

# 地球と惑星(第2回)

岩山隆寛

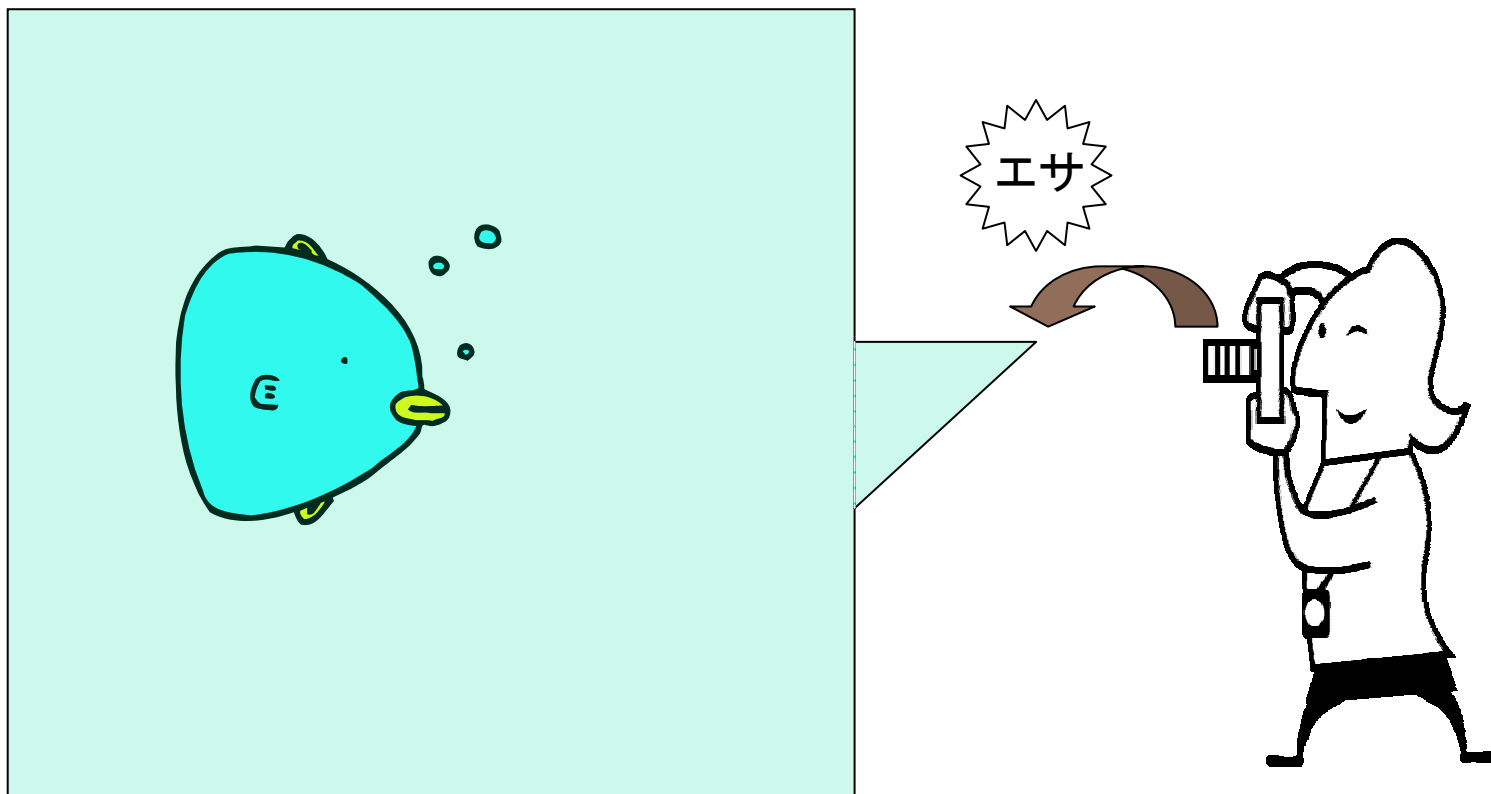
(自然科学研究科/理学部地球惑星科学科)

- テーマ: 大気・海洋を支配する物理法則を身近な例を引き合いに出しながら解説する
- 前回
  - 鉛直方向の大気の構造を理解するための物理学的な考察

## 静水圧平衡

- 言い換えると...
- ある高度における気圧はそれより上空に存在する空気の重さに等しい
- 浮力
- ペットボトルの実験

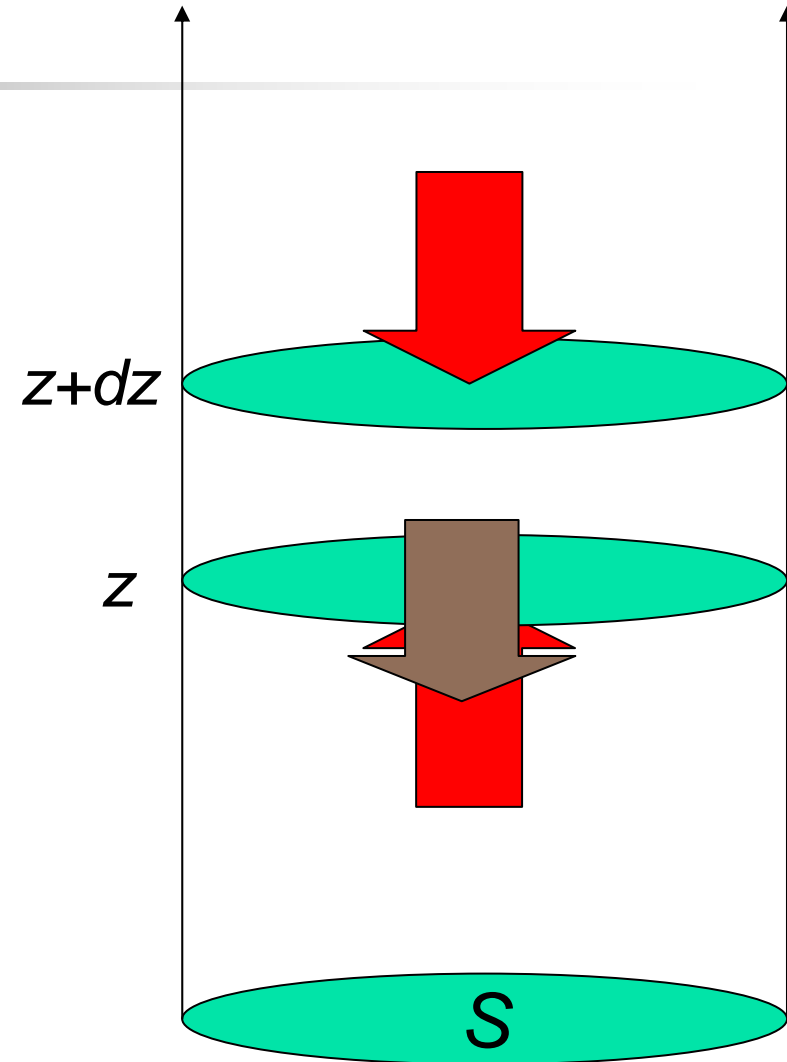
# 静力学平衡を利用した水槽



# 状況設定

- 底面積  $S$ , 厚さ  $dz$ , 密度  $\rho$  の空気の塊
- 上面に働く気圧;  $p(z+dz)$
- 下面に働く気圧;  $p(z)$
- 空気塊の質量;  $\rho g dz$

- $p(z+dz)S + g\rho S dz = p(z)S$





## 前回の課題の答え

---

- 地上の1平方メートルの面積の上にはどのくらいの重さの空気が乗っかっているか？
- $\rho(0)/g = 1000 \text{ [h Pa]}/10 \text{ [m/s}^2\text{]}$   
 $= 1000 \times 100 \text{ [kg m /s}^2\text{/m}^2\text{]}/10 \text{ [m/s}^2\text{]}$   
 $= 10000 \text{ [kg/m}^2\text{]} = 10 \text{ [t/m}^2\text{]}$
- 地上の1平方センチメートルの面積では？  
 $10000 \text{ [kg/m}^2\text{]} = 1 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$



# 今回は何の話をするか？

---

- 水平方向の大気の構造を理解するための物理的考察
  - 高気圧・低気圧[渦]に伴う風はどのような原理で決まっているの？

ちよつとその前に

- ティーカップの中の紅茶の話

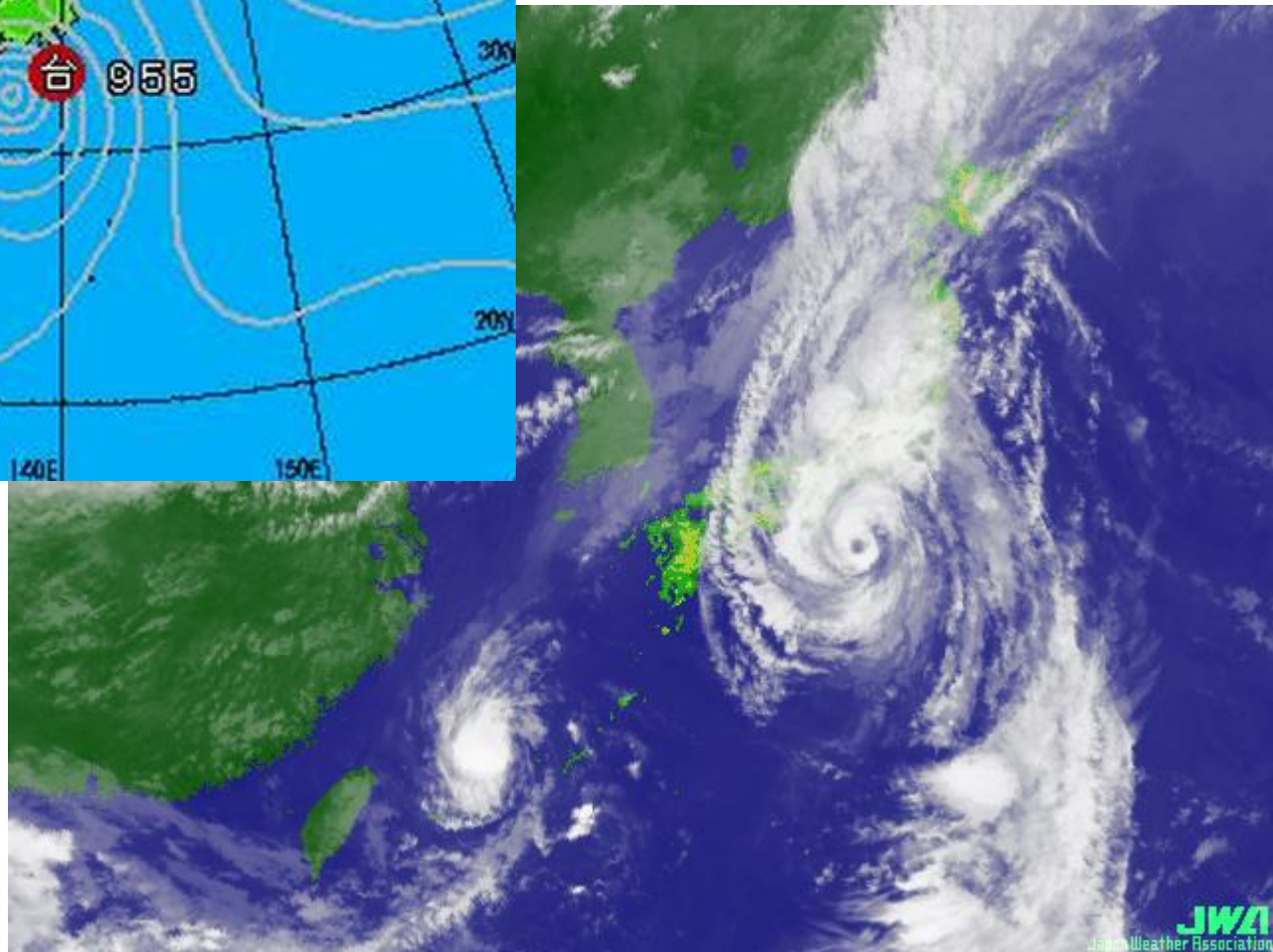
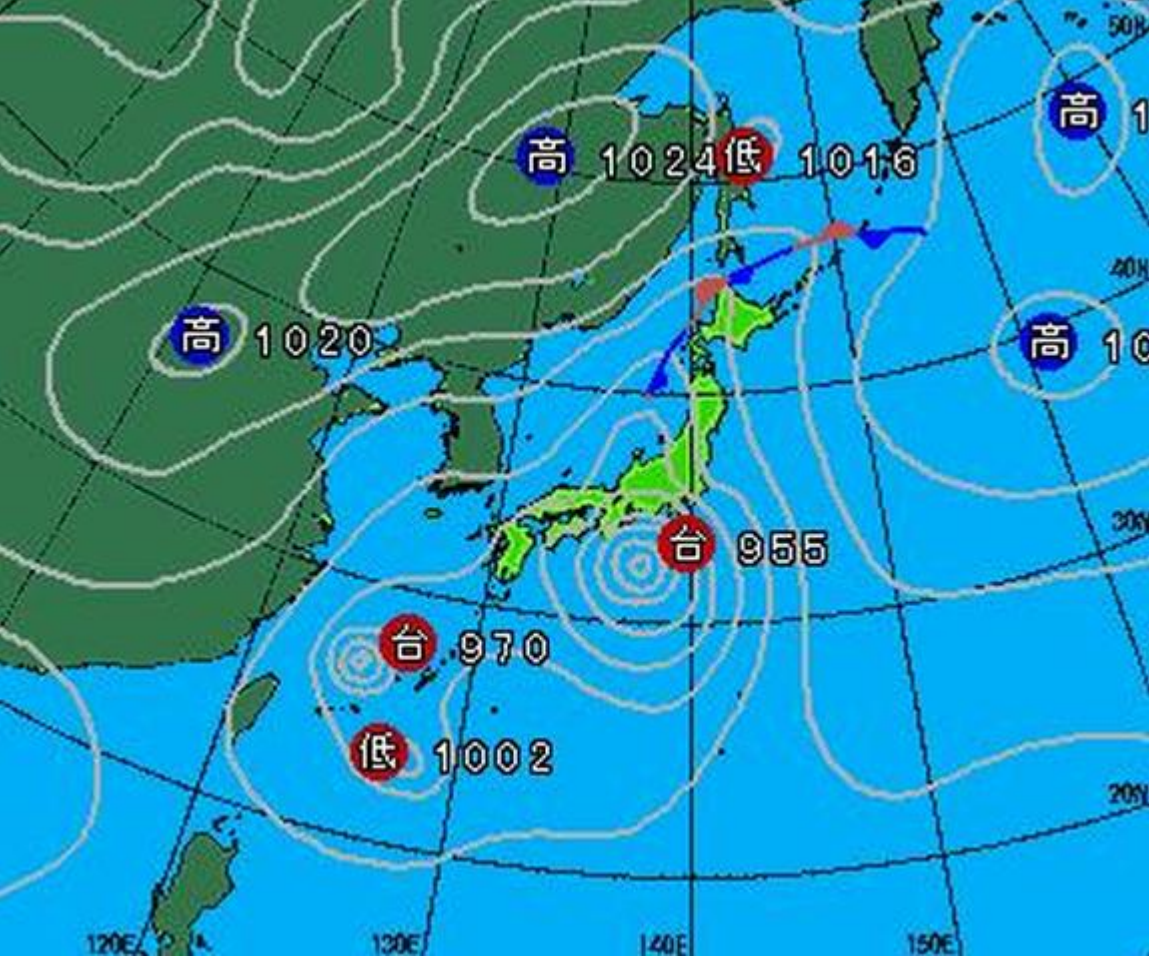
旋衡風平衡



# 高・低気圧の周りの風の向きは？

---

- 北半球では...
  - 高気圧の周りでは時計回りに風が運動している
  - 低気圧の周りでは反時計回りに運動している
- バイス・バロットの法則
  - 風を背に向けて立つと、低気圧の中心は左手斜め前向きにある(中学校の理科の教科書にも掲載?)





# 高・低気圧の周りの風の向きは？

---

- こんなものは常識
  - なぜあえて大学の授業でやるのか？
  - 高等教育を受けたものとしての別の理解の仕方





# 予備知識(1)

---

- 正の数と負の数を掛けると, 負の数になる.
  - $2 \times -3 = -6$
- 正の数も負の数も2乗すると, 正の数になる.
  - $2 \times 2 = 4$
  - $-2 \times -2 = 4$



## 予備知識(2)

---

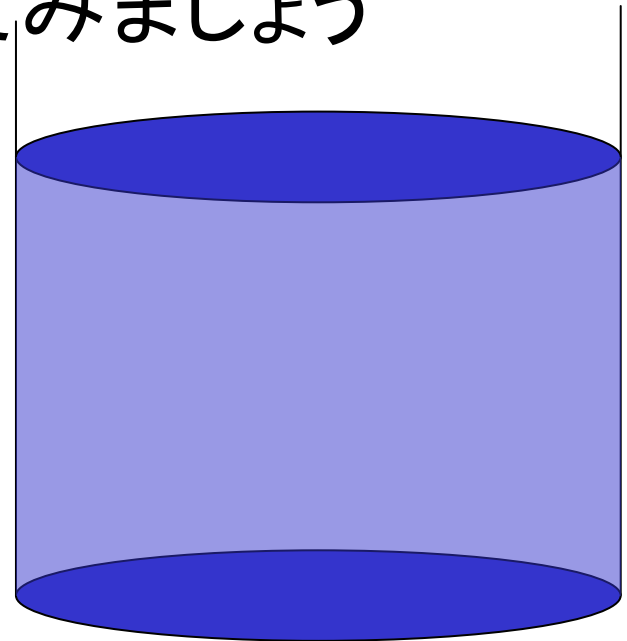
### Newtonの運動の法則(第2法則)

(質量) × (加速度) = (物体に働いている力)

- 物体が運動していなければ, 物体に働いている力**は**バランスしている
  - 前回の講義で基本となった考え
- 一定の速度で運動している物体に働いている力**も**バランスしている
  - 例えば, . . . 加速・減速する電車の中を想像して下さい.

# 本題：状況設定

- 円筒型の容器
- 水が入っている
- ガラス棒でかき混ぜてみましょう
- どうなりますか？
  - 真ん中が凹む
- 何故でしょう？

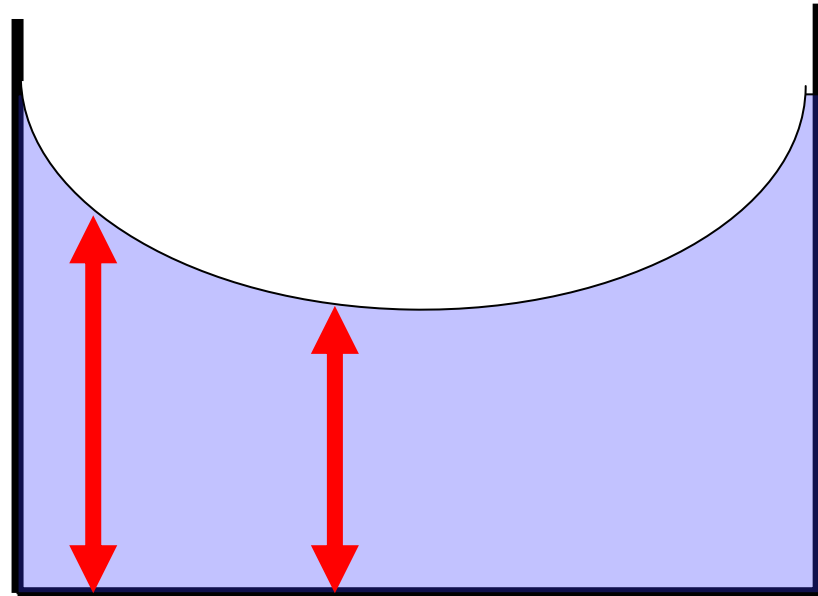


# 断面を切り出してきて

- 前回の議論を思い出すと...
- コップの端は水深が深い
- コップの中心は水深が浅い
- 中心付近ほど圧力(水圧)が低い

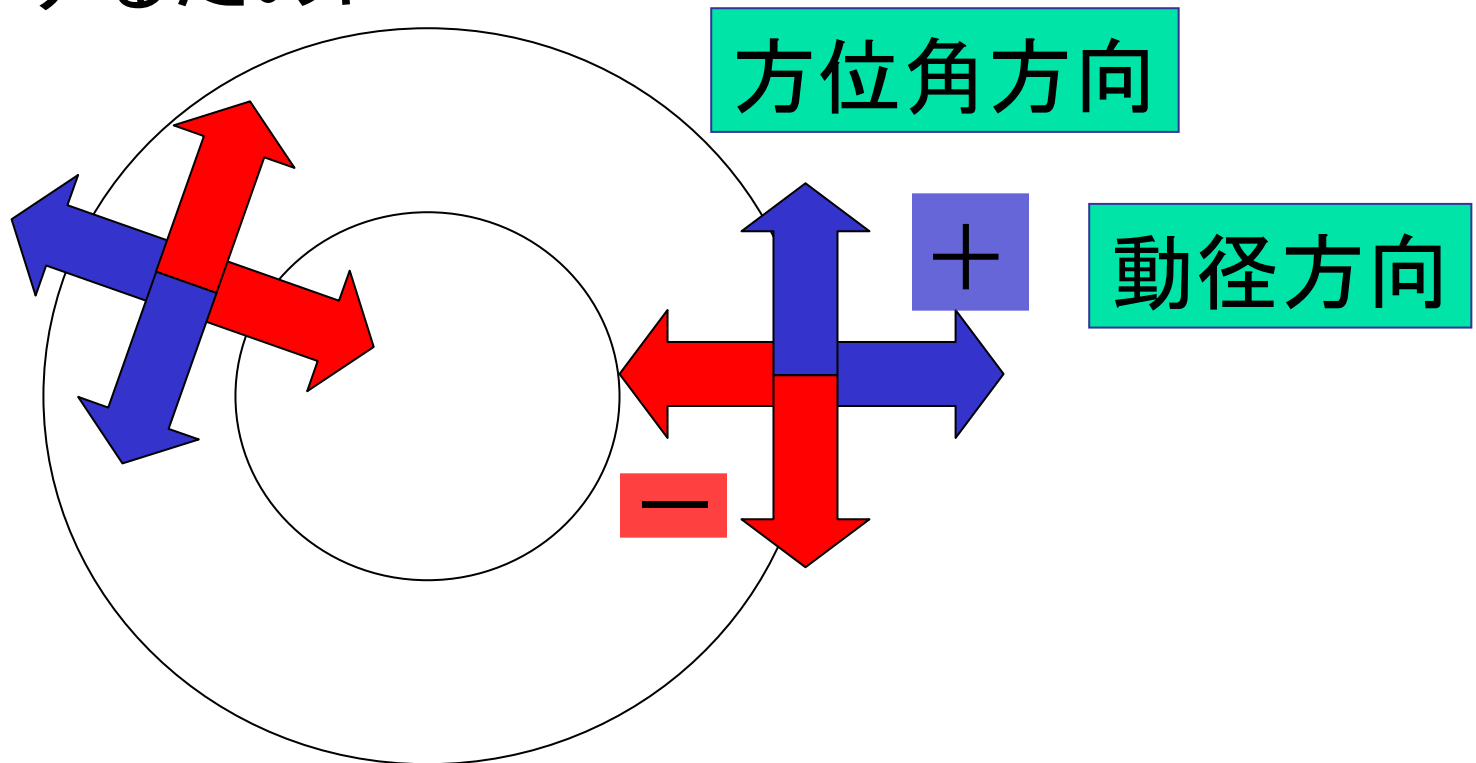
## ■ 低気圧のような圧力分布

- 以下の話は気圧と水圧を読み変えても成り立つ話



# 約束事

- 日常経験を論理的につなぎ合わせて説明するために



# 流体に働く力(1)

## ■ 圧力傾度力

- 空間的に気圧に差があるとその差に応じた力が働く
- 向きは気圧の高い方から低い方

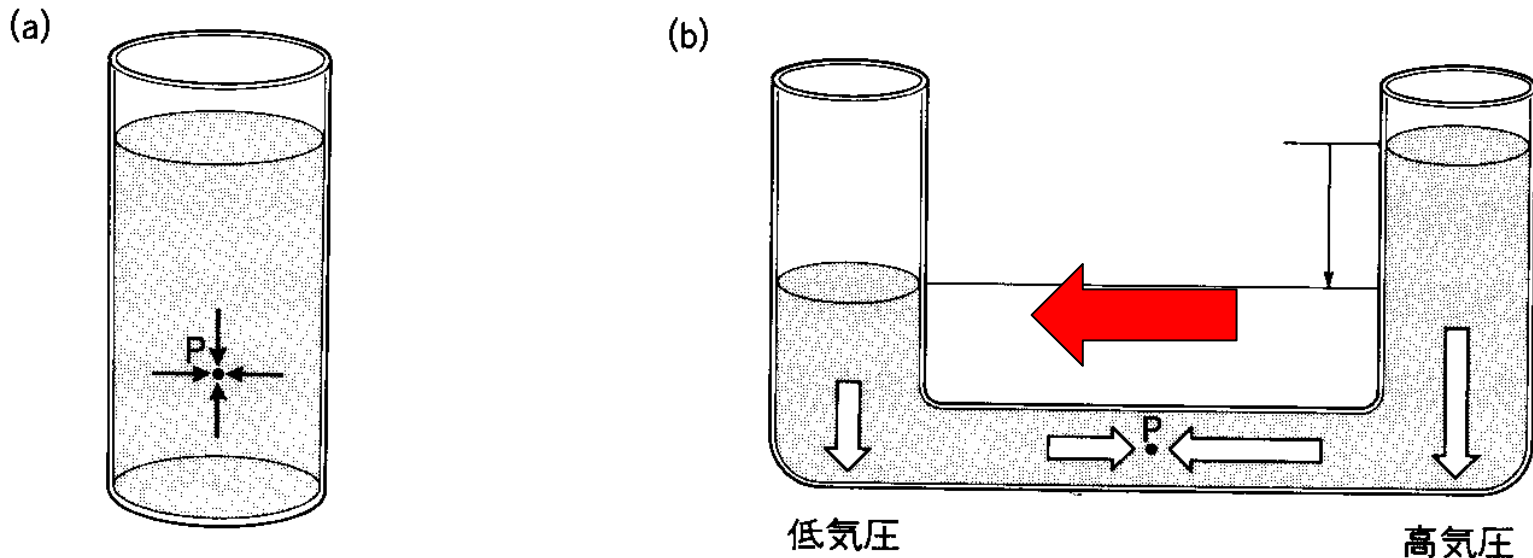


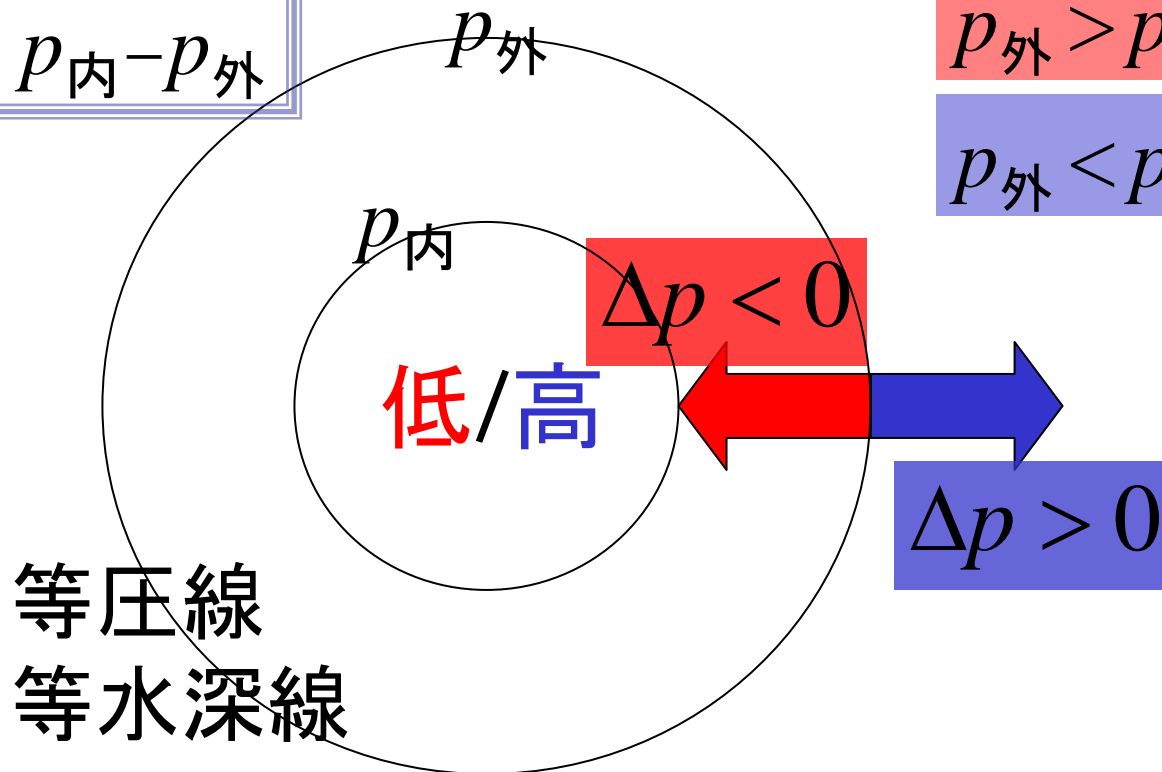
図14 風の吹く理由 (a)では空気の微小部分Pはどの方向からも等しい圧力を受けるので動かない。(b)では左右の圧力が違うため、空気は低気圧に向かって流れる。左右の気圧差がなくなると、大気の流れはなくなる。

- 圧力傾度力は  
 大きさ: 気圧差に比例  
 向き: 気圧の高い方から低い方

$$\Delta p = p_{\text{内}} - p_{\text{外}}$$

$p_{\text{外}} > p_{\text{内}}$ ; 低気圧

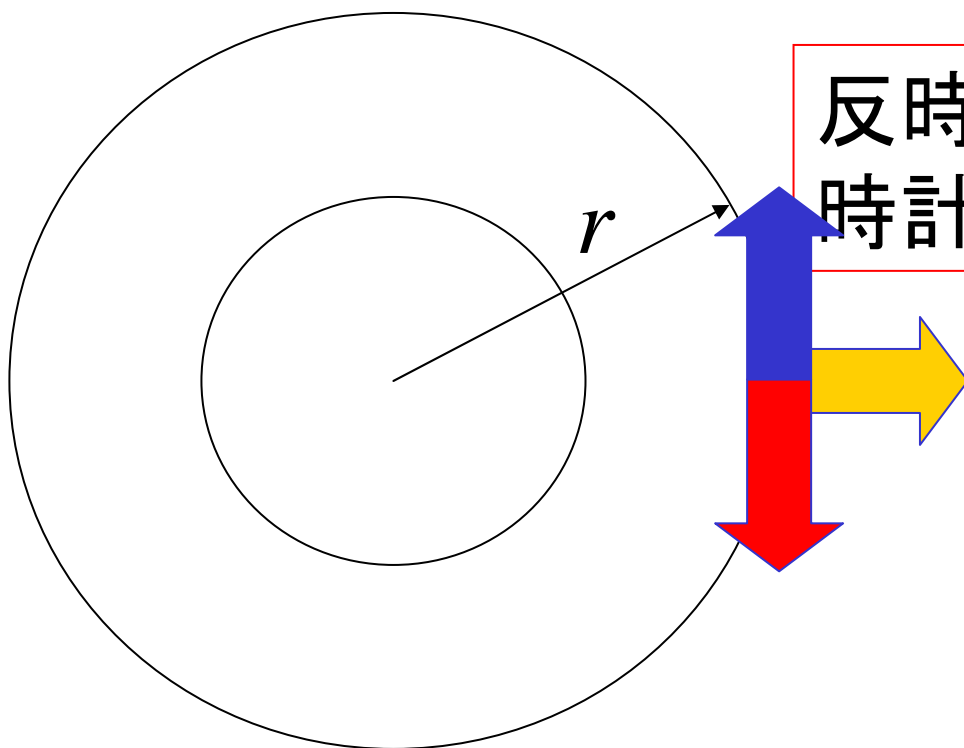
$p_{\text{外}} < p_{\text{内}}$ ; 高気圧



等圧線の間隔が狭いほど  $\Delta p$  は大きい

# 流体に働く力(2) . . . 遠心力

- **大きさ**: 風速に2乗に比例し, 中心からの距離に反比例
- **向き**: 中心から遠ざかる向き



反時計回りの風;  $u > 0$   
時計回りに吹く風;  $u < 0$

$$\frac{u^2}{r} (> 0)$$





## 以上の考えをまとめると

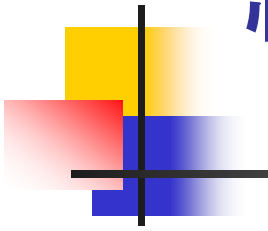
---

- 動径方向の2つの力(気圧傾度力と遠心力)がバランスしている

$$\frac{u^2}{r} + \Delta p = 0$$

旋衡風平衡

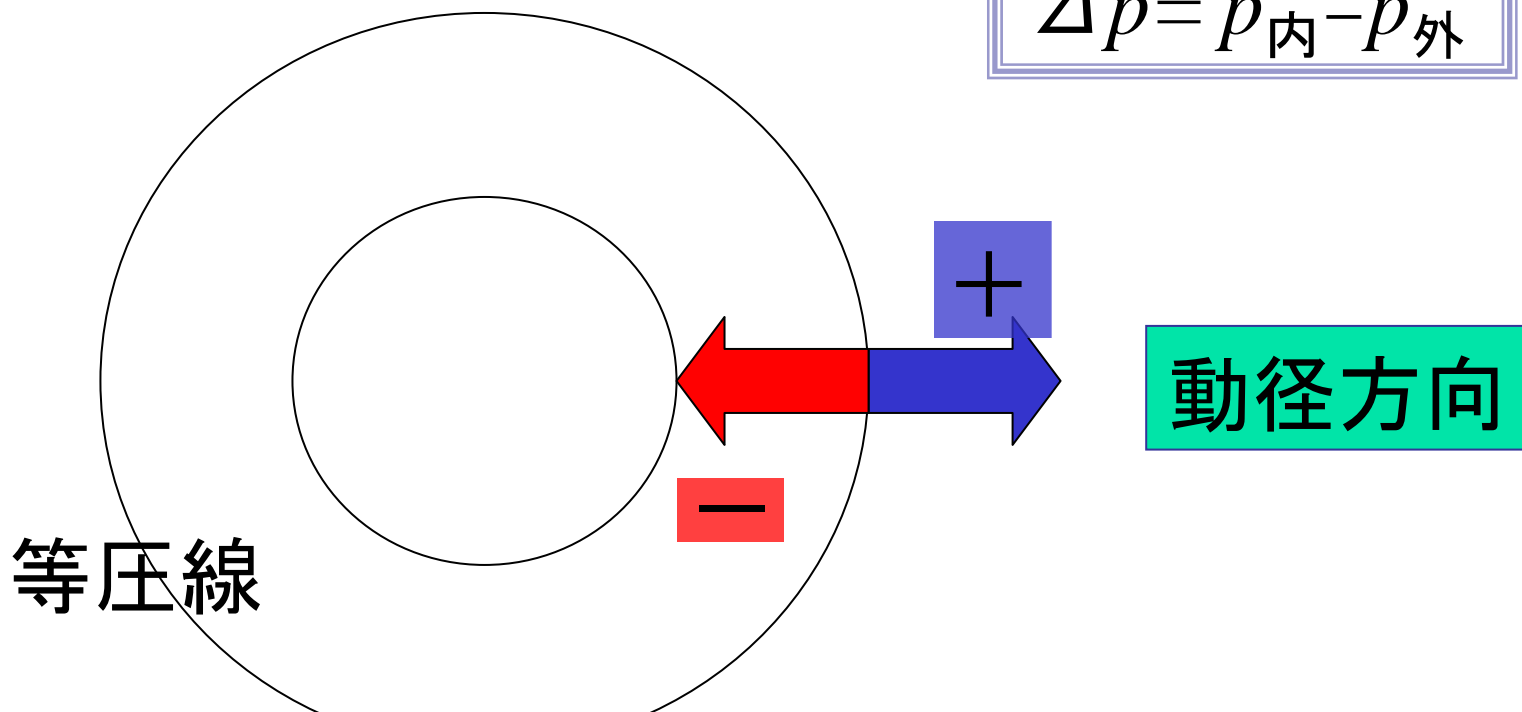
# 結果についてネチネチと吟味


$$\frac{u^2}{r} + \Delta p = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{u^2}{r} = -\Delta p$$

- $u$  は正の値も負の値もとれる
  - (反時計回りにも時計回りも可能)
- だけど  $u^2$  はいつも正の値
- 半径  $r$  (中心からの距離) も正の値
- ということは... 左辺は正の値
- 右辺も正の値
- ということは  $\Delta p$  は負の値になる

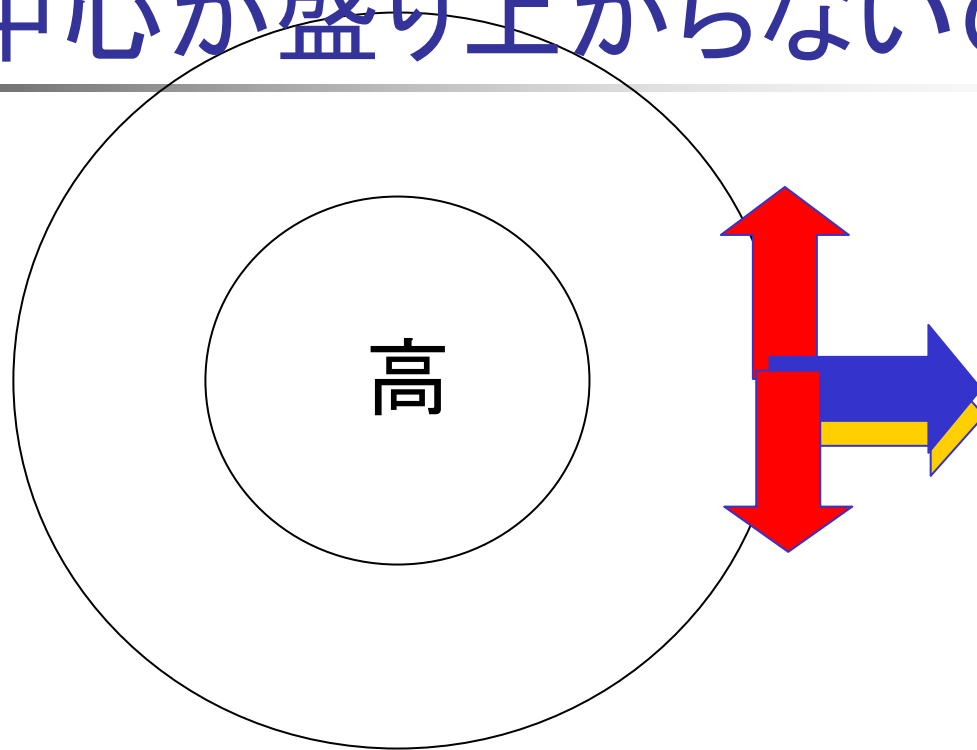
もう一度約束事を思い起こそう！

$$\Delta p = p_{\text{内}} - p_{\text{外}}$$



$\Delta p$ が負ということは中心ほど気圧が低い  
 $\Rightarrow$  中心が凹む

何でだろう？なぜ高気圧はできない？（中心が盛り上がらないの？）



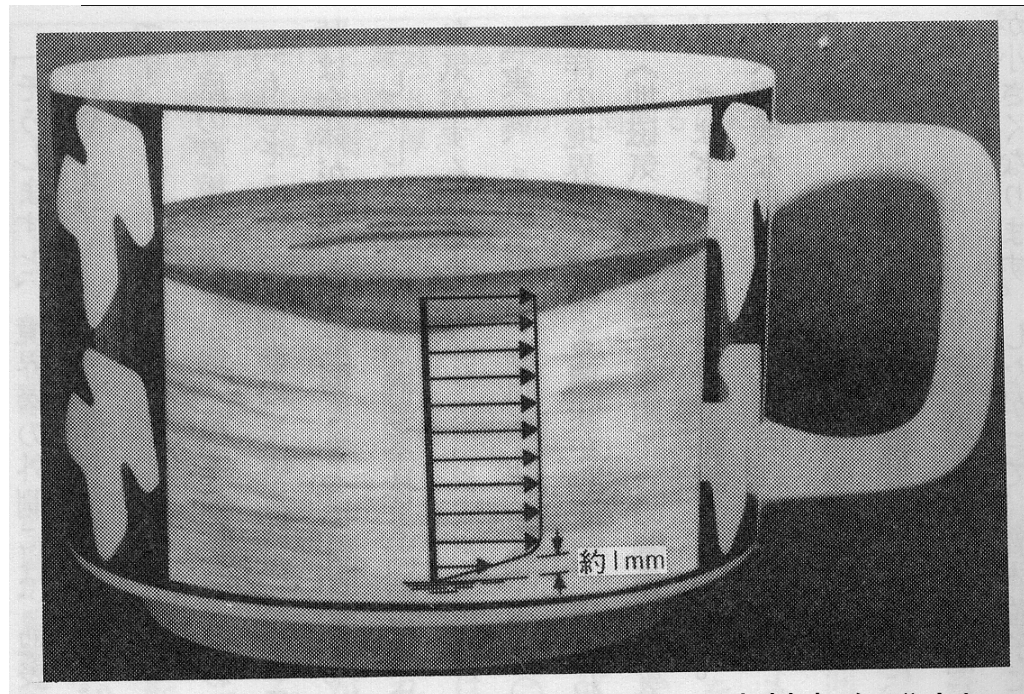
気圧傾度力(外向き)

遠心力(外向き)

力のバランスが成立しない！

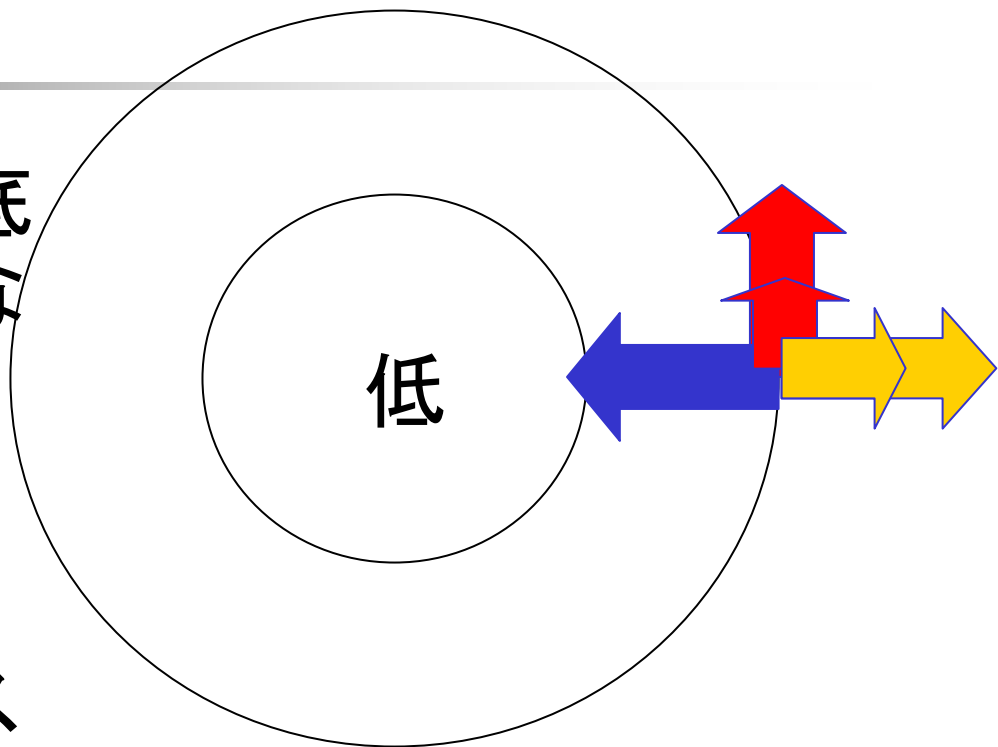
# さらに付け加えて: ティーカップの中では...

- 茶葉が中心付近に集まる
- とけ残った砂糖が中心付近に集まる



# なぜ中心付近にもものがたまるか？

- 水の粘性のために、底面付近で流れが遅くなる
- 流れが遅くなると遠心力が小さくなる.
- 圧力傾度力とバランスできない⇒中心向きの力が働く



気圧傾度力(内向き)

遠心力(外向き)

2つの力がバランス



## まとめ

---

- いくつかの日常経験を論理的に組み合わせ、ものの理を説明する
- 大気の水平構造（気圧と風の関係）
  - その前に...
  - ティーカップの中の渦を考えて見ましょう
  - ティーカップの中ではいつも低気圧
- 疑問・・・なぜ高気圧はあるの？



# 課題

---

- 学籍番号, 氏名
- 質問: コーヒーカップの中には, 高気圧に相当する現象はできない. なぜできないのか? コーヒーカップの中の流れと, 天気図で見る高・低気圧とどこが違うのか?