



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

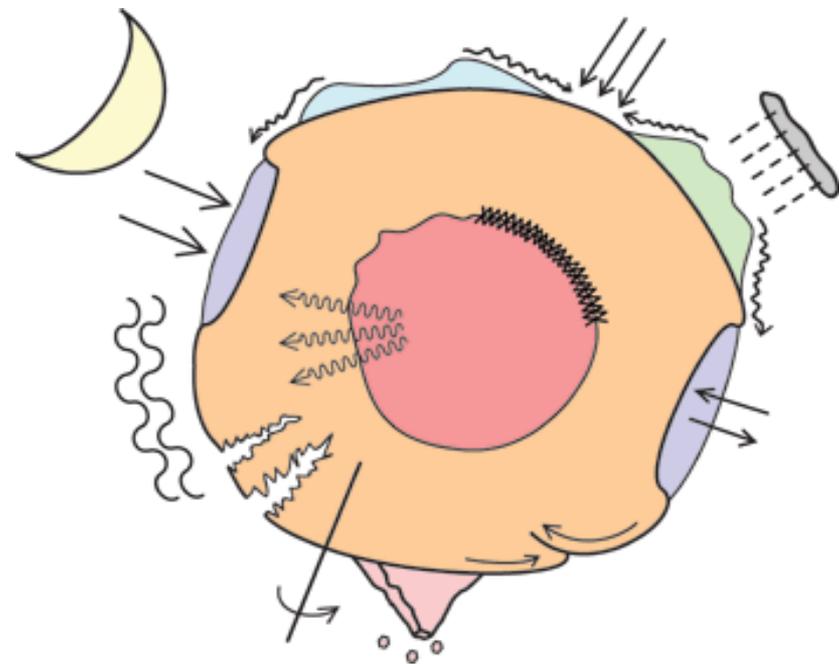
測地：水準測量

京都大学理学研究科

助教 風間卓仁

測地学とは？

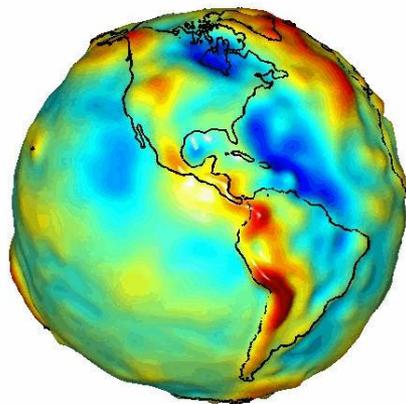
- 地球の大きさや形、**およびその時間変化**を計測する学問
- また、その計測方法や計測精度の向上を探究する学問
- 計測された測地データを他学問と融合させて検証する学問



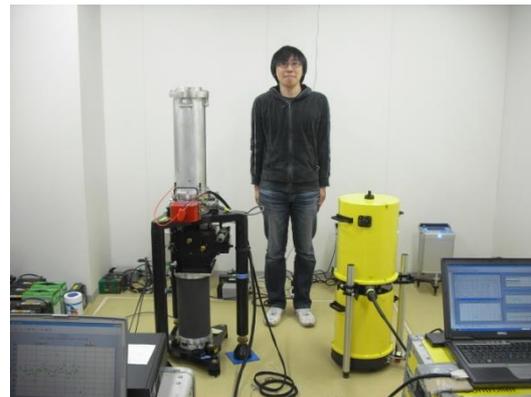
日本測地学会「測地学テキスト」より
<http://www.geod.jpn.org/web-text/>

地球を測る

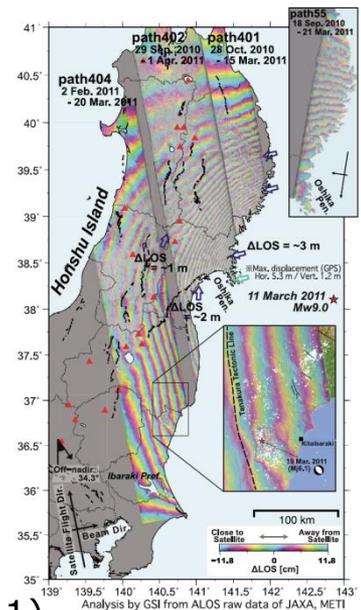
- 緯度・経度・高さ：GPS測量
- ジオイド：人工衛星による重力観測
- 重力加速度：地上での絶対重力測定
- 地表形状：水準測量・衛星レーダー観測



(CSR websiteより)

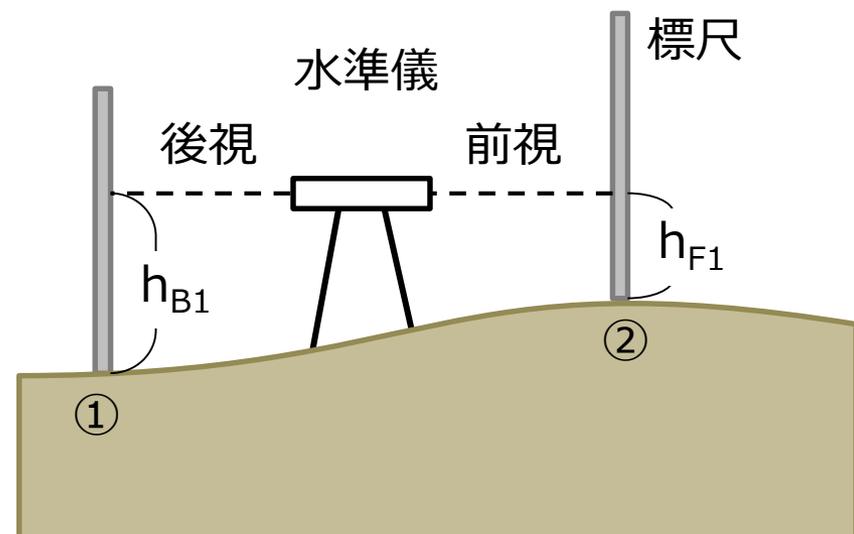


(Kobayashi et al., 2011)



(直接)水準測量

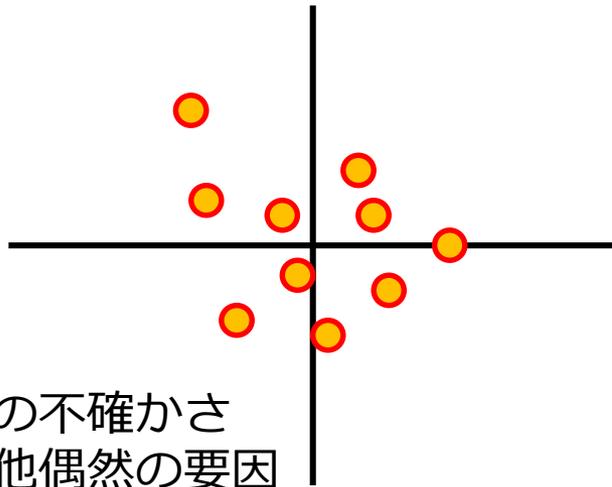
- 2点間の高低差(比高)を測定する方法の1つ
- 2点間の中央に水準儀を置き、前後の標尺を置き、前後の標尺の目盛値を読む
- 目盛値の差が2点間の比高となる
- 長い測線では $n=$ 奇数にして誤差を小さく



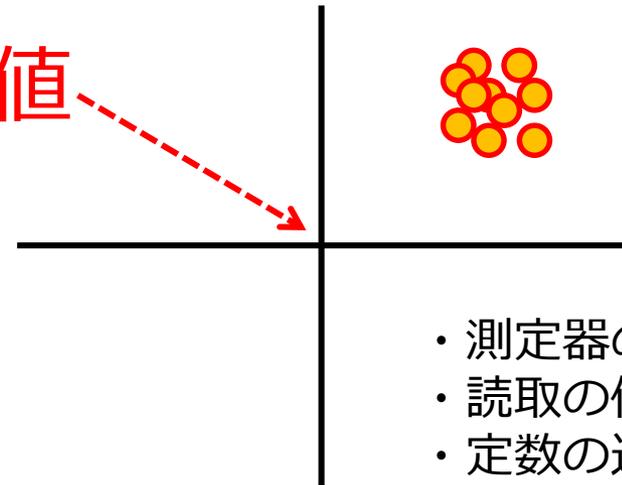
$$h_{1 \rightarrow 2} = h_{B1} - h_{F1}$$

$$h_{1 \rightarrow n} = \sum_{i=1}^{n-1} (h_{Bi} - h_{Fi})$$

偶然誤差と系統誤差



真値



大きい	偶然誤差 (accidental error)	小さい
小さい	系統誤差 (systematic error)	大きい
低い	精度 (precision)	高い
高い	確度 (accuracy)	低い

水準測量における誤差評価

- 「真値 = 2点間の正しい比高」とした場合
- 偶然誤差 / 精度の評価
 - 同じ測線を往復測量し、往復比高差（較差）の大きさで評価する
- 系統誤差 / 確度の評価
 - （真値が時間変化しない場合）過去の測量結果の平均値を真値と考え、それとのずれを評価する
 - （真値が時間変化する場合）地球科学的に意味のあるシグナルが系統誤差に含まれているかも！？

今回測量する測線

花折断層



吉田神社測線

今回測量する測線



吉田幼稚園の送迎が午後2時ごろあるので、
人や車に注意して測量を行いましょう！

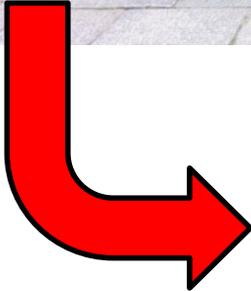
基準点の位置

YSW

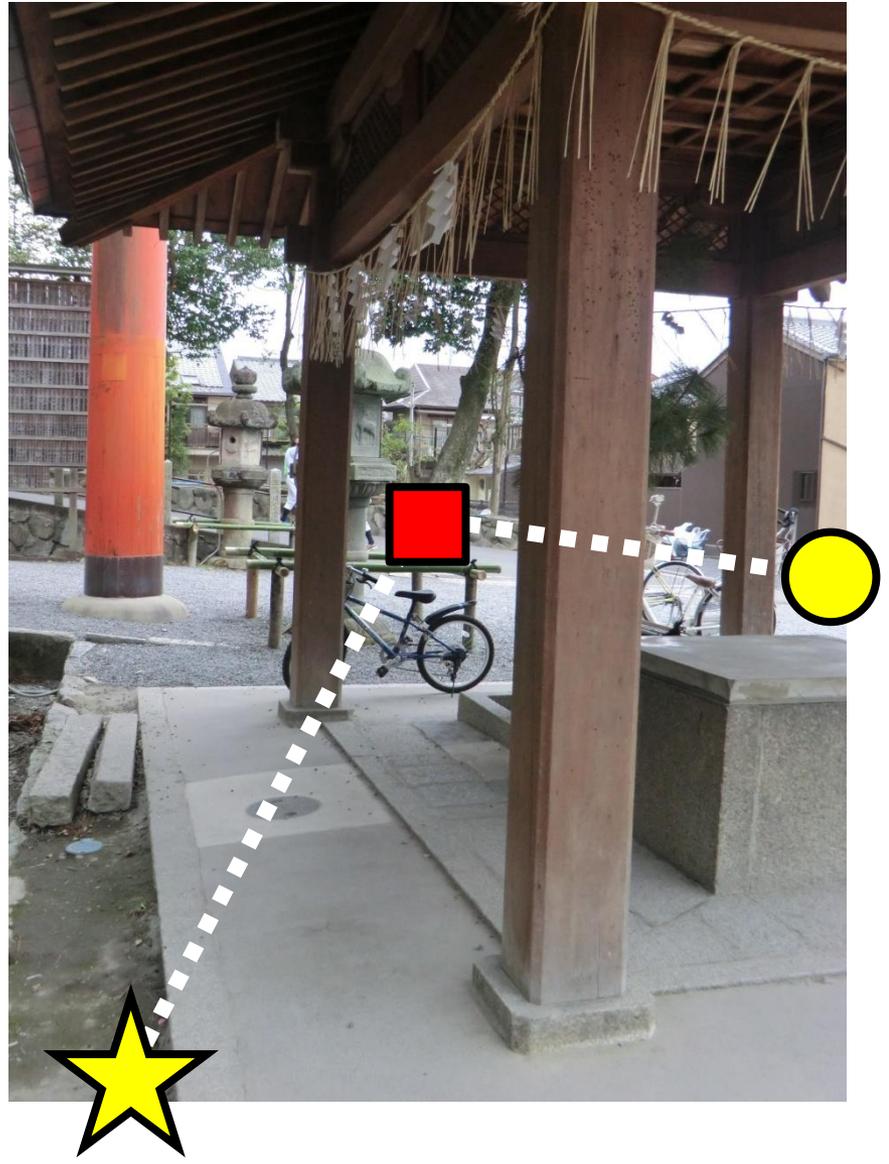


YSE

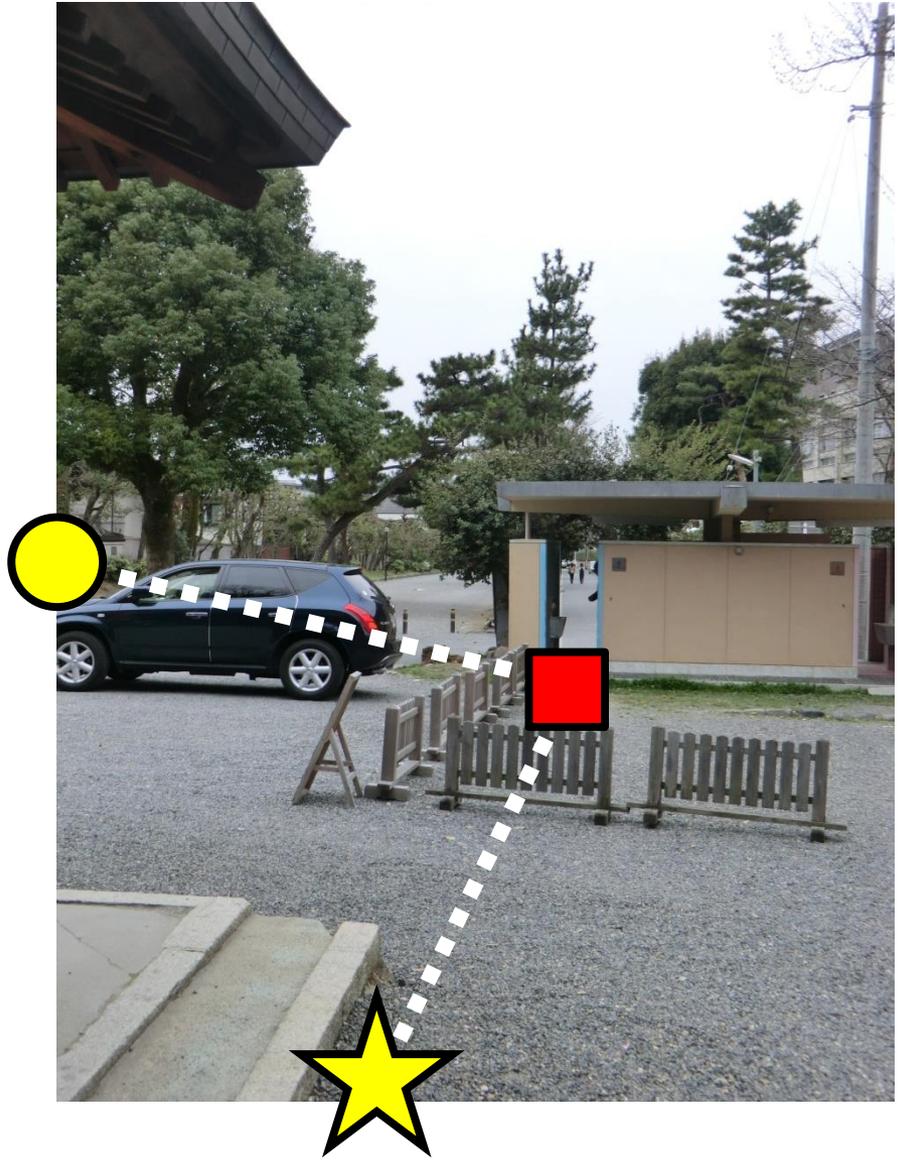


- 
- 予想1：標高差はどのくらい？
 - 予想2：較差何ミリで測定できそう？

水準儀(6回目)の設置候補地①



水準儀(6回目)の設置候補地②



必要な用具（各班につき）

- 水準儀：1台
- 三脚：1台
- 標尺：2本
- 標尺台：2台
- 日傘：1本
- 記録台：1枚
- 記録用紙：最低2枚
- ボールペン：1本
- 電卓：1個
- 飲み物：各自



それぞれの器具には番号が付いているので、1班から若い番号の器具を使いましょう！

役割分担（各班3-5人）

班	往路	復路
	標尺係	読取・記録係 (交代で)
	読取・記録係 (交代で)	標尺係

■ 7人のとき：4 + (3+TA)

■ 10人のとき：5 + 5

■ 8人のとき：4 + 4

■ 11人のとき：4 + 4 + (3+TA)

■ 9人のとき：5 + 4

■ 12人のとき：4 + 4 + 4

※3人の班ではTAが全行程に渡って記録係を担当し、3人はそれ以外の担当を4回ずつで交代する。

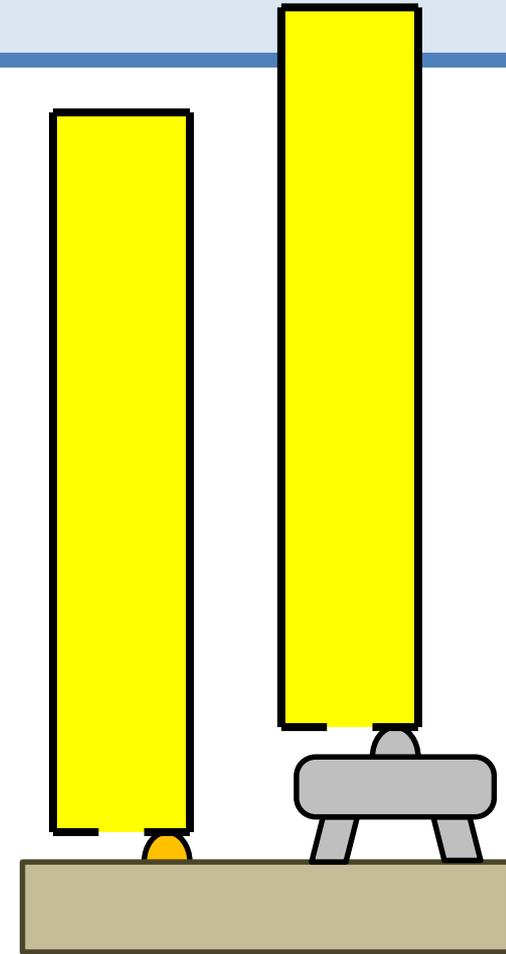
※5人の班では一番下の欄に2人の名前を記入。その場で相談して読取・記録・標尺係を交代で担当する。

手順1：設置場所の選定

- 最初の標尺位置
 - 後視：基準点の上
 - 前視：こちらで指定（約30m先）
- 記録係は標尺間の距離を歩測し、標尺位置と中間位置（水準儀の位置）に印を付ける

手順2：標尺の設置

- 標尺台を置き、台がずれないように体重をかけてしっかり踏み込む（基準点上では×）
- 標尺を3倍に伸ばし、標尺台・基準点に立てる（今回使用する標尺は底に穴が開いているので、その穴を避けて立てたほうがよい）



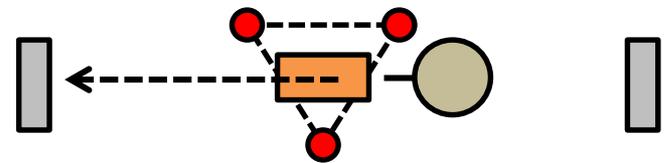
標尺（目盛面と底面）は丁寧に扱うべし！
立て掛け厳禁！ 日なたでの放置も厳禁！

手順3：水準儀の設置

- 三脚を広げて踏み込み、固定する
- 三脚に水準儀を取り付け、三脚上面（球状）の上で大まかに水平を合わせる
- 水準儀を固定し、フットスクリュー（3つあるが2つだけ使う）で正確に水平を合わせる



水準儀をのぞきやすくするため、三脚の足2本は標尺に向けるべし！

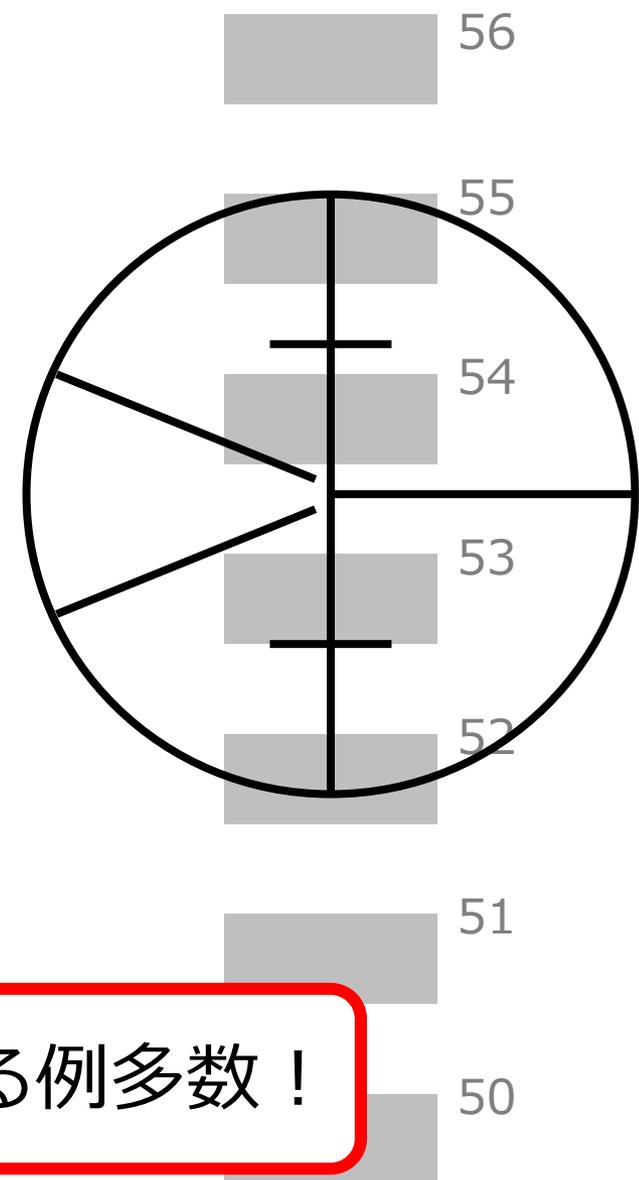


手順4：水準儀の調整

- 接眼レンズを回転し十字線のピントを合わせる
- 望遠鏡上部のピープサイト（▲）の延長線上に後視の標尺を大まかに合わせる
- 望遠鏡右上のつまみで標尺にピントを合わせる
- 望遠鏡左右下の微動ねじを回し、標尺の目盛りと十字線を一致させる

手順5：後視の読み取り

- 読取係は標尺係に目盛値を読み取ることを伝える
- 標尺係は水平を合わせ、合わせた旨を伝える
- 読取係は ①上のスタジア線 / ②下のスタジア線 / ③中央の十字線 の目盛値をこの順番で読む (0.1cm単位で)



5mm or 10mm読み間違える例多数!

手順5：後視の読み取り

■記録係は以下の作業を行う

- 目盛値を再確認しながら復唱・記録
- $(\textcircled{1} + \textcircled{2}) / 2 - \textcircled{3}$ が $\pm 0.05\text{cm}$ 以内になるか確認
- 標尺～水準儀間の距離 $\textcircled{1} - \textcircled{2}$ を記入

No.	点名	方向	距離		読取値	高低差	地盤高	備考
1	YSW	B	① 132.0	① - ② 19.7	③ 122.2		0	標尺No.1
			② 112.3					標尺No.2
2		B						

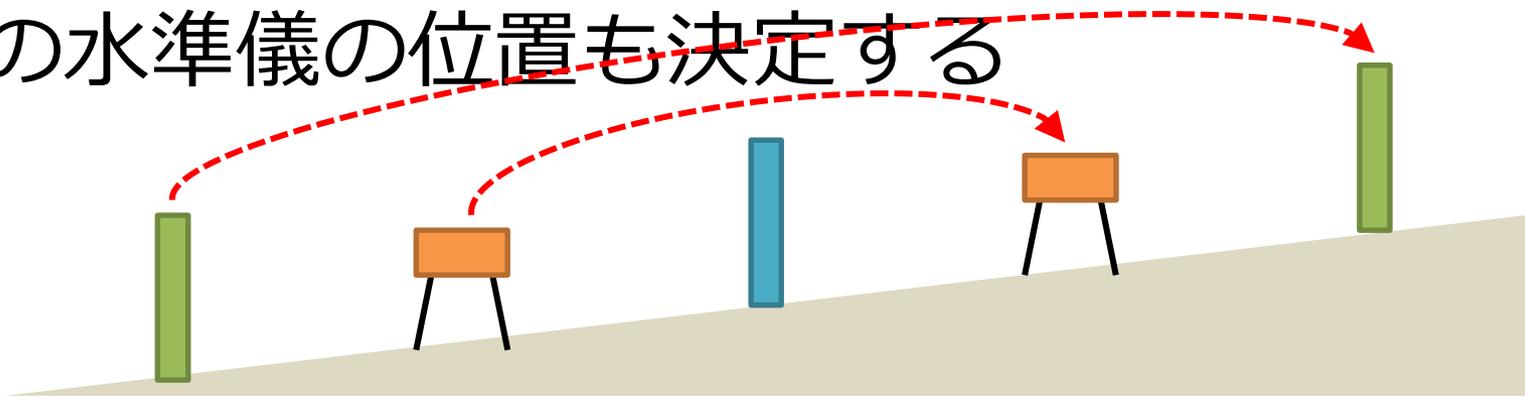
手順6：前視の読み取り

- 読取者は水準儀を180度回転し、同様に調節・読取を行う（三脚位置や水平の再調整は不要）
- 記録係は同様に記録・値確認・計算を行い、標尺間の高低差 ③ - ⑥ および地盤高を求める

No.	点名	方向	距離		読取値	高低差	地盤高	備考
1	YSW	B	① 132.0	① - ② 19.7	③ 122.2	③ - ⑥ 22.2	0 (※)	標尺No.1
			② 112.3					
		F	④ 110.1	④ - ⑤ 20.2	⑥ 100.0		(※) + ③ - ⑥	標尺No.2
			⑤ 89.9					
2		B				22.2		

手順7：移動

- 後視の標尺係・読取係は機材を持って移動する
- 記録係は次の標尺位置を指定し、歩測によって次の水準儀の位置も決定する



このとき、前視だった標尺は後視となる。
この標尺を180度回転させるのみで、
標尺台の位置は絶対に動かしてはならない！
(最悪測量を最初からやり直すことになる)

手順8：繰り返す

- 後視・前視を繰り返す
- 往路の測量が終わったら、測線距離（0.1m単位）と比高（0.1cm単位）を記録する



最後の水準点で使用する標尺は、
最初に使った標尺と同じものを使うべし！

手順9：復路の測定

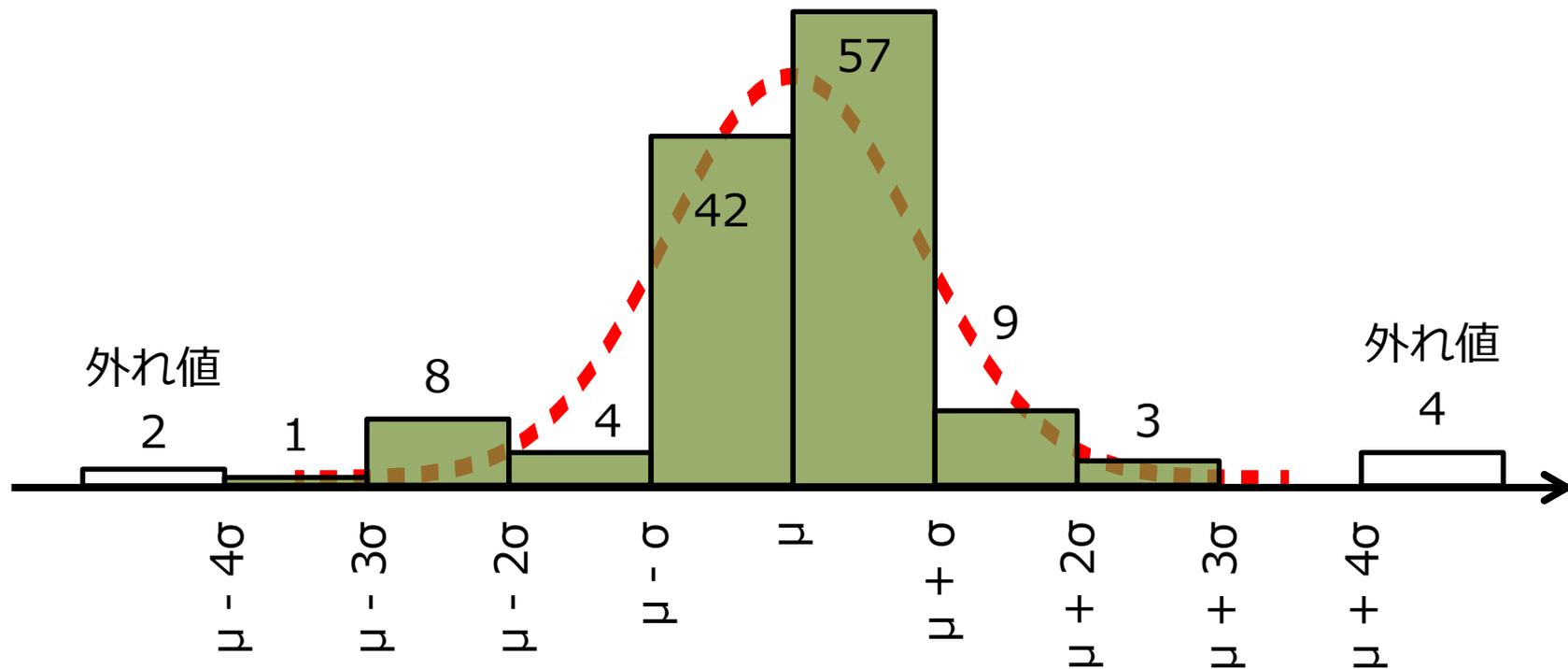
- 復路も同様に測量を実施する
- 往路両端で標尺No.1を使ったときは、復路両端ではもう片方のNo.2を使用する
- 測定した比高 h から較差 $m = |h_{\text{往路}} - h_{\text{復路}}|$ [mm] を求め、以下の条件を満たすか確かめる
 - $m \leq k * \sqrt{S}$
 - $k = 10$ [mm] (3級水準測量の場合)
 - S : 片道の測線距離 [km]

注意点

- 測量中、体調のすぐれない人は教えてください
(適切なタイミングで水分補給も忘れずに)
- 較差が大きい場合にはもう1度測量することになるかもしれないので、がんばりましょう

比高測定結果	往路	復路
班		
班		
班		

2012-16年度の測量結果



- 平均値 $\mu = 194.46$ [cm]
- 標準偏差 $\sigma = 0.18$ [cm]
- サンプル数 $n = 124$
- 赤線は正規分布（ガウス分布）を示している

より高精度な水準測量のために

■バーコード式の標尺と専用
水準儀を使うと、人的要因
による読み取り誤差は減る

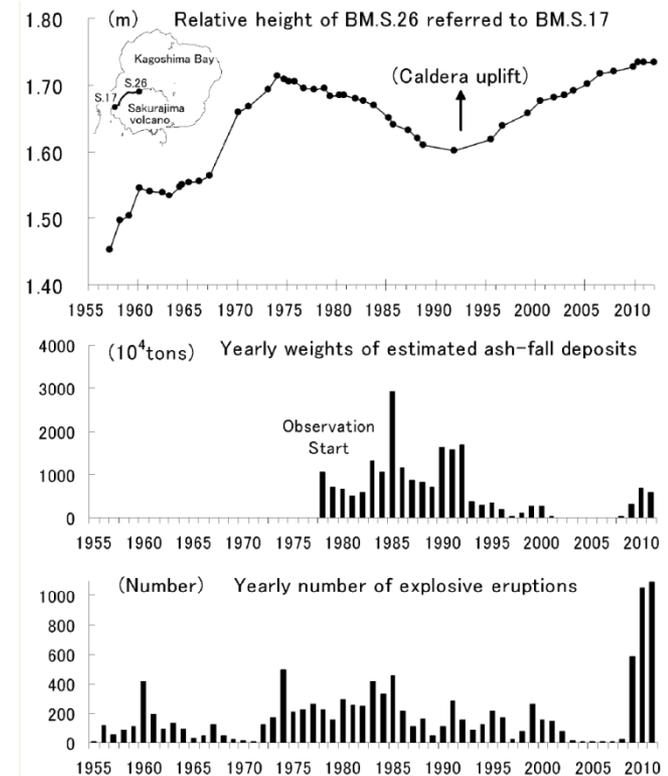
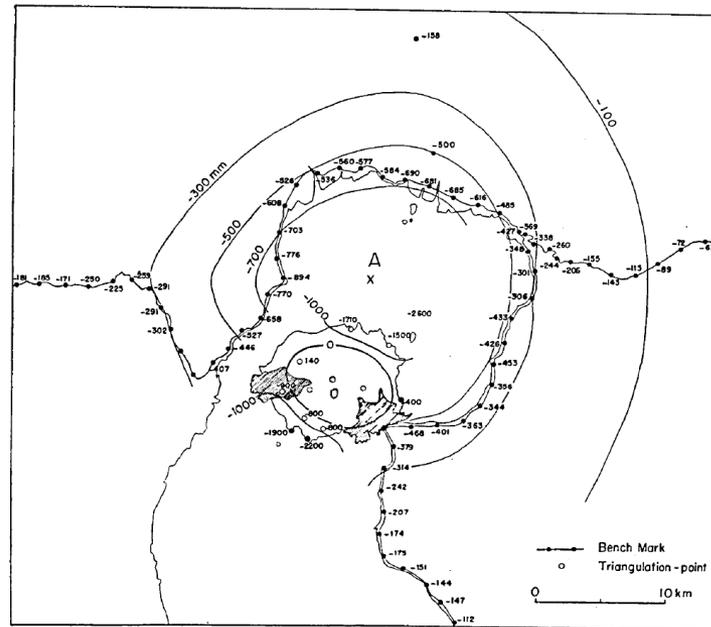
■3回生の演習@南紀白浜で
1級標尺を用いた結果

- 総距離：850.38 m
- 比高(往路)：-19.56631 m
- 比高(復路)：+19.56695 m
- 較差：0.00064 m



水準測量を使った研究例

- 桜島での同心円的な地殻隆起 → 桜島深部に球状膨張源 (Mogi, 1958)
- 地殻隆起は今でも継続 → 大規模噴火の準備？ (山本ほか, 2012)



桜島での測地観測

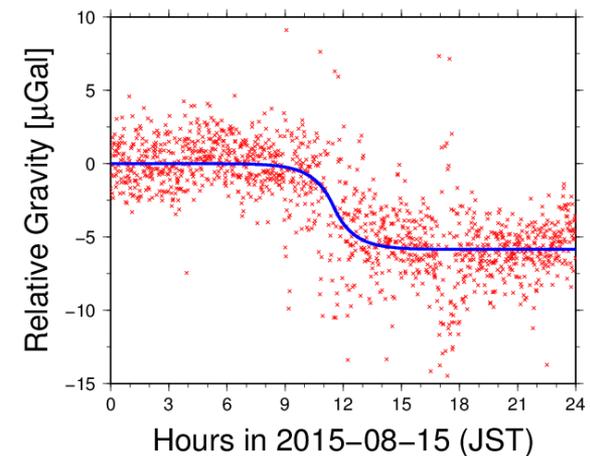
- GPS連続観測：警戒区域内にもアンテナ設置
- 地盤の傾斜伸縮観測：噴火前に山上がり(膨張)
→ 噴火後に山下がり(収縮)
- 重力連続観測：マグマ移動に伴う重力変化



(植木ほか, 2011)



(SVOホームページ)



(風間ほか, 2016)

まとめ

- 吉田神社参道を結ぶ2点の基準点間の標高差を、直接水準測量により測った
- 許容較差（偶然誤差）約4ミリ以内、以前の測定値との差（系統誤差）数ミリ以内で標高差を測量することができた（たぶん）
- 水準測量は地形の把握・地形図の作成に不可欠であり、繰り返し水準測量によって地球内部の変動を知ることができる

測地実習の評価方法

- 本課題の配分は下記の通り（出席なし・レポートのみでの加点は認めない）
 - 出席（1回目）：25点
 - 出席（2回目）：+25点
 - レポート（その1）：+25点
 - レポート（その2）：+25点

レポートの提出方法

- 実習終了から2週間後（ 月 日）の午後1時まで、geoexp.sokuchi@gmail.com へ電子データで提出
- レポートはメール本文には書かず、Microsoft Word等のソフトでファイルとして保存 → このファイル(DOC, PDF等：10MB以内で！)をメール添付で送付
- メールタイトルを「地球科学実験・測地レポート（X班・氏名）」とすること

レポート：A班 (11/10,17)

水準測量では標尺を2本（例えばAとBを）使用しますが、スタートとゴールの基準点上では必ず同じ標尺を使うことになっています。すなわち、最初の基準点上で標尺Aを使ったときは、必ず最後の基準点上でもAを使用します。

これはなぜでしょう？具体的な事例を挙げて説明してください。



- ①本やWebサイトを参考にしたら参考文献を記す！
- ②測地実習の感想や意見・要望も忘れずに！

レポート：B班 (12/15,22)

視点～標尺間の距離を x 、視点と各スタジア線のなす角度を θ 、上下スタジア線における標尺目盛の読取値を $a+d$, $a-d$ とします。スタジア線の読取値の差 $2d$ を距離 x に一致させるためには、 θ を何度に設定すればよいでしょうか？

標尺目盛の単位が cm 、距離の単位が m であることに気を付け、少数点以下3桁まで求めよ。



- ①本やWebサイトを参考にしたら参考文献を記す！
- ②測地実習の感想や意見・要望も忘れずに！

レポート：C班 (1/5,12)

水準儀は2本の標尺の中央に設置しますが、これは標尺目盛の読み取りに関わるいくつかの誤差を最小化するためです。

それでは水準儀を片側の標尺に近付けた場合、どのような要因で誤差が大きくなってしまおうでしょうか？



- ①本やWebサイトを参考にしたら参考文献を記す！
- ②測地実習の感想や意見・要望も忘れずに！

レポート：D班 (1/17,19)

水準測量では水準点どうしをつなぐのに1日がかかりの作業が必要ですが、GPS測量ではアンテナ・受信機を設置してデータ取得を待つだけで座標値が得られます。

水準測量はGPS測量に比べて作業が大変なのに水準測量はなぜなくならないのでしょうか？



- ①本やWebサイトを参考にしたら参考文献を記す！
- ②測地実習の感想や意見・要望も忘れずに！

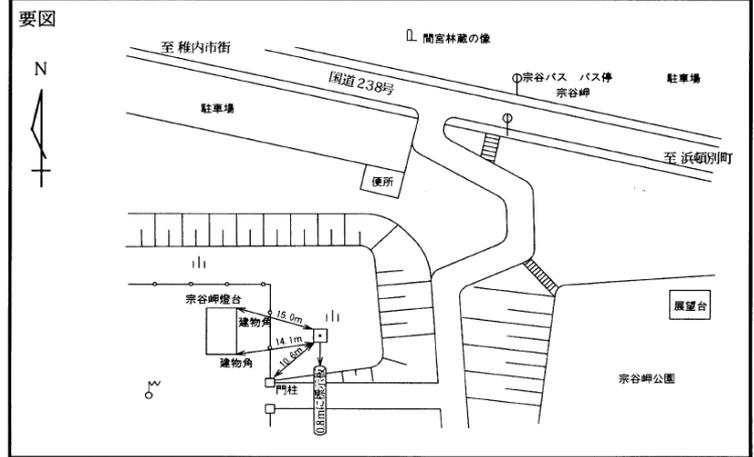
レポート：その2

- 国土地理院設置の**基本**基準点（水準点・三角点・電子基準点）を身の回りで探し、**自分との2ショット写真**を撮る → 基準点の**詳細な**位置や感想などを自由にレポートしてください
- まずは <https://maps.gsi.go.jp> で基準点の地図記号を見つけるべし
- <https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/> では「点の記」閲覧も可能（要アカウント登録：無料）

一等水準点：基75

一等水準点の記

		基準点コード	L00000000075	
標識番号	第 基75 号	1/20万図名	稚内	
		1/5万図名	宗谷岬	
所在地		北海道稚内市宗谷岬290番		
		地目	宅地	
敷地	国土交通省			
管理者	管理:海上保安庁第一管区海上保安本部経理補給部経理課			
標識の種類	標石	埋設法	地上(保護石一個)	
選点	昭和61年6月8日	選点者	小枝登	
設置	昭和61年8月12日	設置者	井上員男	
観測	平成17年8月16日	観測者	富田昌也	
旧設置	----			
周辺の目標	宗谷岬燈台			
その他	----			
隣接点	(8667) (基75) (8668)			
との距離	km	km		
	1.5	0.9		
備考	平成17年9月15日更新 平成17年7月標示板設置 石等蓋使用 協議済			



路線番号 (1)



北海道稚内市北部
宗谷岬の灯台脇



国土地理院

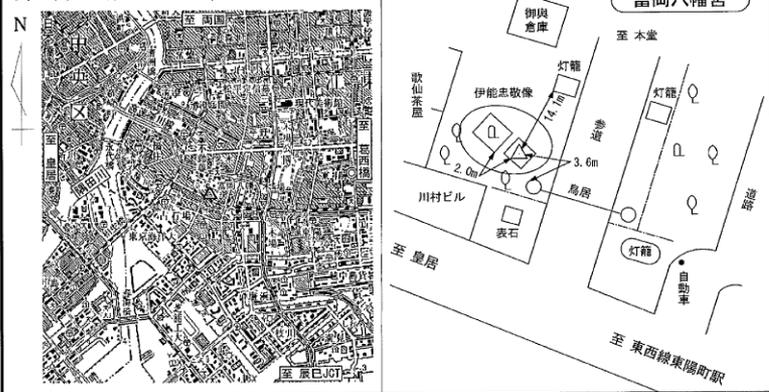


三等三角点：富岡八幡宮

三等三角点の記

		基準点コード		TR35339460401
ふりがな 点 名	とみおかはちまんぐう	1/20万国名	1/5万国名	三角測量原簿(部号)
	富岡八幡宮	東京	東京東北部	第 改II29 部
冠字選点番号	復興 第 15 号	設置区分	地上(保護石 3 個)	上面舗装
標識番号	標石 第 一 号	柱石長	0.79 m	
所 在 地	東京都江東区富岡一丁目31番1			
		地 目	境内地	
管 理 者	東京都江東区富岡一丁目20番3号			
	富岡八幡宮 宮司 富岡 興永			
選 点	平成 13 年 8 月 27 日	選 点 者	本川 幸夫	
設 置	平成 13 年 9 月 10 日	設 置 者	本川 幸夫	
観 測	平成 13 年 9 月 21 日	観 測 者	本川 幸夫	
自動車到達地点	富岡八幡宮			
歩道状況	――			
徒歩時間(距離)	約 5分(約 30m)			
三角点周囲の状況	周囲はビル群、視通悪い			
履 歴 (1)	平成 13 年 9 月 10 日 移転	旧設置	大正 13 年 9 月 6 日	
履 歴 (2)	――			
備 考	平成 21 年 12 月 23 日 基準点現況調査		アンテナ高	m
	使用の際は富岡八幡宮社務所へ連絡すること ICタグあり		予 想	1.5

要 図 縮尺：1/50,000



平成 22 年 1 月 18 日 調査 国土地理院



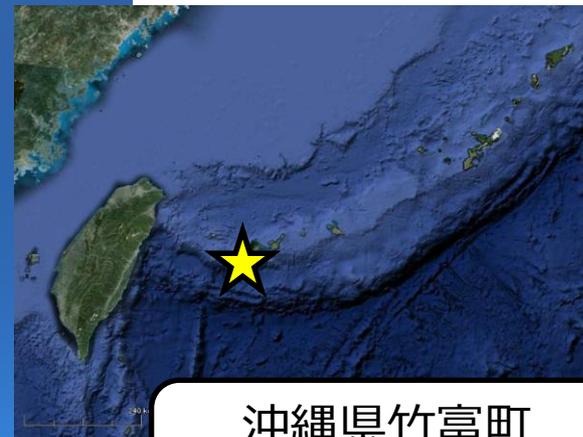
東京都江東区
富岡八幡宮境内



電子基準点 : 960751

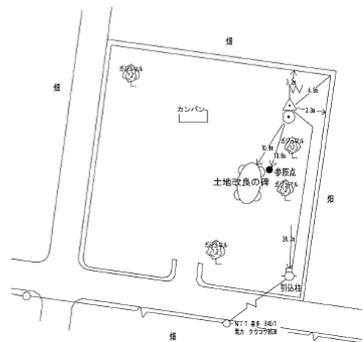
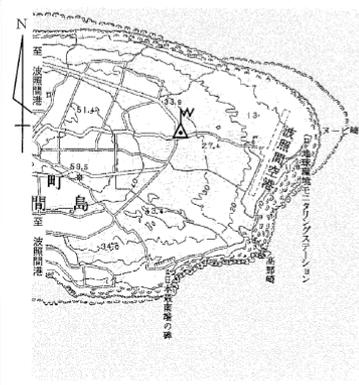
電子基準点の記

		基準点コード	EL03623067303	
		付属標基準点コード	EL13623067304	
ふりがな	はてるまじま	1/20万図名	1/5万図名	設置区分
点名	波照間島	石垣島	西表島西部	地上
点番号	No. 960751	付属標番号	No. 960751A	
所在地	沖縄県八重山郡竹富町字波照間4657番			
	-----	地目	雑種地	
所有者	沖縄県石垣市美崎町11番地 波照間土地改良区			
選点	平成 8年 5月31日	選点者	(社) 日本測量協会	
設置	平成 9年 2月20日	設置者	日立造船情報システム (株)	
付属標観測	平成10年10月27日	観測者	山口秀夫	
自動車到達地点	波照間土地改良区の碑			
基準点周囲の状況	波照間土地改良区の碑			
履歴 (1)	平成24年10月24日	セットで交換		
履歴 (2)	平成16年 7月 1日	標高改算		
受信機機種	Trimble NetR9			
アンテナ機種	TRM59800.80 (Choke Ring Antenna)			
備考	平成25年 8月 1日 更新		現況地目: 雑種地	
	電子基準点側面~付属標: 0.33 m		高度基準点測量 (離島取付)	
	標高取付 (測標水準) 路線番号 (9583)			



沖縄県竹富町
波照間島

要図 1/50,000



平成25年 8月26日 調製 国土地理院



付属標撮影 : 西村卓也・小池俊貴 (2014年3月)

注意点

- 私有地内立入・蓋開閉に
要注意！（「点の記」の
事前閲覧を推奨します）
- 基準点を大切に扱い、確
認後には元の状態に戻す



三等三角点：愛宕山
(愛宕神社内：社務所に確認済み)



レポートの解説等は研究室のペ
ージ(<https://goo.gl/NMek3f>)に
アップします(スマホ閲覧可→)

