

地球と惑星(第3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

- 前回

- 高気圧・低気圧の周りの風の向きはどのような原理で決まるのか?

- その前に... ティーカップの中の話

旋衡風平衡

- 今回

- いよいよ本題

傾度風平衡



前回のおさらい (1)

- コーヒーもしくは紅茶を書きまぜると、コップの中心付近の水面は、盛り上がるか？へこむか？
- 気圧(水圧)とは... (第一回目の授業参照)
 - ある点よりも上空に存在している空気や水の質量に比例
- 水面が盛り上がるならば圧力の分布は高気圧的
- 水面がへこむならば圧力の分布は低気圧的

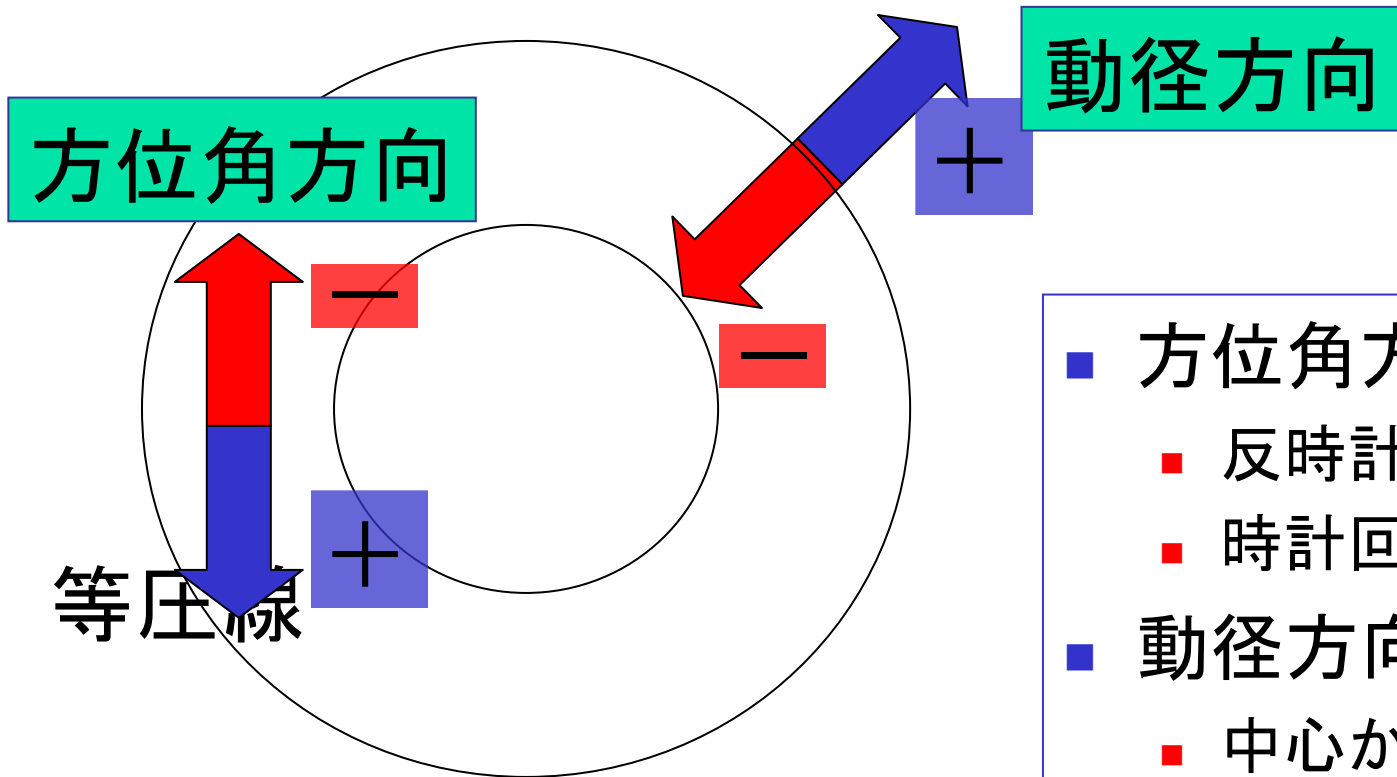


前回の授業のおさらい(2)

- 水面の形は2つの力のバランスで決まる.
- 2つの力とは・・・
 - 気圧傾度力
 - 遠心力

状況設定と 約束事

- 流れは定常的な旋回流
- 流体の微小部分に働く力
- 動径方向の力のバランス



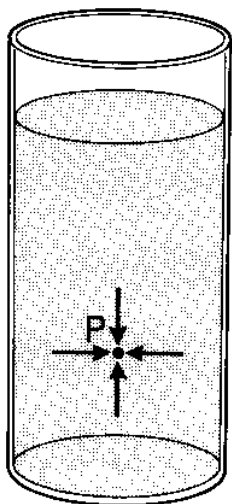
- 方位角方向:
 - 反時計回り...+
 - 時計回り...-
- 動径方向:
 - 中心から外向き...+
 - 中心向き...-

流体に働く力(1)

■ 気圧傾度力

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

(a)



(b)

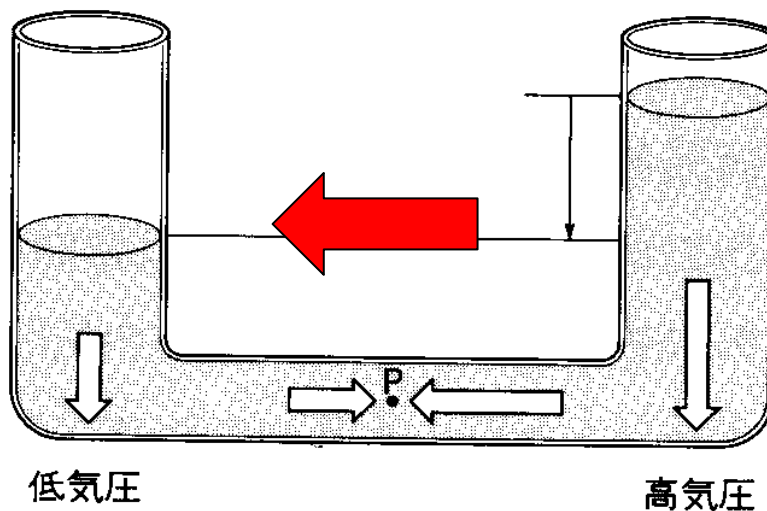
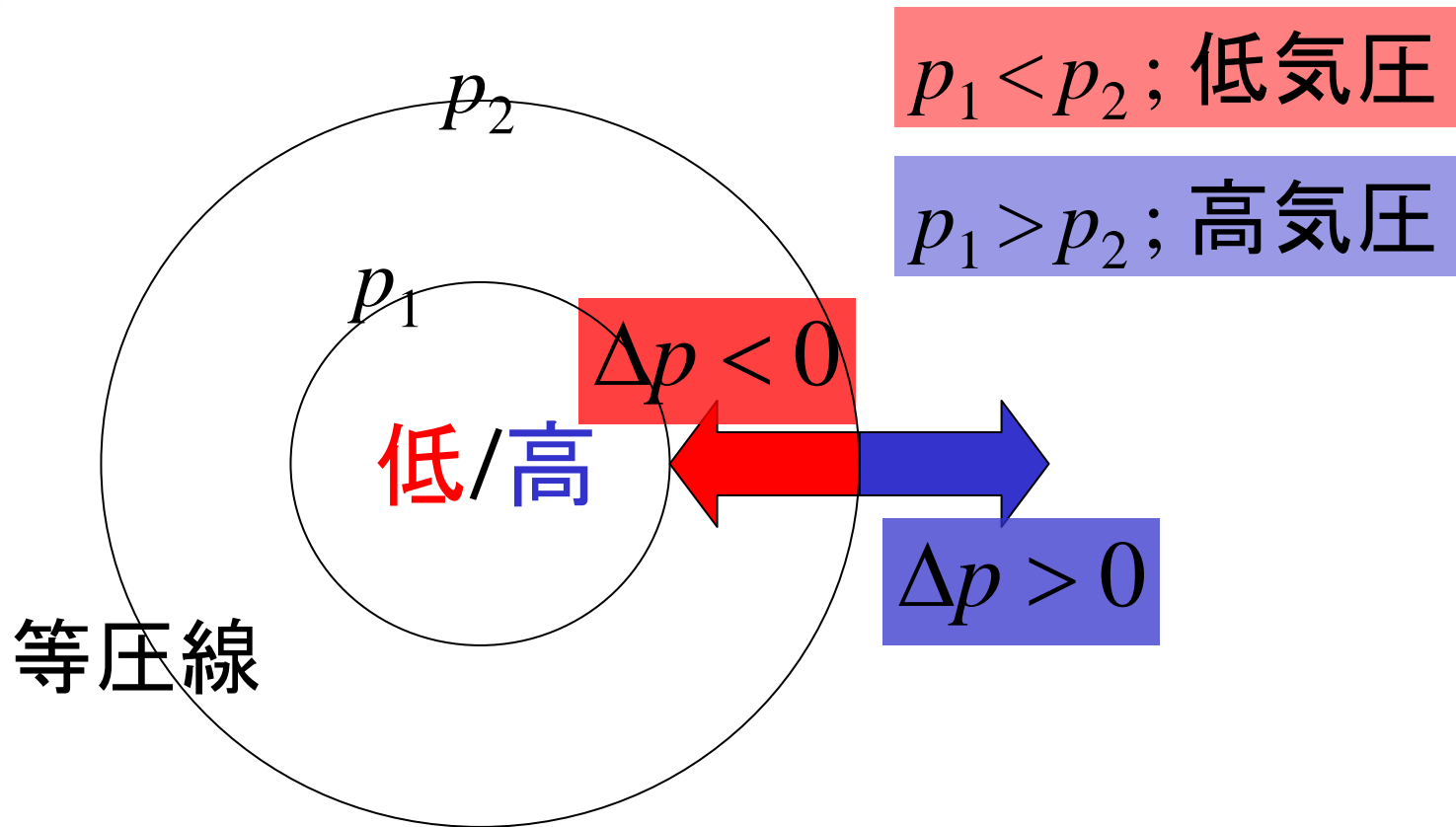


図 14 風の吹く理由 (a)では空気の微小部分Pはどの方向からも等しい圧力を受けるので動かない。(b)では左右の圧力が違うため、空気は低気圧に向かって流れる。左右の気圧差がなくなると、大気の流れはなくなる。

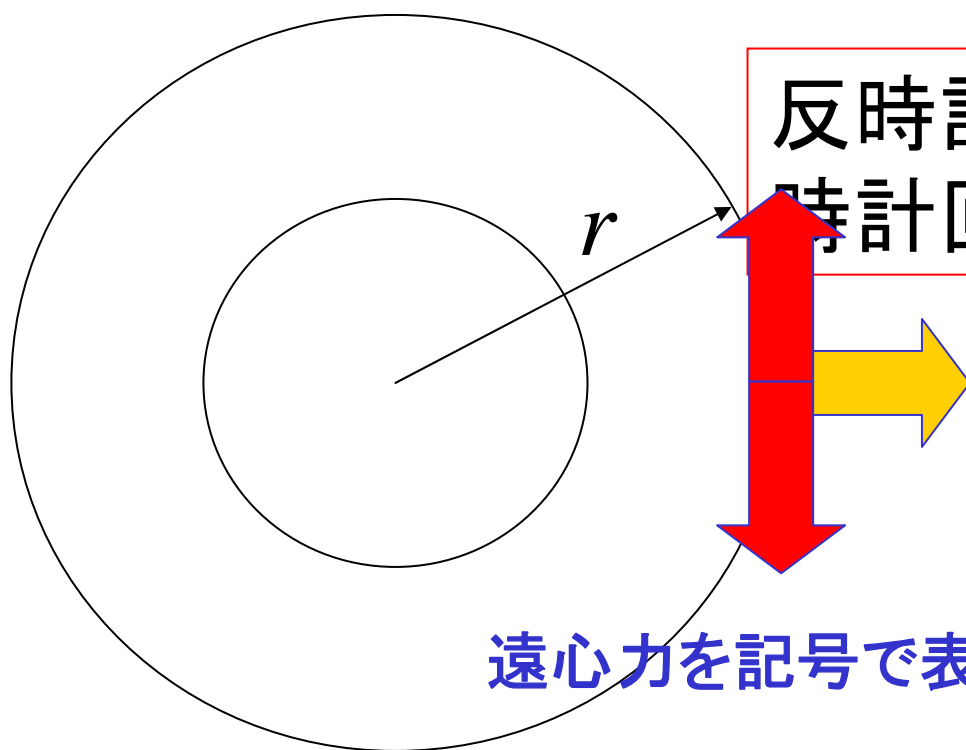
- 気圧傾度力は
大きさ: 気圧差に比例
向き: 気圧の高い方から低い方



気圧傾度力を記号で表す: $\Delta p = p_1 - p_2$

流体に働く力(2) . . . 遠心力

- **大きさ**: 風速の2乗に比例中心からの距離に反比例
- **向き**: 中止から遠ざかる向き



反時計回りの風; $u > 0$
時計回りに吹く風; $u < 0$

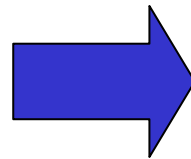
遠心力を記号で表す:

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

以上をまとめると

- 2つの力がバランスしている(ティーカップの中)

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



$$u = \pm \sqrt{-r\Delta p}$$

- 根号の中は正でなければいけない
⇒ $\Delta p < 0$ でなければならない!
⇒ つまり液面は中心付近がへこむ!



今日の基礎知識

- 2次方程式と解の公式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

- 解は2個ある！

$$x_+ = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_- = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



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

流体に働く力(3)

■ Coriolisの力 (転向力)

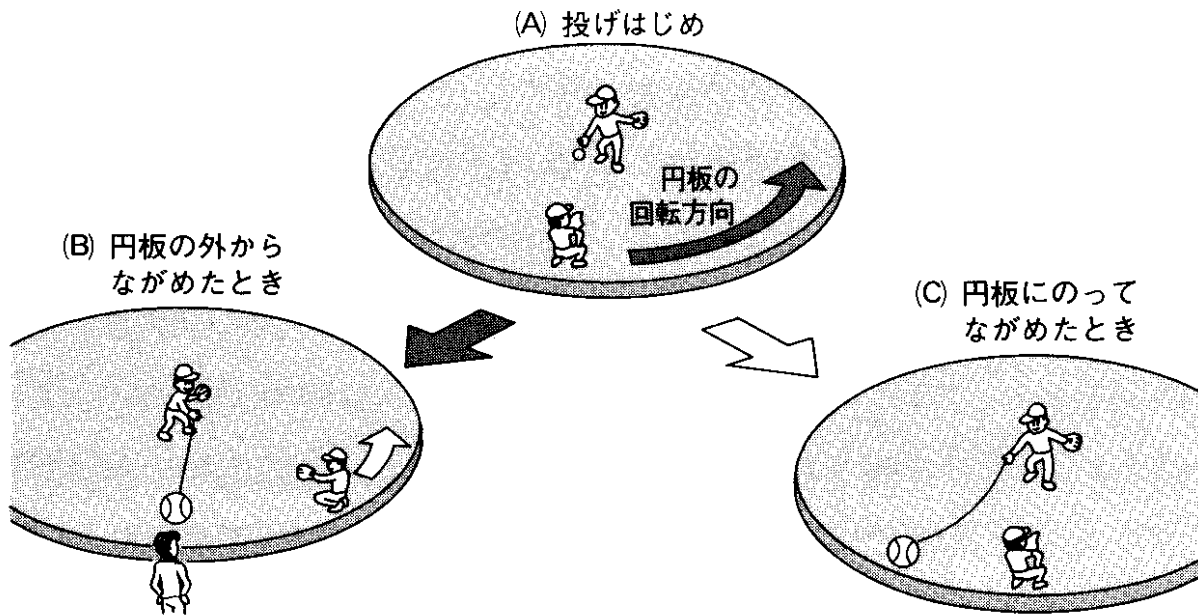


図 15 転向力 回転円板の中心にいる投手が、円板の端にいる捕手に向かって直球を投げた。円板とともに回転している人を見ると、球は進む向きに対して直角右向き of 転向力を受けて曲がって進む。



Gaspard Gustave de Coriolis

1792 – 1843

Born in France and trained as an engineer, Gaspard Gustave de Coriolis began a teaching and research career at age 24. Fascinated by problems related to rotating machinery, he was led to derive the equations of motion in a rotating framework of reference. The result of these studies was presented to the Académie des Sciences in the summer of 1831.

The world's largest experimental rotating table, at the Institut de Mécanique in Grenoble, France, is named after him and has been used in countless simulations of geophysical fluid phenomena. (*Photo from the archives of the Académie des Sciences, Paris.*)

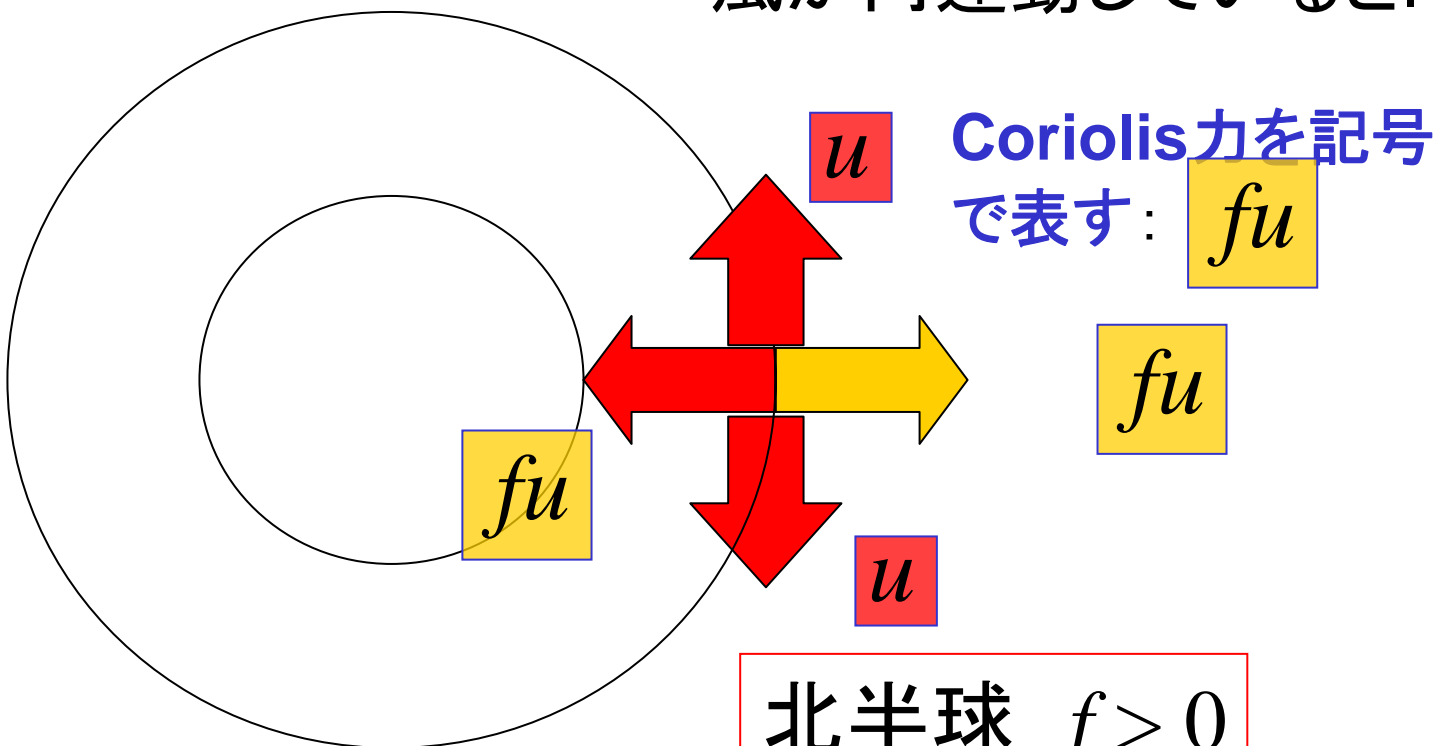
B. Cushman-Roisin, "Introduction to Geophysical Fluid Dynamics"
Prentice Hall

- 転向力

- 大きさ: 地球の自転, 風の速さに比例

- 向き: 北半球では風の進行方向に右向き

風が円運動していると...



f : 自転角速度

北半球 $f > 0$

南半球 $f < 0$



Coriolis力についての注意

- Coriolisの力は非常に小さく日常生活では無視できる.
 - 100 km/hのスピードでボールを投げたとき... 100 m 先の地点で1.5 cm程しかずれない.
 - 日常生活ではほとんど無視できる.
 - 大陸間弾道ミサイルには重要！
 - 地球的規模の現象を考えるとときにのみ考慮する必要がある.



以上をまとめて...

- これら3つのカバランス

傾度風平衡

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

- u についての2次方程式
- 解の公式を使って解を求める！

解についてネチネチ吟味 (1)

$$u^{(+)} = \frac{-fr + \sqrt{(fr)^2 - 4r\Delta p}}{2}, u^{(-)} = \frac{-fr - \sqrt{(fr)^2 - 4r\Delta p}}{2}$$

低気圧 ($\Delta p < 0$) を考える.

■ 解は2つ

- ◆ +の符号・・・ $u^{(+)}$ は正 (反時計回り)
- ◆ -の符号・・・ $u^{(-)}$ は負 (時計回り)

北半球に時計回りの低気圧が存在できる！

解についてネチネチ吟味 (2)

$$u^{(+)} = \frac{-fr + \sqrt{(fr)^2 - 4r\Delta p}}{2}, u^{(-)} = \frac{-fr - \sqrt{(fr)^2 - 4r\Delta p}}{2}$$

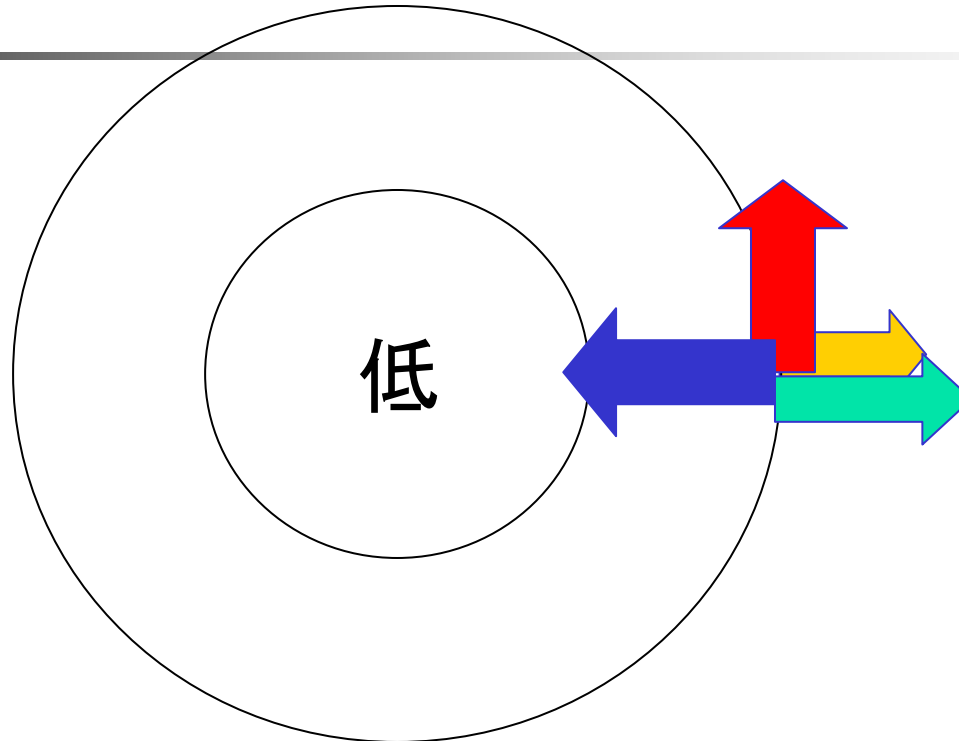
高気圧 ($\Delta p > 0$) を考える.

■ 解は2つ

◆ + の符号... $u^{(+)}$ は負 (時計回り)

◆ - の符号... $u^{(-)}$ は負 (時計回り)

常識的な低気圧



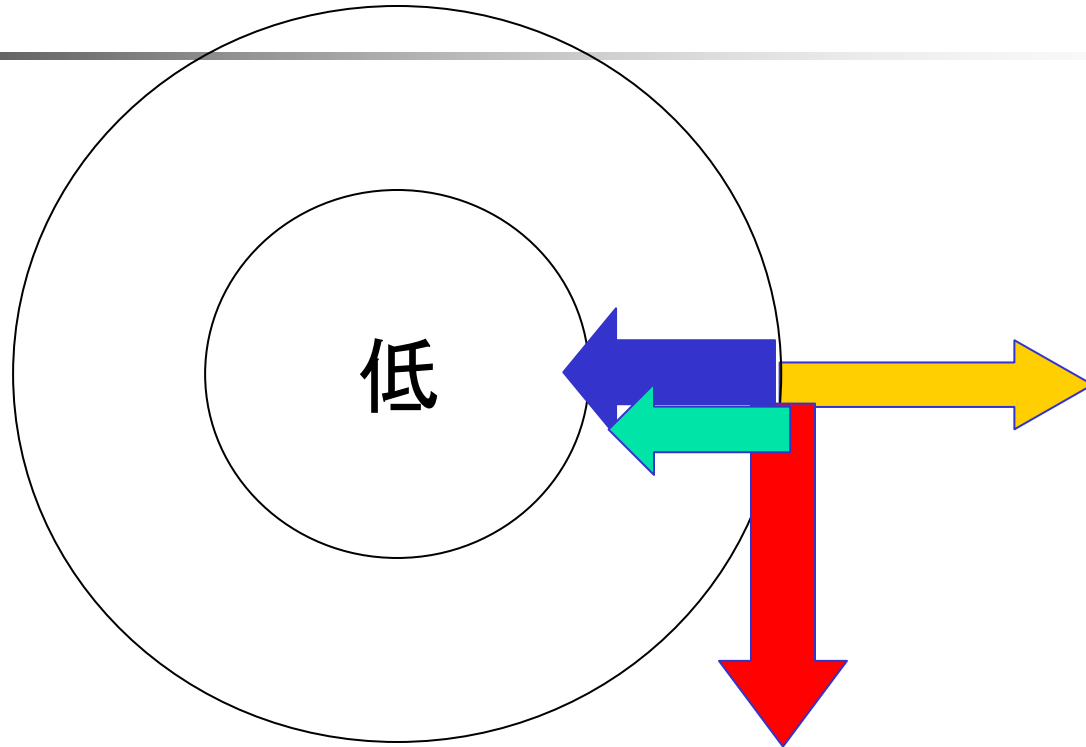
気圧傾度力(内向き)

遠心力(Ce)(外向き)

Coriolis力(外向き)

3つの力がバランス

非常識的な低気圧



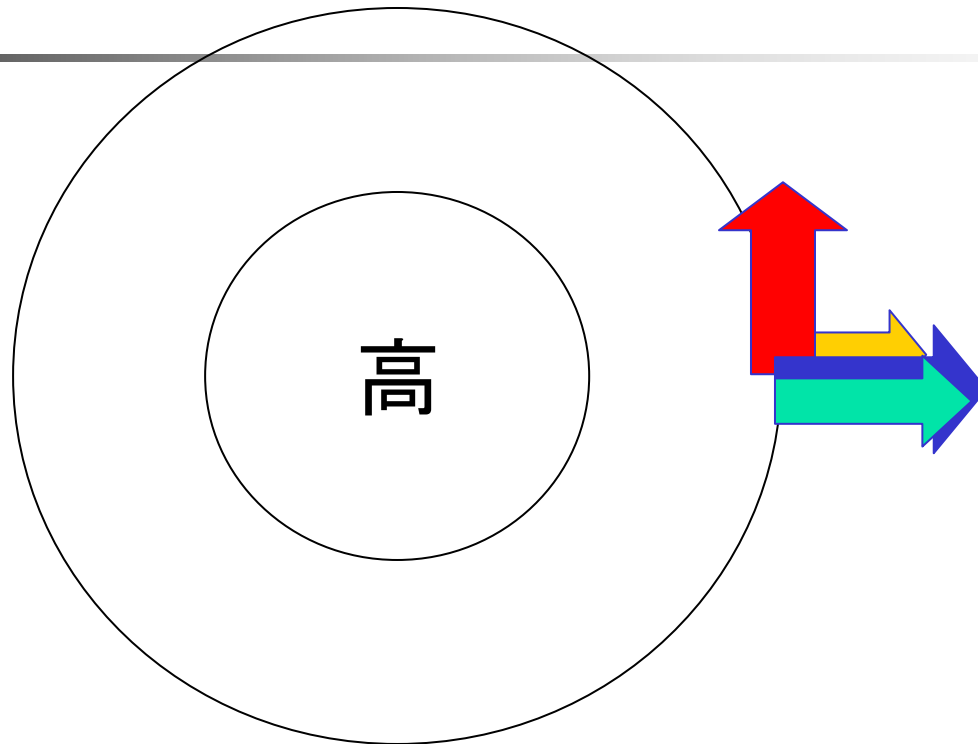
気圧傾度力(内向き)

遠心力(C_e)(外向き)

Coriolis力(内向き)

3つの力がバランスできる

なぜ反時計回りの高気圧は出来ない



気圧傾度力(外向き)

遠心力(C_e)(外向き)

Coriolis力(外向き)

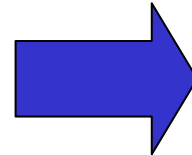
3つの力はバランスできない！

他の可能性

- これら3つの力バランスではなく、2つの力のバランス

地衡風平衡

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



$$fu + \Delta P = 0$$

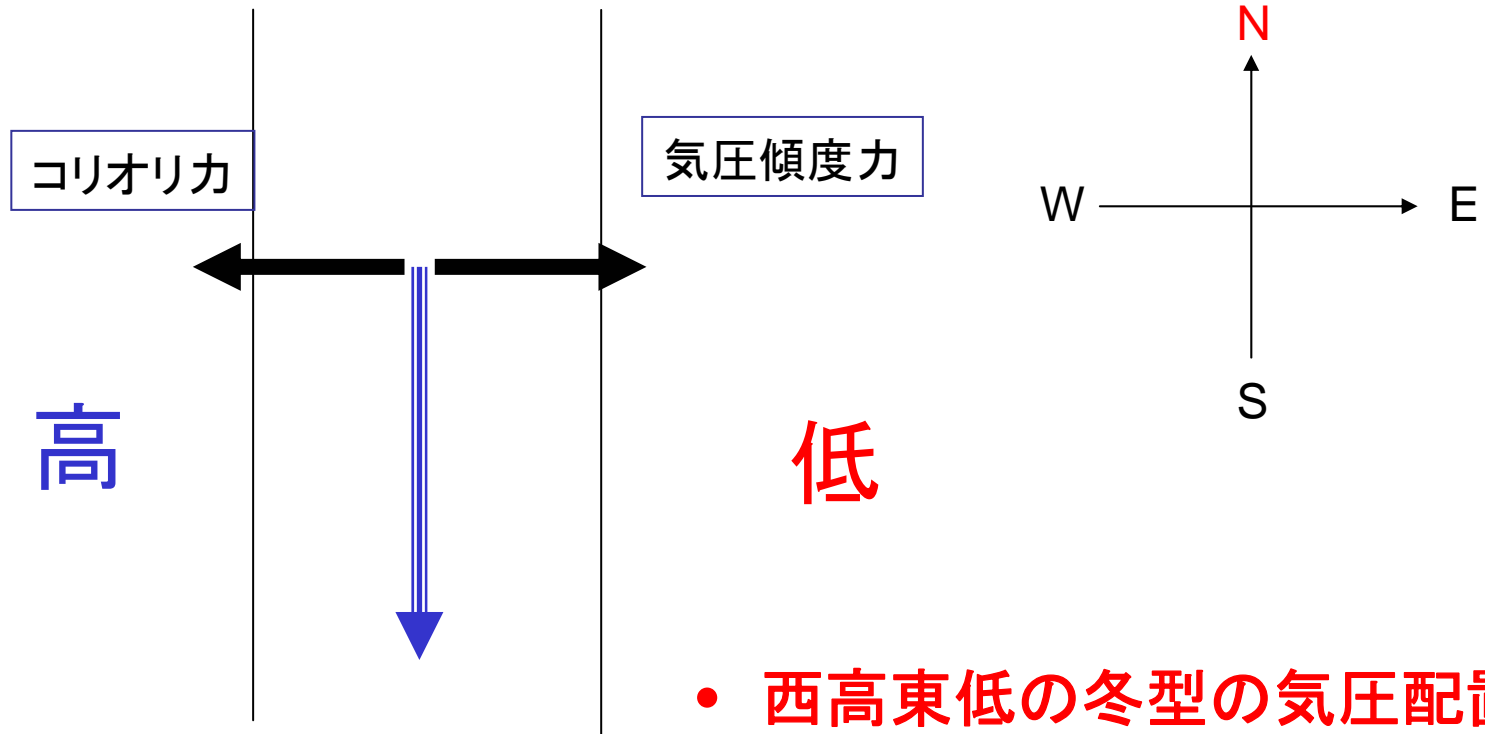
- 流れがあまり曲がっていない状況.
- 遠心力が無視できる.

地衡風平衡における風の向きと気圧の分布

$$u = -\frac{\Delta P}{f}$$

- 北半球 ($f > 0$) を考える.
- 低気圧側に中心があるとする $\Delta P < 0$ なので, $u > 0$ (反時計回り)
- 高気圧側に中心があるとする $\Delta P > 0$ なので, $u < 0$ (時計回り)

地衡風平衡における風の向きと気圧の分布



- 西高東低の冬型の気圧配置
- 冬は北風が吹いて寒い



まとめ

- 大気の水平構造を支配している物理法則について解説・・・特に気圧と風の向きに注目して
 - 傾度風平衡(気圧傾度力, コリオリ力, 遠心力のバランス)
 - 2次方程式とその解の性質
 - 時計回りの低気圧が可能
 - 高気圧の周りの風は必ず時計回り
 - 旋衡風平衡(気圧傾度力, 遠心力のバランス)
 - コーヒーカップの中ではいつも低気圧
 - 地衡風平衡(気圧傾度力, コリオリ力のバランス)

地球流体力学
に興味を持った
人のために推
薦書

■ 流れの科学

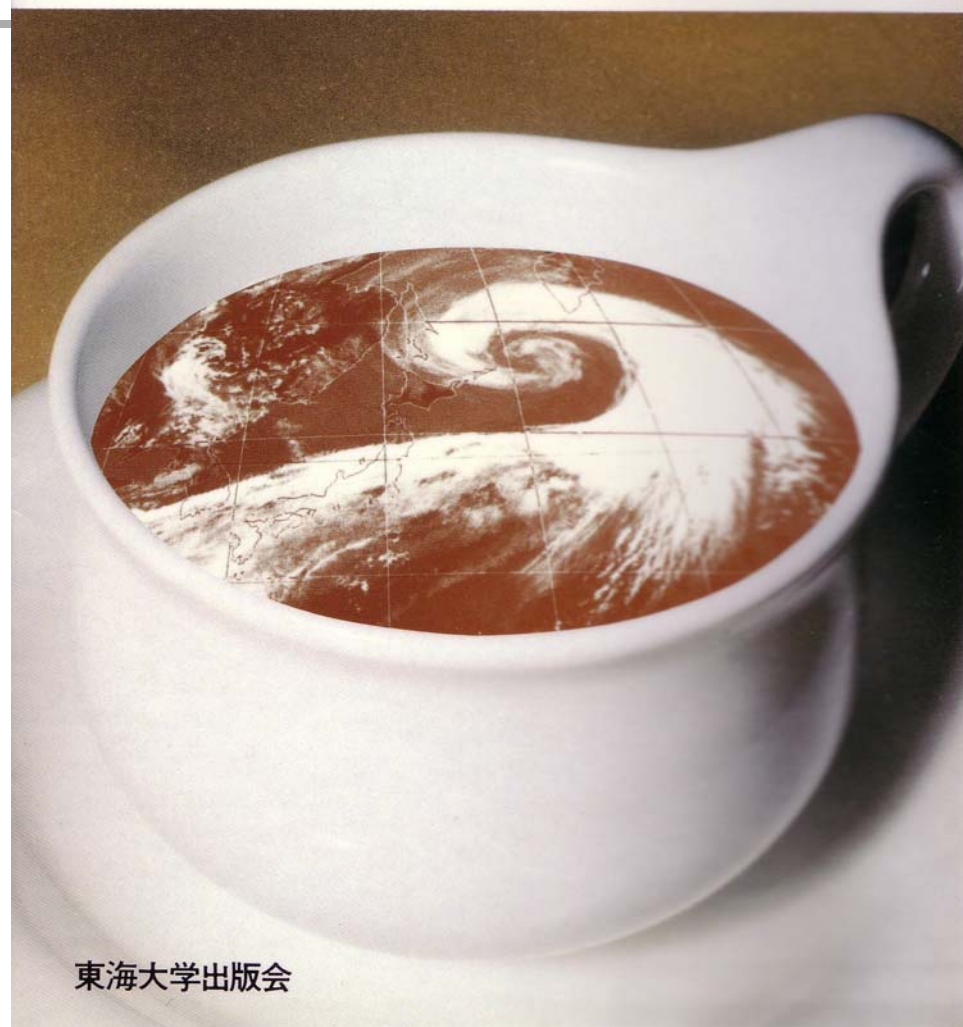
- 木村竜治
- 東海大学出版会

TS

改訂版 流れの科学

自然現象からのアプローチ

木村竜治 著



東海大学出版会

TS

改訂版
流れの科学

木村竜治 著



東海大学
出版会

課題(1)

後日教務係に提出(5月30日締め切り)

1. 学籍番号
2. 氏名
3. この講義の総合評価(100点満点で何点か?)
 - その理由について述べなさい.
 - 例えば, 講義のトピックスは適切か?, 進め方(スピード, PowerPointの使用), 質問に対する回答, 講義に対する熱意, 講義の準備状況 など..
4. その他 感想, 要望

講義の出席(1回につき5点)-> 15点
課題(2) -> 10点

合計25点

課題(2):

コーヒーカップの中の液体をスプーンでかき回すと、液面の形は軸対象で中心がへこむ。

☆印にある液体に働く力の種類とその向きを⇒で書き、中心付近がへこむ理由を説明しなさい。

後日教務係に提出(5月30日締め切り)

