

東北地方太平洋沖地震における 基準点測量成果の改定



測地部測地基準課長補佐
檜山 洋平

目次

1. 基準点の設置状況

2. 電子基準点で観測された地殻変動

3. 測量成果の取り扱い




4. 測量成果の改定

- 日本経緯度原点・日本水準原点
- 電子基準点
- 三角点及び水準点

5. まとめ

1. 基準点の設置状況

国土地理院の基準点(全国)

種類	点数	内 訳	平均距離
電子基準点 	1,240		20 km
三角点 	109,074	一等三角点 975 二等三角点 5,060 三等三角点 32,326 四等三角点 70,713	25 km 8 km 4 km 1.5 km
水準点 	18,239	基準水準点 86 一等水準点 14,682 二等水準点 3,471	150km 2 km 2 km
合 計	128,553		

(2011年3月31日現在)

基準点の役割

◆国土に位置の基準を与えるインフラ

- 測量標(電子基準点、三角点、水準点を表す標石及び金属標)
- 測量成果(測量標の緯度、経度、高さ)

◆基本測量＝すべての測量の基礎、国土地理院が実施

◆公共測量＝国・地方公共団体による測量 基本測量成果に基づき実施

公共測量(国・地方公共団体)

公共基準点 : 数100万点

1～4級基準点、街区基準点、地籍図根三角点等

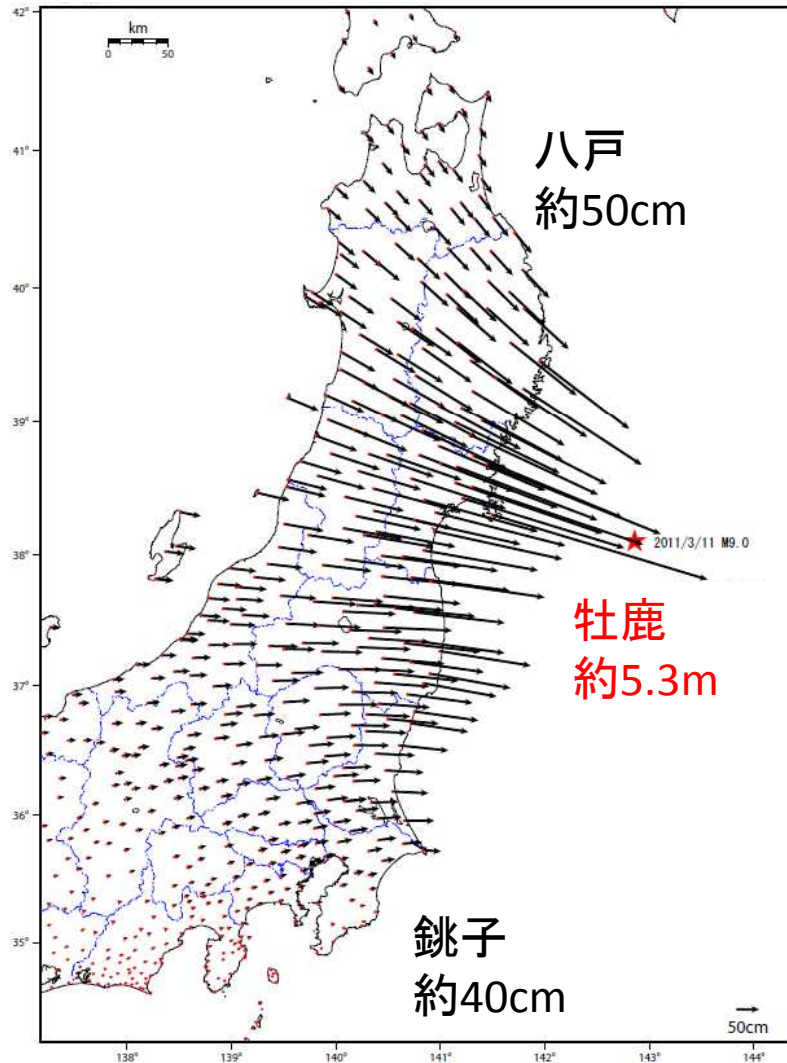
基本測量(国土地理院)

基本基準点 : 約13万点

電子基準点、三角点、水準点等

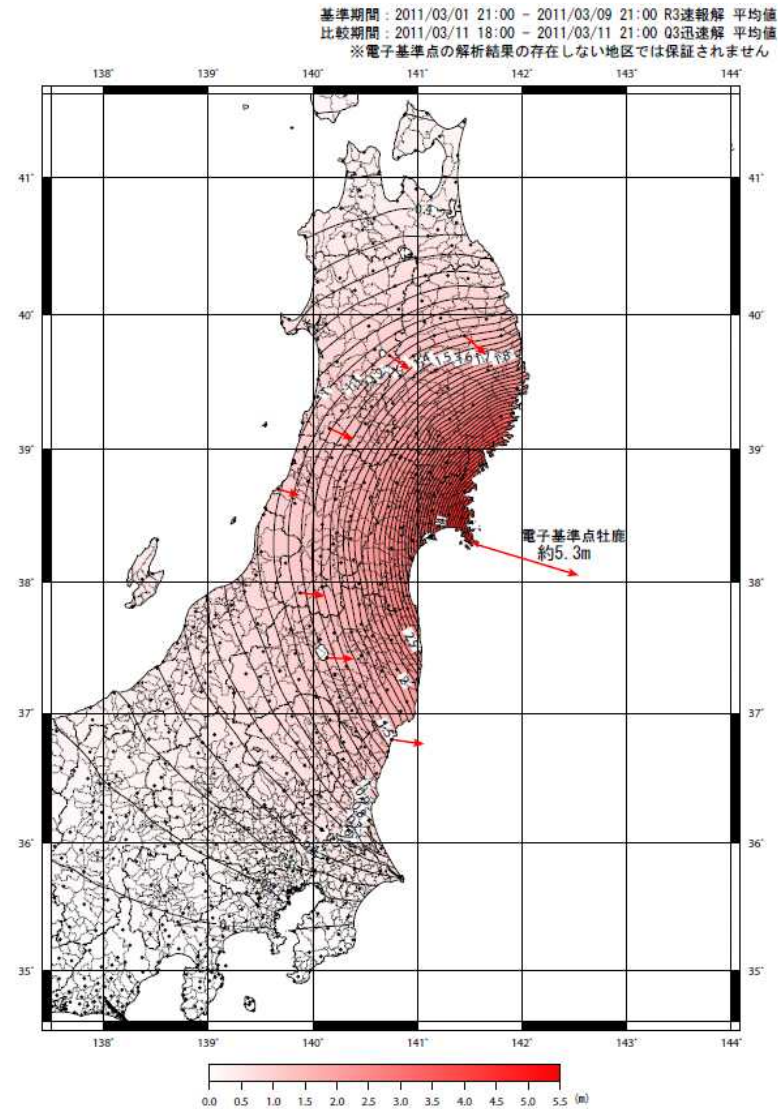
2. 電子基準点で観測された地殻変動

<水平変動>



[基準: R3速報解 比較: Q3迅速解]

★固定局: 三隅 (950388)
国土地理院



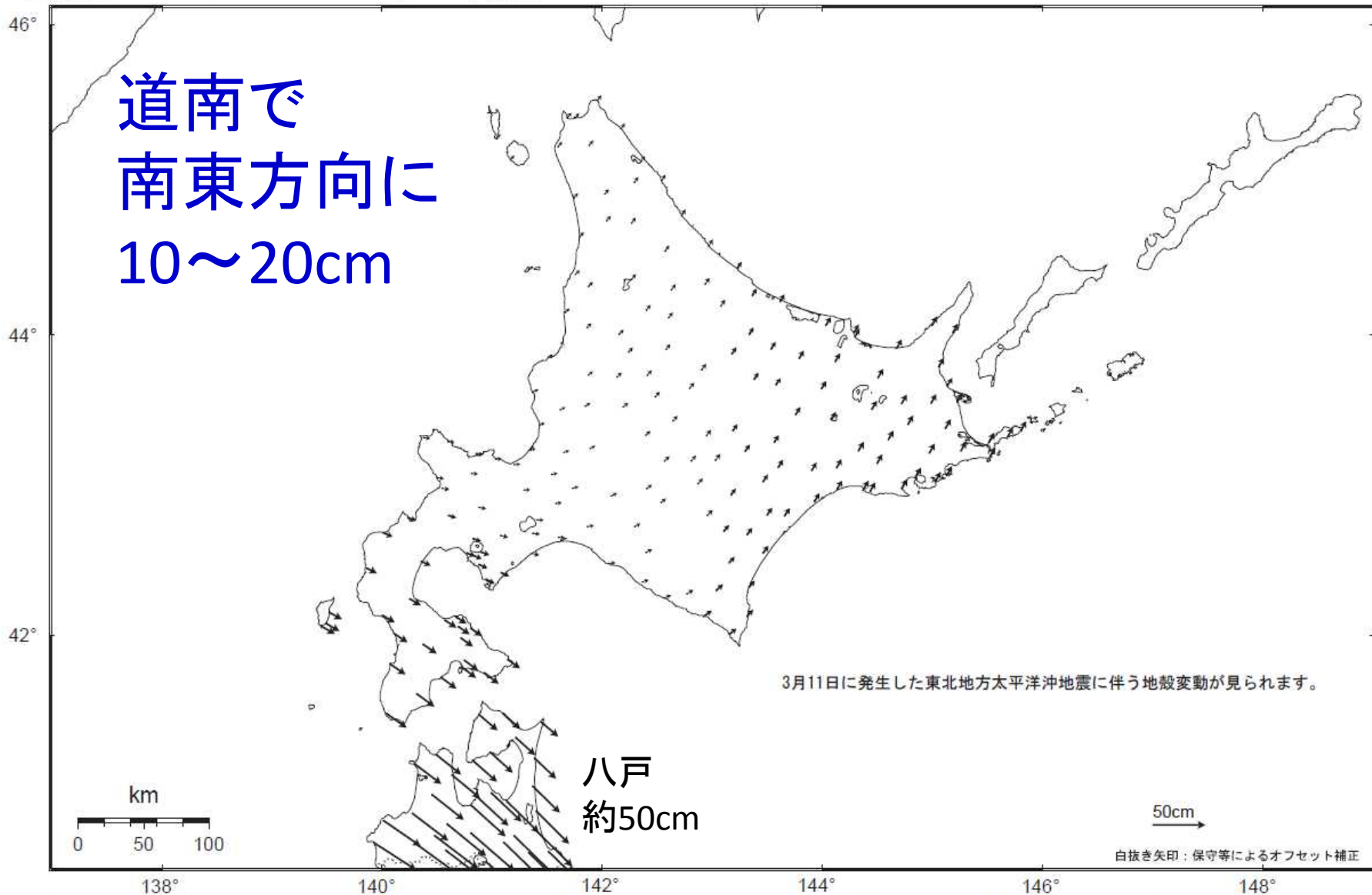
基準期間: 2011/03/01 21:00 - 2011/03/09 21:00 R3速報解 平均値
比較期間: 2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 21:00 Q3迅速解 平均値
※電子基準点の解析結果の存在しない地区では保証されません

固定局: 三隅 (950388)
国土地理院

北海道で観測された地殻変動

基準期間：2011.02.22 ~ 2011.02.28 [F3：最終解]

比較期間：2011.03.25 ~ 2011.03.31 [R3：速報解]

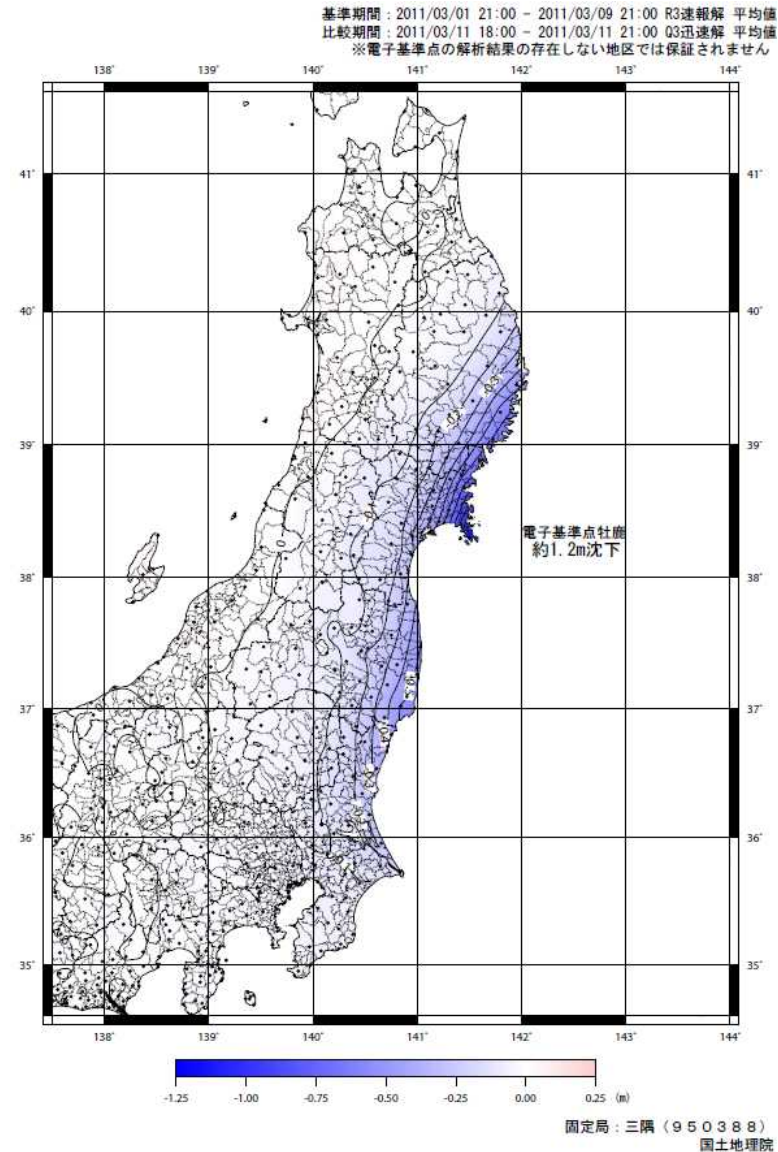
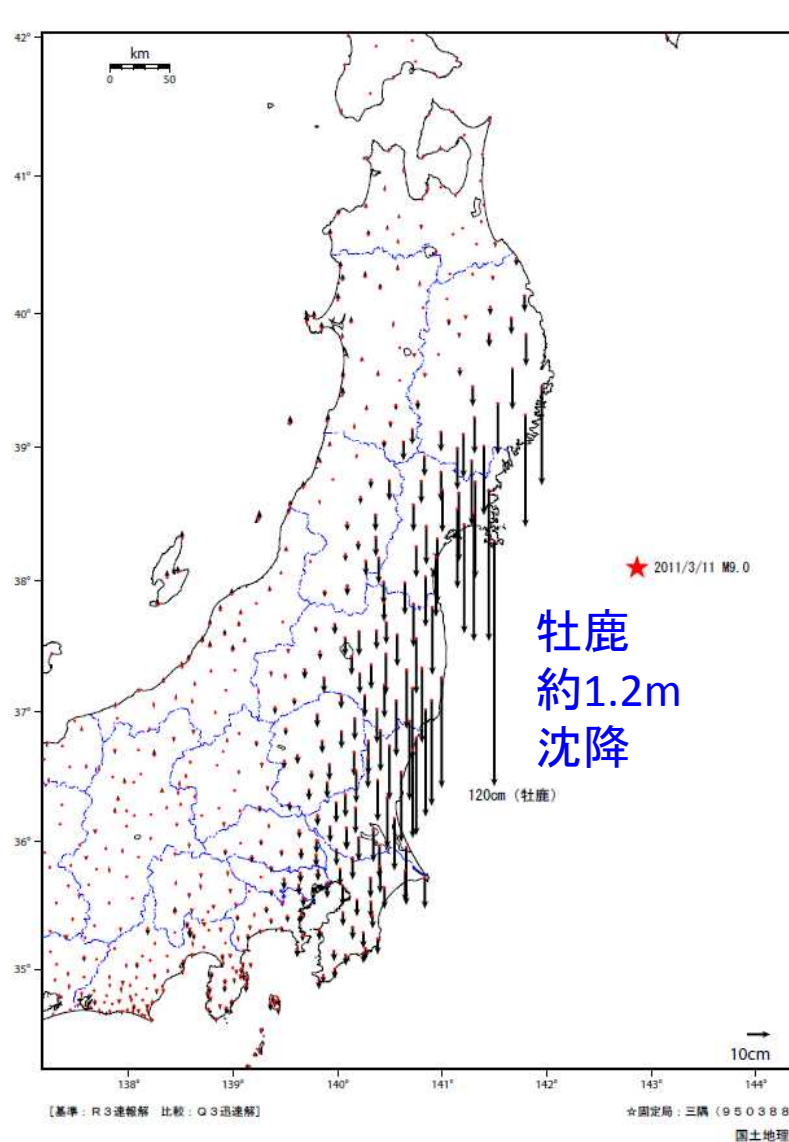


☆ 固定局：福江（950462）

※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1（92110）が変動したため、2011/3/11以降のQ3、R3解析においては固定点を与論（950495）へ変更して

2. 電子基準点で観測された地殻変動

<上下変動>



3. 測量成果の取り扱い

◇測量法第30条（測量成果の使用）

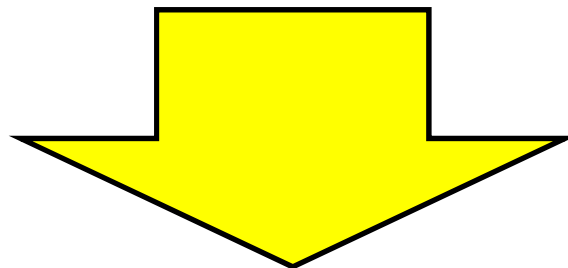
- 2 国土地理院の長は、前項の承認の申請があつた場合において、次の各号のいずれにも該当しないと認めるときは、その承認をしなければならない。
- 一 申請手続が法令に違反していること。
 - 二 当該測量成果を使用することが当該測量の正確さを確保する上で適切でないこと。

◇測量法第31条（測量成果の修正）

国土地理院の長は、地かく、地ぼう又は地物の変動その他の事由により基本測量の測量成果が現況に適合しなくなった場合においては、遅滞なく、その測量成果を修正しなければならない。

測量成果の公表停止

東北地方太平洋沖地震の地殻変動によって
基準点の相対的位置関係が大きく変化



➤ 変動した基準点の測量成果を使用して公共測量等を実施すると、正確な測量成果が得られない。

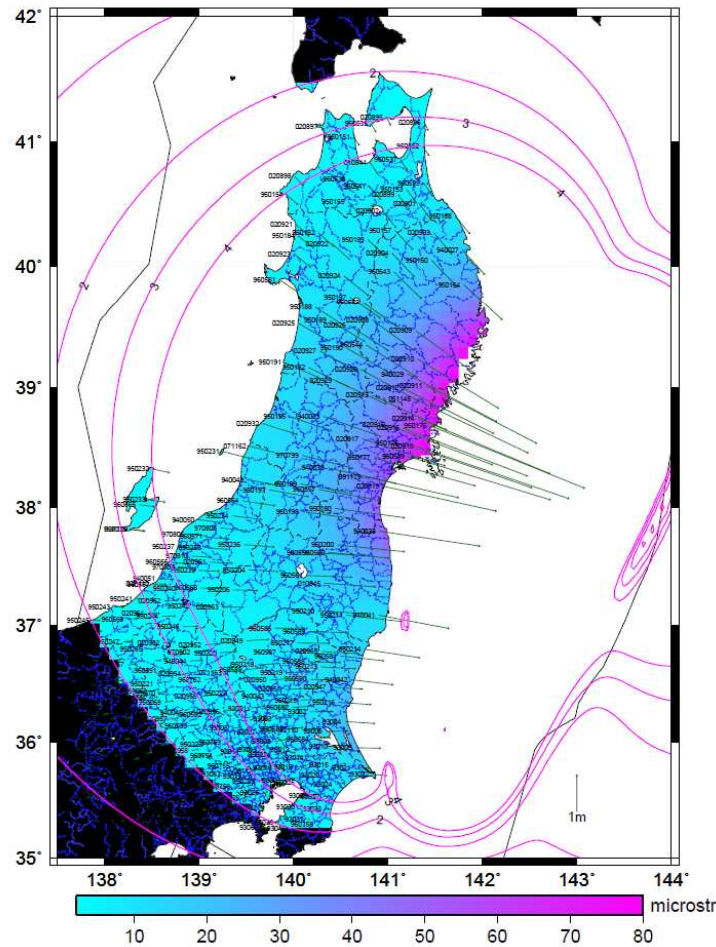
基準点測量成果の公表を停止(2011/3/14)

電子基準点・三角点の成果公表停止地域

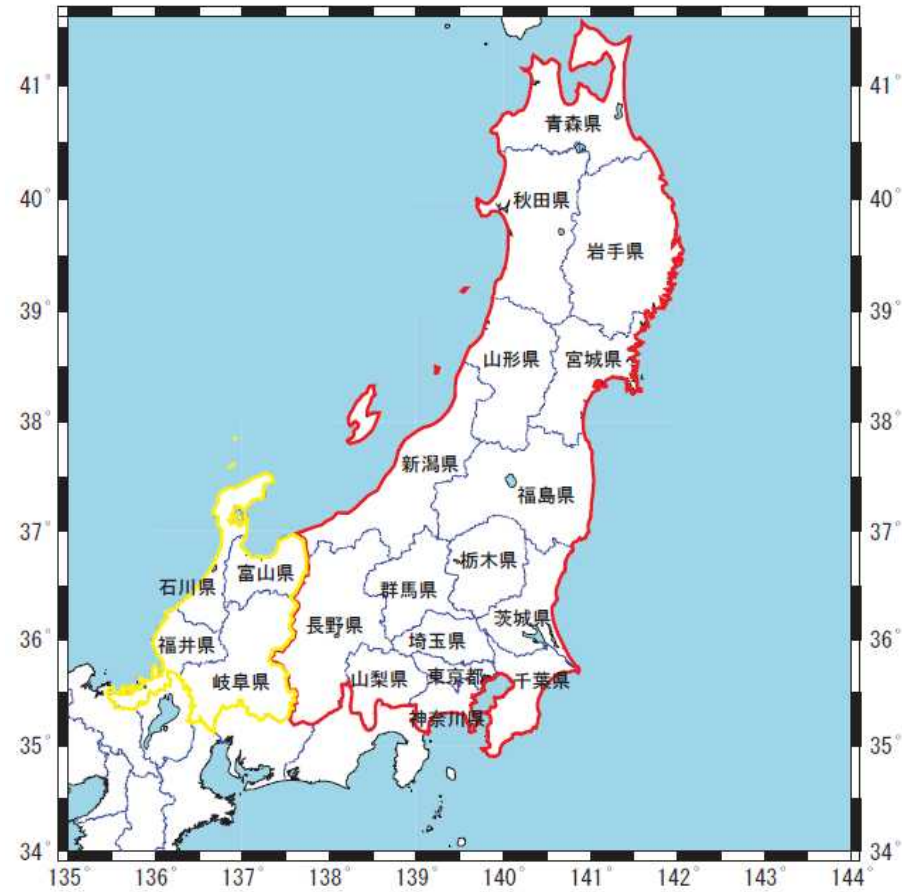
推定歪みが2ppmを超えた地域
で成果停止(3月14日)

三角点約4.4万点停止

電子基準点438点について、
5月31日に新しい測量成果を公表



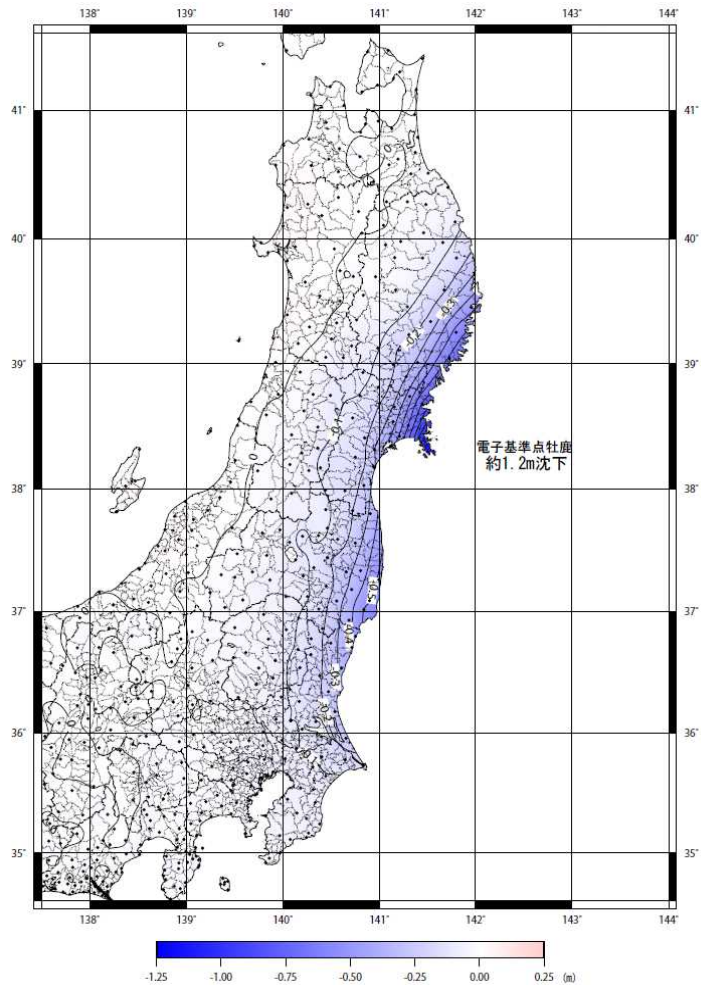
断層モデルから計算された推定歪み



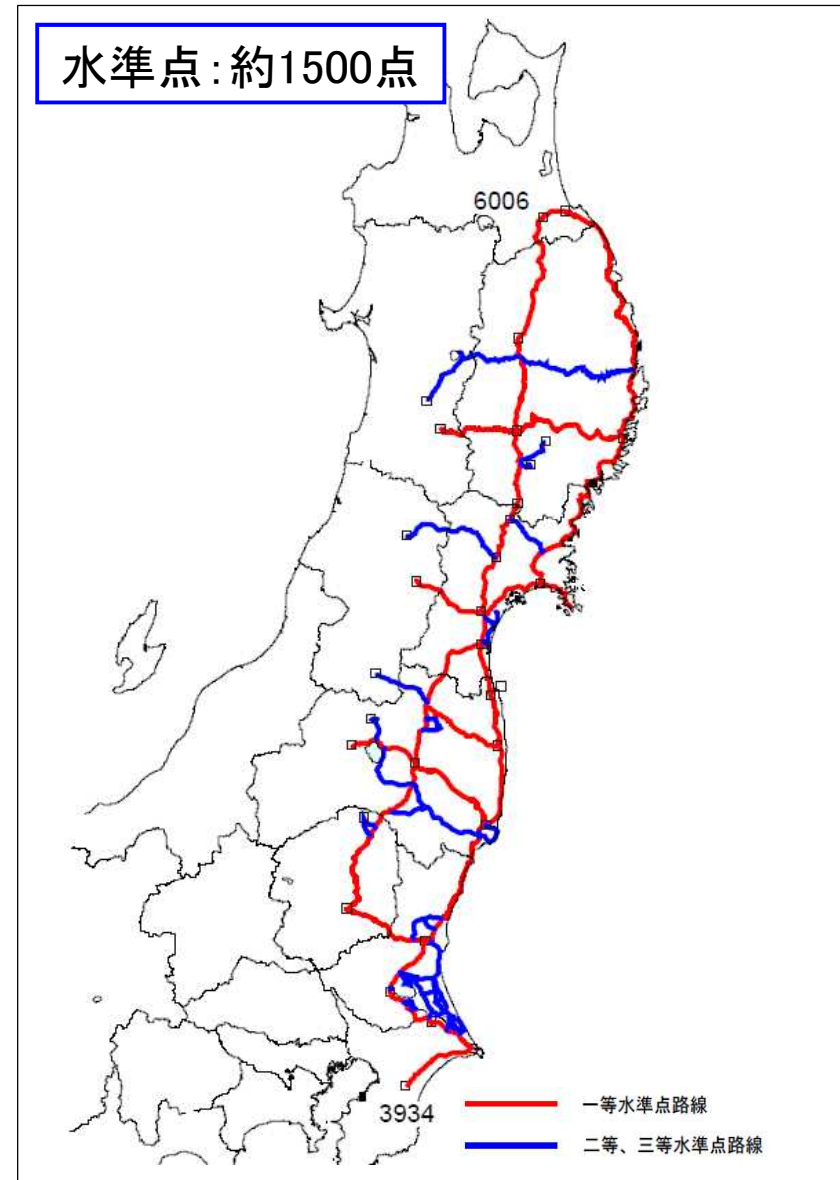
三角点成果公表停止地域

水準点の成果公表停止範囲

上下変動が数cmとなる地域で
成果停止(水準路線単位)



地震に伴う上下変動量



成果停止水準路線

4. 測量成果の改定

◇改定時期の検討

A: 早期復興等のための測量成果ニーズ

→ 被災地復興に係る早期の測量作業の実施

B: 余効変動等が収まった後に算出したい

→ 短期間での再停止は逆に社会的混乱・コストの増大を招く

相反する
要件

◇精度的要件

・理想的には歪の全くない成果体系の構築 → 現実的には困難

→ どこまでの相対精度を許容するか？

許容精度: 隣接する電子基準点間で2ppm程度の相対精度

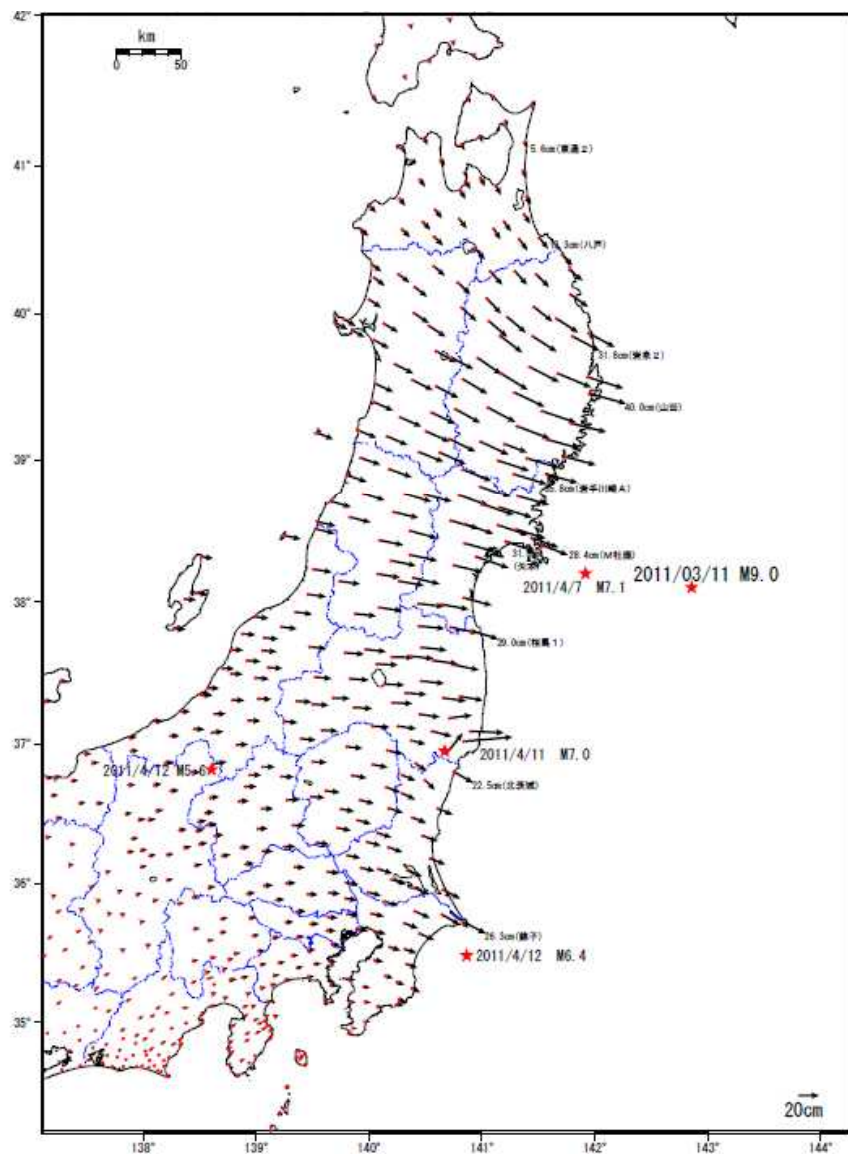
(参考)・公共測量作業規定準則: GNSS観測の許容範囲(水平) ⇒ $60\text{mm} + 20\text{mm}\sqrt{N}$ (結合多角or単路線の場合)

→ 既知点となる電子基準点の座標誤差として60mmを許容

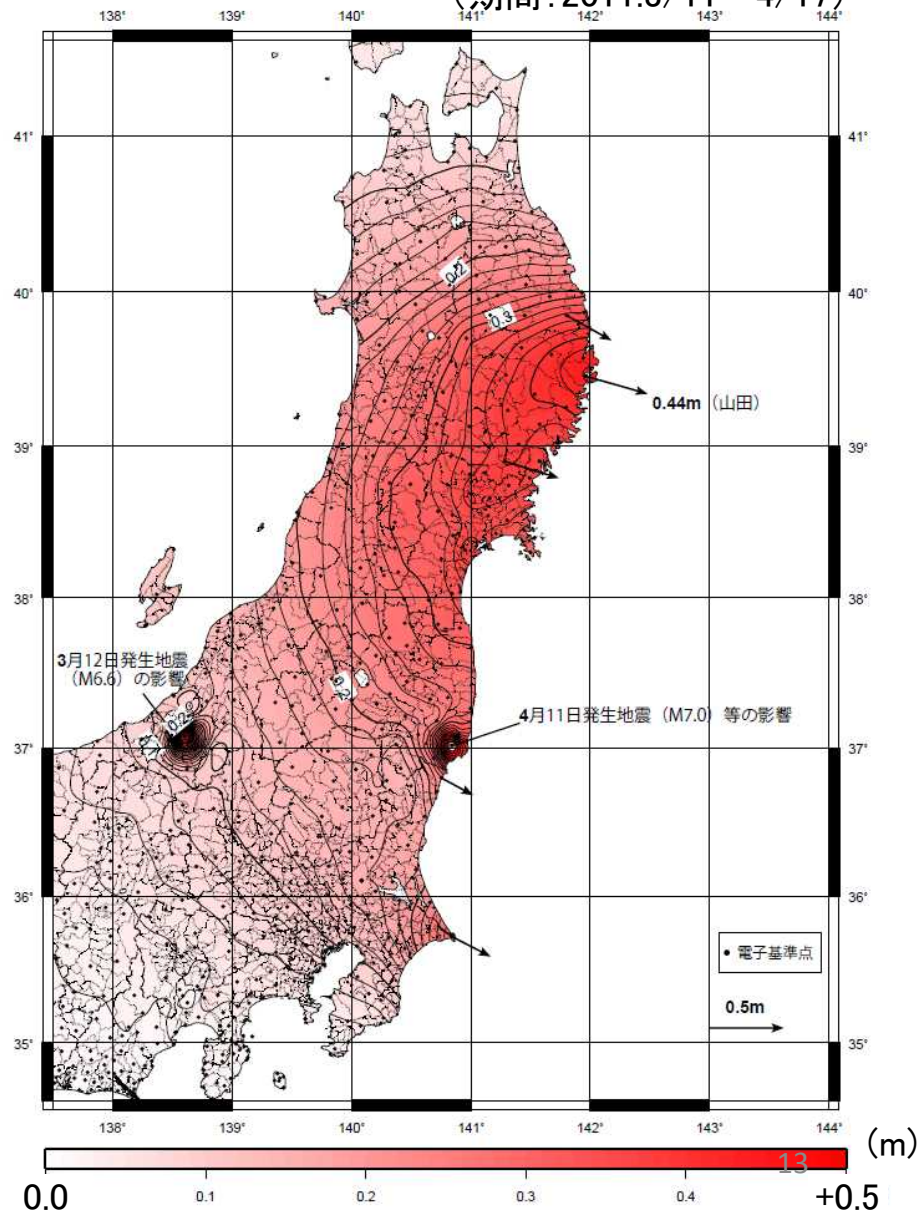
・点間距離を約20kmとすると、60mmの誤差=3ppmに相当 → 安全側を見て2ppmの相対精度で管理

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(水平)

(期間:2011.3/12~5/6-7)

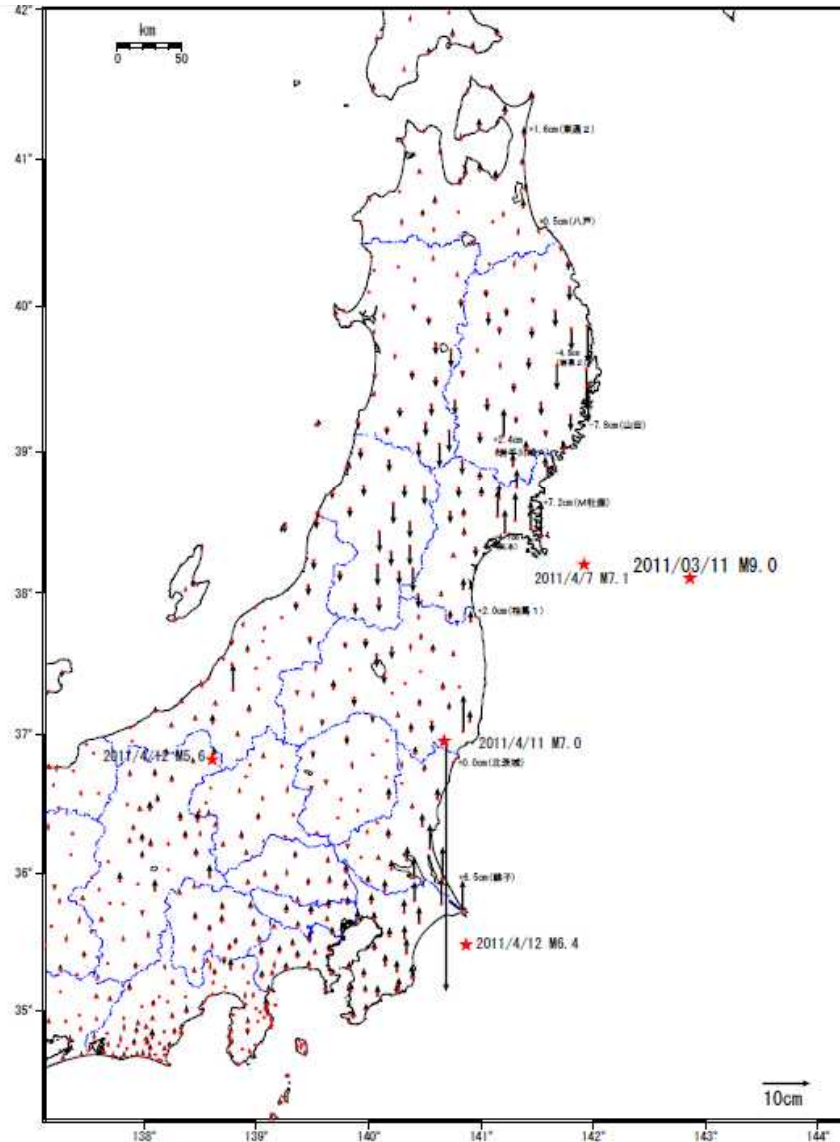


(期間:2011.3/11~4/17)

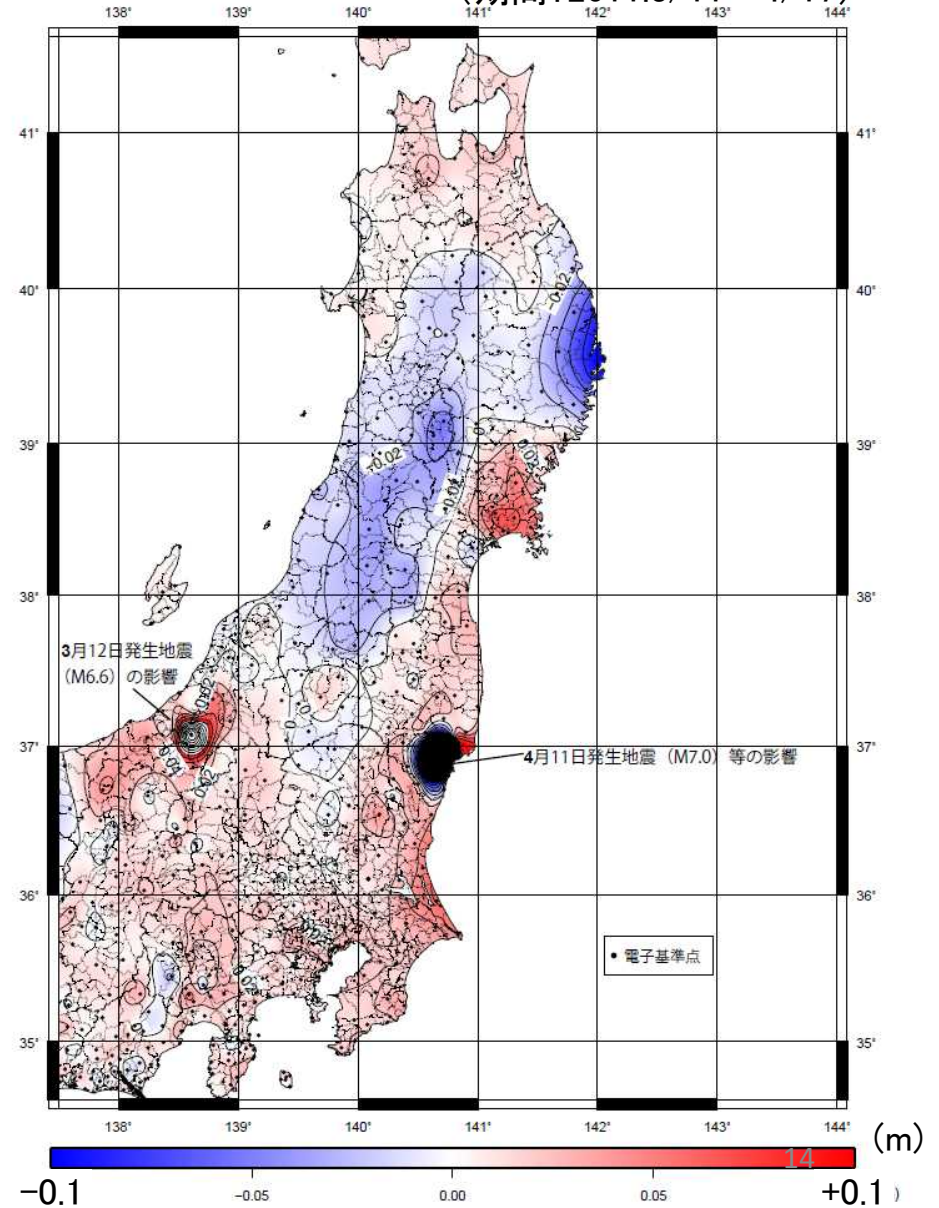


東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(上下)

(期間:2011.3/12~5/6-7)



(期間:2011.3/11~4/17)

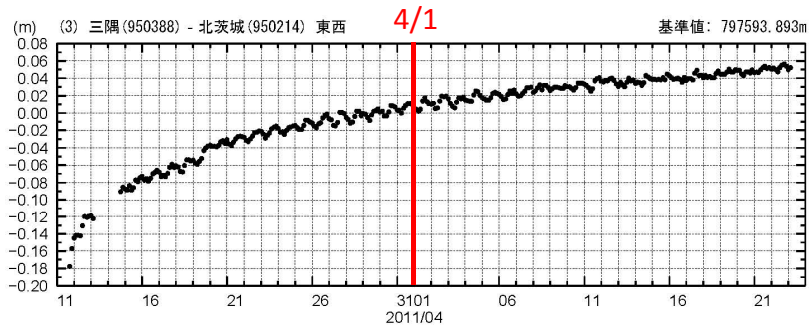


東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(時系列)

(期間:2011.3/11~4/23)

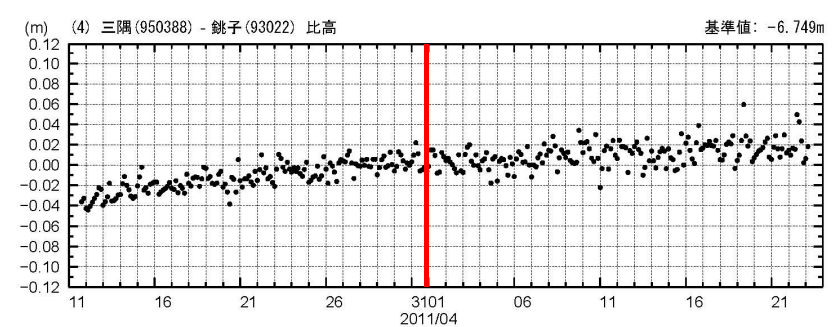
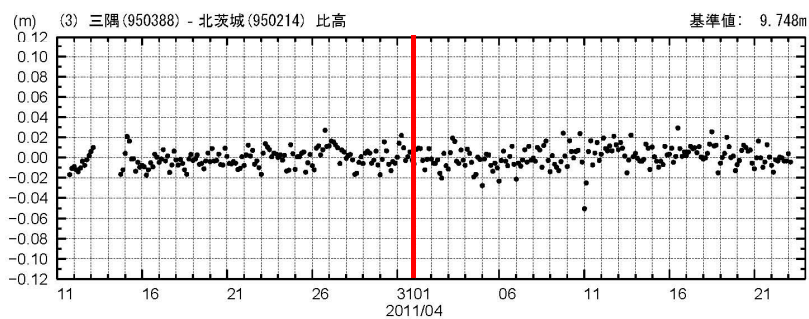
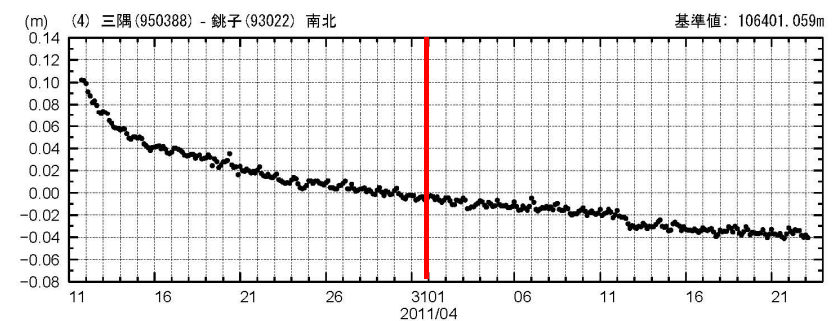
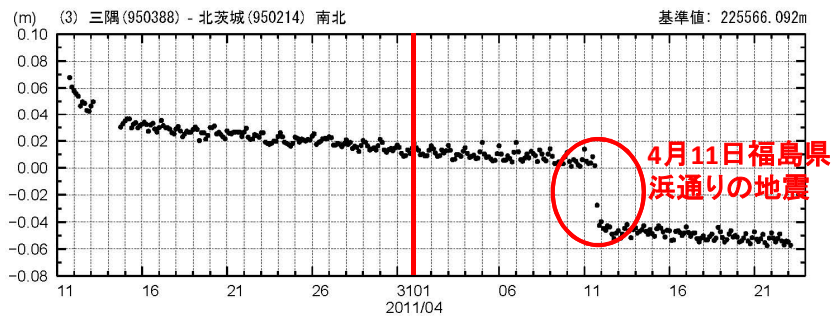
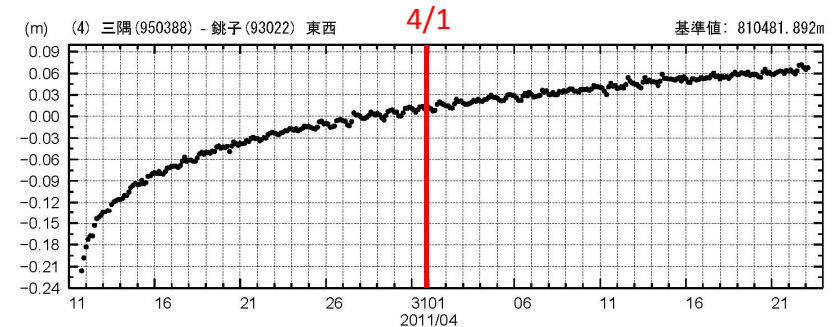
期間:2011/03/11-2011/04/23 JST

【北茨城(950214)】



期間:2011/03/11-2011/04/23 JST

【銚子(93022)】



- ・余効変動は地震直後から時間経過につれて徐々に減少
- ・余震の発生した地域ではその影響も受ける

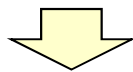
余効変動量の推定

電子基準点の観測結果から
対数関数※で近似

$$y(t) = c + a \ln \left(1 + \frac{t}{\tau_{\log}} \right)$$

(c, a:定数、 τ_{\log} :時定数、t:経過時間)

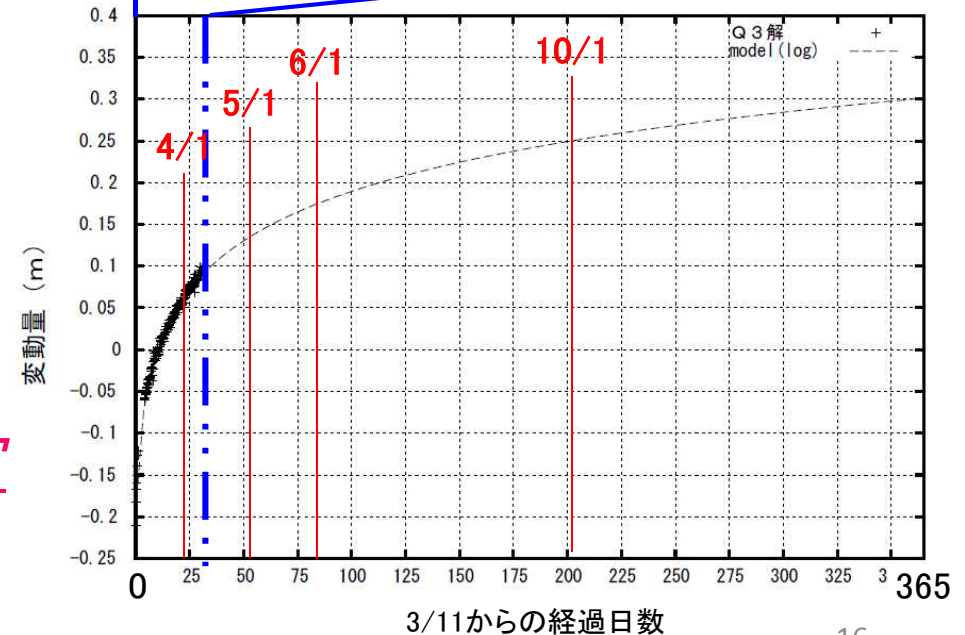
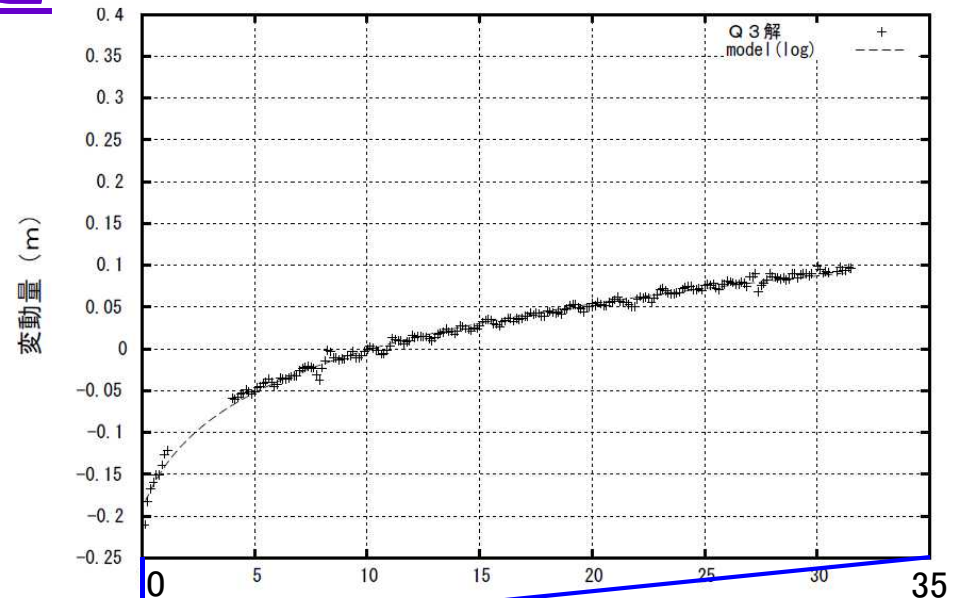
- ・計算時期が早いほど変動量は大きい
- ・各点で変動速度は異なる



将来の蓄積歪量等を考慮し
適切な成果改定時期を検討

→ 成果改定時期を「5月末」に設定

※余効変動を近似する数式モデルとして、指数関数と対数関数が用いられるが、この時点では地震直後の余効すべりが支配的と考え対数関数で近似



山田(950167)の推定余効変動

日本経緯度原点・日本水準原点の原点数値改正

【日本経緯度原点】我が国における地理学的経緯度を定めるための基準

【日本水準原点】我が国における高さを定めるための基準



日本経緯度原点(東京都港区麻布台)



日本水準原点(東京都千代田区永田町)

原点数値→測量法施行令第二条で規定

測量法施行令第二条(日本経緯度原点及び日本水準原点)

法第十一条第一項第四号に規定する日本経緯度原点の地点及び原点数値は、次のとおりとする。

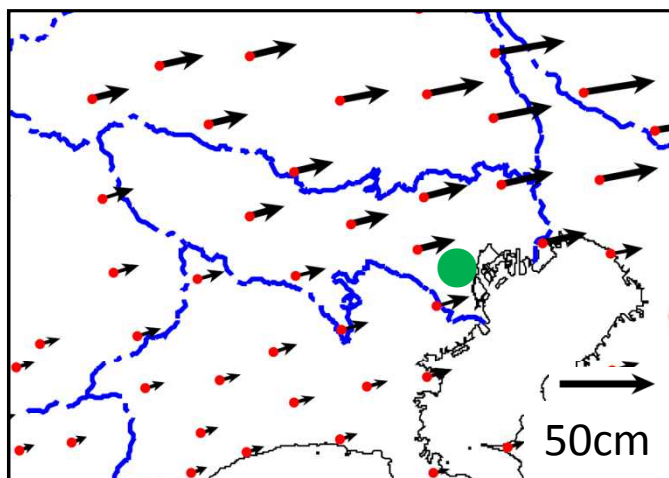
- 一 地点 東京都港区麻布台二丁目十八番一地内日本経緯度原点金属標の十字の交点
- 二 原点数値 次に掲げる値
 - イ 経度 東経百三十九度四十四分二十八秒八七五九
 - ロ 緯度 北緯三十五度三十九分二十九秒一五七二
- ハ 原点方位角 三十二度二十分四十四秒七五六(前号の地点において真北を基準として右回りに測定した茨城県つくば市北郷一番地内つくば超長基線電波干渉計観測点金属標の十字の交点の方位角)

2 法第十一条第一項第四号に規定する日本水準原点の地点及び原点数値は、次のとおりとする。

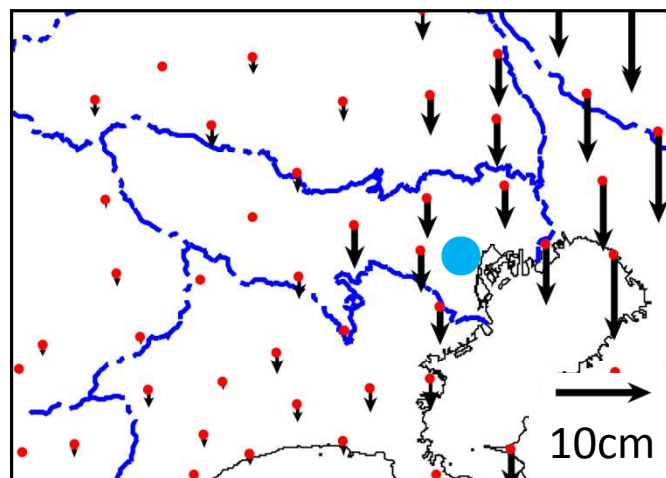
- 一 地点 東京都千代田区永田町一丁目一番二地内水準点標石の水晶板の零分画線の中点
- 二 原点数値 東京湾平均海面上二十四・四一四〇メートル

地震に伴う地殻変動による原点数値の改正

今回の地震に伴い、日本経緯度原点は約20cm東へ移動し、
日本水準原点は約5cm沈降したと推定



地震に伴う地殻変動(水平)



地震に伴う地殻変動(上下)

原点の位置が移動したことにより、原点の地点と、測量法施行令第2条の示す原点数値に乖離が生じた。

測定の正確さを確保するため、原点数値を改正する必要

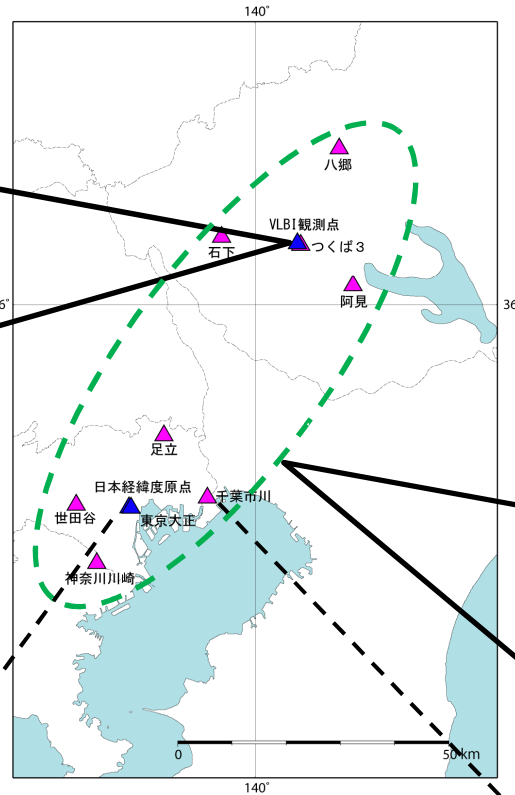
日本経緯度原点の原点数値決定の手順

①国際観測*により、つくばVLBI局の2011年5月24日現在の位置を測定

*この観測は、地理学的経緯度の測定に関する国際的な決定のために行われているものである。



つくば超長基線電波干渉計 (VLBI)



②つくばVLBI局の位置を基準に、日本経緯度原点及び周辺の電子基準点においてを実施。



日本経緯度原点における位置の測定

日本経緯度原点



電子基準点 (GPS連続観測点)



〔 地図上に
▲で示した点 〕

日本水準原点の原点数値決定の手順

<油壺験潮場における観測の現状>

①1894年から常時潮位観測を実施

・海面の長期的な変動傾向は明瞭には見られない

※気象庁「気候変動監視レポート2010」においても同様の結論が得られている。

②日本水準原点と油壺験潮場との間で水準測量を繰り返し実施している

・油壺験潮場は約3mm/年の沈降傾向
・地震直前の験潮場固定点の標高:2.4184m

※標高値は2011年1月現在

③2002年に局舎屋上にGPS観測点を設置し、連続観測を開始

・油壺験潮場では、東北地方太平洋沖地震による有意な上下変動は認められず



以上から、原点数値の測定は以下の方針により行う

①平均海面には変動がないものとみなす。

②油壺験潮場の地震直前の標高値を元に、水準測量により日本水準原点の原点数値を求める。

③②の精度検証のため、別の水準路線による検測も実施。



原点数値測定結果:

$$2.4184 + 21.9714 = 24.3898 \doteq \underline{24.3900 (m)}$$

(油壺標高)

(水準測量結果)

(端数処理)

新しい原点数値について

(1) 日本経緯度原点の原点数値の改正(施行令第2条第1項関係)



[1]経度

旧「東経139度44分28秒8759」

新「東経139度44分28秒8869」(+0.011秒)

[2]緯度

北緯35度39分29秒1572(変更なし)

ほぼ東に約27cm移動

(2) 日本水準原点の原点数値の改正(第2条第2項関係)



旧「東京湾平均海面上24.4140メートル」

新「東京湾平均海面上24.3900メートル」(-0.024メートル)

約2.4cm沈降

平成23年10月18日閣議決定
平成23年10月21日公布・施行

地震に伴って原点数値を修正するのは1923年の関東大震災以来。

電子基準点成果改定の流れ

電子基準点364点の成果公表停止
(3/14)

地震に伴う変動の小さい北海道及び
西日本地域においては、従来の
「測地成果2000」を利用



東日本地域においては、最新のVLBI
及びGPS観測に基づいて成果計算



計算の結果、成果公表停止地域の
境界付近で精度が十分確保できない
ことが判明



成果改定を行う地域に富山県、石川
県、福井県、岐阜県を含め、電子基
準点の改定成果を計算



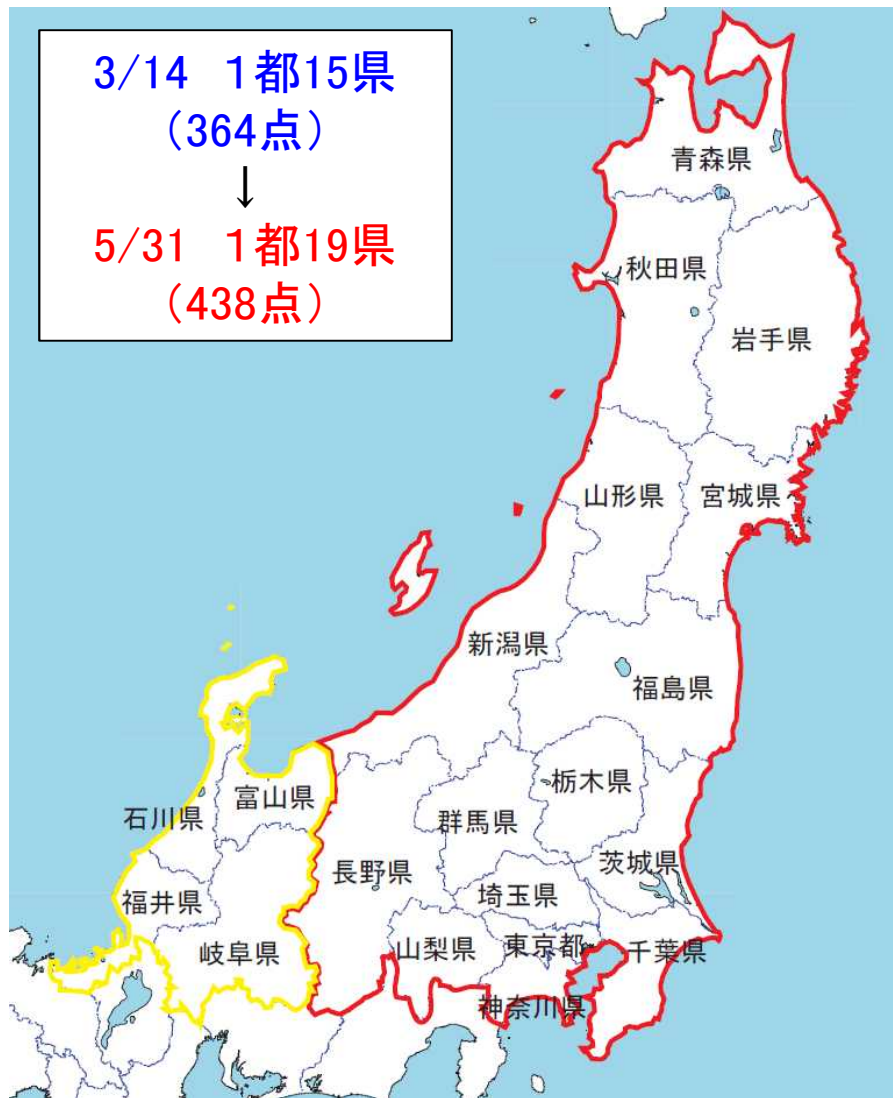
新しい測量成果を公表(5/31)



新旧成果の差

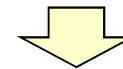
新しい測量成果→「測地成果2011」(元期2011年5月24日)

電子基準点改定成果の公表(5/31)



電子基準点成果公表地域及び点数

- ・「小高」を除く電子基準点438点
 - ・成果算出地域: 3/14停止地域 + 富山・石川・福井・岐阜
- ※4県の三角点は同日成果停止



被災地等での電子基準点を
利用した公共測量等が可能に

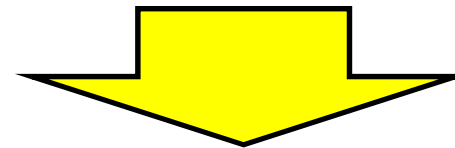
三角点測量成果のパラメータ改算



東北地方太平洋沖地震に伴い
1都19県の三角点
測量成果が公表停止

➤ 成果公表停止地域の
三角点の総数は約44,000点

➤ すべての三角点で観測を
実施することは不可能

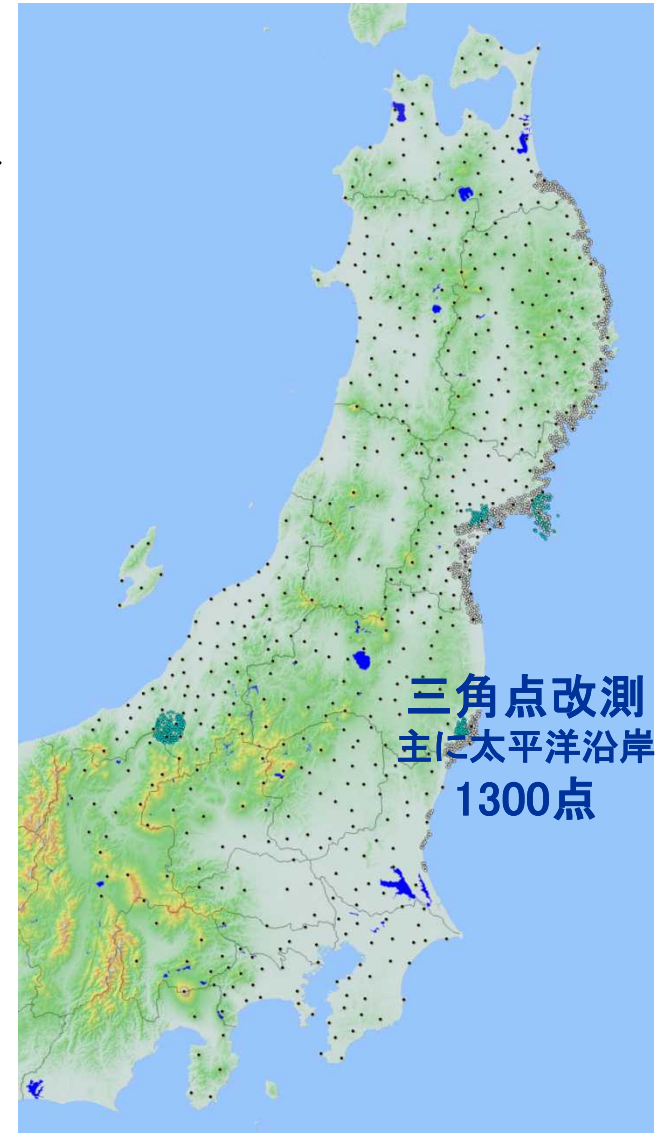


一部の三角点で現地測量。
補正パラメータ改算による
成果改定を実施

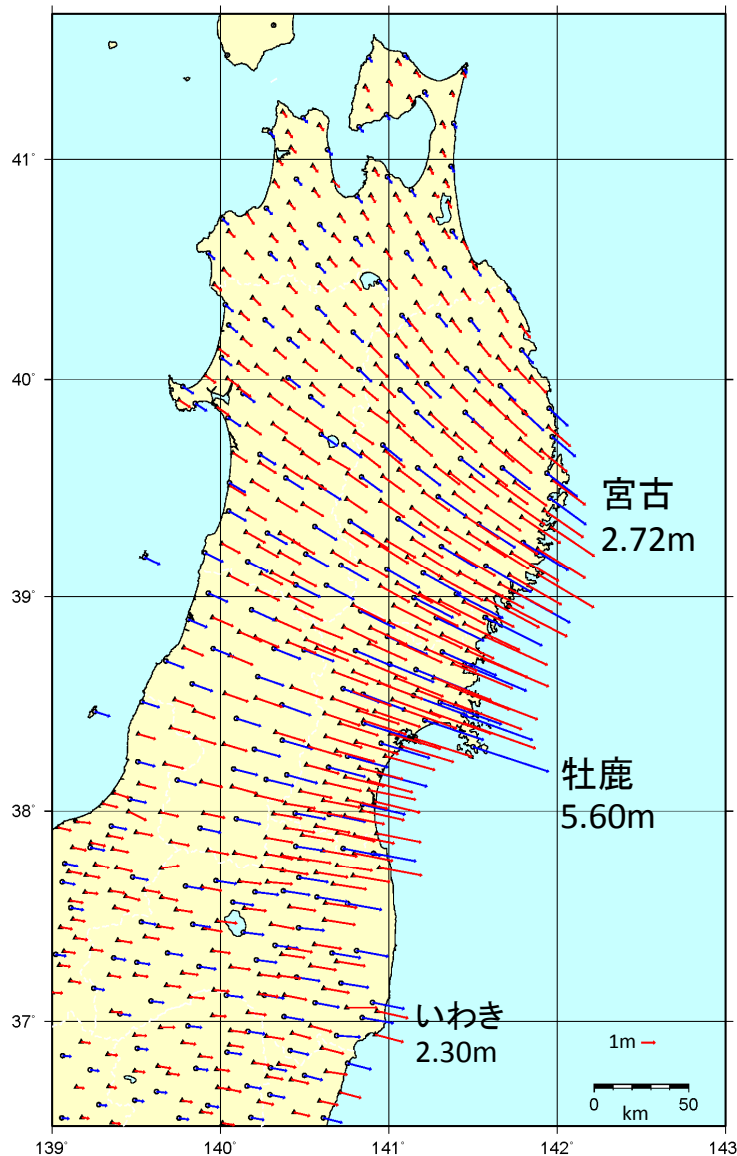
パラメータ改算の流れ

- 5月31日に改定された電子基準点を基準に高度地域基準点測量を実施し、約600点の改定成果を求める。
- 電子基準点と高度地域基準点における変動から、周辺の三角点における変動量を補間計算。未改測三角点の成果にその変動量を補正し、地震後の測量成果を算出。
- 補正パラメータで求めた三角点の一部については、別途GNSS観測作業を行い、改定成果の精度を検証する。

高度地域基準点
東北～関東・甲信越地方
600点



電子基準点及び三角点で検出した地殻変動



→ 電子基準点
→ 三角点

電子基準点



三角点 (高度地域基準点測量)



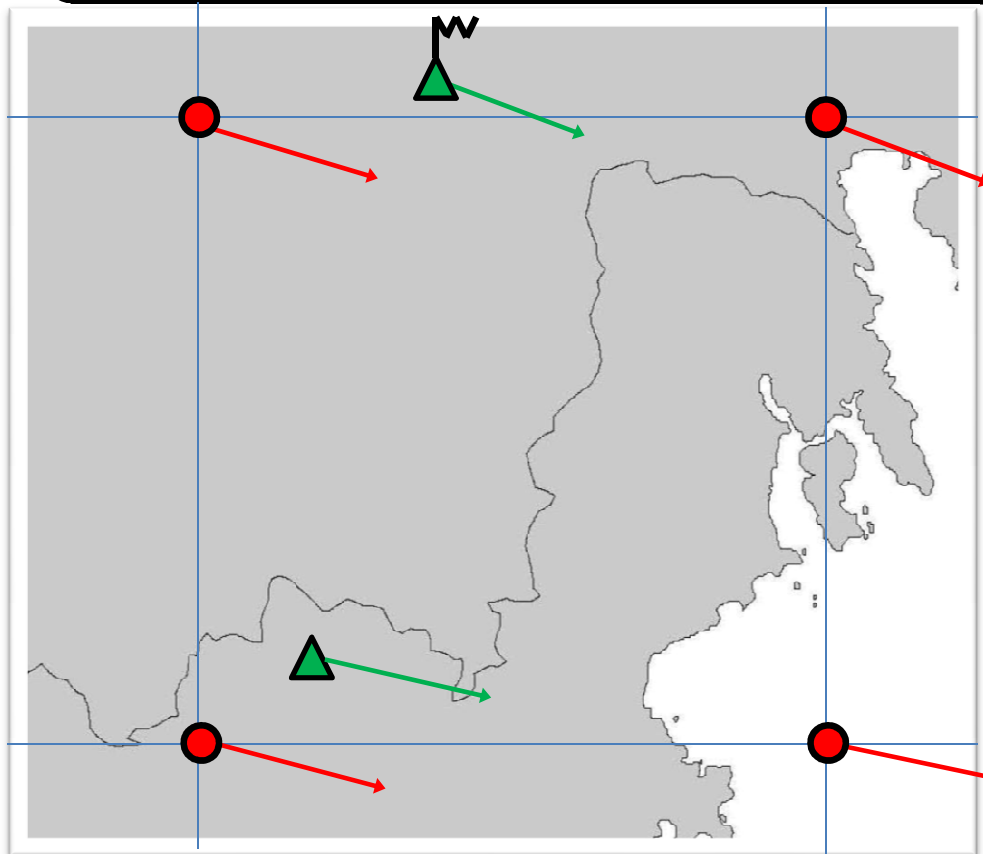
高度地域基準点とは？

- ・全国から選定した骨格的な三角点2400点
- ・電子基準点を与点とした6時間以上のGPS観測を行う

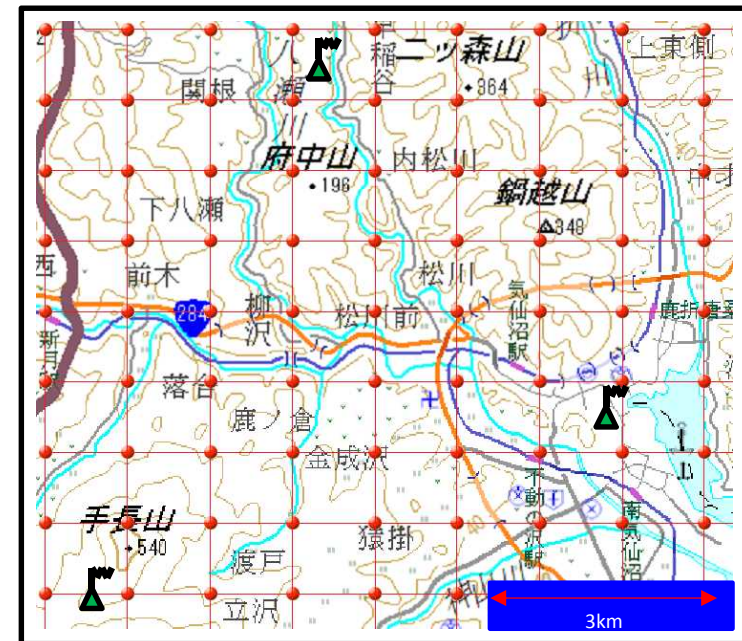
- ・高精度な位置基準の提供
- ・地殻変動の監視
- ・セミ・ダイナミック補正に用いる地殻変動モデルの作成

補正パラメータの作成

補正パラメータとは、地殻変動によって生じた公共測量成果等のずれを補正するためのもので、電子基準点や三角点で検出した地殻変動データをもとに作成した、約1kmメッシュの格子点データです。



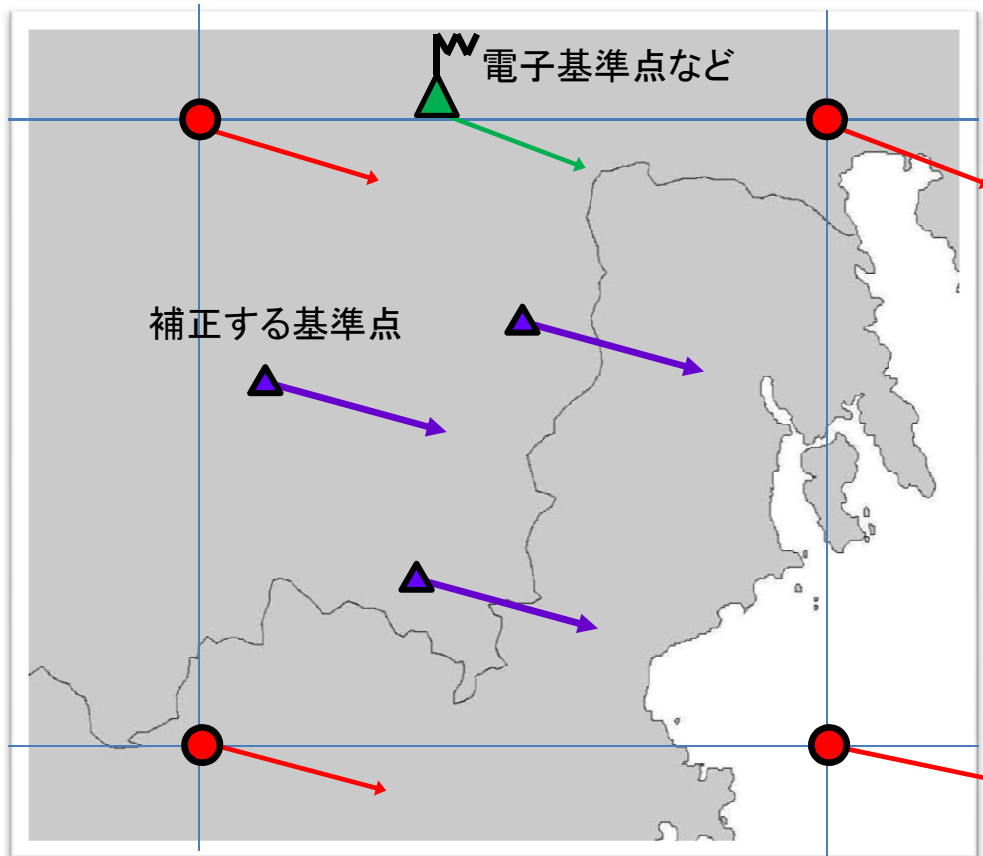
グリッドの例



- : パラメータのあるグリッド
- : グリッド上の補正量
- : 電子基準点などの地殻変動量

基準点成果の座標補正・標高補正

当該基準点が属するメッシュの四隅の補正量から、補間により基準点の座標値の補正量を求め、旧座標値に加算し、新しい座標値を求めます。



- : パラメータのあるグリッド
- : グリッド上の補正量
- : 電子基準点などの地殻変動量
- : 補間による補正量

三角点



公共基準点



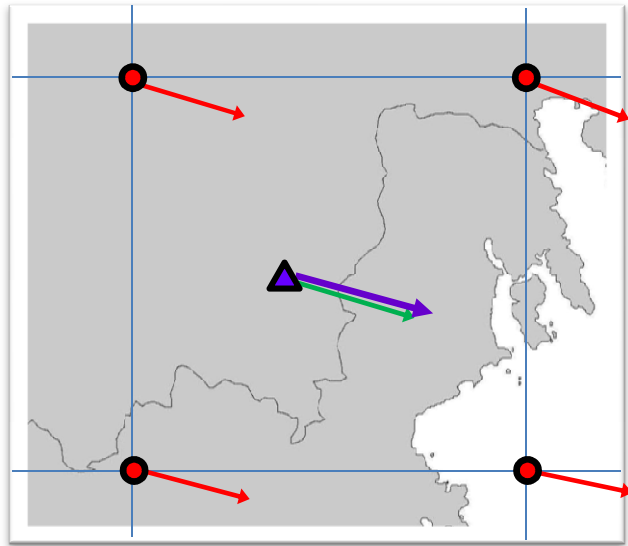
三角点、公共基準点は、経度・緯度及び高さの基準になります。

補正の例

X座標・Y座標の場合 (X系)

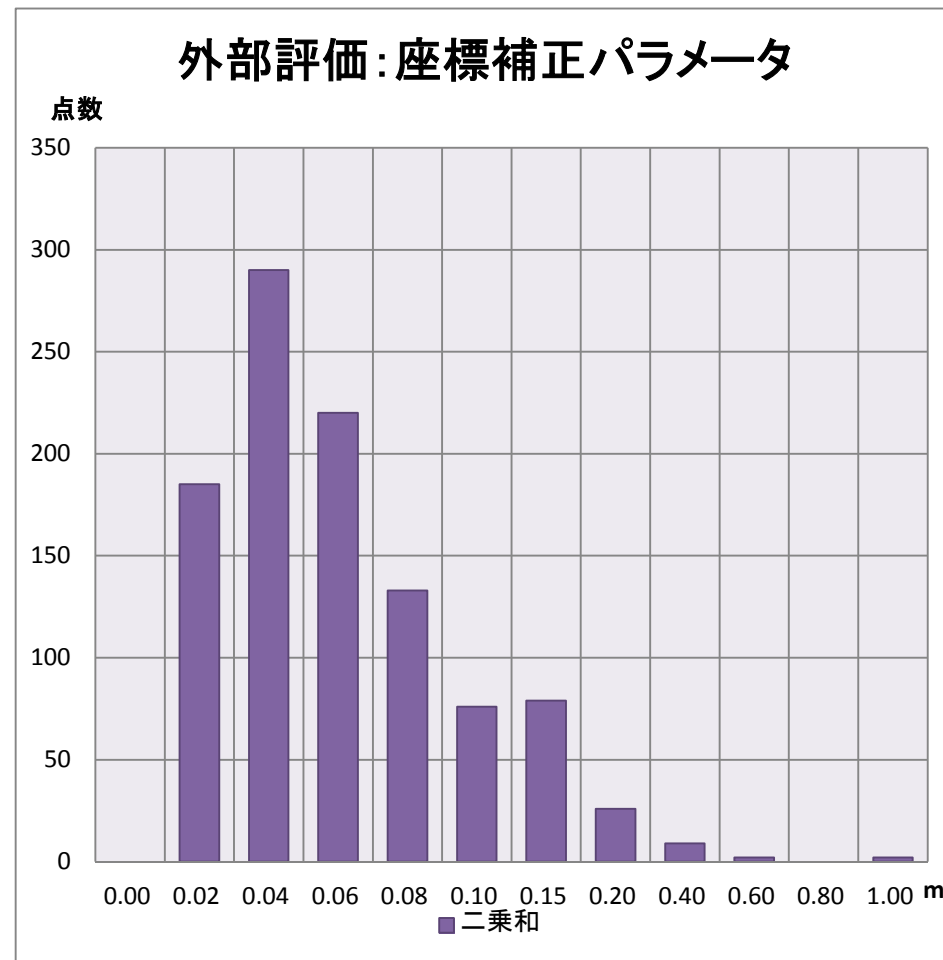
地震前の座標	補正量	補正後の座標
X=1234. 00m	X=-0. 10m	X=1233. 90m
Y=7890. 00m	Y=+0. 50m	Y=7890. 50m

座標補正パラメータの外部評価



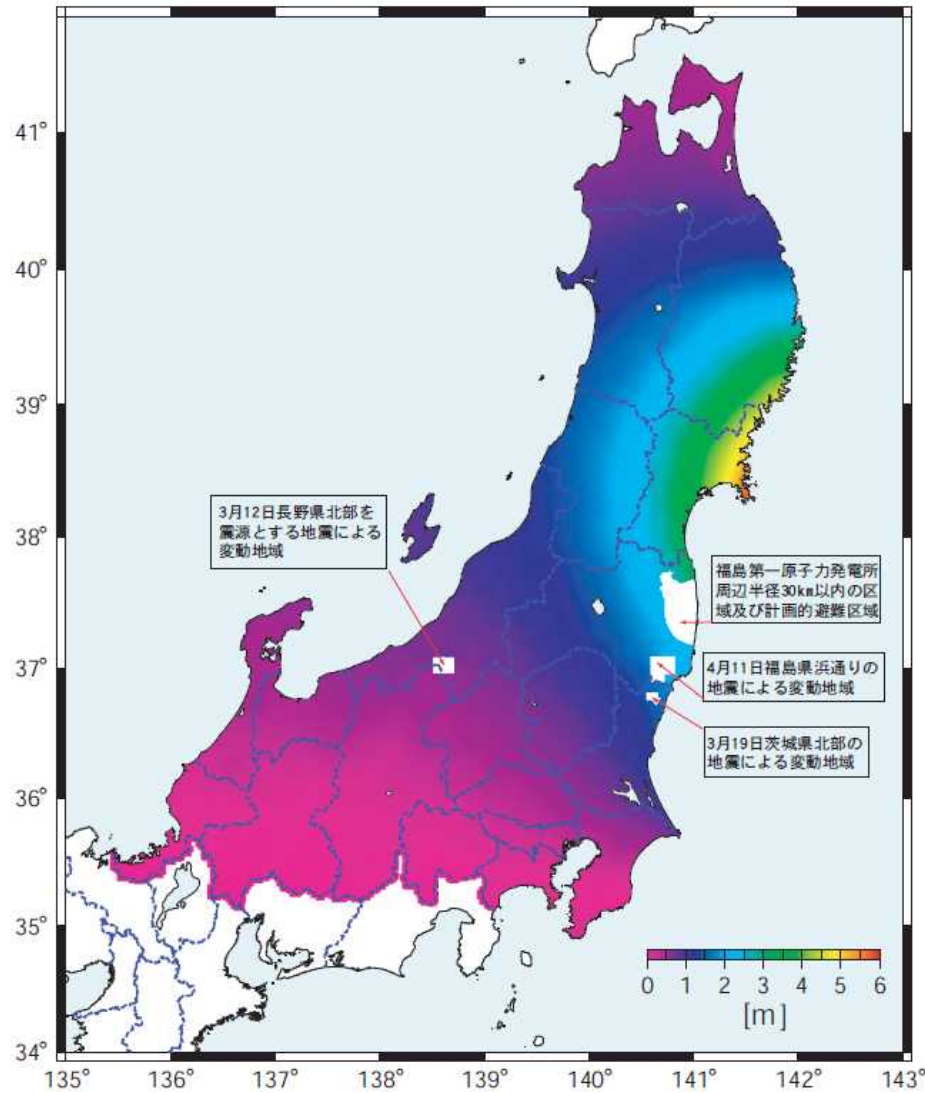
- : 三角点における実際の観測による地殻変動量
- : 補正パラメータによる補正量

パラメータ構築に使用したものとは別に実施した1300点の三角点における実際の変動量と補正パラメータを使用して求めた変動量との比較を行う。

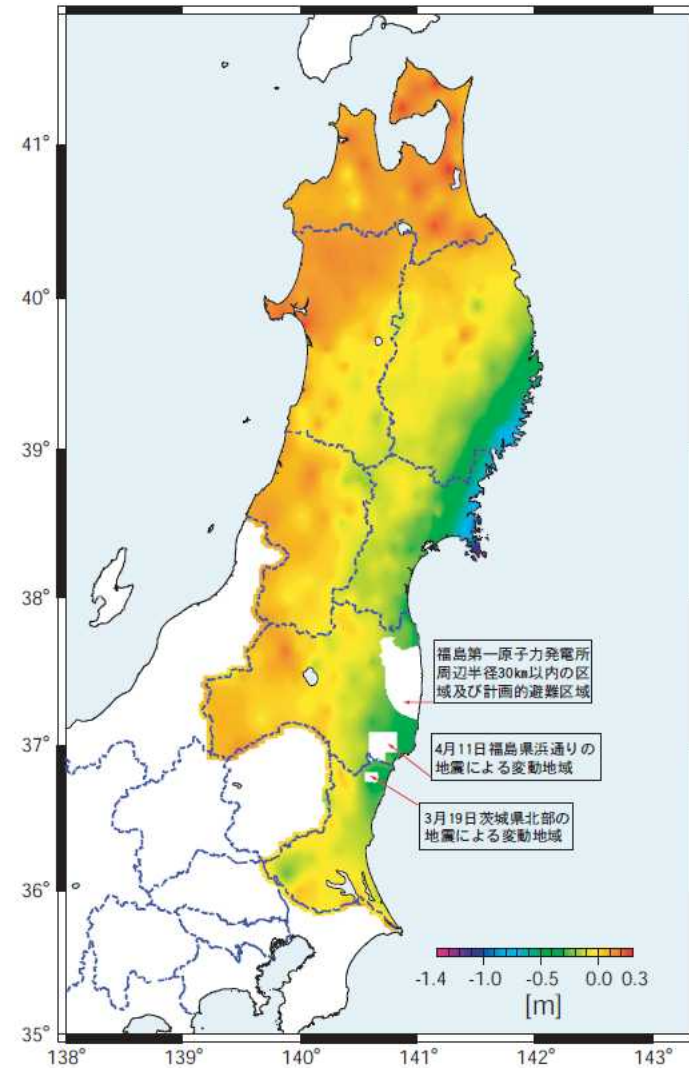


補正パラメータ

座標補正パラメータの大きさ



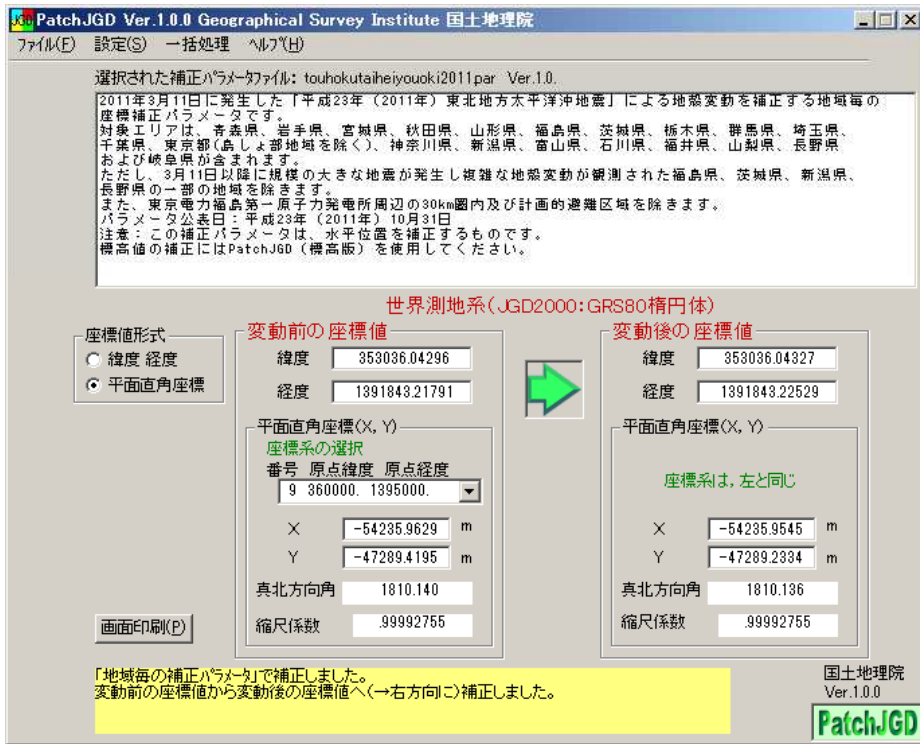
標高補正パラメータの大きさ



この補正パラメータを用いて、約4万点の三角点の成果改定を実施

座標補正パラメータによる成果補正

- 地殻変動を補正するためのソフトウェア(PatchJGD)
- 補正パラメータ



ソフトウェア (PatchJGD) のメイン画面

座標補正ソフトウェア“PatchJGD for Windows”のダウンロード

— 地震などに伴う地殻変動による位置の変化を補正するためのソフトウェア —

PatchJGDは、地震などに伴う地殻変動による位置の変化を補正するソフトウェアです。変動前の座標値を近似的に変動後の座標値に補正します。どちらの座標値も、世界測地系「日本測地系2000(=ITRF94系)・GRS80楕円体」に準拠していることが前提です。

このページでダウンロードするファイルはすべて自己解凍ファイルです。ダウンロードした後、ダブルクリックして解凍して下さい。

最終更新日:2010年06月21日

(1)プログラム (約3MB) Ver.1.0.0

[PatchJGD100.EXE](#)

※解凍すると、“setupeve”他、インストールに必要なファイルが作成されます。
※このファイルには、座標補正パラメータファイルは含まれません。

[インストール方法とパソコン環境\(説明\)](#)

[PatchJGDプログラムのヘルプをみる\(プログラムに内蔵されているヘルプファイルと同じものです\)](#)

(2)座標補正パラメータ・ファイル

ダウンロード	容量	解凍後のファイル名	ヘッダー情報	範囲
tokachi2003.EXE	224KB	tokachi2003.par	Ver.1.0.0	
fukuoka2005.EXE	35KB	fukuoka2005.par	Ver.1.0.0	

国土地理院ウェブページからダウンロードして、公共基準点の成果改定に利用可能

座標補正パラメータによる公共点の成果改算も公共測量です

水準点の網平均計算

精密測地網高精度三次元測量

(水準測量)の実施

- ・一等水準点: 約1900点
- ・一等水準路線: 約3600km

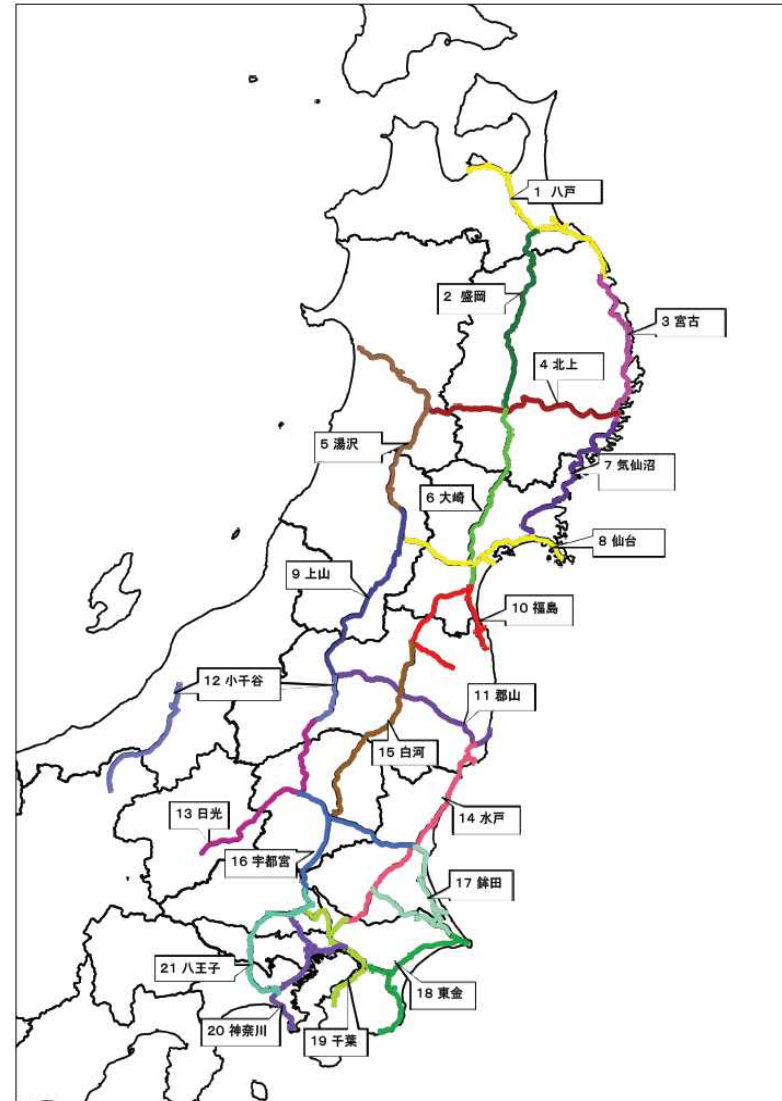


- ・新しい水準原点の原点数値
- ・多点固定による網平均計算

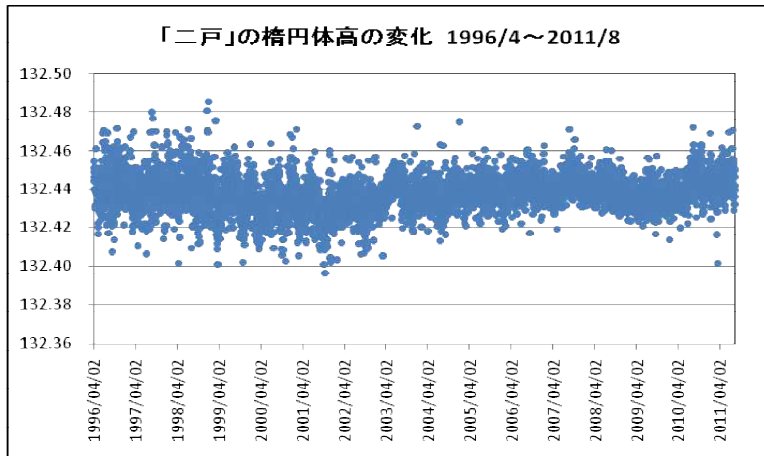
▶ 成果改定しない水準路線と接続する必要があるため



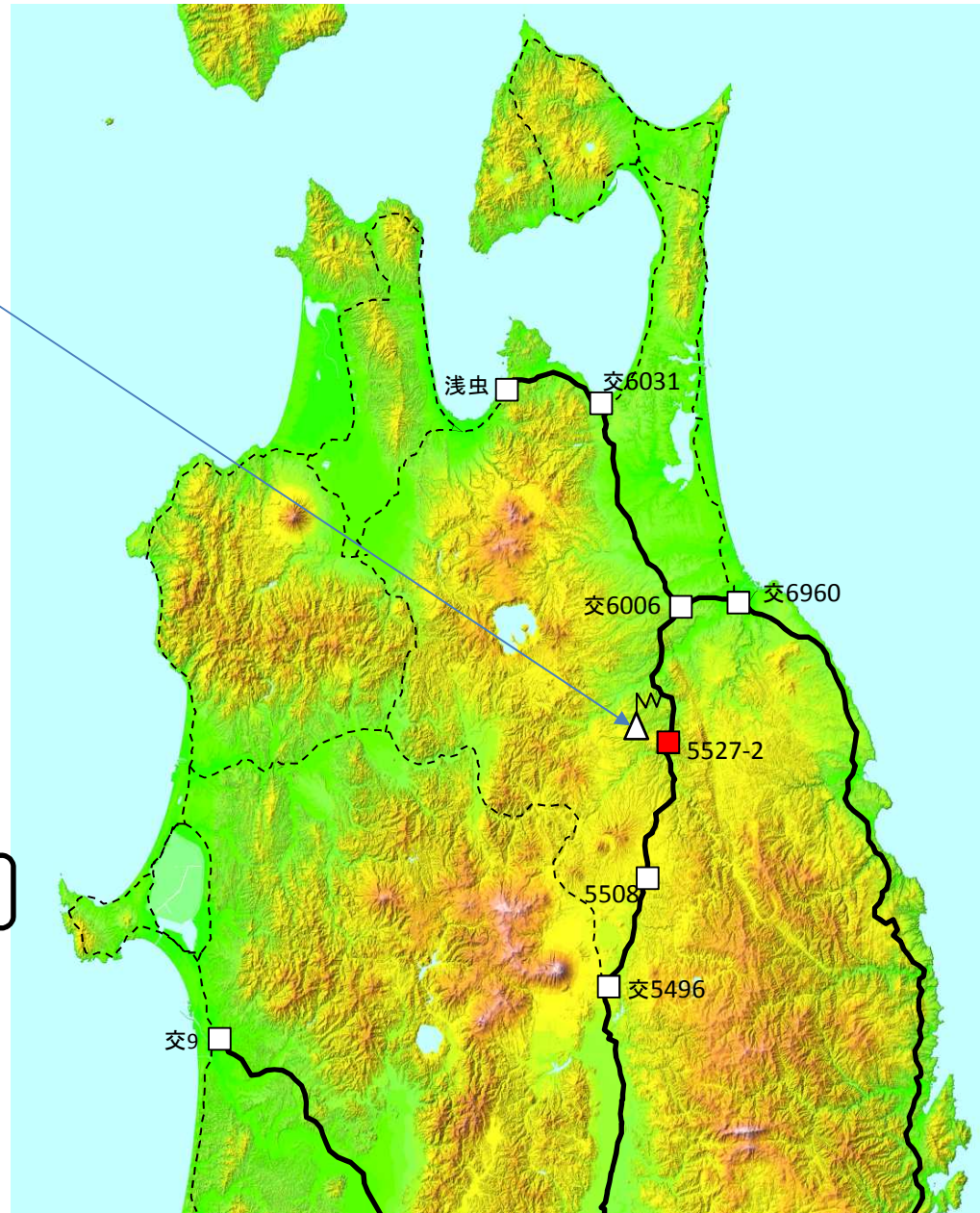
成果改定
(10月31日公表)



電子基準点「二戸」の楕円体高の変化



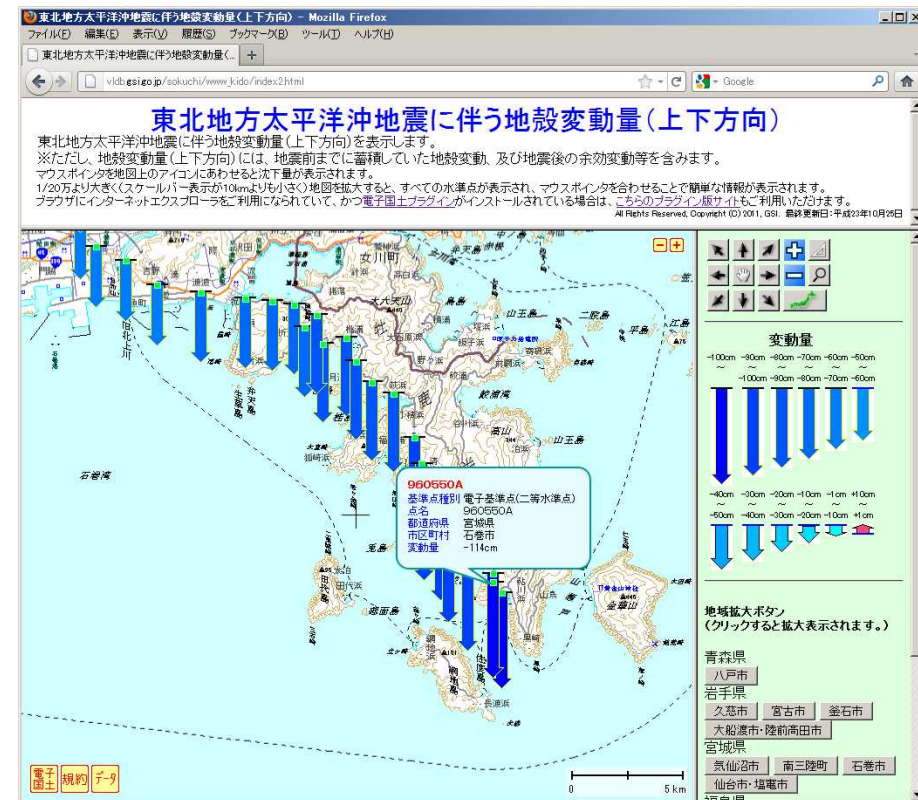
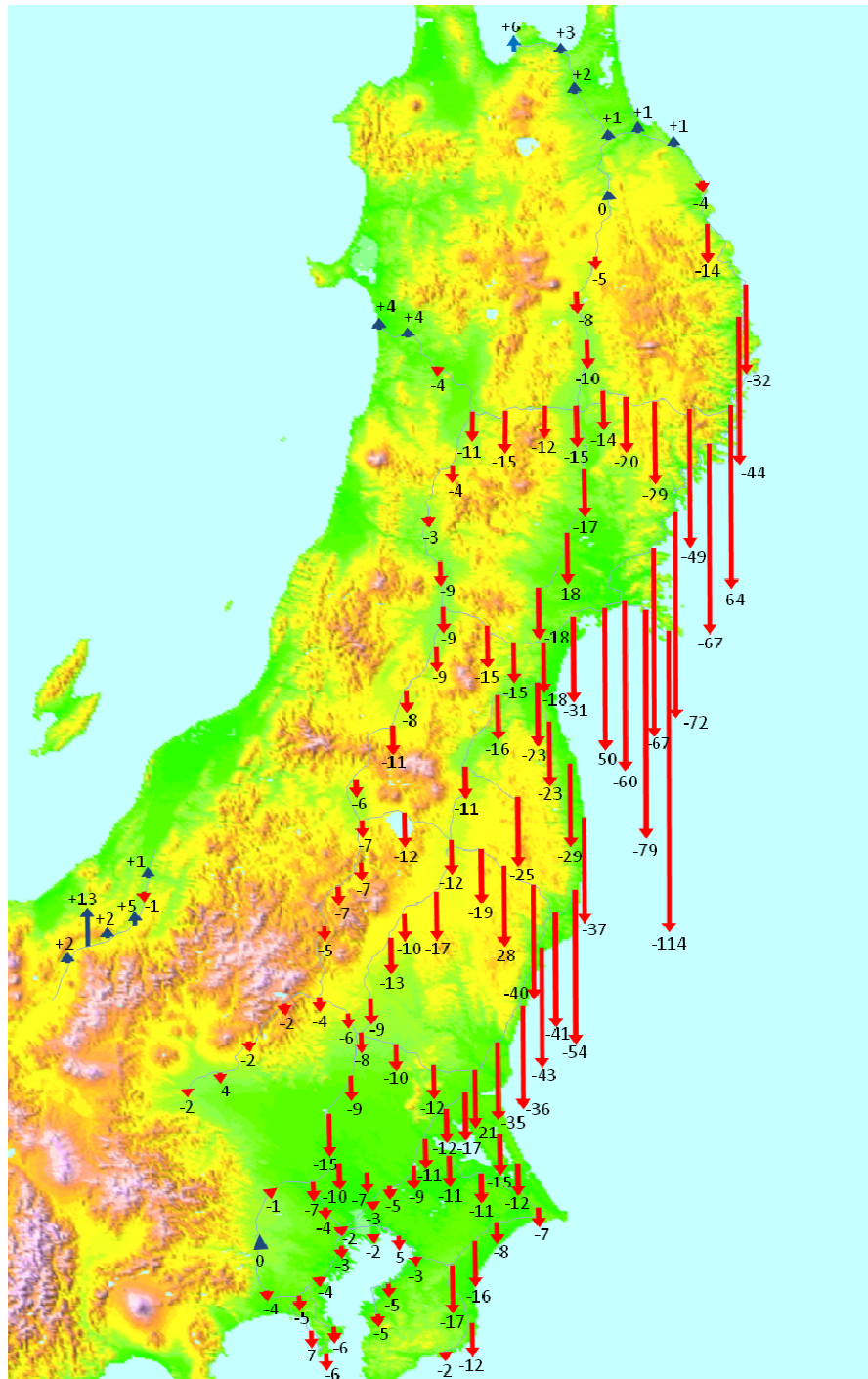
1996/5/1 ~ 2011/7/1の楕円体高
変化 ほぼ0cmと見なせる



水準点の標高変動量

東北地方太平洋沖地震に伴う標高変動量
電子国土サイト

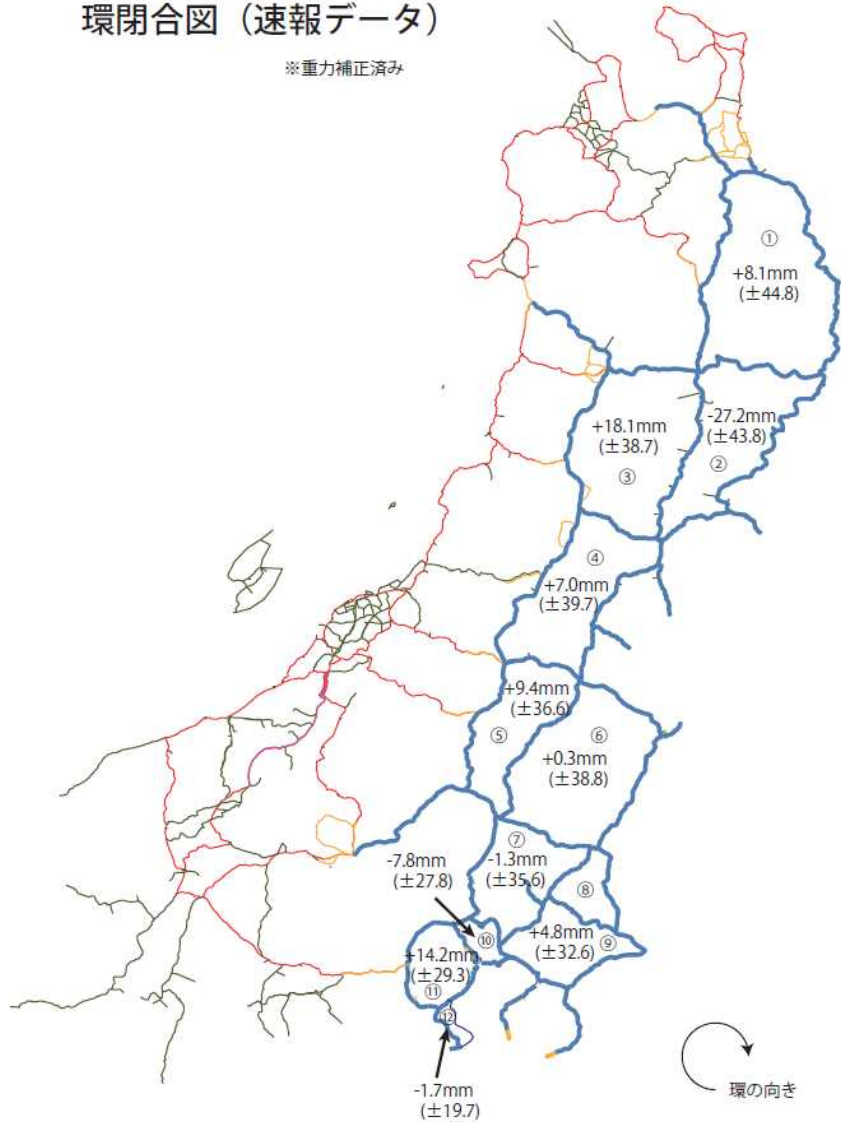
http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/www_kido/index2.html



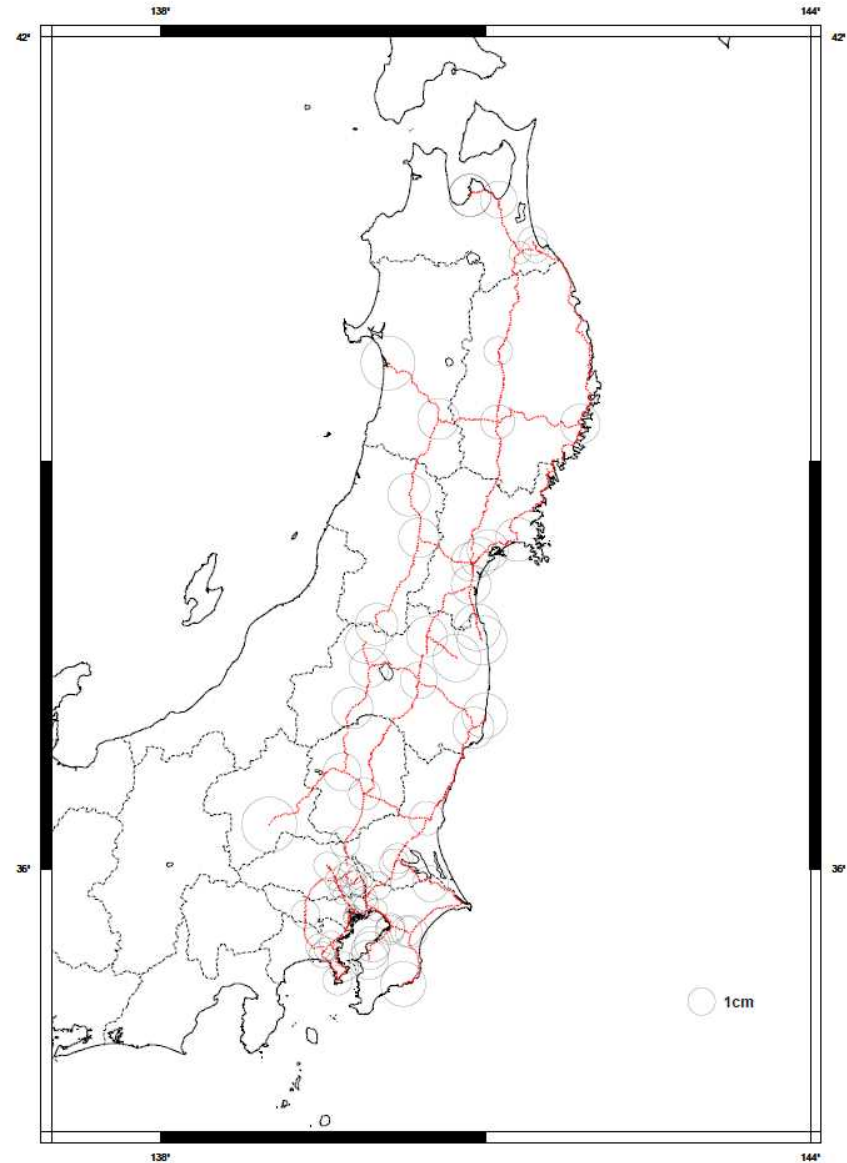
水準測量結果の評価

環閉合図 (速報データ)

※重力補正済み



水準点(交点)の標準偏差



セミ・ダイナミック補正のパラメータ(地震後)

1. 新しい測量成果の元期

地域	元期
北海道及び 西日本(右図で色を付けて いない地域)	1997年1月1日 (従前どおり)
右図の赤色及び黄色を付 けた地域	2011年5月24日

2. セミ・ダイナミック補正のパラメータ



定義:

今期(電子基準点のF3解)と
元期(測量成果)の差

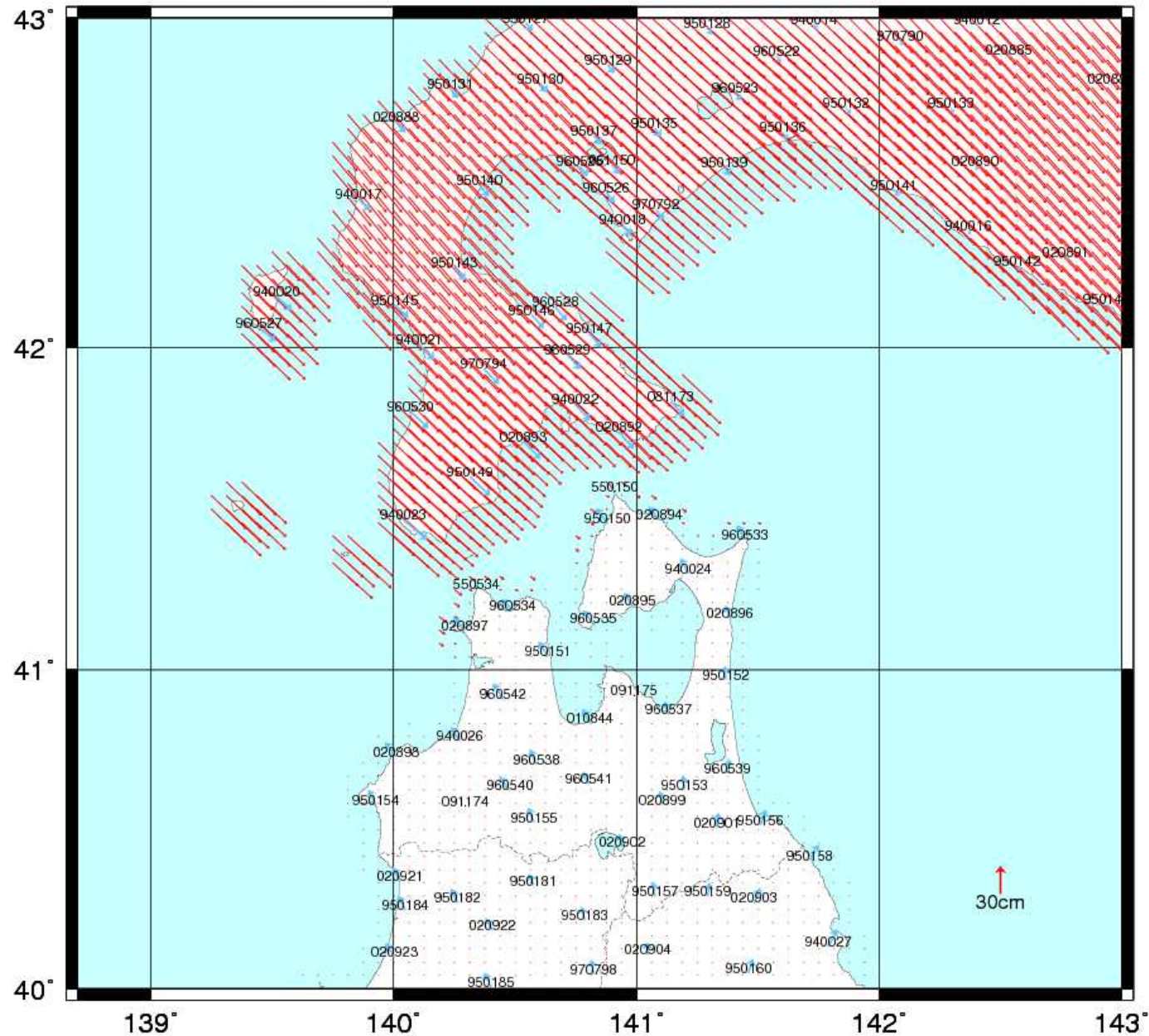
- 赤色の地域(緑色の地域を除く)では、元期の変更に伴い2011年度版パラメータは理論上0*。
- 緑色の地域では、東に行くほど2011年度版パラメータは0に近づく。
- それ以外の地域のパラメータは従来どおり構築(基準日は2011年5月24日)。

三角点測量成果の改定地域



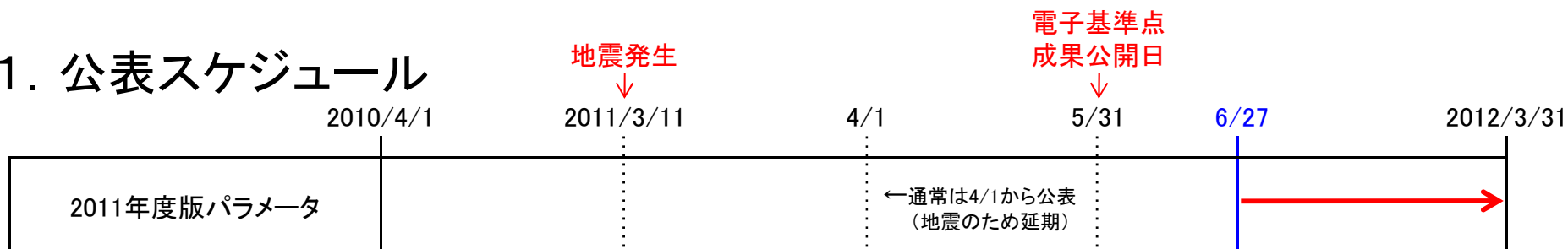
-  : 3月14日に成果を停止した地域
-  : 5月31日に成果を停止した地域

2011年度版補正パラメータ(震災後)について

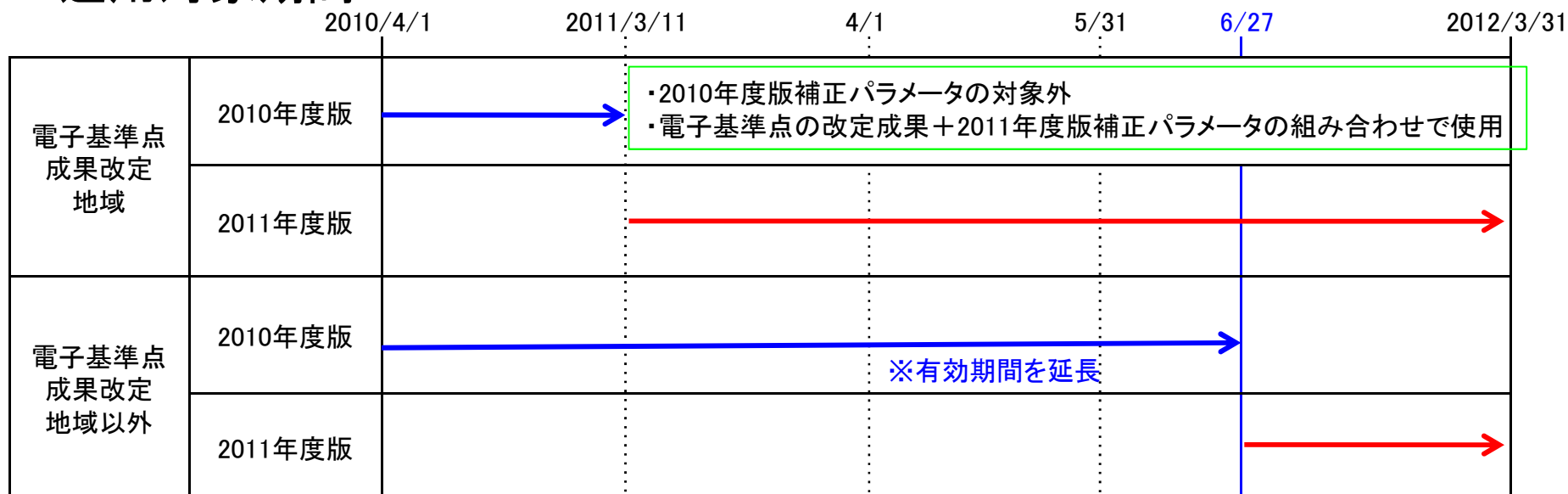


震災後のセミ・ダイナミック補正のパラメータの取り扱い

1. 公表スケジュール



2. 適用対象期間



※補正パラメータは、電子基準点成果改定地域以外では、2010年度版を延長して利用してきたが、6月27日の公開以降は2011年度版を利用する。

5. まとめ

- ・平成23年東北地方太平洋沖地震(M9.0)に伴い、広範囲で顕著な地殻変動を検出
 - ・最大で水平約5.3m、沈降約1.2m
- ・推定歪みや上下変動を考慮し、3/14に測量成果の公表停止
 - ・電子基準点364点、三角点約4.4万点(1都19県)(5/31に4県追加)
 - ・水準点約1500点
- ・日本経緯度原点・日本水準原点の原点数値の改正
- ・電子基準点の改定成果は5月31日公表
- ・三角点・水準点の改定成果は10月31日公表
 - ・新しい電子基準点、三角点、水準点の測量成果:「測地成果2011」
- ・セミ・ダイナミック補正のパラメータ(2011年度版)の公表
 - ・電子基準点成果公開後、F3解との組み合わせにより構築