

G N S S 測量による標高決定について

-高精度ジオイド・モデルの構築-

国土地理院 測地部

岩田 和美

目 次

- 1. プロジェクトの概要**
- 2. 電子基準点を利用した基準点測量**
- 3. ジオイド・モデルの高精度化**
- 4. GNSSによる標高の測量**
- 5. 課題**
- 6. 今後のスケジュール**

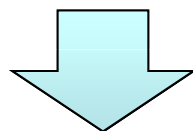
1. プロジェクトの概要

プロジェクト立ち上げの背景

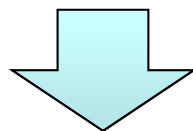
利用者ニーズ

H23・24年度 基準点等利用者を対象としてアンケート及びヒアリング調査を実施

三角点を利用しにくい場所にある

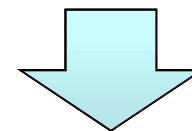


三角点が山頂付近にある場合は、アクセス及び視通確保のための伐採に多大な時間がかかる。

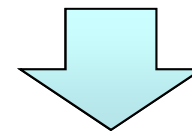


電子基準点のみを既知点とする基準点測量の適用範囲の拡大を検討

水準点が不足している



作業地域の近傍に既設の水準点がない場合、遠方の水準点から多大な時間をかけて水準測量を行っている。



GNSS測量とジオイド・モデルによる標高の精度を検討

1. プロジェクトの概要

(1) 目的 測量業務の効率化の検討と推進

(利用者ニーズ調査の結果を受け、実現可能で効果の高いもの)

公共測量におけるマニュアル(案)を策定し効率化の実現を図る

(2) テーマ ① 電子基準点のみを既知点とした基準点測量の適用範囲の拡大。

電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル(案)

② GNSS測量と高精度なジオイド・モデルを利用して標高を3～5 cmの精度で求める。

GNSS測量による標高の測量マニュアル(案)

(3) 期間 平成24年11月～平成26年3月

(4) 活動内容

- ①委員会(・マニュアル(案)、利用の手引(案)の検討 ・意見)
- ②マニュアル(案)、利用の手引(案)の策定、公表
- ③マニュアル(案)の試行、改良
- ④マニュアルの本格的な運用

2. 電子基準点を利用した基準点測量

「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル(案)」

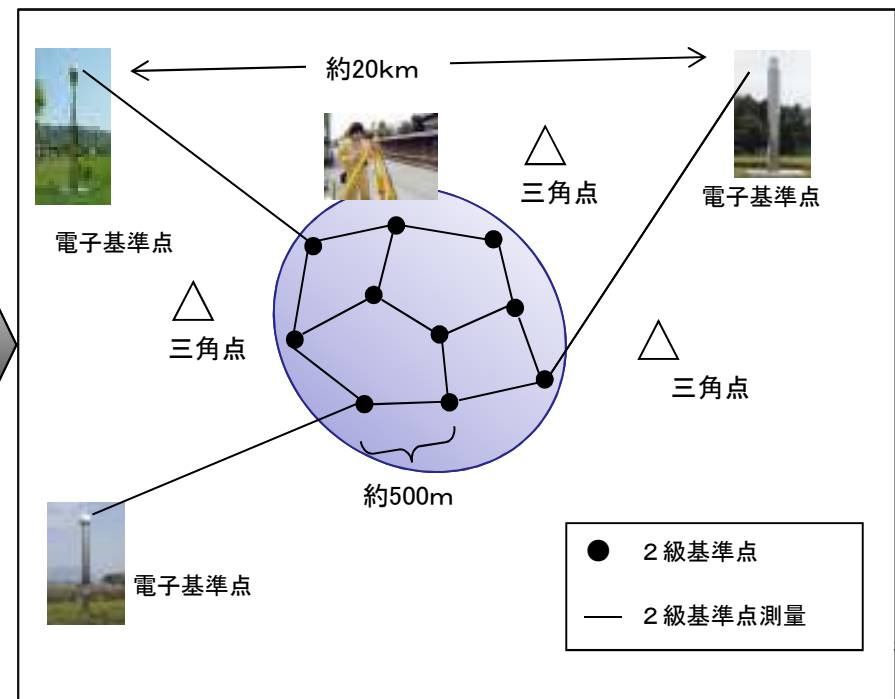
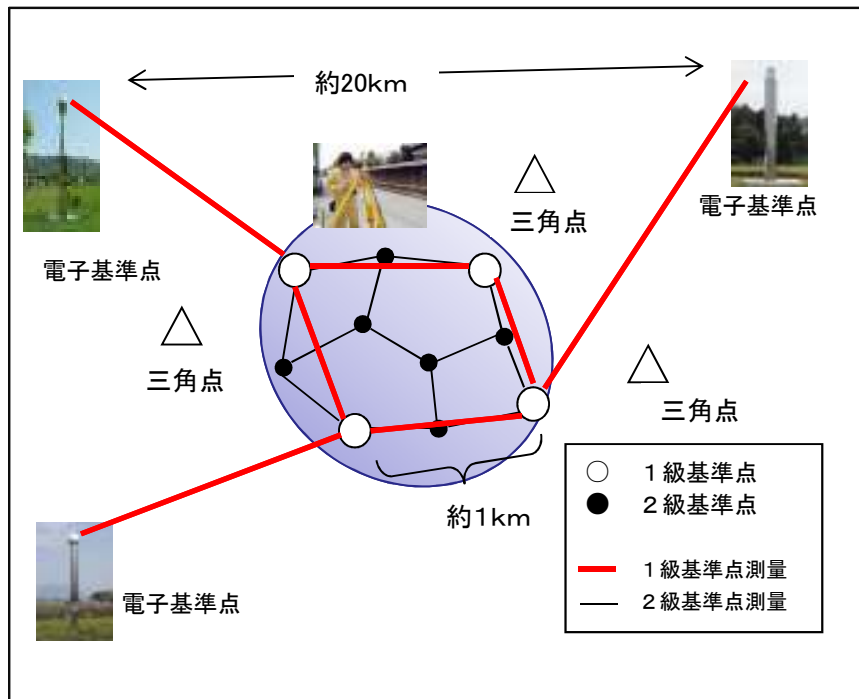
メリット

- ・1級基準点を設置せず、**直接、2級基準点が設置可能**
- ・**既知点での観測が不要**

現行：①電子基準点を利用し1級基準点を設置（4点）

②1級基準点等を利用し2級基準点を設置（6点）

マニュアル：①電子基準点を利用し同時に基準点を設置（10点）



2. 電子基準点を利用した基準点測量

○セミ・ダイナミック補正を実施する

セミ・ダイナミック補正は、地殻変動による歪みの影響を軽減し、測量成果の均一な精度を長期的に維持するために行う。

地殻変動による歪みの平均的な速度

→約0.2ppm/年（相対位置のずれ→20km:約4mm/年）10年で約4cm

◇平成22年1月に公共測量(1級基準点測量)へ導入→効果有り・手法定着

第10条2項

(途中省略)

なお、地殻変動補正パラメータは、測量の実施時期に対応したものを使用するものとする。

地殻変動補正パラメータファイルは毎年追加して公表

(2)地殻変動補正パラメータ・ファイル

測量の実施時期に対応

ダウンロード	容量	ヘッダー情報	パラメータ範囲	備考
SemiDyna2013.par	約759KB	Ver.1.0.0	全国	適用期間:2013年4月1日～2014年3月31日 (北硫黄島、硫黄島、南硫黄島は提供範囲から除外しました)

セミ・ダイナミック補正のHP

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/semidyna/?link_id=linkA13

2. 電子基準点を利用した基準点測量

既設基準点と新点との整合性を確認

既知点：電子基準点

電子基準点

新点：2級基準点

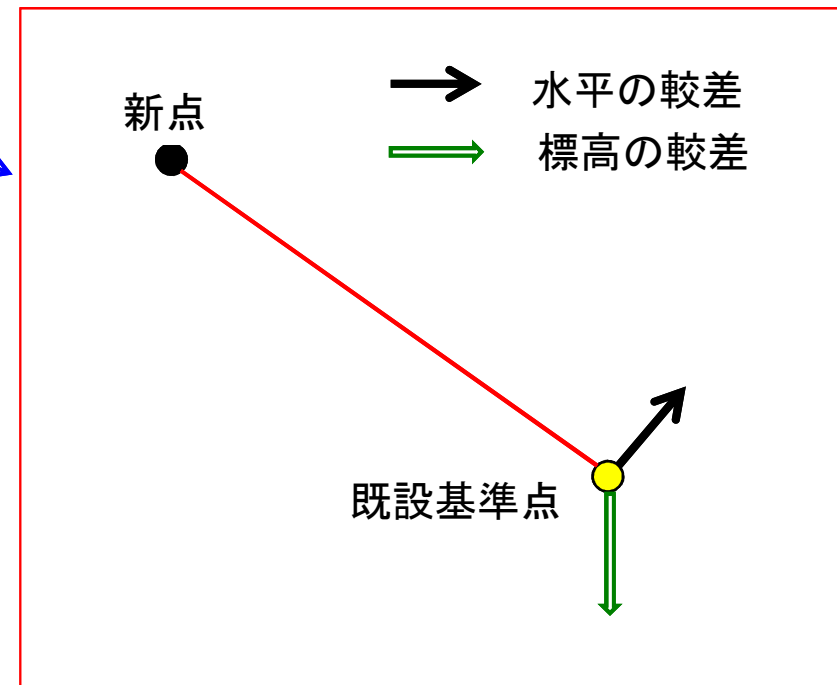
点検のための観測イメージ

既設基準点

電子基準点

結合多角方式による例
 既知点3点
 新点5点
 既設基準点1点(点検観測)

計画機関が指示した場合
 (整合性を確認)
 点検値－成果値

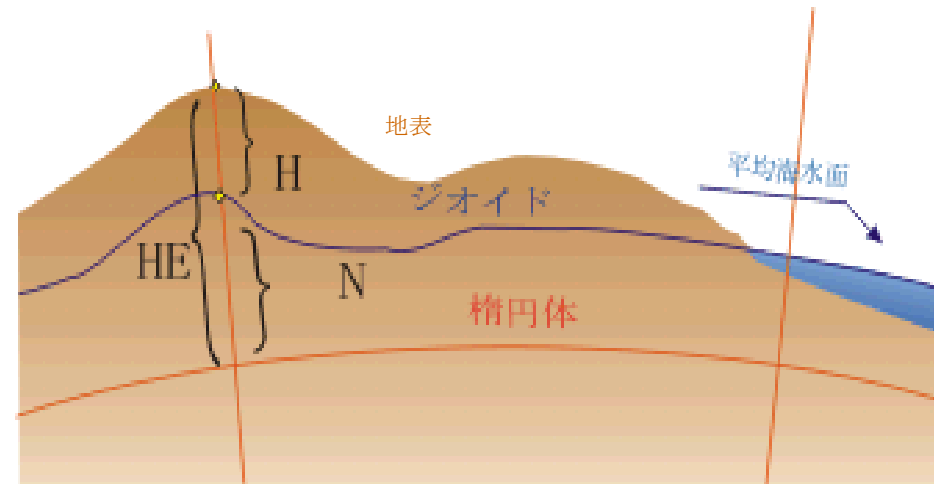
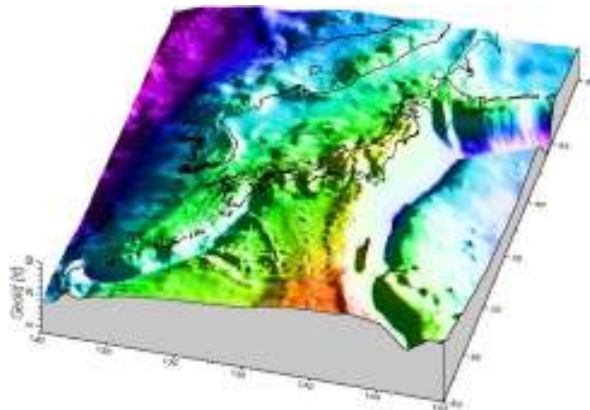
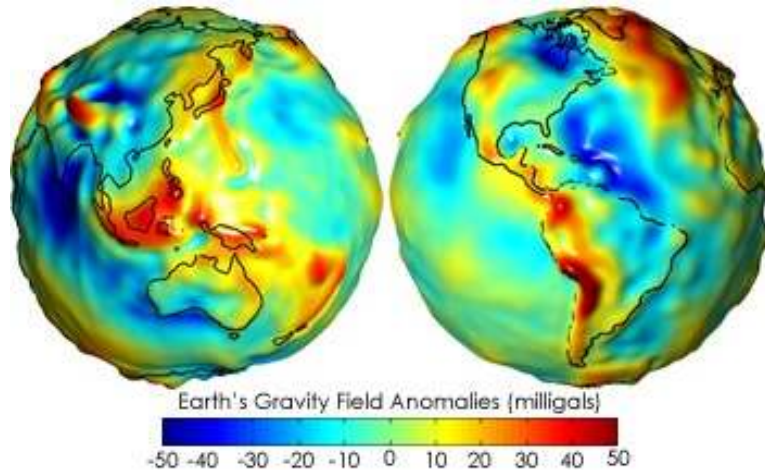


この結果を当該計画機関に報告

3. ジオイド・モデルの高精度化

ジオイド・モデルの概要1

ジオイドとは
 …平均海面に一致する
重力の等ポテンシャル面
 (平均海面を陸域まで延長した場合の水準面)



$$\text{標高(H)} = \text{楕円体高(HE)} - \text{ジオイド高(N)}$$

- 地形や地殻構造の不均質性により、起伏がある
- 日本列島はプレート境界に位置し、複雑な地質構造を持つので、ジオイドの起伏が激しい

3. ジオイド・モデルの高精度化

ジオイド・モデルの概要2

ジオイド・モデルとは
 ……ジオイドの起伏を再現したモデル

日本周辺のジオイド・モデル

	重カジオイド・モデル	混合ジオイド・モデル
元データ	<ul style="list-style-type: none"> • 全球重力ポテンシャル・モデル • 重力データ(陸上240,000点以上 海上570,000点以上) • 地形データ 	<ul style="list-style-type: none"> • 重カジオイド・モデル • ジオイド高データ(GNSS/水準法)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> • 面的かつ高解像度 • 短波長成分は高精度 	<ul style="list-style-type: none"> • 重カジオイド・モデルを補正 (中波長成分の補正情報を与える全国ジオイド測量点) • 基準系に準拠したジオイド高
欠点	中・長波長成分に誤差	
例	JGEOID2000、JGEOID2008	日本のジオイド2000(GSIGEO2000)

↑
 試行ジオイド・モデル

3. ジオイド・モデルの高精度化

混合ジオイド・モデルの目的

基本測量、公共測量のGNSS観測結果の**楕円体高**を**標高**に変換。

ジオイド・モデル「日本のジオイド2000」

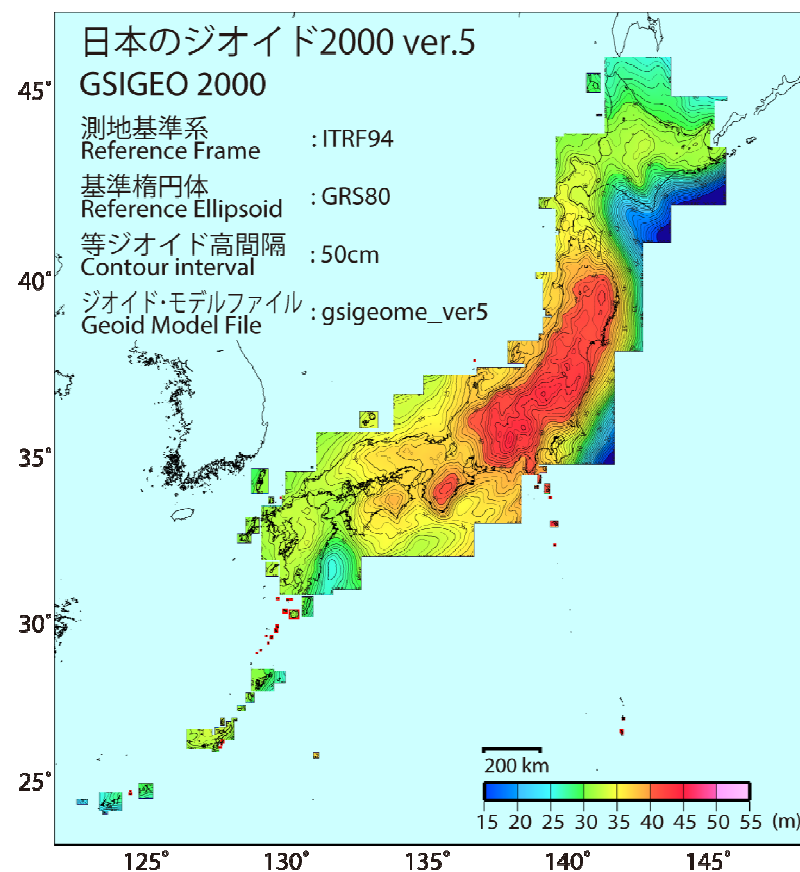
- ・日本(無人離島を除く)のジオイド高を面的なグリッドデータとしたもの。

↓
任意の地点のジオイド高を計算で求めることが可能。

GNSS測量とジオイド・モデルにより、水準点と整合性のとれた標高を求めることができるようになった。

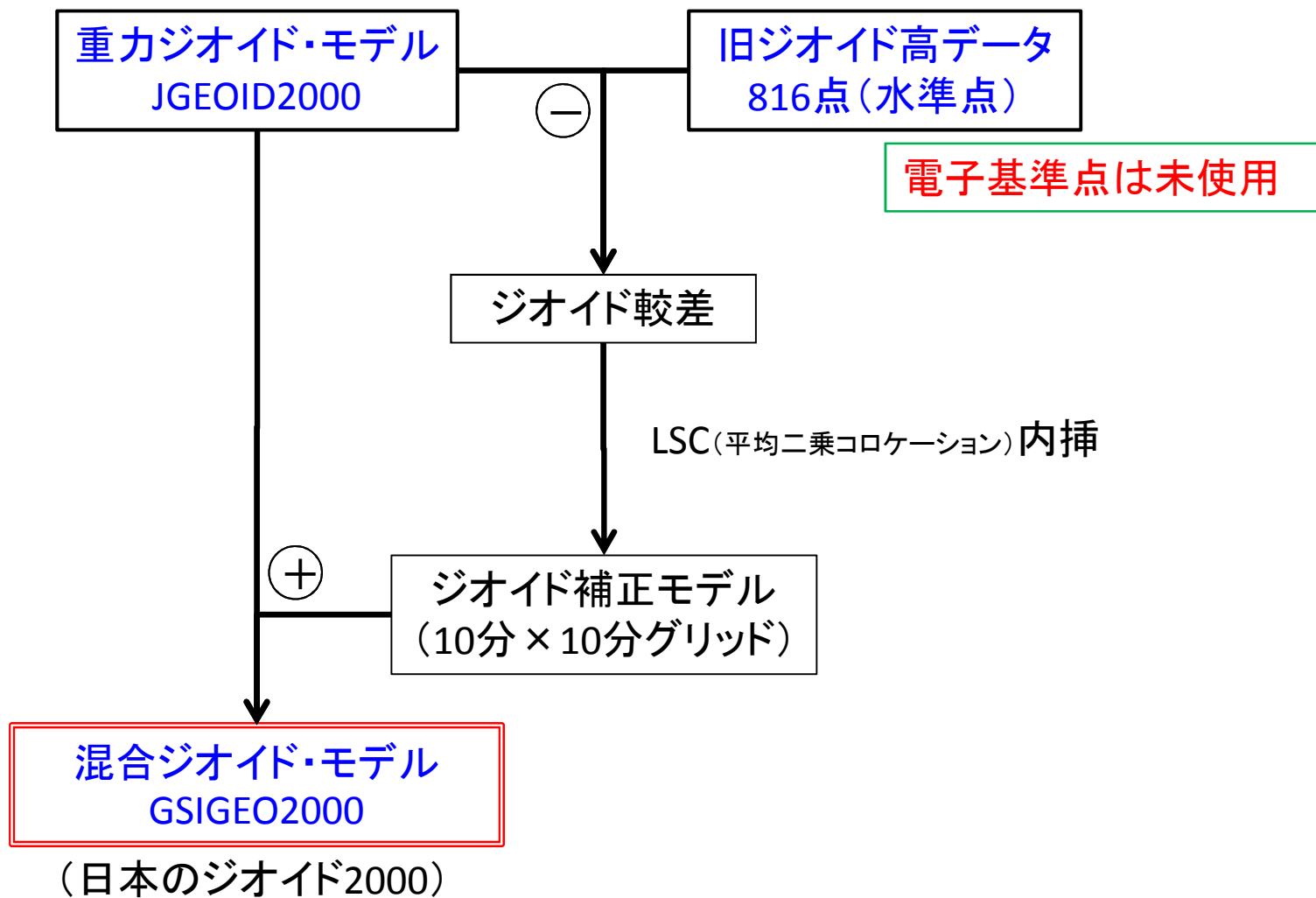
水準点成果に準拠

電子基準点成果に準拠



3. ジオイド・モデルの高精度化

日本のジオイド2000の構築手順



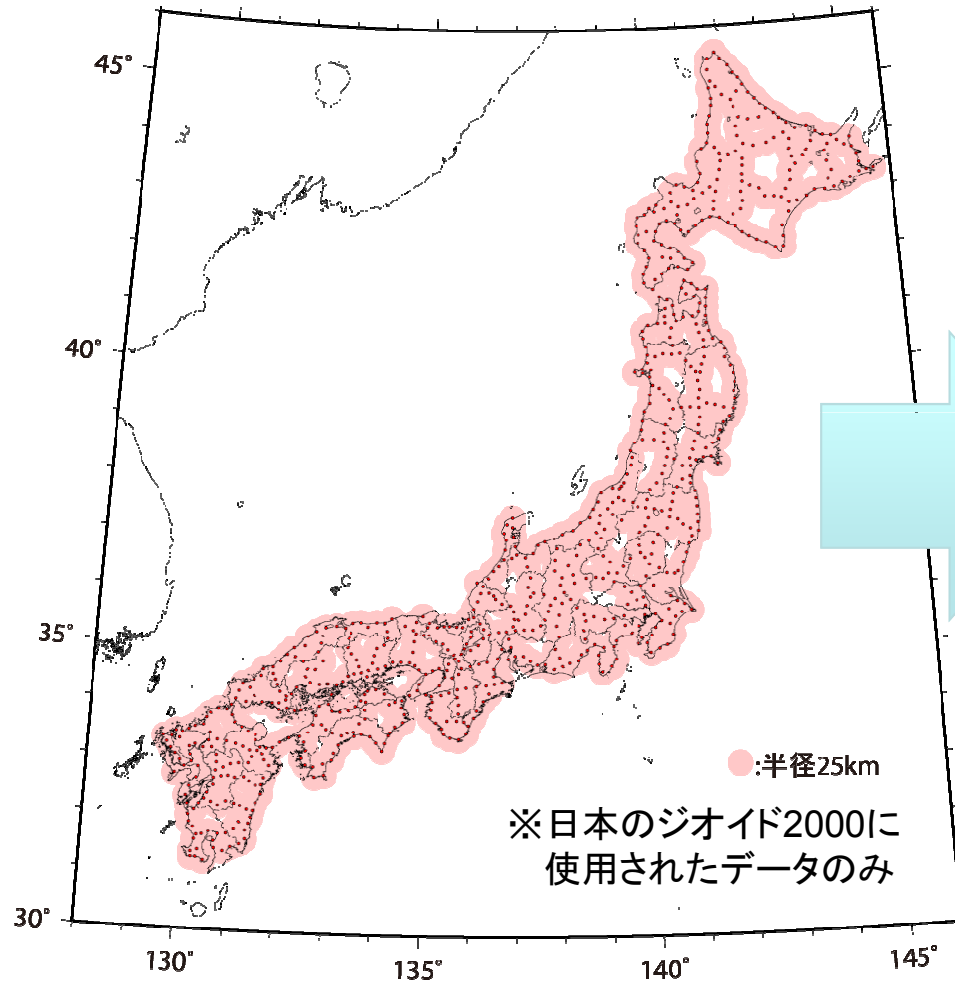
3. ジオイド・モデルの高精度化

誤差要因

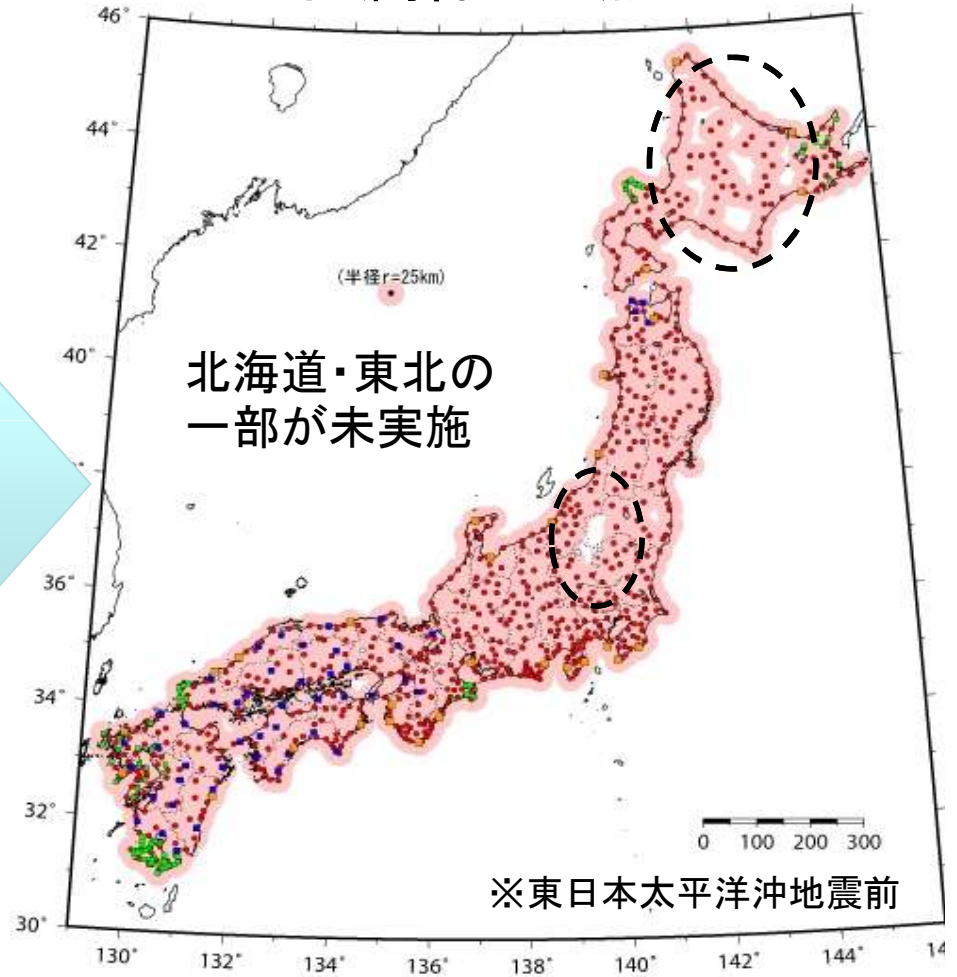
1. 重カジオイド・モデル(JGEOID2000)の系統誤差
 - ・ 重カデータの不足に起因する局所的に大きな誤差が含まれる
 - ✓ 旧ジオイド高データはこれを補正できるほど均等高密度に分布していない
 - ✓ ジオイド補正モデル作成に使用したLSC法は局所的な誤差には対応できない
2. 旧ジオイド高データ分布の不均一に起因する誤差
 - ・ 水準路線に依存、半島部空白あり
 - ・ 外挿による精度悪化のおそれ
3. 旧ジオイド高データの誤差
 - ・ 楕円体高算出に関する誤差
 - ✓ 偏心点での観測
 - ✓ 観測時間短い(3時間以上)
 - ✓ 電子基準点の架台タイプや架台取付高の不統一は考慮されていない
 - ・ 2004年7月の電子基準点標高成果改訂に伴う誤差
4. LSC(最小二乗コロケーション)内挿誤差
 - ・ 使用する共分散関数、ジオイド高データの配置、ジオイド較差の精度によって内挿誤差の値が決定(現モデルの内挿誤差は全国ほぼ均一に約4cm)

3. ジオイド・モデルの高精度化

1995年～1998年
水準点816点

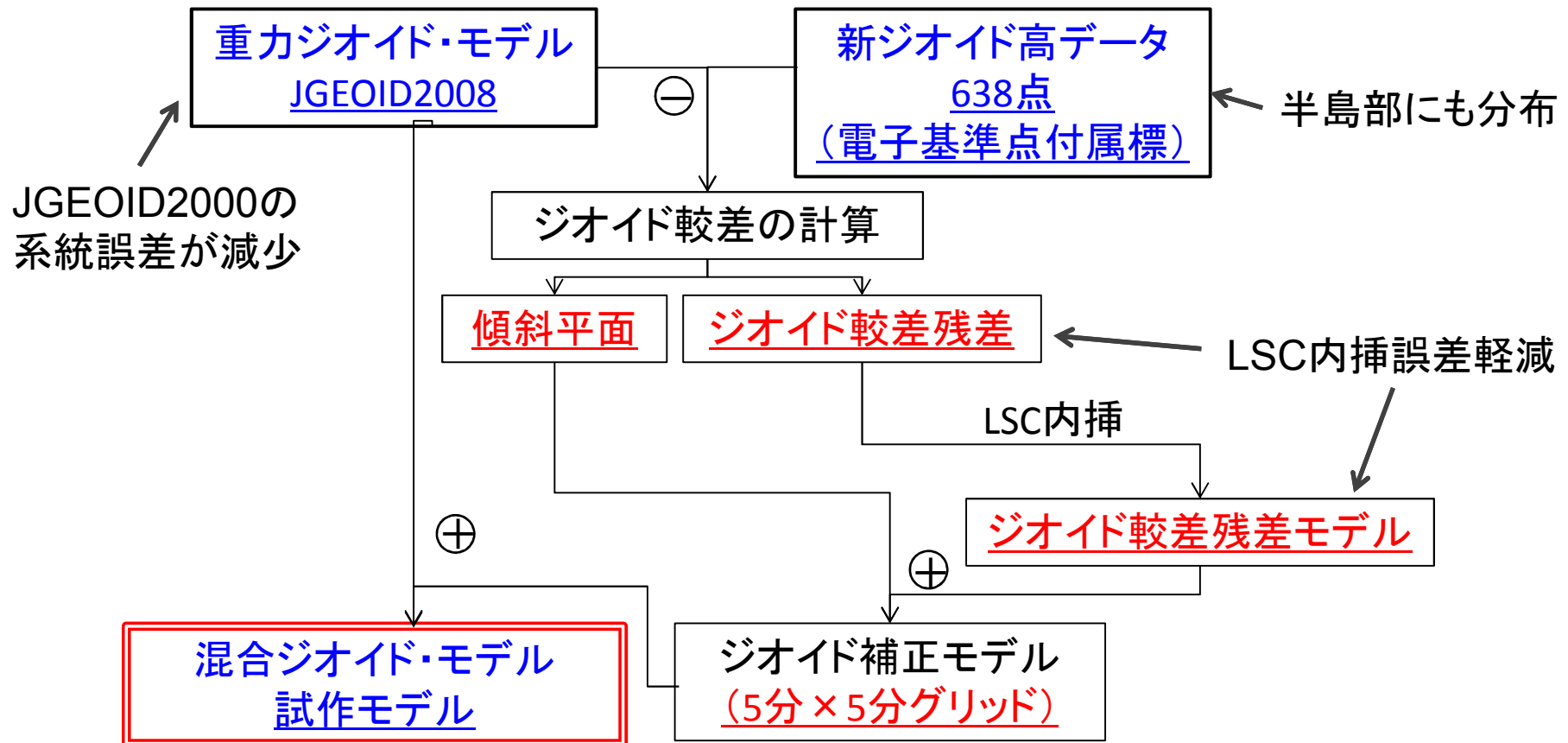


2004年～現在(継続中)
付属標638点



3. ジオイド・モデルの高精度化

高精度なジオイド・モデルの構築手順

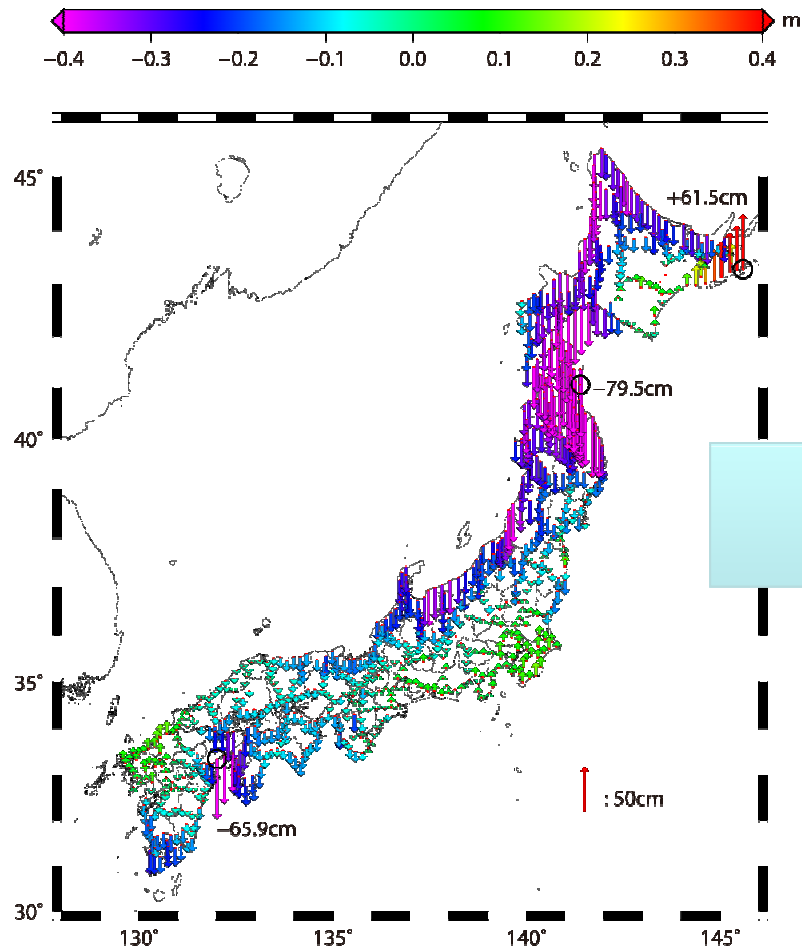


※平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前のデータを使用。

※東経139度以東はデータ空白域があるので参考値として扱う。精度評価には使用しない。

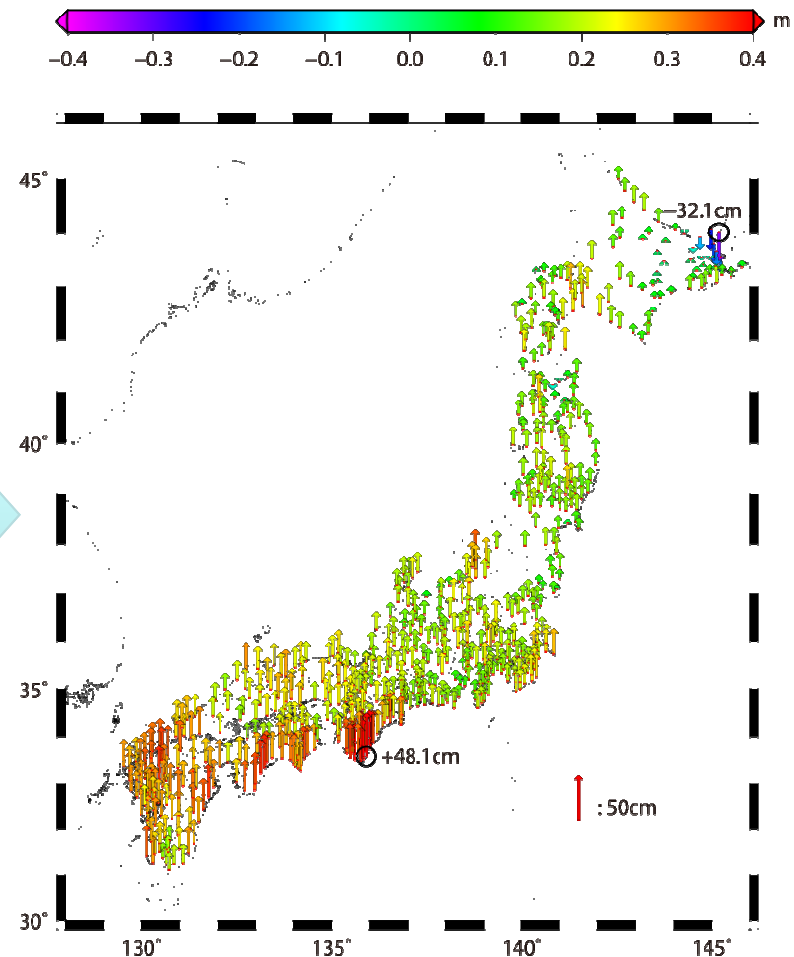
3. ジオイド・モデルの高精度化

現モデルのジオイド較差
(旧ジオイド高データとJGEOID2000の差)



較差が地域的に大きい
→大きな較差を補正するのが主目的

試作モデルのジオイド較差
(新ジオイド高データとJGEOID2008の差)

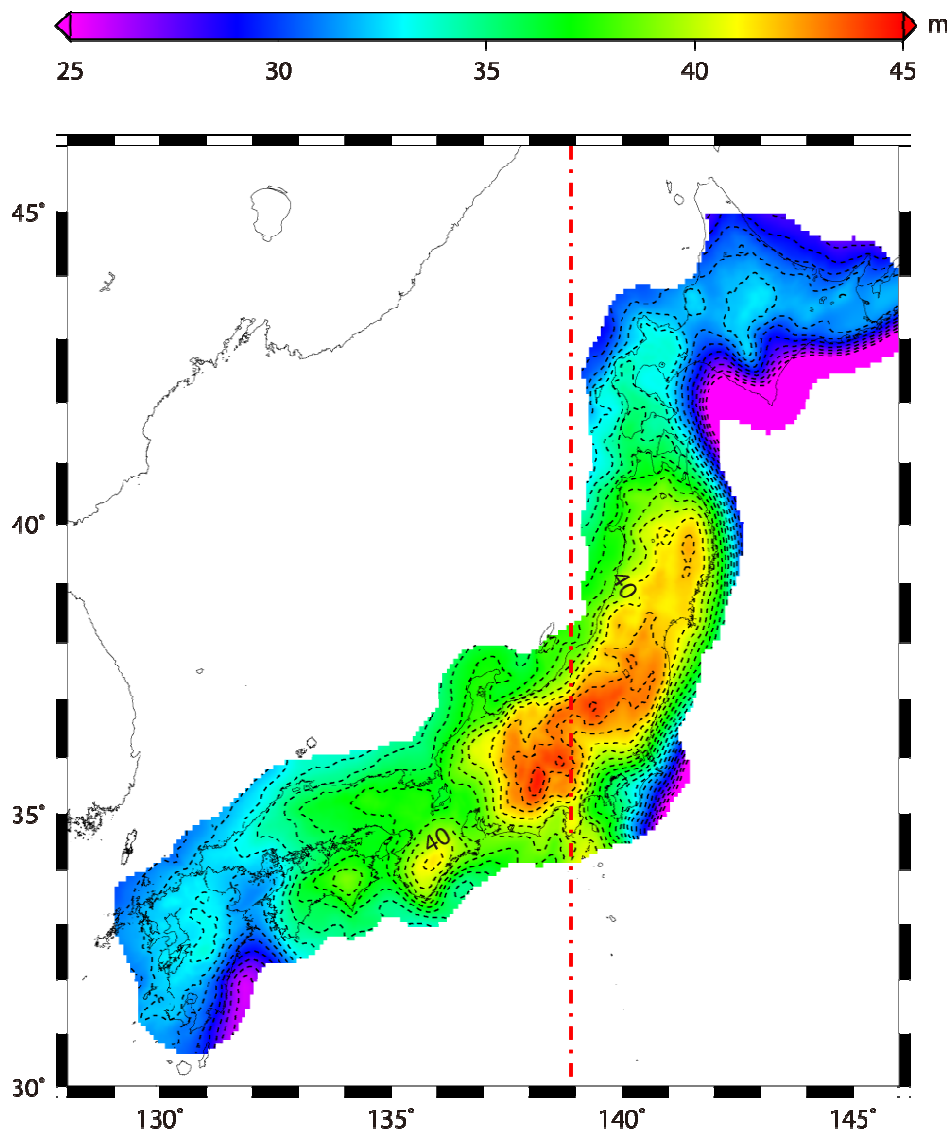


より滑らかで局所的に大きな較差が存在しない
→より細かい補正が可能

混合ジオイド・モデルの計算

- 5分×5分グリッドのジオイド補正モデルをバイリニア補間によって1.5分×1分グリッドに内挿し、JGEOID2008に加算して混合ジオイド・モデルを計算

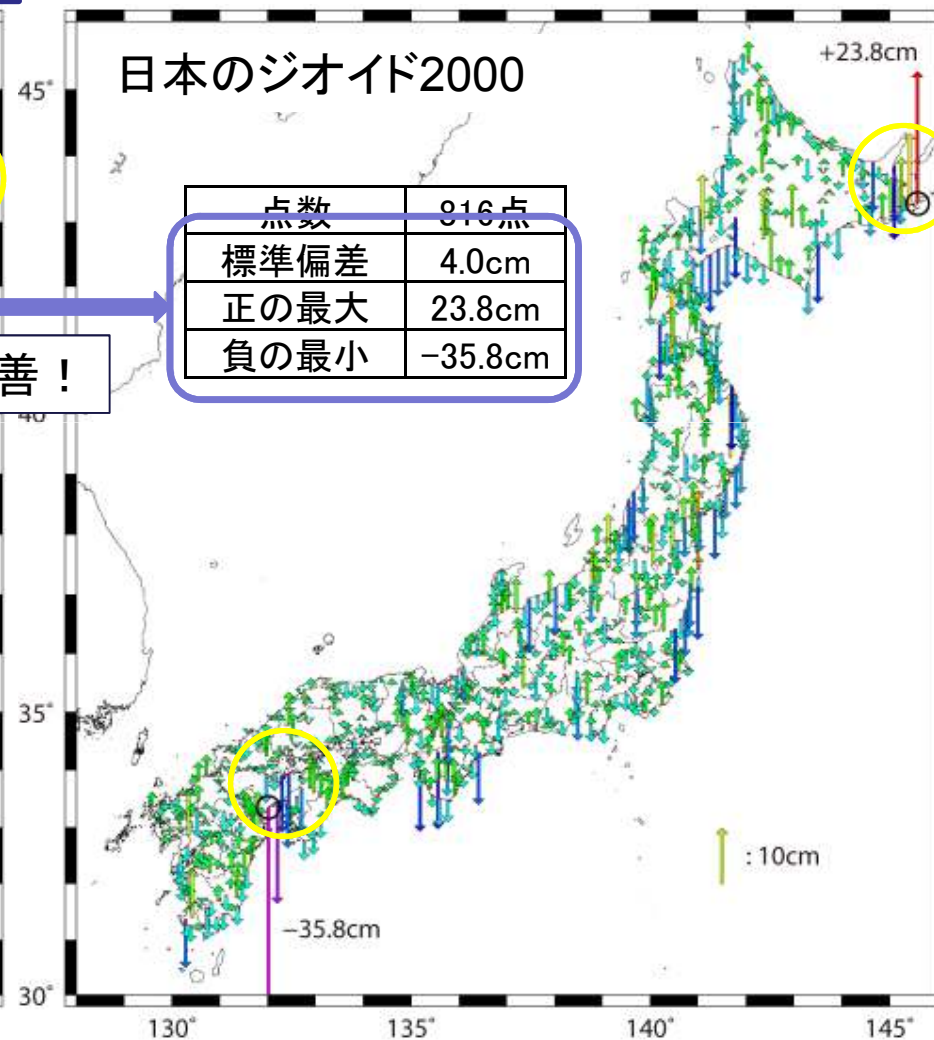
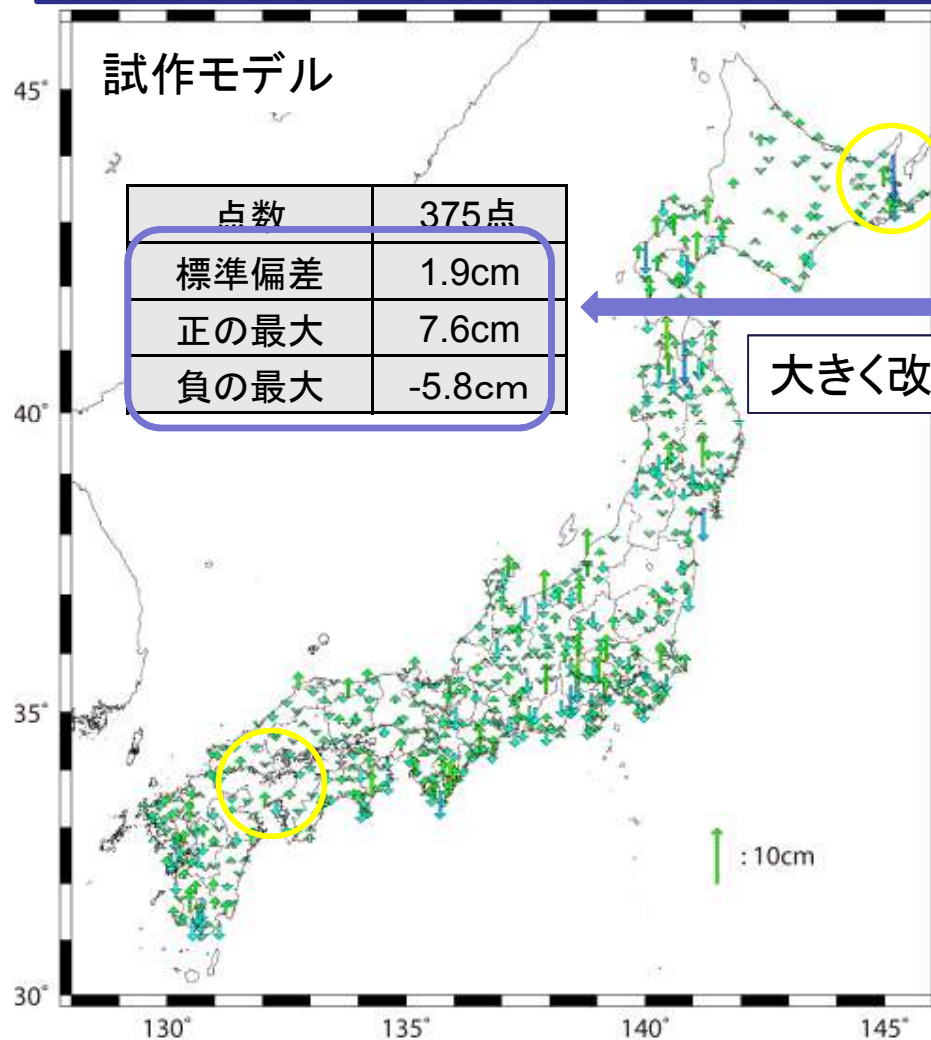
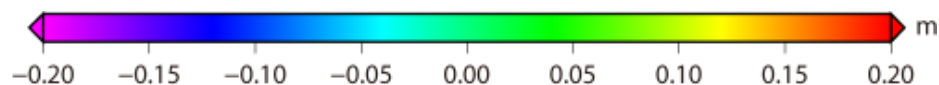
混合ジオイド・モデル
= 重カジオイドモデル
(JGEOID2008)
+ ジオイド補正モデル



混合ジオイド・モデル(試作モデル)。コンターは1m間隔
※東経139度以东はデータ不足により参考値扱い

3. ジオイド・モデルの高精度化

混合ジオイド・モデルの精度評価 内部評価



大きく改善!

新ジオイド高データと試作モデルの差

旧ジオイド高データと現モデルの差

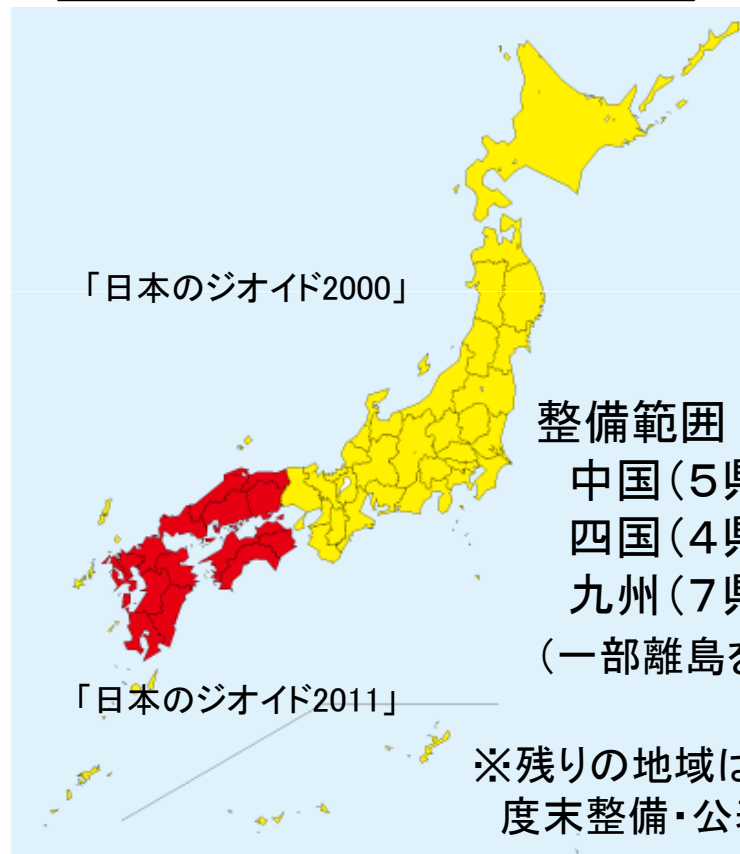
3. ジオイド・モデルの高精度化

高精度な新しいジオイド・モデルの整備

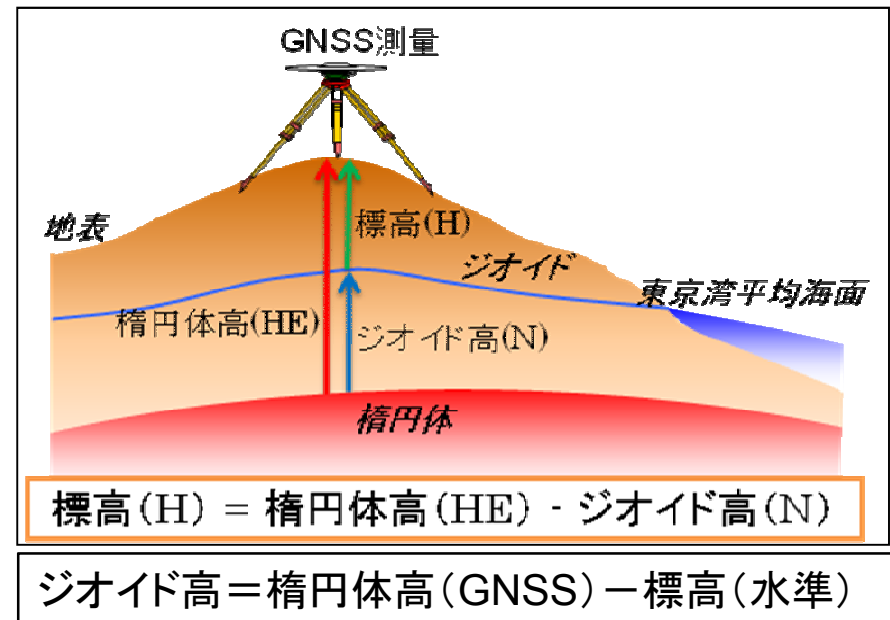
「日本のジオイド2011+2000」 平成25年4月26日公表

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geoid/>

結合して1つのモデルとして公表



※マニュアルでは高精度なジオイド・モデルの適用部分を意味する「日本のジオイド2011」と記述。



実測ジオイド高と呼ぶ

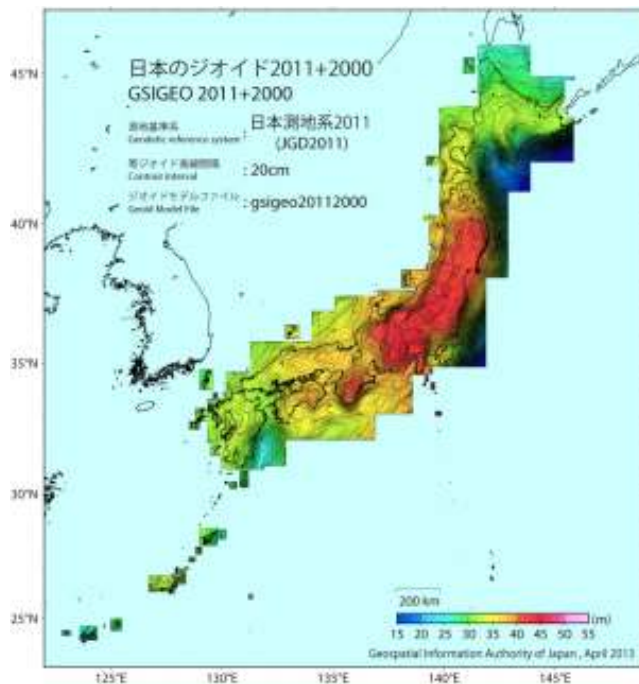
- ジオイド・モデルは、重カジオイド・モデルと実測ジオイド高を使用して構築する。

3. ジオイド・モデルの高精度化

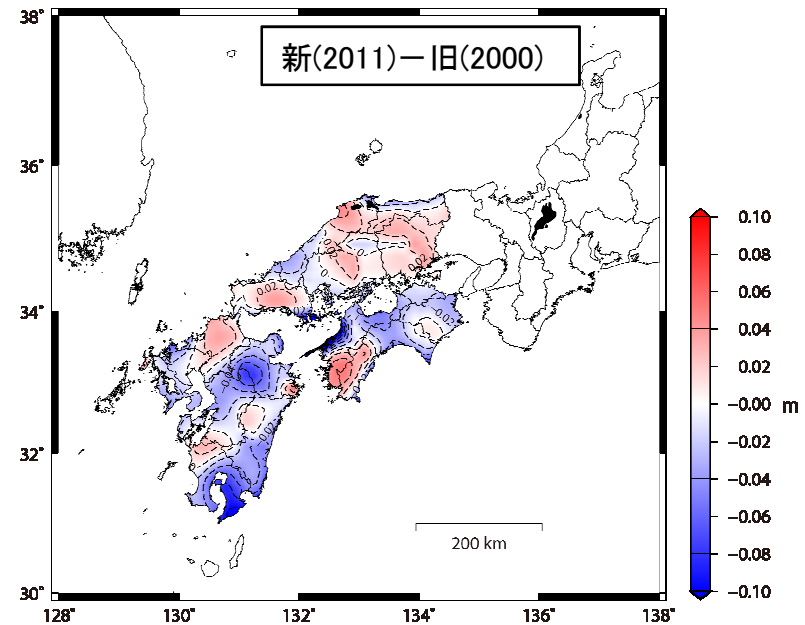
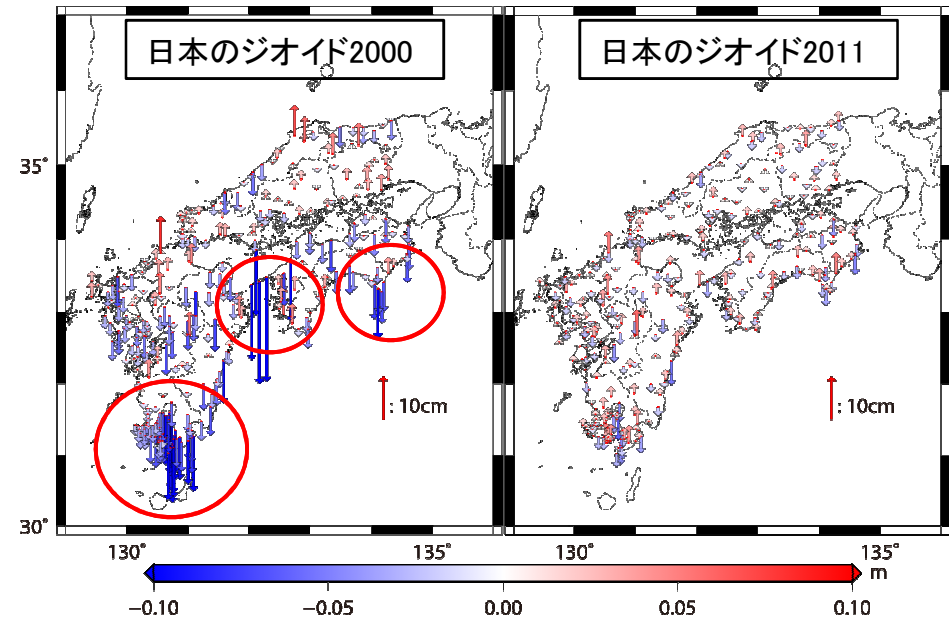
日本のジオイド2000
 (標準偏差:約4cm)
 ↓
 日本のジオイド2011+2000
 (標準偏差:約2cm)

高精度化の主な要因

- 重カジオイド・モデルの高精度化
- 実測ジオイド高データ分布の均一化
- 実測ジオイド高データの品質向上



実測ジオイド高との差(実測値-モデル値)



4. GNSSによる標高の測量

マニュアルの特徴

- GNSS測量により、3級水準点を設置することができる。
- 電子基準点(二等水準点)を既知点とする場合は、新点のみの観測でよい。
- 平成25年度に適用できる地域は、中国・四国・九州地方
(高精度なジオイド・モデルを整備した地域に限る)

以下の島については、今回整備しておりませんのでマニュアルを適用できません。
隠岐島、対馬、福江島、種子島、奄美大島、喜界島、壱岐島、宇久島、小値賀島、
中通島、若松島、奈留島、久賀島、徳之島、沖永良部島、与論島、見島、上甕島、
小呂島、屋久島、口永良部島、諏訪之瀬島、平島、悪石島、宝島、小宝島、薩摩硫
黄島、竹島、中之島、口之島、黒島

4. GNSSによる標高の測量

(要 旨)

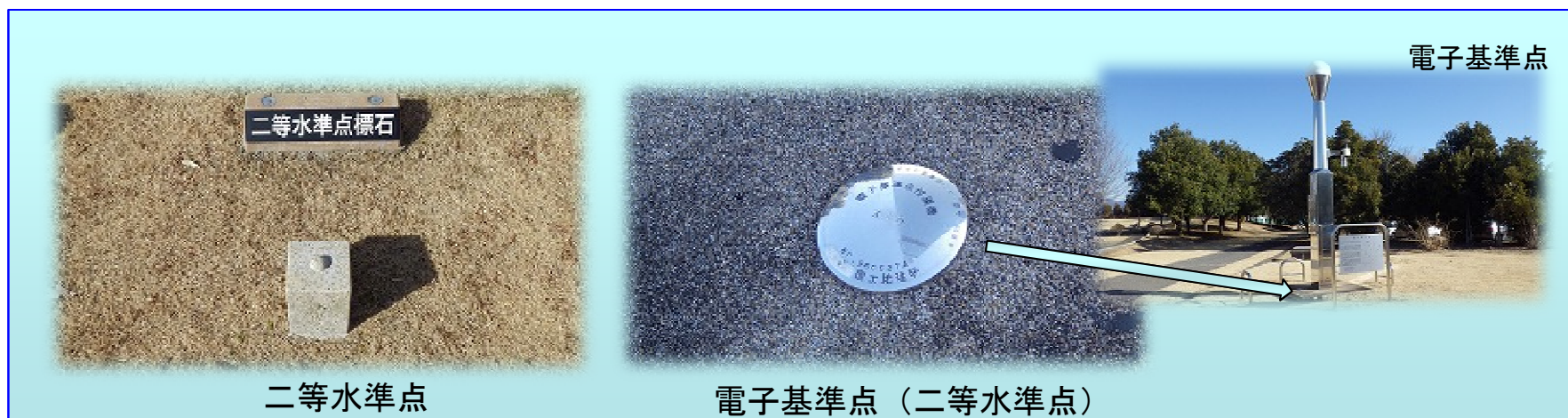
第4条 GNSS測量による標高の測量（以下「GNSS水準測量」という。）とは、既知点に基づき、新点である水準点の標高をGNSS測量と日本のジオイド2011により定める作業をいう。

(既知点の種類等)

第5条 既知点の種類及び既知点間距離は、次表を標準とする。

区 分 項 目	GNSS水準測量
既知点の種類	一～二等水準点 1～2級水準点
既知点間距離	60km以下

二等水準点には、電子基準点付属標に水準測量により標高が取り付けられ、水準点成果が得られている電子基準点（二等水準点）を含む。



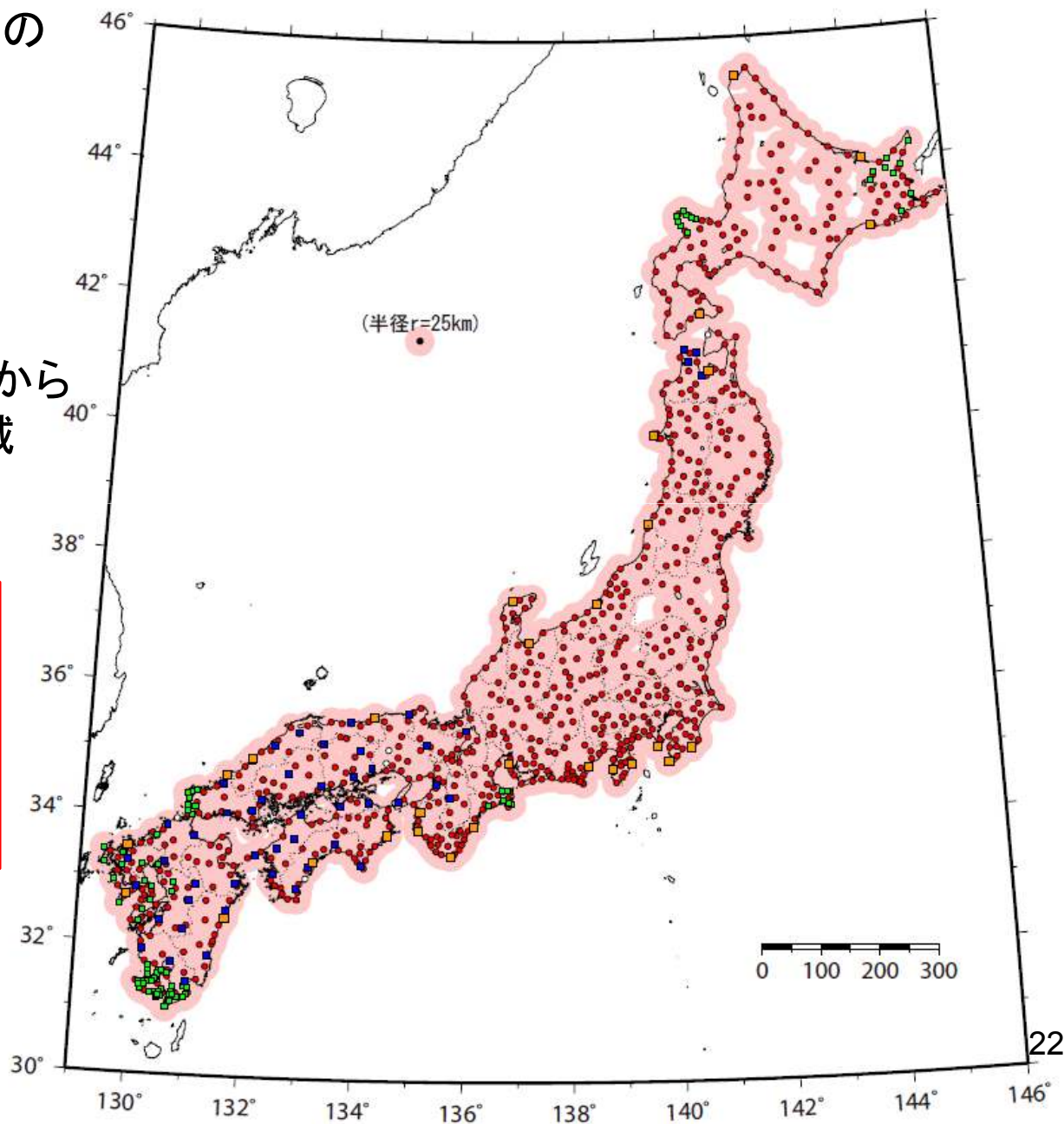
4. GNSSによる標高の測量

電子基準点(二等水準点)の
配置状況

全国で約800点

着色していない部分
電子基準点(二等水準点)から
25km以上離れている地域

既知点間距離60km以下
↓
日本全国ほとんどの地域で
GNSS水準測量を実施する
ことができる。



4. GNSSによる標高の測量

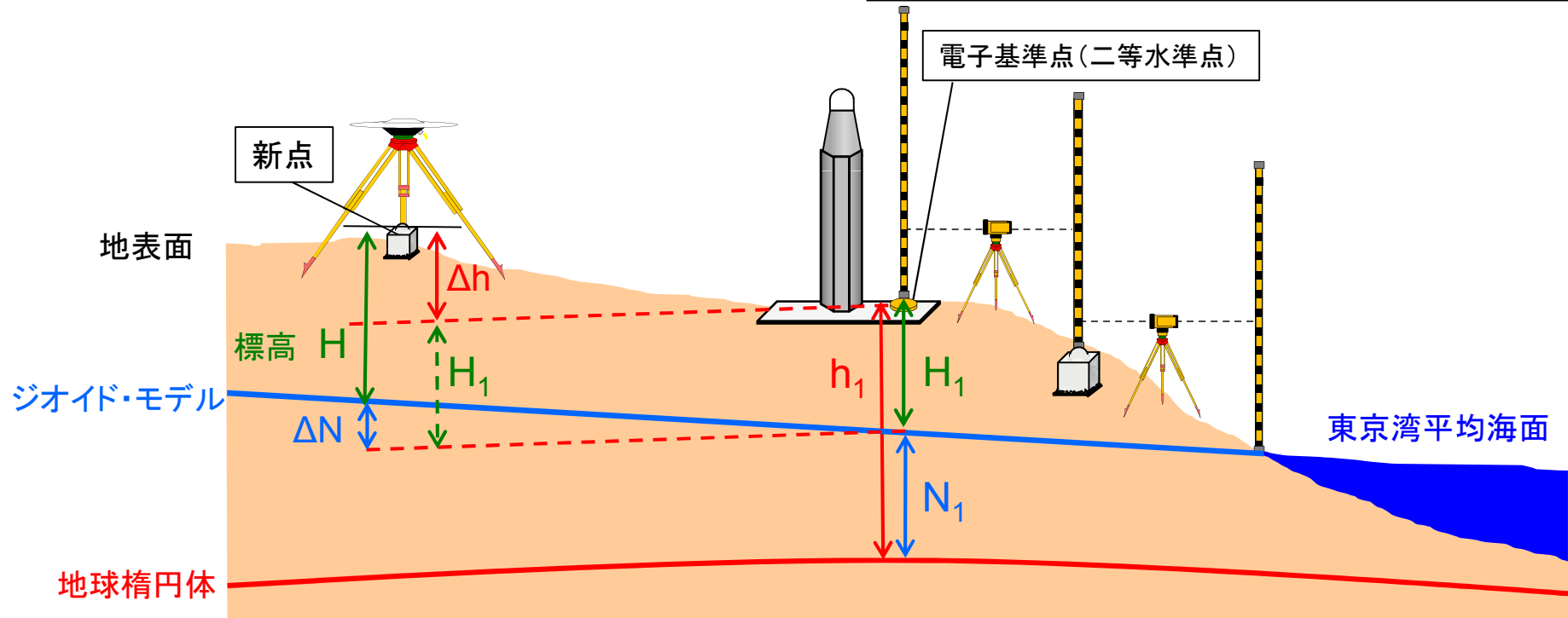
GNSS測量による標高の測量 (GNSS水準測量)



既知点の標高(H_1)から新点の標高(H)を求める。

①従来の水準測量 : $H = H_1 + \Delta H$
 ΔH (水準測量により求められる点間の比高)

②GNSS水準測量 : $H = H_1 + (\Delta h - \Delta N)$
 Δh (GNSS測量により求められる楕円体高の差)
 ΔN (ジオイド・モデルにより求められるジオイド高の差)



4. GNSSによる標高の測量

(GNSS水準測量の方式)

第6条 GNSS水準測量は、原則として、結合多角方式又は単路線方式により行うものとする。

2 作業方法は、次表を標準とする。

項目 \ 区分	GNSS水準測量	
既知点の数	2点以上	
路線の辺数	6辺以下 ただし、単路線の場合は8辺以下とする。	
路線長	60km以下	
観測距離	6km以上40km以下 なお、観測距離は新点間距離も対象とする。	
偏心距離	既知点	500m未満
	新点	250m未満
備考	「路線」とは、既知点から他の既知点まで、既知点から交点まで又は交点から他の交点までを結ぶ辺のことをいう。	

4. GNSSによる標高の測量

(GNSS観測の実施)

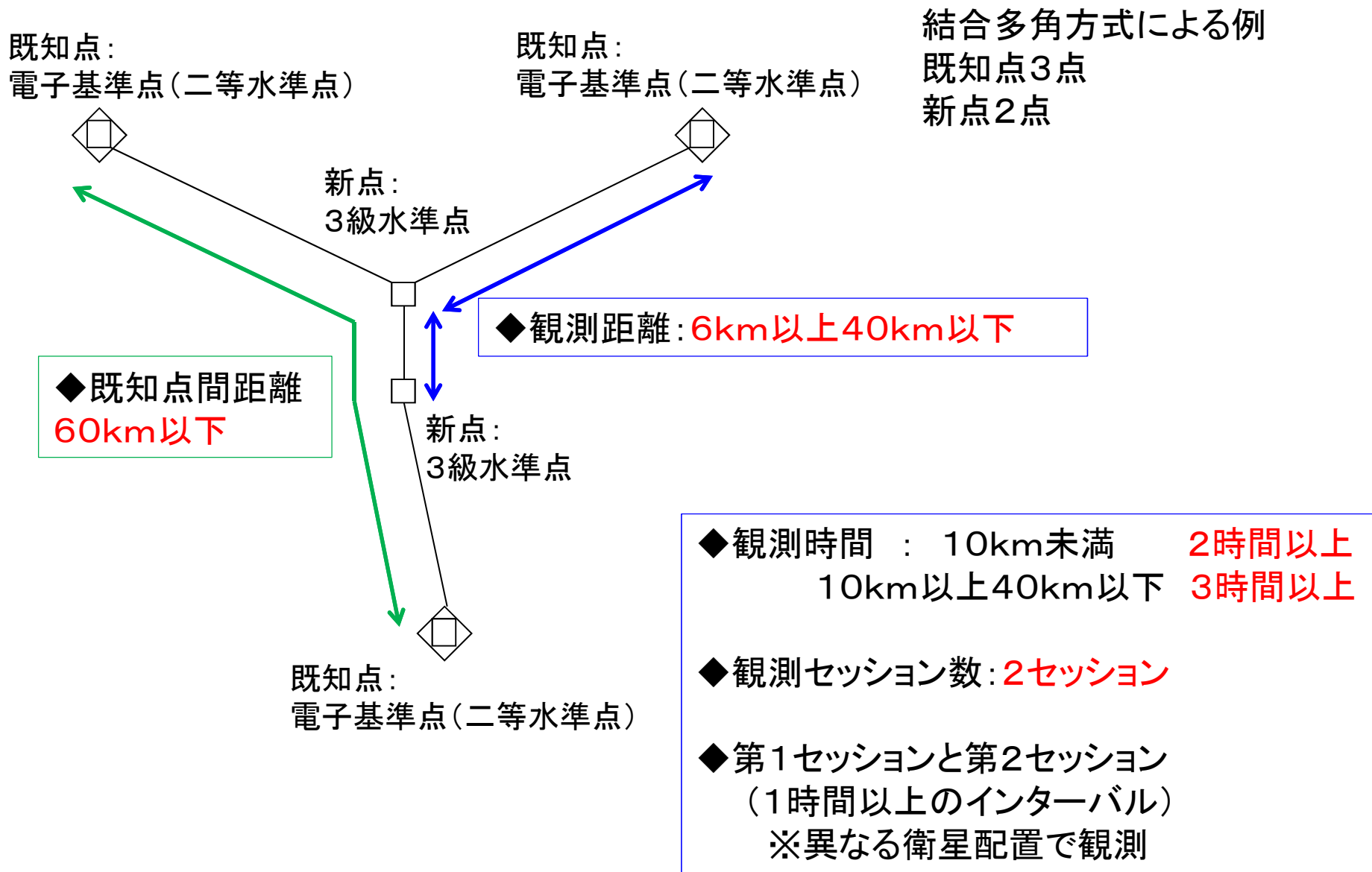
第13条 GNSS観測に当たり、計画機関の承認を得た平均図に基づき、観測図を作成するものとする。

2 GNSS観測は、平均図等に基づき、準則第37条第2項第二号ト(1)に規定するスタティック法により行う。

一 GNSS観測は、次表を標準とする。

項目	観測距離		
	10km未満	10km以上～40km以下	
観測セッション数	2セッション		
観測時間	2時間以上	3時間以上	
データ取得間隔	30秒以下		
最低高度角	15度を標準		
アンテナ高測定単位	mm		
使用衛星数	GPS衛星	4衛星以上	5衛星以上
	GPS衛星及び GLONASS衛星	5衛星以上	6衛星以上

4. GNSSによる標高の測量



4. GNSSによる標高の測量

(GNSS観測の実施)

第13条 (途中省略)

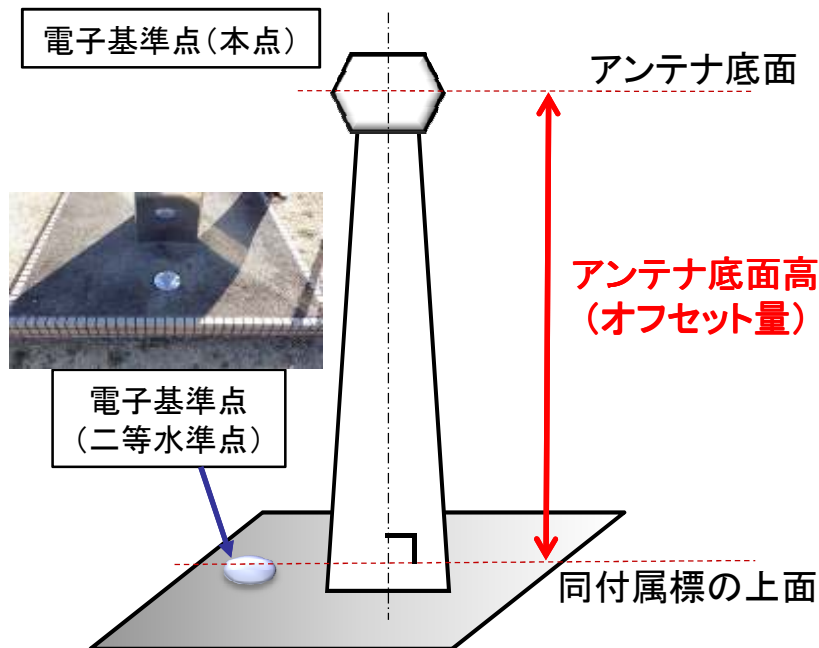
ニ 既知点に電子基準点(二等水準点)を使用する場合は、当該電子基準点において受信された位相データ等を使用するため、**電子基準点(二等水準点)におけるGNSS観測は行わないものとする。**

三 アンテナ高の測定

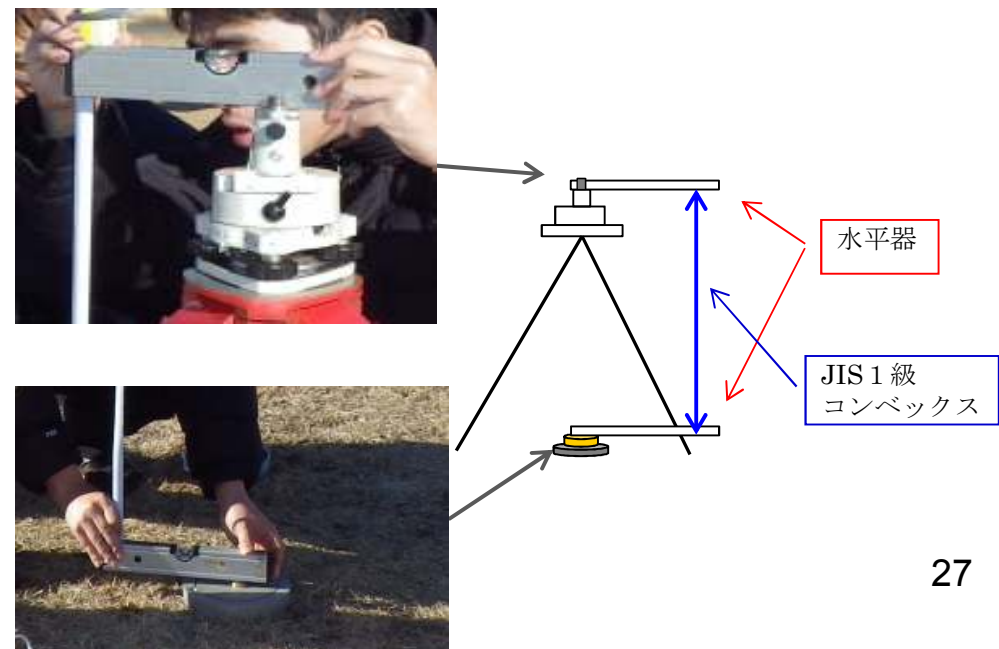
イ **電子基準点(二等水準点)におけるアンテナ底面高**は、同付属標の上面から電子基準点アンテナ底面までの垂直距離(以下「**オフセット量**」という。)とする。

ロ **電子基準点(二等水準点)以外の水準点(既知点、新点及び偏心点)のアンテナ高**の測定は、鋼卷尺(JIS1級)を使用し、標識上面からアンテナ底面までの垂直距離を観測前と観測後に測定して、平均値を採用する。なお、観測前後の較差の許容範囲は、**3ミリメートル**とする。また、第2セッションにおけるアンテナ高は、**10センチメートル以上変えるものとする。**

電子基準点(二等水準点)



電子基準点(二等水準点)以外の水準点



4. GNSSによる標高の測量

「オフセット量」は国土地理院ホームページにより公開

<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/ssp/gazou/offset.pdf>

オフセット量

平成25年4月26日

- ・オフセット量は、「GNSS測量による標高の測量マニュアル(案)」による測量のみに使用します。
- ・オフセット量は、更新(追加、削除)する場合がありますのでご注意願います。

県名	点番号	点名	オフセット量 (m)	基準点コード	
				電子基準点	二等水準点
鳥取県	021014	鳥取	4.517	EL05334213503	LOE000021014A
鳥取県	021015	名和	4.534	EL05333230901	LOE000021015A
鳥取県	021016	羽合	4.485	EL05333169902	LOE000021016A
鳥取県	041135	東伯A	5.007	EL05333158503	LOE000041135A
鳥取県	950378	鹿野	5.075	EL05334104301	LOE000950378A
鳥取県	950380	智頭	5.063	EL05234711801	LOE000950380A
鳥取県	950381	日南	5.063	EL05233529402	LOE000950381A
島根県	021020	木次	4.536	EL05232777203	LOE000021020A
島根県	021022	温泉津	5.109	EL05232433002	LOE000021022A
島根県	021025	益田	4.534	EL05131764402	LOE000021025A

4. GNSSによる標高の測量

点検測量

作業規程の準則

測量種別	率
1・2級基準点測量	10%
3・4級基準点測量	5%
1～4級水準測量	5%
簡易水準測量	5%
地形測量及び写真測量	2%
線形決定	5%
中心線測量	5%
縦断測量	5%
横断測量	5%

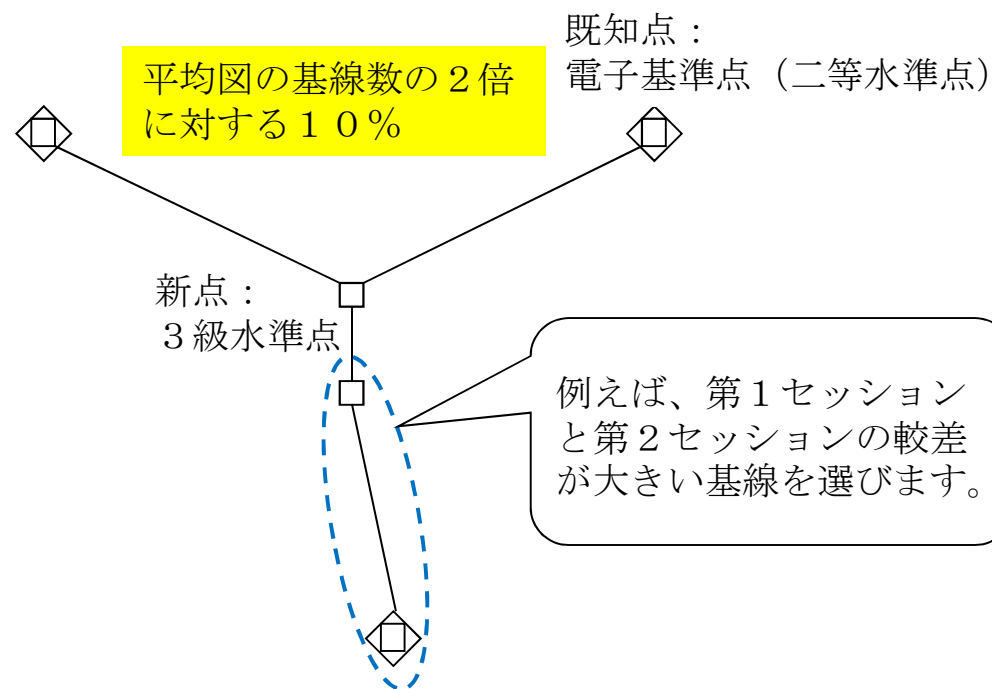
(精度管理)

第2条 (途中省略)

3 作業機関は、作業の終了後速やかに点検測量を行わなければならない。

点検測量率は10%を標準とする。

→ GNSS水準測量: 10%



$4 \times 2 \times 0.1 = 0.8$ (小数点以下切り上げ)
1基線(1セッション)を行う。

4. GNSSによる標高の測量

精度管理について

(点検計算及び再測)

第18条 (途中省略)

3 点検計算における許容範囲は、次表のとおりとする。

	区 分	許容範囲	備 考
①	第1セッションと第2セッションの基線ベクトルの較差	水平(ΔN 、 ΔE)	ΔN : 水平面の南北方向の較差 ΔE : 水平面の東西方向の較差 ΔU : 高さ方向の較差
		高さ(ΔU)	
②	既知点間の楕円体高の閉合差	$15\text{mm}\sqrt{S}$	S: 路線長(km単位)
(2)	仮定三次元網平均計算における楕円体高の閉合差	$15\text{mm}\sqrt{S}$	S: 路線長(km単位)

(平均計算)

第19条 平均計算は、次のとおり行うものとする。

2 既知点2点以上を固定する三次元網平均計算は、平均図に基づき行うものとし、平均計算は次のとおり行うものとする。

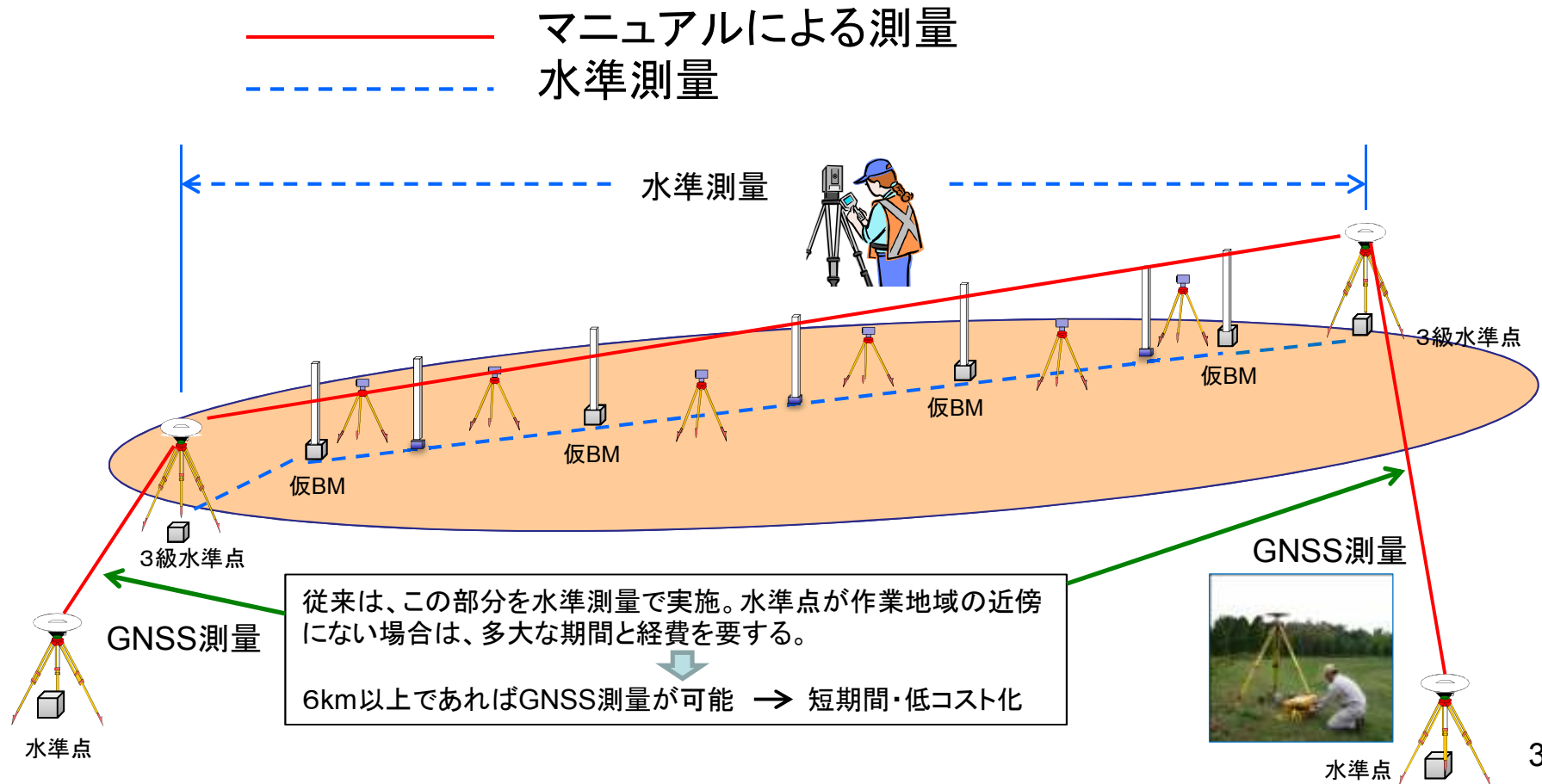
～ 中略 ～

③ 五 三次元網平均計算による新点の楕円体高の標準偏差の許容範囲は、50ミリメートルを標準とする。

4. GNSSによる標高の測量

利用の例

マニュアルによる測量と水準測量の組み合わせ



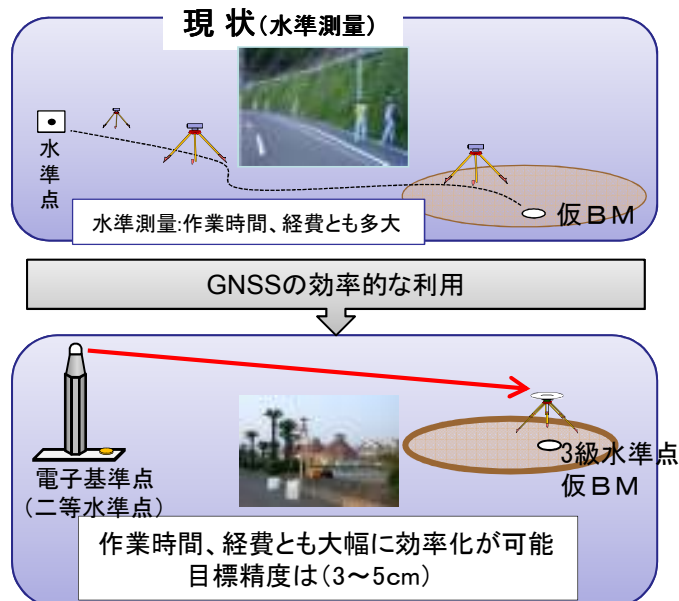
4. GNSSによる標高の測量

災害復旧対応の事例

事例：東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う大津波により、東北地方の太平洋側港湾では防波堤の倒壊、岸壁の損傷等の甚大な被害。また、地震に伴う地殻変動により、**埠頭等の港湾施設も地盤沈下が発生。**

課題：埠頭等の建造物の復旧工事では、地盤沈下量を把握する必要があるが、地殻変動の影響のない**遠方の水準点からの水準測量を行うこととなり多大な時間**がかかる。

GNSSにより3~5cmの精度で、効率的に港湾建造物の沈下量が把握可能。



東北地方太平洋沖地震に伴う沈下量の情報として、国土地理院の電子基準点による上下方向の沈下量情報を元に復旧対応の事例あり(10cmオーダーの情報でも有用)。

被害状況(東北地方整備局港湾空港部HPより)



4. GNSSによる標高の測量

ダムに関する測量の事例

事例:ダムに関する測量は、ダム測量基準点の設置、既設構造物との関連把握及び本体設計に関する縦断測量、横断測量等の目的に応じて実施。

課題:上記の測量を実施するためには高さの基準となる水準点が必要。ただし、近傍に既設の水準点がない場合、遠方より水準測量により高さの基準を測量する必要がある。

GNSSの効率的な利用

GNSSにより3~5cmの精度で、効率的に水準点の設置が可能となる。

イメージ

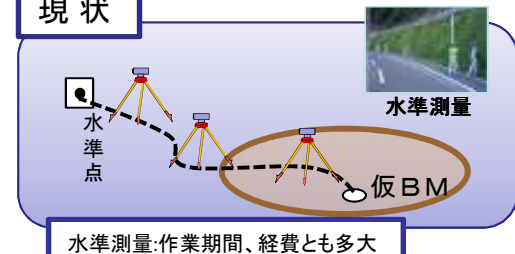


事業エリアの近傍に、既設の水準点がないため、遠方より水準測量が必要



【写真】九州地方整備局（筑後川河川事務所）HPより

現状



GNSSの効率的な利用



5. 課題

- ◆ 電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル(案)
 - ・ 試行作業や精度検証を踏まえたマニュアルの検証
 - ① 適応範囲の拡大
 - ② 公共基準点体系全体の見直し

- ◆ GNSS測量による標高の測量マニュアル(案)
 - ・ 試行作業や精度検証を踏まえたマニュアルの検証
 - ① GNSS観測時間
 - ② 計算処理(網平均計算等)

6. 今後のスケジュール

◆ 試行作業の実施

① 国の機関

② マニュアルの使用を希望する測量計画機関

◆ 課題の検討

◆ マニュアルの改定 [平成25年度末]

◆ 高精度なジオイド・モデルの整備・公表 [平成25年度末]

◆ マニュアルの本格的な運用 [平成26年度]

< 参考 >

◆ 参考となる標準歩掛は閲覧可能

◆ マニュアルを使用する際に参考となる「**利用の手引**」を
ホームページで公開(マニュアルと同様にダウンロードが可能)

ご清聴ありがとうございました。

ホームページ

国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/>

公共測量 <http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/index.html>

連絡先

国土地理院計画課 TEL:029-864-6463

測量指導課 TEL:029-864-6639

北海道地方測量部 TEL:011-709-2311

e-mail : ssp-jimuk@gsi.go.jp