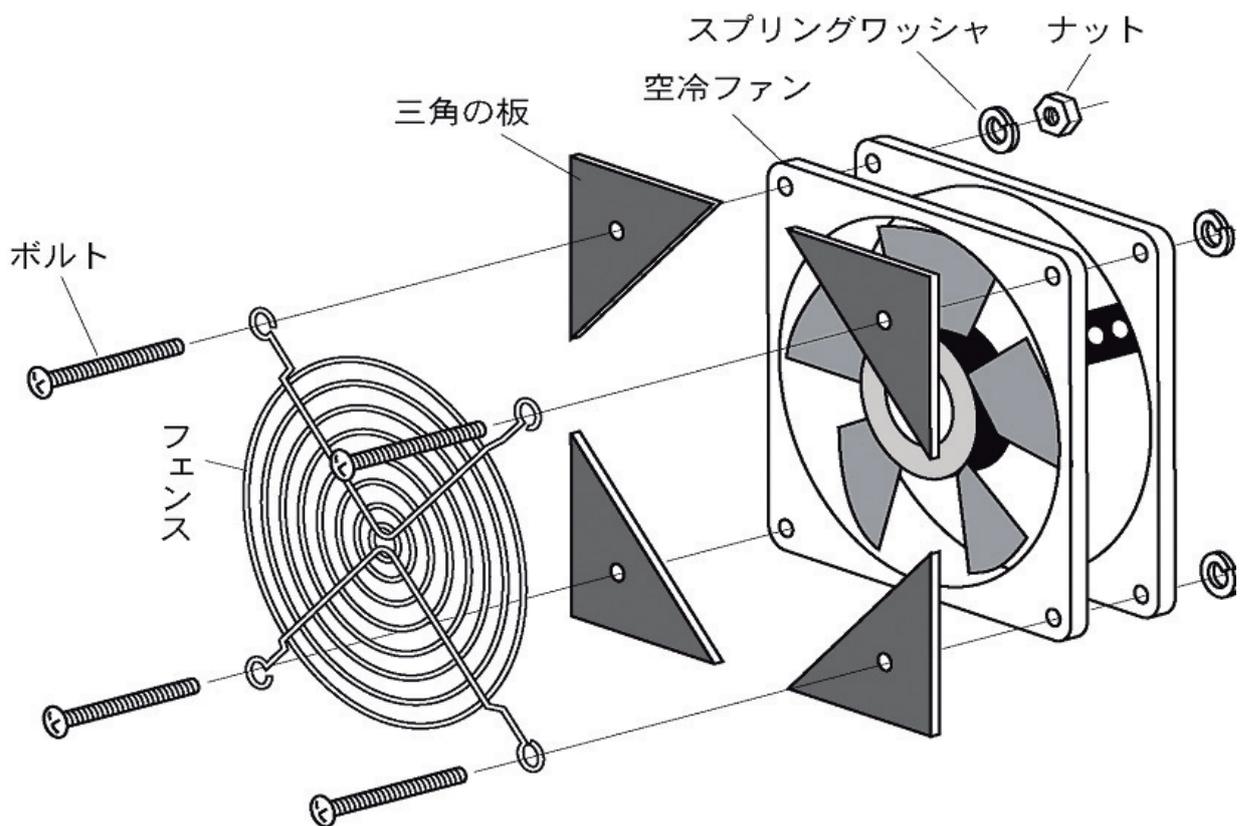
③空冷ファンを風路のいちばんはしに挿入します。



④空冷ファンを固定します。

ア. 空冷ファンの4か所の角部に固定用の穴があるので、その穴に合わせて(9)の三角形のベニヤ板にボルトを通す穴をあけます。その際、ベニヤ板の直角の角が、風路の外側の角部に合うように穴の位置を決めます(右写真参照)。

イ. 固定は風路の外側から(2)の防護フェンス、三角板、空冷ファンの順にボルトを通し、風路内側に出たボルトのはしには、スプリングワッシャ、ナットを通し、外側からドライバーで締めます(下図参照)。

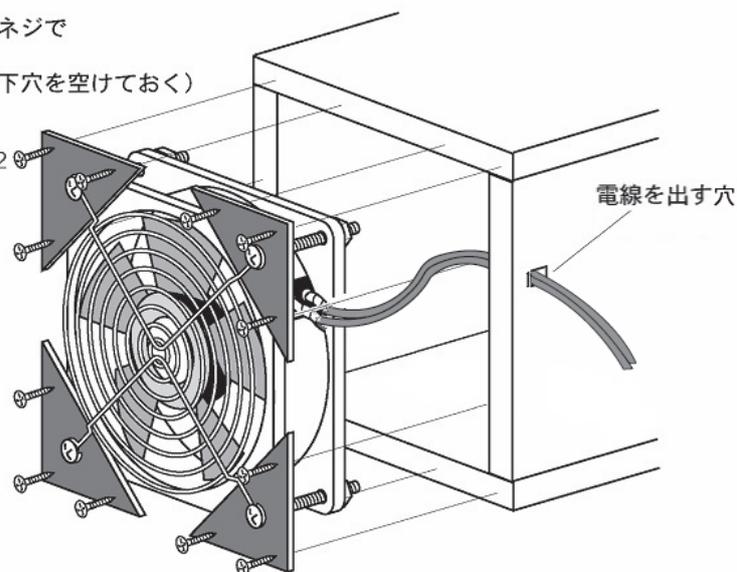


④空冷ファンを固定します。  
(前のページの続き)

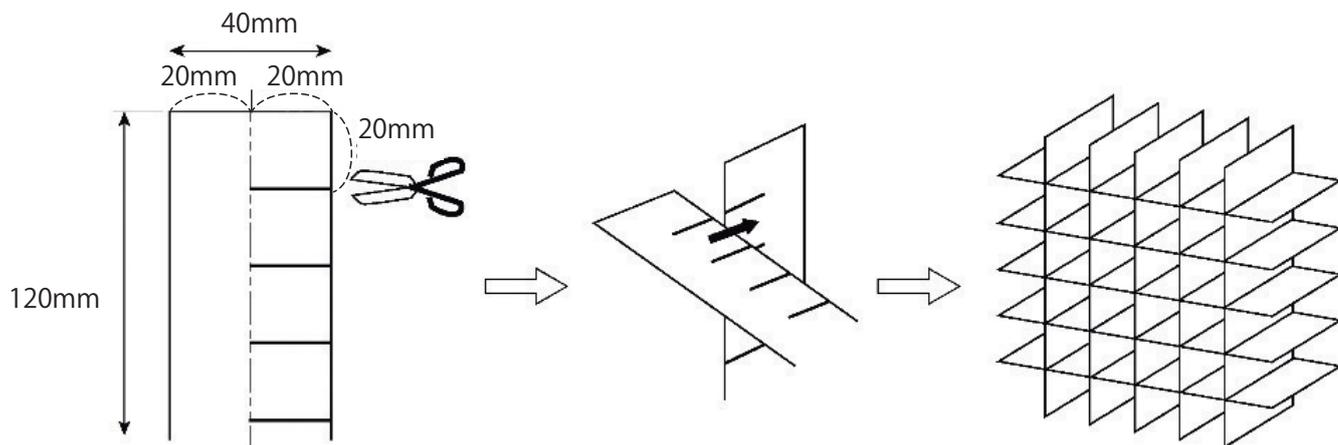
ウ. 空冷ファンとベニヤ板の位置が決まったら、(11)の木ねじでベニヤ板をそれぞれ3か所で固定します。(右の図参照)

風路に木ネジで固定する  
(キリで下穴を空けておく)

木ネジM2

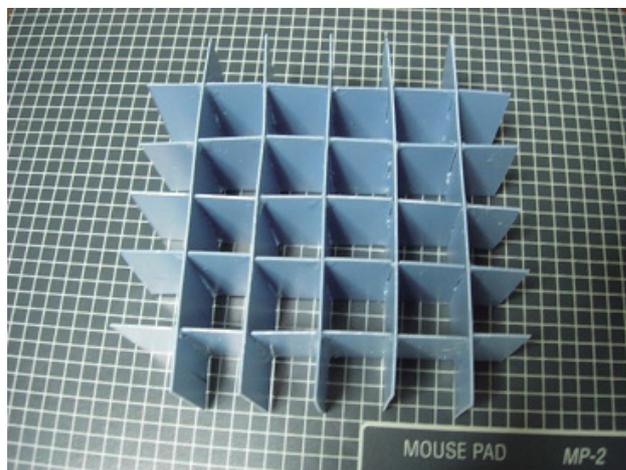


⑤ (4)の工作用紙あるいはプラスチックの下敷を使って整流格子を作ります。

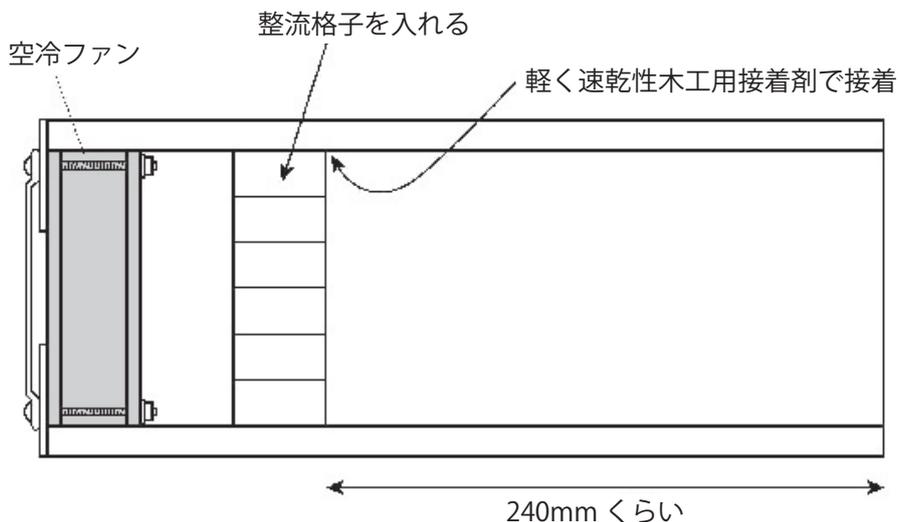


ア. まず、短辺のはしから20mm間隔で、長辺に垂直に20mm、直線を5本引きます。次に右側から、はさみなどで線にそって切り込みを入れます。

イ. 縦横に組み合わせて、格子の穴の寸法が一辺20mm奥行き40mmの格子を作り、組み合わせた部分を木工用接着剤で適当に固定します。

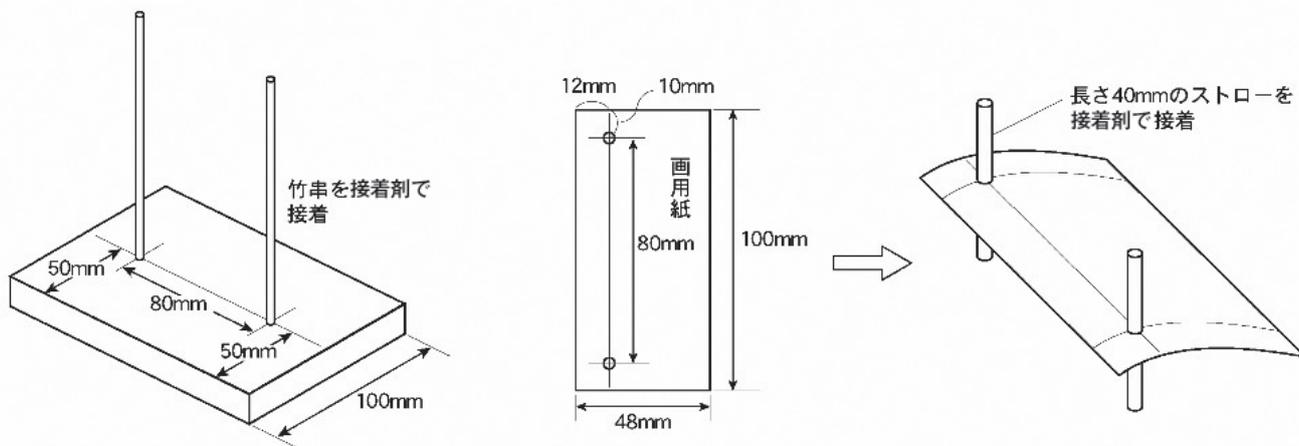


ウ. 接着剤が乾いたら、風路の中、空冷ファンの側と反対側のはしから240mm以上奥の位置に差し入れます(図E参照)。あとで取り替えができるように軽く接着しておきます。



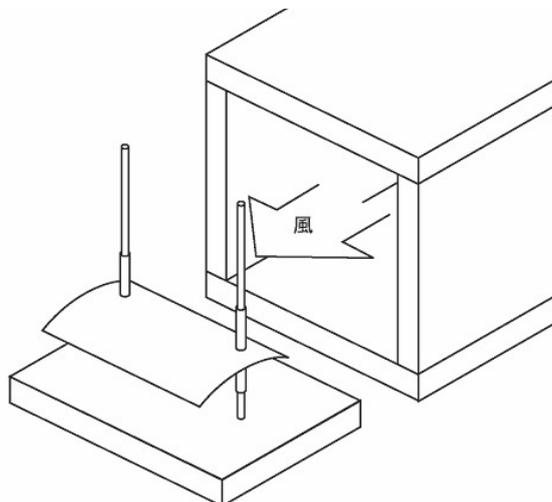
### 翼の模型を作る

- ① (3)の板(146×100×13mm 1枚)の中心から80mm間隔で竹串を2本固定します。あらかじめキリで下穴をあけておき、竹串を差し込んで速乾性木工用接着剤で接着します。
- ② (7)の画用紙に、手前から12mmの位置に、紙の長辺に平行に80mm間隔でストローを通す穴をあけ、木工用接着剤でストローを接着します。同じものを数枚用意します。



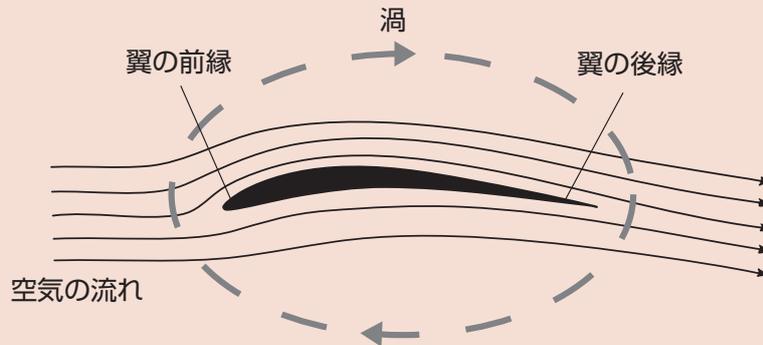
### 3 ミニ風洞で実験しよう

画用紙を使って思い思いの翼型を作り、竹串を通してファンのスイッチを入れます。翼が上向きの反りを持っていれば持ち上がり、逆さまに入れてみると翼型が持ち上がらないことから、上向きの反りがあることによって翼に上向きの力(これを揚力という)がはたらくことがわかります。



## 翼が揚力を発生するしくみ

平行な気流に平行に画用紙を置くと、画用紙はそのまま止まっている。画用紙を上向きに凸に曲げ、上向きの反りをあたえると翼は上に持ち上がる。これは画用紙（以下、翼という）が上向きに反ることによって翼の上面と下面の流れが変わるからである。



具体的には、上流から来た気流は（翼下面側の）翼の前からやや下がったところで翼の下面側を流れる流れと翼の上面を流れる流れに分かれる（上の図参照）。下面側を流れる流れの速さ（を調べてみると流れの速さ）は遅く、上面を流れる流れの速さは速い。

このとき、「上流から流れてきた流れが翼の前で分かれて、上面と下面をそれぞれ流れて翼の後縁でまた出会わないといけないが、上面の長さが長いので（確かに上図で見ると長い）、上面の流れは速く流れなければならない」、という説明がよくなされることがあるがこれは誤りである。

翼の前で分かれた気体と同じ気体どうしが翼の後ろで出会うわけではない。上流から来た流れは、実際は窒素分子や酸素分子からなる空気の流れであるが上面と下面に分かれるときに分子どうしがそのような約束をするはずもないのである。

著者は実際に翼の前にワイヤーを張り油を塗っておき、それを瞬間的に加熱して煙を瞬間的に発生させ、煙が翼の上面の中ほどにきたときにストロボで瞬間写真を撮ったものを見たことがあるが、翼の上面の煙が後縁に達したときに、下面の煙はまだ中ほどであったことを覚えている。

ところで、ベルヌーイの式というものがあり一種のエネルギー保存則であるが、その式は低速の流れでは、

$$\text{流れの静圧} + (1/2) \times \text{密度} \times (\text{速さ}) \times (\text{速さ}) = \text{流れの全圧}$$

と書ける。翼の上流から流れてくる流れの全圧は、翼の上面を流れる場合も下面を流れる場合も同じです。従って翼の上面では流れが速く静圧が低く、翼の下面では流れが遅く静圧が高くなる。つまり翼の上面では周りの圧力よりも圧力が減少して翼を上へ吸いあげ、翼の下面では圧力が周りの圧力よりも上昇して翼を上へ押し上げるのである。優れた翼の場合には翼の上面にはたらく吸い上げる力が翼の下面を押し上げる力に比べて数倍以上にもなる。このように、流れに垂直に翼を持ち上げようとする力を「揚力」と呼ぶ。

それでは、なぜ上面と下面では流れの速さが違うのであろうか。反りを有する翼の後縁では、上面と下面から来た流れが出会ってスムーズに流れ去っている。このような流れを実現するには翼の周りに時計回り（ここでは回転の向きは図1について考えている）の渦が翼の周りに発生して初めて可能である。このことは翼を静止した流れの中に入れておき、ある瞬間に急に一定の速度で動かすと翼の周りに時計回りの渦ができ、翼の後縁下流に反対方向の（ここでは反時計回りの）渦ができることから証明できる。右ページ上の図1と図2はそれぞれ静止した流体中に翼を置き、左に一定速度で動かした直後の翼周りの流れとおおよそ翼の長さほど動いたときの翼周りの流れを可視化したものである [文献1]。

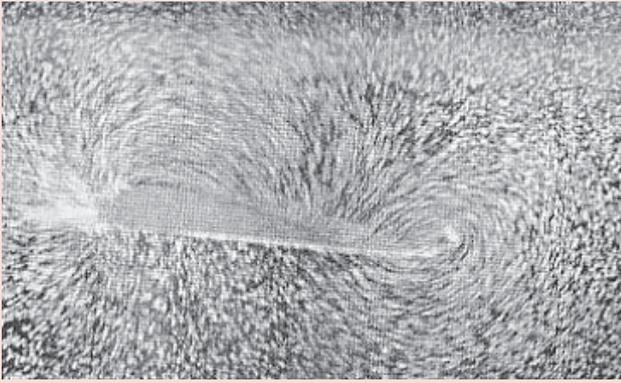


図1

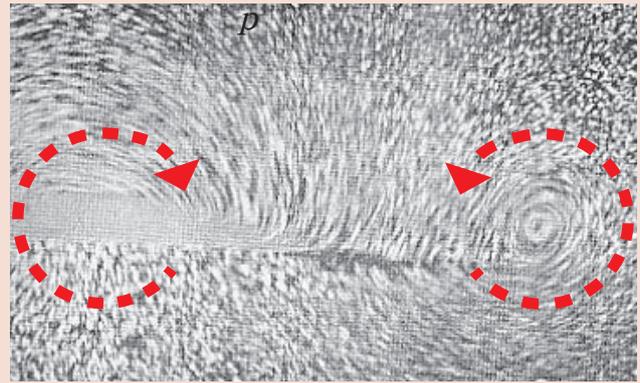


図2

一定速度で動かした直後に、翼周りにここでは時計回りの渦ができ、翼の後端（後縁という）のあたりにはそれとは反対向きの反時計回りの渦が発生していることがわかる。それがおよそ翼の長さほど動くと翼周りの渦はますます明確になり、一方、翼後縁の下流にはそれとは反対向きの渦が形成されているのが明確にわかる。このように翼の周りには渦（渦の向きは翼の下から翼の前縁をとおり翼の上へ回転する向き）が発生していることが理解できる。

したがって、一様な流れの中に翼を置くと翼周りに時計回りの渦が発生し、その渦のために翼の上面では一様な流れと渦の流れは同じ向きなので流れが速くなり、翼の下面では一様な流れと渦の流れの向きは逆なので流れが減速されるのである。

反りが無い平たい画用紙では渦も発生せず、上面下面ともおなじ速さの流れとなるので圧力差は発生せず、したがって平たい画用紙は持ち上がらない。（むしろ、流れに対して上向きに傾ける（迎角をとるといふ）と渦が発生して画用紙は上に持ち上がる。）

このような揚力を生じている翼周りの流れを図3、4に示す。図3の翼の流れはとてもスムーズで大きな揚力（流れに垂直で翼を持ち上げる方向にはたらく力）が発生している。この翼も迎角を大きくとりすぎると図4のように、翼の上面の流れが離れてしまい（剥離という）、揚力が減少してしまう。これが翼の失速である。



図3



図4

## 科学する心を 育てよう

- ①風路の工作は、リーダーが指導すれば小学生高学年数名で作れるだろう。
- ②工作に先立って、翼のはたらきを知っておくことは必要だろう。
- ③翼や飛行機の風洞実験をしている写真などを見せるとさらに効果的である。  
(JAXAの風洞実験のようすを、下記のアドレスにアップされているビデオ『大空をのぞんで…航空宇宙技術研究センターをめぐる』で見ることができます。  
<http://www.ard.jaxa.jp/info/video.html>)

## 安全対策

- ①はさみを使った工作があるので、はじめにはさみの使い方、友だちへのはさみの渡し方を指導する。
- ②竹串は先がとがっているので、目などを刺さないように注意する。
- ③ハンダづけの際は、熱いのでやけどをしないよう注意する。また煙を吸わないように注意を促すとともに、換気に配慮する。
- ④空冷ファンを取り扱う際に、指やものを差し込んだりしないよう注意する。風路に翼の模型を取りつける前に、むやみにスイッチに触れないよう指導する。(取り付け作業中は、電源コードをコンセントから抜いておくこと。)

## 学習指導要領 との関連

小学校	5年	理科 (エネルギー)	電流の働き
中学校	2年	理科 (エネルギー)	電流
中学校	2年	理科 (エネルギー)	電流と磁界
中学校	3年	理科 (エネルギー)	運動の規則性
中学校	3年	理科 (エネルギー・粒子)	科学技術の発展
中学校		技術	材料に適した加工法

キーワード 揚力、風洞、飛ぶ、空気抵抗

教材提供 : 日本宇宙少年団福岡分団 麻生茂氏  
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社  
©JAXA2009 無断転載を禁じます