



# 教養原論(自然)“地球と惑星”

■ 地球科学・惑星科学に関する4つの話題を紹介

■ 全12回

■ 4月11, 18, 25日 松田・・・天文学・宇宙科学

■ 5月2, 9, 23日 岩山・・・気象学

■ 5月 30, 6月6, 13日

小松崎・・・地球科学と天文学の横断的話題

■ 6月20, 27日, 7月4日

兵頭・・・海洋科学・古環境

5月16日は休講です。



# 幾つかの注意

---

## ■ 単位の認定方法

- 各教官25点満点で採点を行い、得点の合計が60点以上の者が合格
- 課題については各教官に問い合わせてください。
- 裏情報・・・例年どおりだと毎回の授業中に課すレポート（出席点＋レポートの出来具合）で評価している

## ■ 授業評価

- 最後の授業で授業評価アンケートを実施しますのでご協力ください。
- アンケート結果は翌年度以降の授業改善に役立っています。

# 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）

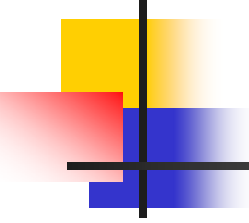
- テーマ：大気・海洋を支配する物理法則について身近な例を引き合いに出しながら説明する.
- 教養原論の目指すところ・・・**本講義の目的**
  - 各専門分野のものものの見方・考え方・学び方を理解する
  - 学問への動機付け
  - 各学問分野間の有機的な関連の理解



# テーマの選択

---

- 専門分野・・・地球流体力学
  - 気象学・海洋学の理論的学問分野
  - 気象・海洋
    - 高校では地学の対象
    - なぜ物理法則？
    - 大気・海洋の運動や構造は物理学の言葉でうまく説明できる・・・だからこそ天気予報ができる！
    - その例を示す
    - つまり物理と地学の有機的な関連を説く



---

- 物理学にたいするイメージ

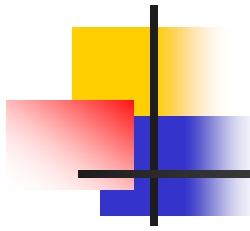
- 難解な学問！？

- 物理学の法則の多くは日常的に起こる現象をよく観察し、抽象化したもの（日常経験に立脚したもの）

- 決して難しいものではない！

- 本講義では...

- いくつかの日常経験を論理的に組み合わせて、ものの理を説明する



## 今日のキーワード

---

- 静水圧平衡 (Hydrostatic Balance)

- 地球大気・海洋，他惑星（金星，火星）の大気の鉛直構造を支配している法則



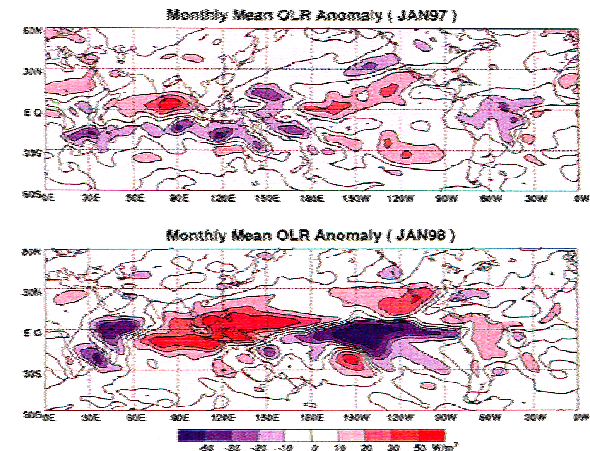
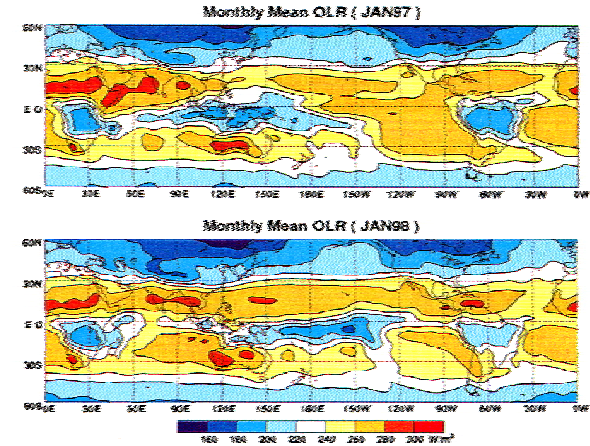
# この講義で何がわかるのか？

---

- 大気鉛直構造・・・特に気圧に注目して
  - 山に登ると気圧はどのように変化するか？
    - 気圧は上がる？気圧は下がる？
- 上記の構造を説明する物理法則は、下記と等価
- アルキメデスの原理
  - 海や風呂にはいると
    - 体が軽くなった感じがする. 浮く. 浮力
      - 浮力が原因で起こる大気海洋現象
- ペットボトルを使った手品ができる！

# 参考書

一般気象学 [第2版]  
(小倉義光 著,  
東京大学出版会)  
気象予報士の試験を受ける  
人の必読書





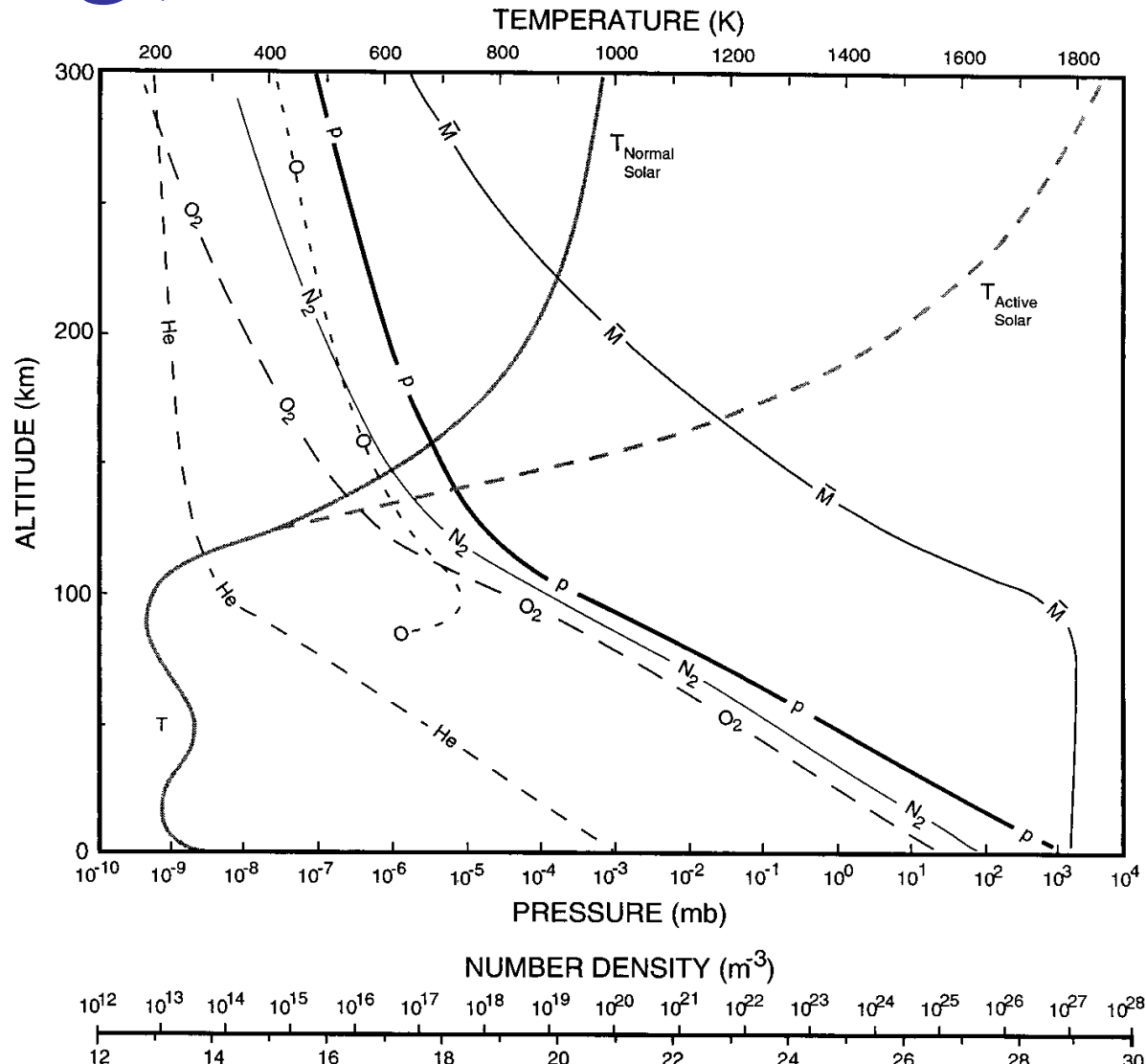


# ちょっとその前に... 空気とは？

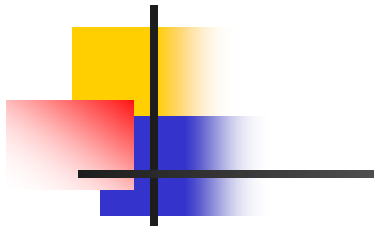
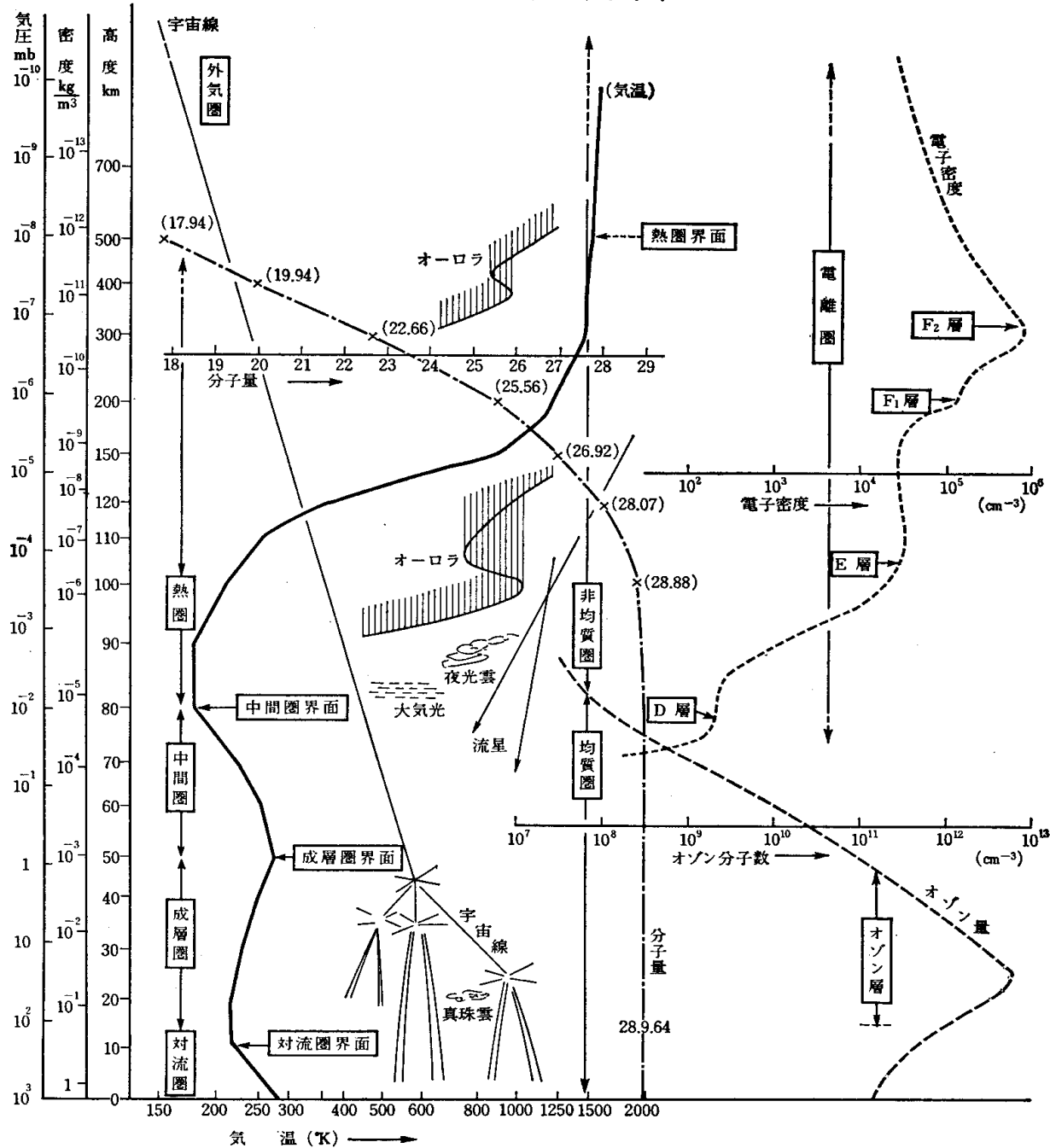
---

- 主に2種類の気体の混合物
  - 窒素 78パーセント
  - 酸素 21パーセント
  - 合計 99パーセント
    - 残りは二酸化炭素, 水蒸気などなど...

# “空気”はどのくらいの高さまで存在するか？



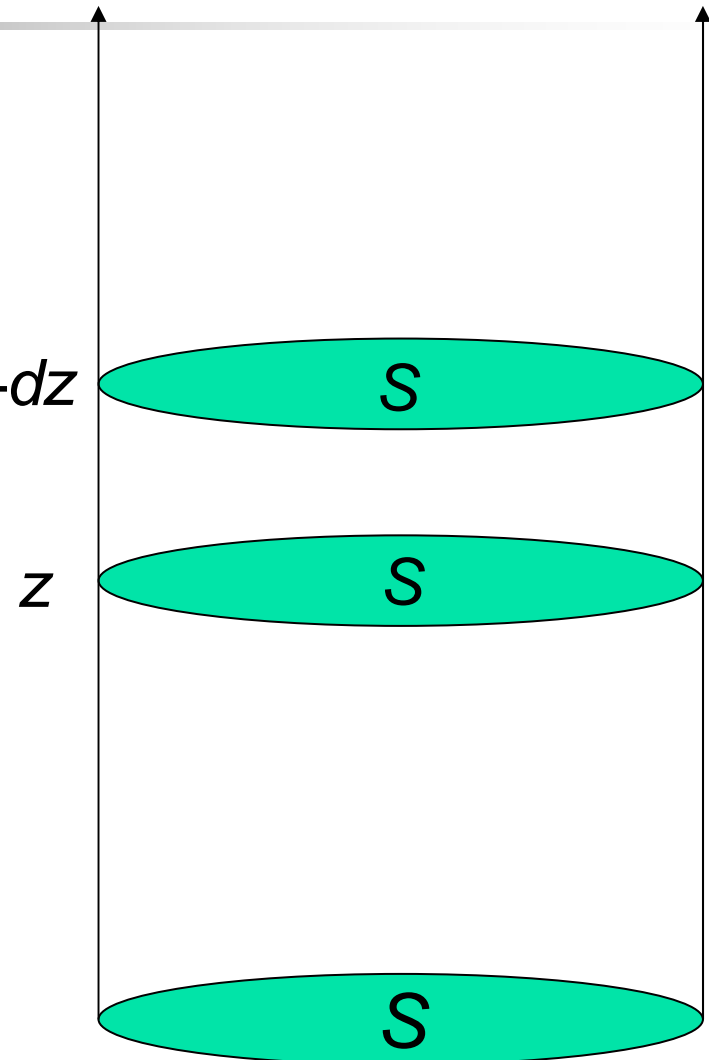
# 大気の断面図



# 大気の構造を理解するために...

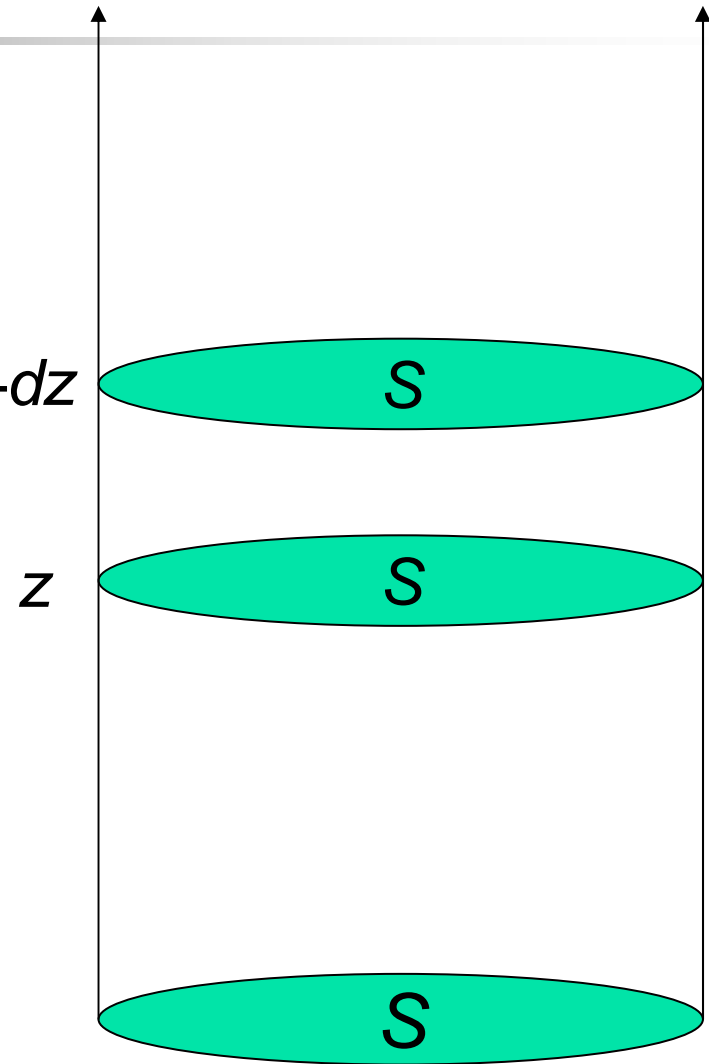
## 状況設定

- 地面から宇宙まで延びる非常に背の高い仮想的な円柱を考える
  - 円柱の底面積:  $S$ 
    - $z \sim z+dz$ にはさまれた部分の体積:  $S dz$
  - 大気の密度(単位体積あたりの質量):  $\rho$ 
    - $z \sim z+dz$ にはさまれた部分の空気の質量:  $\rho S dz$

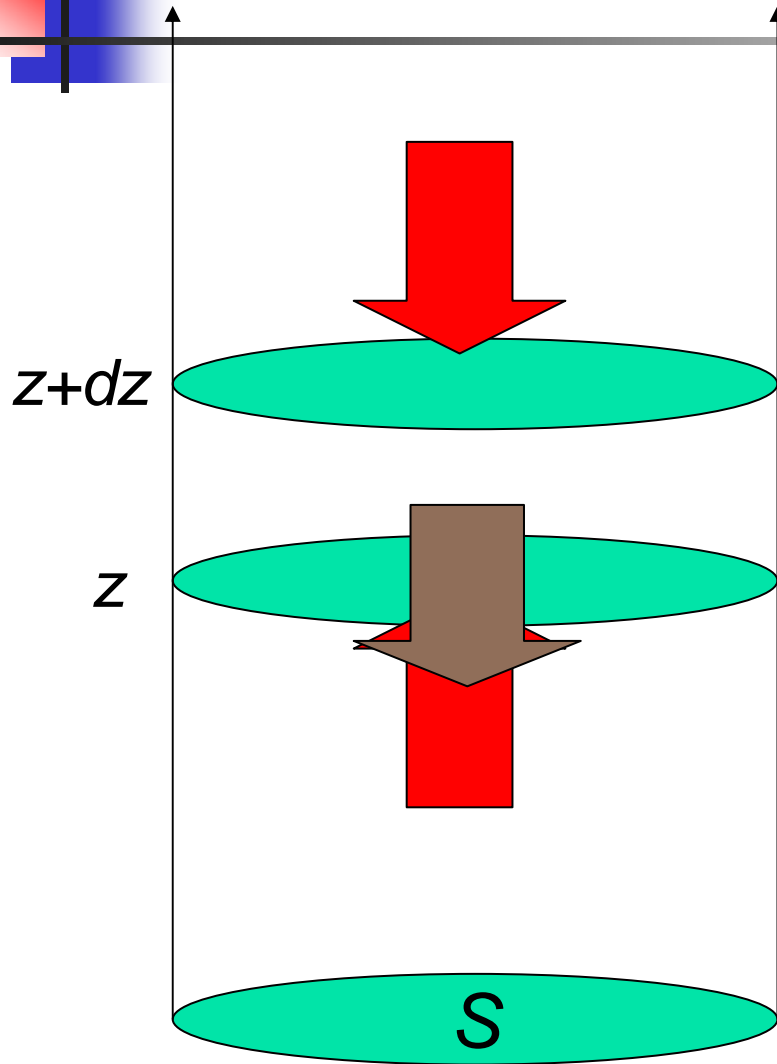


# $z$ と $z+dz$ に挟まれた部分の**空気**に働く力を考える

- 空気はどのような速度で運動しているか？
  - 地球上のあらゆるところで平均すると0であろう
    - もし、上向き(↑)の速度を持つならば、空気は宇宙空間に向かって逃げてしまう
    - 逆に、下向き(↓)の速度を持つならば、宇宙から空気が降り積もってくる
- 空気が止まっているときには、空気に働いている力は**バランスしている**



# $z$ と $z+dz$ に挟まれた部分の空気に働く力を詳しく考える



- 上面に働く圧力
  - ☆  $p(z+dz)$
  - ☆ 力は下向きに  $p(z+dz) S$
- 下面に働く圧力
  - ☆  $p(z)$
  - ☆ 力は上向きに  $p(z) S$
- $z+dz$ の間の空気に働く重力
  - ☆ 重力加速度  $g$
  - ☆ 下向きに  $g \rho S dz$
- 3つの力がバランスしている

# 前の考察をまとめると

- 上向きの力

$$p(z)S$$

- 下向きの力

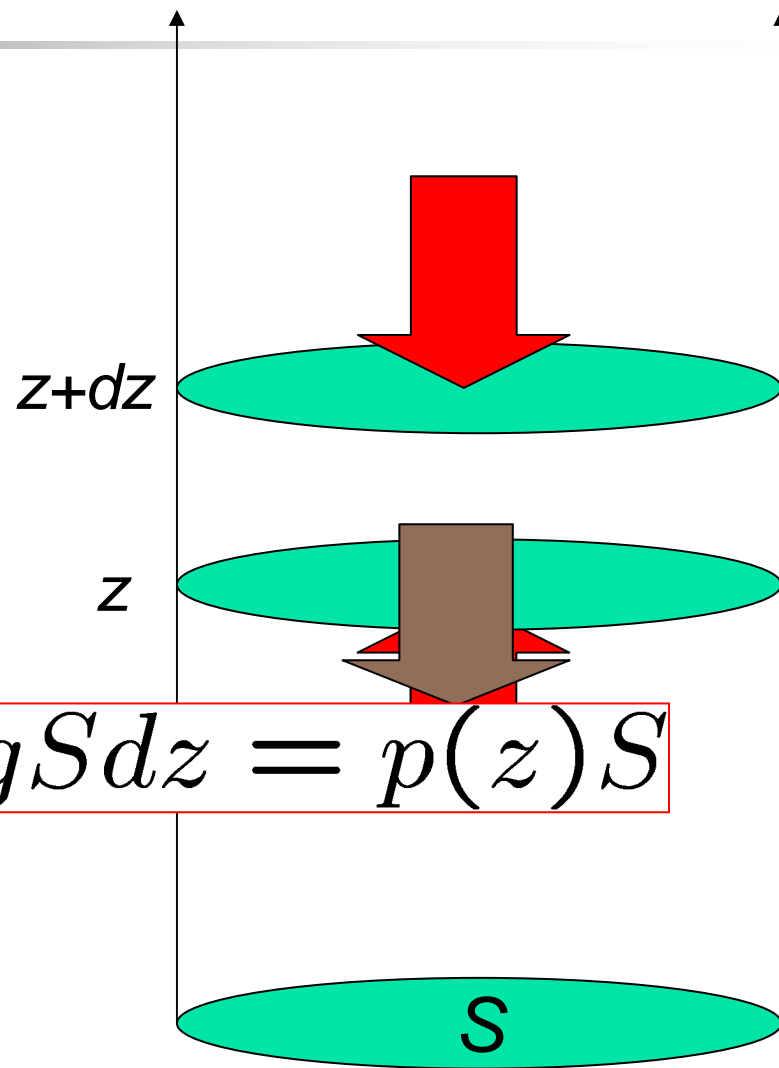
$$p(z + dz)S$$

$$\rho g S dz$$

- 最終的に

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

- 静水圧平衡



# 結果をネチネチと吟味(1)

- 上空に行くと気圧は？

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

- ちょっと複雑...  $S$ が邪魔

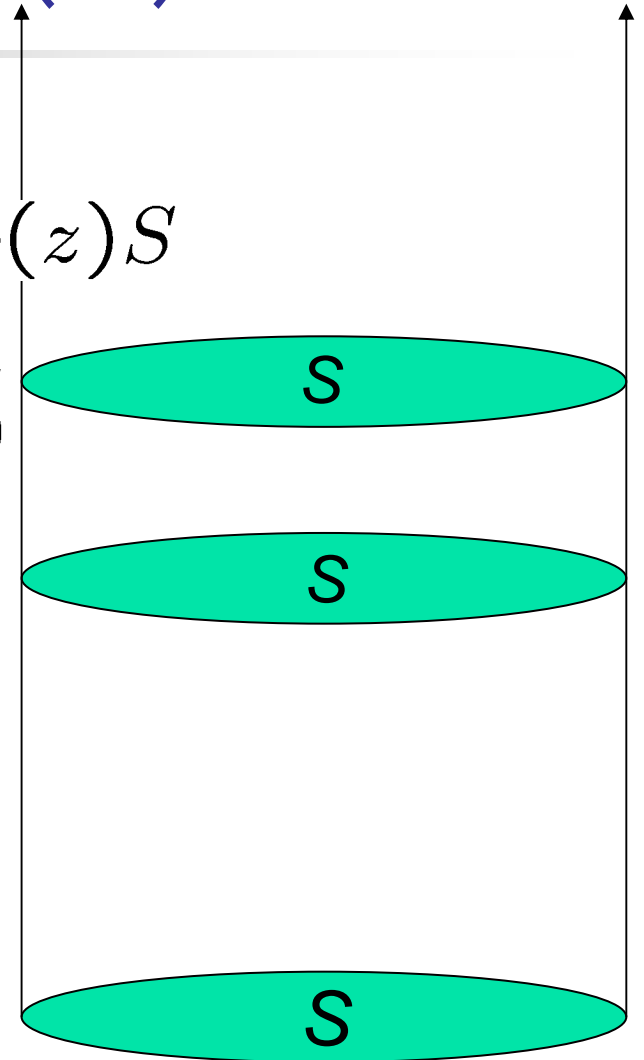
$$p(z + dz) + \rho g dz = p(z)$$

- $p(z + dz)$ と $p(z)$ の大小関係は？

$$\rho g dz > 0 \text{ なので}$$

$$p(z + dz) < p(z)$$

- つまり上空にいくと気圧は下がっていく





# 他に何がわかるのか？

## まだまだネチネチと吟味(2)

- $1\text{m}^2$ の上に乗っている空気の質量は？

- さっきの式

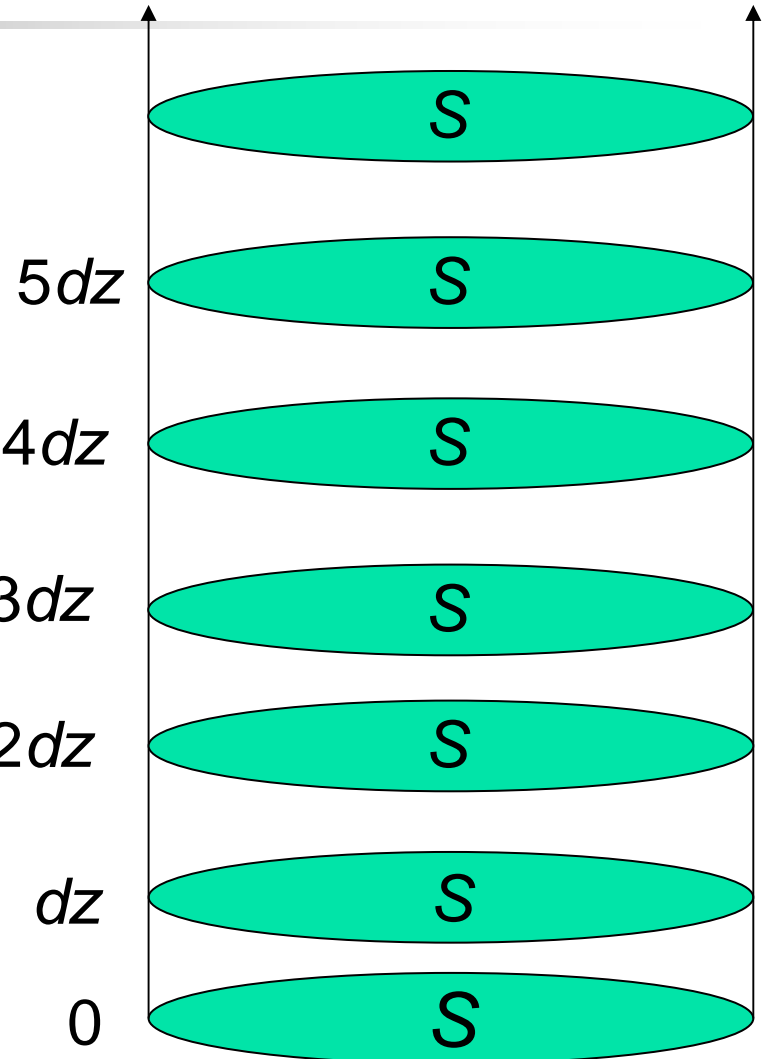
$$p(z + dz) + \rho g dz = p(z)$$

- $0 \sim dz$ について

$$p(dz) + \rho g dz = p(0)$$

- $dz \sim 2dz$ について

$$p(2dz) + \rho g dz = p(dz)$$



- この議論を続けていくと

$$p(dz) + \rho g dz = p(0)$$

$$p(2dz) + \rho g dz = p(dz)$$

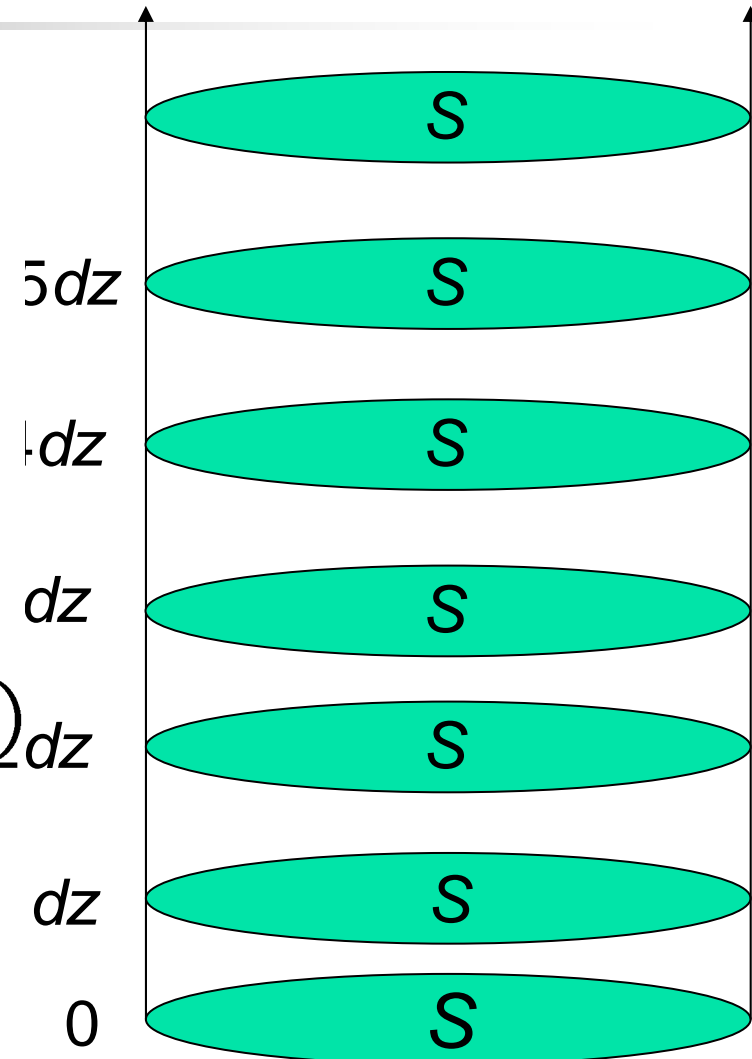
$$p(3dz) + \rho g dz = p(2dz)$$

.....

$$p(ndz) + \rho g dz = p((n - 1)dz)$$

全部足すと・・・うまい具合に

$$p(n) + \rho g ndz = p(0)$$



$$p(n) + \rho g n dz = p(0)$$

- $n$ 層より上には空気はない。したがって  $p(n dz) = 0$

- さっきの結果

$$\rho g n dz = p(0)$$

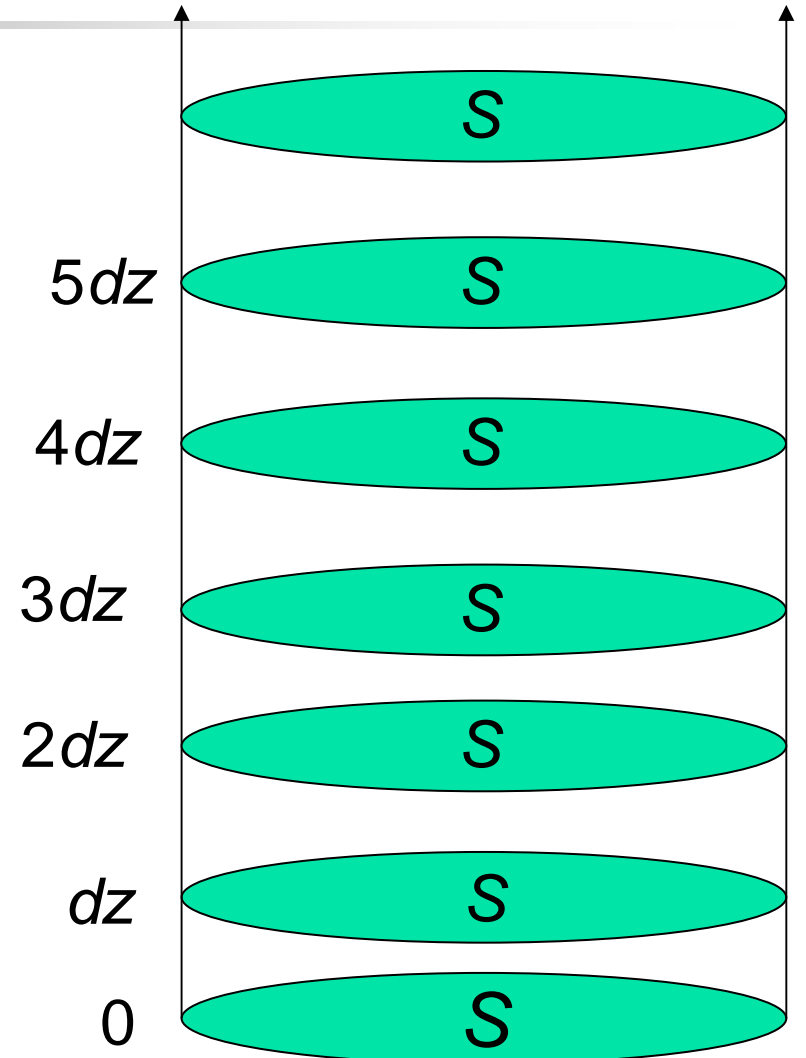
- $S=1$ とすると、円柱内の空気の質量

$$\rho n dz$$

- 円柱内の空気の重さ

$$\rho g z dz$$

- 地上気圧とはその上に乗っかっている空気の重さのことである！



# 1平方メートルあたりどのくらいの空気が乗っかっているか？

## さっきの結果

$$\rho g \Delta z = p(0)$$

## ■ 空気の質量

$$\rho \Delta z = p(0)/g$$

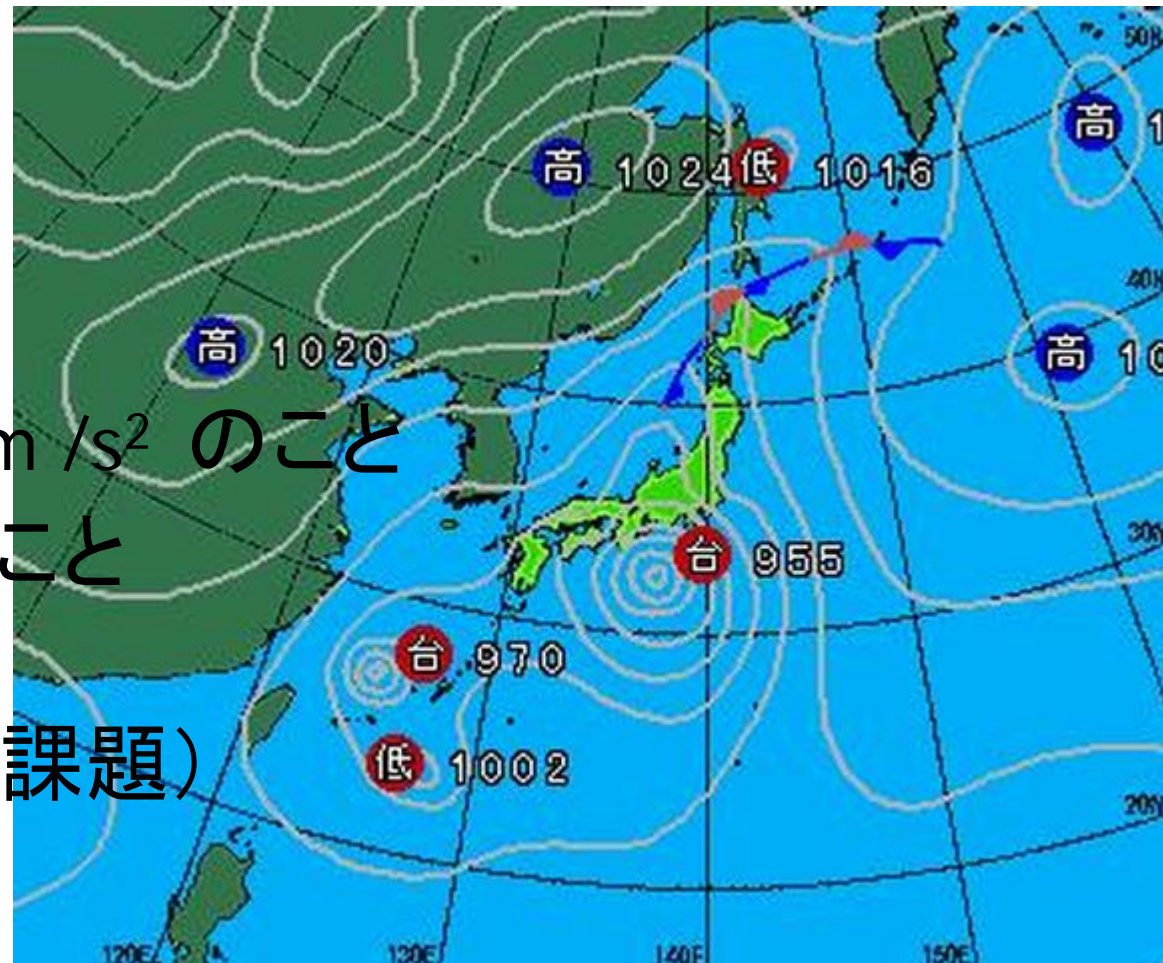
$$p(0) \sim 1000 \text{ [hPa]}$$

Paとは  $\text{kg m/s}^2$  のこと

hとは100のこと

$$g \sim 10 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

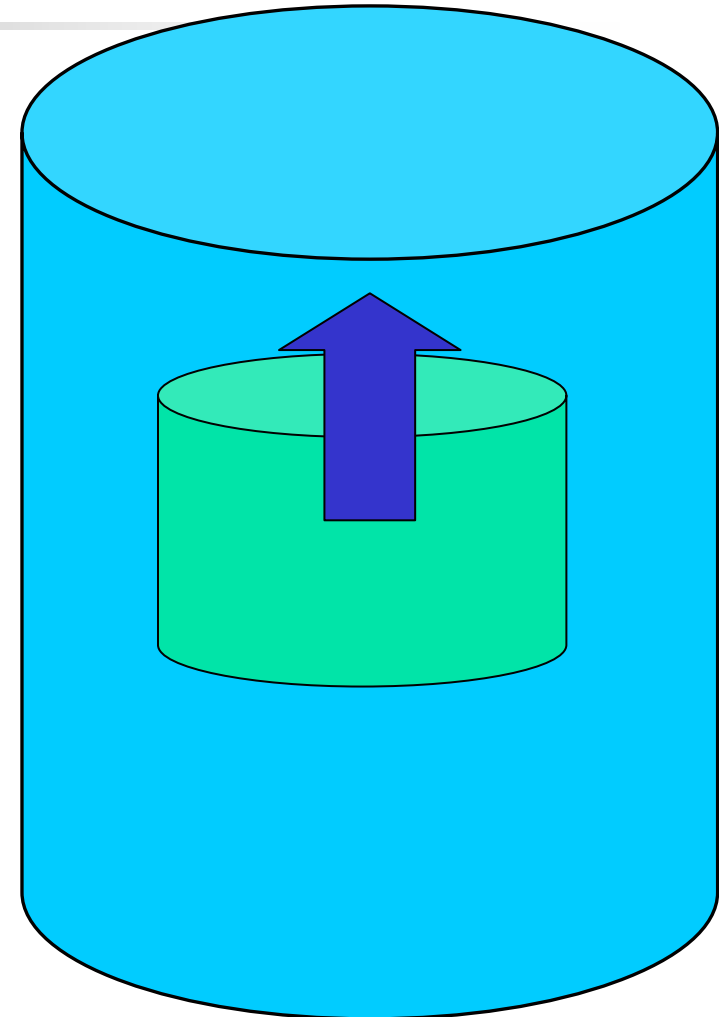
$$p(0)/g \sim ? \text{ (今日の課題)}$$



# もっとネチネチと吟味(3)

## アルキメデスの原理とは...

- 簡単な例
  - 水の中に物を沈める
  - 出来るだけ軽い物がいい
  - 上向きの力が働く
- どのくらいの力が働くか？
  - 物体が排除した水の重さに等しい力が働く
- 静力学平衡を使うと説明できる



- さっきの議論の結果

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

- 圧力に伴う上向きのか

- ☆  $p(z)S$

- 圧力に伴う下向きのか

- ☆  $p(z+dz)S$

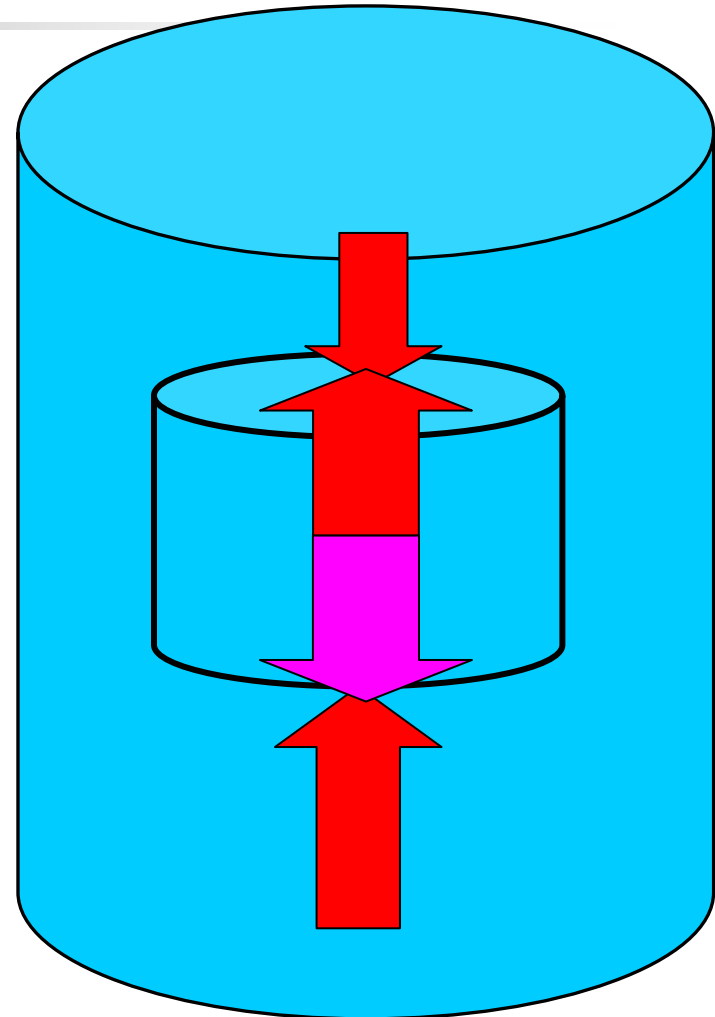
- 圧力は重力とバランスしている

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

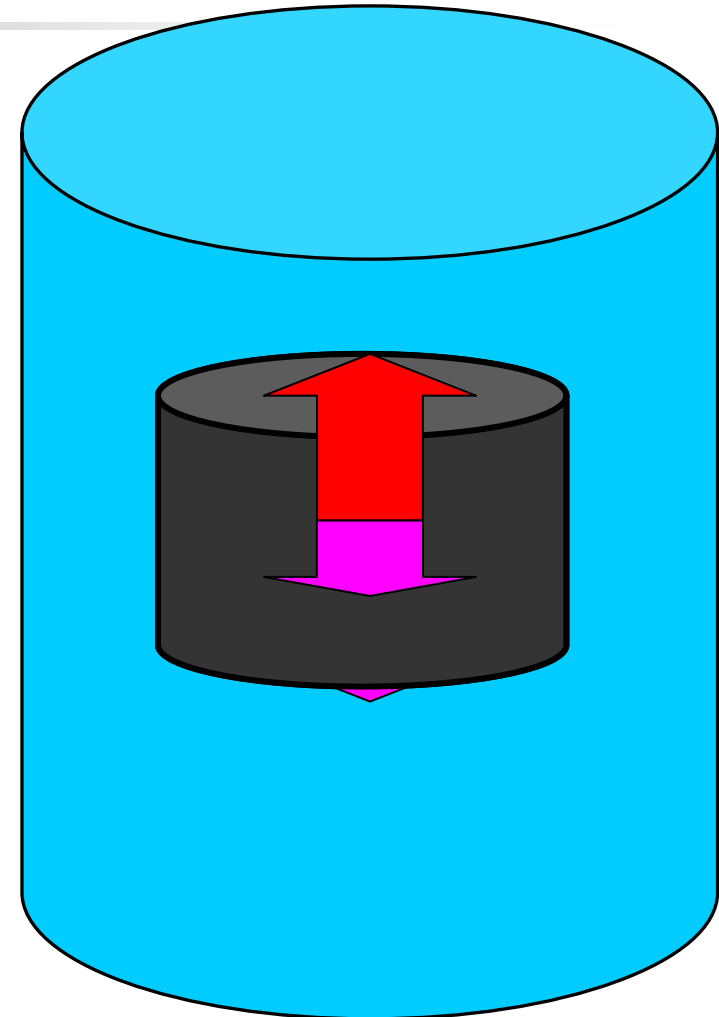
- ☆  $g\rho S dz$ は下向きのか

- ☆ 圧力によって正味上向きのか(浮く)か働いている

- ☆ 浮くかは  $g\rho S dz$ すなわち円柱のか質量に等しい



- 別の軽い物体に置き換える
- さっきの議論の結果のどこが変わるか
  - 上面と底面に働く圧力はさっきと同じ
  - 上向きの力はさっきと同じ
  - 下向きの力がさっきよりも小さい
  - 正味上向きの力が働く





## まとめ

いくつかの日常経験を論理的に組み合わせて、ものの理を説明する

- 大気鉛直構造・・・特に気圧に注目して

### ☆ 静水圧平衡 (Hydrostatic Balance)

- 上記の構造を説明する物理法則は、下記と等価
  - 山に登ると気圧はどのように変化するか？
    - 気圧は下がる
  - アルキメデスの原理
    - 海や風呂にはいると体が軽くなった感じがする。 浮く。





# 話していないこと

---

- 上空にいくと気圧は下がると言ったがどのくらい下がるのか？
  - 理想気体の状態方程式と静水圧平衡を組み合わせると
  - 結果は微分方程式として書ける.
  - その解として上記の質問に答える事ができる.

今日の課題:

1平方メートルあたりどのくらいの空気が乗っかっているか？

- 静力学平衡の結果としてわかる

$p(0) \sim 1000$  [hPa]とする.

Pa(パスカル)とは  $\text{kg m /s}^2$  のこと

h(ヘクト)とは100のこと

$g \sim 10$  [ $\text{m/s}^2$ ]

$p(0)/g \sim ?$