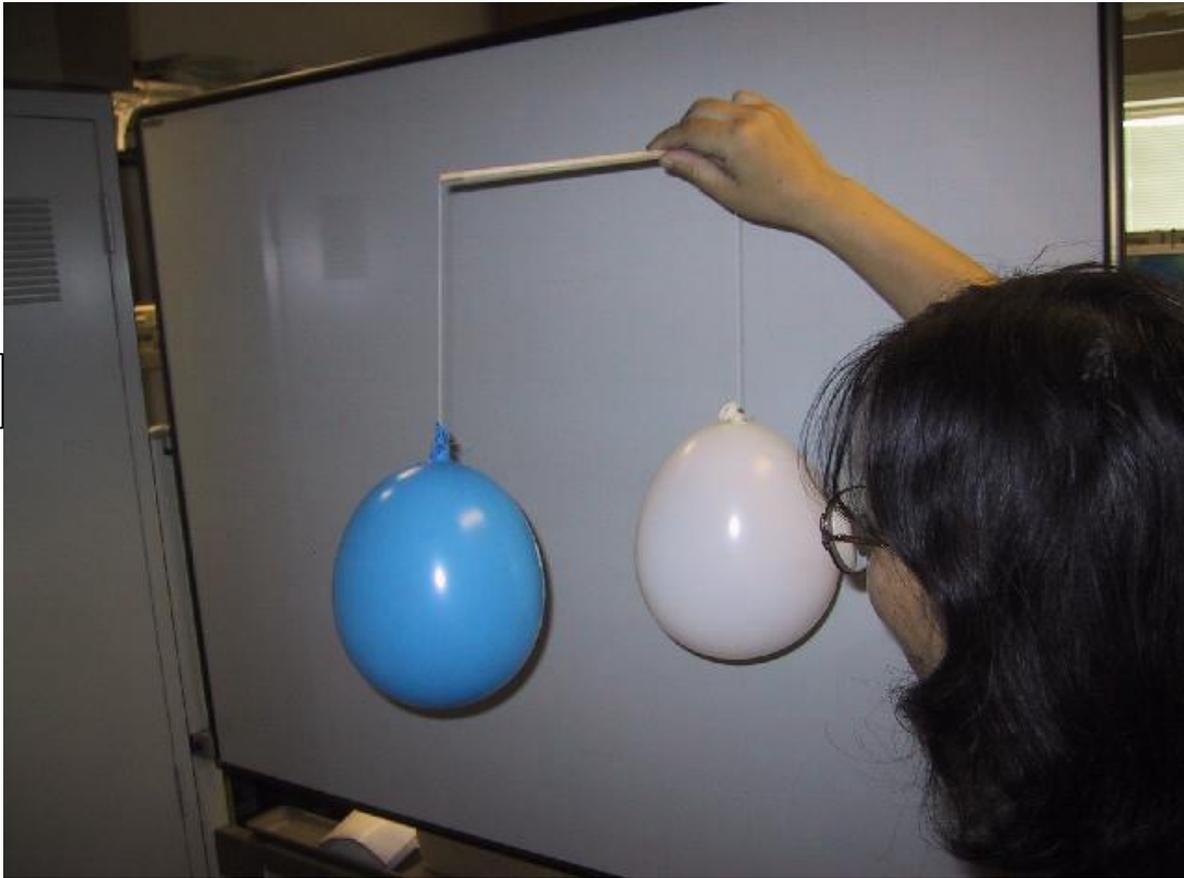


# 物理学 I

第15回 2014年1月16日(木)

# ベルヌーイの定理の応用

図 3



流れの物理学 関真佐子 より

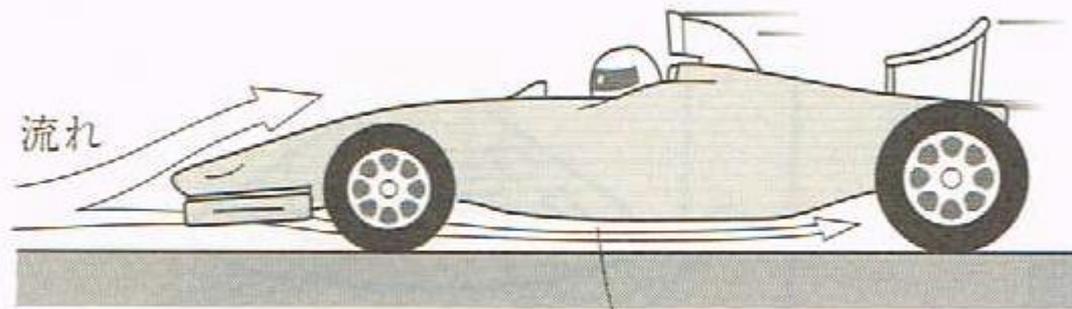
[physics.gep.kansai-u.ac.jp/~physics/jugyo/seki/bunkei02.htm](http://physics.gep.kansai-u.ac.jp/~physics/jugyo/seki/bunkei02.htm)

**Q1: 二つの空き缶をわずかに離して置き、二つの空き缶の間に息を吹く。空き缶はどのようなだろうか。**

- 1. 内側に動く**
- 2. 外側に動く**
- 3. 変化しない**

**Q2: 断面が丸いペットボトルの上部をカットして、そこに風船をおく。上から息を吹くとどのようなか。**

- 1. 支えをなくしても落ちない**
- 2. 支えをなくすと落ちる**
- 3. 変化しない**



中央付近では、床が低くなっている

レーシングカー

**レーシングカーは高速でコーナーを曲がったり急速に加速したりする。そのため、タイヤが路面にしっかり張り付いてスリップしないことが必要である。**

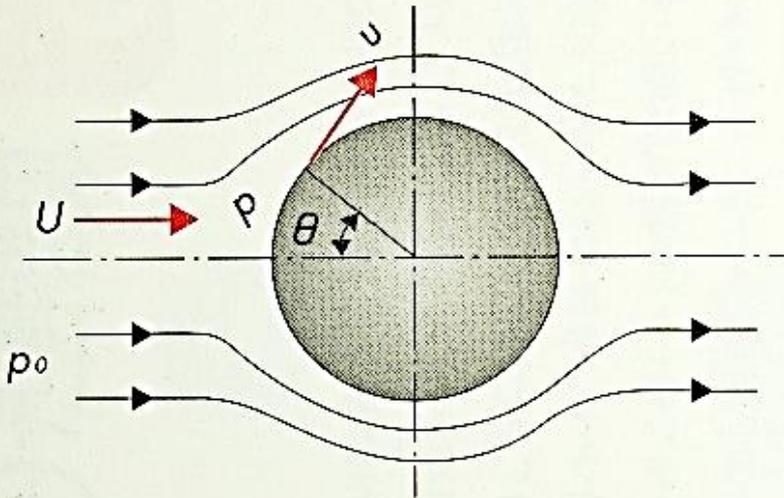
車体の中央付近の床を下げて路面とのすきまを狭くし、車体の前後部では路面とのすきまを大きくしている。このような構造をベンチュリと呼ぶ。

ベンチュリの構造から、床下の圧力を下げ、車体を路面に吸い寄せている。これによって、スリップを防ぐことができ、高速走行が可能となる。

ベルヌーイの定理から、鳥の羽の上側の流速が早く、  
下側の流速が遅いと、圧力差が発生して上向きの力となって  
揚力が発生する

## ● 粘性のない理想流体の流れ

抵抗の発生しない円柱まわりの流れ (ダランベールの背理)



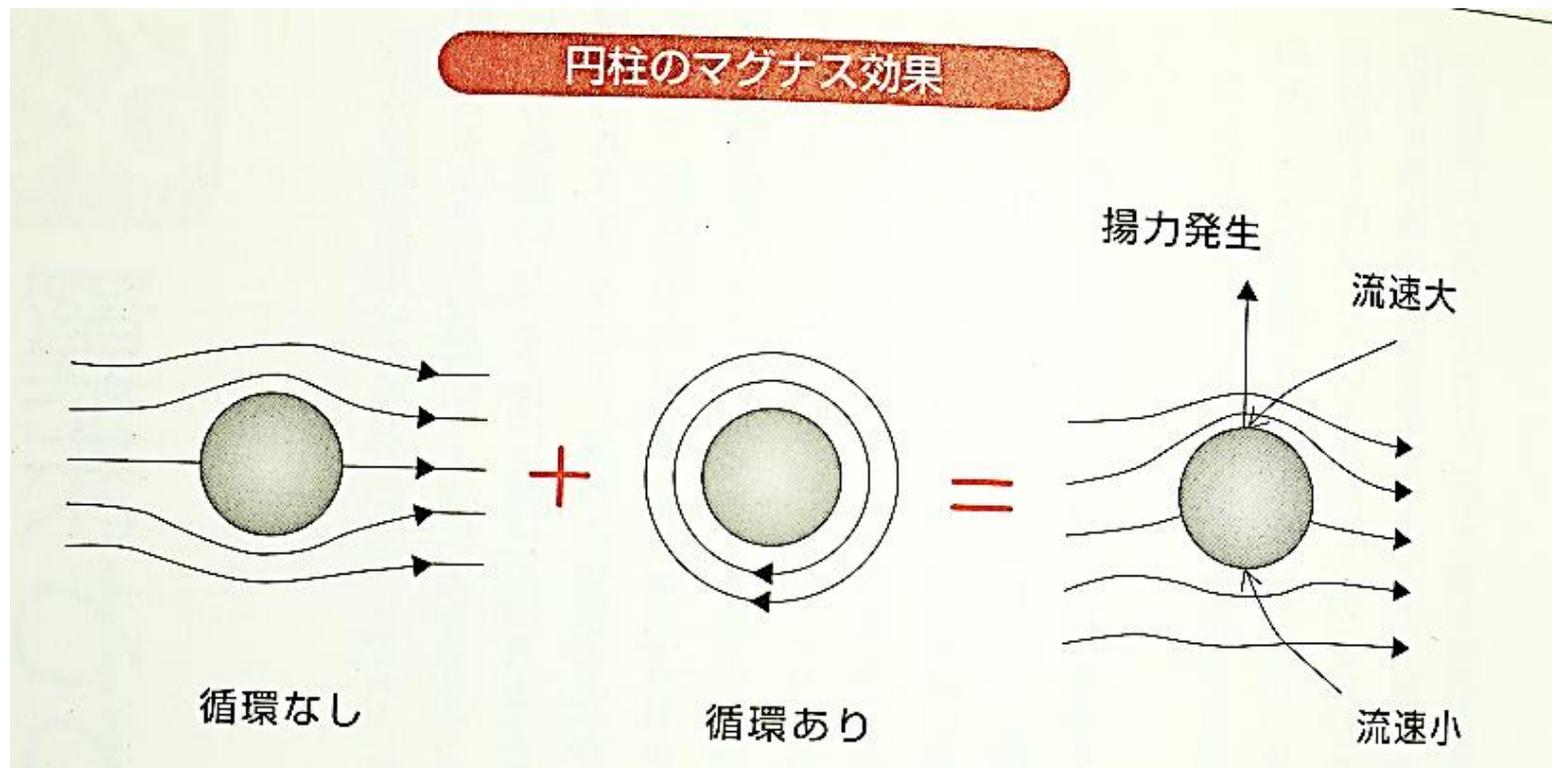
理想流体の円柱まわりの流れ

$$C_p = \frac{\text{上流との圧力差}}{\text{上流の動圧}} = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

ところが、理想流体では、円柱周辺の流れが対称となり、  
揚力も抵抗も発生しない ... ダランベールの背理

## ● 循環の概念

理想流体の流れに循環を重ねることにより、上下の流れの強さが変わる。これにより、上下に圧力差が生じ、揚力が発生する



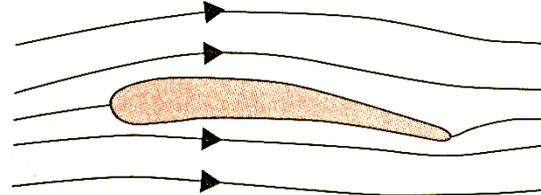
回転を加えたボールがカーブするのは循環の概念で説明できる  
(マグナス効果)

# 飛行機の翼の 周りの流れ:

## 飛行機が揚力を得る 理由

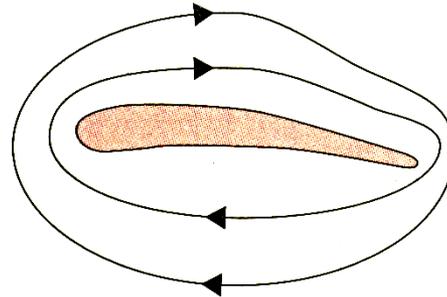
### 循環による翼の揚力発生

循環なし



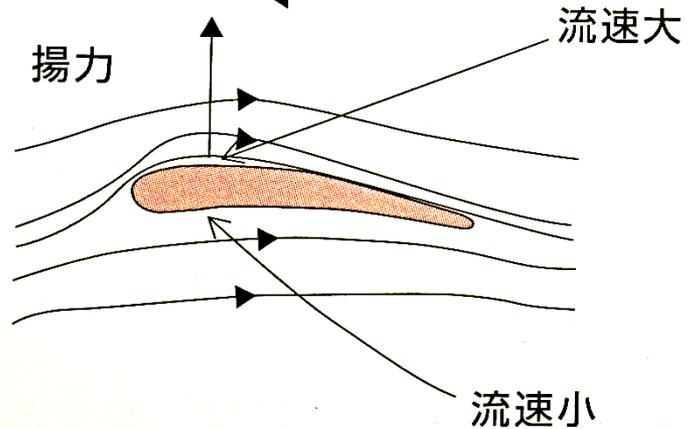
+

循環あり



||

揚力発生



# ベルヌーイの定理の例

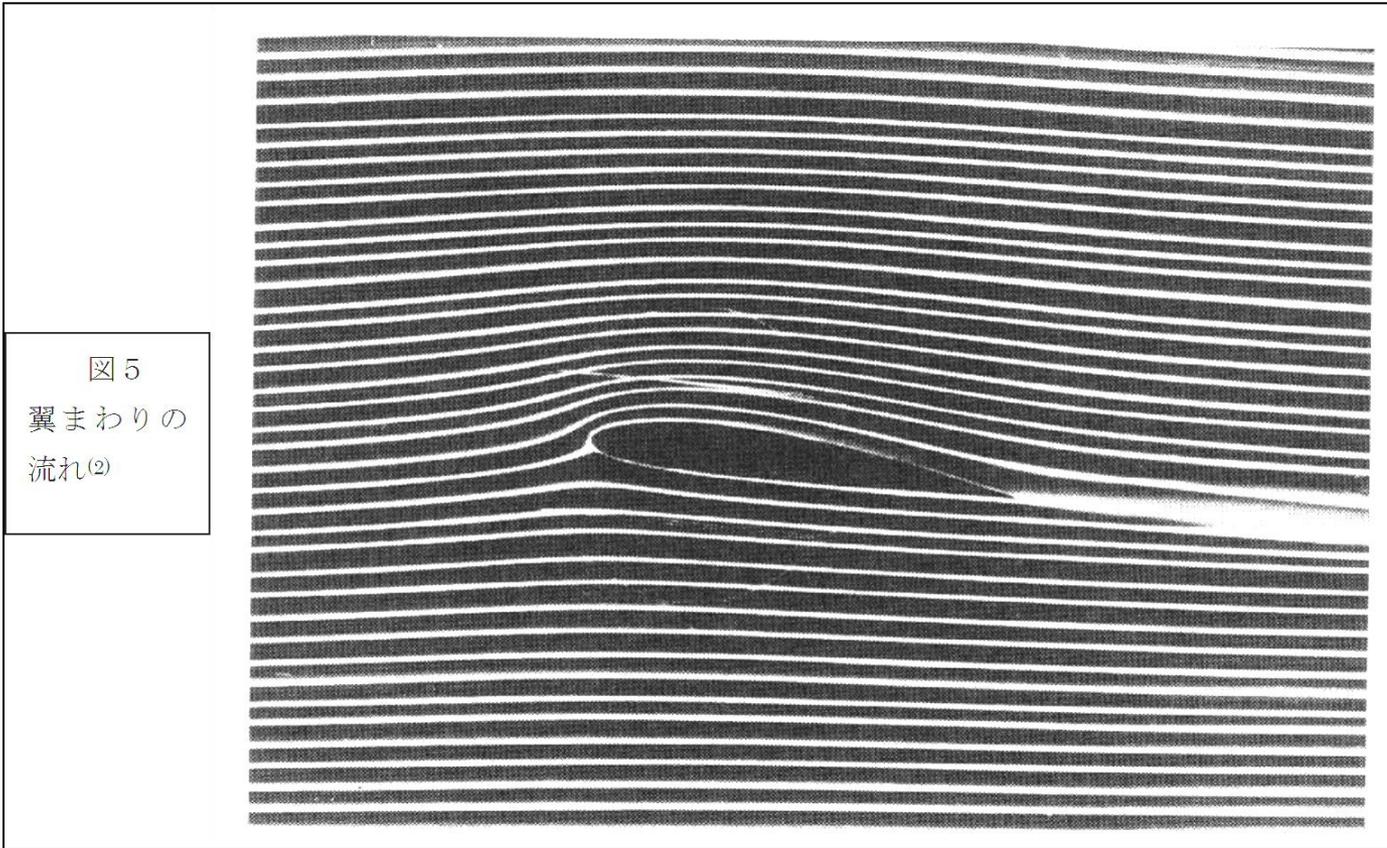


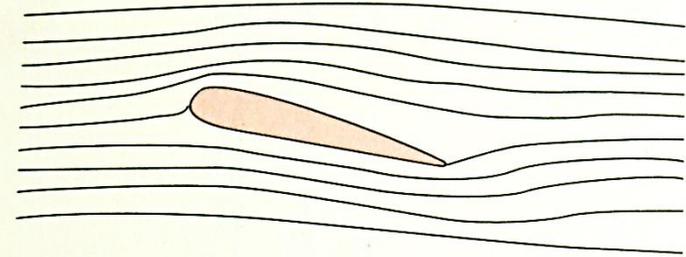
図5  
翼まわりの  
流れ②

流れの物理学 関真佐子 より

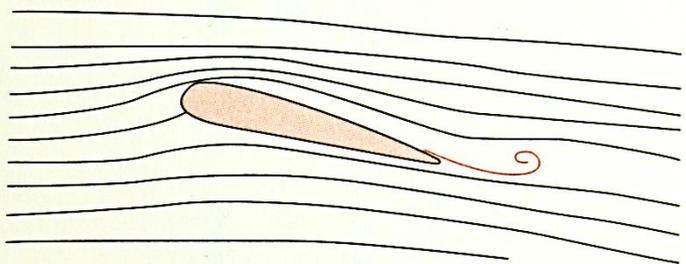
[physics.gep.kansai-u.ac.jp/~physics/jugyo/seki/bunkei02.htm](http://physics.gep.kansai-u.ac.jp/~physics/jugyo/seki/bunkei02.htm)

翼まわりの流れと渦の発生・消滅

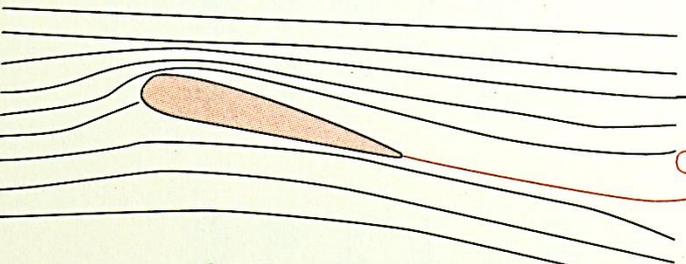
時間  
↓



流れのはじめ



翼後方上部に渦が発生



渦が翼端から離れて消滅する

時間発展で渦度形成を眺める

境界層で渦が発生

それが後ろに流れる

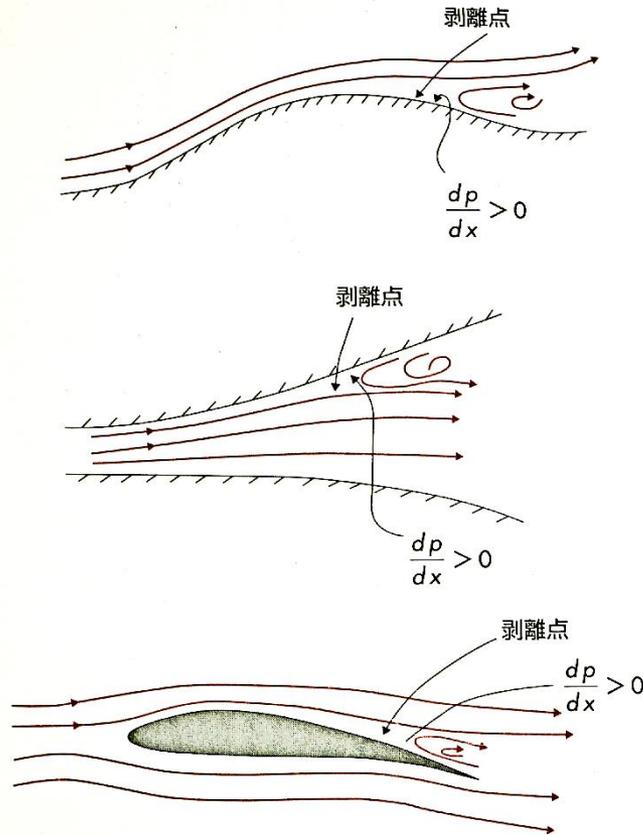


分かりやすくするために空気に色をつけている。翼端渦がいかに大きいか分かる。現在は危険防止のために、前の飛行機の大きさ 後を飛ぶ飛行機の大きさによって細かく決められている

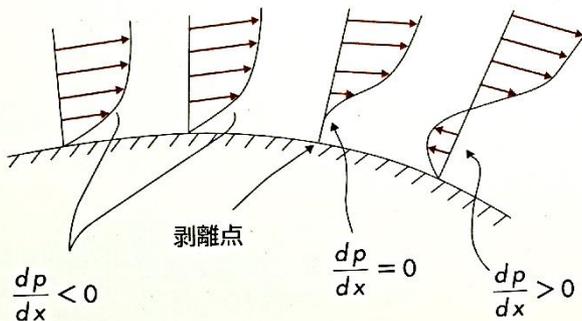
- ・大型機のを大型機が飛ぶ場合 4マイル:7.4キロ
- ・大型機のを中型機が飛ぶ場合 5マイル

恐るべし 空気のカ

### 境界層の剥離



### 境界層の速度分布と剥離



## ● 粘性流体

粘性流体を考えることにより、ダランベールの背理はクリアできた。

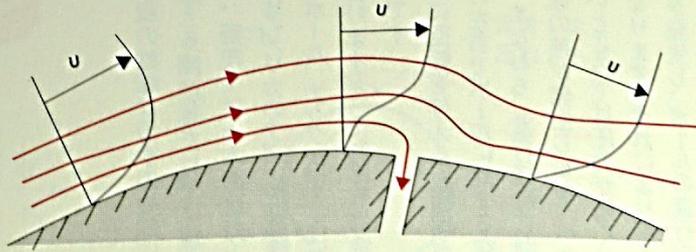
飛行機のためには、

- ・揚力は大きい
- ・抵抗は小さい

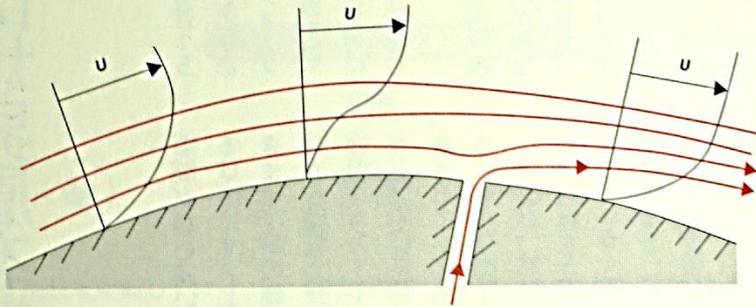
ほど良い。

そのためには境界層の剥離をなくす努力が必要

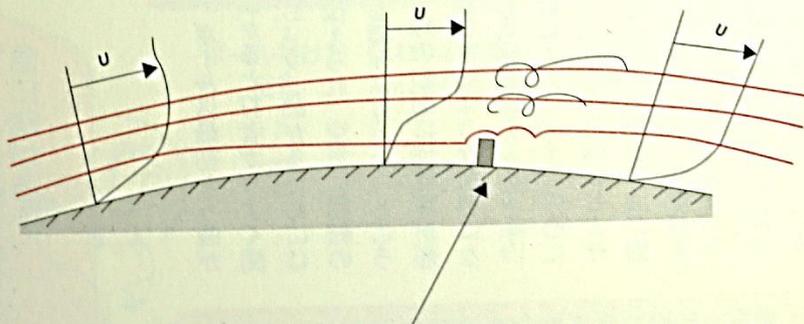
## 境界層の剥離防止



くたびれた境界層流れを吸い込んで上層の元気のある流れを表面流れにする



くたびれた境界層流れに新たな流れを吸き込んで元気な境界層流れにする



小さな突起物を置いて境界層に乱れを与え、乱流境界層にして上層の元気のある流れと混ぜるようにして元気をもらう

## ● 境界層の剥離を防ぐ

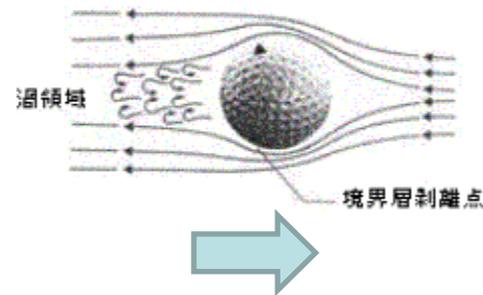
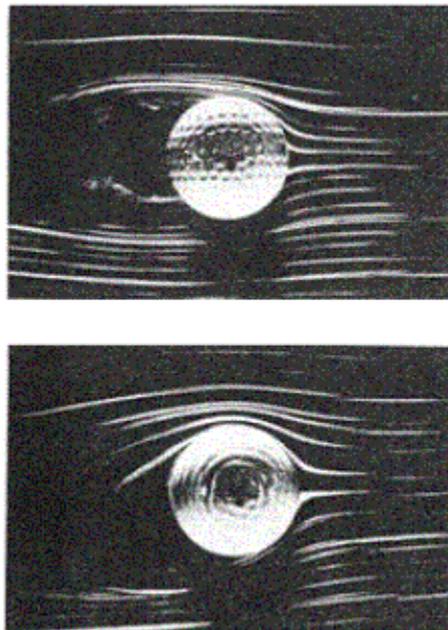
翼上面の境界層流れの剥離しそうな場所に新たに空気の流れを与える方法

ないしは

剥離しそうな場所から流れを吸い込んで境界層の厚さを薄くして、新たな境界層を生成する方法

ゴルフボールのディンプル  
後流は乱流境界層となって剥離点がボールの後面まで遅らす

ボールのような非線形の物体では、主として圧力抵抗が支配的で、ディンプルがあると、空気の流れがボール表面からはく離する点がボールの後方へずれ込むため、ボール後方の空気密度の薄い領域がディンプルのないボールより少なくなり、その結果抗力が下がる効果がある。また、ディンプルには適度な揚力を付与する効果もある。



ボールの飛ぶ方向

図1 ディンプルによる空気の流れ

出典:「ゴルフボールーその飛びの秘密」、(1986年12月20日)、大西久光著、日本工業新聞社発行、52頁 図11 空気の流れ(ディンプル球)

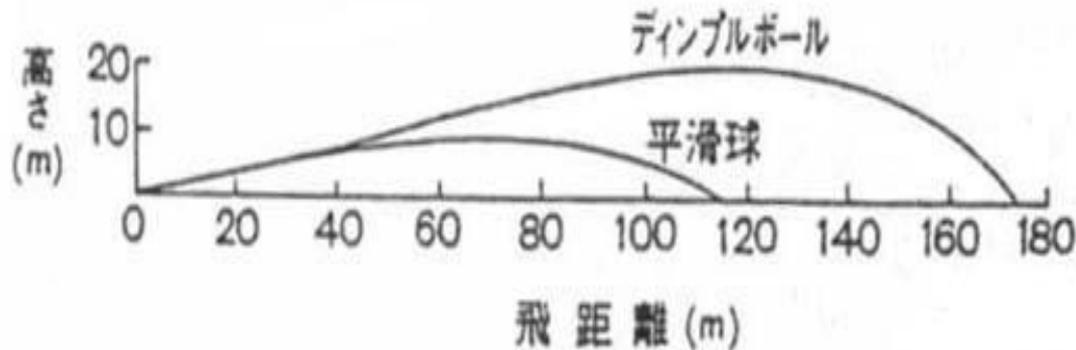


図2 ディンプル球と平滑球の弾道

出典:「ゴルフボールーその飛びの秘密」、(1986年12月20日)、大西久光著、日本工業新聞社発行、53頁 図12 ドライバーショットの弾道

## サメ肌の水着

表面に突起をつけて乱流にすることにより水の抵抗を減らす

レーザー・レーサー(LZR RACER®)はイギリスのSPEEDO社が開発した競泳用水着である。2008年に入り、この水着を着用した選手が次々と世界記録を連発した。



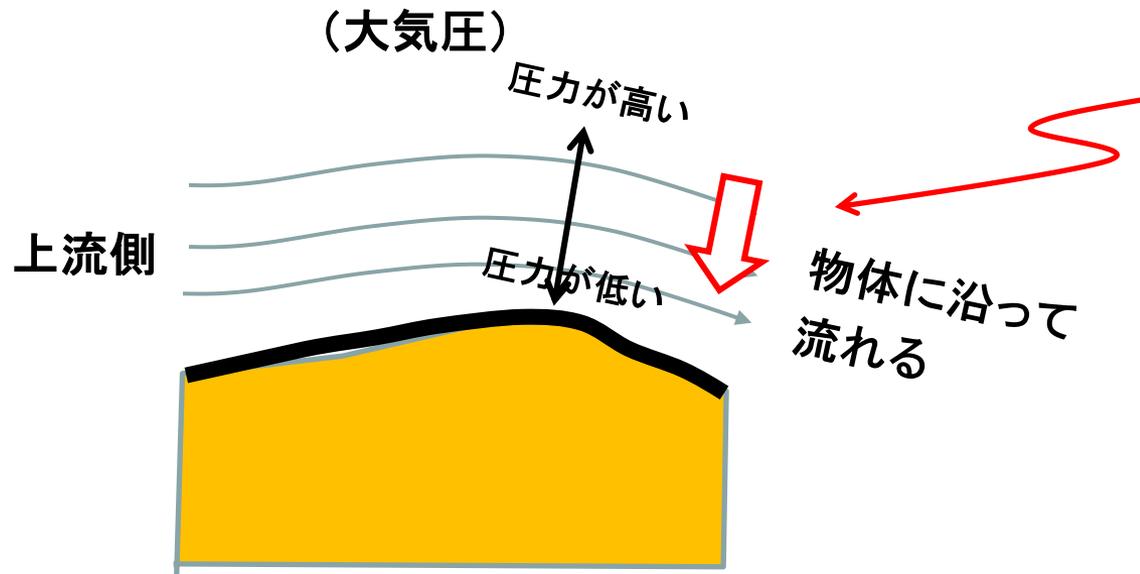
2010年1月にFINAは競泳水着の規定の変更を最終決定した。これにより、水着の布地は「繊維を織る・編む・紡ぐという工程でのみ加工した素材」に限定され、水着が体を覆う範囲も、プール競技では男性用は臍から膝まで、女性用は肩から膝まで、オープンウォーター競技では男性用、女性用とも肩から踝(くるぶし)までに制限された。

インターネット ウィキペディア

# コアンダ効果

丸い曲面に流れをあてると、曲面に沿ってきれいに流れる。

流れが凸な曲面に沿って流れようとする性質。



圧力差によって流れは物体側に押される。つまり、物体に付着しやすい。

何かのきっかけで曲げられるとさらにその方向に曲がろうとする性質を持つ。

通常円運動すれば遠心力が働く。  
そうした中でそうした流れが安定なのは遠心力を  
カウンターする力が働いているはず。  
カウンターは圧力傾度力による。



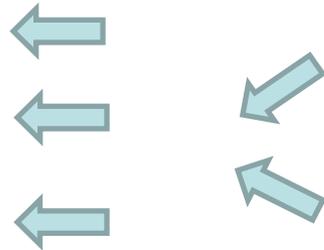
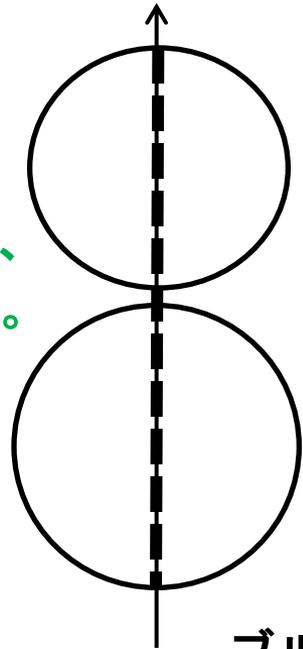
## 流線曲率の定理

非粘性流体の外力が無視できる定常な流れ  
において、流線の曲率中心方向に圧力が低く  
なる

# ストローで吹いてあやつる雪だるま

別のストローで吹いて球を一つずつ串から取り出すようにする。どのような方向から、どこを吹くかが問題となる。

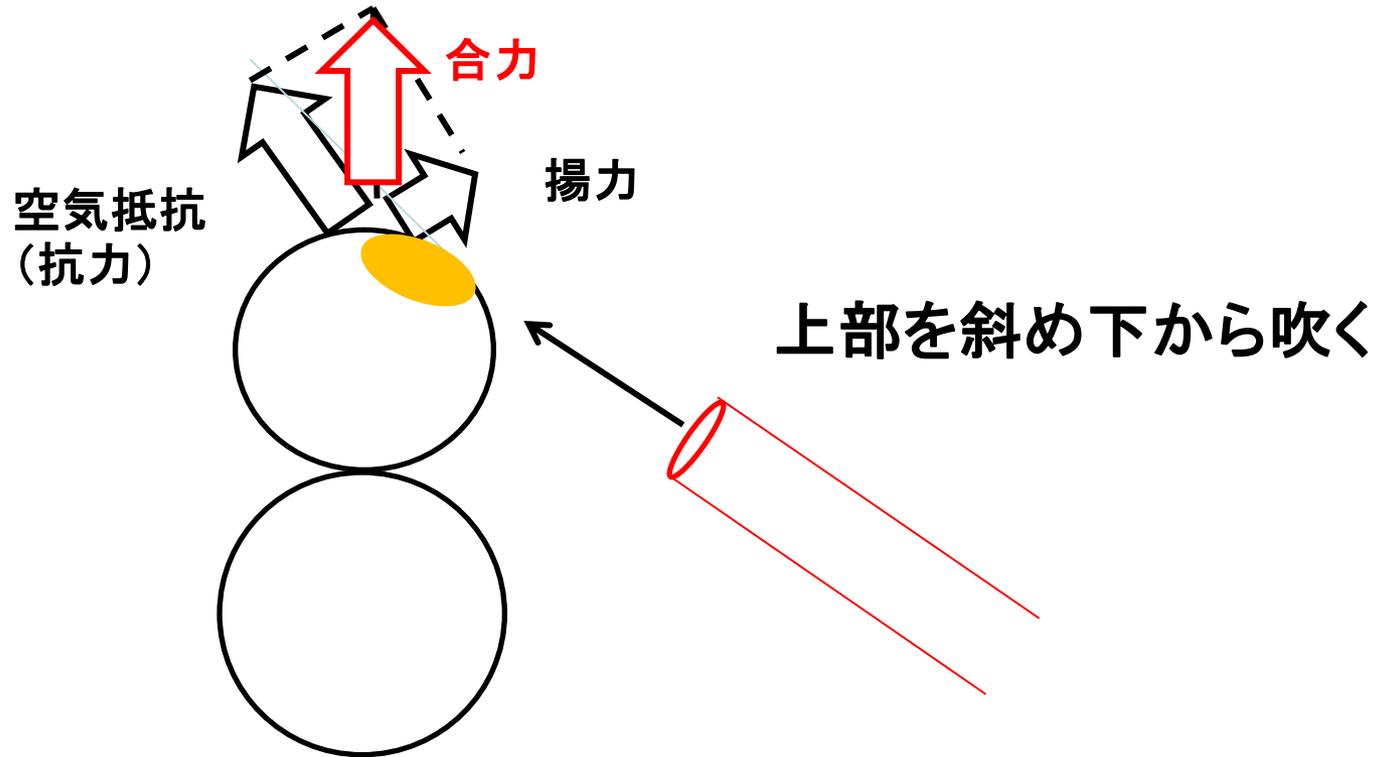
球がずれないように、中心軸に棒があるが、球とはくっついていな。



実験する

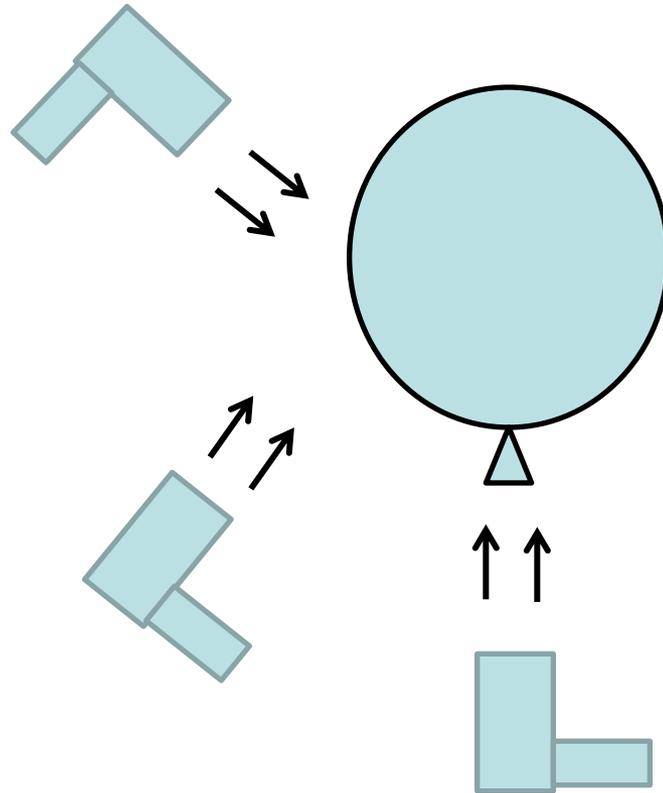
吹く位置を変えるか  
角度を変えるか  
それとも???

# 雪だるまに働く力



ブルーボックス 流れのふしぎ (日本機械学会)

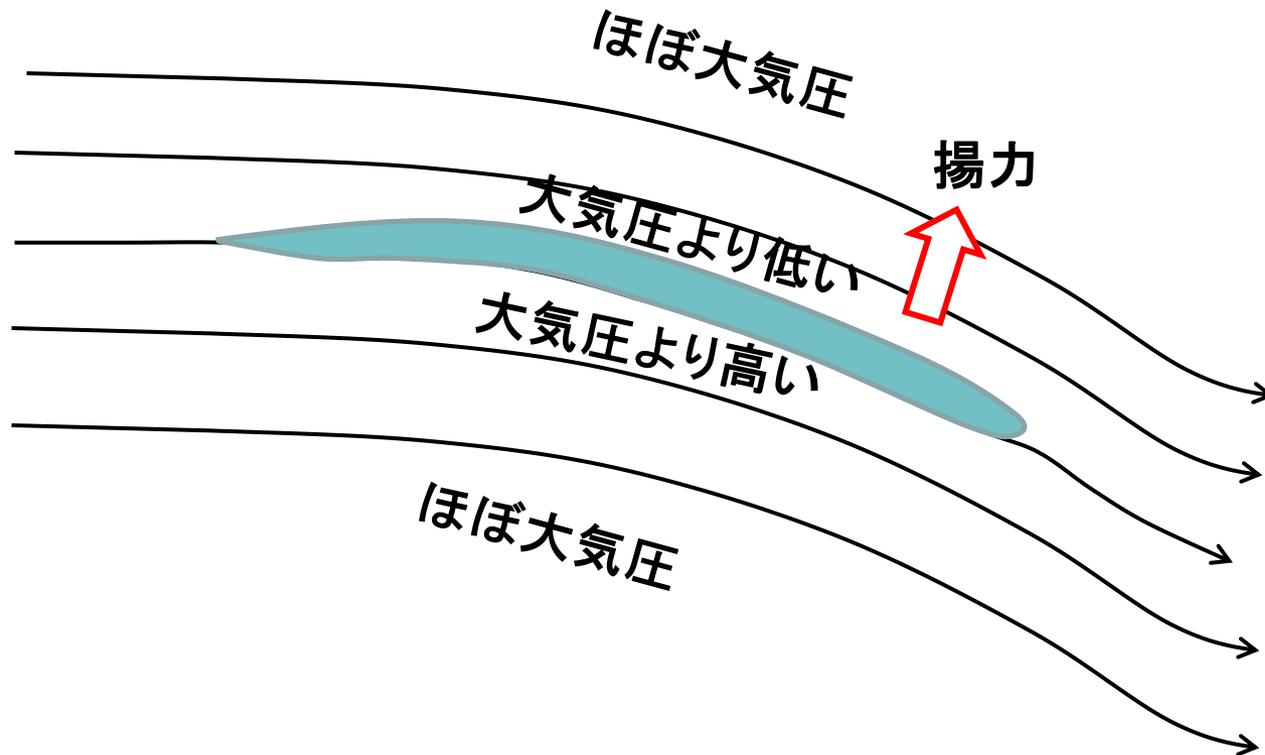
大きい風船にドライヤーの風をあてると…



どこまで風船は宙に  
浮いていられる？

ブルーボックス 流れのふしぎ  
(日本機械学会)

# 飛行機の主翼の原理



# ヨット

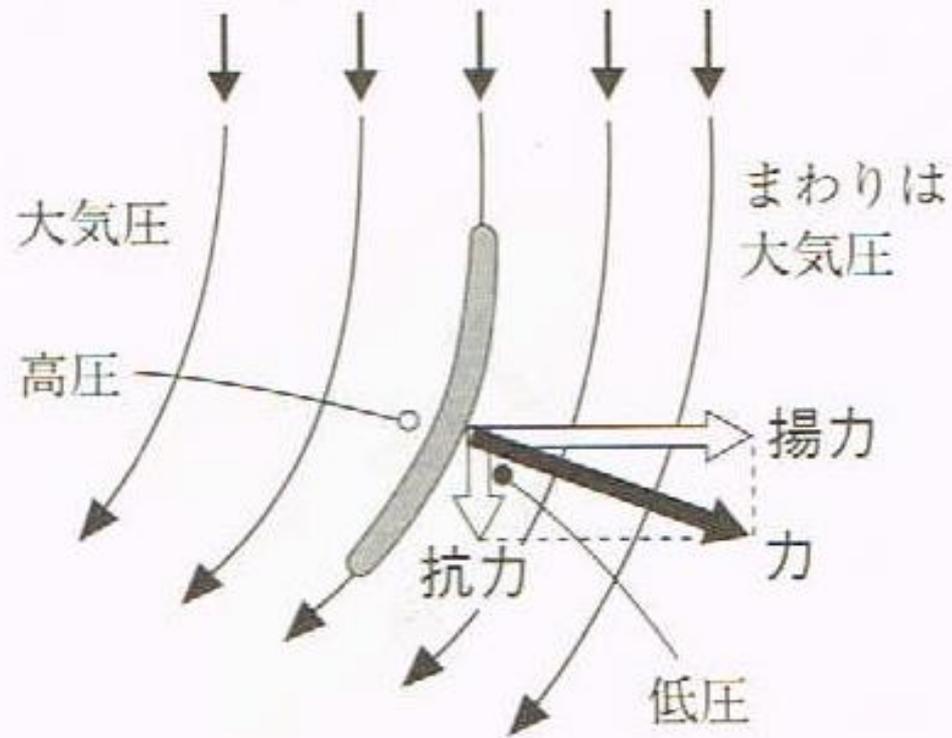


セーリングとは、帆の表面を流れる風によって生じる揚力を主な動力として、主として水上を滑走すること又はその技術を主に競う競技です。

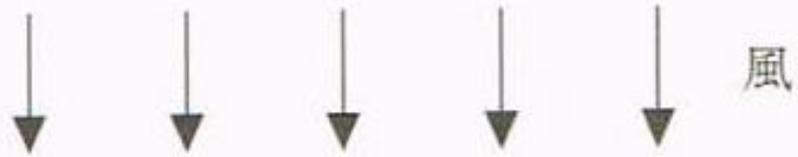
セーリング競技で使われるヨットが歴史に初めて登場したのは、14世紀のオランダとされています。

インターネット ヨット 揚力 画像

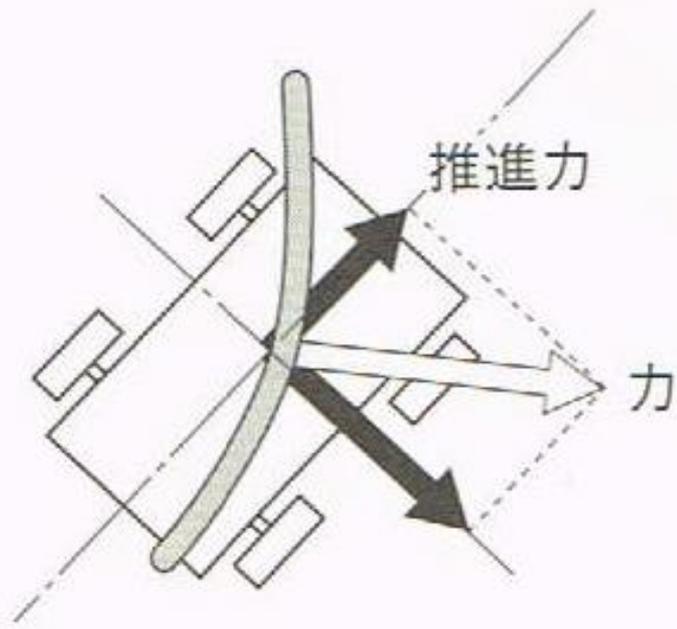
空気は左に曲げられているので、  
右向きの揚力が発生



厚紙のまわりの流れ



風



台車の向きと進む方向