



名前を記入しておいてください！

地球科学実験  
2015年度後期  
火曜日午後

# 測地：重力測定

= 重力加速度

≐ \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$  = \_\_\_\_\_ Gal

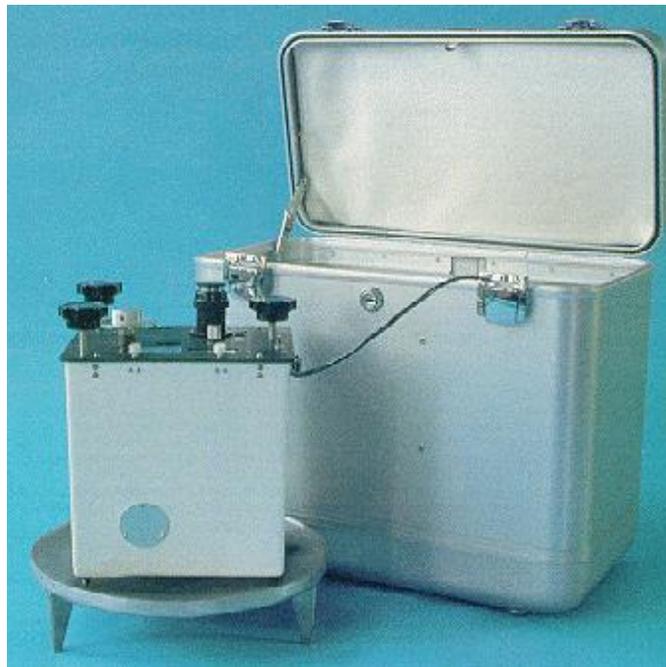
京都大学理学研究科

助教 風間卓仁

M1 市村美沙

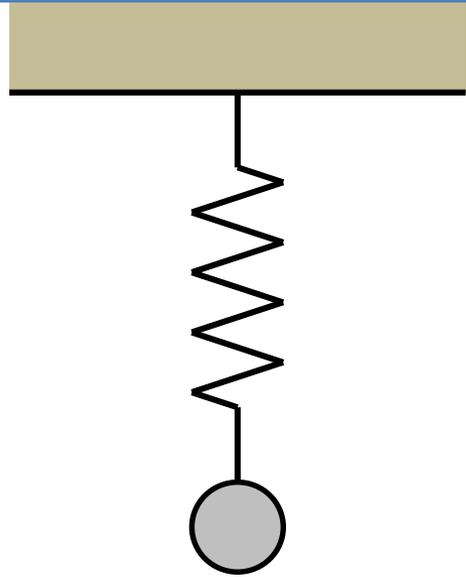
# 目的

- LaCoste & Romberg 相対重力計 (D36 または D58) で建物内の重力値  $g$  を測定し、建物内の重力鉛直勾配  $dg/dz$  を計算する



(国土地理院ウェブサイトより)

# 相対重力計の原理



観測点①



観測点②



観測点③



- ばねのつりあいより、 $mg = kx$   
 $\rightarrow g = (k/m) x = c x$
- ただし器械ドリフト  $x = x(t)$  により重力  $g$  は見かけ変化する  
るので、 $g$  の絶対値は不明
- $g$  の見かけ変化は往復測定に  
よって補正できる
- 今回は観測点間隔が短いので、  
ドリフトは無いものとする

# 重力測定方法（1）

- 測定台（お皿）をがたつかないように設置する
- ケースから重力計本体を取り出す



重力計本体をケースや蓋にぶつけない！  
（衝撃で重力値がジャンプする可能性あり）

# 重力測定方法（2）

- 照明①を付け、水平②③を合わせる



# 重力測定方法 (3)

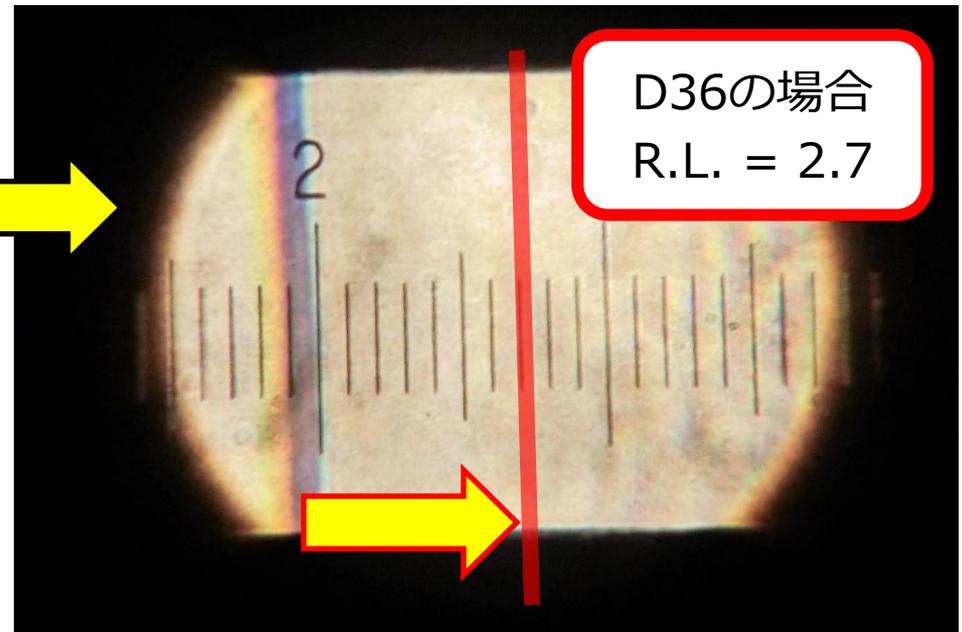
- クランプを外す：  
クランプねじを反時計方向いっぱいまで回す



クランプを外した以降の作業中は、  
重力計に衝撃を絶対に加えないように！！

# 重力測定方法（４）

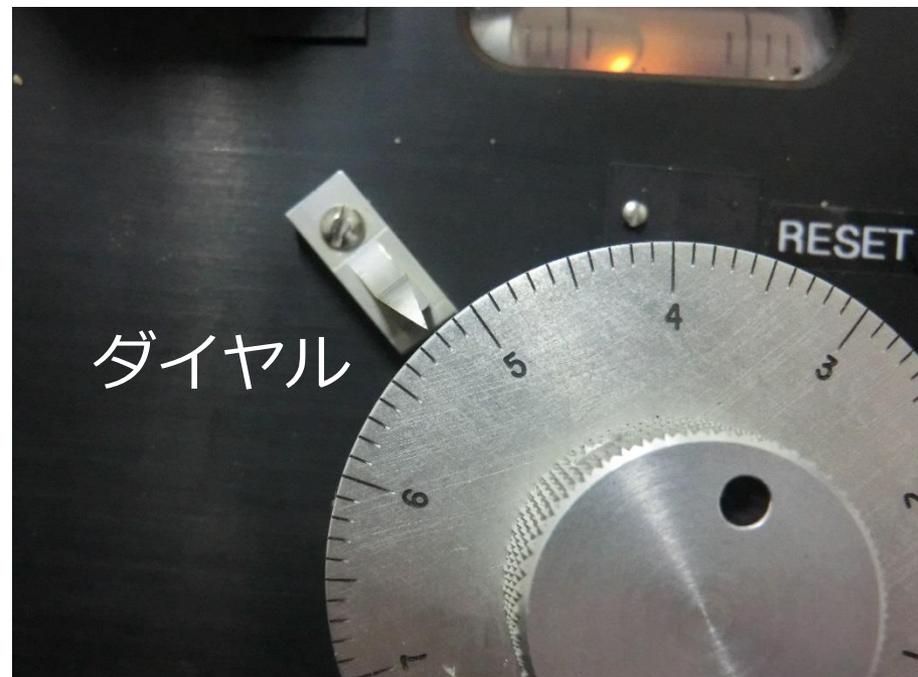
- スコープを覗きながらダイヤルを回し、クロスヘア左側を reading line (本体に記載) に合わせる



ダイヤルには「あそび」があるので、  
最後は時計回りでR.L.に合わせていくべし！

# 重力測定方法（5）

- カウンターとダイヤルの値を読み取り記録する



085.9522 (D型の場合)

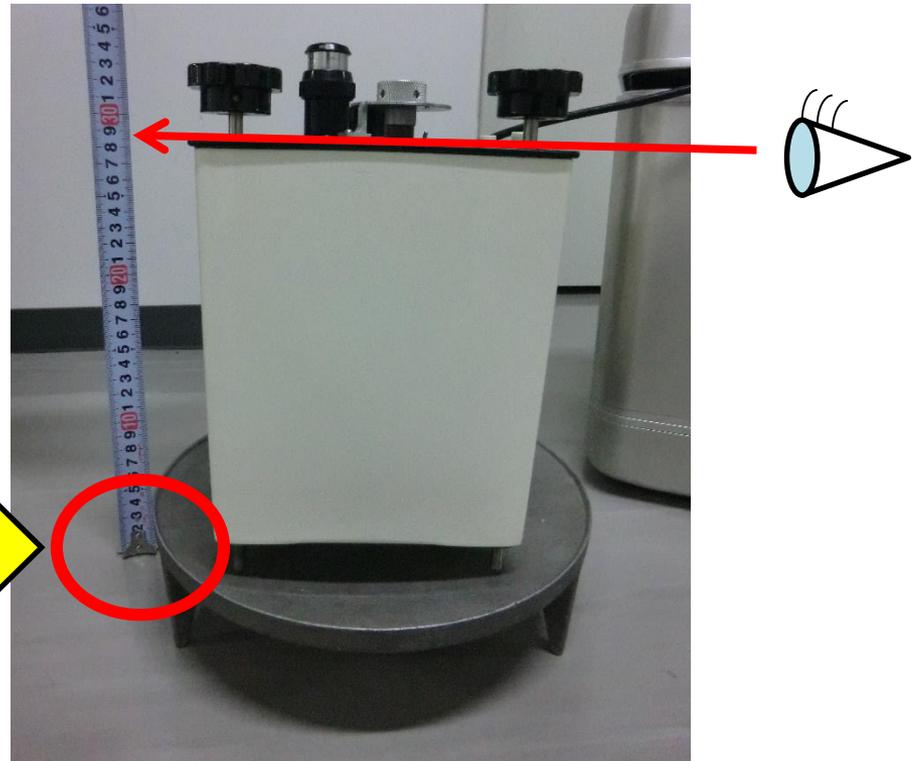
0859.522 (G型の場合)

D型のほうが  
分解能が1桁高い

# 重力測定方法（5）

- クランプ：クランプねじを時計方向に回す
- 照明を消し、器械高  $h$  を測定する
- 重力計をケースに収納する（衝撃に注意！）

28.7cm



本来ならばここに重力基準点  
（金属標など）がくるように  
重力計および台の設置箇所を  
予め選定しないといけない

# 重力測定方法（6）

- ケースを持ち、次の測定点に移動する
- (1) ~ (5) の操作を繰り返す

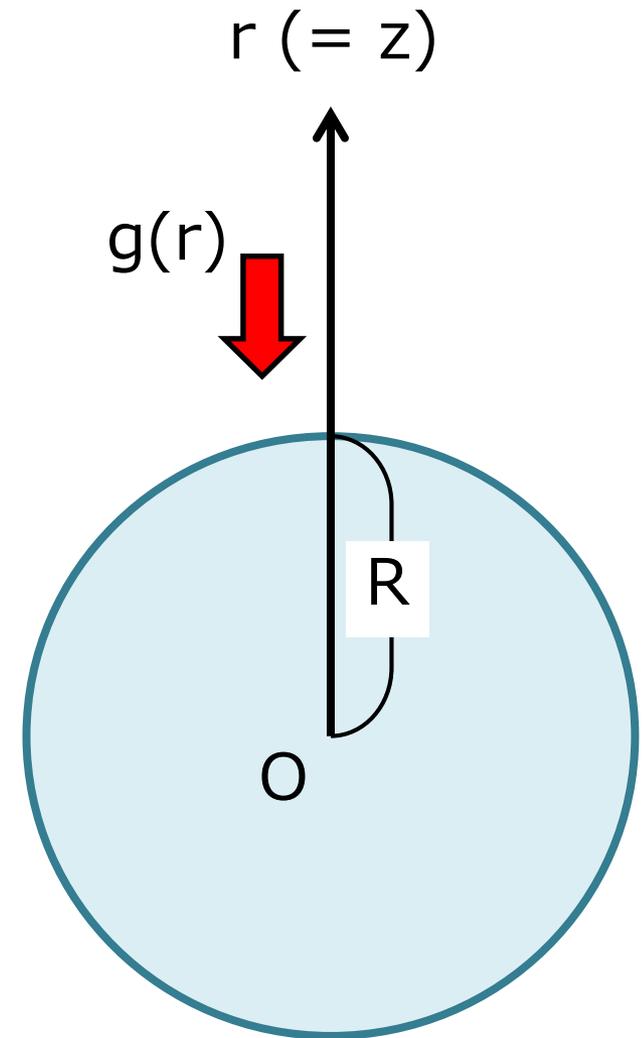


重力計本体+バッテリーはかなり重い！  
移動時にケースをぶつけないように注意！

- 読み取り値  $x \rightarrow$  重力値  $g$  [mGal] への変換は、  
係数  $c$  を掛け合わせるだけ
  - D36の変換係数 :  $c = 1.2660$
  - D58の変換係数 :  $c = 1.1530$

# 予想：dg/dz の理論値

- $g(r) \doteq GM / r^2$
- $g(R) \doteq 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- $R \doteq 6.371 \times 10^6 \text{ [m]}$
- $1 \text{ } \mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$
- これらを使って、地球表面  $r = R$  における重力鉛直勾配  $dg/dr (= dg/dz)$  を計算してみよう
- 単位は  $[\mu\text{Gal/cm}]$  で！



予想 :  $dg/dz$

# 結果：自分の測定結果

D36: c = 1.2660  
 D58: c = 1.1530

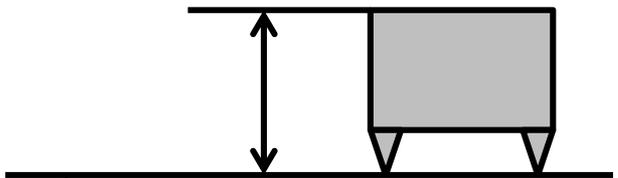
器械番号 = \_\_\_\_\_

② = \_\_\_\_\_[cm]

読み取り値

④ = \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_階

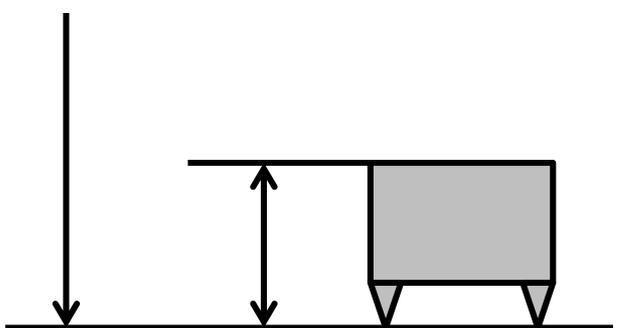


① = \_\_\_\_\_[cm]

読み取り値

⑤ = \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_階



③ = \_\_\_\_\_[cm]

$$\Delta g = \Delta x * c$$

$$= ( \text{④} - \text{⑤} ) * \underline{\hspace{2cm}}$$

=

$$= \underline{\hspace{2cm}} [\text{mGal}]$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} [\mu\text{Gal}]$$

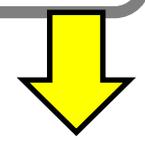
$$\Delta z = \text{①} + \text{②} - \text{③}$$

=

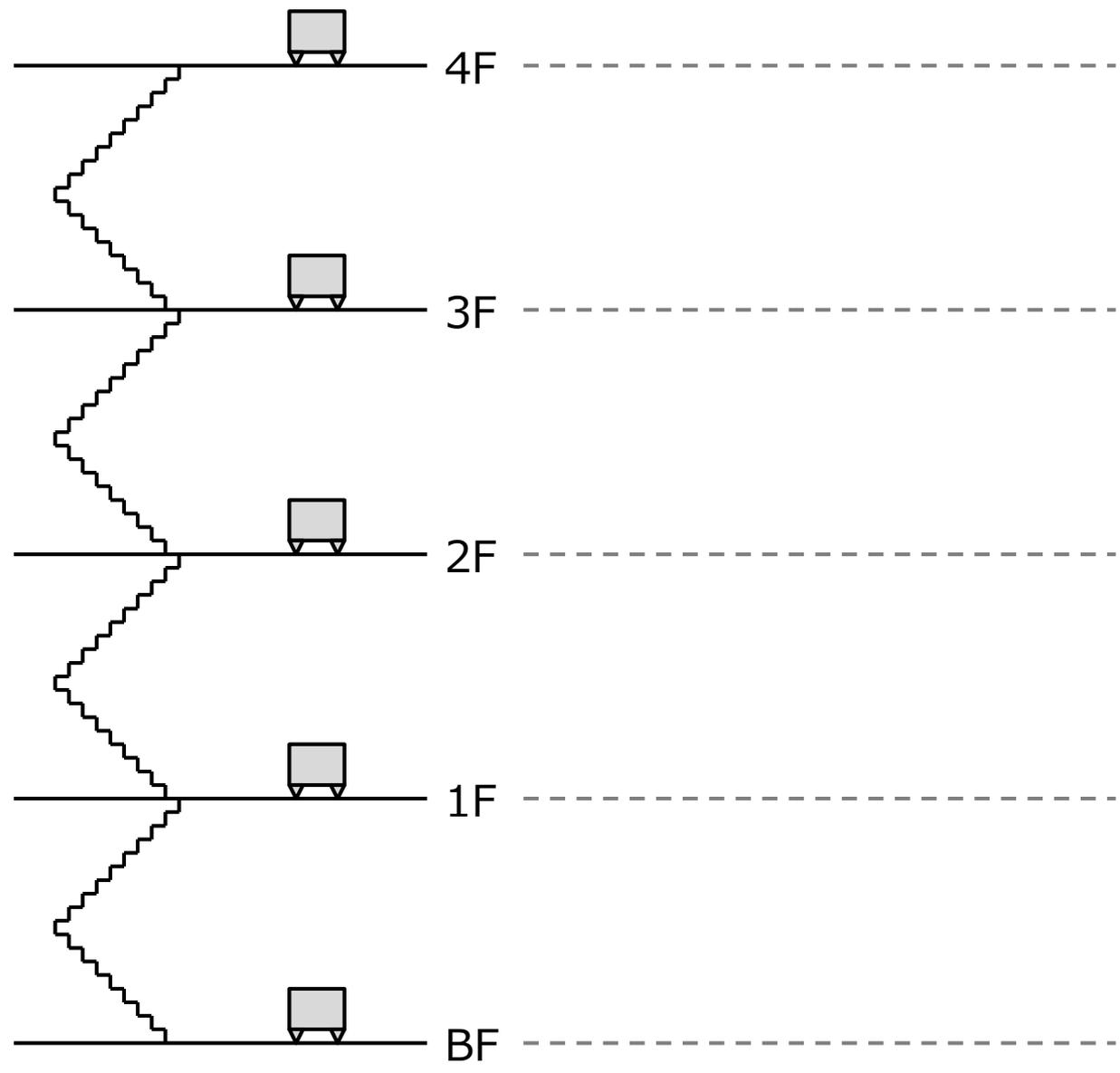
$$= \underline{\hspace{2cm}} [\text{cm}]$$

$$\Delta g / \Delta z =$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} [\mu\text{Gal}/\text{cm}]$$



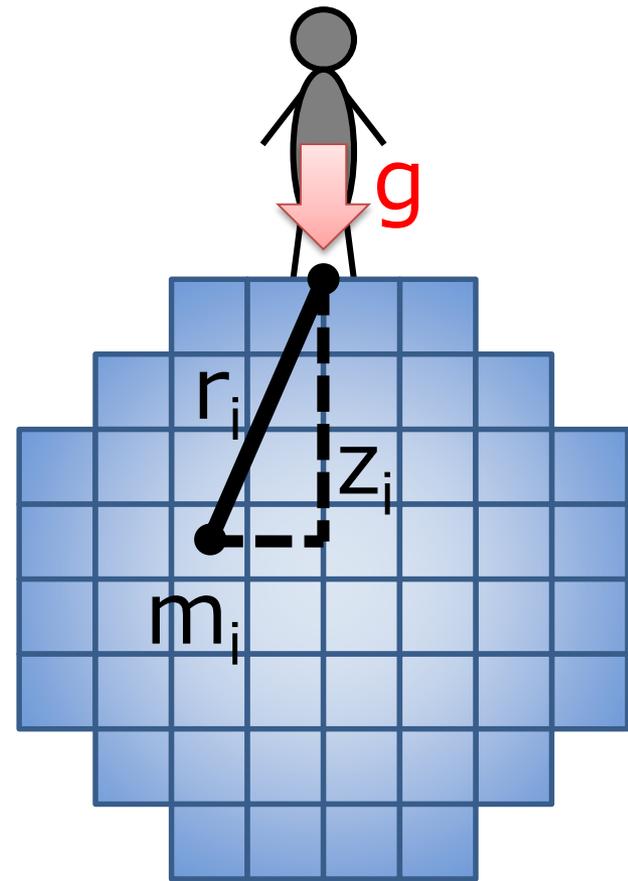
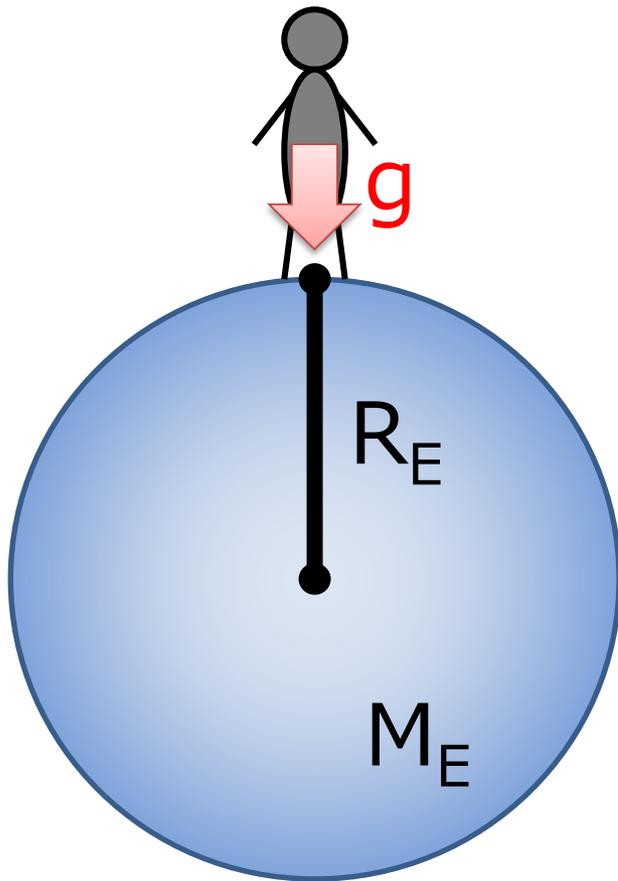
# 結果：まとめ



# 考察

■  $dg/dz$  がなぜ理論値と異なるのか？

# 重力加速度 $g$ を積分で表現



$$g = \frac{GM_E}{R_E^2} = \sum_i \frac{Gm_i}{r_i^2} \cdot \frac{z_i}{r_i}$$

# 重力鉛直勾配 $dg/dz$ も積分で表現

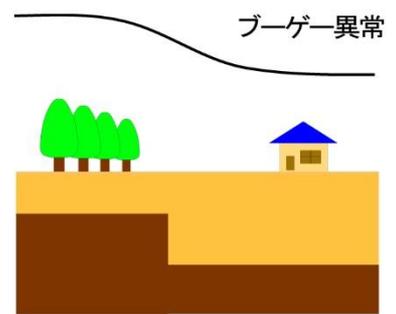
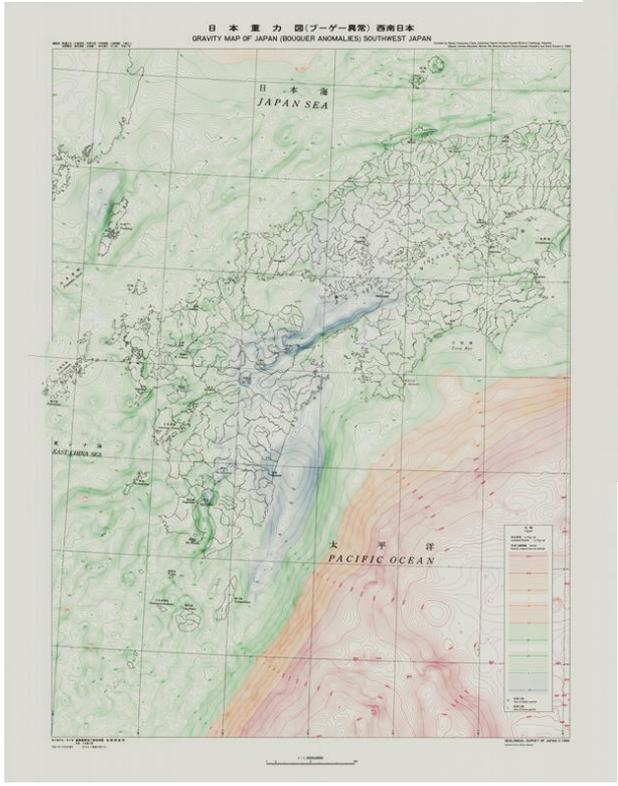
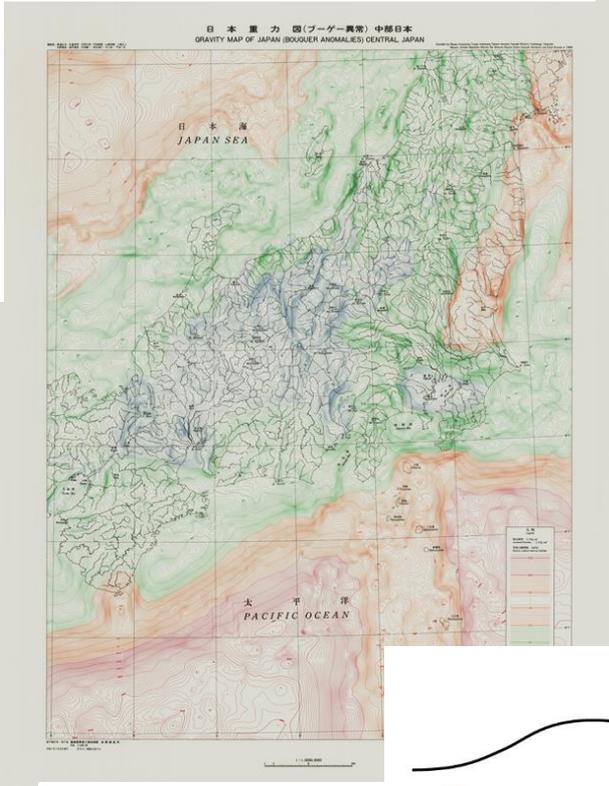
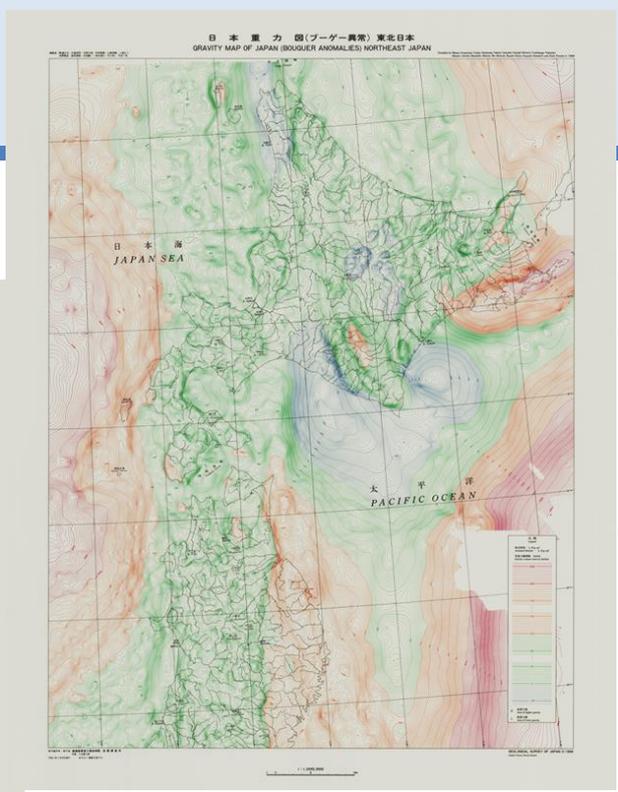
$$\frac{dg}{dz} = -2 \cdot \frac{GM_E}{R_E^3}$$

$$\frac{dg}{dz} = \sum_i \frac{d}{dz_i} \left( \frac{Gm_i}{r_i^2} \cdot \frac{z_i}{r_i} \right)$$

$$= \dots = \sum_i \frac{Gm_i}{r_i^5} \cdot (r_i^2 - 3z_i^2)$$

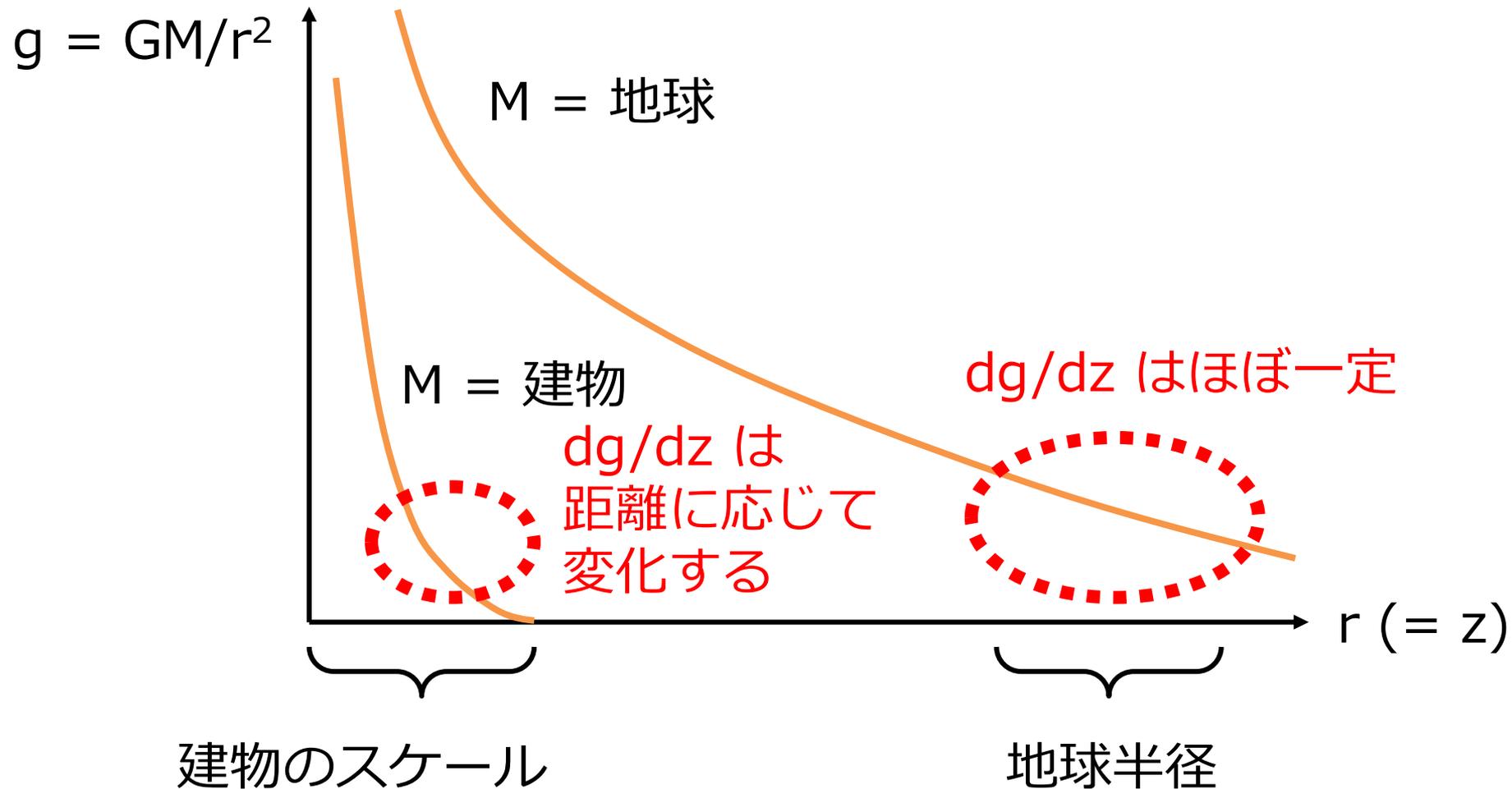
# ブーゲー重力異常図

(産総研ウェブサイトより)

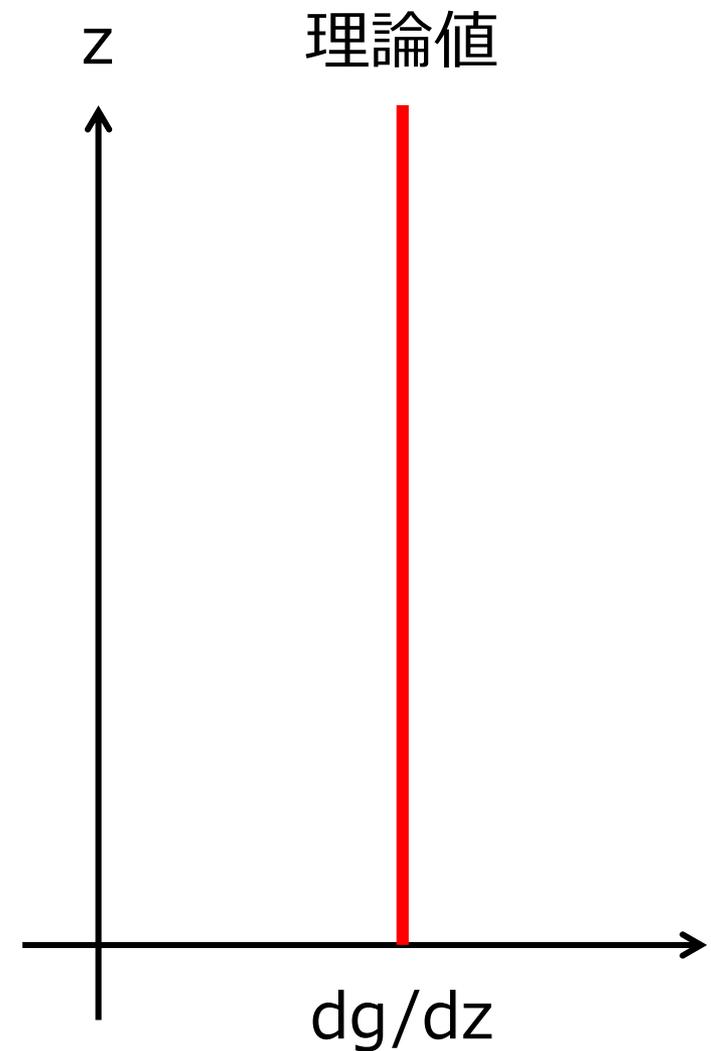
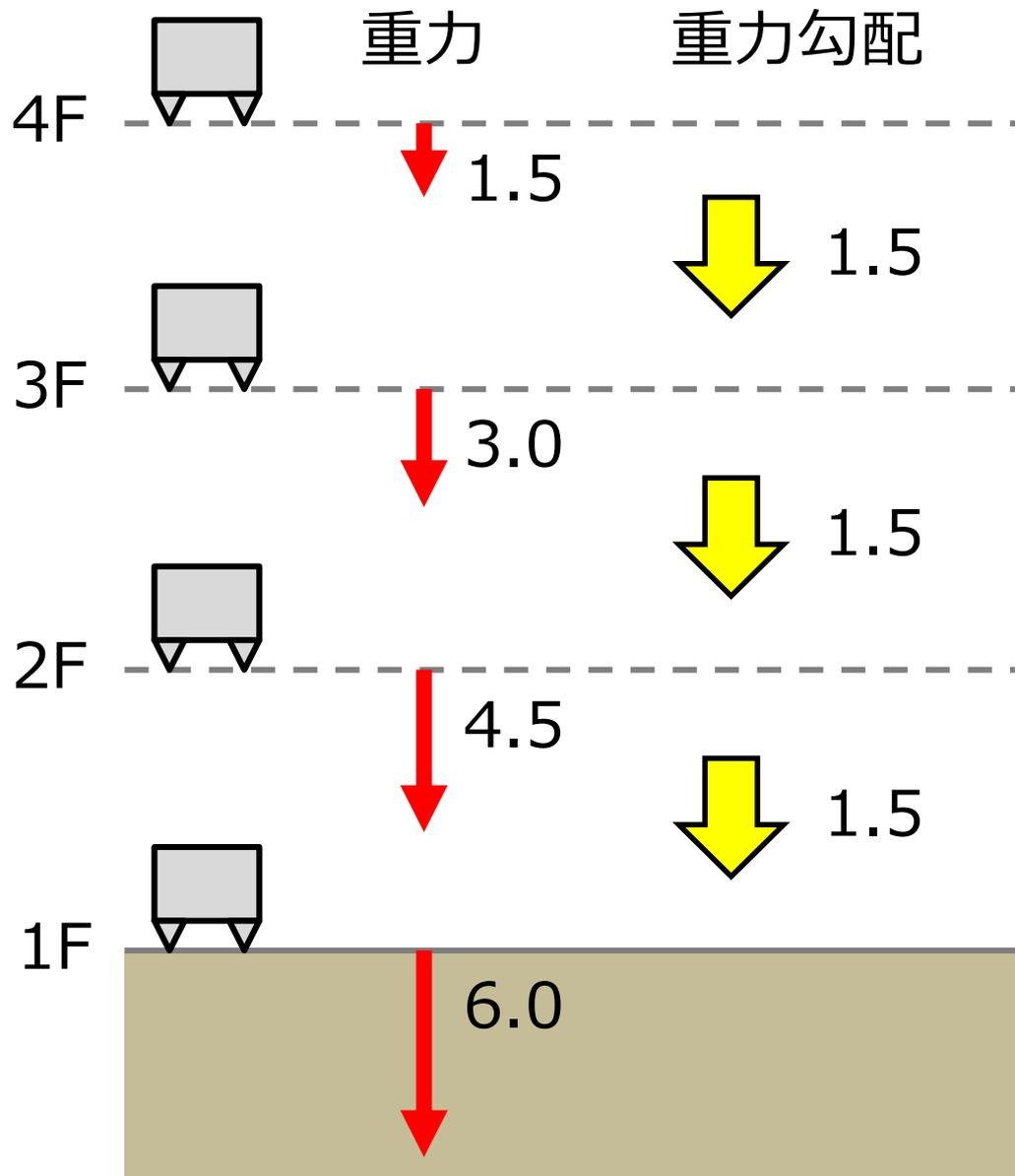


(日本測地学会ウェブサイトより)

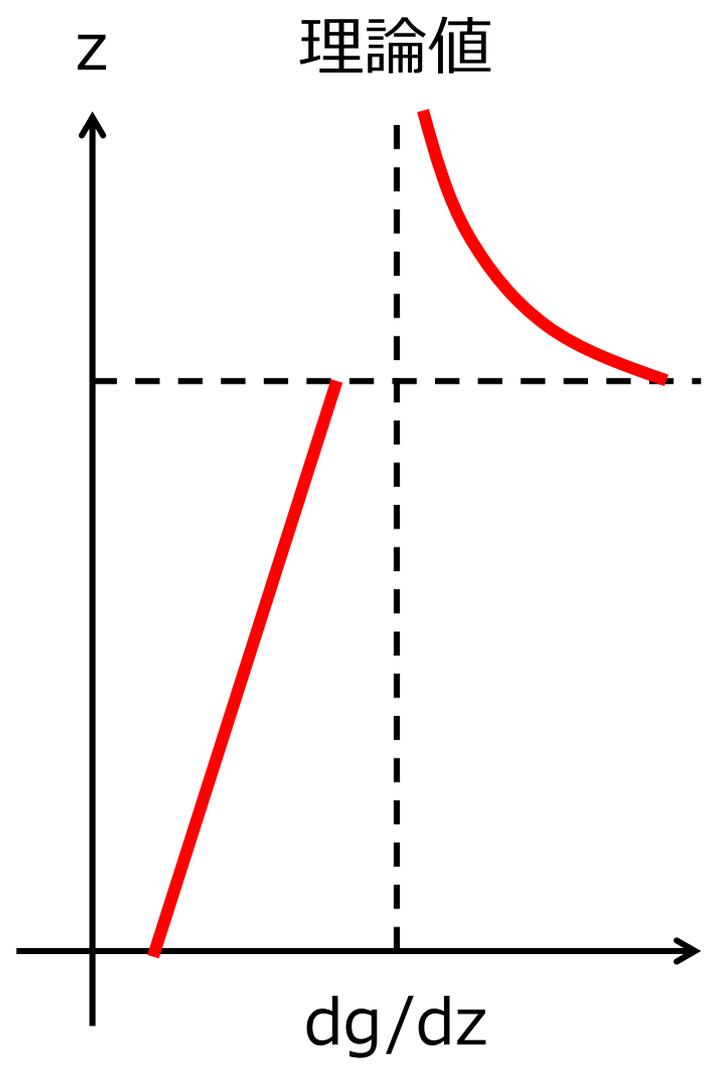
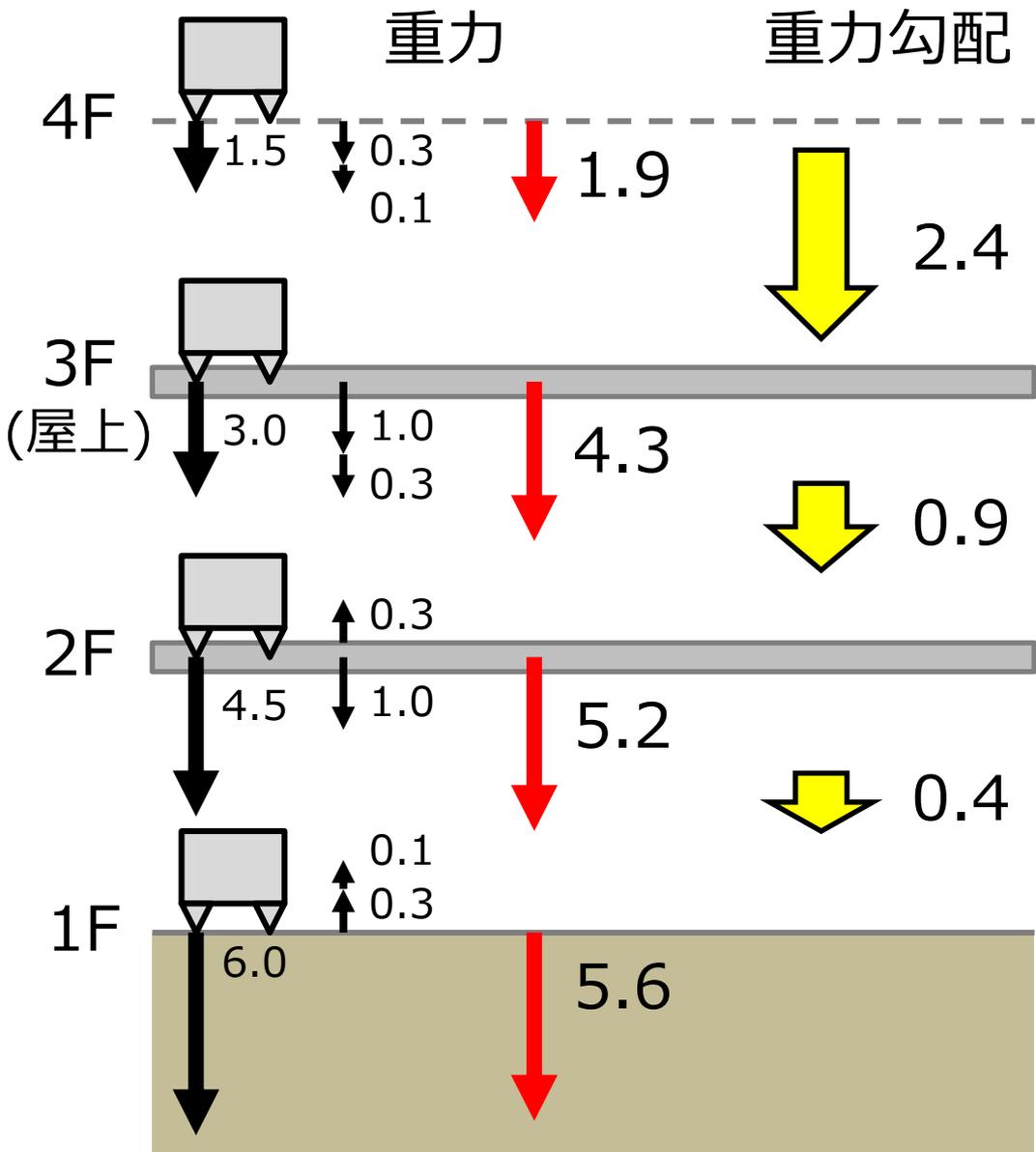
# 重力 ≡ 万有引力



# 定性的考察：建物が無いとき



# 定性的考察：建物があるとき



# 発展：いろいろな重力計

## ■ 可搬型相対重力計：ばねののび $\propto$ 重力値



(場所は全て京大理学部1号館地下)

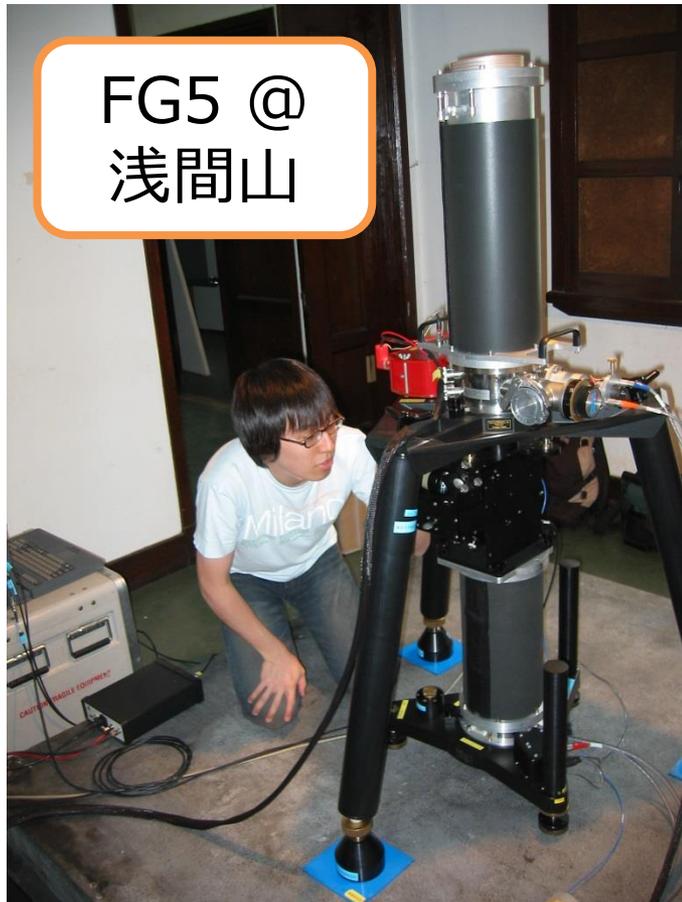
# 発展：いろいろな重力計

- 超伝導重力計：超伝導コイル（in 液体He）に浮かぶ球の上下変位  $\propto$  重力値



# 発展：いろいろな重力計

- 絶対重力計：真空中でミラーを落下 → 落下距離・落下時間を精度よく測定 → 重力値を計算

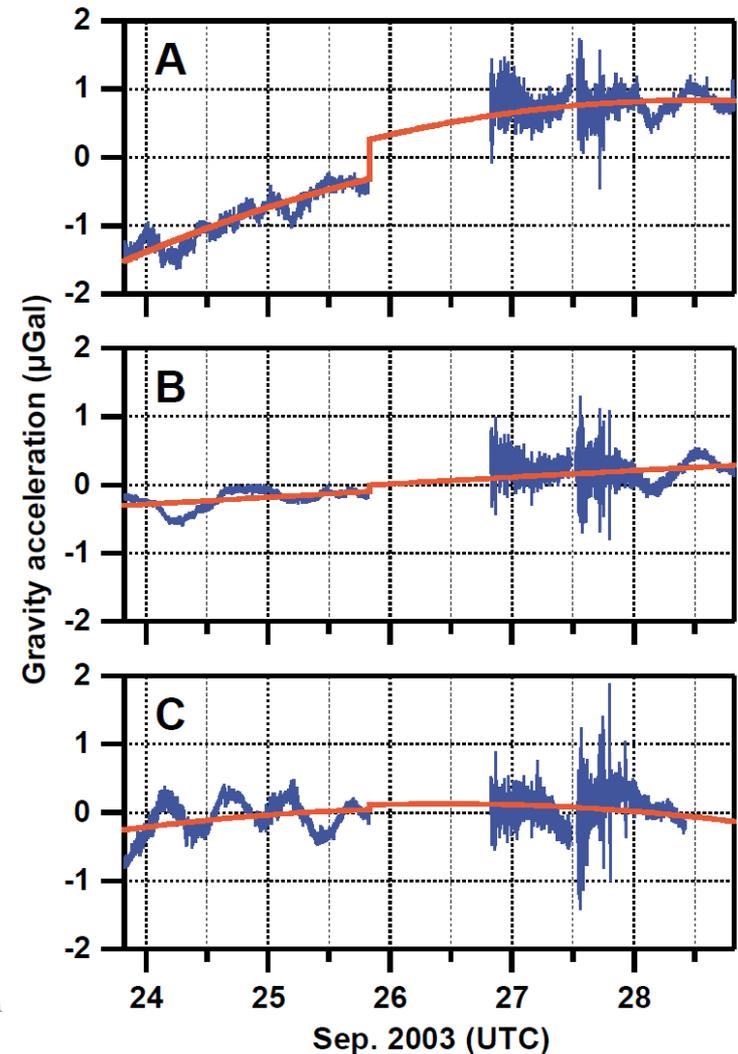
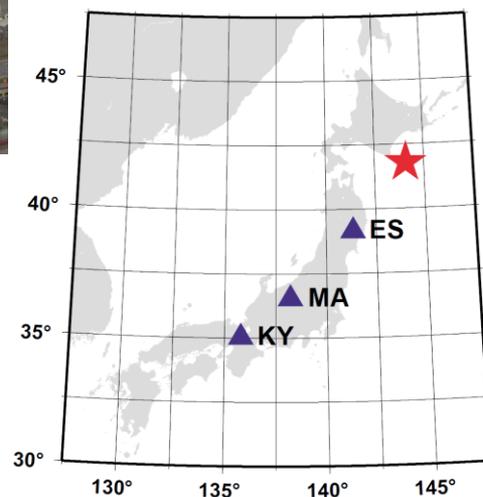


# 発展：いろいろな重力計

	可搬型相対重力計 (LaCoste, ZLS, gPhone, Scintrex)	超伝導重力計 (SG, iGrav)	絶対重力計 (FG5, A10)
観測精度	約 10 $\mu\text{Gal}$	約 0.01 $\mu\text{Gal}$	FG5: 約 3 $\mu\text{Gal}$ A10: 約 10 $\mu\text{Gal}$
長所	持ち運びできる	連続観測できる	絶対値がわかる
短所	器械ドリフトが存在する		器械トラブルが多い
	高価！		

# 発展：重力測定で何が分かる？

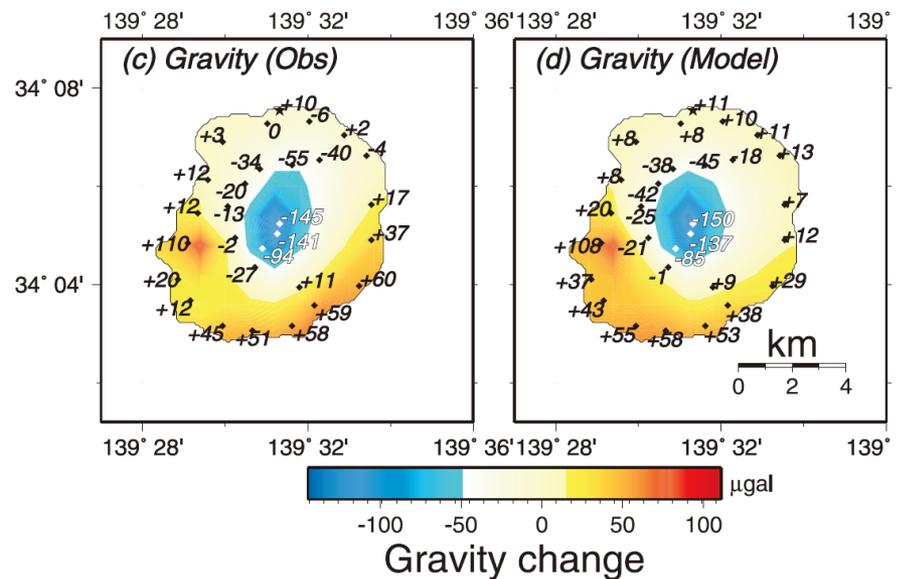
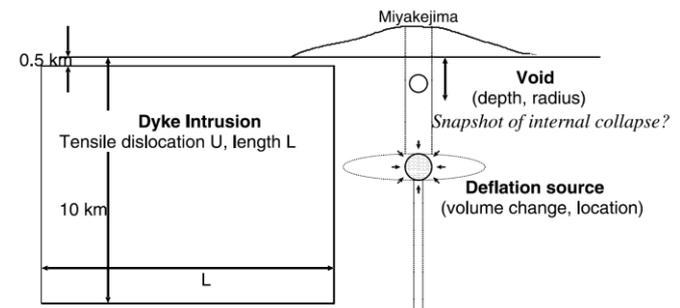
## ■ 2003年十勝沖地震 (M8.0) に伴う重力変化 using 超伝導重力計



(写真：profile.ne.jp /  
図：Imanishi et al., 2004)

# 発展：重力測定で何が分かる？

## ■ 2000年三宅島噴火に伴う重力変化 using 絶対重力計 + 可搬型相対重力計

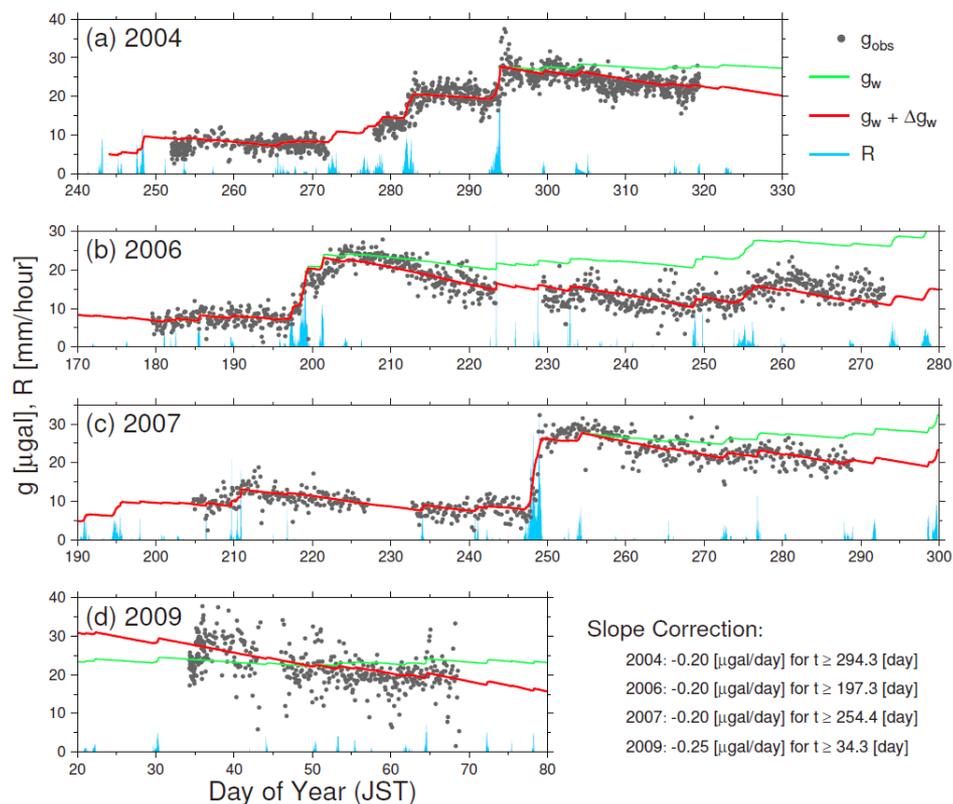
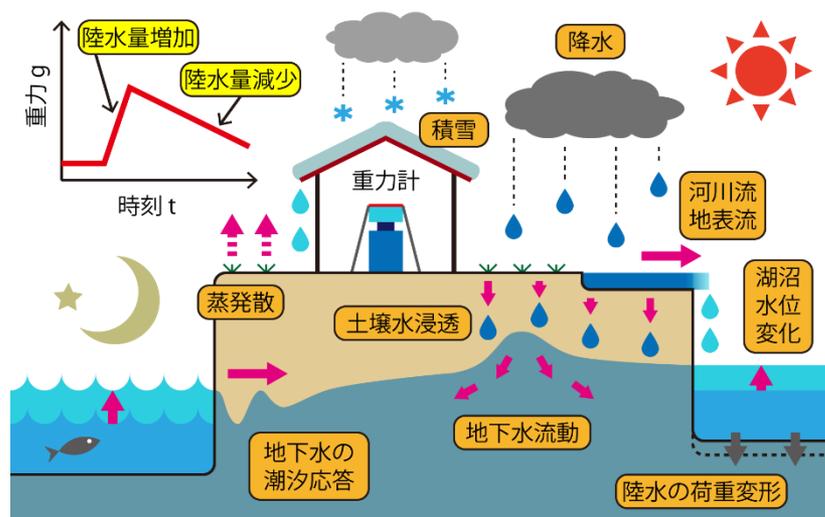


(写真：lesson-school.com /

図：Furuya et al., JGR, 2003)

# 発展：重力測定で何が分かる？

- 陸水の移動に伴う重力変化 ← これを補正しないと地震火山起源の重力変化が見えない！



(図：風間, 測地学テキスト, 2014)

# まとめ

- 吉田南2号館内部で相対重力計による重力測定を実施した
- 重力値  $g$  やその鉛直勾配  $dg/dz$  は場所によって異なることが分かった
- $g$  や  $dg/dz$  の時空間変化を理解することで、質量の時空間分布を理解することができる