

別冊 サイエンス

アンセルムの冒険

大空を飛びたい

J.P.プチ 著

西沼行博 訳



定価 980円

日本経済新聞社

別冊 サイエンス

アンセルムの冒険

大空を飛びたい

J.P. プチ著

西沼行博訳



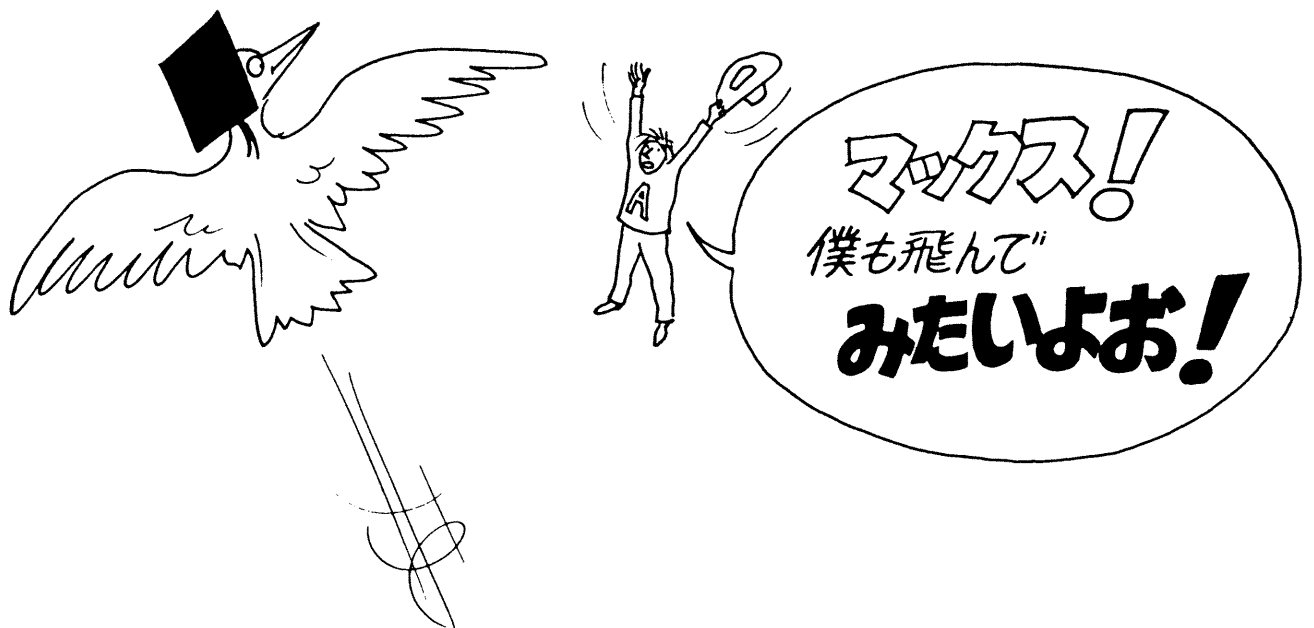
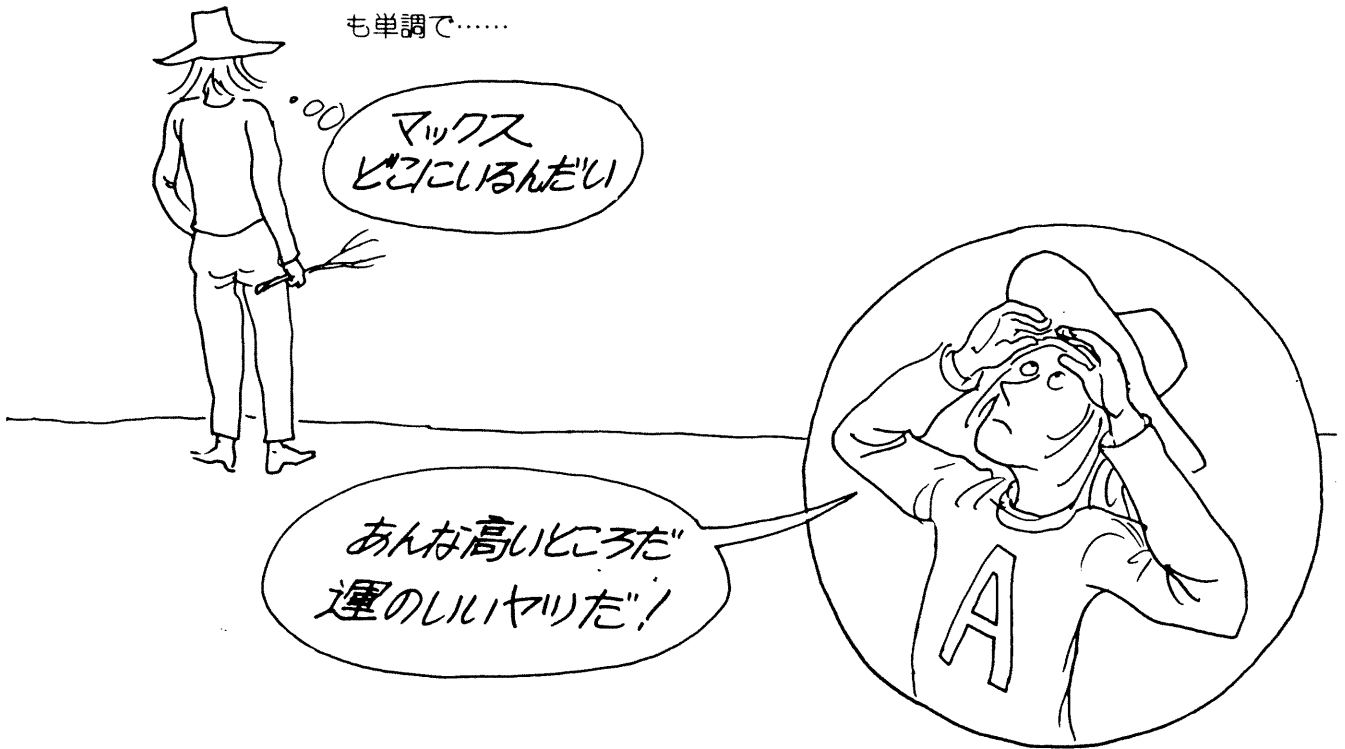
日本経済新聞社

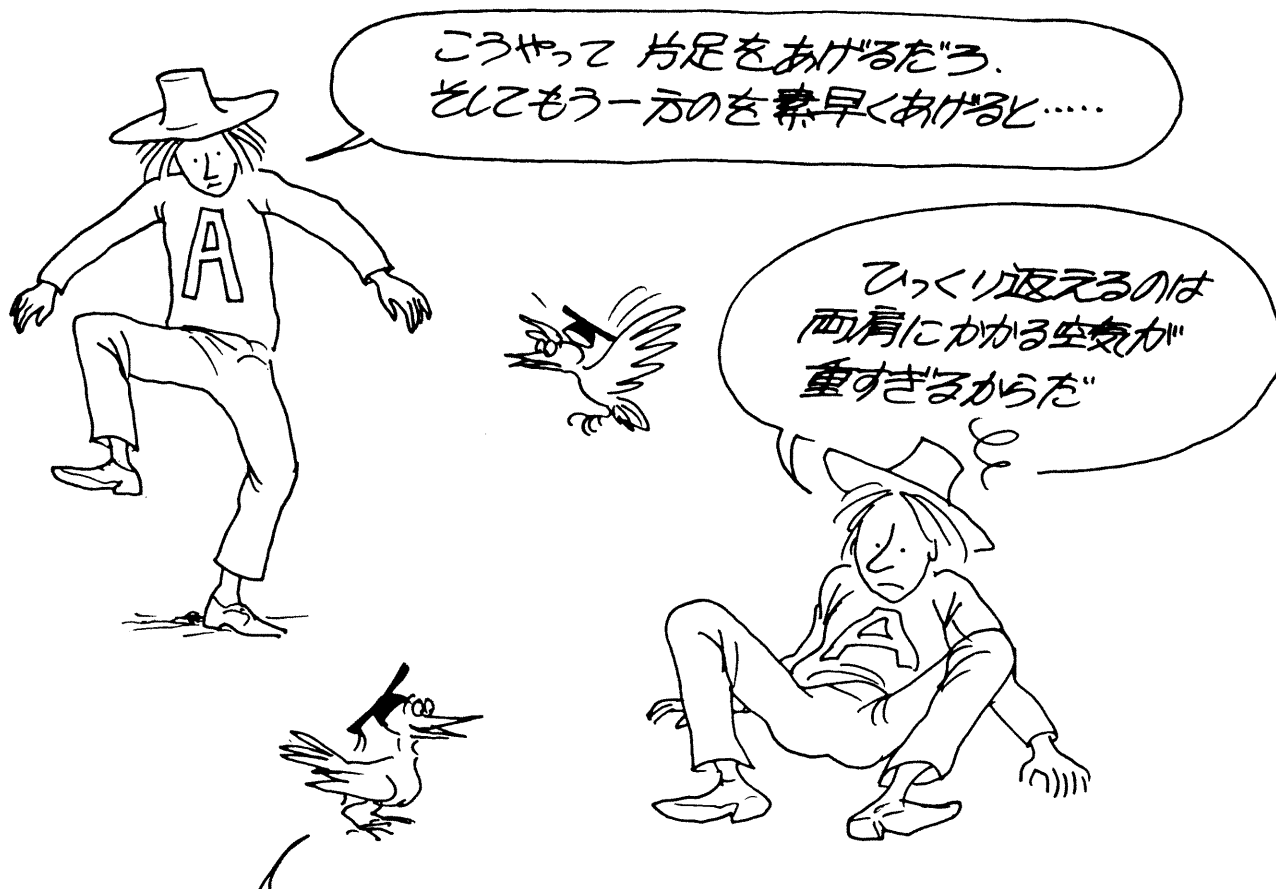
はじめに

ある朝アンセルム君は目を覚ましたが気分がよくなかった



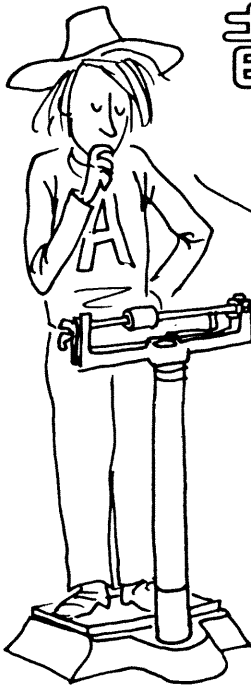
アンセルムはむなしく物悲しい気分になった。
地平線はいつになくまっ平らでくる日もくる日
も単調で……





と思いきやそうじゃない アルキメデスの浮力で君の
体重は80グラム軽くなってるんだよ

昔々アルキメデスが



こうやって僕が体重をはかるとき
ハカリは本当の体重を示さないと
君は言うのかい。



もちろん 実際には
80グラム重いのだよ

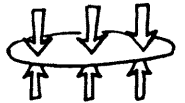


アルキメデスの原理って
あちこちでよく聞くけど
一体どんなものなんだい？

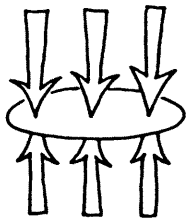
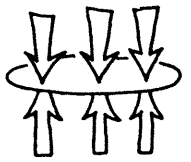


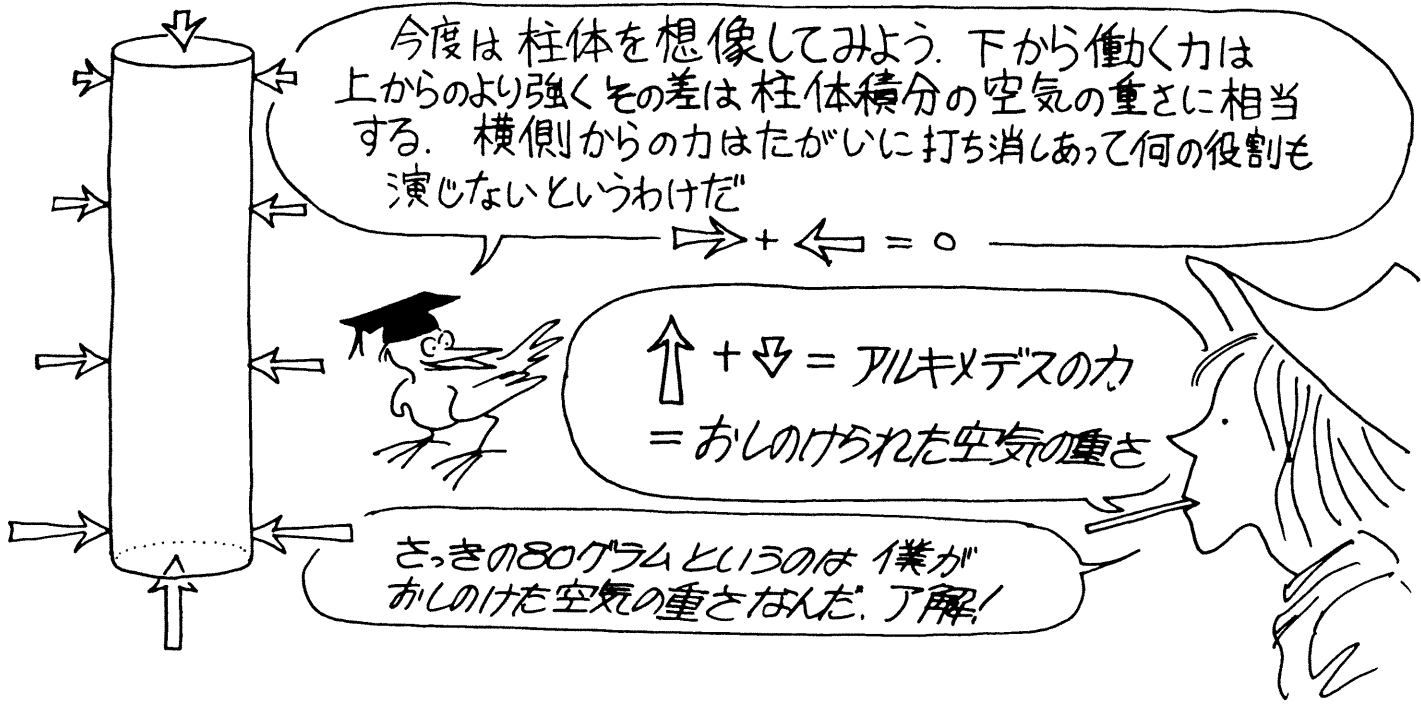
大気中に円板があると仮定しよう。

円板上に空気柱があることになり、それが高ければ
高いほどその力は大きく働くのだよ。しかし、もし
円板が非常にうすべらいと反対側から同等の力
が作用して結局は上下からの力の和はゼロになって
しまうというものだ”



流体中で
円板に作用
する力



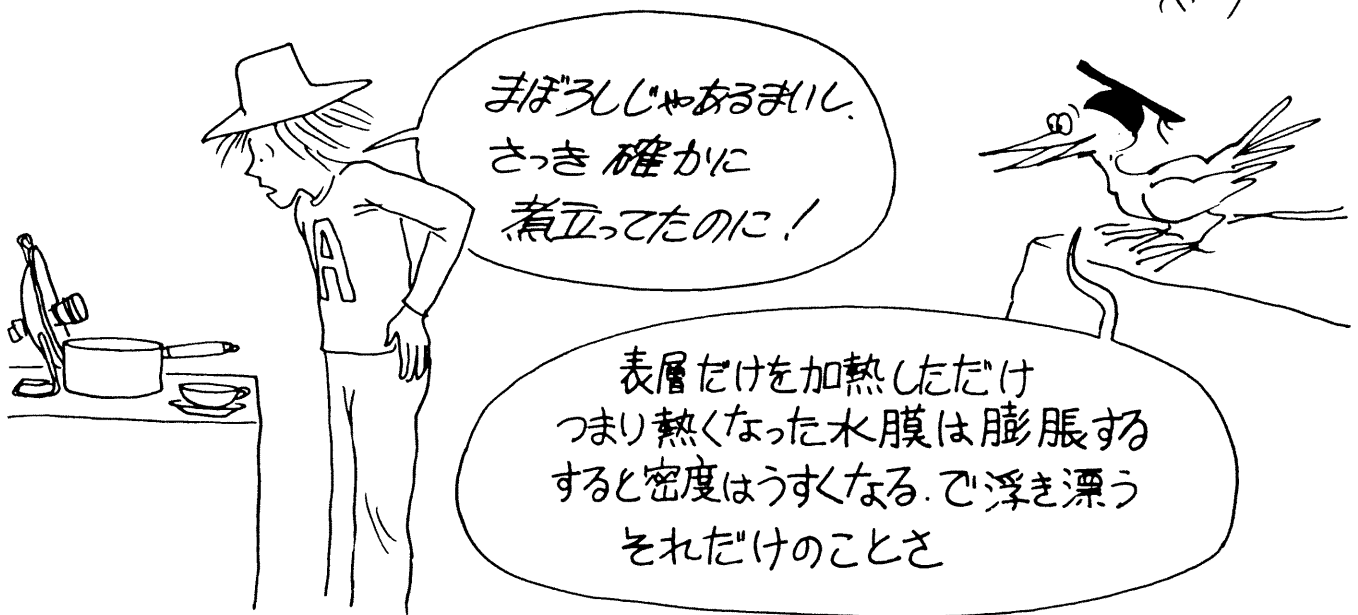
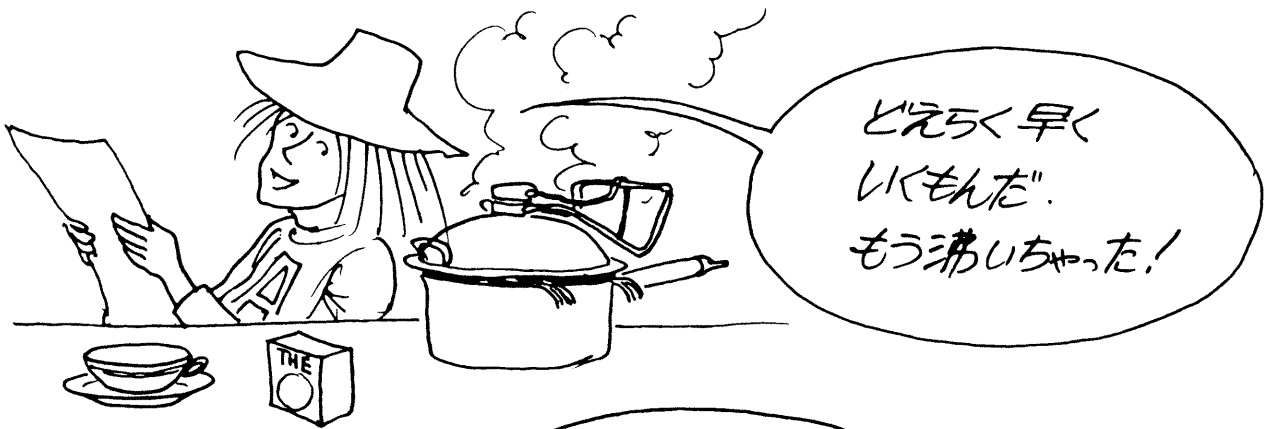


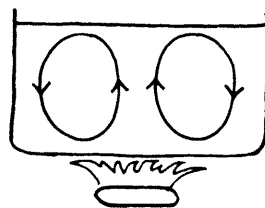
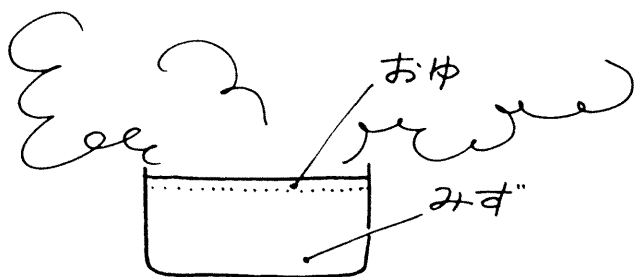
対流ということ

80グラムくらい軽く
 なっただけじゃ飛びには……

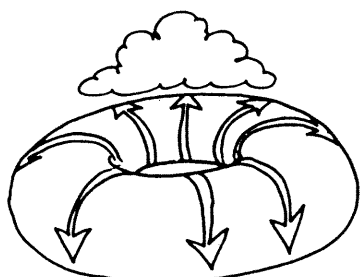
紅茶でも
 しげようっと



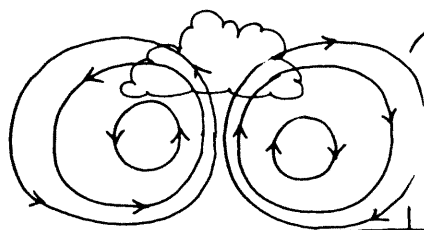




逆に下側から加熱すると、あたためられた水は膨張し、密度が希薄になり上昇する。上に登ると冷えて収縮し周囲から下方へ向かう。これを自然対流という

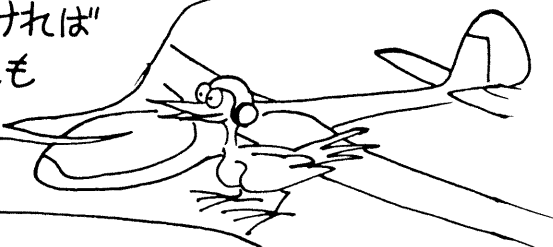


大気中でも同じ事が起こる。地表上のある点は他のところよりよく太陽熱を吸収する。すると、その空気はよりたくさん湿気をおび（温度が高ければそれだけ空気は水蒸気の形で水分を含む）、膨張し上昇する。上空で冷却され、水分は水滴と化し積雲になる。



太陽の熱であつくなつた地点

この攪拌現象のおかげで、空気の温度は均一になるのだ。さもないと地表の温度は数百度にもなってしまうにちがいない



もしあの入道雲にぶら下がったらいつかはきっと僕も空を飛べるかも知れない

足もとをよく見て歩けっつんだ!!



誰だしい？

考えごとするなら
ほかのところでもらいたいもんだ！

踏みつぶされ
そうになったじゃないか！

あ、ごめん

飛ぶだって？
ただでも世の中は甘く
ないのにさ！

われわれ数学虫は
理論的にそんなことは
不可能だと証明したんだ！

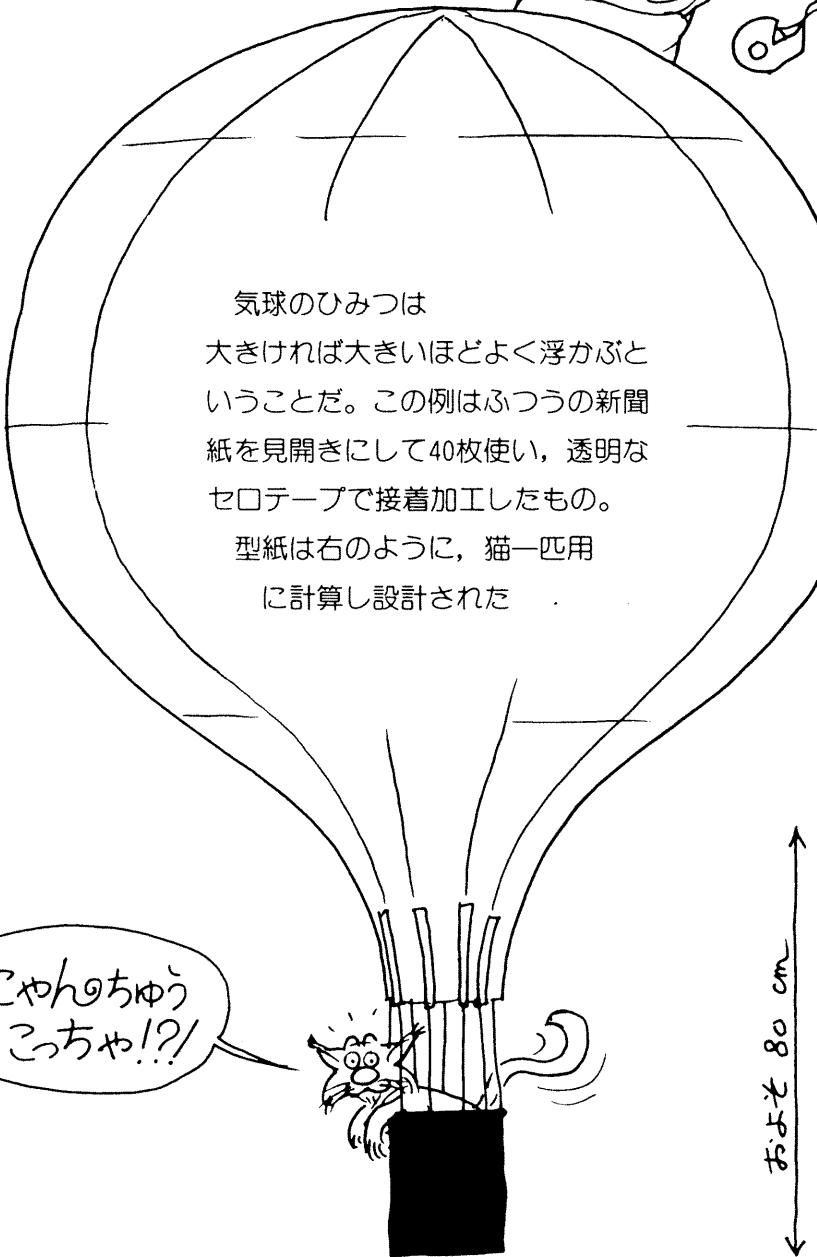
飛ぶだってさ
まったく不真面目も
はなはだしい！

こりもせず！...

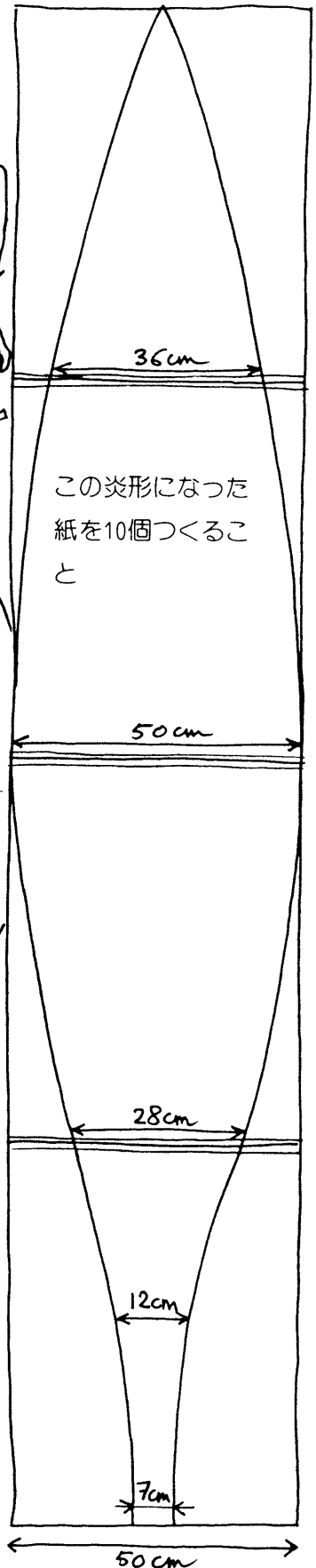
♪

方法をみつけたぞ
袋の中に熱い空気を
入れりゃいいんだ”

空気よりも 軽く

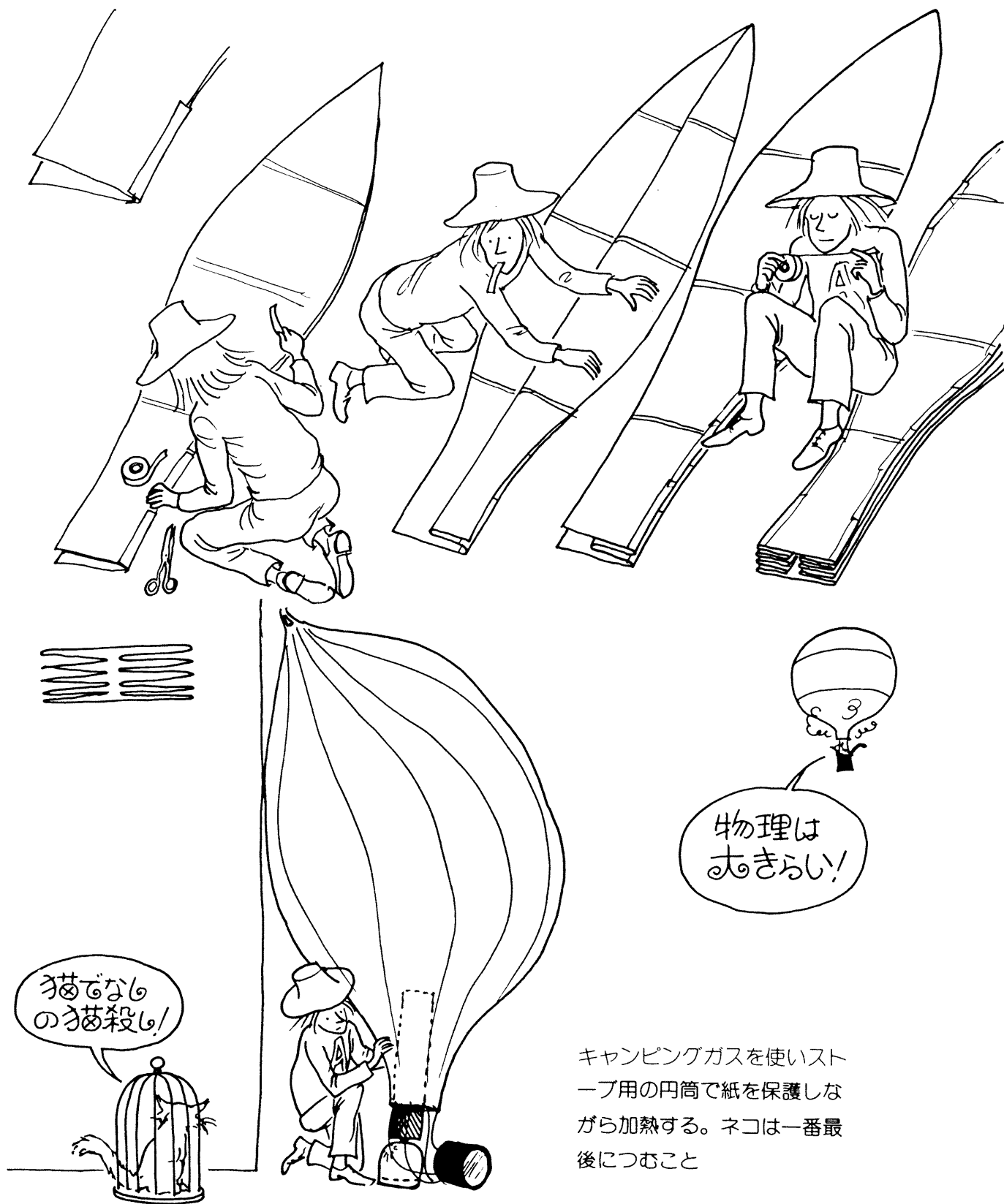


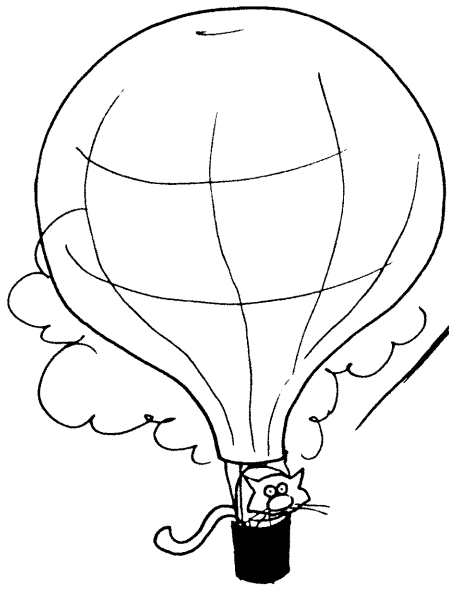
気球のひみつは
大きければ大きいほどよく浮かぶと
いうことだ。この例はふつうの新聞
紙を見開きにして40枚使い、透明な
セロテープで接着加工したもの。
型紙は右のように、猫一匹用
に計算し設計された



新聞紙4枚をセロテープで貼りあわせたとこ

以下にアンセルム流“軽気球号”の製造法を示す





わが輩が体験していることは
猫史上初のものである!



紙の夢か... こんなことをしても
たいてい高いところへは行けそう
になし風まかせて思うところへ
は飛べないし...




急ぎたまえ
老体にこたえるよ




飛行の秘密は
いったい何であろうか?







ちっとも動かないや。
まだまだこれじゃ勉強不足だあ



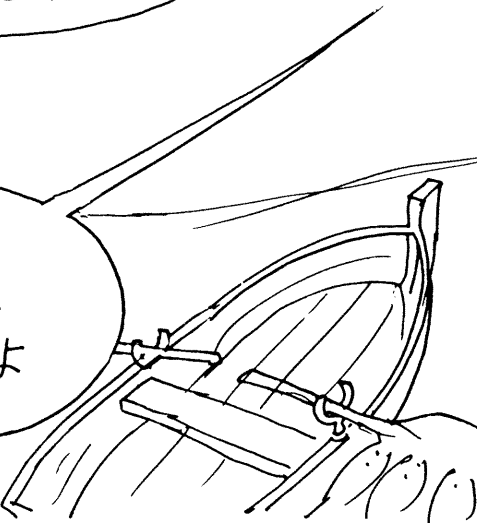
鬼さん
こちら...



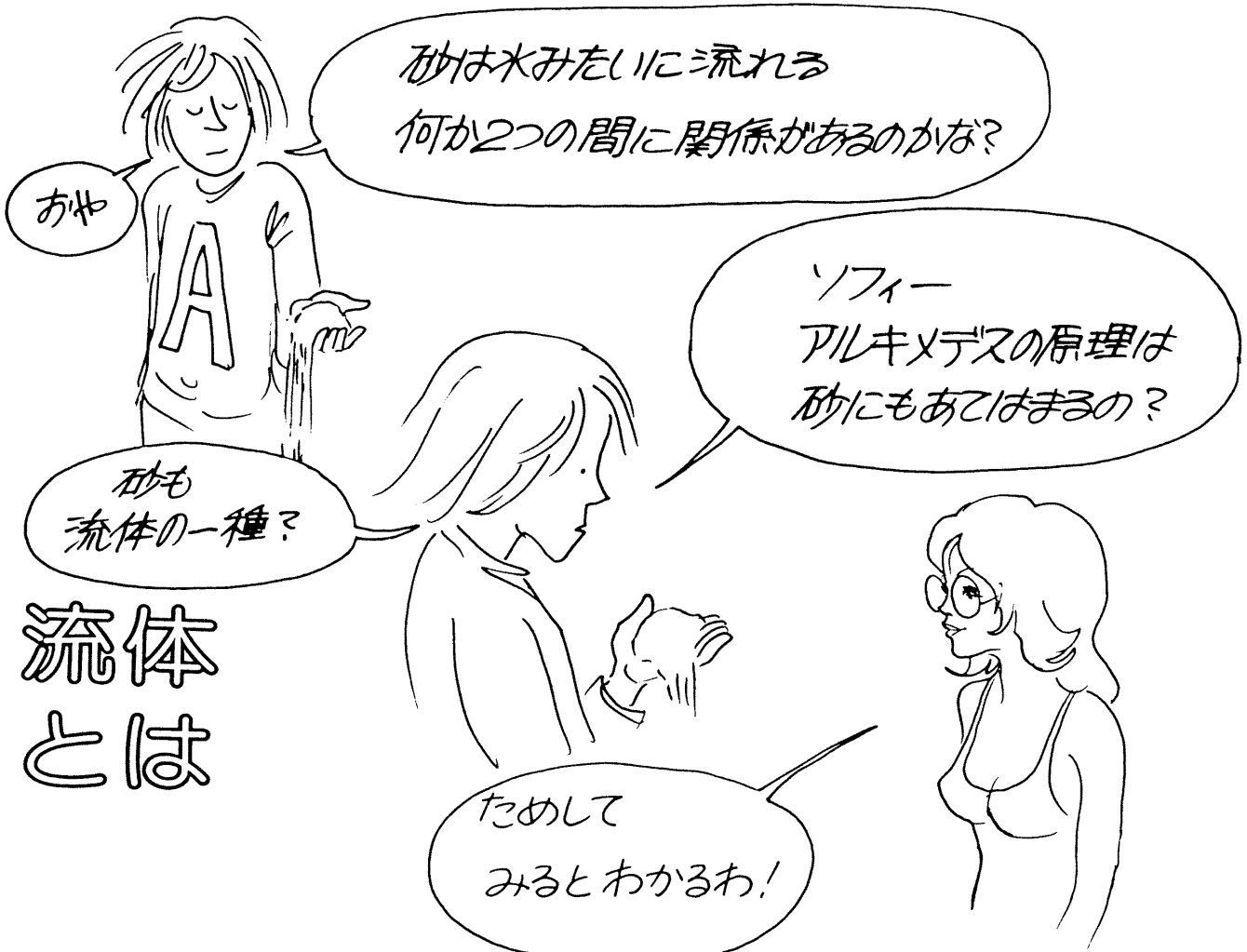
アンセルム、飛びたいなら
まず流体力学に親しむことよ
飛ぶってそんなに生やさしいとじゃないわ!



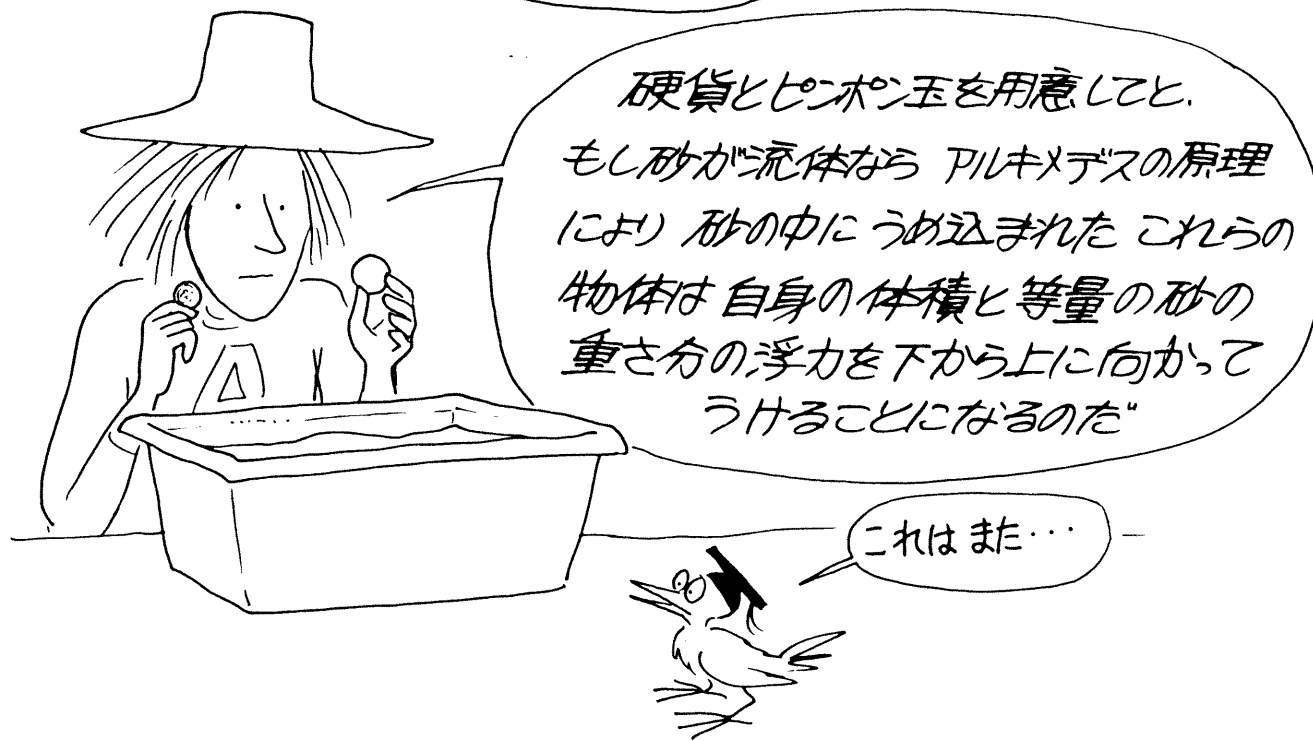
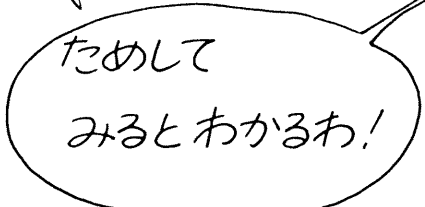
流体って
なあに。
流れるものに
関係あるの?



まあね、でも
実際にはもっと
こみ入ったものよ



流体 とは



ピンポン玉は底の方に、
硬貨は上に置いたんだから
お金は沈みピンポン玉は
浮いてもいいはずなんだが

ぜんぜんだめ

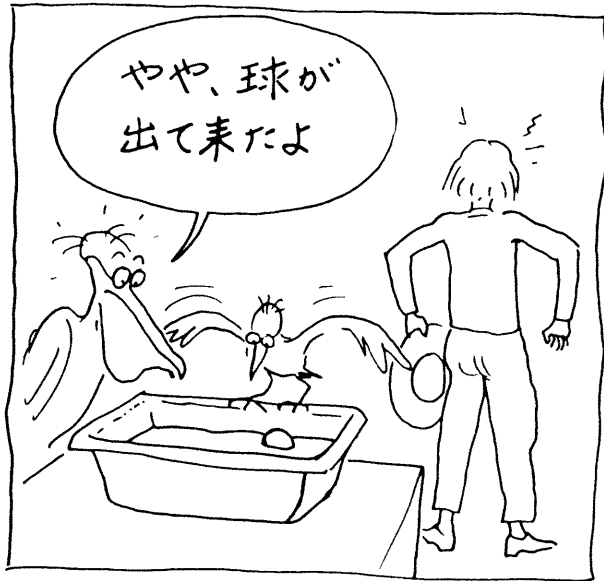
ひょっとすると
時間の問題かも……

かわいそうに
彼いかれちゃったぜ

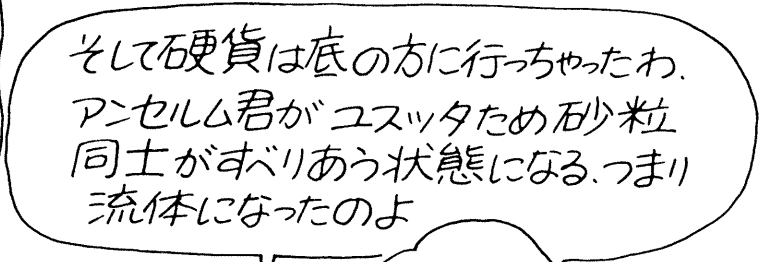
だから物理を
やるとあぶないんだ

こんな
くだらない実験
なんてクソくらえ!

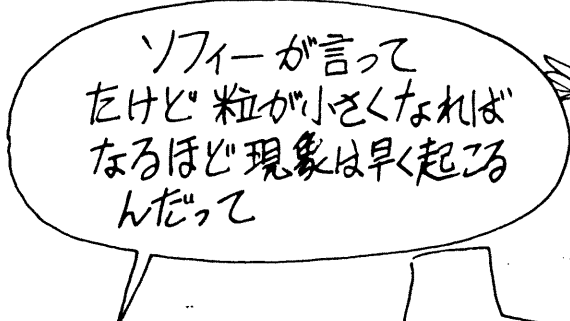
まっぴらだ!



やや、球が出て来たよ



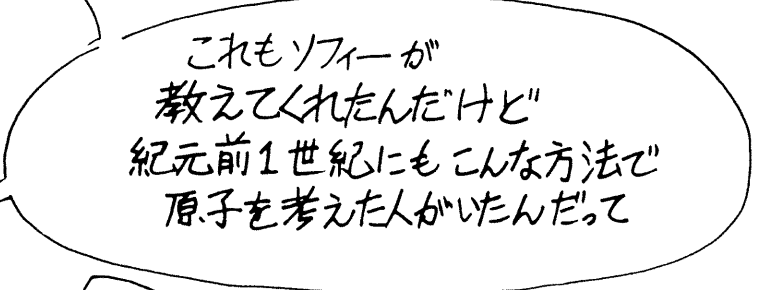
そして硬貨は底の方に行っちゃったわ。アンセルム君がユスツタため砂粒同士がすべりあう状態になる。つまり流体になったのよ



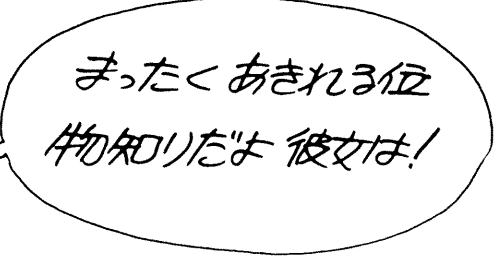
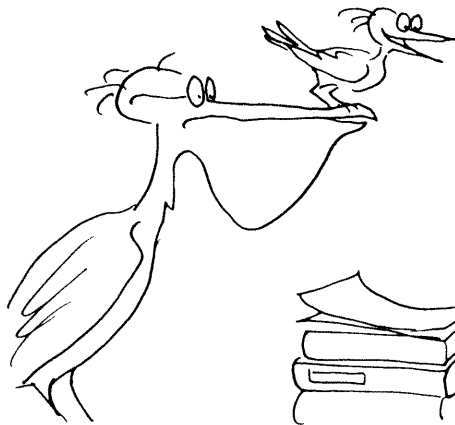
ソフィーが言ってたけど粒が小さくなればなるほど現象は早く起るんだって



そんなら流体ってのはとても粒の細かい砂みたいなものでたがいにすりやすくなった物質ってこと!?!



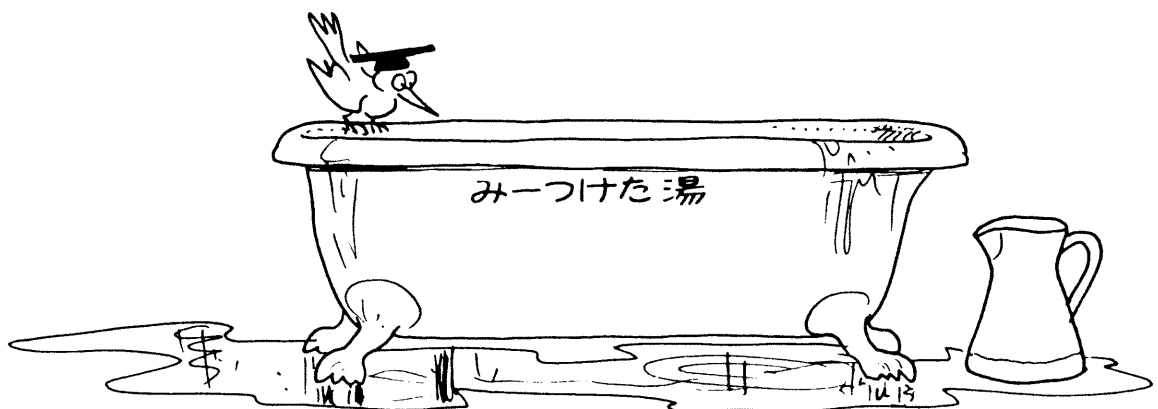
これもソフィーが教えてくれたんだけど紀元前1世紀にもこんな方法で原子を考えた人がいたんだって



まったくあきれろ位物知りだよ彼女は!



(*) ガラスは非常に粘性の高い流体



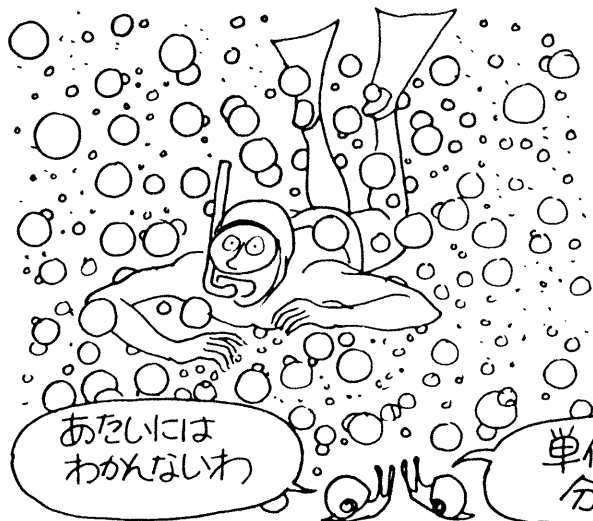


アンセルム、よく理解しなくちゃいけないことはね、
分子ってものはとっても小さい球みたいなもので、
それがたがいに押しあいへしあいしているものの
あつまりが 流体っていうの

ひとつ
探検してくるよ

こうして吸い込んでいる空気中では 一立方
センチメートルあたり200億もの小さい球みたいなもの
があることになるの あまりに小さいのでどんなに
強力な顕微鏡でも観察できないわ。

密度とは



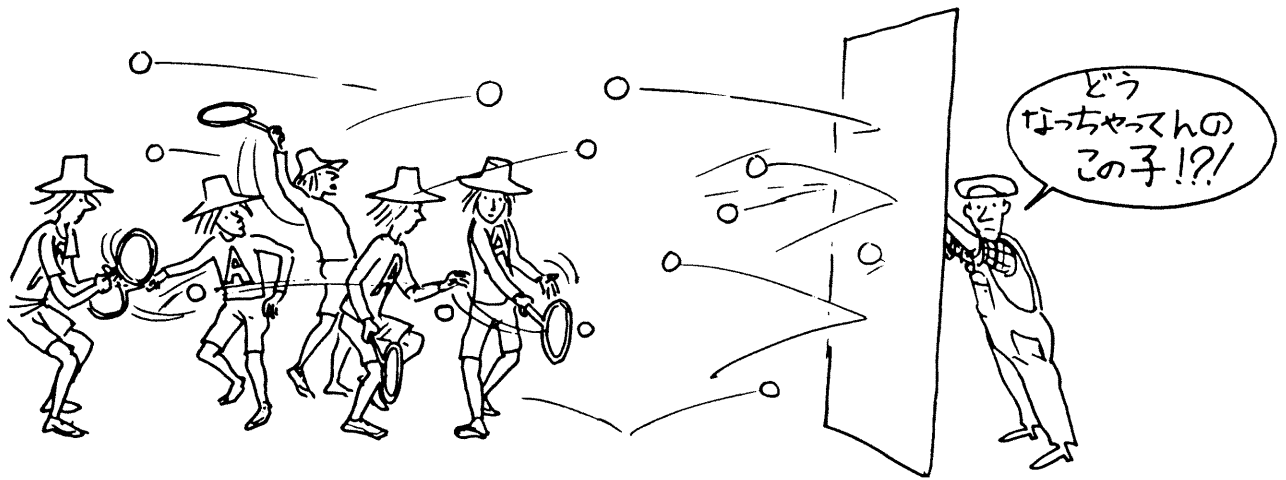
密度の概念は直感的
にしか把握しようがないので
省略しようと思ったが
そうも行かないようだ

あたいは
わかんないわ

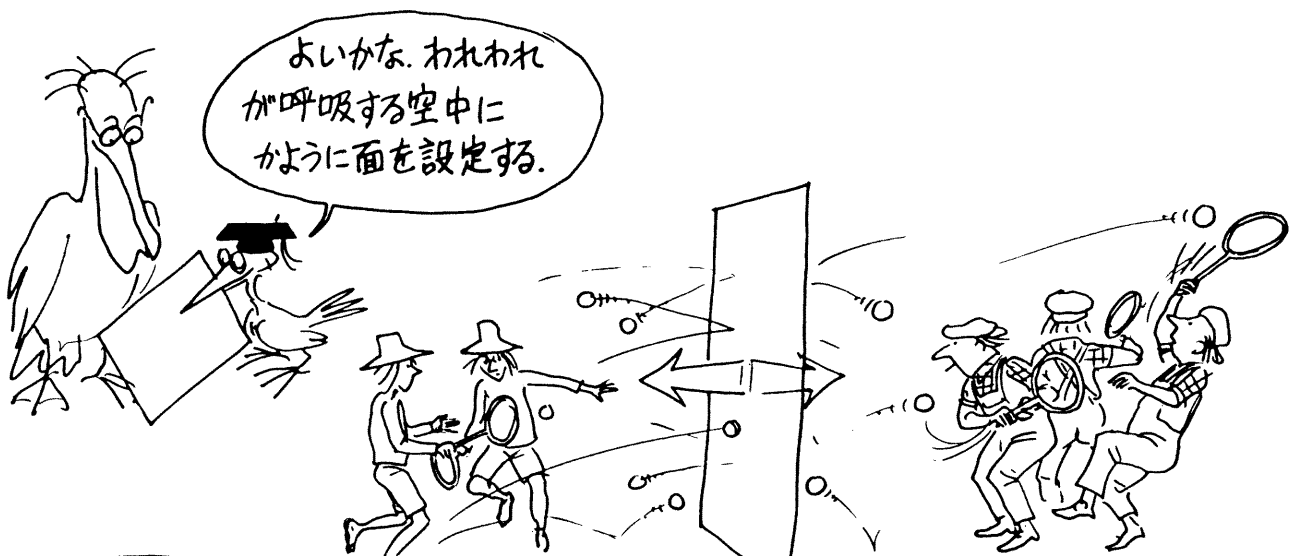
単位容積あたりに含まれる
分子の数のことだよ

圧力

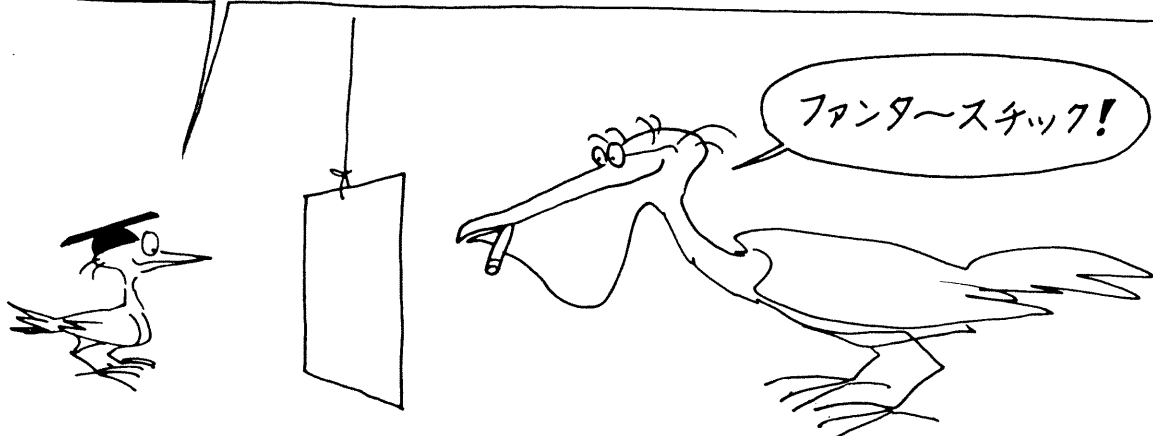




無数の分子が面に衝突して圧力という現象を生み出す

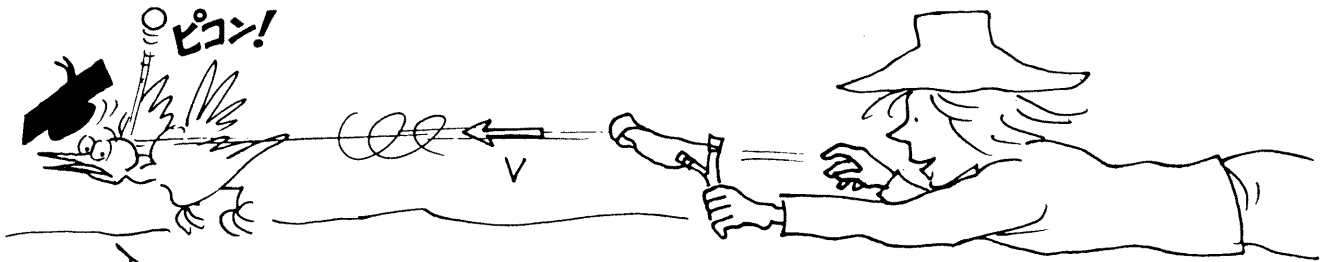
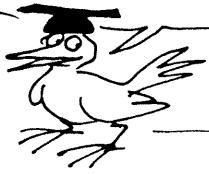


面の両側で分子の衝突によって起こる圧力のバランスがとれているため 動かないのだ



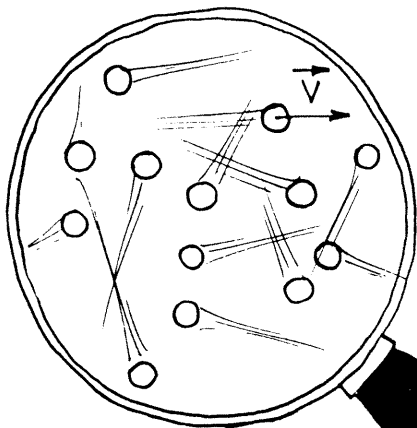
運動エネルギー

質量 m の物体に
速度 V をかけると



定義上 その運動エネルギーは
 $\frac{1}{2} m V^2$ である

熱エネルギー

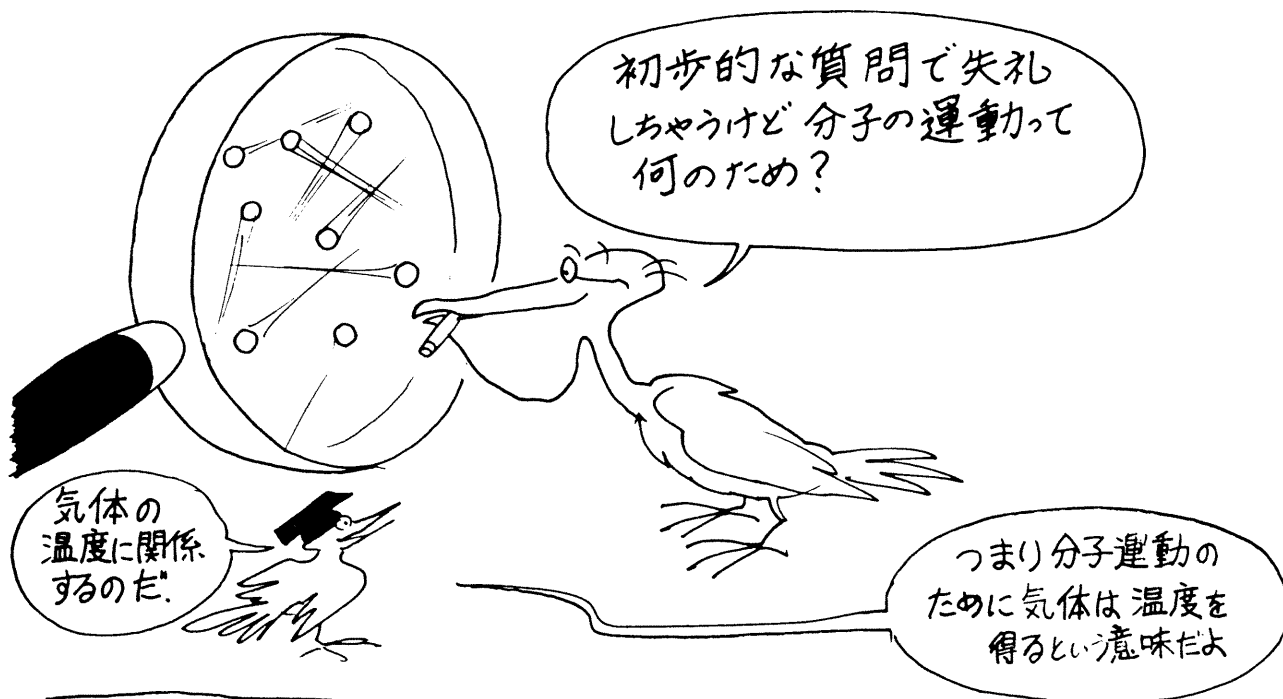


ここに気体の元素がある。質量 m の分子が、運動している。運動速度は熱運動速度ともよばれ V であらわす

この系の元素のもつ熱エネルギーは全分子の $\frac{1}{2} m V^2$ (運動エネルギー) を単に加えたものに等しいのである

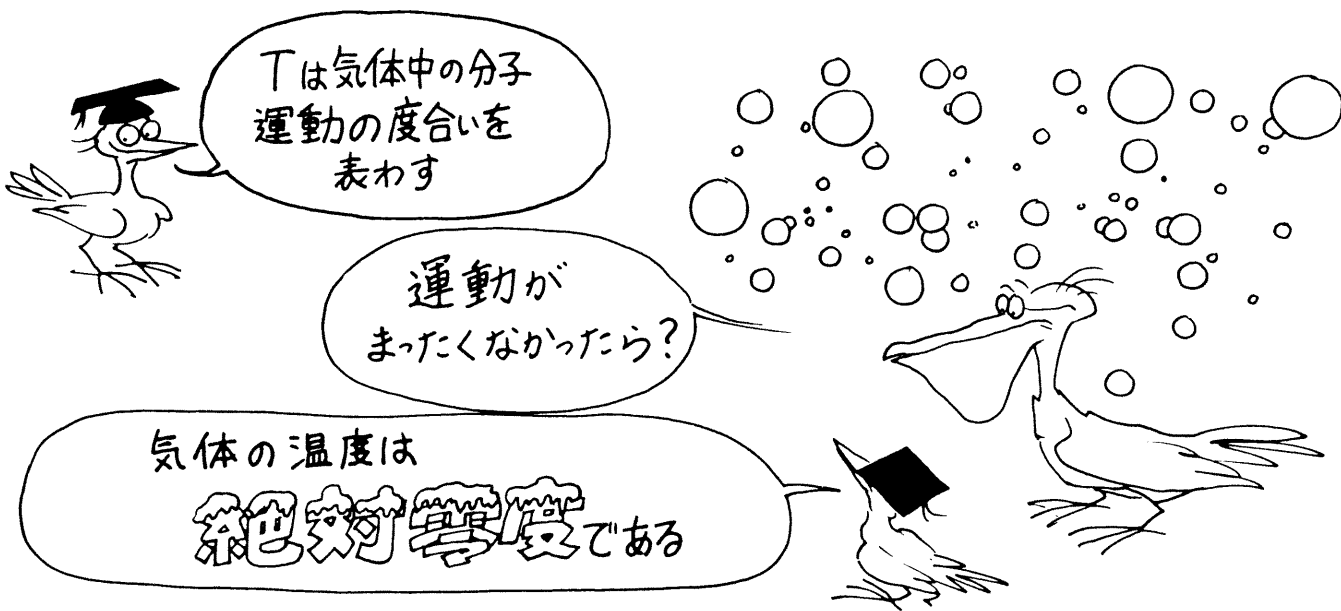


温度とは



気体の絶対温度とはその気体の一分子の $\frac{1}{2}mv^2$
(運動エネルギー)を表わす単位である

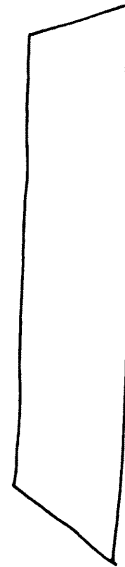
編集部



それ以下には下がらない
温度のことだろ。動かない
時が一番運動量が少ない
んだもんね。

分子運動がないということは壁面
に分子が衝突しないことであり、
圧力がないということ！

わかんちゃっ
たじゃない！



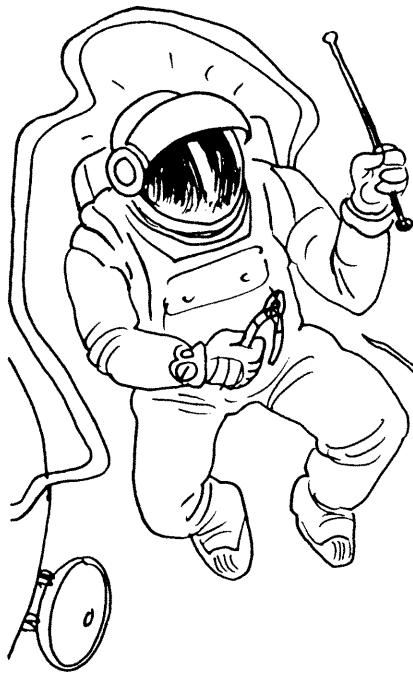
まとめましょね、分子の数が
多いとそれだけ運動量がうえ、温度が高く、
そして気体の圧力が増すんですよ。



熱とは



流体中に物体があると無数の分子衝突シ
ョックを受ける。すると分子は熱を伝える、つ
まりエネルギー交換を行なう
このエネルギー交換は流体の密度が増せばそれだ
け大きくなる。だから水は空気より熱伝導性がよい
のだ



宇宙飛行士が宇宙を歩く時、非常に稀薄な空気中（1立方センチあたり分子が10個）を移動するのだ。分子の運動量は2500°Cに相当するが、宇宙飛行士が黒こげになることはない。なぜなら密度があまりにも低いので熱を効果的に伝えられないからである

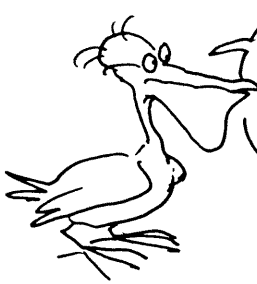
ブルブル・2500度でこえちゃう

温度は高いが熱の流れがあまりにも小さいのだ


エネルギー




合成速度 v は合成運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ に相当する。ここで m はビンの中に含まれる気体の総質量をあらわす。




では運動エネルギーにもふた種類あるってえの？




そうとも そうでもないとも言える。ビンの中の分子体系は総合エネルギーをもちそれは運動熱エネルギーと分子運動エネルギーをあわせたものなのだ



流体力学って ひどくこみ入ったものなんだね！



飛びたいなら飛び方の原理を勉強しなくちゃ



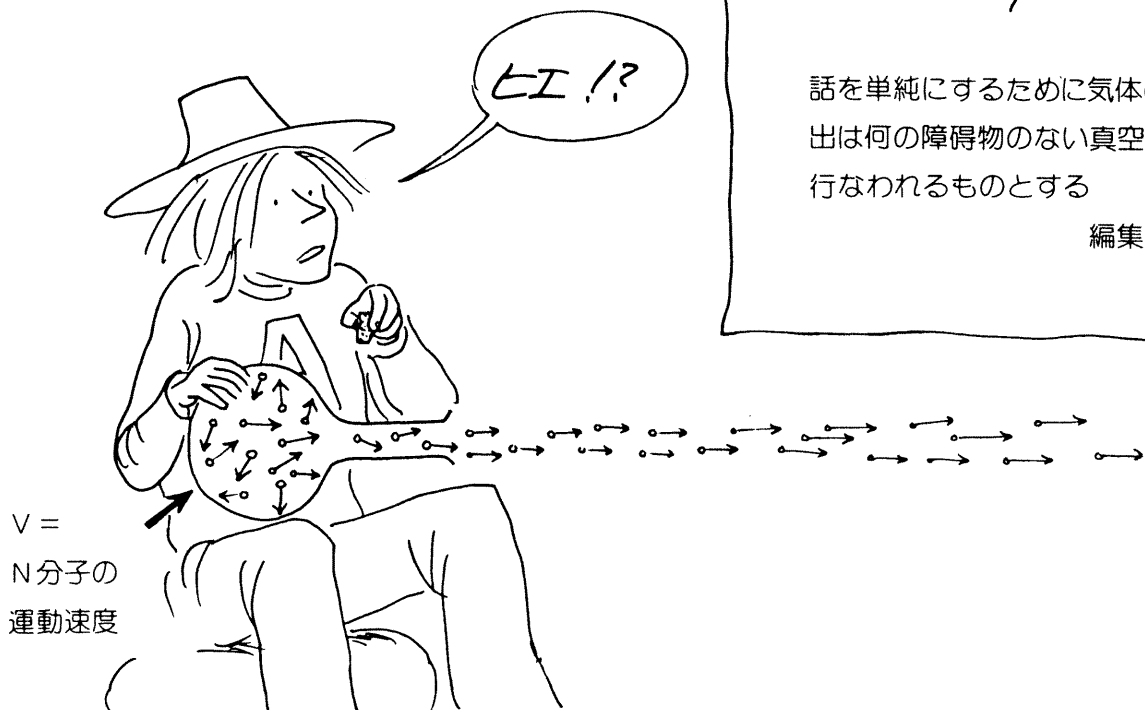
えーと こう書いてある「分子の体系では熱エネルギーを分子運動のエネルギーに変換できる」んだとさ

つまり熱を動きにすることだな



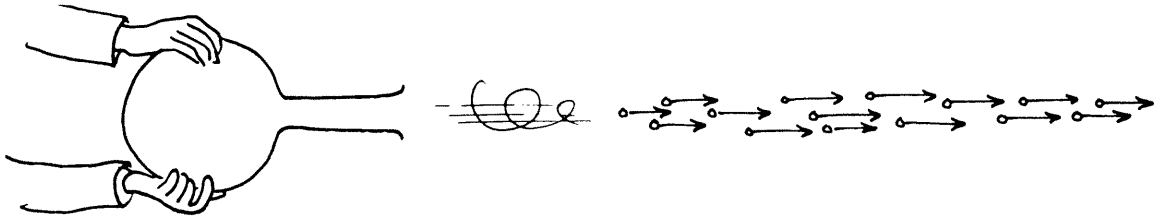


エネルギーの 保存ということ



$V =$
N分子の
運動速度

もしこの熱→運動の変化が完全に行なわれると、すべての分子は同一の(合成)速度をもち、体系の



エネルギーはその合成エネルギー $N \times \frac{1}{2} m v^2$ に等しくなる。

エネルギー保存の法則によれば体系の総エネルギー、つまり合成エネルギーと運動エネルギーの和は変化の過程を通じて一定である

編集部

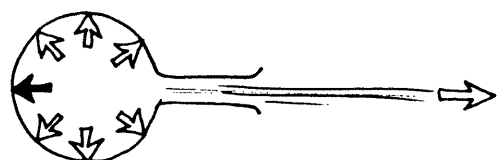
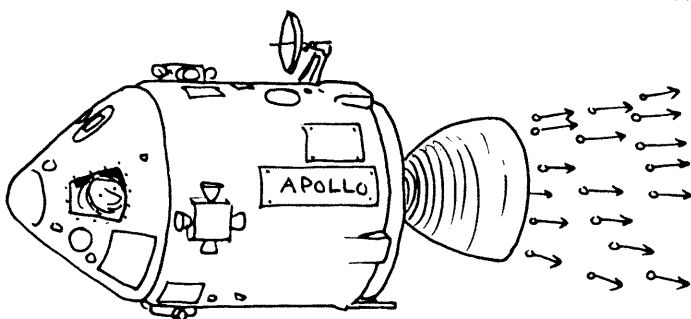
そうすると完全に膨脹放出するような特殊なケースを考えるとエネルギー保存の法則により $N \times \frac{1}{2} m V^2 = N \times \frac{1}{2} m v^2$ で $v = V$ となるんでしょう？

まさに！

熱エネルギー→運動エネルギー変換の例

反作用による推進

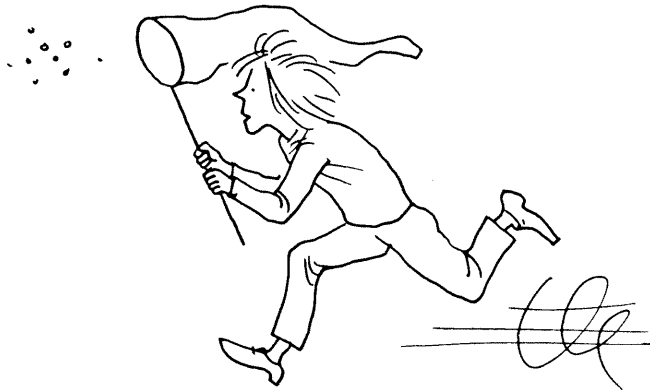
ロケットエンジンの噴流管は熱→運動の変換が一番よく行なわれるような幾何学的な形をしている。膨脹放出の過程で側に圧力がかかり



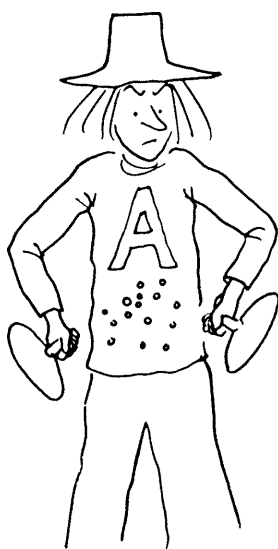
推進するのである



密度が一定の ときの流れ



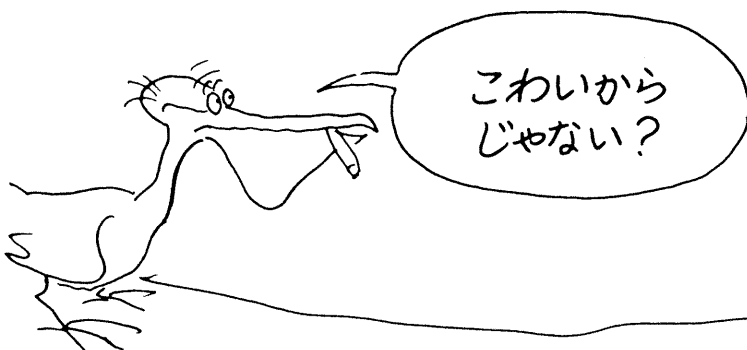
「空気のように自由」というのは単なるコトバのアヤではない。気体の分子はおしめられるのが嫌いで、たがいにはできるだけ距離を取ろうとする



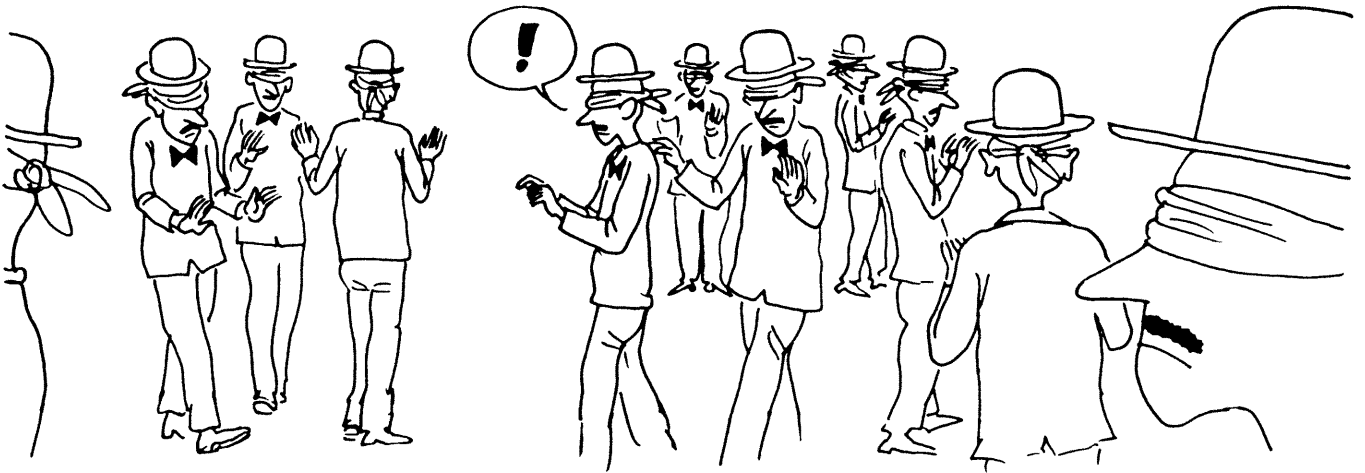
こうやって
空気の密度を高く
しようとするんだが

残念でした！そんな
ノリじゃやって来るのが
見えちゃうよ！

なぜラケットが接近すると分子が逃げるのか？



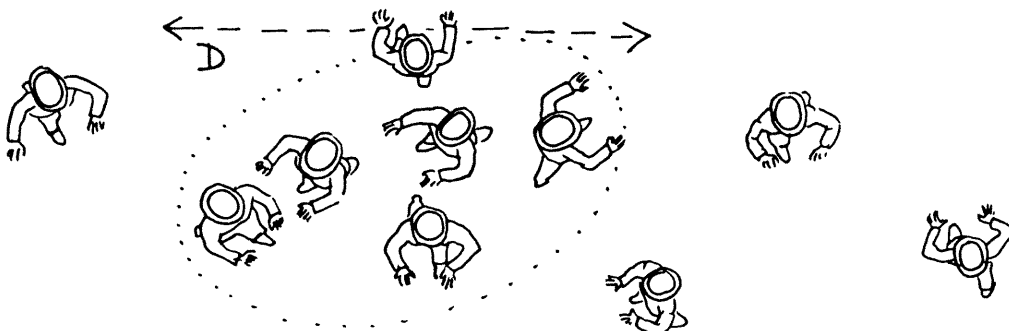
広場のような所にメカクシをされた人々がさまよっていると仮定しよう。それぞれが分子の役をしていて、あちこち、でたらめに移動するときのスピードを熱運動速度 V とする



人々はあて先があつて歩くわけではない。平均 t 秒ごとに道のり l を動いて衝突するとき、 l を平均自由行路、 t を平均自由行路時間という。

われわれが呼吸している空気では、熱運動速度 V は 340m/秒 ぐらいである。平均自由行路は 1センチメートル の 10 万分の 1 で、分子同士の衝突は 1秒 の 100 億分の 1 に一度の割で起こる

目かくしをされたからといって分子同士が近寄り集まらないということはない。たえず動いているので直径を D とする場所に入り D/V 時間後にはまた散るということをくり返す



所要時間は分子が距離 D を駆けるのに必要な、つまり集まったところをはなれるのに必要な時間のことである



この人々は口がきけずしかも自分の手の先より向うは見えないことになっている。もしここに運動速度 V よりも遅い速度 v でこの集団の中に何ものかが侵入したら、人々は順々にぶつかり合いながら情報を伝える。だから物が人々に衝突する前に道をあけられるのだ。情報の伝達速度は彼等の運動速度に一致する。

音とは

音は密度が一定の媒体中を衝撃圧の形で伝わって行く、伝播速度が V の波形の一種である

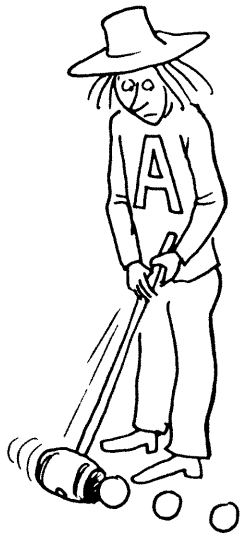


よく認識しなくちいけけないのは音というものは衝撃が伝わるのであって物質が移動して伝わるのではないということだ

音とは圧力波なのだ



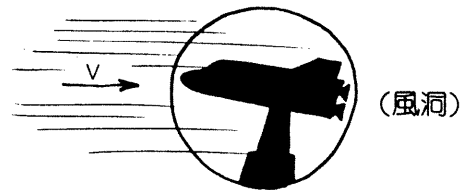
アンセルムのラケットの動きの情報は音の速さで分子から分子へと伝えられている。だから密度を一定に保ちながらゆうゆうと逃げられるのだ



アンセルムはボールを一列に並べる。そして一番先頭の球に衝撃を与えるとそれは次々に伝えられて行く。これが音の伝播を直線的に表わした図になる



速度の概念は相対的なものであるから、われわれにとって静止状態の流体内に飛び込む物体の速度も停止した物体に当たる気体の合成速度も同じものであると感じられる



定義上、比 $M = \frac{v}{V}$ はマッハ数と呼ばれる。

ここで V は音の速度をあらわす

もし $v < V$ つまり $M < 1$ なら亜音速であり流れは密度が一定の状態でおこなわれ非圧縮性をおびる

編集部

ベルヌーイの法則

へんなにおいがあるなあ

モグラ臭くて
あたり前じゃないのアンタ

さてよ
ダニエル・ベルヌーイ、スイスの
物理学者 1700-1782年……

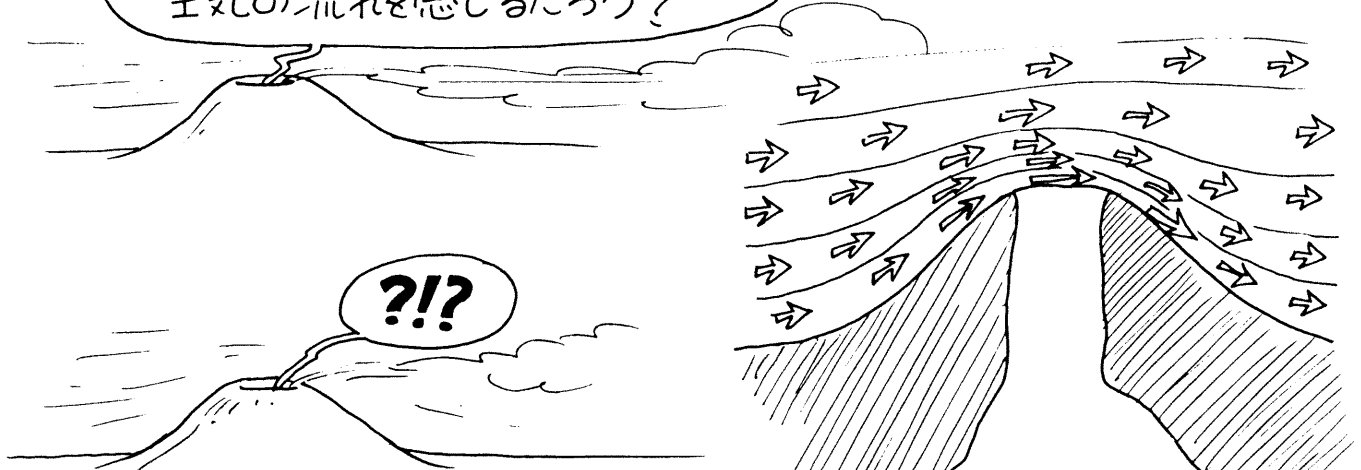
?

これで
上出来だ

あんなところで
何してんだろ
トオチヤン



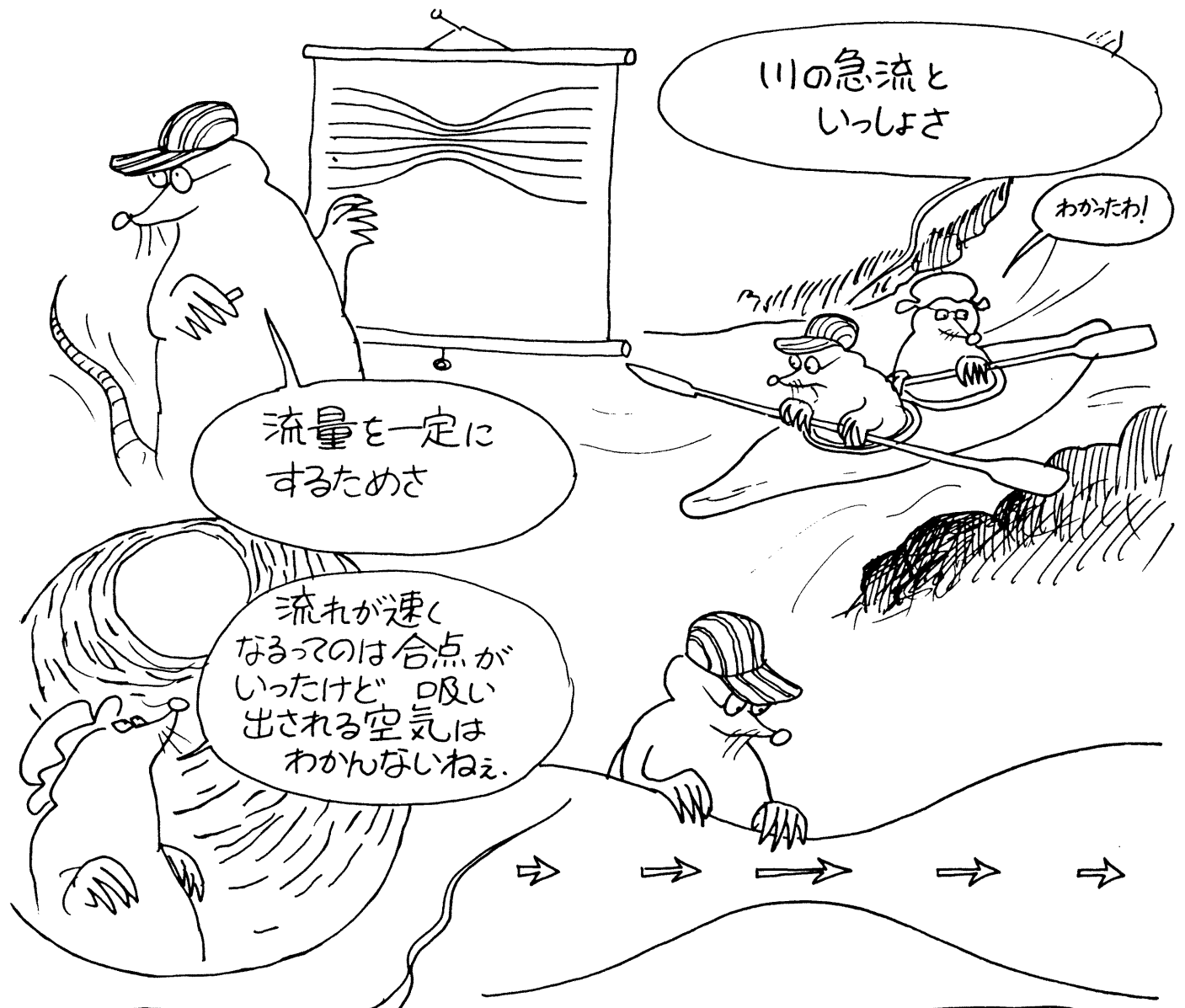
風が吹いとるわい. 申し分ない.
空気の流れを感じるだろう?



でも何だつて
穴の中の空気が吸い
出されるんたい?

盛土すると風の通路
を邪魔する. すると風は
乗り越えるのに加速するつ
わけよ

何でまた
加速するんです?

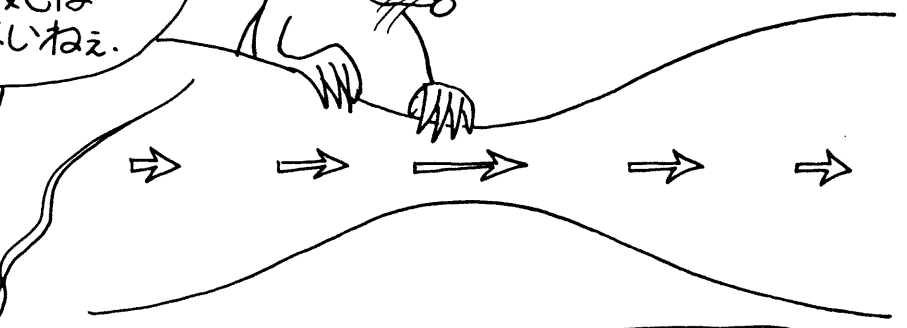


川の急流と
いっしさ

わかたわ!

流量を一定に
するためさ

流れが速く
なるのは合点が
いったけど、吸い
出される空気は
わかんないねえ。



流体の元素(分子のひとかたまり)を例に取ろう。それがせばまた路を通る時エネルギーは一定でなければならぬ。すると加速は熱エネルギーつまり分子の運動を犠牲にして得られるのだよ。



もし運動速度
が下がれば
圧力も下がる



圧力は温度と密度に
比例して変化するから
ここでは圧力が下がるのだ

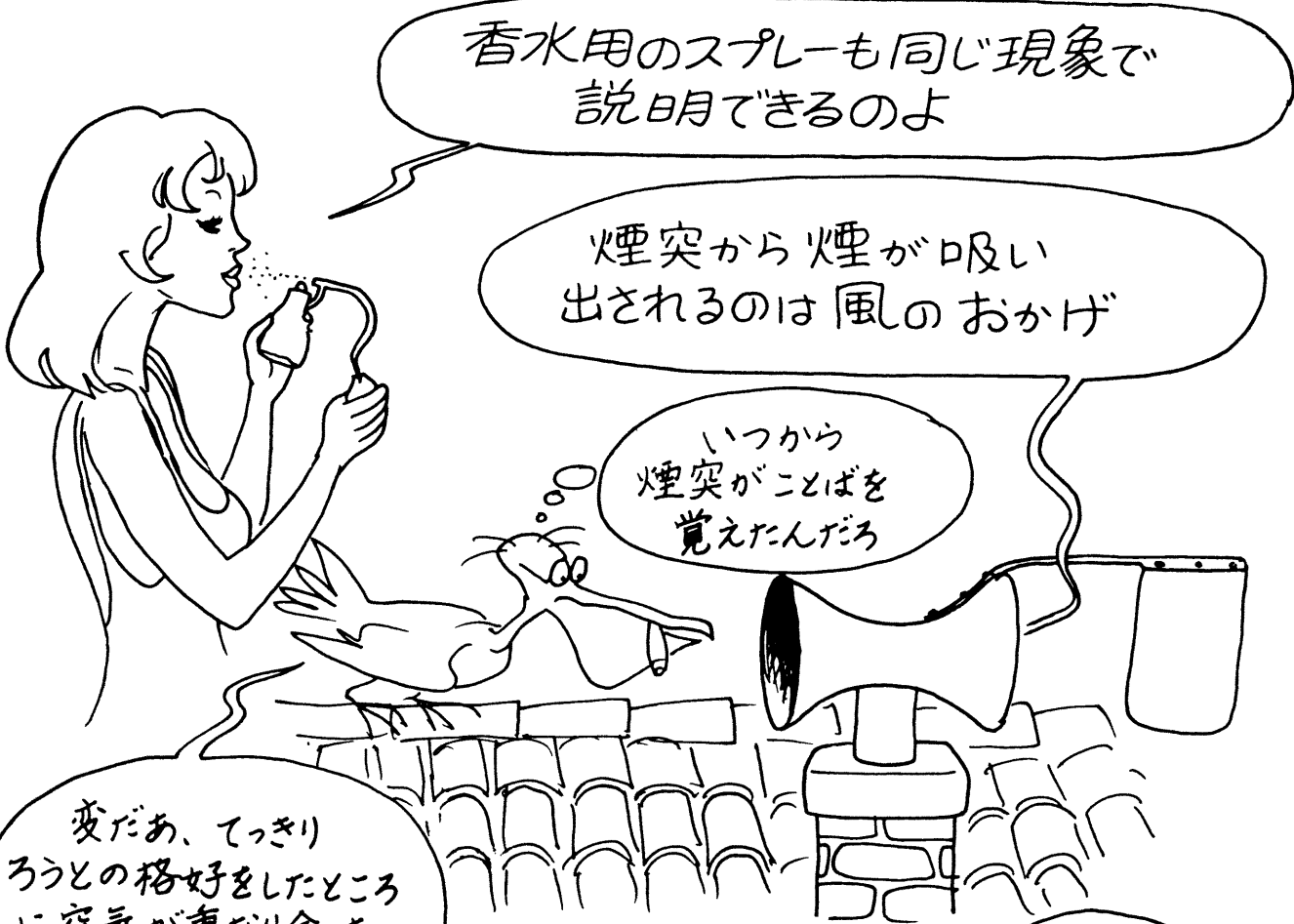
そんなわけで
ほら穴の空気は吸いあげられるのだ



変だねあ 車が停車しているとホロが内側にたるとで
いたのに 走り出すと外側に張り出しちゃった.



つまり空気は車をさけて
通ろうとすると温度は
下がる. すると圧かも下がる
だからホロが吸い上げられる.
わかったヨ.




香水用のスプレーも同じ現象で説明できるのよ

煙突から煙が吸い出されるのは風のおかげ

いつから煙突がこぼれを覚えたんだろ

変だあ、てっきりろうとの格好をしたところに空気が重なり合っちまうと思ったのに

ベルヌーイの法則
によれば
圧力と速度は反比例する
編集部

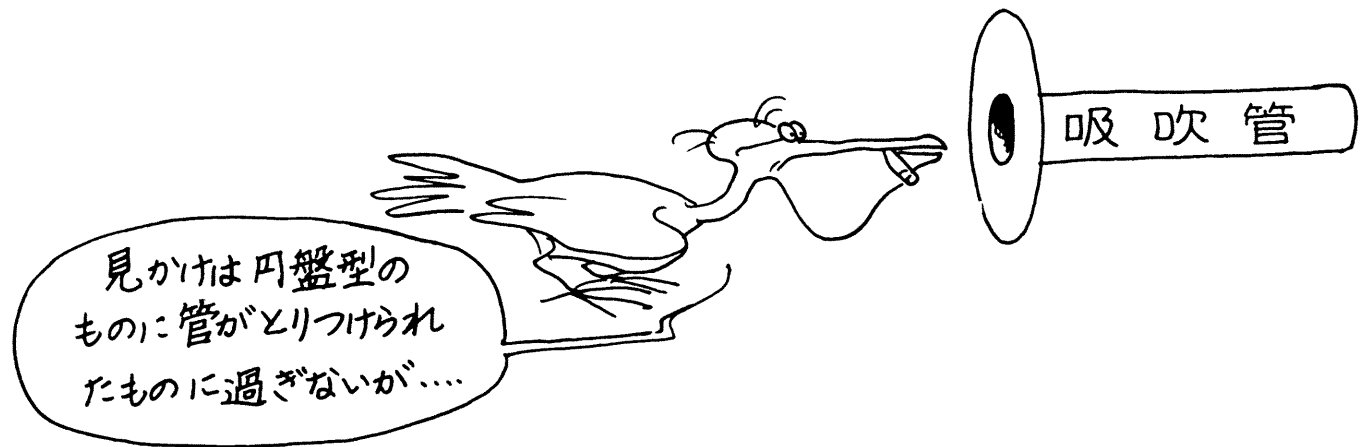
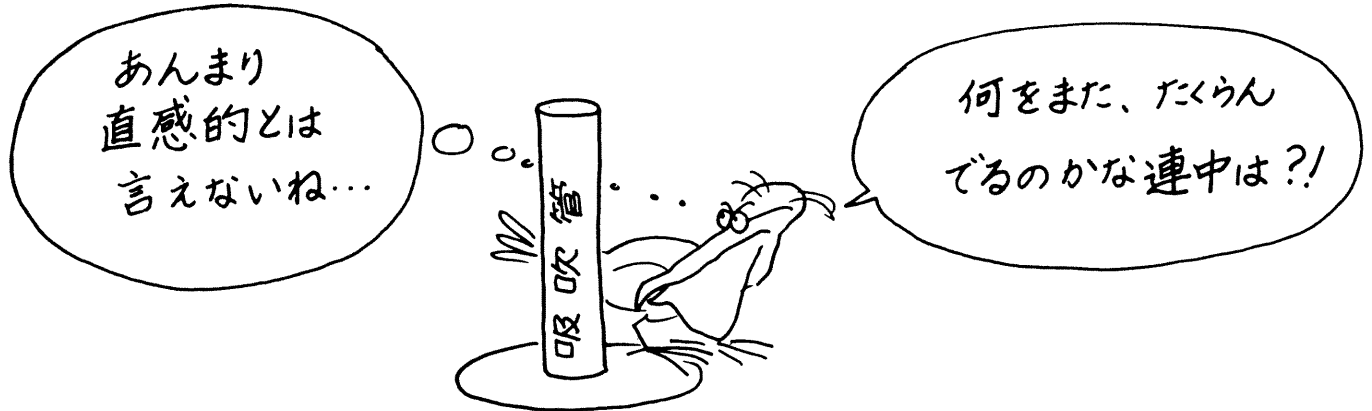


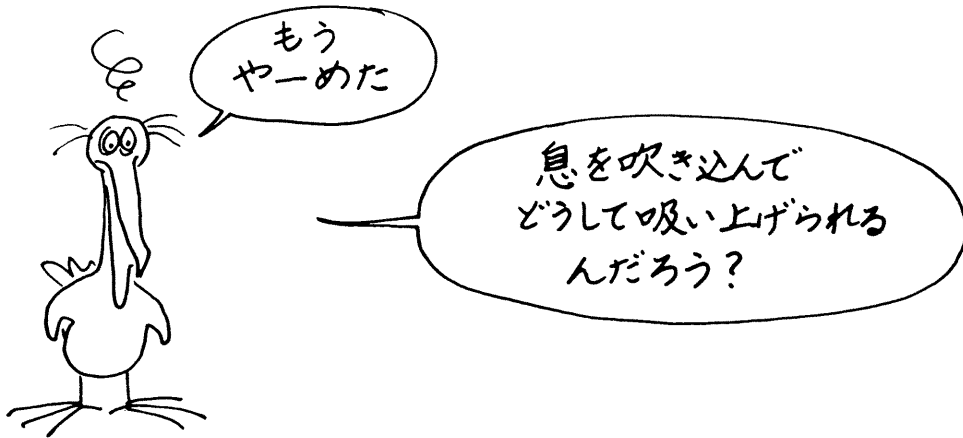
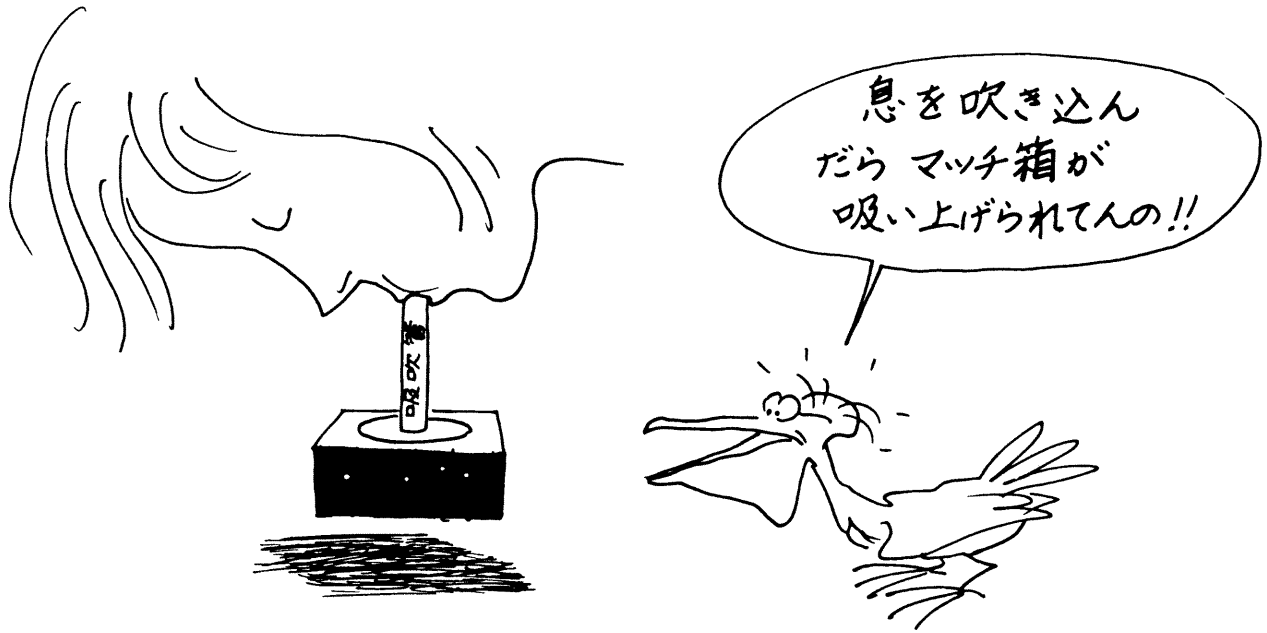
実を言うと流体力学では直感や良識通りに事がはこぶとはかぎらないのよ。

ベルヌーイの法則に関連した

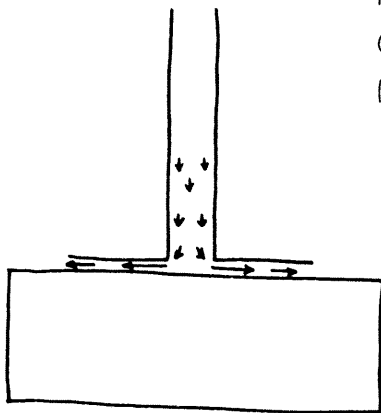
パラドックス

をあげてみよう

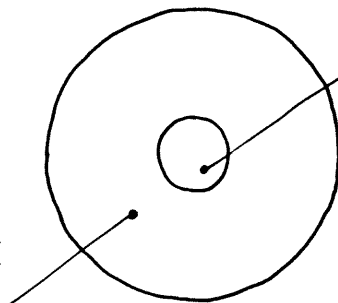




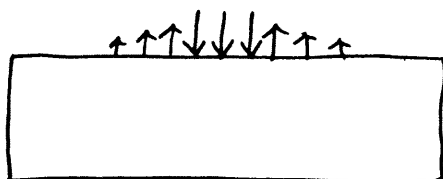
円筒と円盤の境で空気の通路がせばまって空気の流りは急に速くなる。するとその点での圧力はまわりの圧力より低くなる



円盤のところの圧力はまわりの圧力に比べて低圧となる

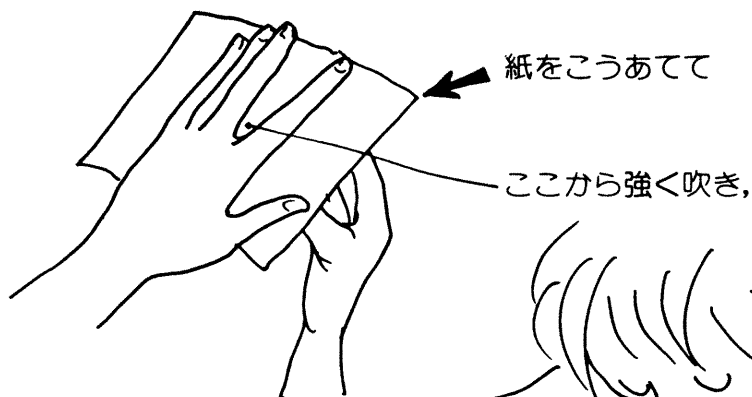


管の下にあるマッチ箱の面はまわりの(大気の)圧力より高圧を受けることになる

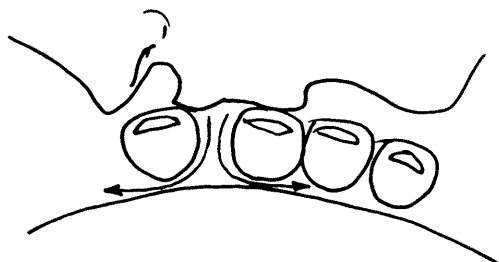


結果として吸い上げられた
ようになるの

似たようなことをたった一枚の紙で
諸君も実験できる



息を吹くと同時に紙を持っ
た手をはなす。紙はほんの
少しの間、手に吸いつかれ
たようになる

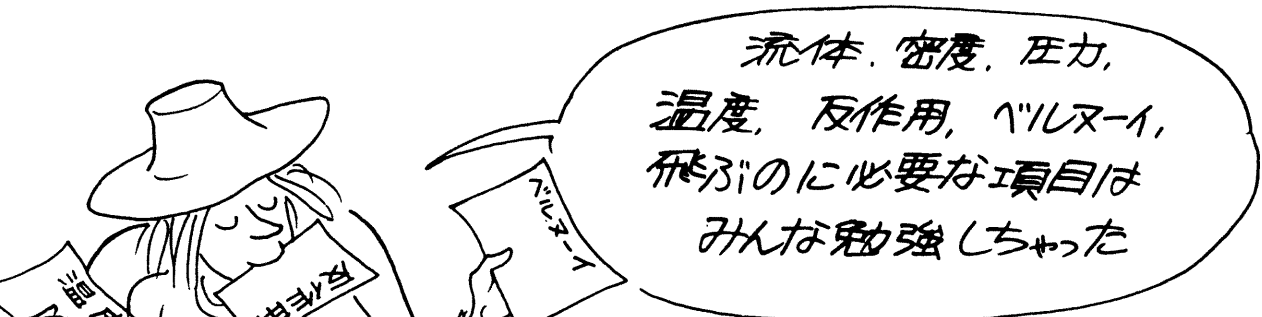


注意：
非常に強く息をふき込むこと
編集部

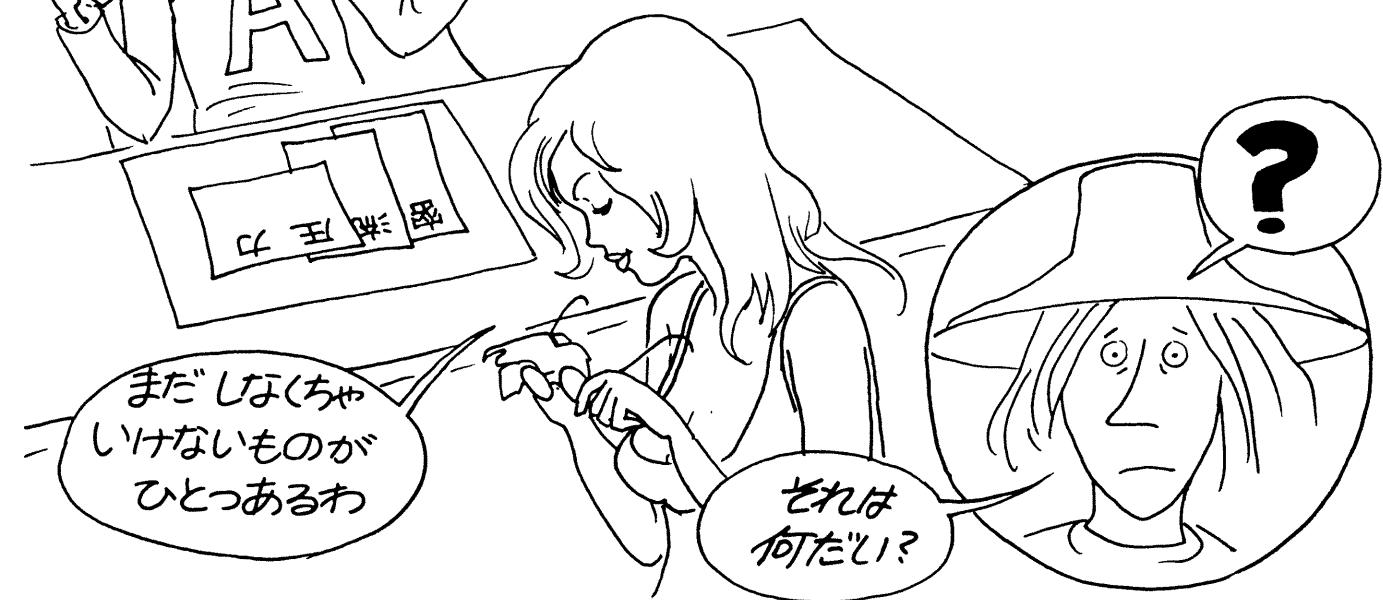


ひとっ飛び
しないか?

とんでもない物ばかり
見せられてくらくなるから
歩いて帰るよ!



流体、密度、圧力、
温度、反作用、ベルヌーイ、
飛ぶのに必要な項目は
みんな勉強しちゃった

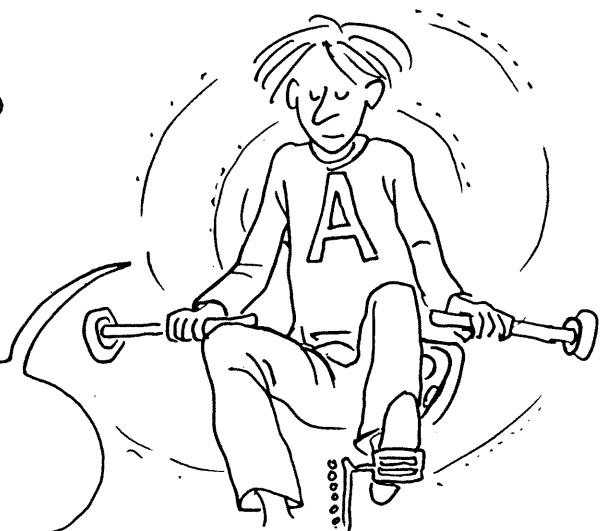
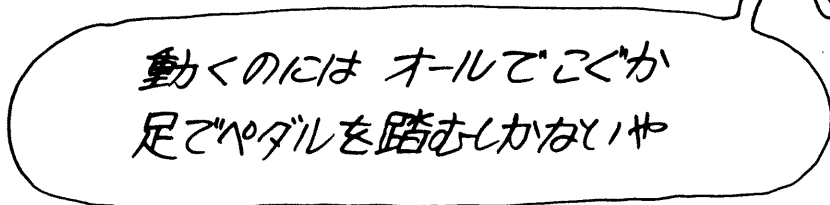
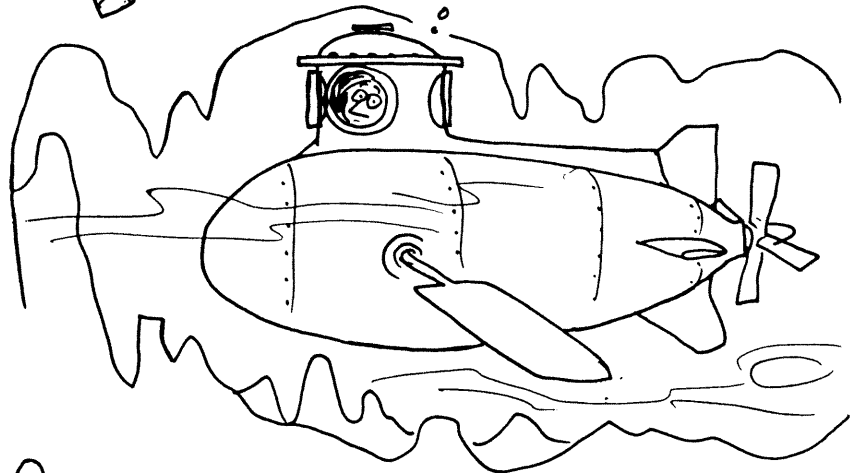
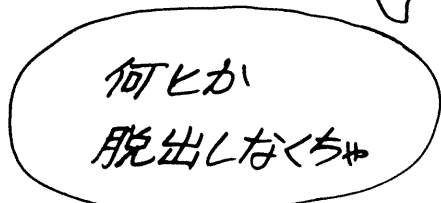
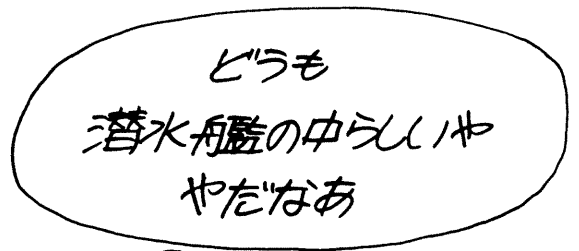
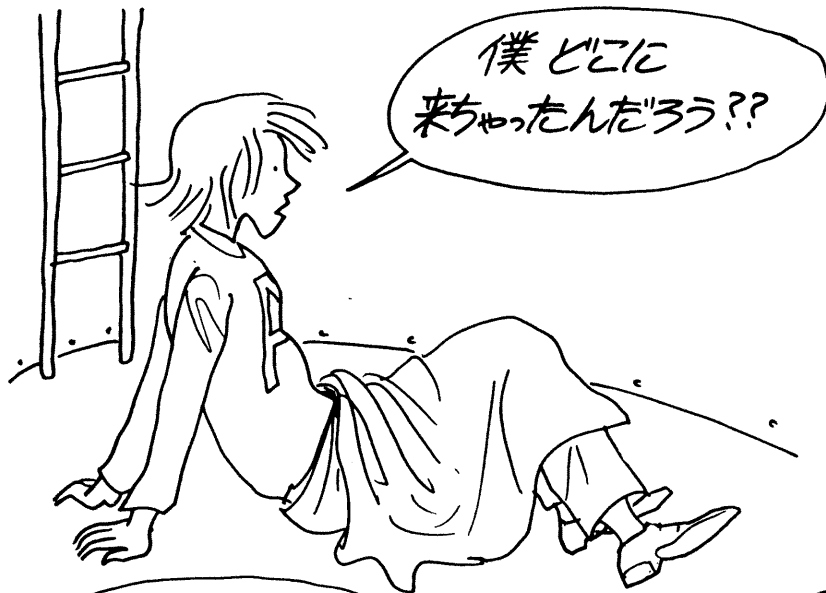


まだしなくちゃ
いけないものが
ひとつあるわ

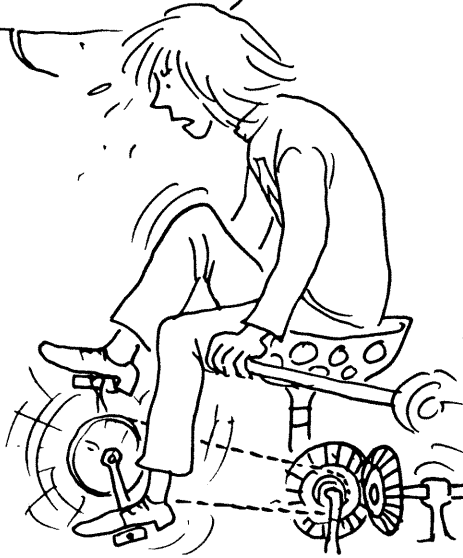
それは
何だい?

?

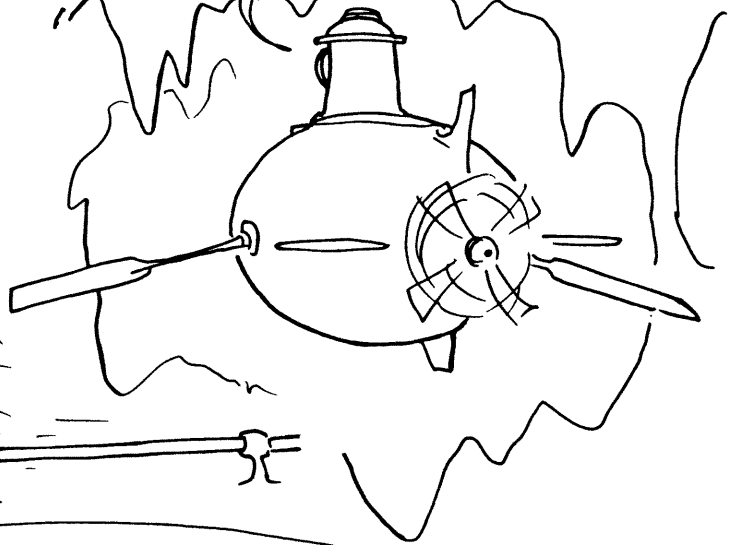
ランチュルリユ君の夢



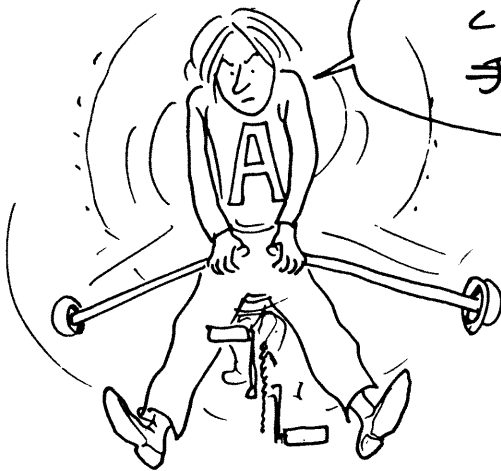
1時間も踏み
続けてんののに……



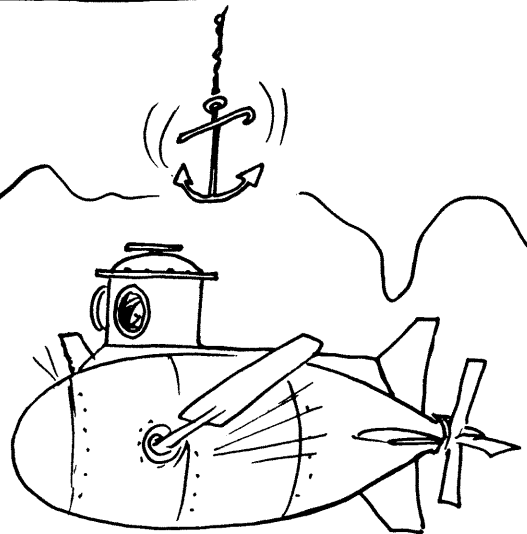
1ミリメートルも
動かないじゃないか!

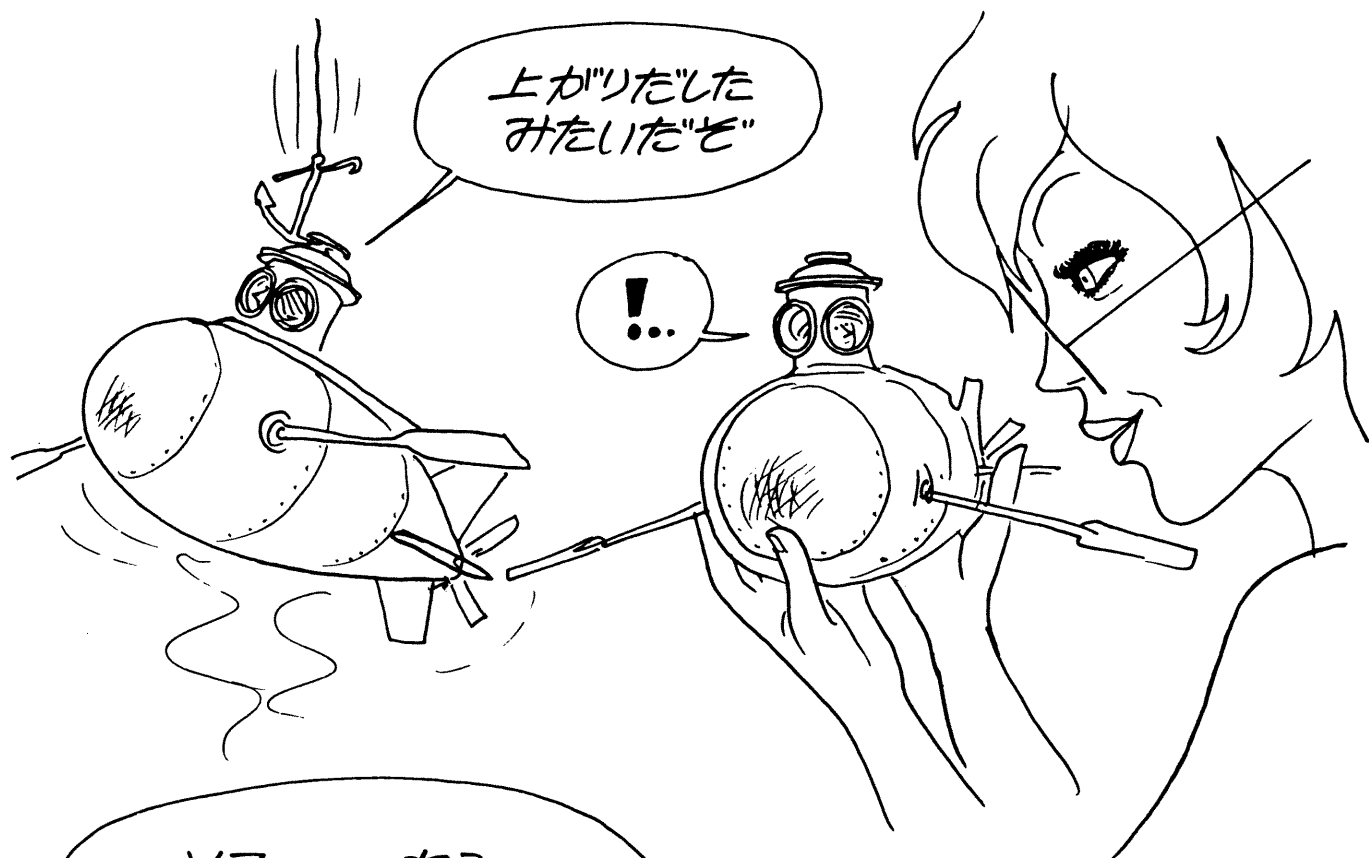


オールはどうか
これもまったくなしのついで
手ごたえないうたらありゃしない!!



真空中にいるのかな?
はか言っちゃいけない
なら潜水艦が浮く
わけないじゃないか!!



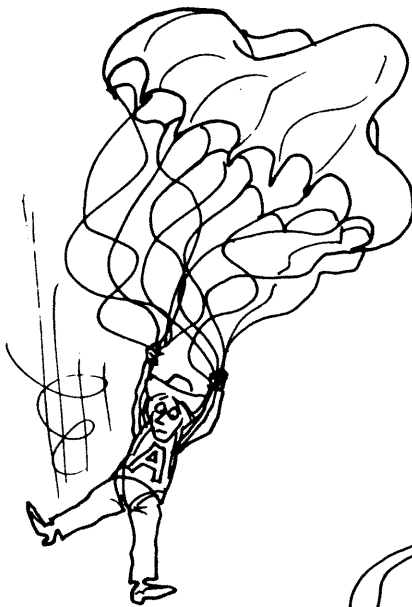




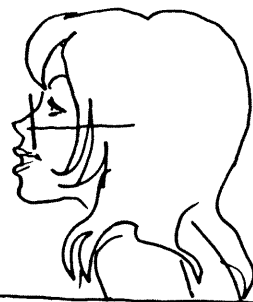
君はヘリウムという超流体の中にとじこめられていたの、砂の話を思いだしてみるといいわ、砂粒同士の摩擦が大きくてうまく流れなかったでしょう、ところがヘリウムはその逆なの ある非常に低い温度以下になるとヘリウムは流動性が無限で摩擦がゼロになってしまうの



オールで漕いだり、飛んだり、プロペラで推進したりすることと摩擦は関係があるの？



そう言うのももっともだけどね、もし雨がサで空からおりようとすると空気を押しつけなくちゃいけない



ところが空気が超流体だったらパラシュートをもってきてもだめ、第一開きもしないから地上まで直通ってとこね。



最初に空に舞い上がろうとした動物はなんとかして空気という媒体を捉えなくては行けないということを知った

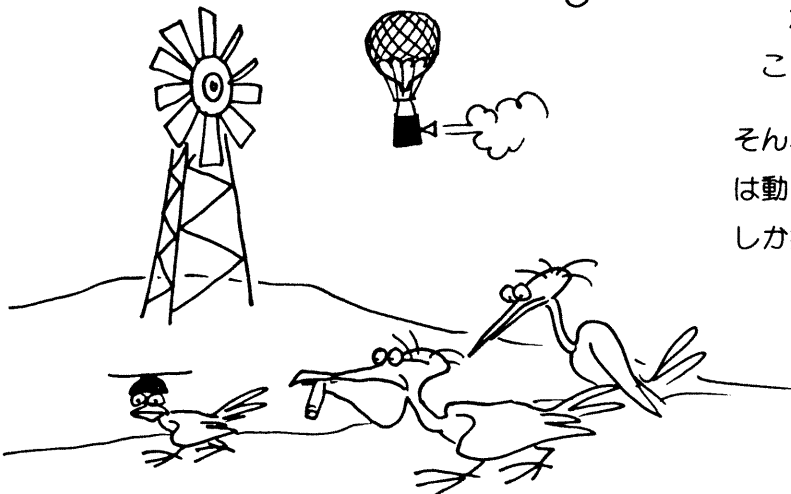
空気より重いものが飛ぶということをたとえて言うと地すべりするところに支えをとろうとする根のようなものだ



ぜがひでも支えを求めなくては行けないのだが

もしそれが超流体であれば分子同士がすべりあい、物体とも摩擦がおこらない

そんなことになると鳥は足歩で行き、風車は動かず、航空機は反作用による推進手段しか持たないことになる

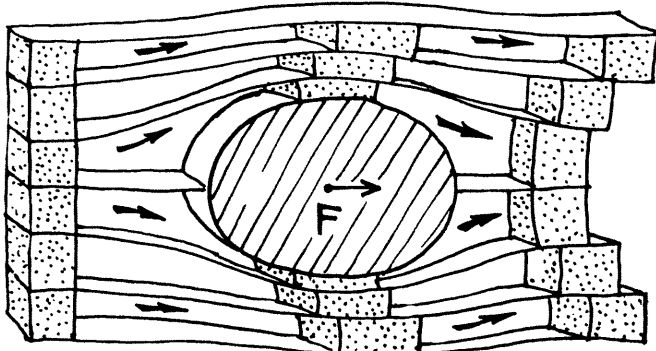
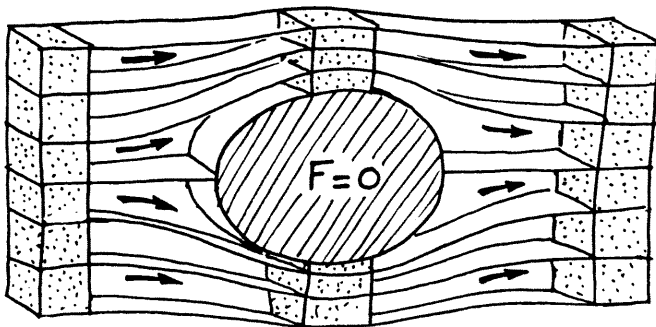


だから飛行は気体の摩擦と結びつきがあるのだ

流体と摩擦



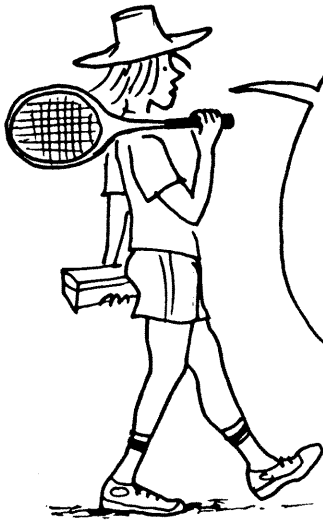
図に示した皿と同じで気体の層もたがいに摩擦をともなってすべるのだ



仮りにある静止した物体があり、そのまわりに分子が箱型で表わしたようになっているとしよう

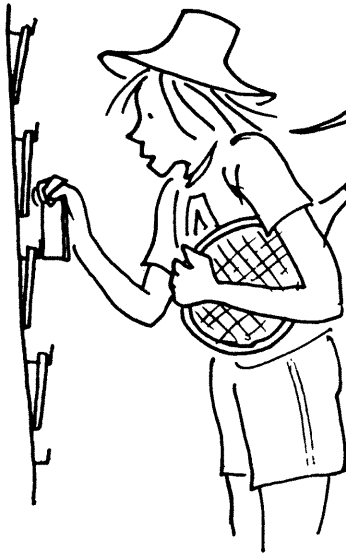
- もし摩擦がなければ分子は物体のまわりを通り過ぎたあとでも重箱よろしく重なりあう

- しかし摩擦があると物体の近くでは分子にブレーキがかかり分子はうまく重なりあわなくなる。物体は気体を止めようとし気体は物体に力Fを与えるため、これを摩擦による抵抗と呼ぶ



話がこみ入ってつかれたから
テニスで気分転換でもしよう。こいつあか学と
弾道学の初歩にあきないから 球をぶったとき
うまく計算おリゃ ちゃんとコート内に
おさまることになっているんだ

テニスの球

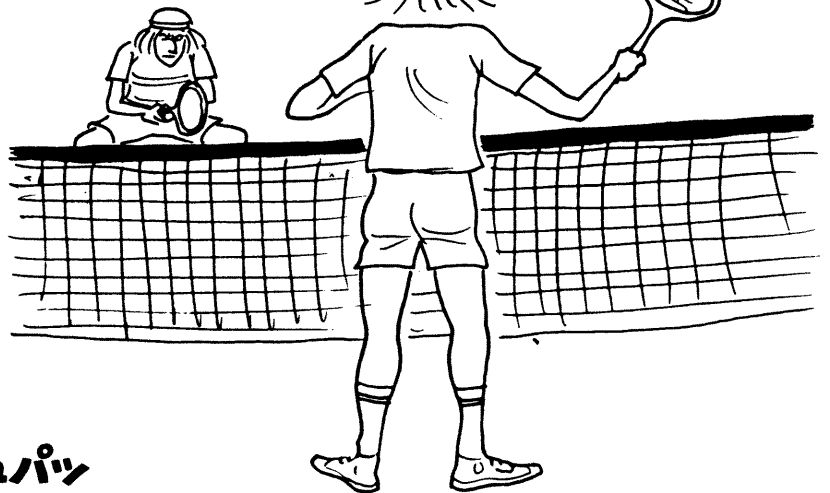


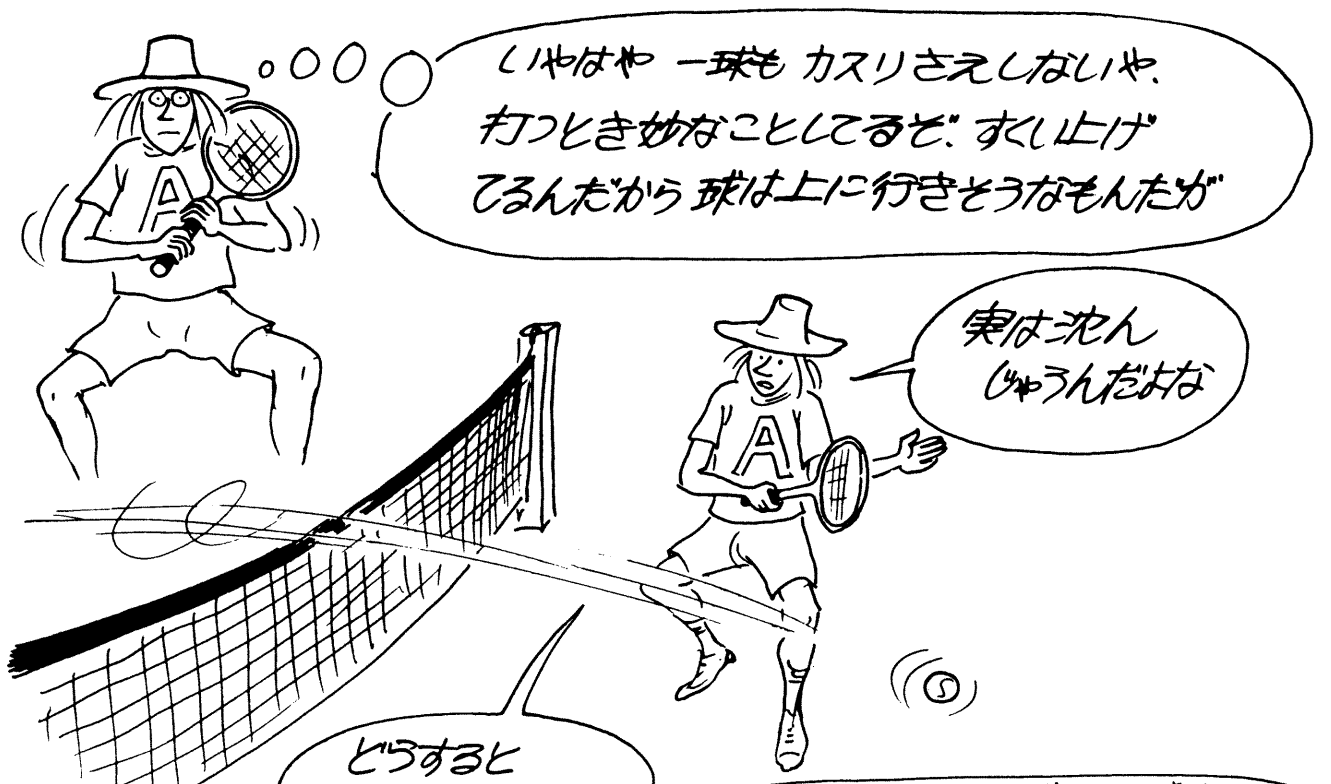
登録カードでもってど、
空いている相手は…ビョーンホルグか
どこの馬の骨だい

行くぜ



シュパッ



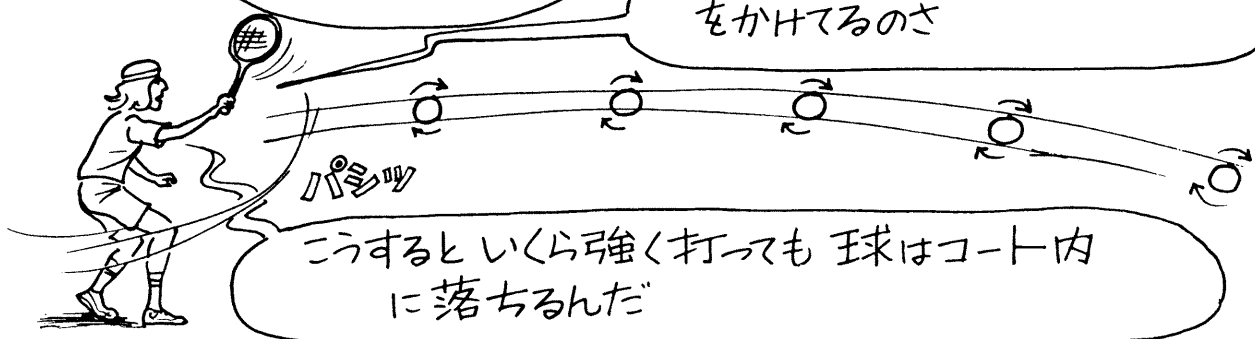


いやはや一球もカスリさえしないや。打つとき妙なことをしてると、ずい止げてるんだから球は上に行きそうなものだが

実は沈んじやうだよな

どうするとどうなるのです？

わけないさ 球に回転をかけてるのさ



こうするといくら強く打っても球はコート内に落ちるんだ



4aa...

ええおっしる通りで

6-0.6-0 だらてよ.

ビョーンとボールが飛んで来るんじやかなわん

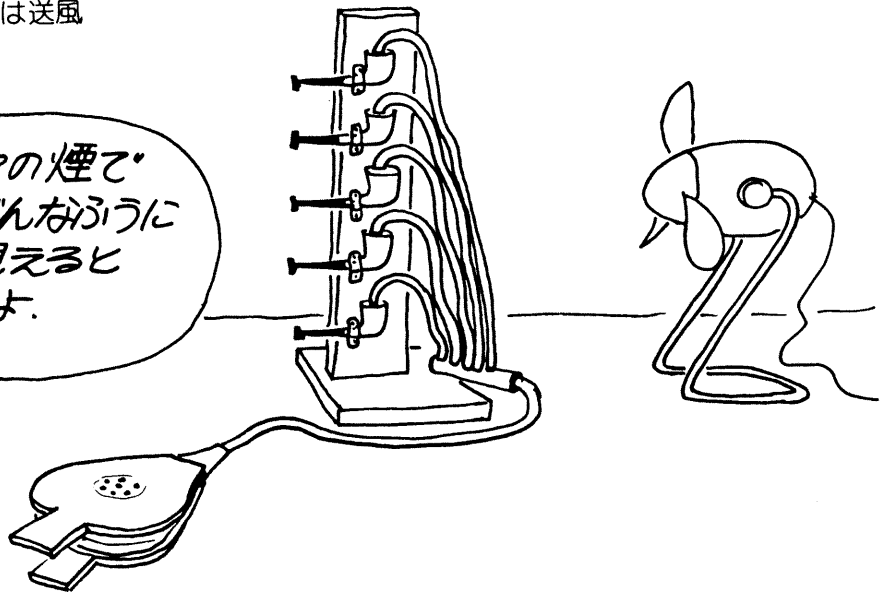


ボルトの球を見ると前ページの様に
左から右にまわっている。風を送ってボールを
左から右に回転させても同じことだ”

アンセルム君は送風
装置を作る



パイプの煙で
空気がどんなふうに
動くか見ると
思うよ。



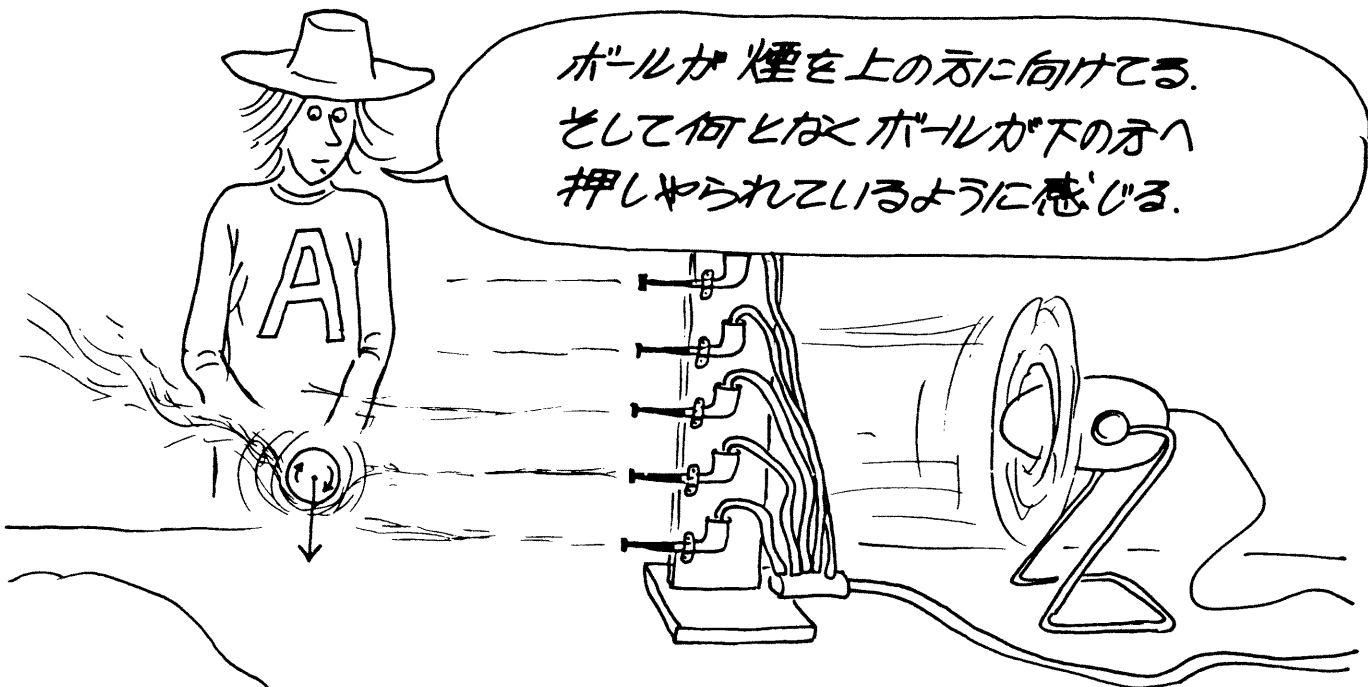
球の回転を
生じさせるには
こんなものを使えばいいんだ”



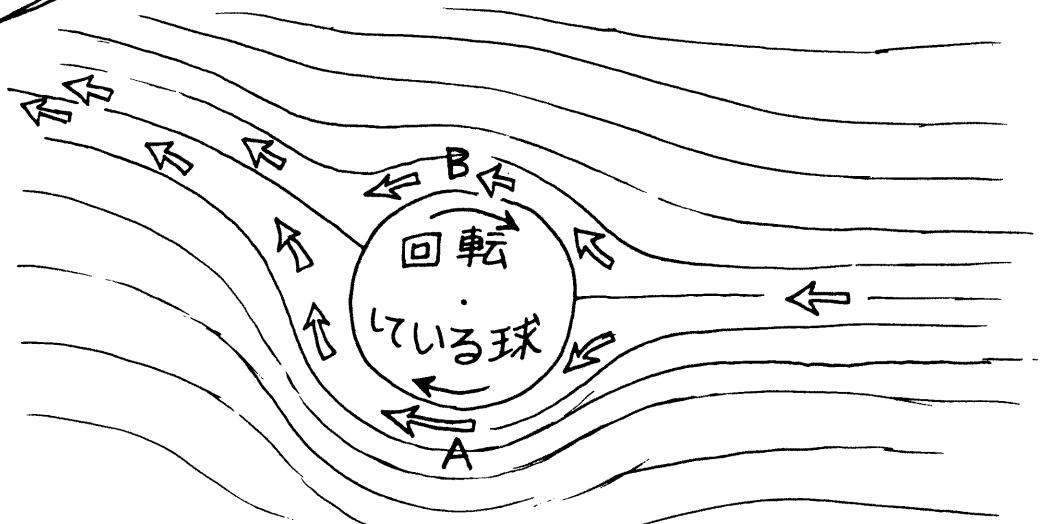
うまくなる
まわる!



ボールが煙を上の方に向けてる。
そして何となくボールが下の方へ
押しやられているように感じる。



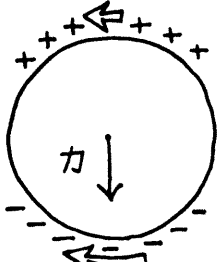
説明するわね、摩擦があるのでボールの
回転でもって空気を引きつけると上がわの
速度Aと下がわのBとにわかれる



ベルヌーイの法則を
あてはめるとよいのだ



速度小さいー圧力大きい

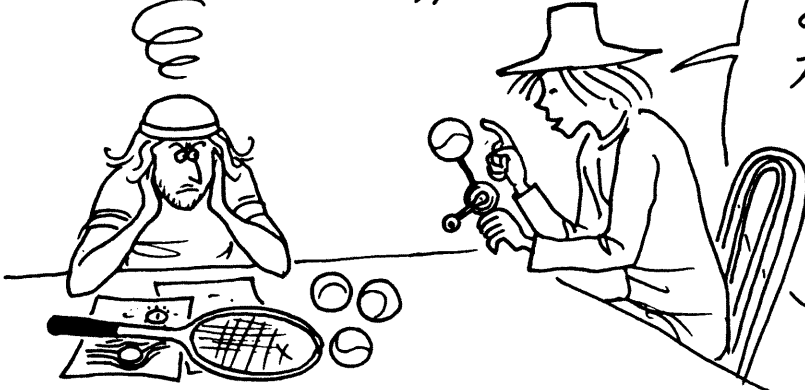


速度大きいー圧力小さい



圧力と速度は反比例する故
上側では圧力が減り 下側は圧力が
高くなる. これが空気力学的な力の
方向を定めるのである.

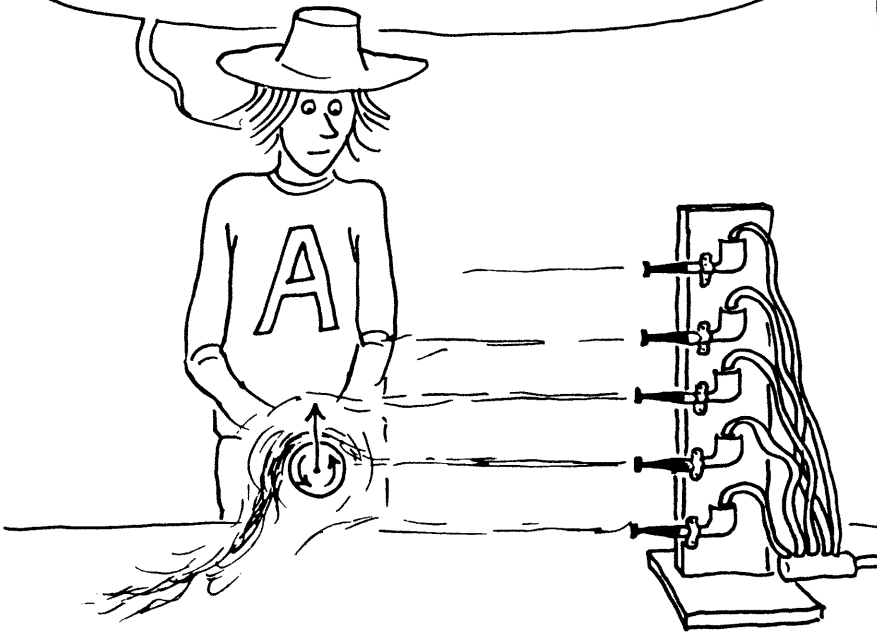
空気と球の摩擦が
あるから球にドライブ力
かけられるけど. これが超流体
空間で摩擦がなくなった
ところではできな
なっちゃいますよ



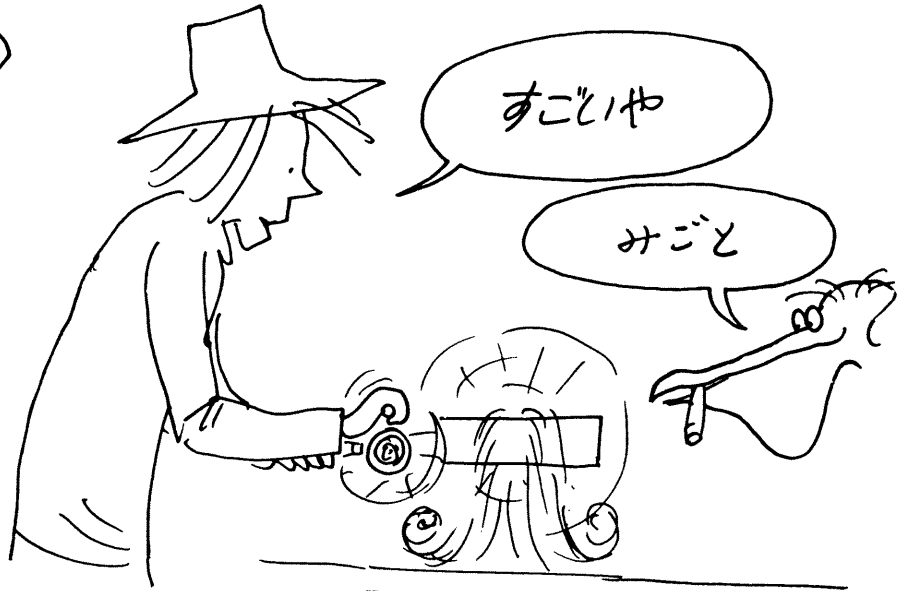
回転を逆にしたら煙が
反対に下に向かって球が
おし上げられ
ちゃうみたい. これが揚力
ってんでしょ.

回転する球に
あてはまることは
回転する円柱体
にも応用できる?

もちよ!

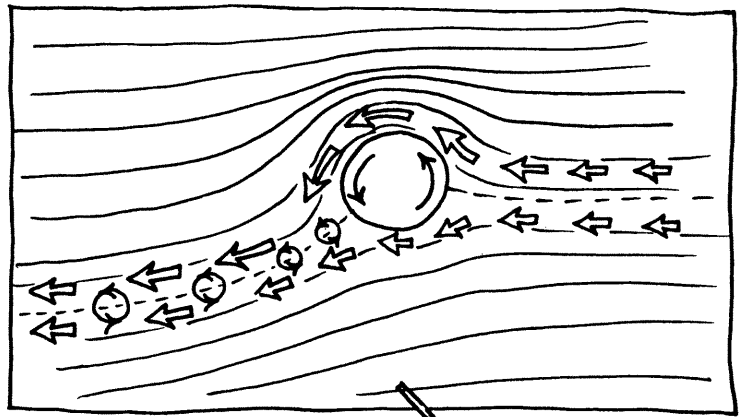


回転翼



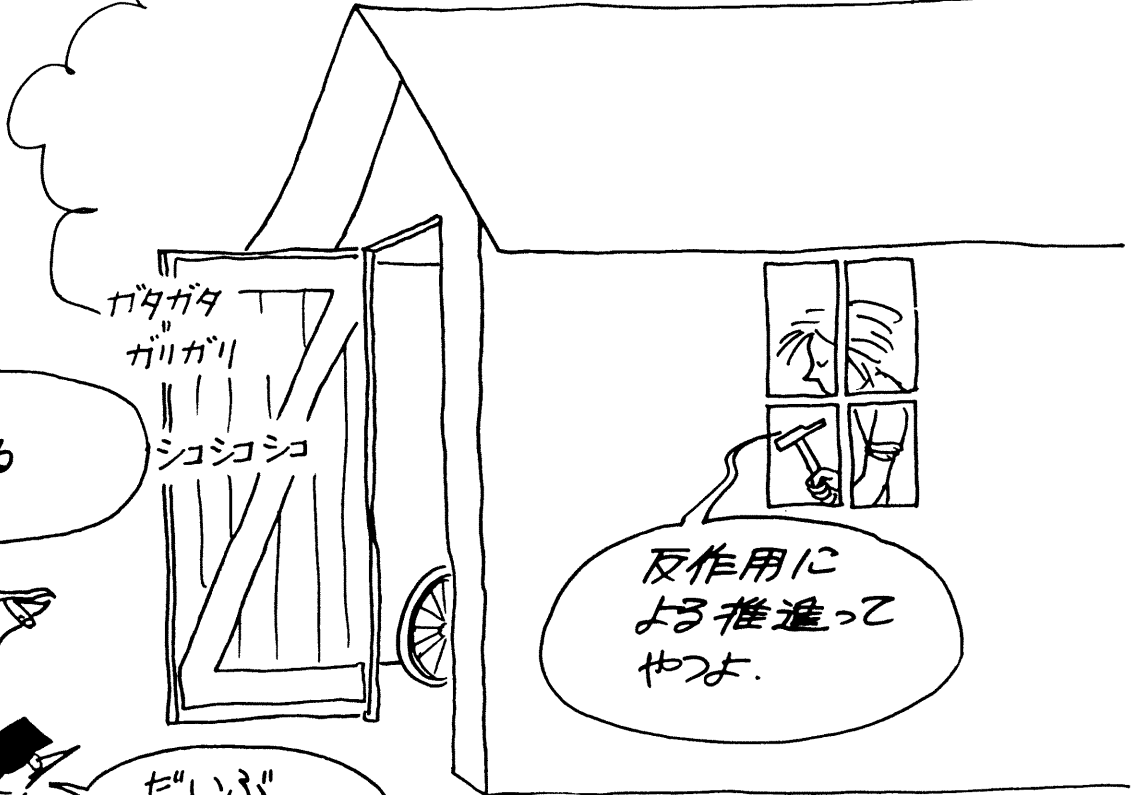
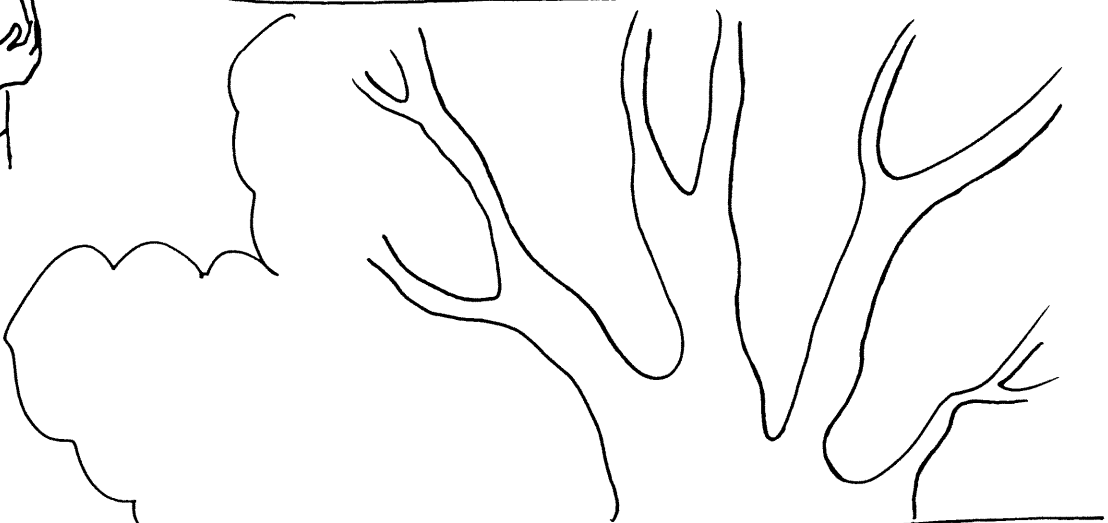
読者諸君、こんどは後流
を考えながら検討しよう
ローラー型のもの(円柱体)
の場合、上側と下側で流速
が異なる

この2つの空気の層が合
流するとたがいにぶつかり摩擦が生じる。すると
イ) 渦ができ
ロ) 2つの流れの差が少なくなる
2つの流れの差(ベルヌーイの定理により)のせいで上側と
下側では圧力に差ができる。したがって空気の流れの方向が
まがるのである



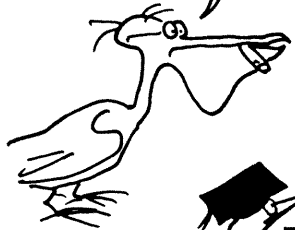


ローラーを回転させながら空中を前進すると揚力ができる。これを応用して飛び装置を作ろう。



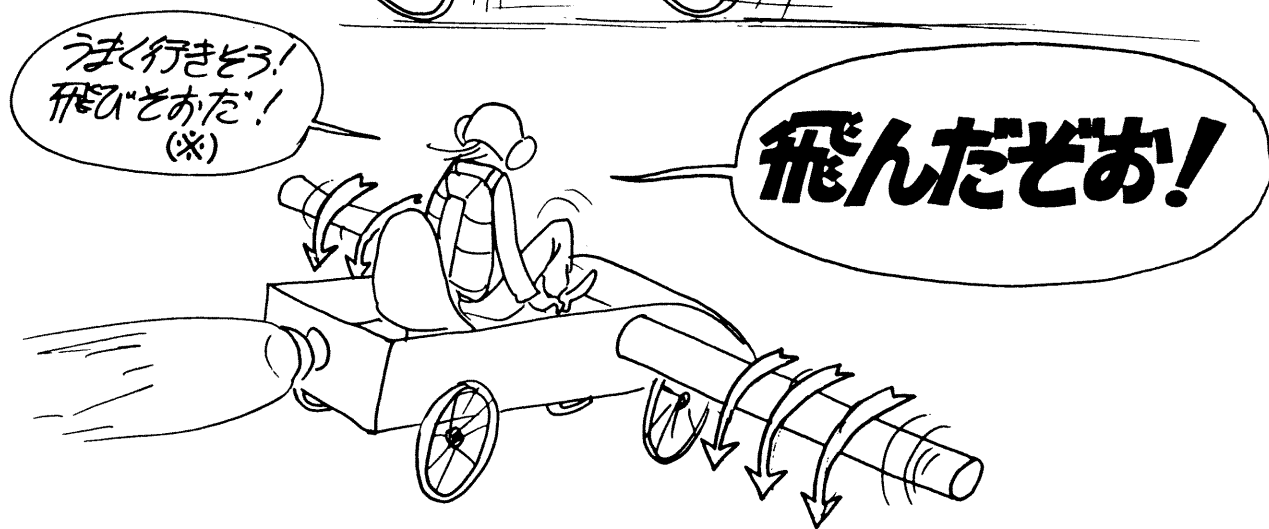
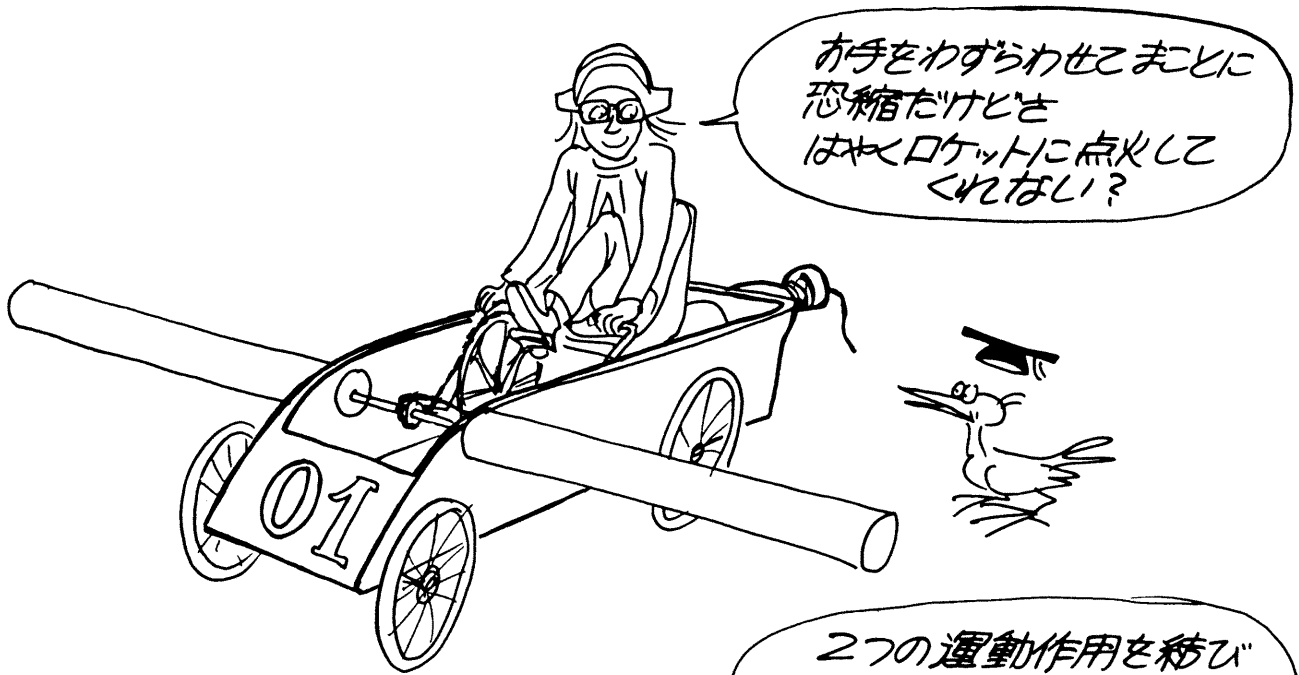
ガタガタ
ガリガリ
シュコシコ

何か作ってるらしい



だいたい面倒らしい!

反作用による推進ってやつよ。

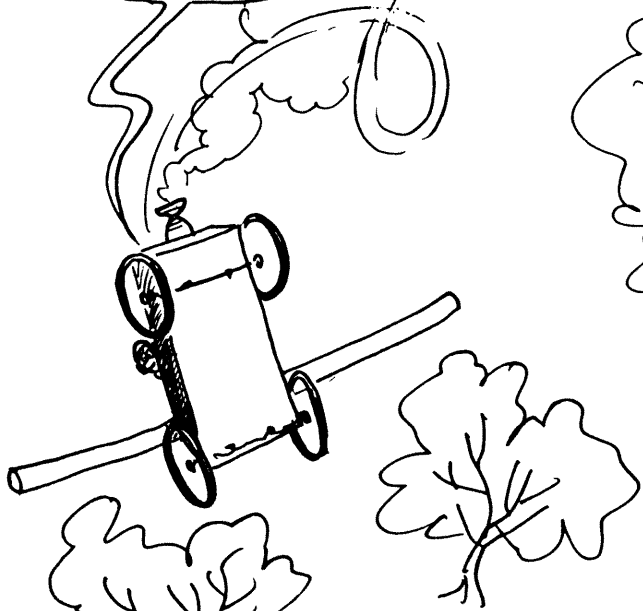


(※) もちろん適当な馬力をかければこれで
飛べないことはない



作用-反作用の原理だよ

何の原理だてー!?!



アンセルム、どうして私に聞いてくれなかったのよ! もっとやさしい方法があったのに! いっつも虫りでやっちゃへマしてばかり。さあコ-ヒーの時間よ



飛行という
より非行よ
これじゃ

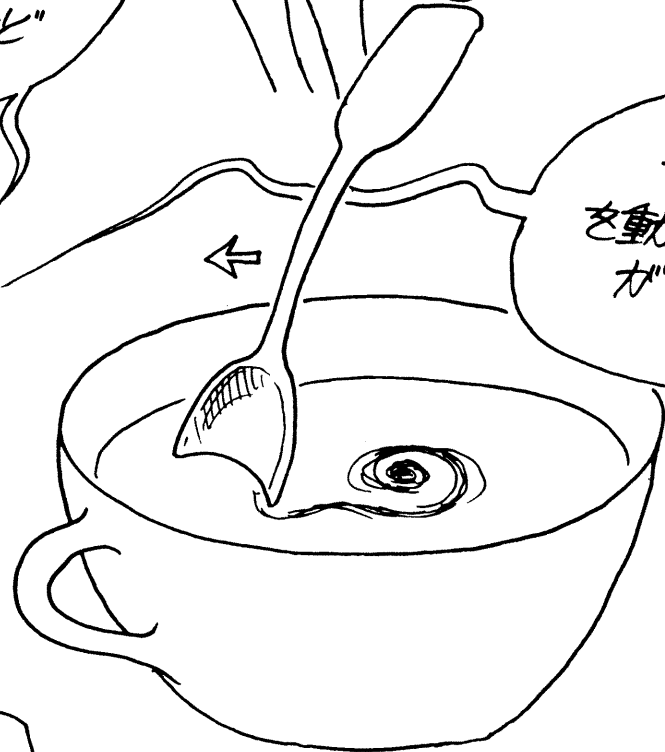
へんなのこれ
コーヒーカップの
中じゃ

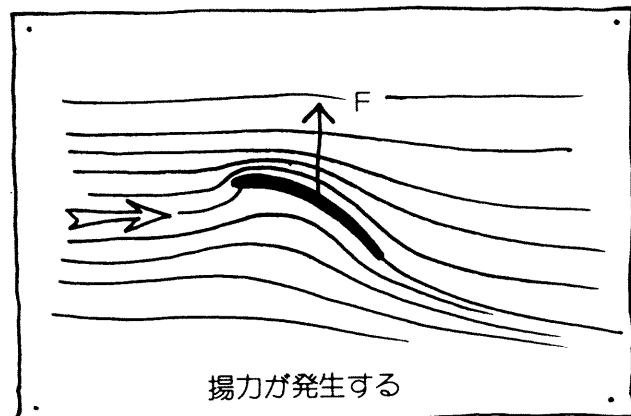
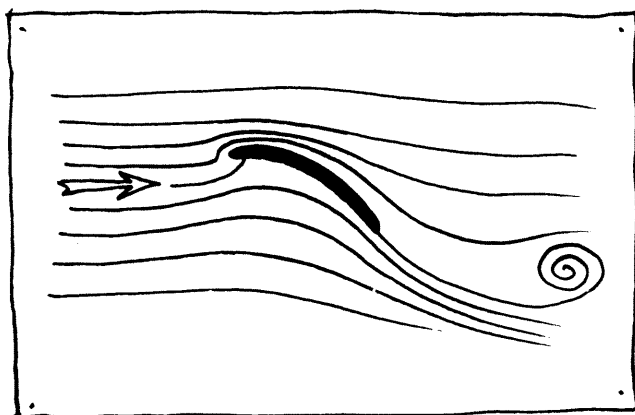
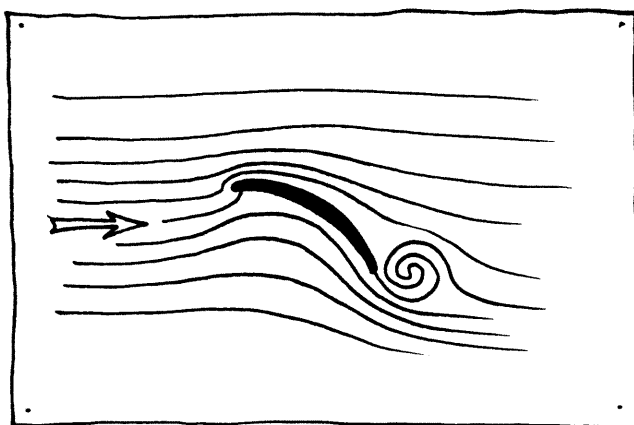
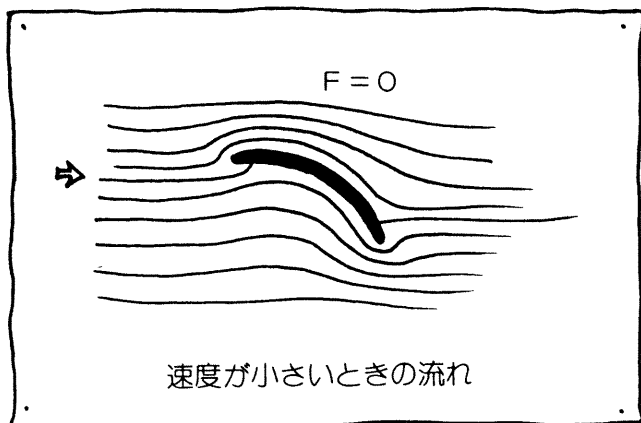


ゆっくりかきまわ
すと摩擦の関係で
ほんの少ししか
抵抗が感じ
られないけど

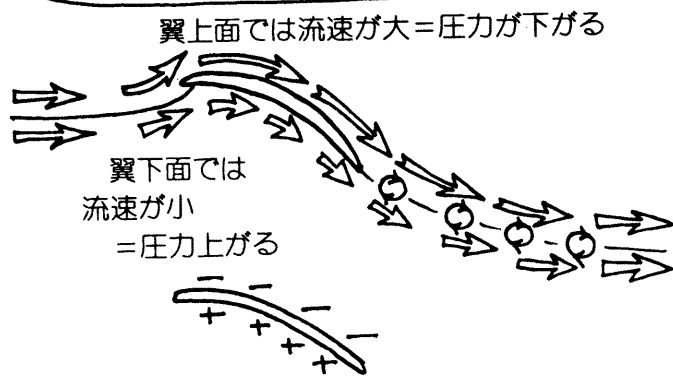


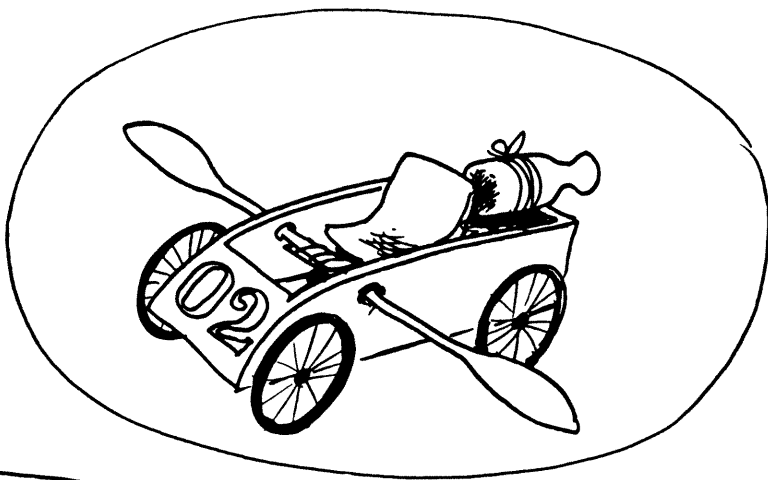
早くスプーン
を動かすと渦
が離れて
行く





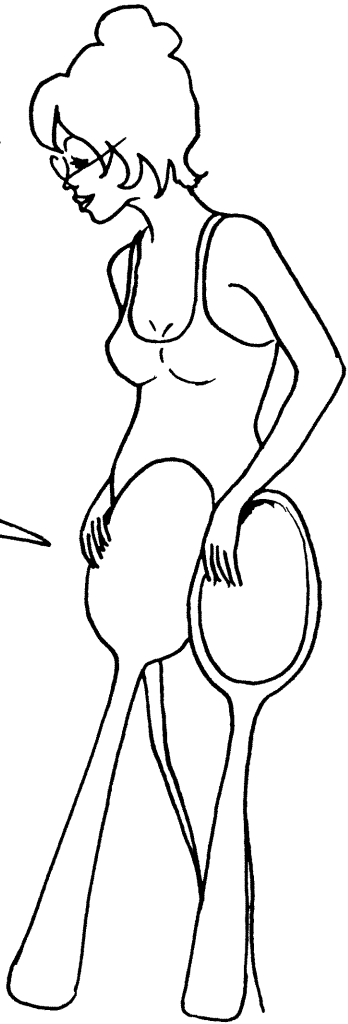
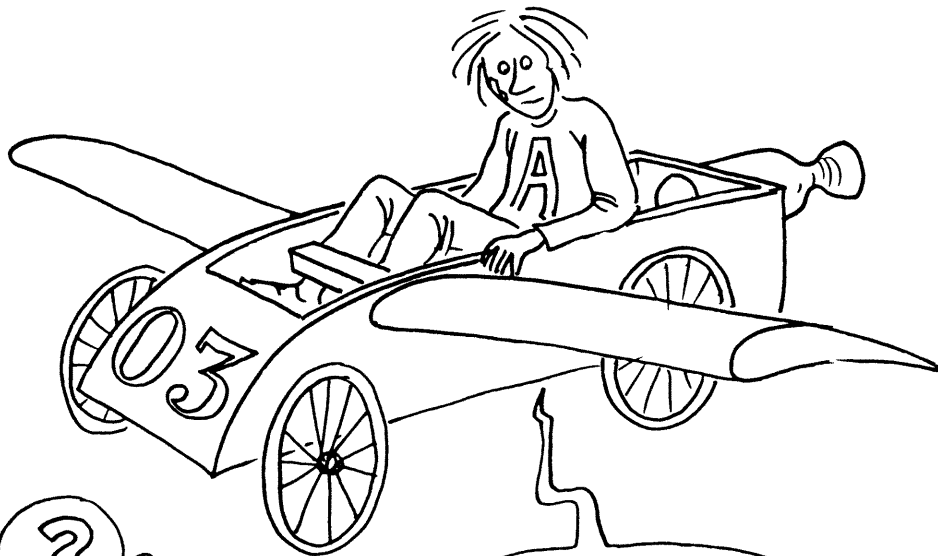
右の図を見てわかると思うけど速度を徐々にあげるとスプーンまわりの流れが変わるの。渦ができて、そして離れるすと上側の流速があがり下側では流れがおそくなる。



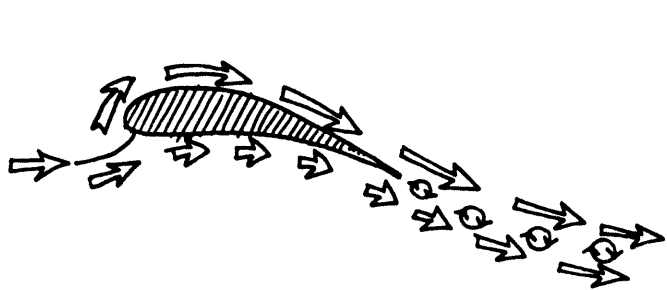


すごいんだなあ
スプーンで飛べるんだ！

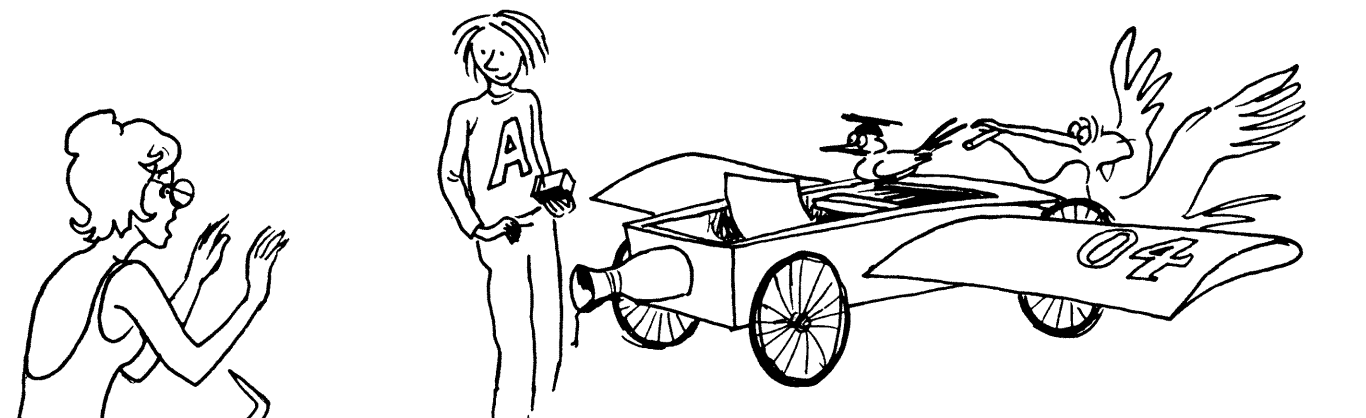
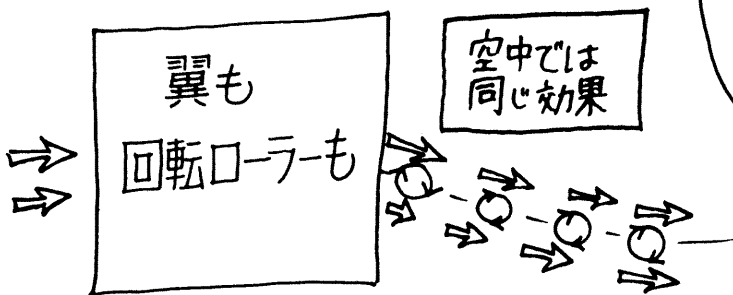
翼は改良
スプーンていうところね



それはいいけど
回転はどうするの？



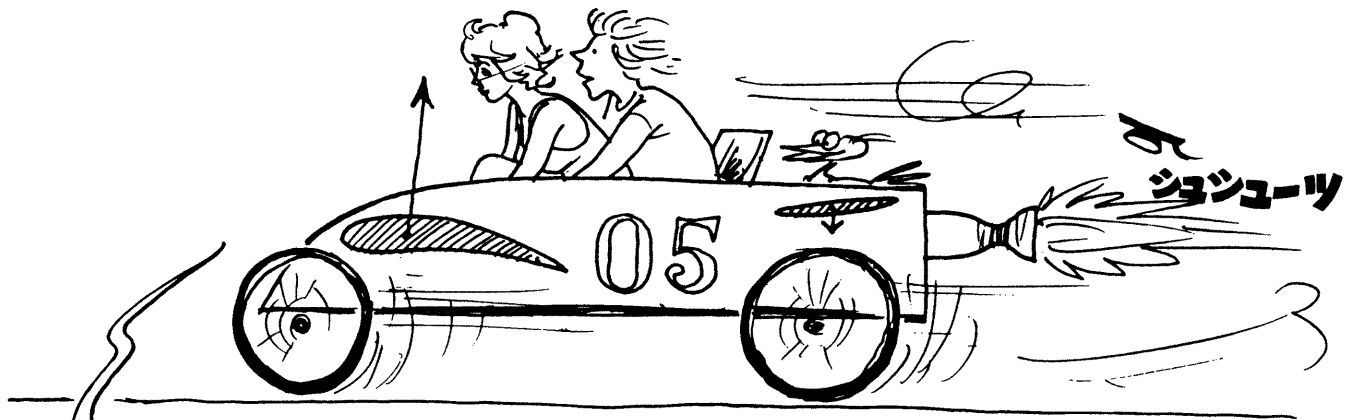
回転ローラーの後方でも翼の後方でも同じような渦の乱流が生じる。したがって翼は回転ローラーが固定されたと思えばよいのだ



まってちょうだい! そのままだと空気の渦でまたさっきみたいに墜落しちゃうわ!

尾翼がいるのよ

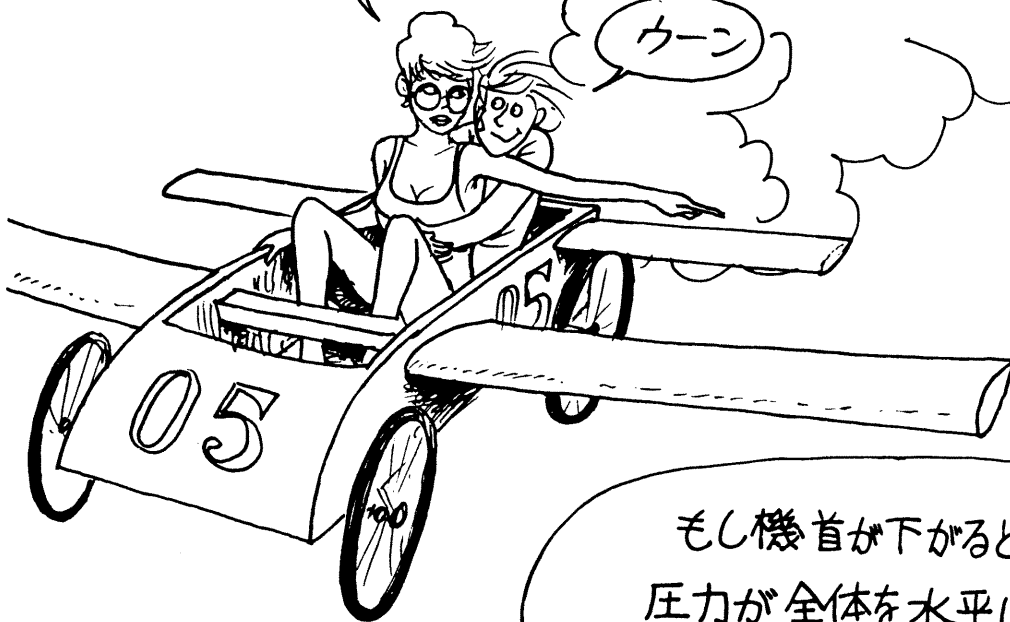




尾翼は主翼とは逆に傾斜ついていて揚力が反対になるようになっているの。それで機尾が上らないからまさかさまに落ちないってことよ

この装置は自動安定するのわかるアンセルム

ウーン



もし機首が下がると尾翼上の圧力が全体を水平にもどそうと作用するのだ



機首が上がる
ときも同じこと



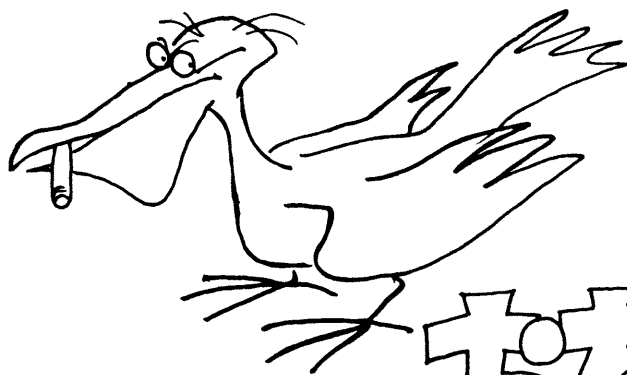
私の言ってること
きいてんの?!

聞いてるたらあ

自動安定感て
すばらしいものだよ諸君



こういった首尾で
アンセルム君は空に舞い上がった
というわけ、何の変哲もない
話だけどね。
高く上がれば上がるほど彼の
科学に対する興味も高まった
というめでたいめでたい
話でした…



おわり