



名前を記入しておいてください！

地球科学実験
2017年度後期
金曜日午後

測地：重力測定

= 重力加速度

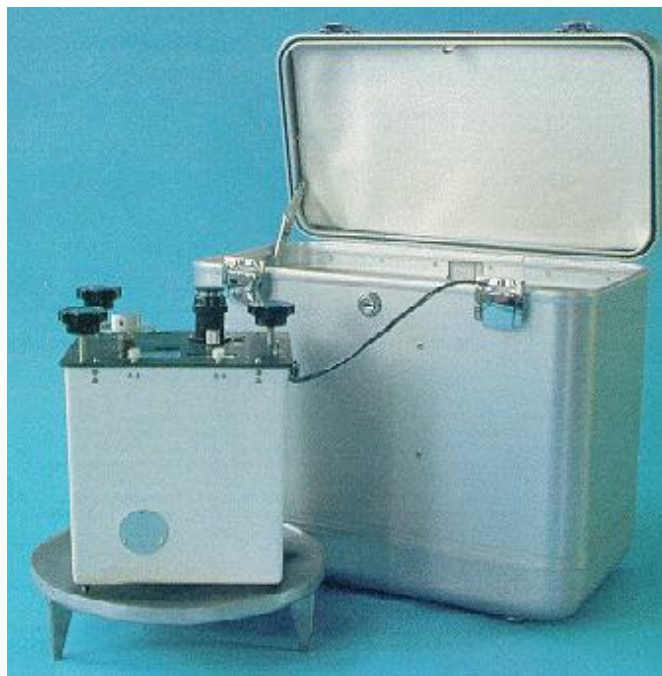
≡ _____ m/s^2 = _____ Gal

京都大学理学研究科

助教 風間卓仁

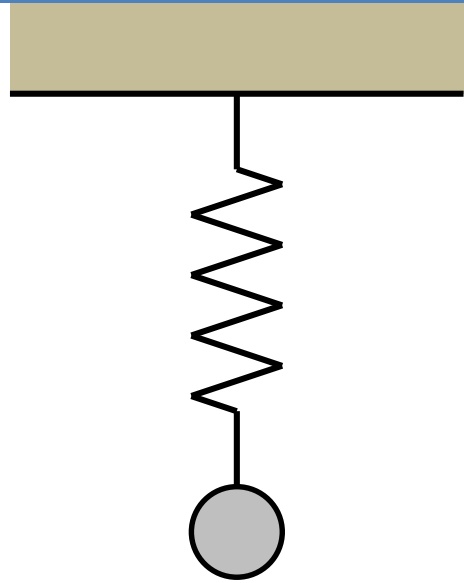
目的

- LaCoste & Romberg型バネ式相対重力計で建物各階の重力値 g を測定し、各階間の重力差 Δg 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 の絶対値は不確定
- g の見かけ変化は往復測定によつて補正できる
- 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）

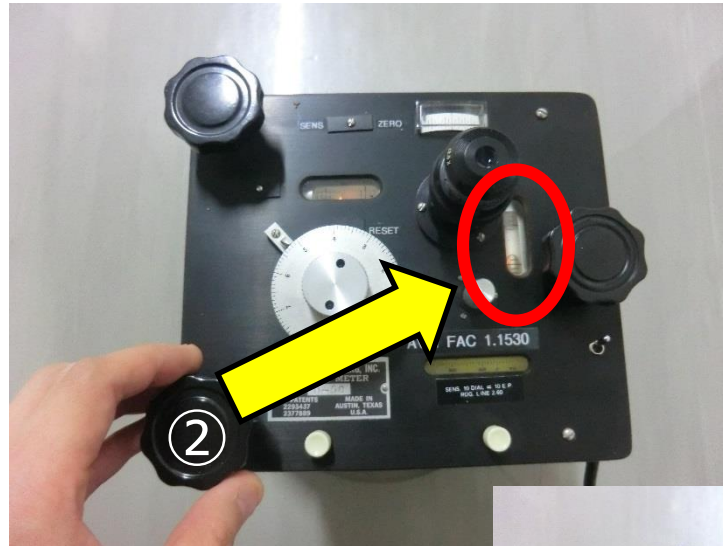
- ~~測定台（お皿）をがたつかないように設置する~~
- ケースから重力計本体を取り出す



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)

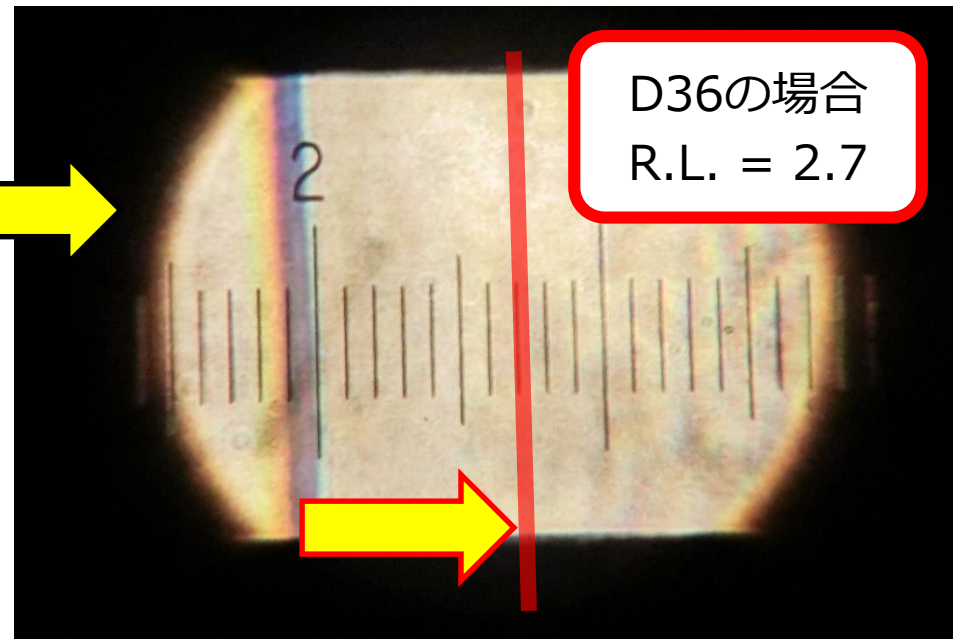
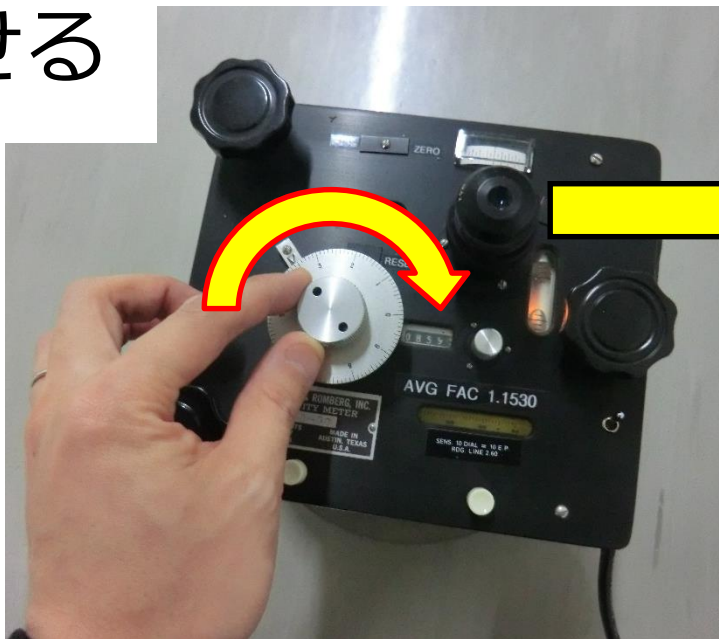
- クランプを外す：
クランプねじを反時計方向いっぱいまで回す



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）

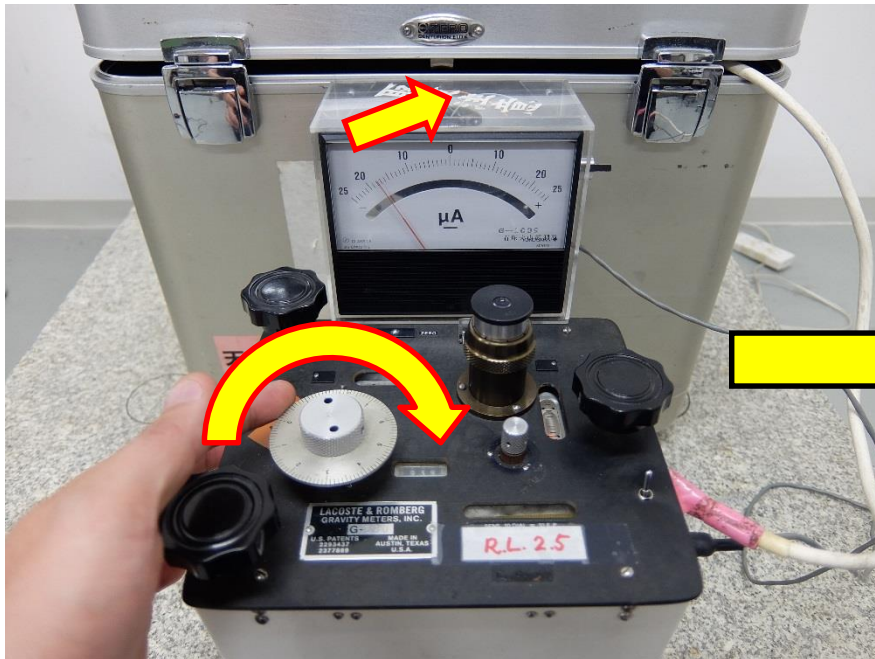
- スコープを覗きながらダイヤルを回し、クロスヘア左側を reading line (本体に記載) に合わせる



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！

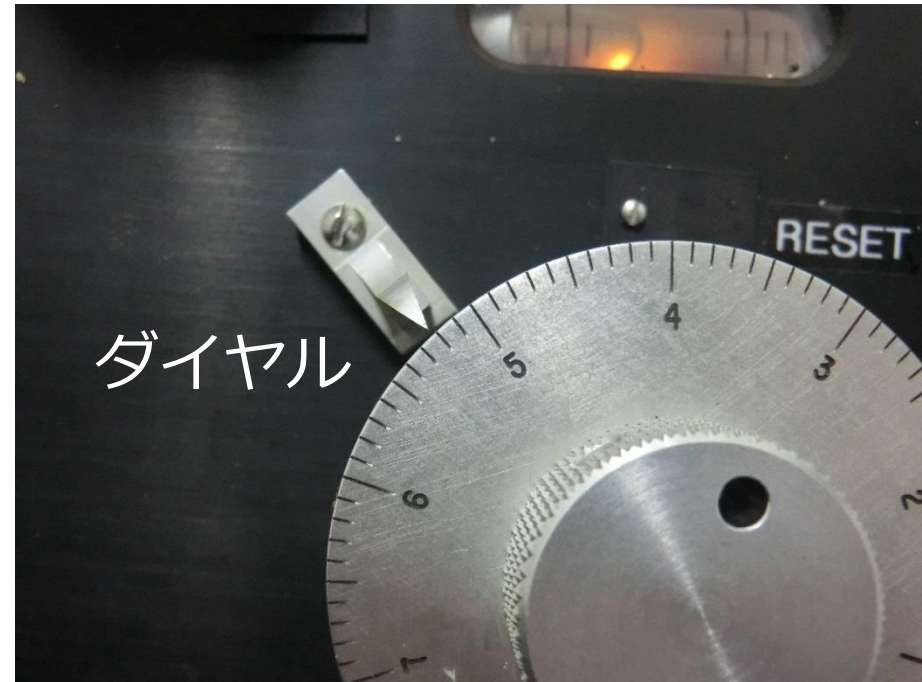
補足：検流計がある場合

- 重力計右側端子に検流計ケーブルを事前に（クランプを外す前に）つなげておく
- ダイヤルを時計回りで回転させ、検流計の針をマイナス方向から $0 \mu\text{A}$ に合わせる



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)

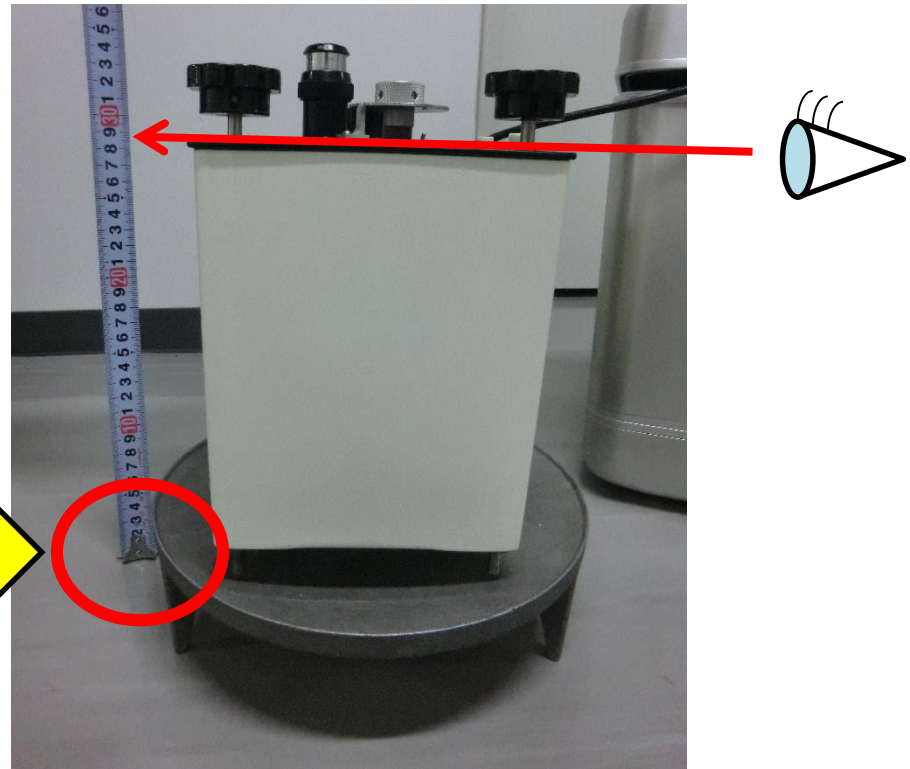
0859.522 (G型の場合)

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

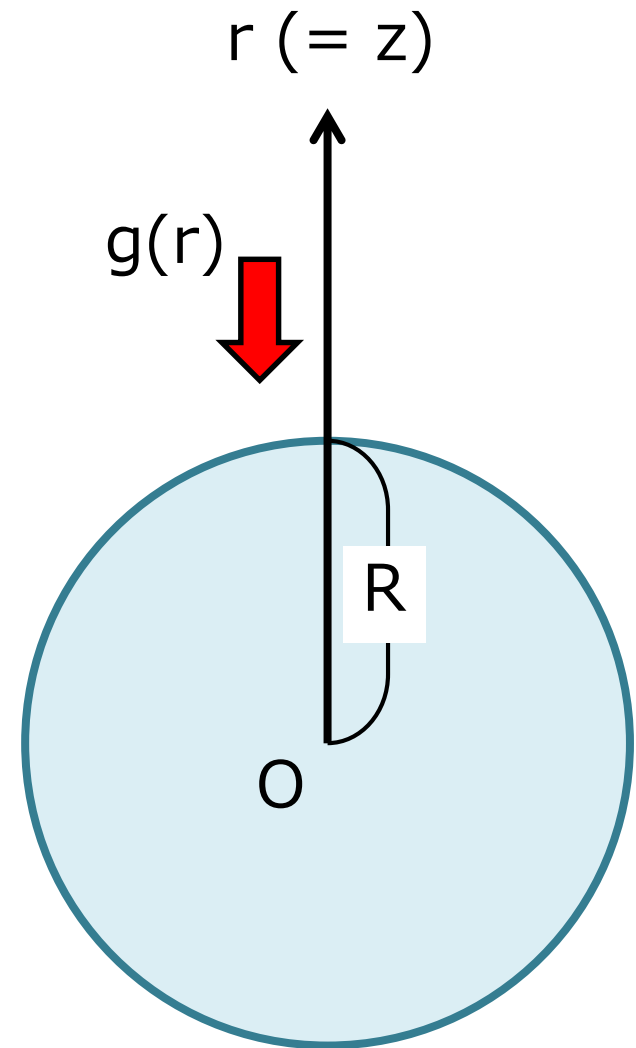


重力計本体+バッテリーはかなり重い！
移動時にケースをぶつけないように注意！

- 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 : $c = 1.26600$
 - G576 : $c = 1.01488$
 - D58 : $c = 1.15300$
 - G680 : $c = 1.02042$

標高差1cmの時 Δg の理論値は？

- $g(r) \doteq GM / r^2$
- $g(R) \doteq 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- $R \doteq 6.371 \times 10^6 \text{ [m]}$
- $1 \text{ } \mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$
- これらを使って、 $r = R \sim R + 1\text{cm}$ における重力差 $\Delta g \text{ [}\mu\text{Gal]}$ を計算しよう



Δg の理論値計算

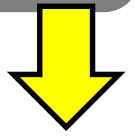
- ヒント : $g(R+1\text{cm})$ と $g(R)$ の差は殆どゼロ
→ 単純な引き算では値が正確には得られない

$$g(r + \Delta r) - g(r) = \frac{g(r + \Delta r) - g(r)}{\Delta r} \cdot \Delta r$$

Δg の理論値

結果：自分の測定結果

自分の重力計の
比例係数を書く



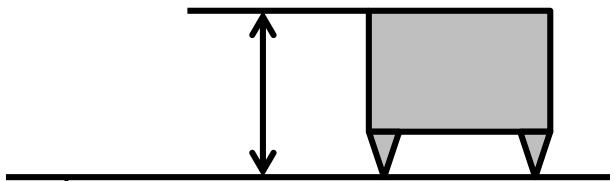
器械番号 = _____

② = _____[cm]

読み取り値

④ = _____

_____階

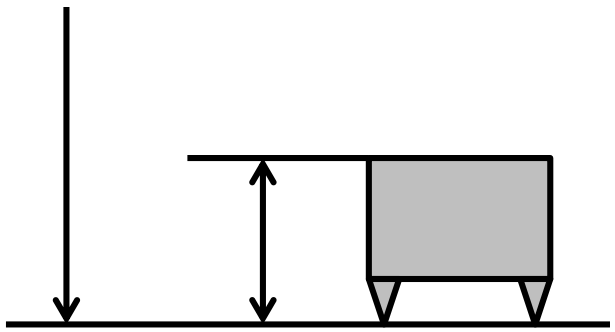


① = _____[cm]

読み取り値

⑤ = _____

_____階



③ = _____[cm]

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

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

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

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

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

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

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

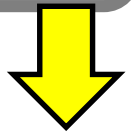
$$= \underline{\hspace{2cm}} [\text{cm}]$$

$$\Delta g \text{ の理論値} = g'(R) * \Delta z$$

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

結果：自分の測定結果

自分の重力計の
比例係数を書く



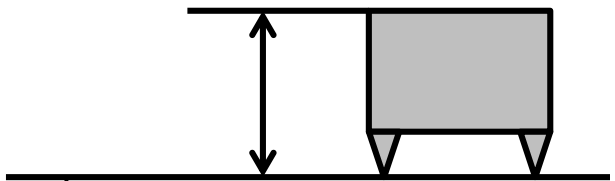
器械番号 = _____

② = _____[cm]

読み取り値

④ = _____

_____階

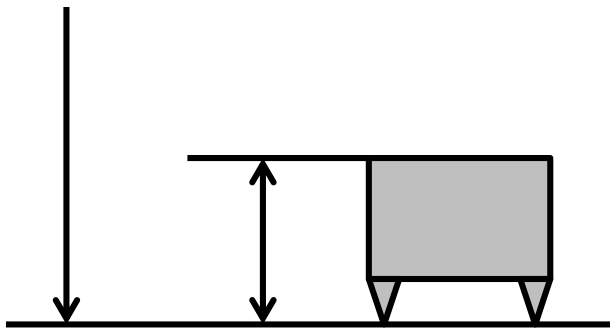


① = _____[cm]

読み取り値

⑤ = _____

_____階



③ = _____[cm]

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

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

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

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

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

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

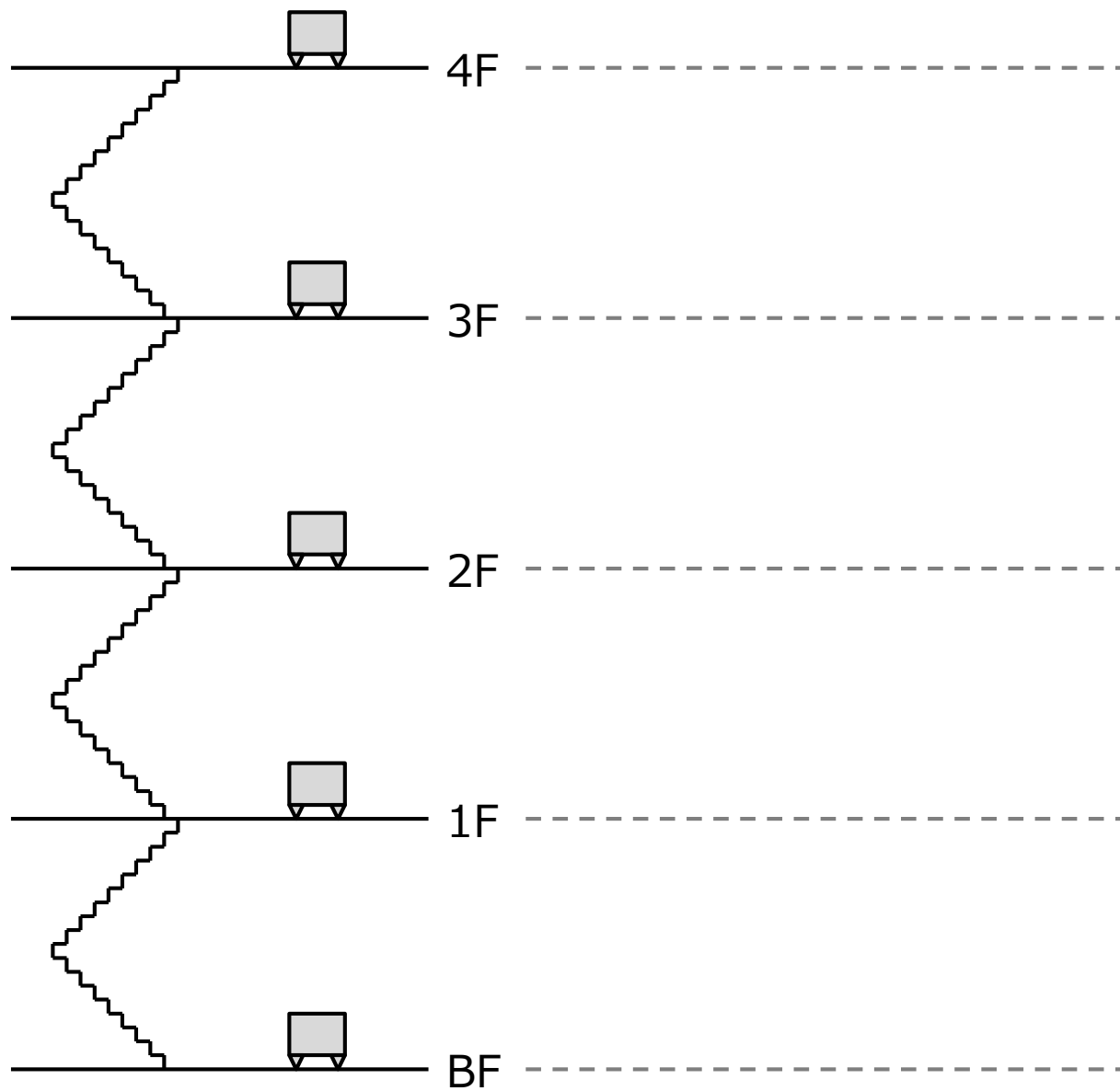
$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

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

$$\Delta g \text{ の理論値} = g'(R) * \Delta z$$

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

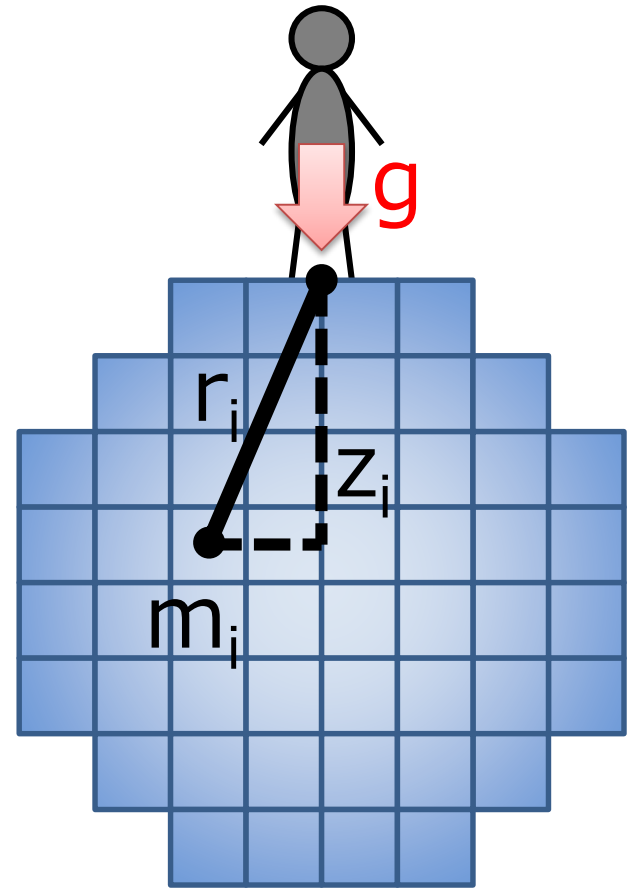
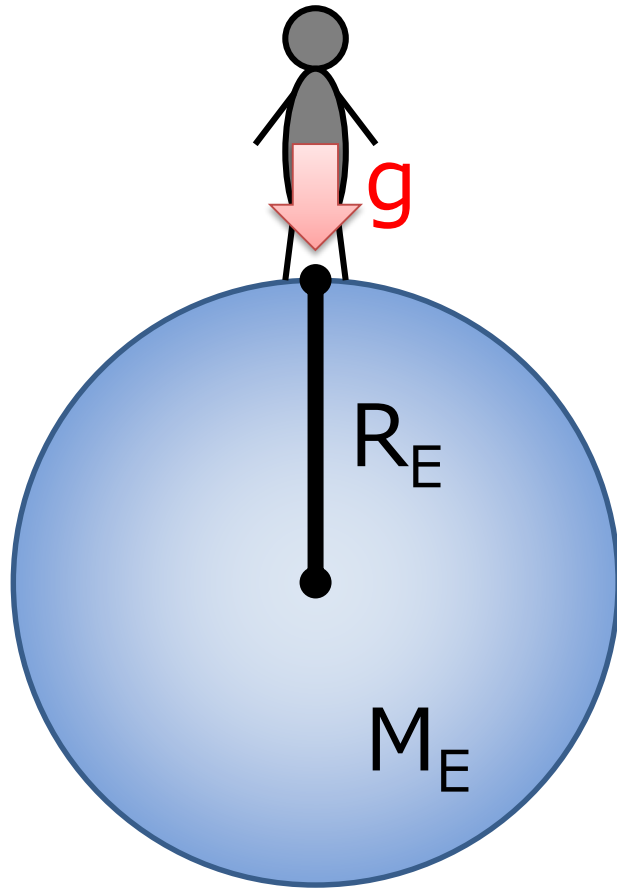
結果：まとめ



考察

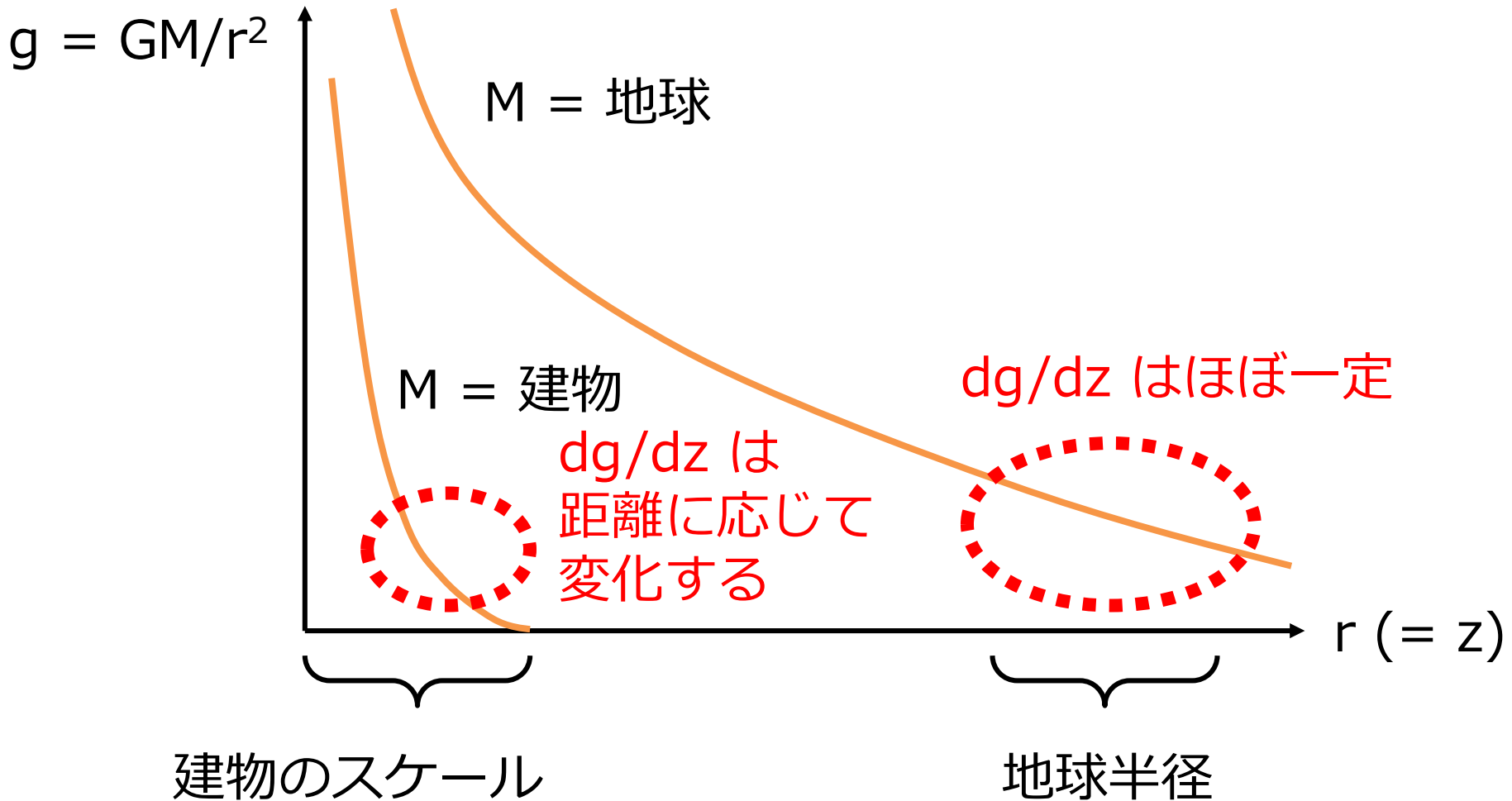
■ Δg がなぜ理論値と異なるのか？

重力は質量分布の空間積分！



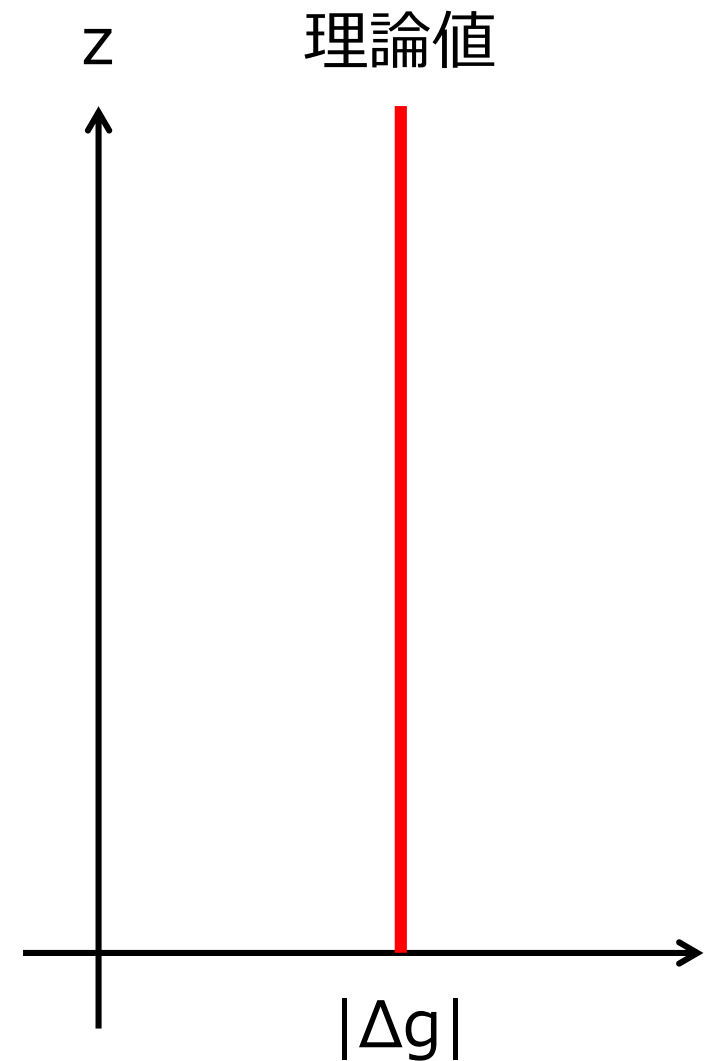
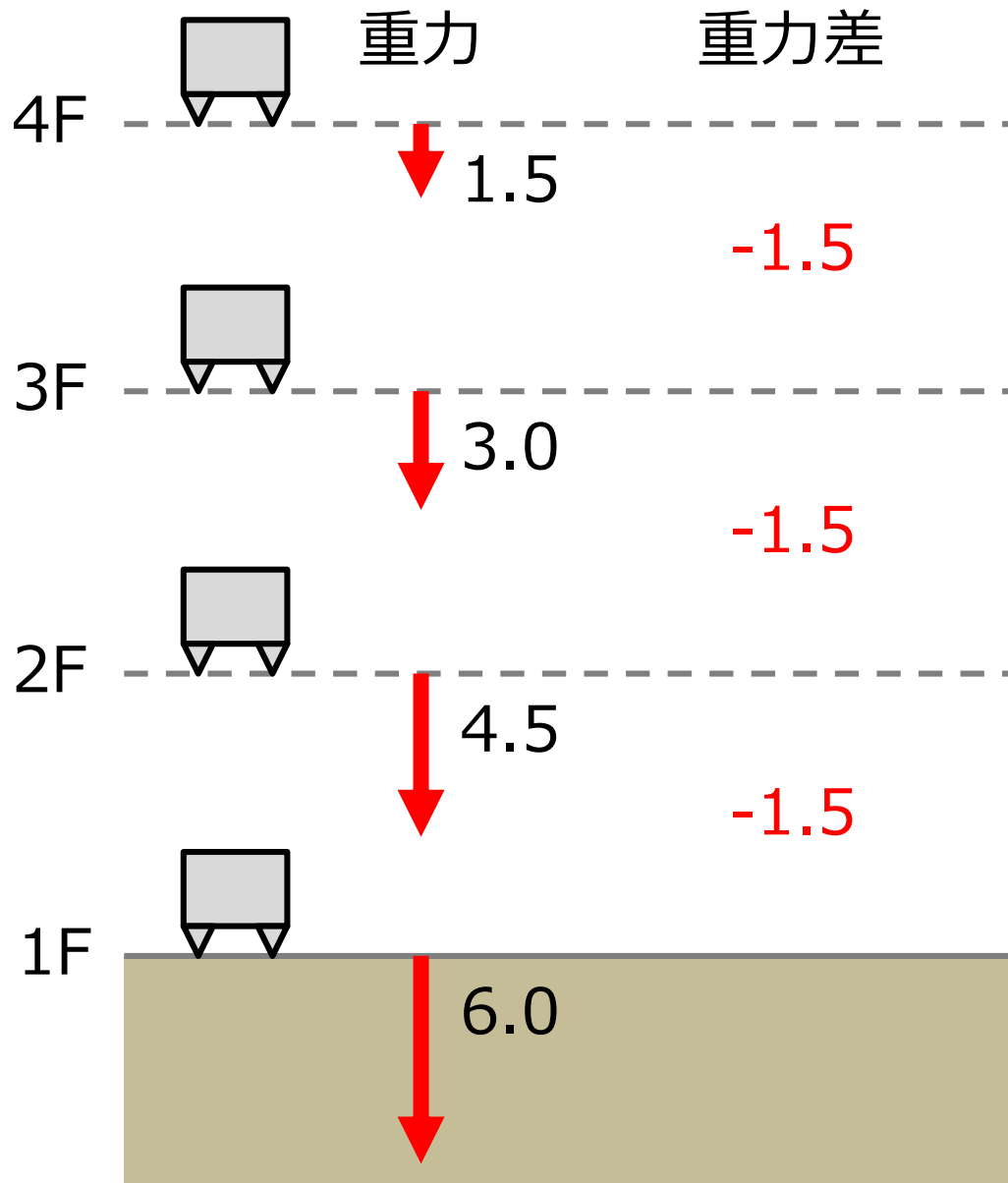
$$g \cong \frac{GM_E}{R_E^2} = \sum_i \frac{Gm_i}{r_i^2} \cdot \frac{z_i}{r_i}$$

地球と建物の万有引力効果

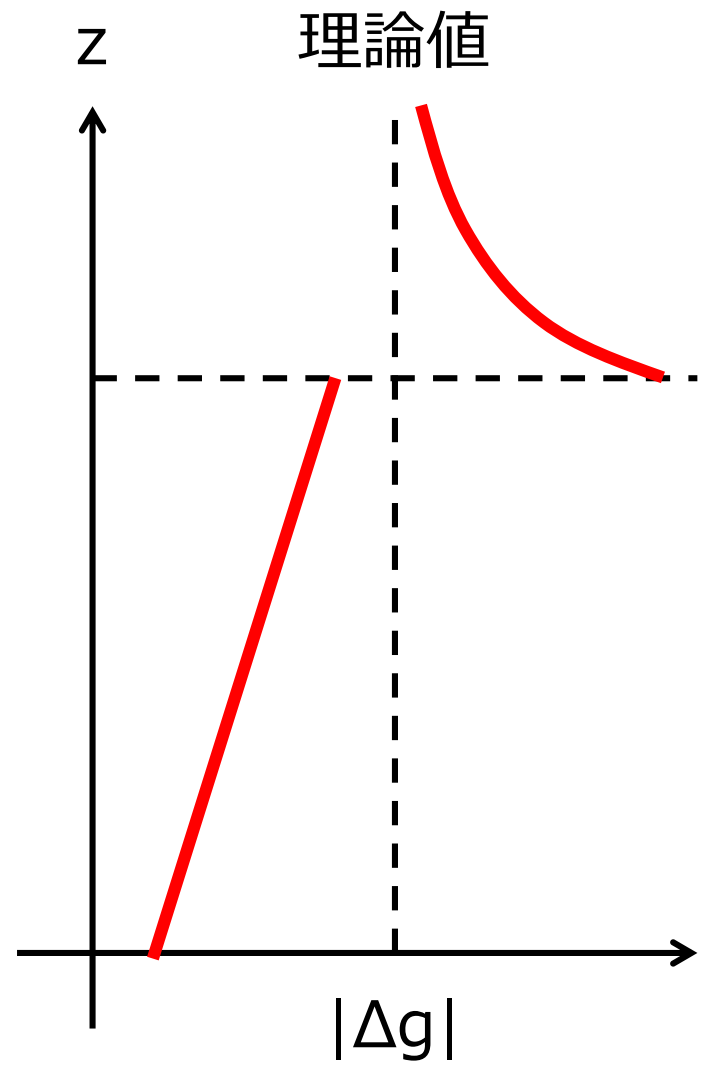
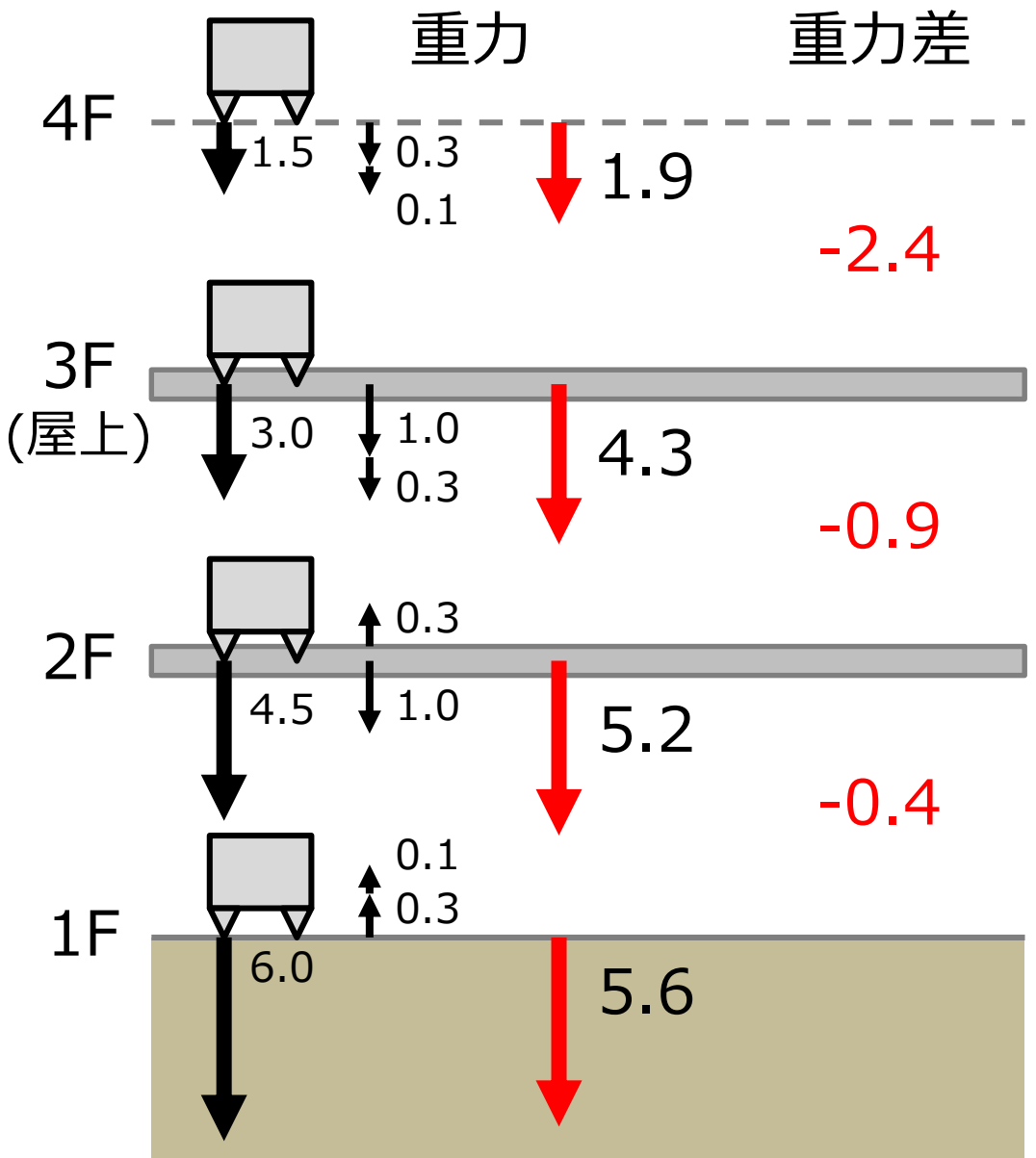


建物くらいのスケールでは、質量に近ければ近いほど万有引力の効果が劇的に大きくなる！

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)

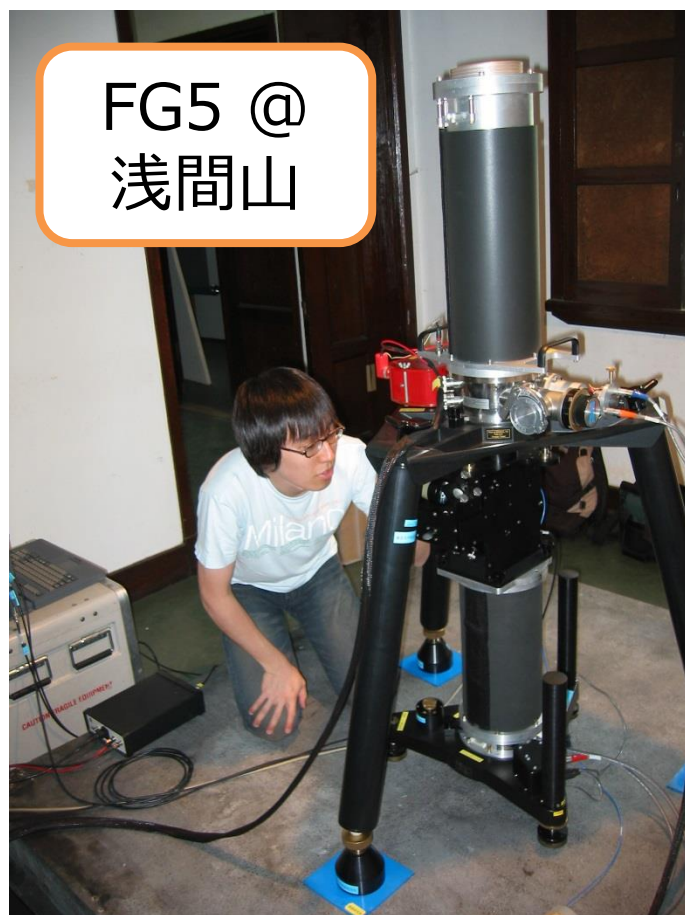
発展：いろいろな重力計

- 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



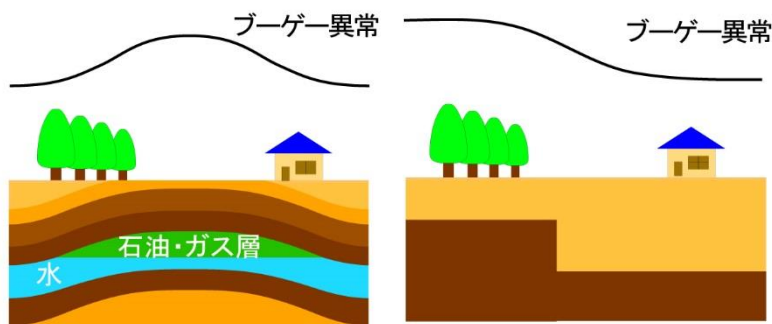
発展：いろいろな重力計

	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 μGal	約 0.01 μGal	FG5: 約 3 μGal A10: 約 10 μGal
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！		

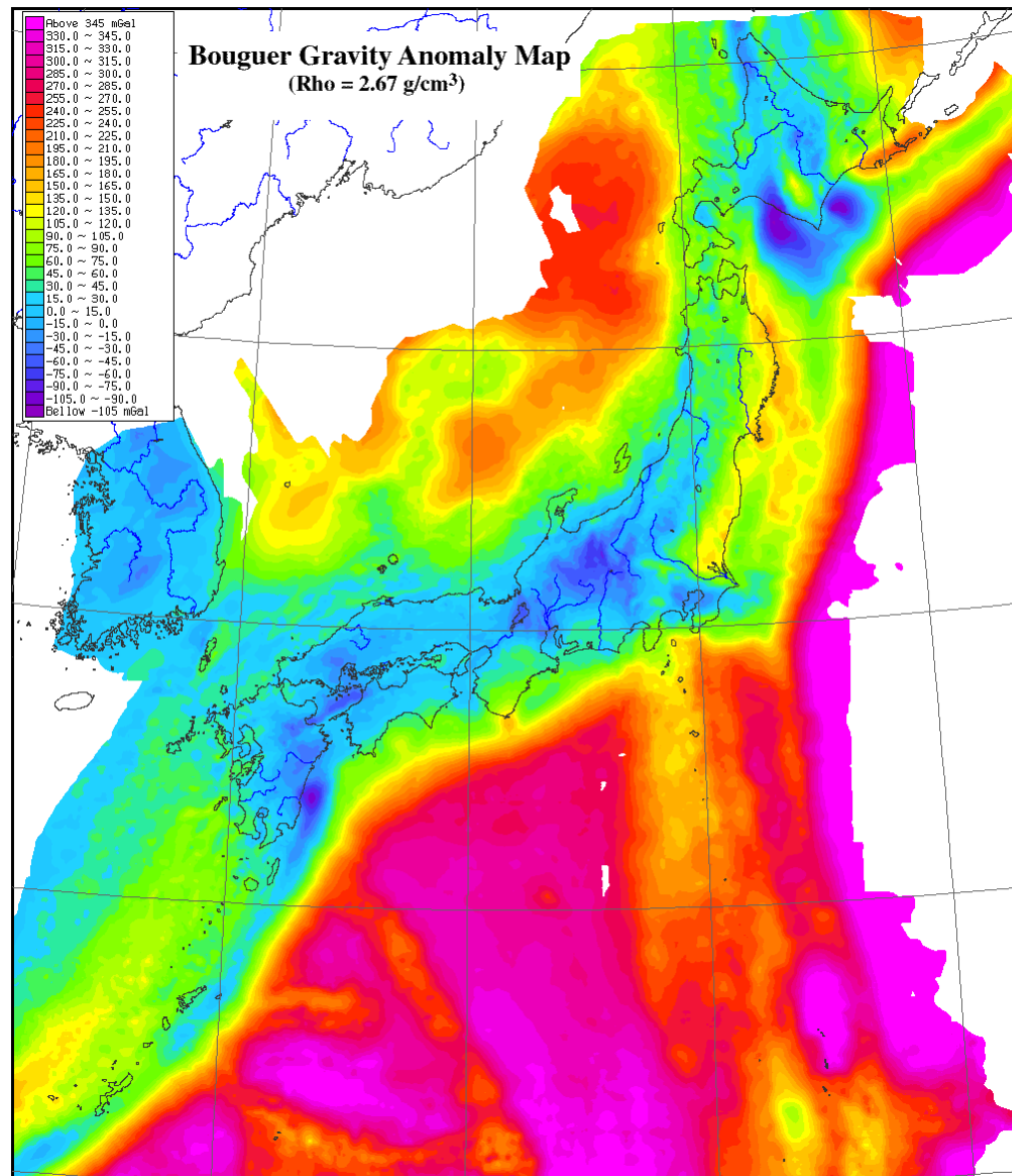
発展：重力測定で何が分かる？

- たくさんの観測点
で相対重力測定 →
地下密度の空間的
な分布がわかる

(右図：産業技術総合研究所)

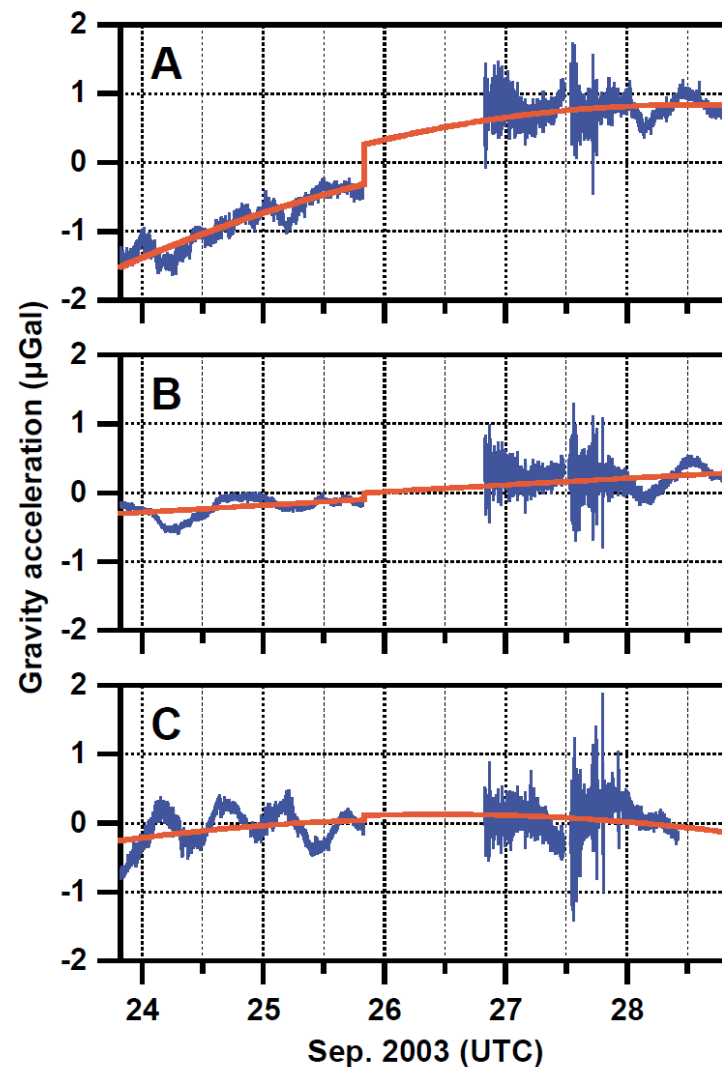
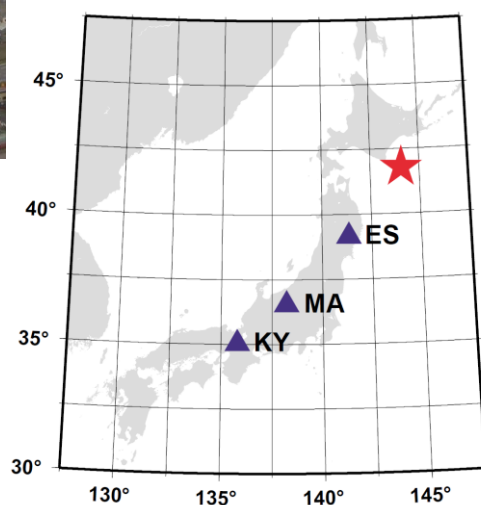


(上図：日本測地学会)



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



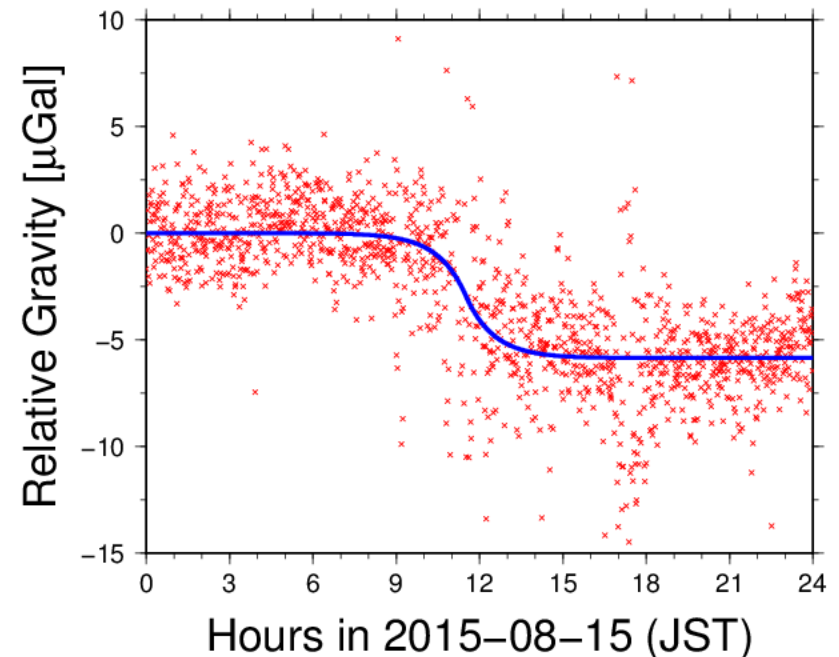
(写真：profile.ne.jp /
図：Imanishi et al., 2004)

発展：重力測定で何が分かる？

- 2015年桜島急膨張イベント時にバネ式相対重力計で $-5.86 \mu\text{Gal}$ の重力減少を検出
- 地面隆起 + 密度約1.0の物質の貫入 によってこの重力変化を説明できる

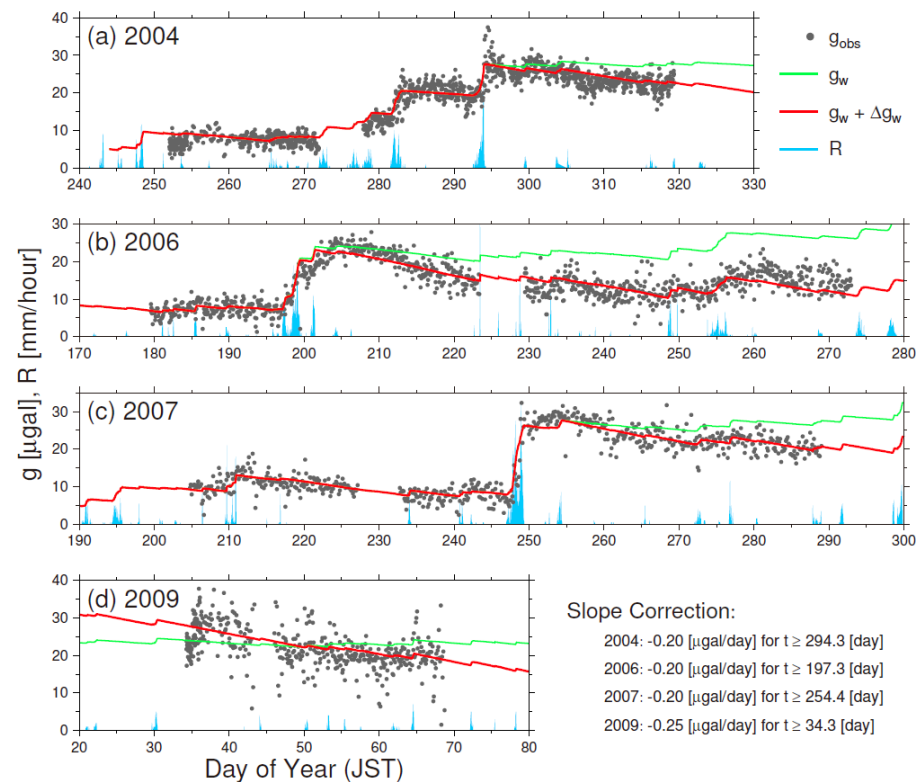
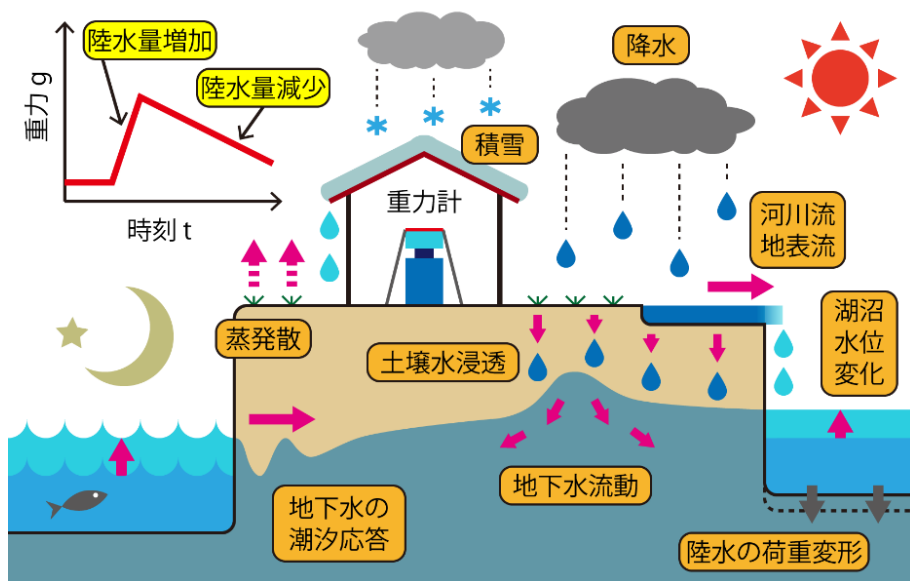


(写真：NHK / 図：風間ほか, 2015)



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
- 数値計算によって $3 \mu\text{Gal}$ 精度での再現に成功



(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 や重力差 Δg は場所によって異なることが分かった
- g や Δg 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