

課題演習DA（測地学） 補足説明

助教 風間卓仁

takujin [at] kugi.kyoto-u.ac.jp

測地学演習の流れ

- 地球のかたちをはかる（第1,2回目）
 - 水準測量やGPS測量によって地形を測定する
- 地球の重力をはかる（第1,2回目）
 - 相対重力計を使って重力加速度(重力)を測定する
- 観測データから地下構造を調べる（第3回目）
 - 水準・GPS測量＋重力測定の結果からブーゲー重力異常を求める

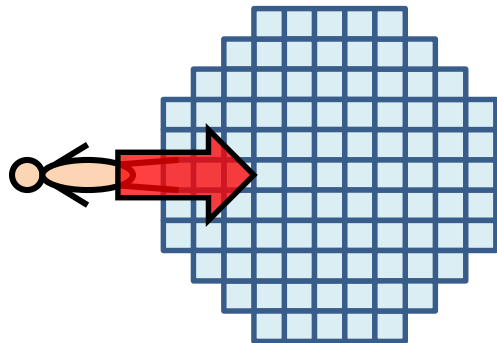
重力と質量分布の関係

- 正規重力 $\gamma(\varphi)$: 回転楕円体の理論的な重力分布 (扁平楕円体の寄与、遠心力の寄与)

$$\gamma = 978.03267715 \left(1 + 0.0052790414 \sin^2 \psi + 0.0000232718 \sin^4 \psi + 0.0000001262 \sin^6 \psi + 0.0000000007 \sin^8 \psi \right)$$

(式：測地学テキストより)

- 重力は質量分布の空間積分 → 正規重力からの重力観測値のずれは地下の質量異常を意味する



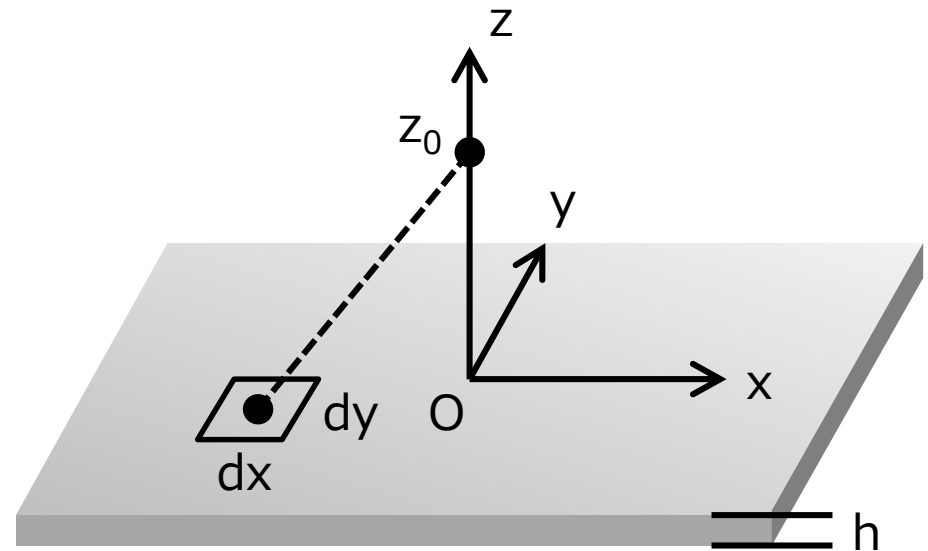
$$g(x, y, z) = G \int \frac{dm(x, y, z)}{r^2} \cdot \frac{z}{r}$$

高さ(厚さ)と重力の関係

■ 重力の高さ変化率 (重力鉛直勾配) $dg/dz \sim dy/dz = -0.3086 \text{ mGal/m} = -3.086 \text{ } \mu\text{Gal/cm}$

■ 厚さ h , 密度 ρ の無限平板による重力変化

$$\iint \frac{G \rho dx dy h}{r^2} \cdot \frac{z_0}{r} \\ = \dots = 2\pi\rho Gh$$

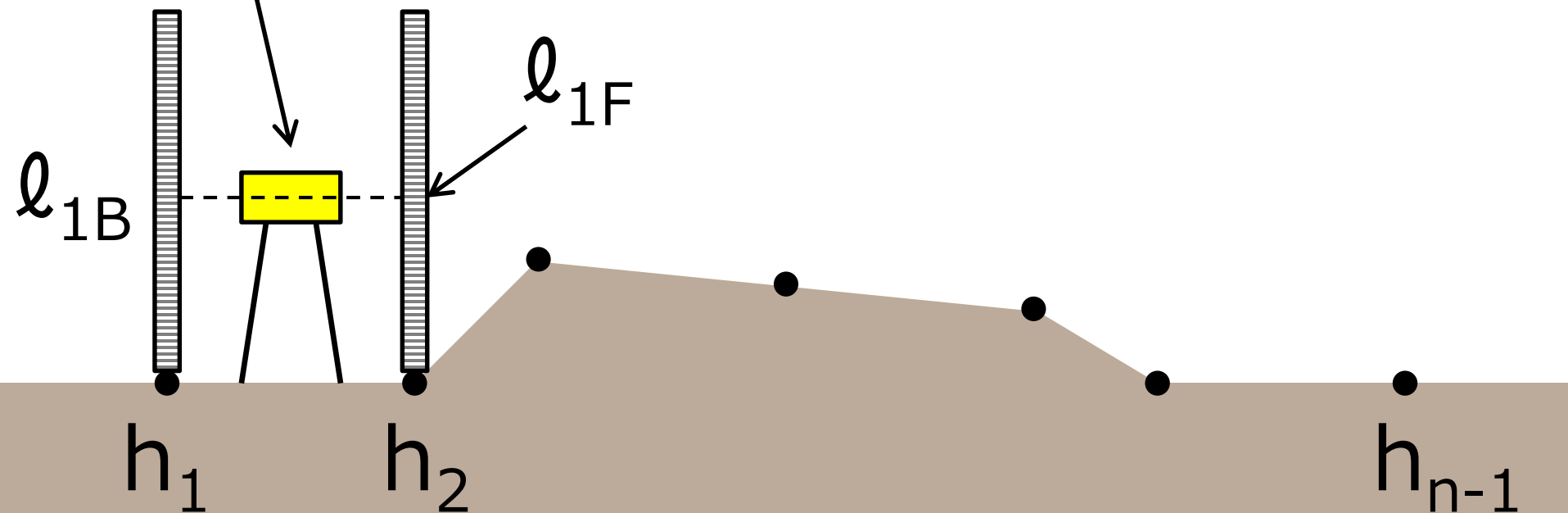


■ $h = 1\text{E-}3 \text{ m}$, $\rho = 1\text{E+}3 \text{ kg/m}^3$ の時の重力変化は約 $0.042 \text{ } \mu\text{Gal}$

水準測量

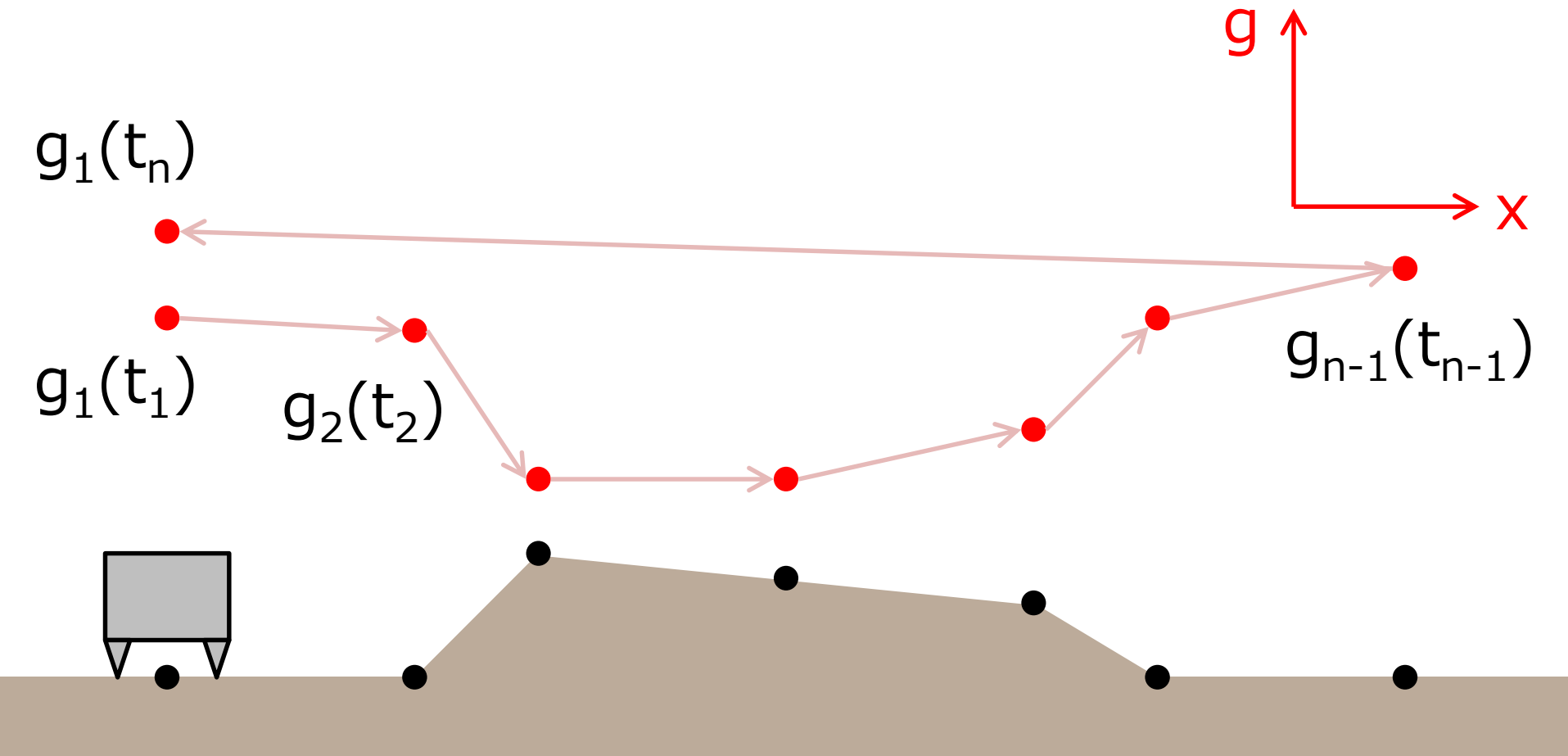
- 水準儀と標尺を使って標高差(比高)を測る
- ある基準点の海拔が既知だと海拔値に変換可

$$h_2 - h_1 =$$



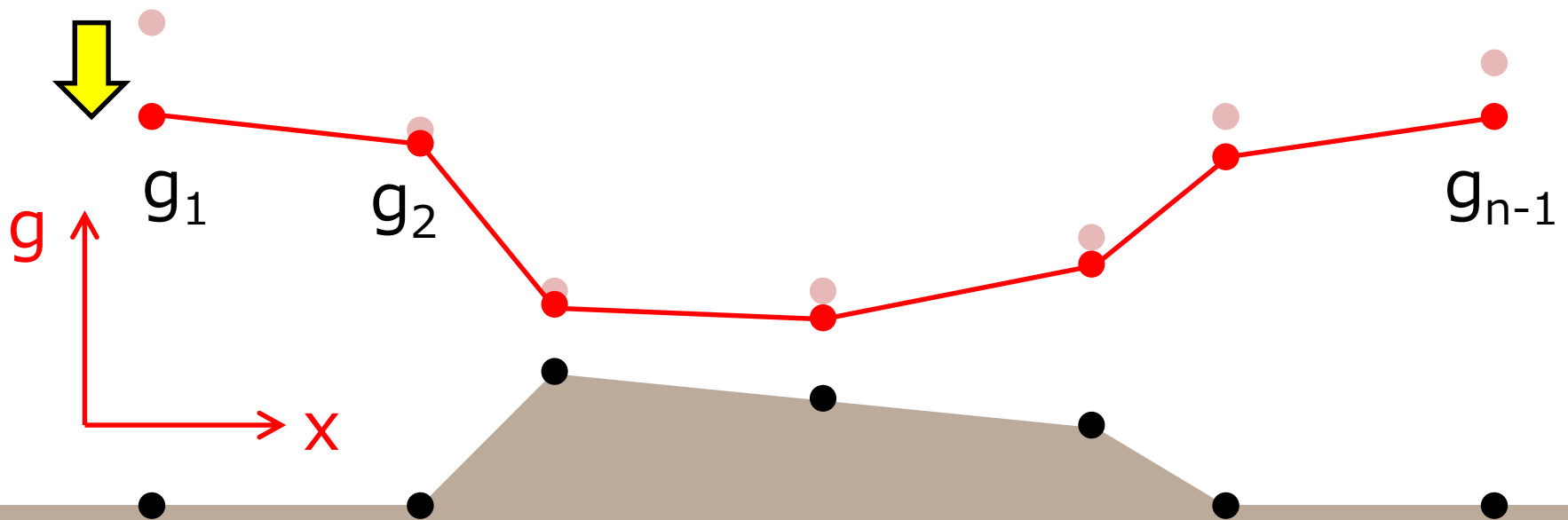
重力測定

- 可搬型バネ式相対重力計を使って重力差を測る
- ある基準点の絶対値が既知だと絶対値に変換可



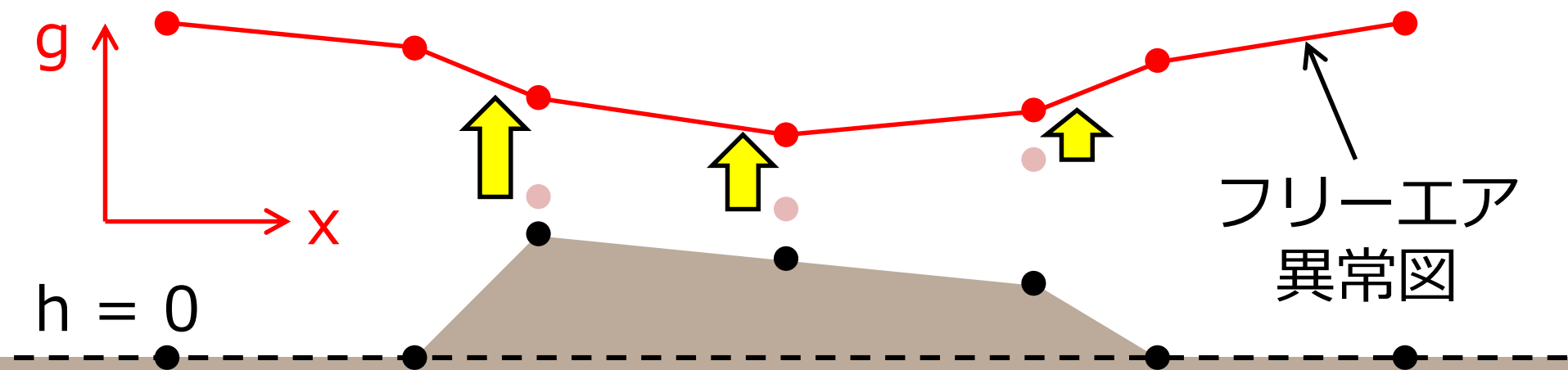
重力値の補正

- 器械高補正 : $0.3086 \text{ mGal/m} * h \text{ m}$ を加算
- 潮汐補正 : 各時刻における潮汐起源の重力変化理論値を引く (補正值の場合は加算する)
- ドリフト補正 : ばねの経時的変化の影響を引く



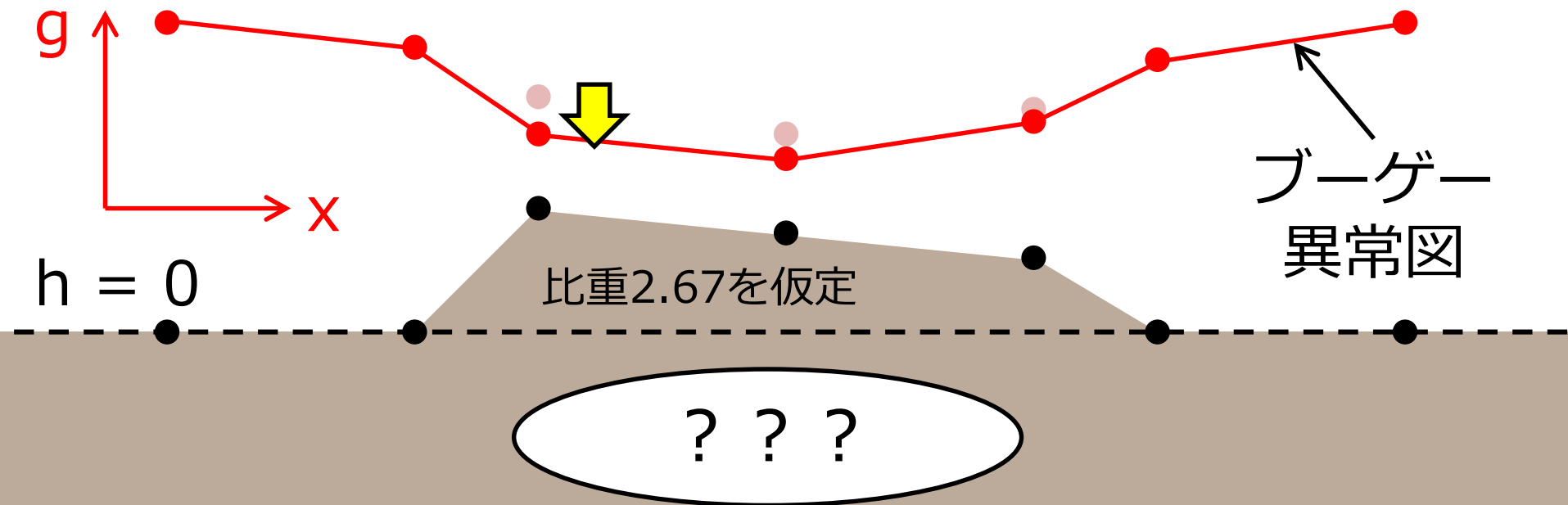
フリーエア異常

- 重力値 - 正規重力 + フリーエア補正
- 正規重力 $\gamma(\varphi)$: 緯度 φ における重力理論値
- フリーエア補正 = $+ 0.3086 \text{ mGal/m} * h \text{ m}$:
地球重心からの距離の効果を補正
- 地表面より下の質量分布の情報を反映している



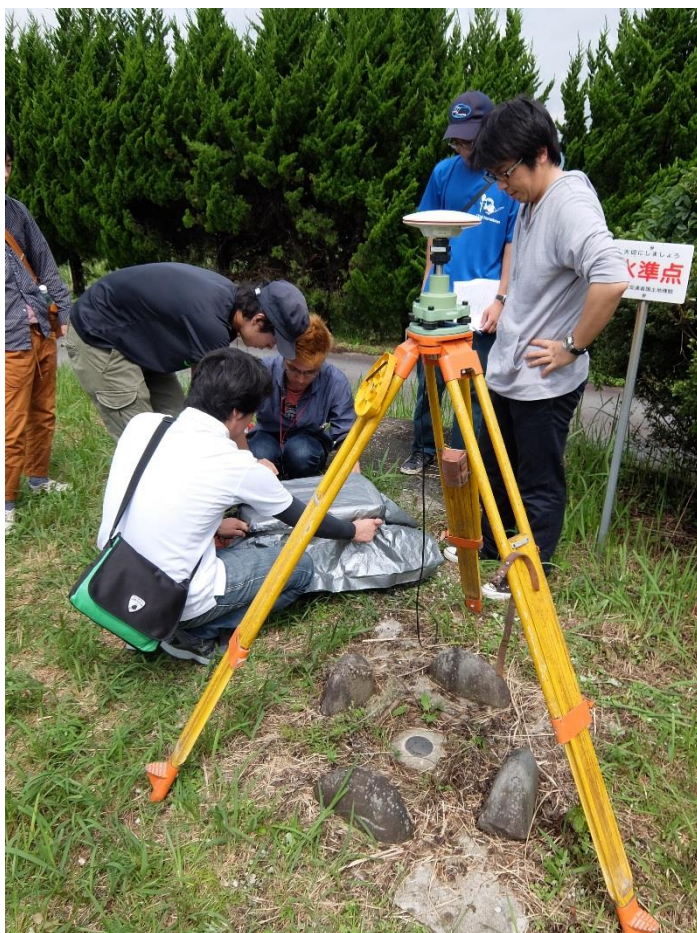
ブーゲー異常

- フリーエア異常 + ブーゲー補正 + (地形補正)
- ブーゲー補正 = $-0.1119 \text{ mGal/m} * h \text{ m}$:
基準面からはみ出した質量の効果を補正
- 基準面より下の質量分布の情報を反映している



GPS測量（水準儀不調時に実施）

- GPSアンテナ・受信機でGPS衛星からの電波を受信し、アンテナの座標を求める

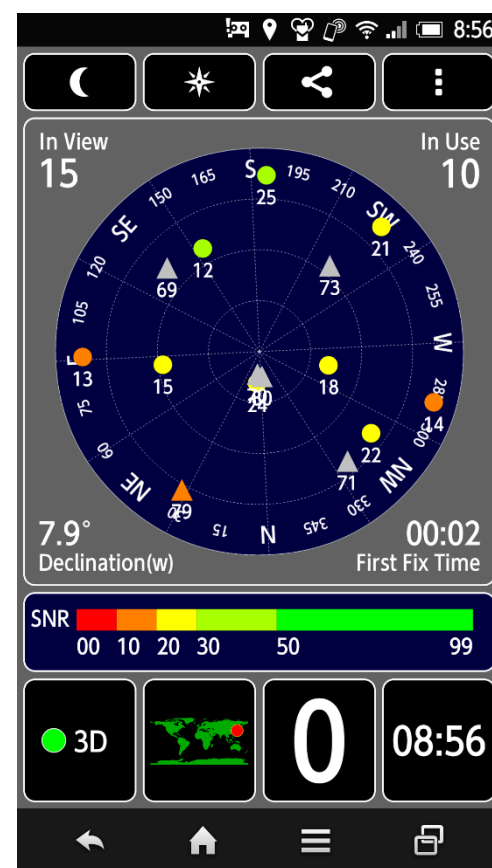
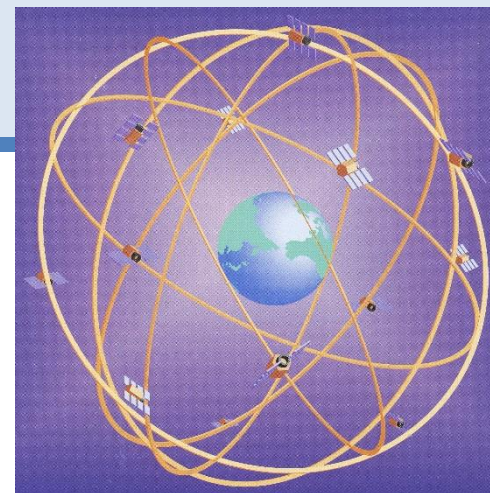


GPS衛星

- 高度2万kmを飛んでいるアメリカのGNSS衛星：合計32個
- GNSS: Global Navigation Satellite System
 - GLONASS (ロシア：24個)
 - Galileo (EU：4個)
 - 北斗 (中国：16個)
 - みちびき (日本：1個)

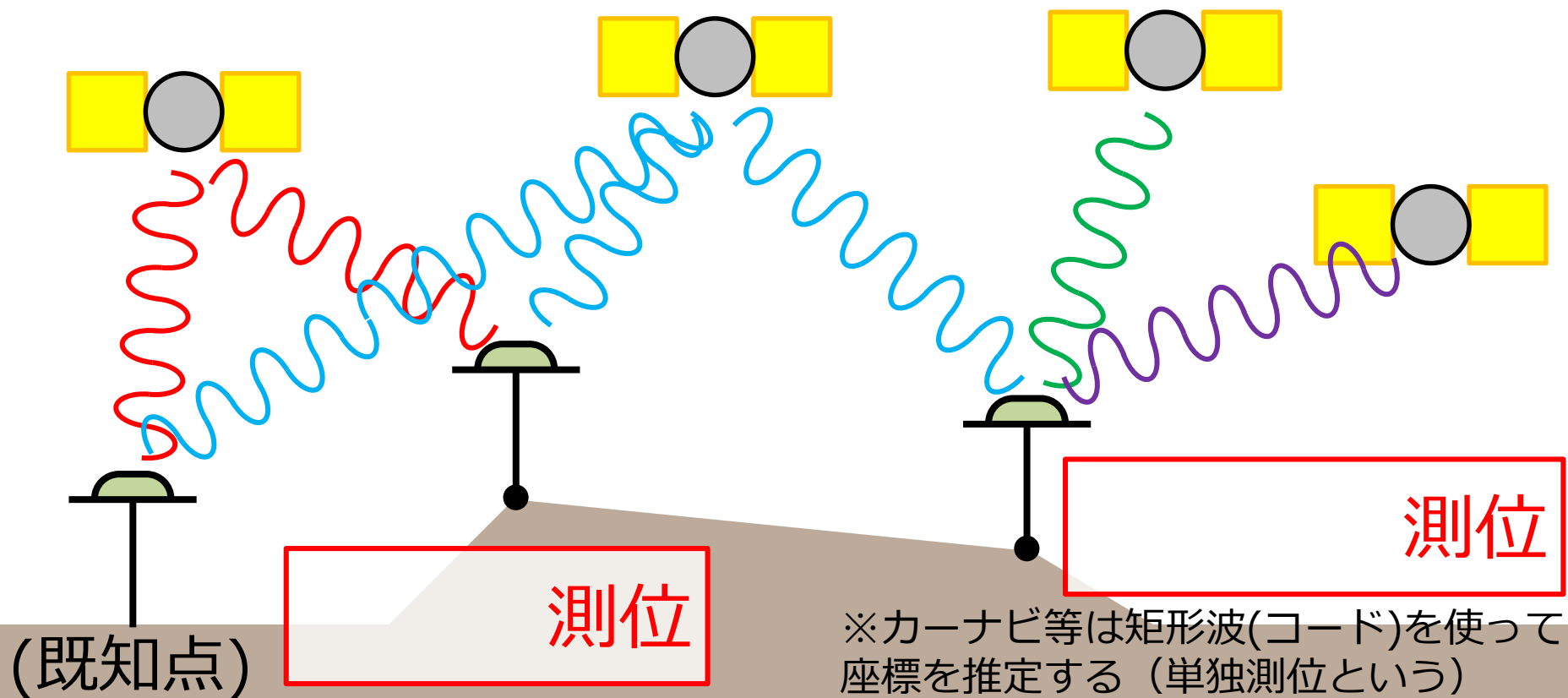
上図：GPS衛星の軌道 (nc-toyama.ac.jp)

下図：GNSS衛星のSky Plot (Androidアプリ “GPS Test”)



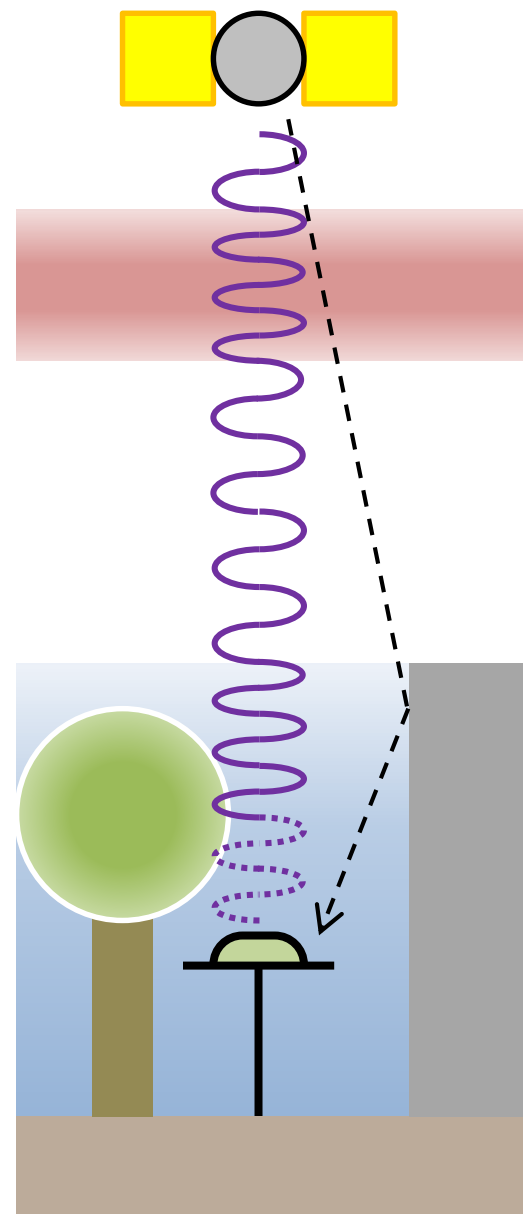
座標決定(測位)のしくみ

- GPS衛星から発せられる正弦波(搬送波)の波数から衛星～受信点の距離がわかる → GPS衛星の位置情報(暦)を使って受信側の座標を決定



正しい座標値を得るために

- 電離層の電波遅延を補正する：2周波の波を受信することで補正可
- 大気中の電波遅延を補正する：乾燥大気の寄与は大気構造モデルで補正／湿潤大気(水蒸気)の寄与は解析時に推定
- 電波の多重反射・遮蔽をなくす：樹木や建物から離れた場所に設置

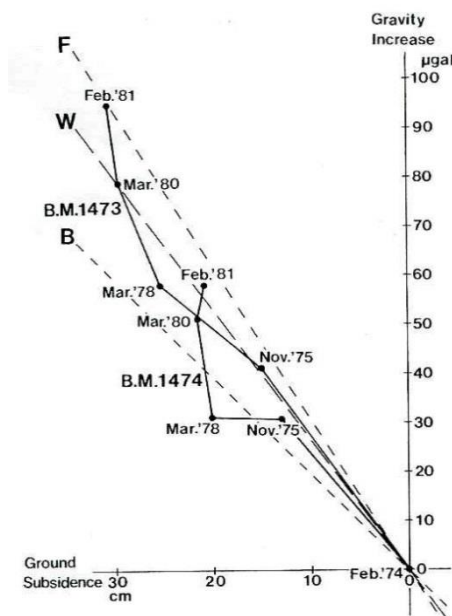
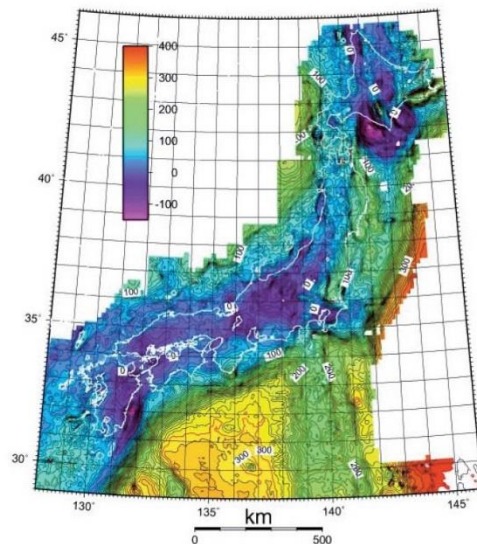


座標測定 + 重力測定の意味

- 地形と重力を線的・面的に測る
→ 地下の質量(密度)異常を非破壊で把握できる
- 時間変化も測る(地殻変動・重力変化) → 地下質量の移動や増減も把握できる
- 活断層周辺・地震火山域・地盤沈下域で応用されている

上図：日本の重力異常（立命大・熊谷道夫氏HPより）

下図：地下水取水域の地殻・重力変動（Satomura, 1985）



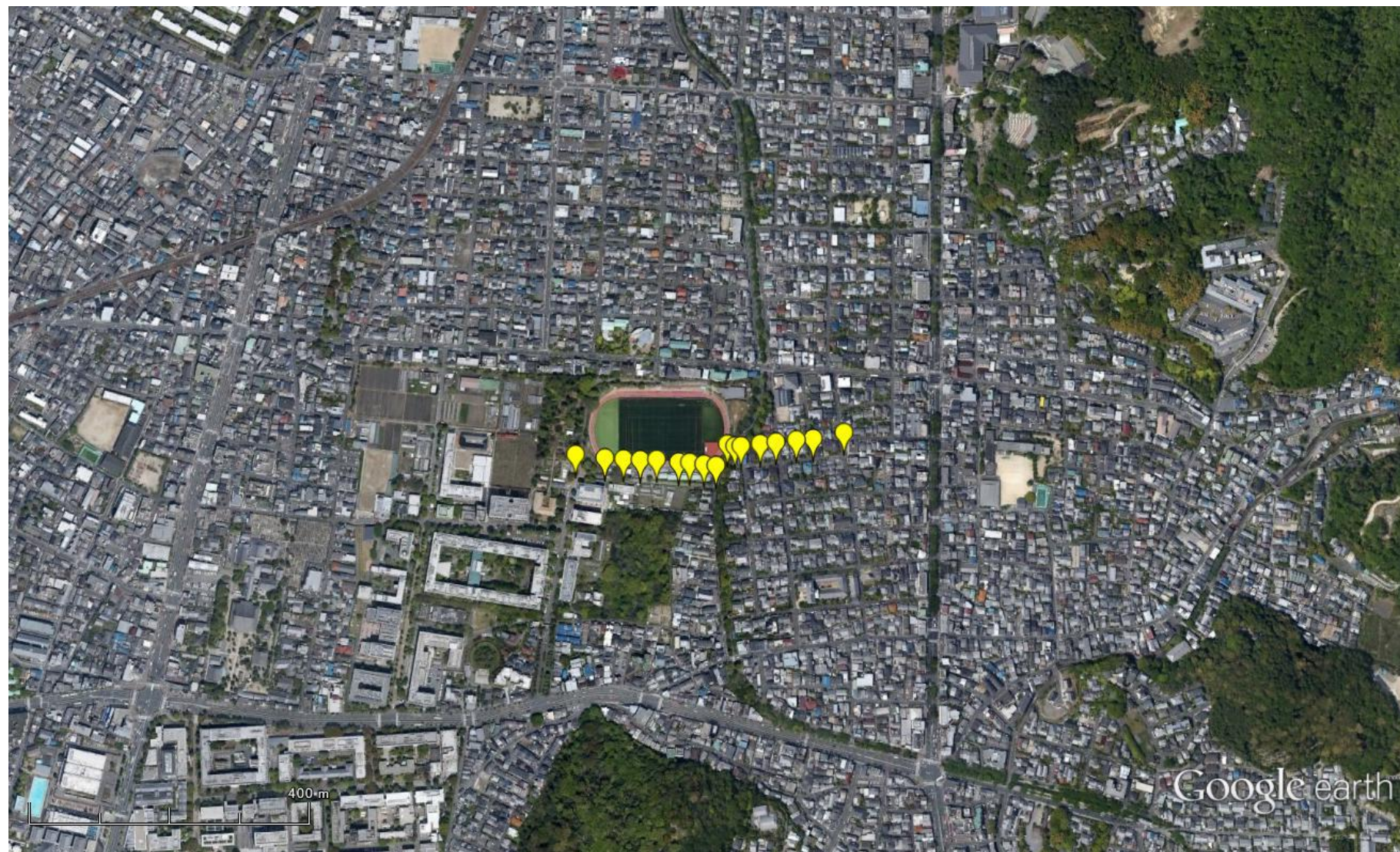
参考になるサイト・書籍

- 測地学研究室 **NEW!** <http://goo.gl/Ly5m40>
 - この資料もPDFとして掲載予定です
- 測地学テキスト <http://goo.gl/YPgflX>
 - 2-2-3-2 フリーエア異常 <http://goo.gl/94MJUl>
 - 2-2-3-3, 2-2-3-4 も参考になります
- Wikipedia 「重力異常」
 - 日本語版 <http://goo.gl/D2R7Kp>
 - 英語版 <http://goo.gl/qR8h5E>
- 地球が丸いってほんとうですか？ (朝日選書752)

次回の予告

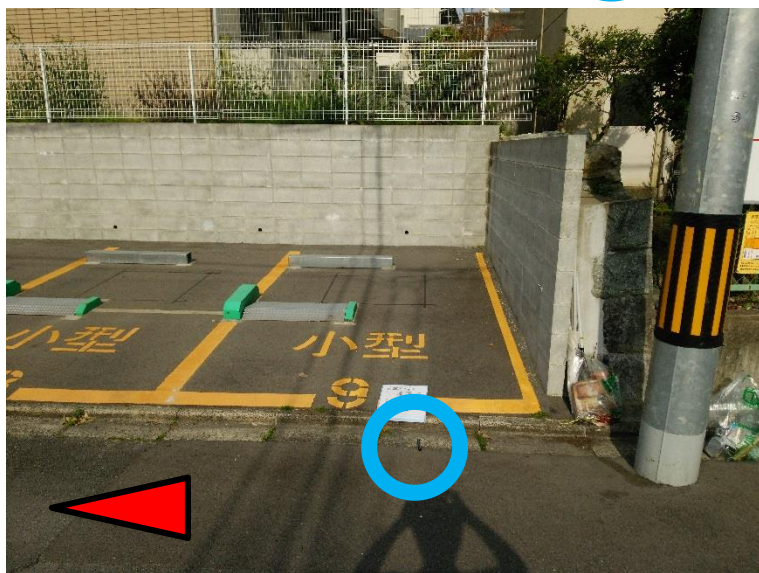
- 1-2回目で取得した標高・重力データを解析し、吉田キャンパス北部構内のブーゲー重力異常図を作成します
- 集合は今回同様、1号館462教室で
- 普通の電卓や関数電卓、スマホの電卓アプリ、PCやiPadなど表計算ソフトが扱えるもの等を持ってくるとラクです

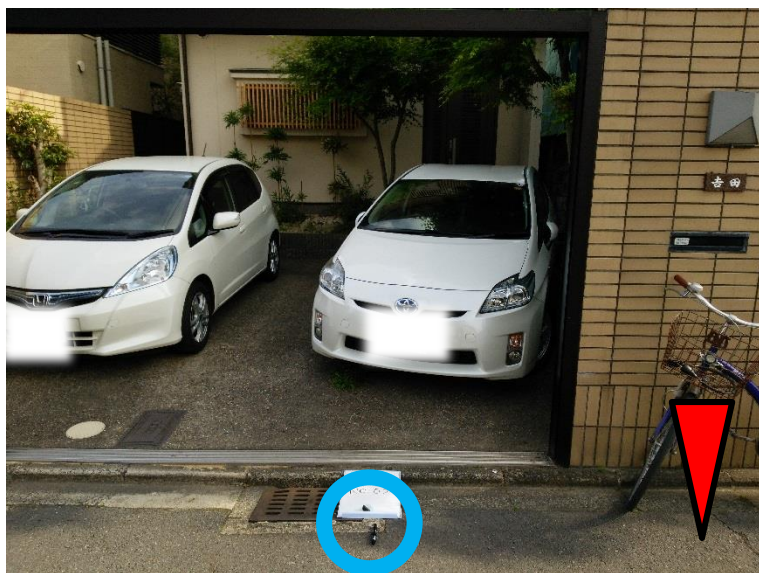
(以下参考) 基準点配置図



BM01

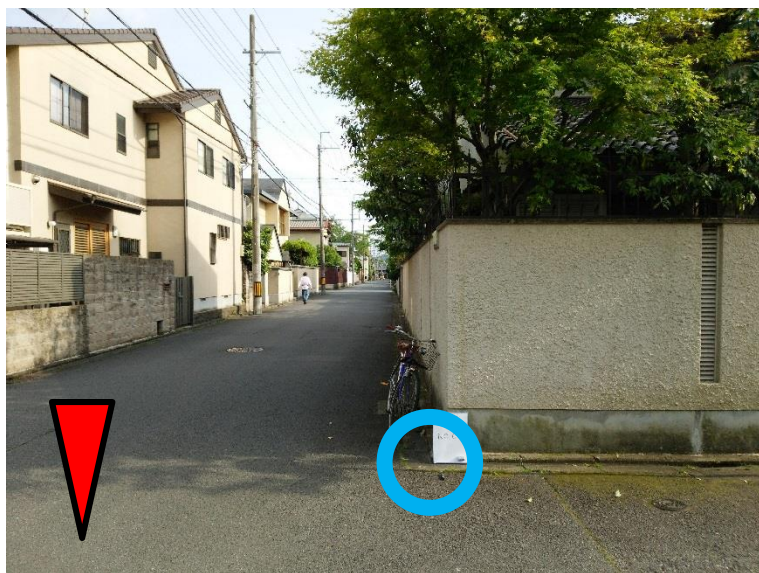
点線の丸は従来の基準点。電信柱が立ったため使用不可。

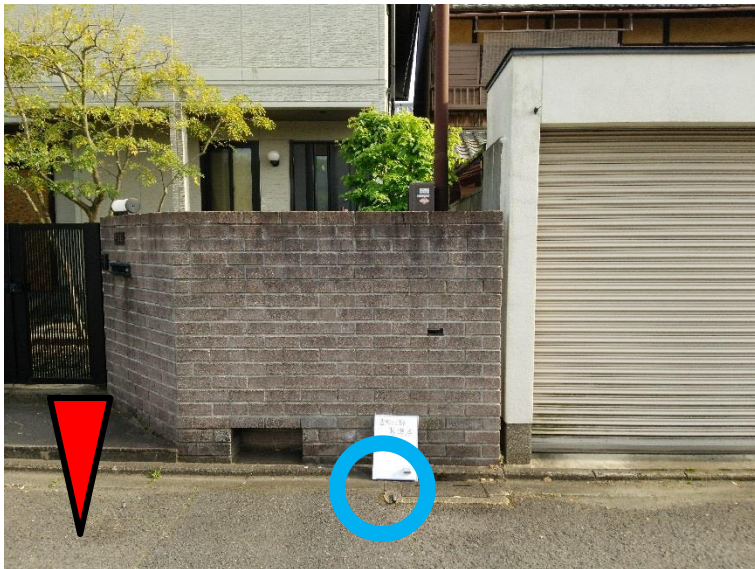






BM04 アスファルトに設置されているほうの基準点。

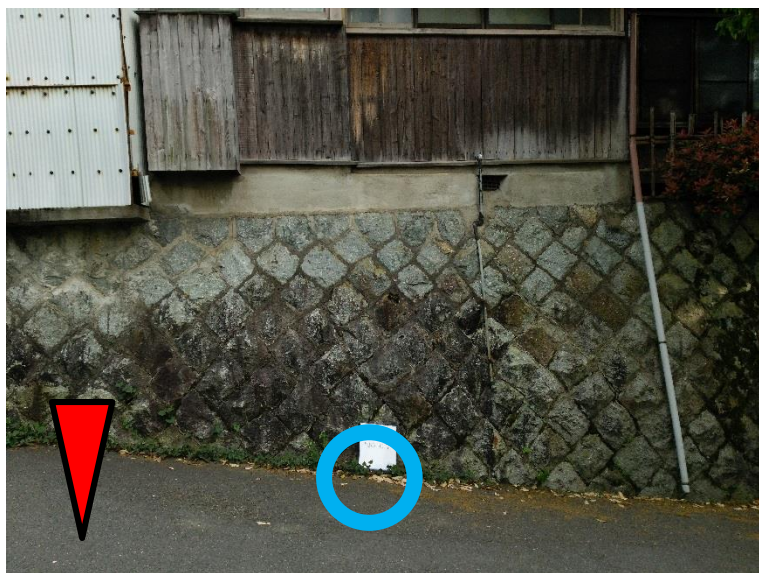






BM07

坂の途中にある。見つけるのが難しいかもしれない。

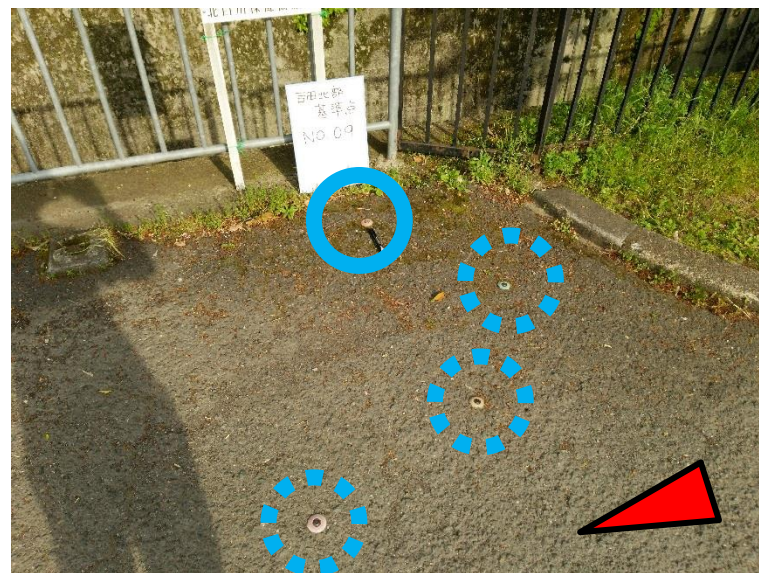
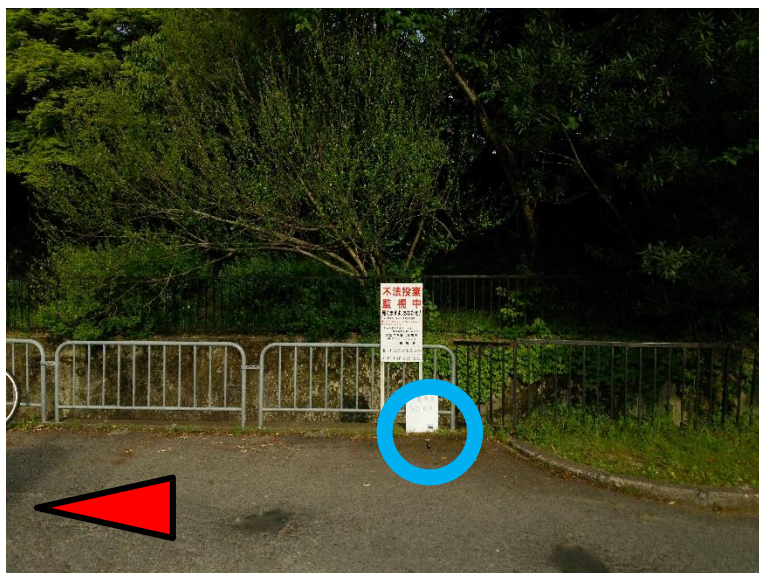


BM08 疎水に架かる橋の北東隅にある。



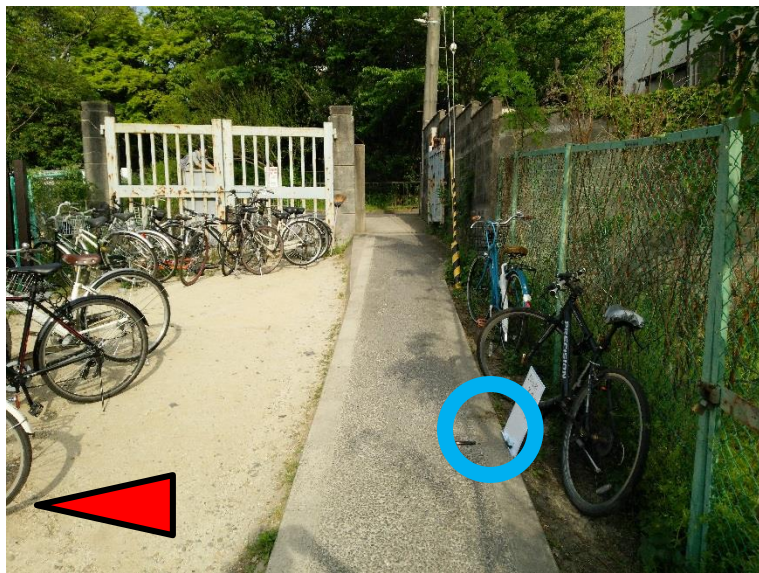
BM09

他にも基準点がいくつかあるが、一番奥のものを使う。

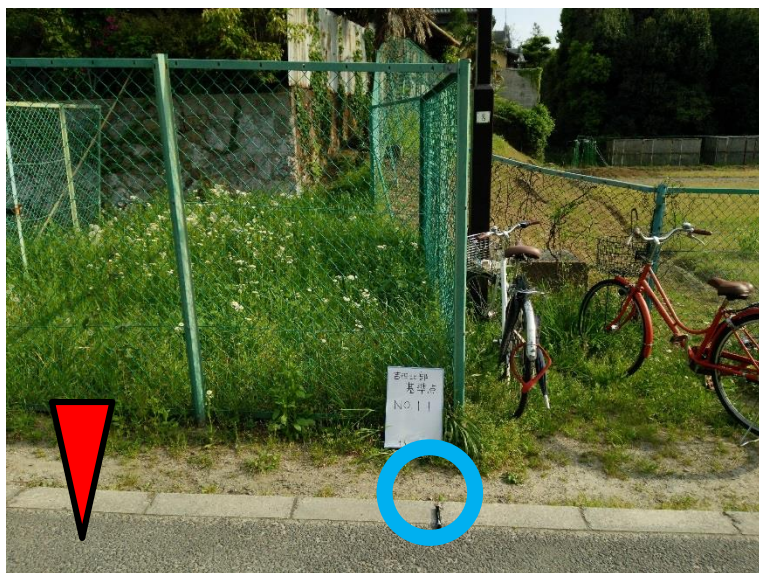


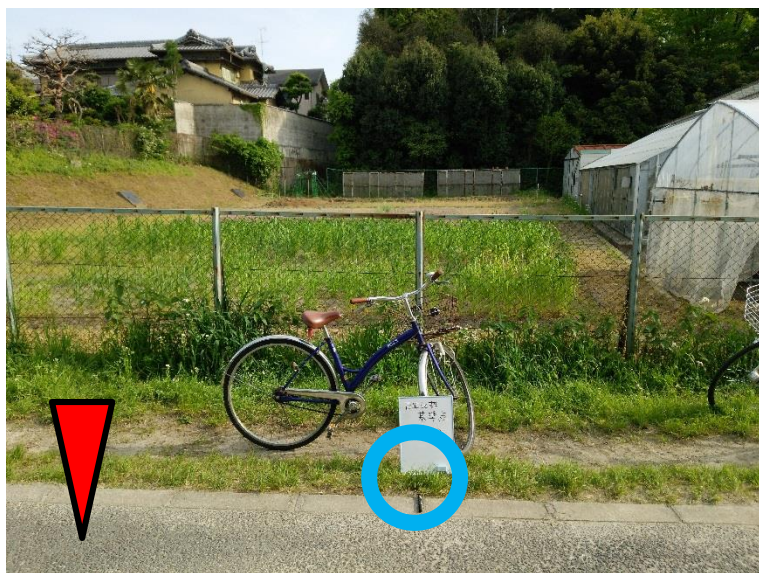
BM10

門のBM09側に水準儀を置き、門の隙間から覗くとよい。



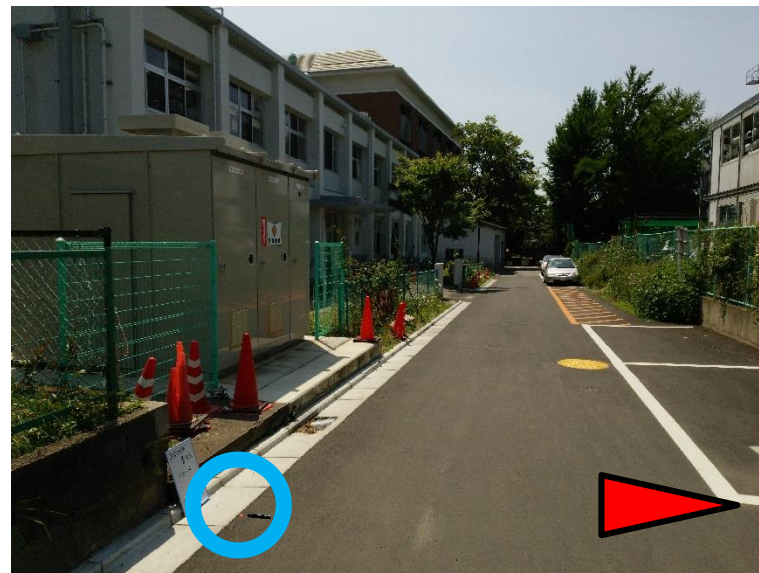
BM11 自転車に注意。夏場はやぶ蚊にも注意。





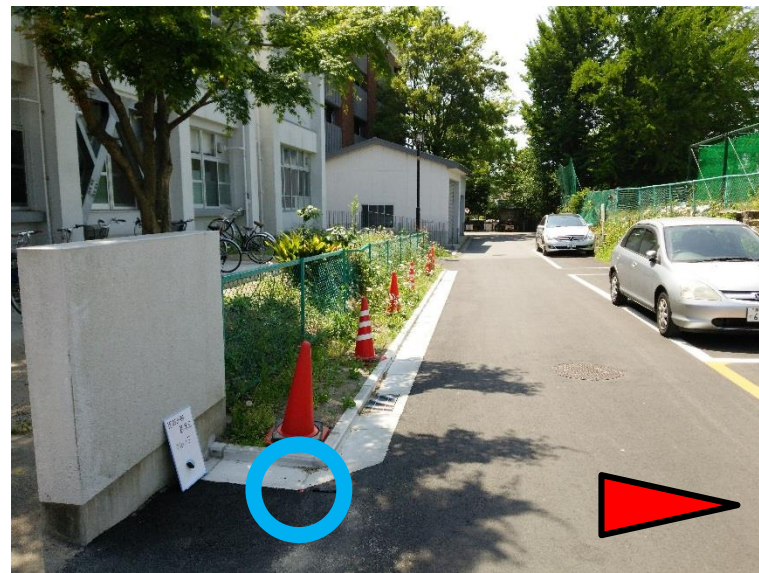


BM14 2014年度までに欠損したため再設置。



BM15

2014年度までに欠損したため再設置。



BM16

