

3月8日 定例記者レク配布資料

「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」 発生から 2 年間にわたる地殻変動について

2013年3月8日



国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

問い合わせ先

国土交通省国土地理院

〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番

地理地殻活動研究センター	地殻変動研究室長	畑中 雄樹	029-864-6925
測地観測センター	地殻監視課長	飯塚 豊久	029-864-5971
測地観測センター	地震調査官	宮川 康平	029-864-4825

(個別問い合わせ先)

VLBI、SAR について	測地部宇宙測地課長	田邊 正	029-864-4813
水準測量について	測地部機動観測課長	根本 恵造	029-864-5977
重力について	測地部物理測地課長	海老名 頼利	029-864-4767

目 次

項 目	ページ
地震時の地殻変動（水平）	1
地震時及び地震後の地殻変動（水平）	1
地震時の地殻変動（上下）	2
地震時及び地震後の地殻変動（上下）	2
地震時の地殻変動（上下：コンター図）	3
地震時及び地震後の地殻変動（上下：コンター図）	3
地震後の基線変化（時系列）	4
地震前後の速度変化（時系列）	5
余効変動の対数関数での近似（上下）	6
地震時の太平洋プレート境界面におけるすべり分布	7
地震後の太平洋プレート境界面におけるすべり分布	8
地震時及び地震後のつくば VLBI 観測局の基線変化（時系列）	9
「だいち」が捉えた地震前後の地殻変動	11
水準測量による地震後の地殻変動（上下）	13
地震前後の重力変化	14

本資料

掲載 URL http://mekira.gsi.go.jp/JAPANESE/h23touhoku_2years.html

参考 URL

VLBI <http://www.spacegeodesy.go.jp/vlbi/ja/index.html>

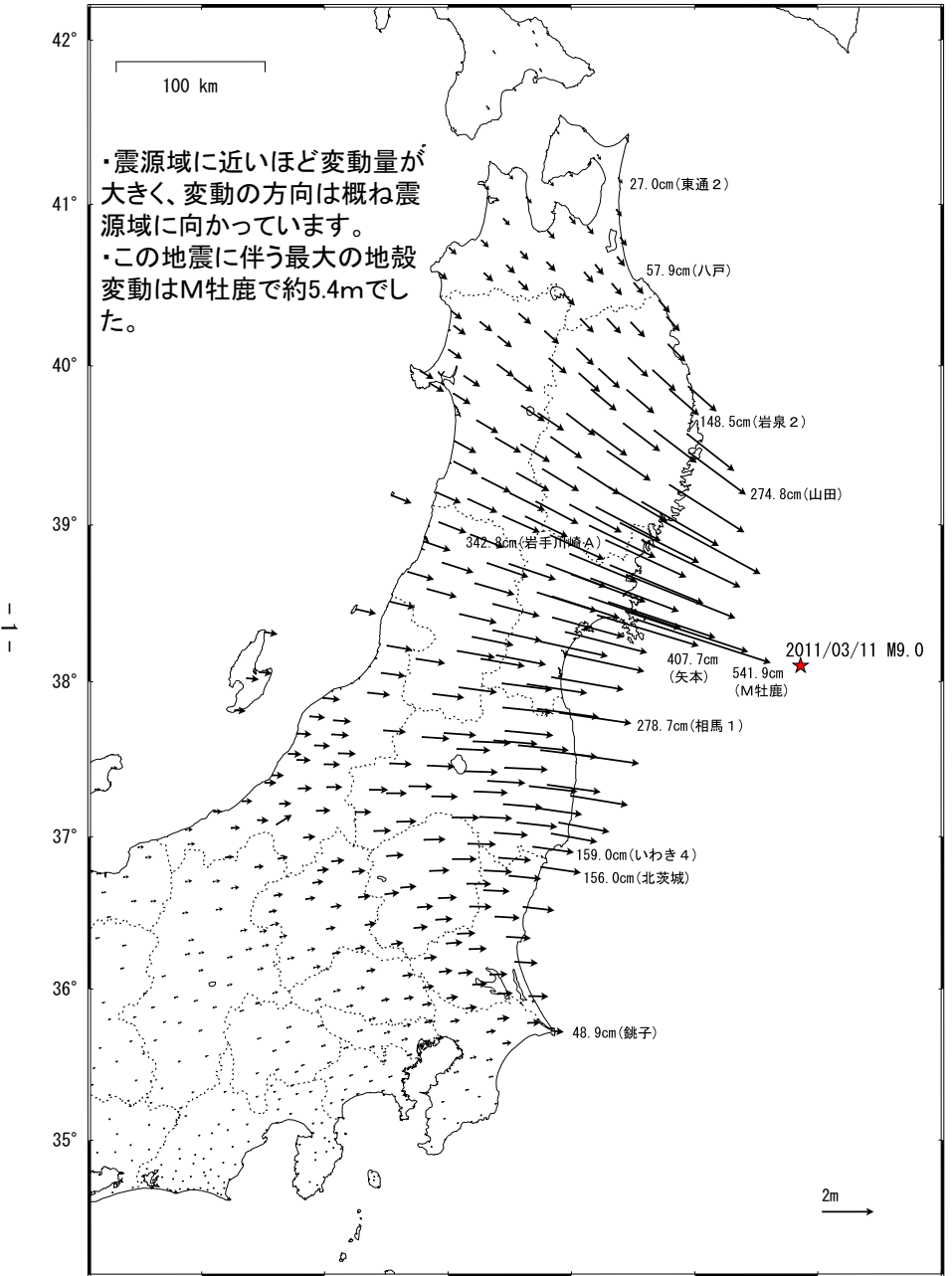
SAR <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/>

水準測量 <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/level/>

重力測量 <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/>

地震時の地殻変動(水平)

基準期間：2011/03/01 -- 2011/03/08 [F 3：最終解]
比較期間：2011/03/12 -- 2011/03/12 [F 3：最終解]



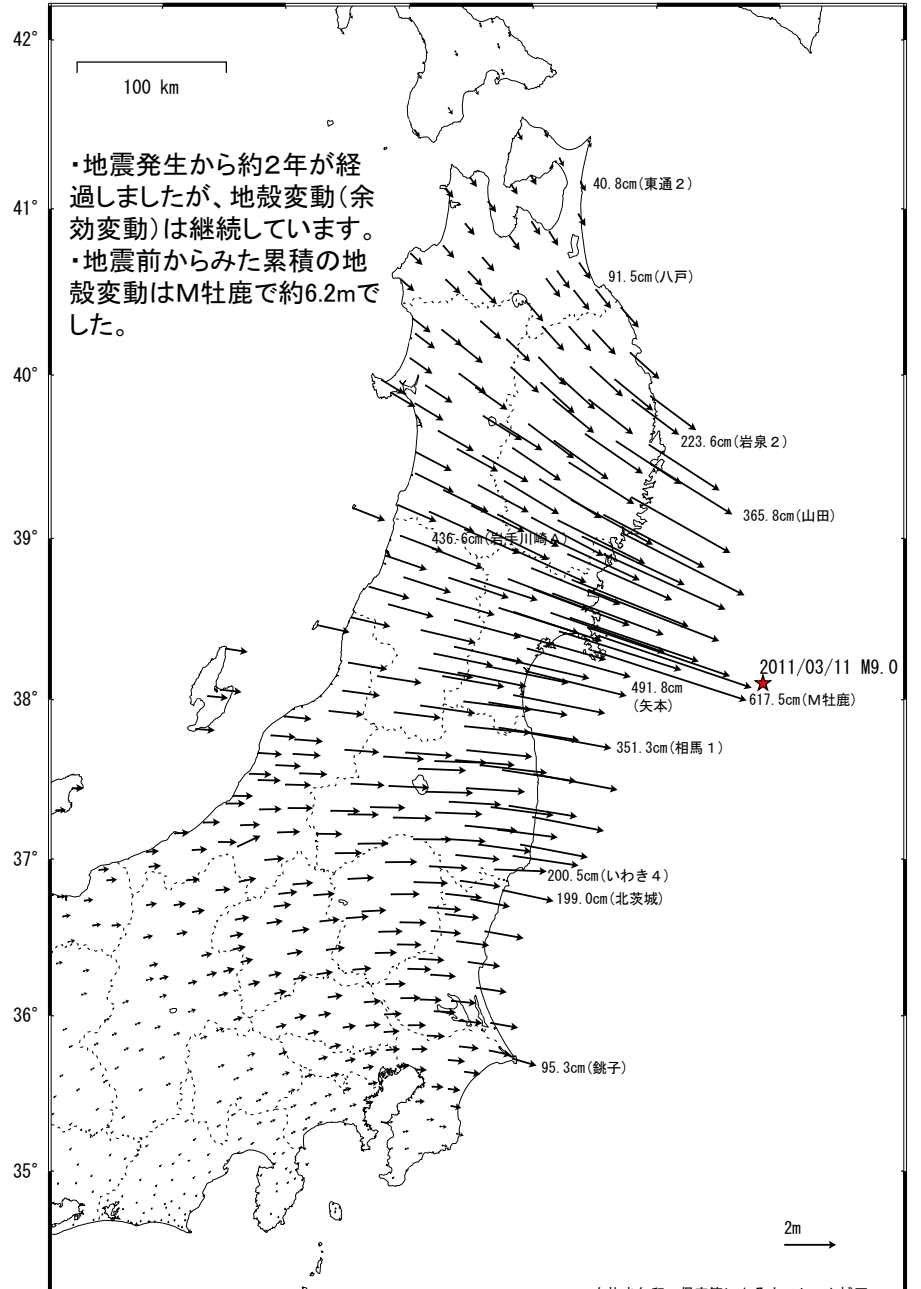
☆ 固定局：福江（長崎県）

注)変動量には、平成23年3月9日三陸沖の地震、平成23年3月12日長野県北部の地震に伴う地殻変動及び余効変動が含まれています。

国土地理院

地震時及び地震後の地殻変動(水平)

基準期間：2011/03/01 -- 2011/03/08 [F 3：最終解]
比較期間：2013/02/17 -- 2013/02/23 [R 3：速報解]



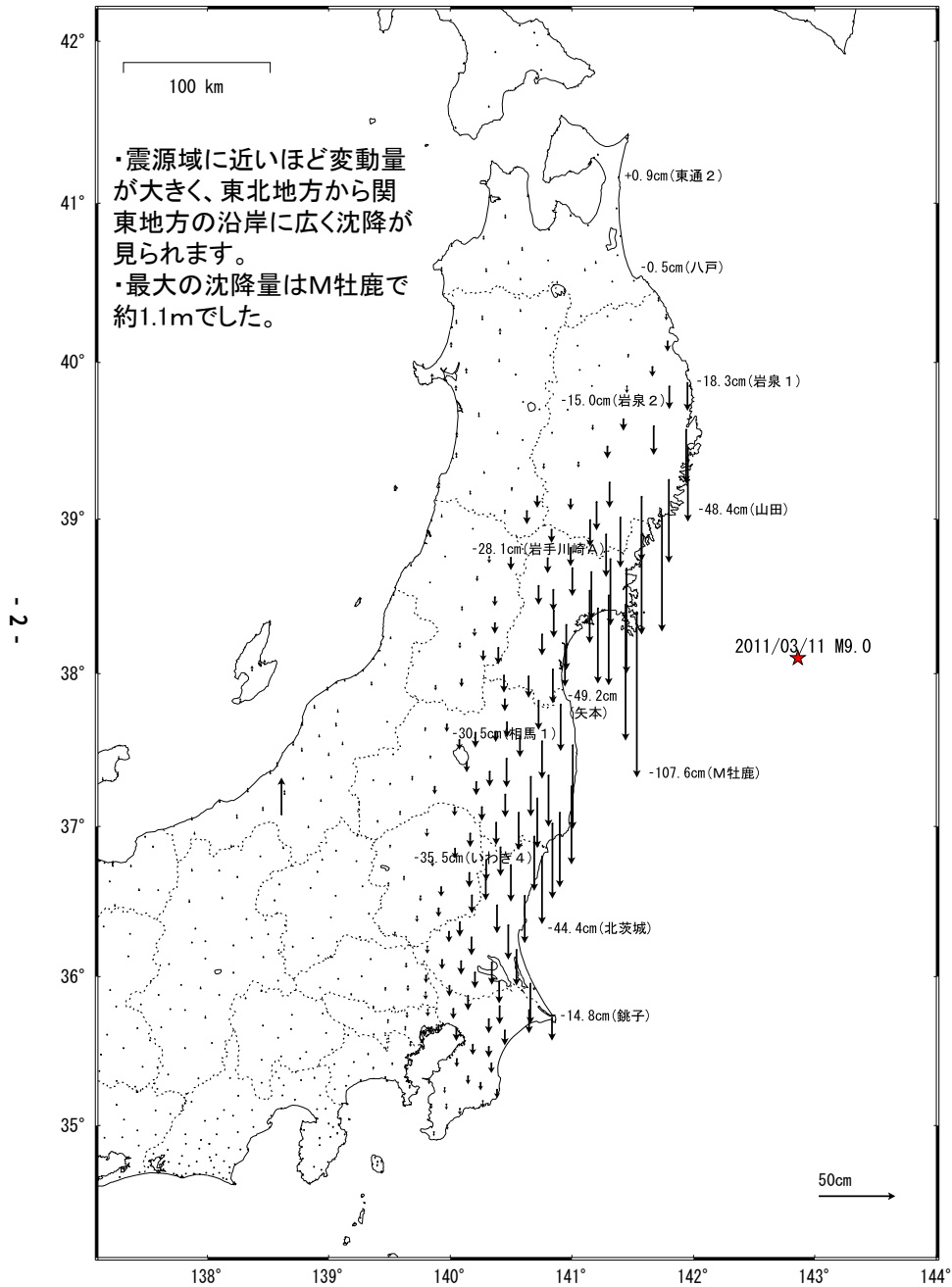
☆ 固定局：福江（長崎県）

注)変動量には、平成23年3月12日長野県北部の地震、平成23年4月11日福島県浜通りの地震に伴う地殻変動及び定常的な地殻変動が含まれています。

国土地理院

地震時の地殻変動（上下）

基準期間：2011/03/01 -- 2011/03/08 [F3：最終解]
比較期間：2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3：最終解]



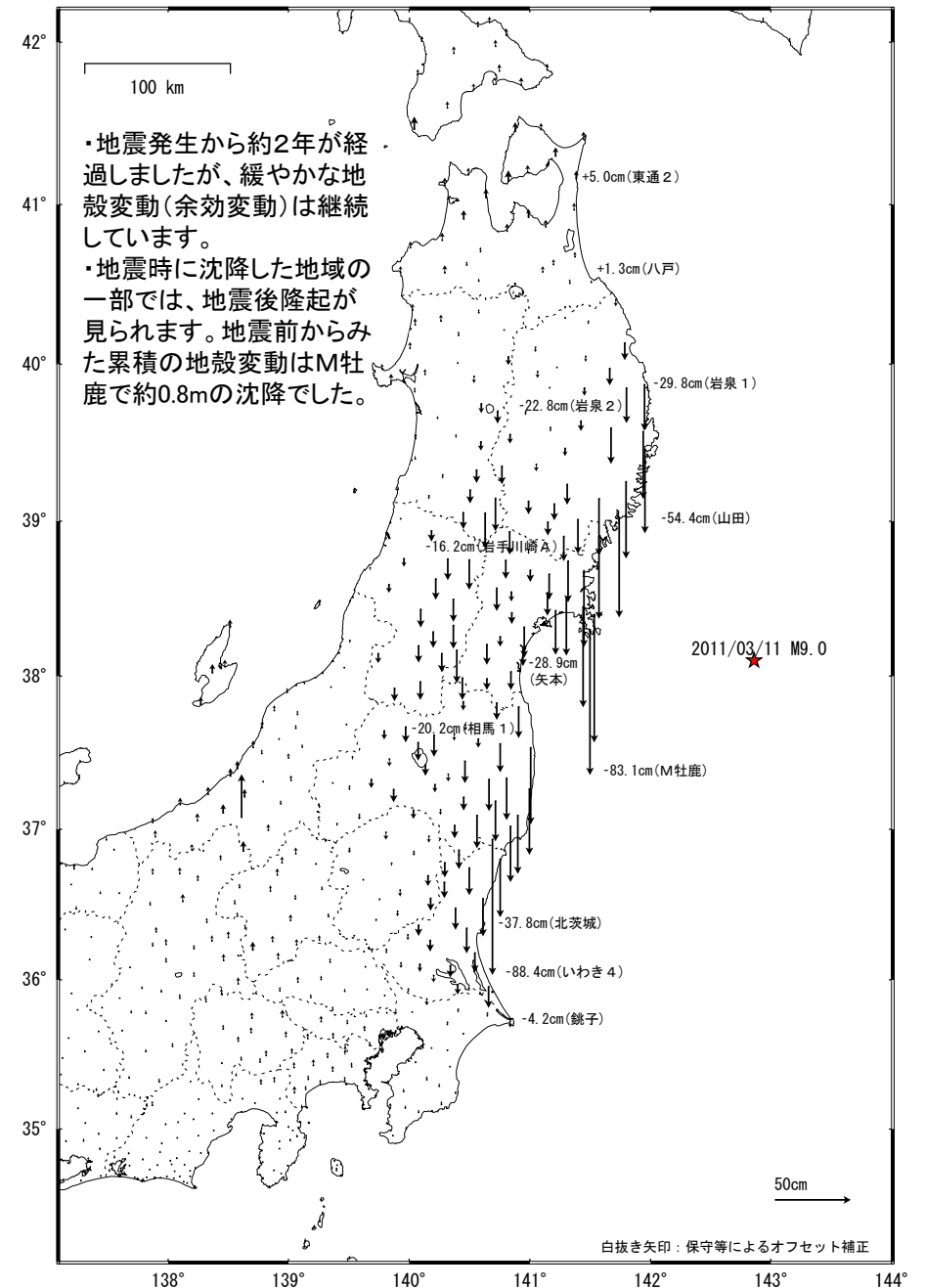
☆ 固定局：福江（長崎県）

注) 変動量には、平成23年3月9日三陸沖の地震、平成23年3月12日長野県北部の地震に伴う地殻変動及び余効変動が含まれています。

国土地理院

地震時及び地震後の地殻変動（上下）

基準期間：2011/03/01 -- 2011/03/08 [F3：最終解]
比較期間：2013/02/17 -- 2013/02/23 [R3：速報解]



☆ 固定局：福江（長崎県）

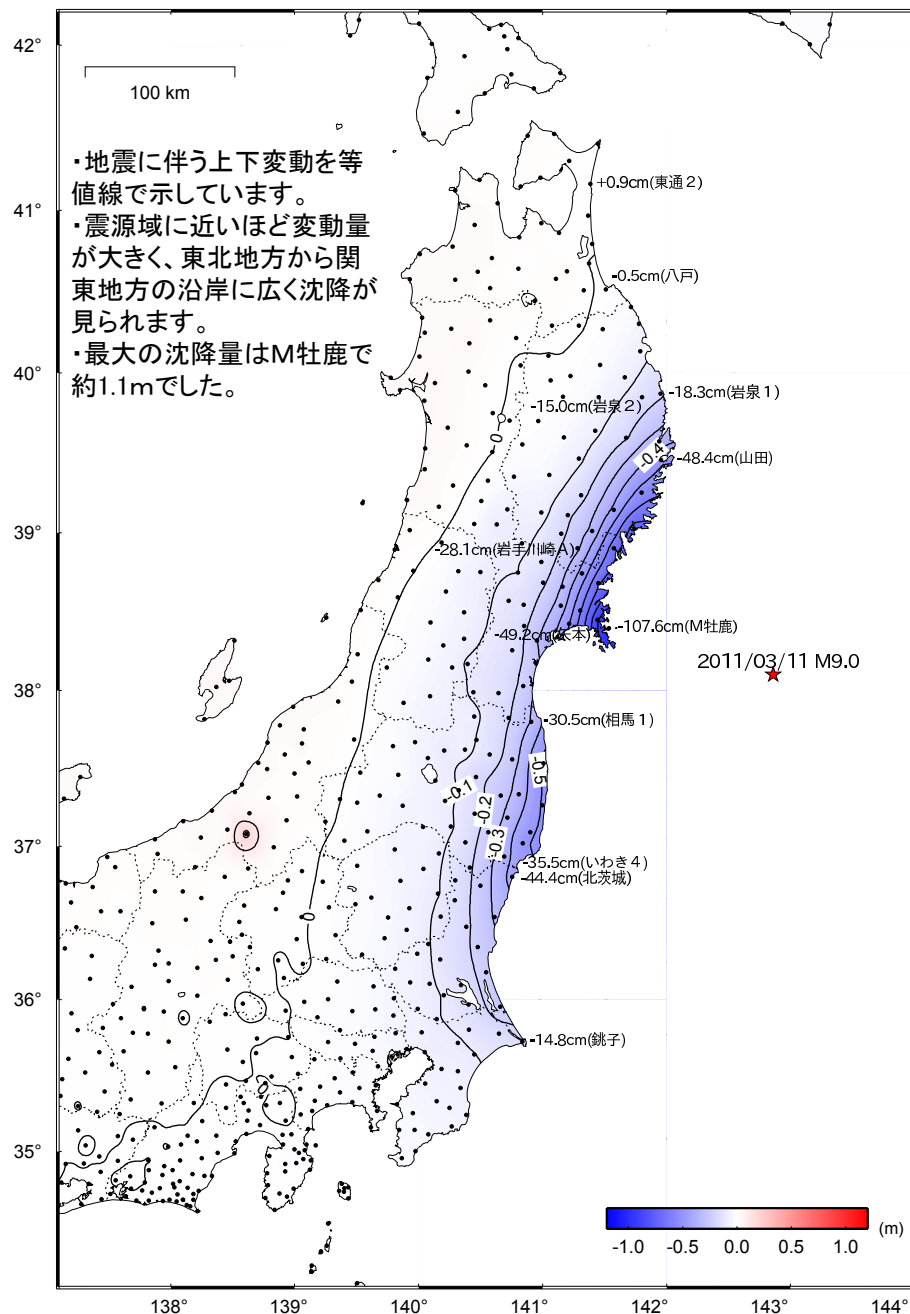
注) 変動量には、平成23年3月12日長野県北部の地震、平成23年4月11日福島県浜通りの地震に伴う地殻変動及び定常的な地殻変動が含まれています。

国土地理院

地震時の地殻変動(上下:コンター図)

基準期間: 2011/03/01 -- 2011/03/08 [F 3: 最終解]

比較期間: 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F 3: 最終解]



☆ 固定局: 福江 (長崎県)

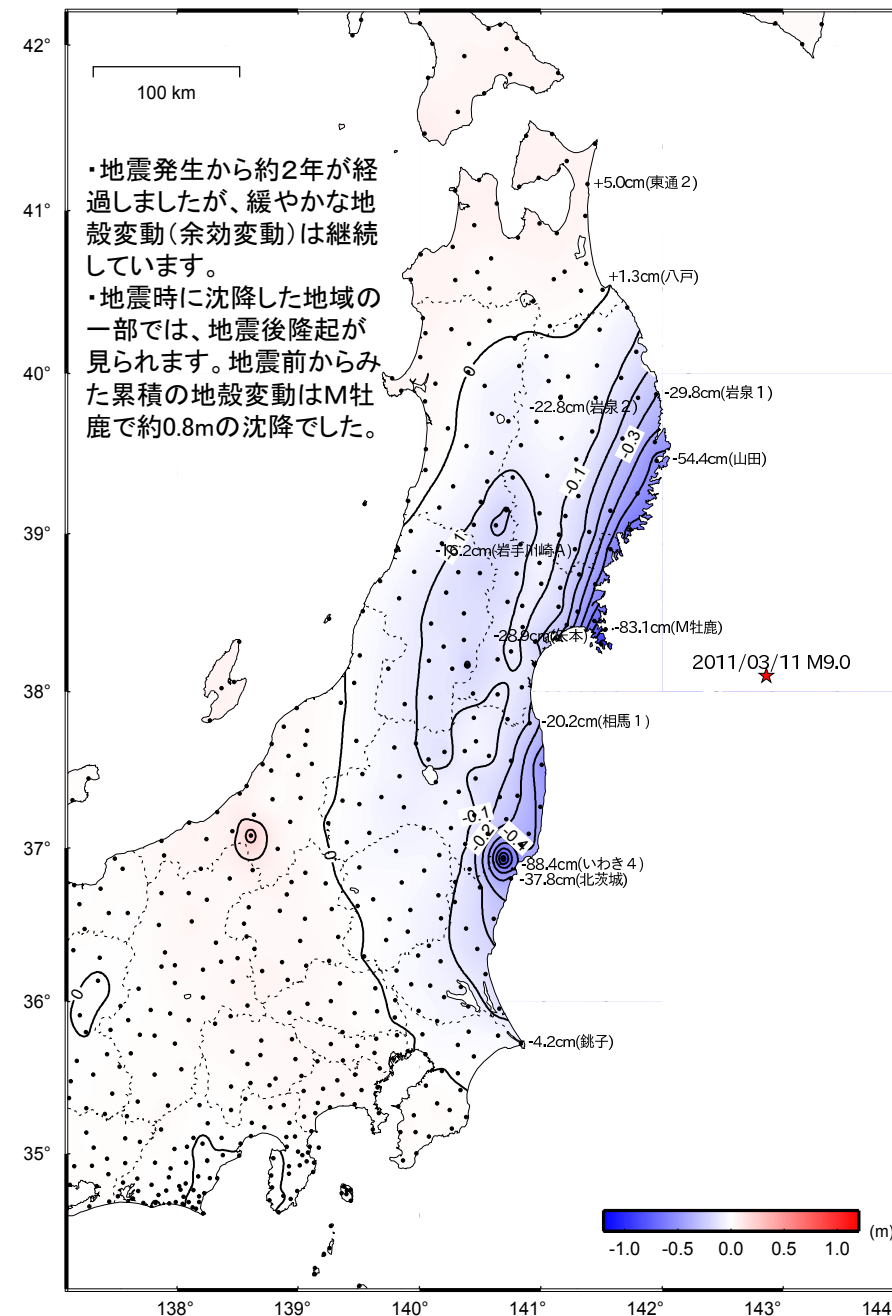
注) 変動量には、平成23年3月9日三陸沖の地震、平成23年3月12日長野県北部の地震に伴う地殻変動及び余効変動が含まれています。

国土地理院

地震時及び地震後の地殻変動(上下:コンター図)

基準期間: 2011/03/01 -- 2011/03/08 [F 3: 最終解]

比較期間: 2013/02/17 -- 2013/02/23 [R 3: 速報解]



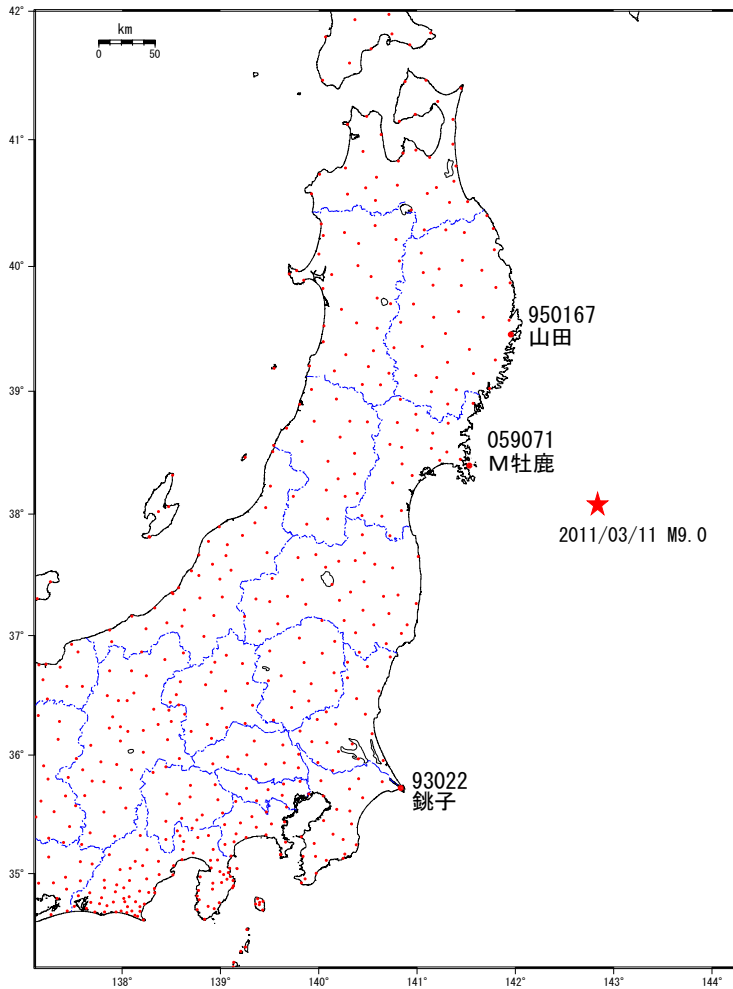
☆ 固定局: 福江 (長崎県)

注) 平成23年3月12日長野県北部の地震、平成23年4月11日福島県浜通りの地震に伴う地殻変動が見られます。

国土地理院

地震後の基線変化（時系列）

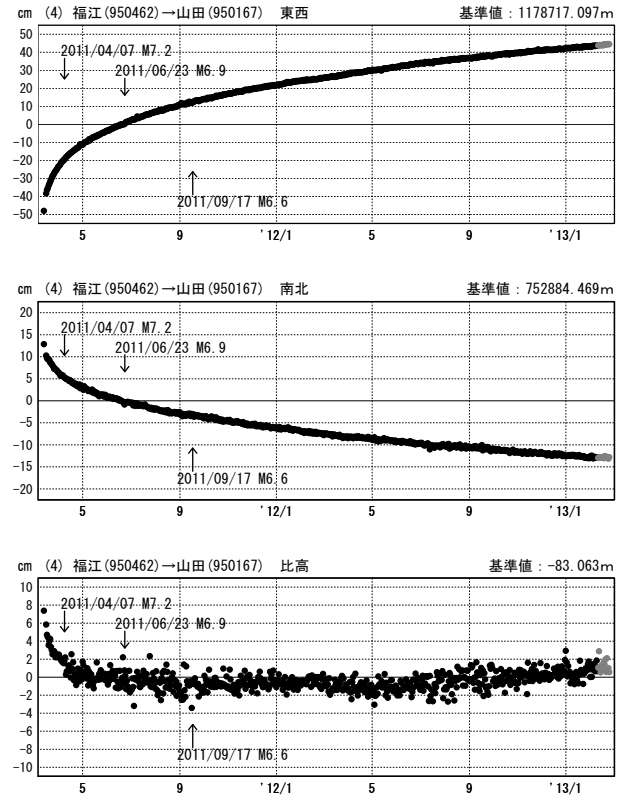
配点図



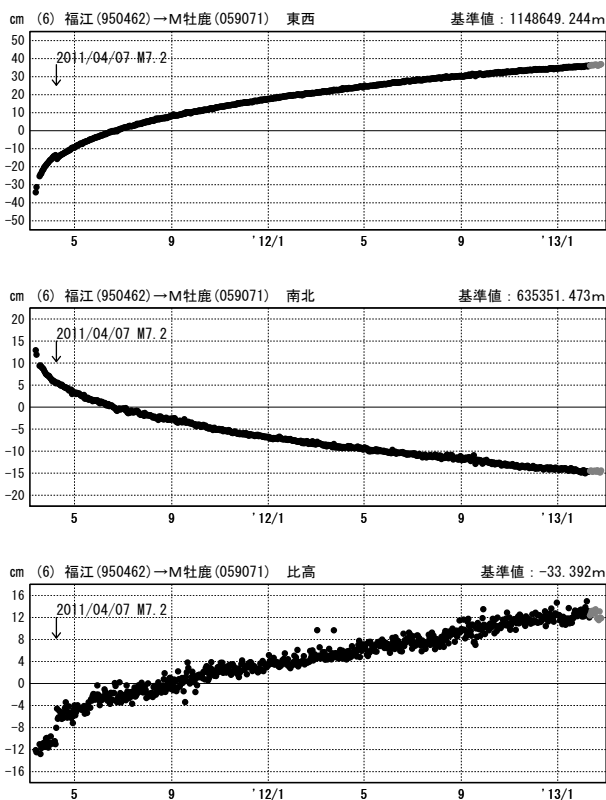
太平洋沿岸の観測点について、地震後の地殻変動の時間変化を示しています。地震発生から約2年が経過しましたが、地殻変動（余効変動）は継続しています。

成分変化グラフ

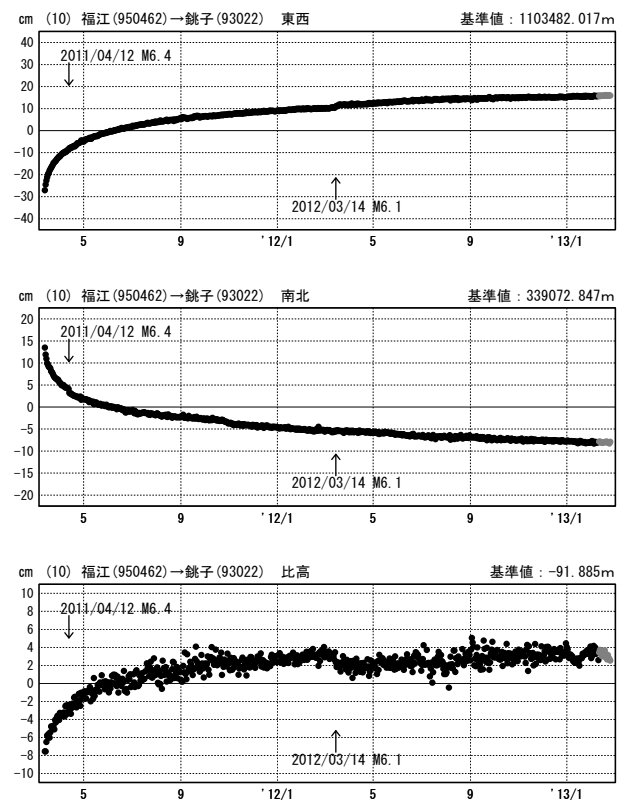
期間：2011/03/12～2013/02/24 JST



期間：2011/03/12～2013/02/24 JST



期間：2011/03/12～2013/02/24 JST

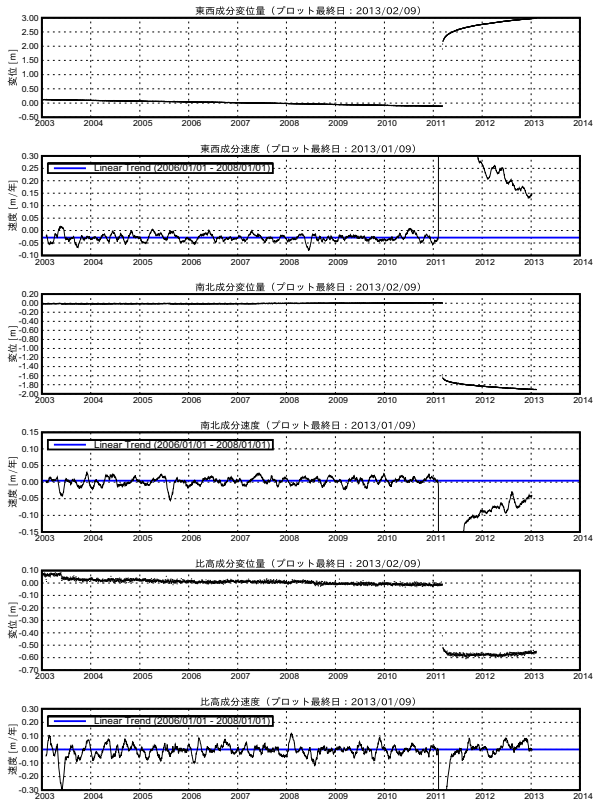


●—[F3:最終解] ●—[R3:速報解]

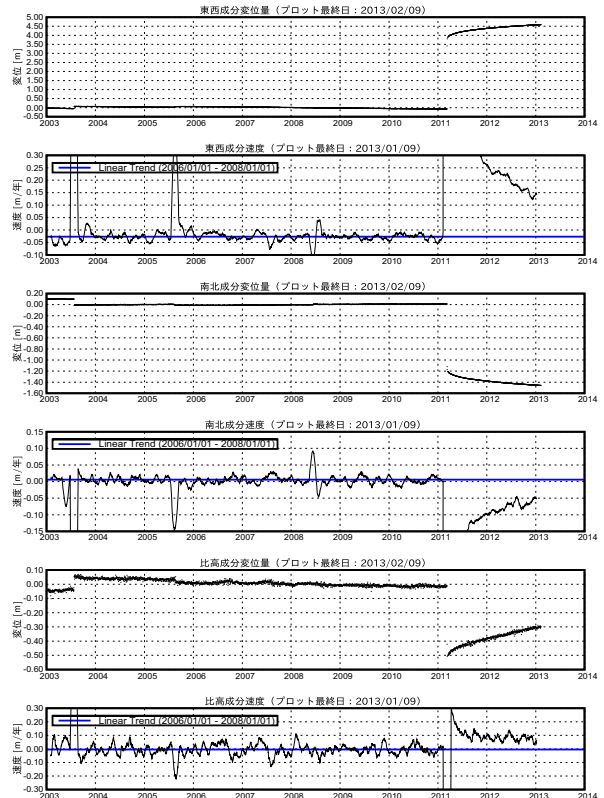
地震前後の速度変化（時系列）

地震発生前はほぼ一定の速度で地殻変動が生じていました。
地震発生後は大きく速度が変化し、徐々に地震発生前の速度に戻っていますが、依然として地震発生前と比べて大きな地殻変動が継続しています。

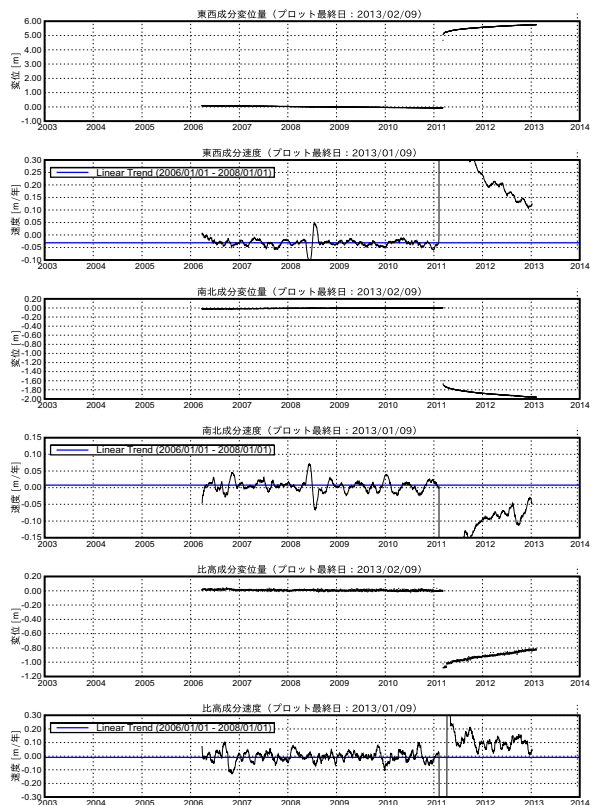
三隅 (950388) -- 山田 (950167) 間の成分変位と速度グラフ



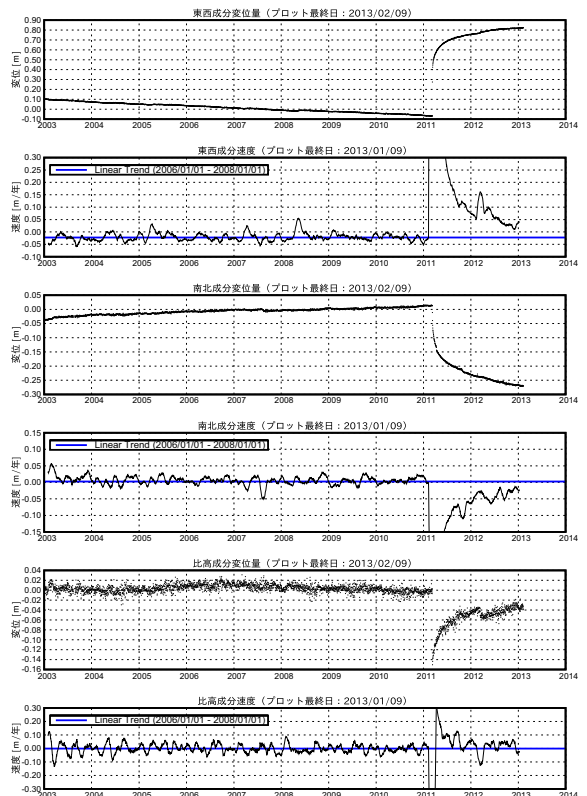
三隅 (950388) -- 矢本 (960549) 間の成分変位と速度グラフ



三隅 (950388) -- M杜鹿 (059071) 間の成分変位と速度グラフ



三隅 (950388) -- 鏡子 (93022) 間の成分変位と速度グラフ

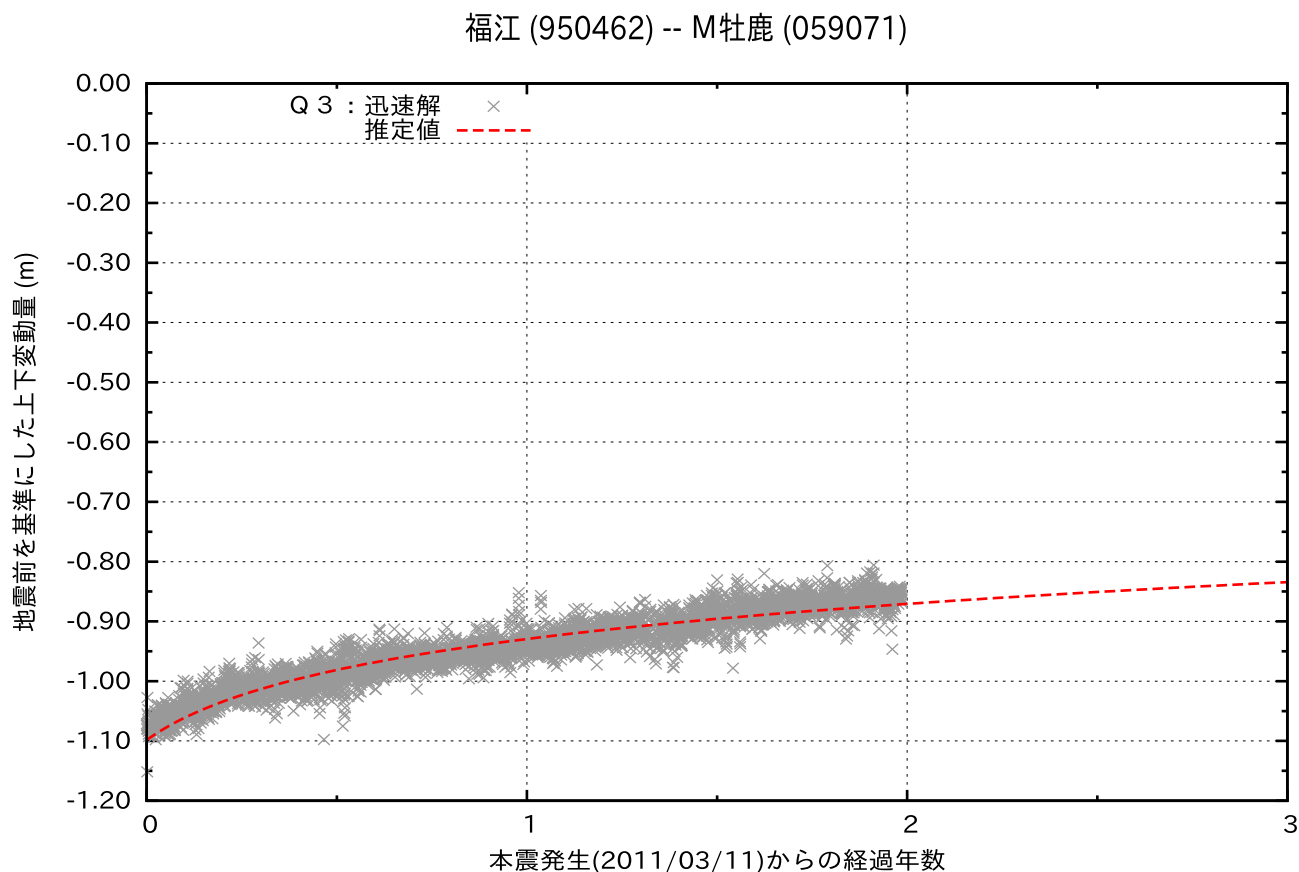


※成分変化率は60日間のデータを1日ずつずらして計算（プロットの位置は計算に用いた期間の中間）

余効変動の対数関数での近似（上下）

地震後に見られる余効変動は、時間とともに徐々に減衰すると考えられています。これは、一つの考えとして、地震によって破壊された断層の周辺部に蓄積した歪が、地震後にゆっくりとすべることで徐々に解消していくという理論に基づくものです。この場合、地殻変動の時間変化は概ね対数関数で近似されます。

東北地方太平洋沖地震の場合も、実際の余効変動の時間変化が対数関数でよく表現されていることが下のグラフからわかります。

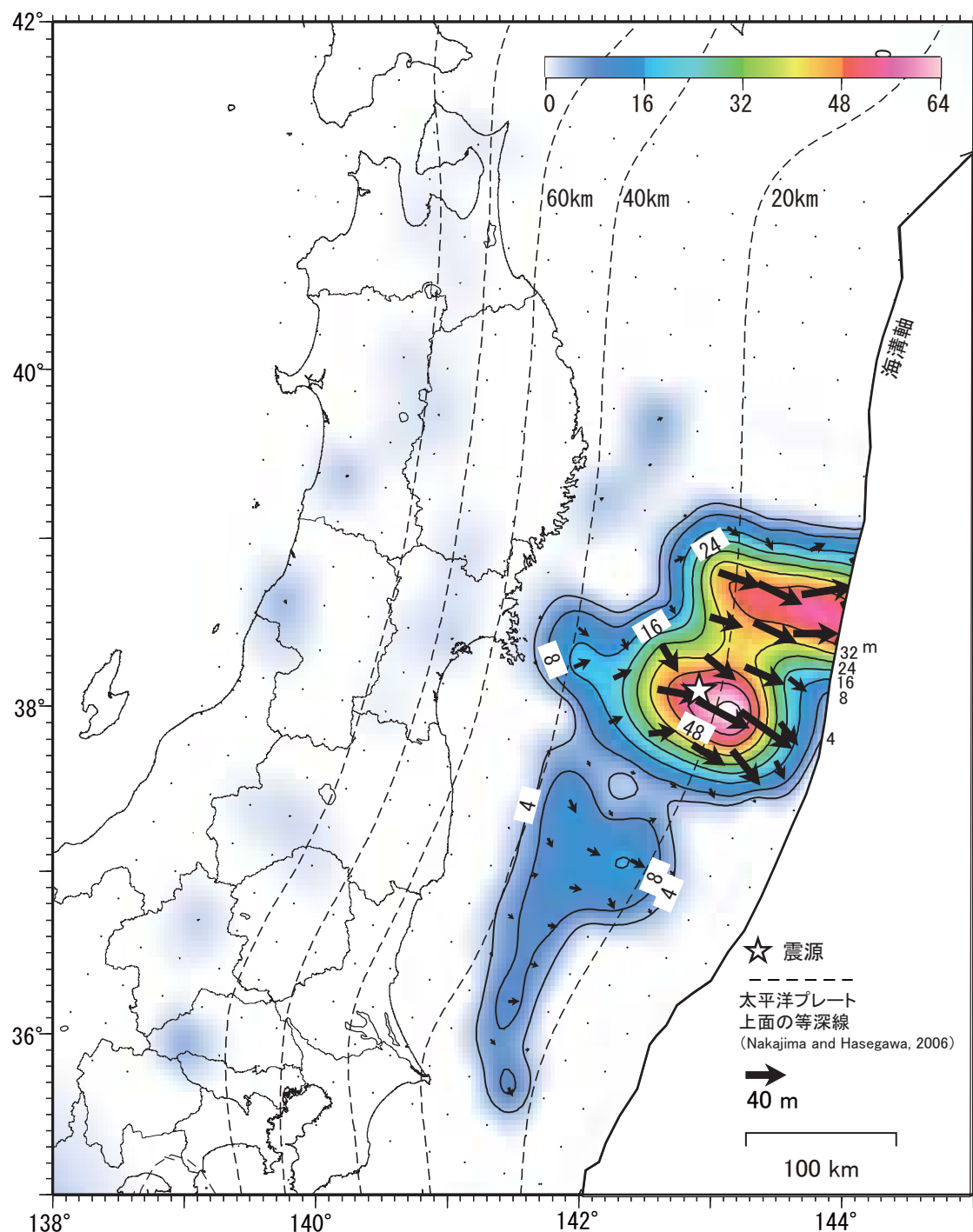


時間の経過とともに沈降した観測点が徐々に隆起していますが、地震時と比較すると隆起の速度は小さくなっています。また、現在の高さは、地震前よりも約80cm低い状態です。

	2011						2012						2013
	3月11日	4月15日	6月15日	8月15日	10月15日	12月15日	2月15日	4月15日	6月15日	8月15日	10月15日	12月15日	2月15日
地震前を基準とした上下変動(cm)	0	-101	-97	-96	-94	-93	-92	-89	-90	-88	-86	-82	-83
隆起速度(cm/year)	-	-	22	6	16	4	5	20	-5	8	13	21	-1

地震時の太平洋プレート境界面におけるすべり分布

国土地理院のGNSS観測に加え、海上保安庁の海底地殻変動観測及び東北大学の海底圧力観測を用いて、太平洋プレート上面における地震時のすべり分布を推定しました。これによると、震央付近では約60mのすべりが推定されました。



すべりのモーメントマグニチュードは8.99(剛性率:40GPa)

使用データ

国土地理院 陸域におけるGNSS観測 (F3:最終解 期間:2011/03/10~2011/03/12)
海上保安庁 海底地殻変動観測(注1)
東北大学 海底圧力観測(注2)

注1

Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, and M. Mochizuki (2011). Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Science, doi: 10.1126/science.1207401.

注2

Ito, Y. et al. (2011). Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Geophys. Res. Lett., 38, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355.

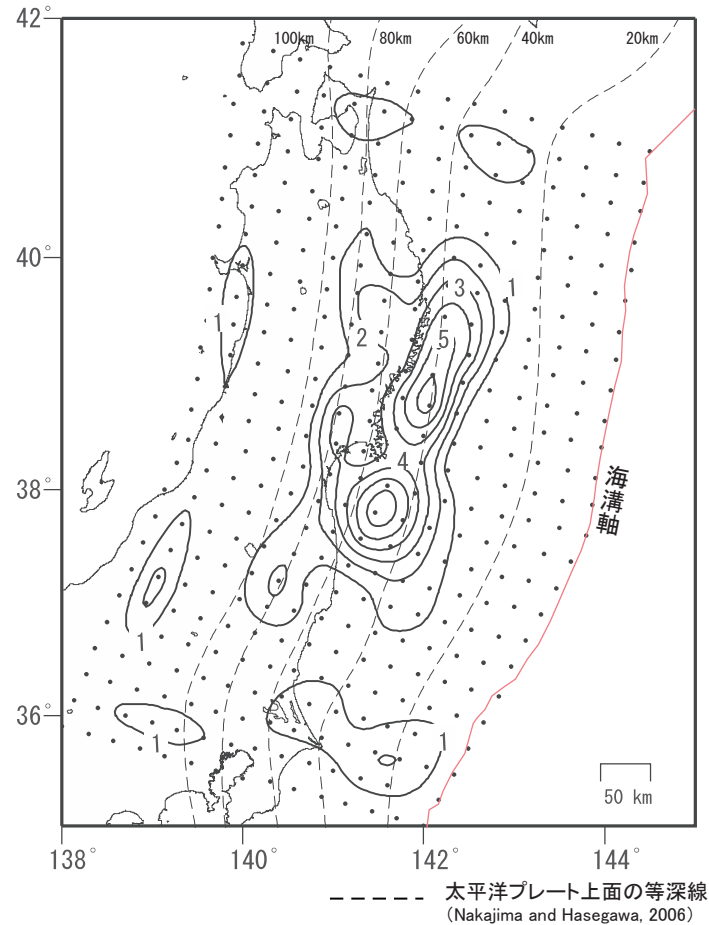
出典

Ozawa, S., Nishimura T., Munekane H., Suito H., Kobayashi T., Tobita M. and Imakiire T. (2012) Preceding, coseismic, and postseismic slips of the 2011 Tohoku earthquake, Japan, J. Geophys. Res., 117, DOI: 10.1029/2011JB009120

地震後の太平洋プレート境界面におけるすべり分布

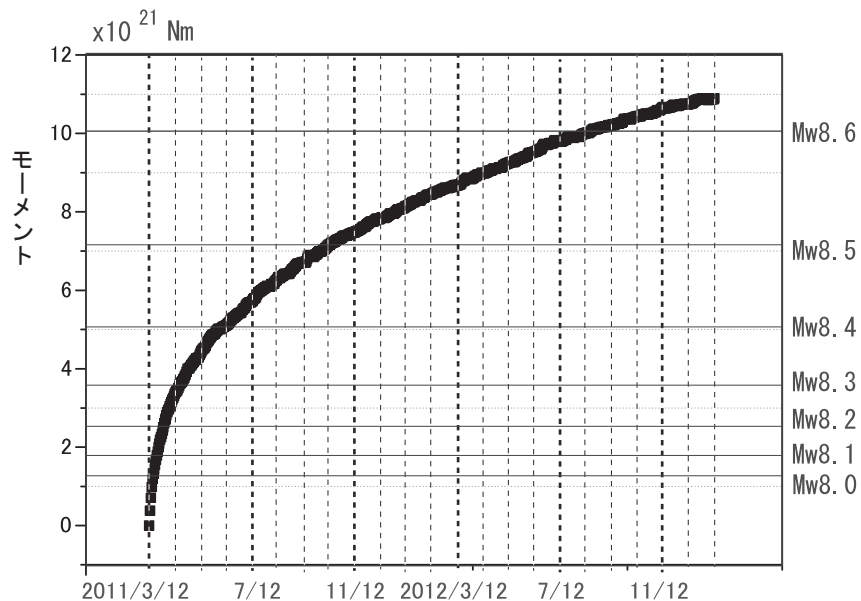
国土地理院のGNSS観測による地震後の地殻変動データから、太平洋プレート上面における地震後のすべり分布を推定しました。この結果、本震の周辺では地震後にすべりが起きていることがわかりました。これまでに解放されたモーメントのマグニチュードは8.6(Mw)を超えましたが、解放速度は次第に小さくなっています。

データ期間 2011/03/12 ~ 2013/01/12 【F3：最終解（R3：速報解も含む）】



時間と共にモーメントの解放速度が小さくなっている

データ期間 2011/03/12 ~ 2013/01/12 【F3：最終解（R3：速報解も含む）】



(剛性率：40GPa)

地震直後の約 30 時間のモーメント増加量は含まれていない。

地震時及び地震後のつくば VLBI 観測局の基線変化（時系列）

地震時に VLBI 観測局で観測された地殻変動は、つくば VLBI 観測局（写真 1）では東方向に約 0.6m でした（図 1）。また、地震後から約 2 年が経過しましたが地殻変動（余効変動）は継続し、つくば VLBI 観測局では東方向に約 0.2m となっています（図 2）。

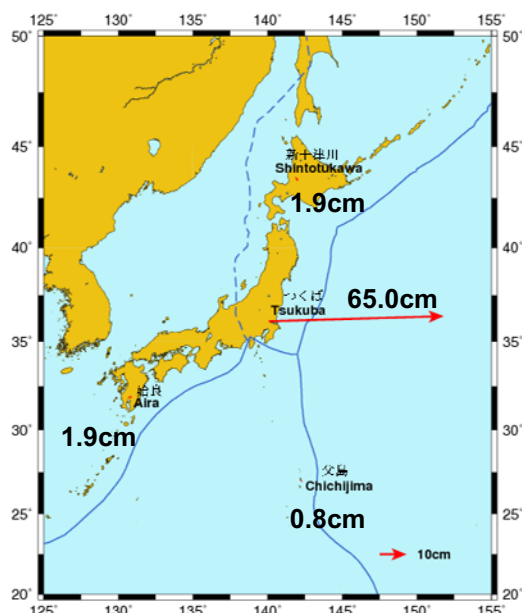


図1 地震時の VLBI 観測局の変動量

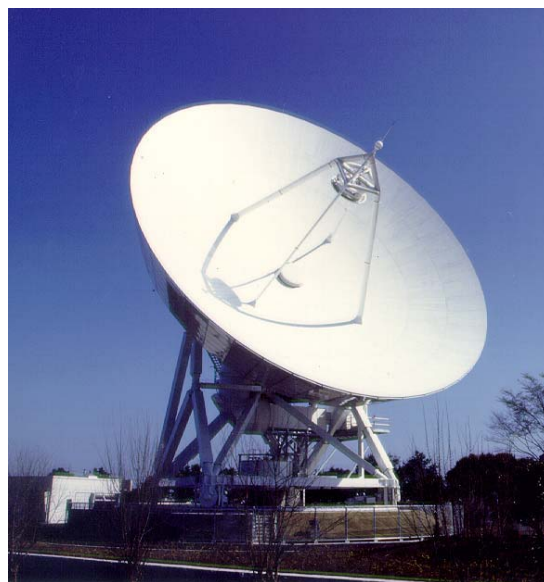


写真1 つくば VLBI 観測局(アンテナ口径:32m)

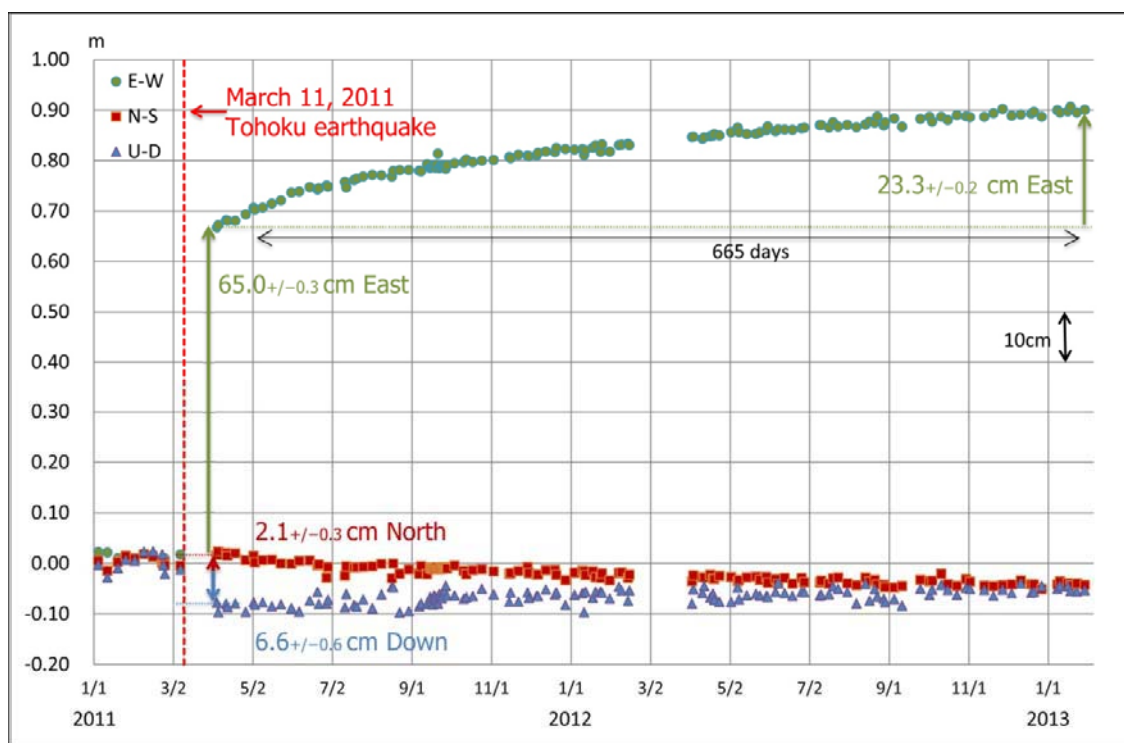


図2 つくば VLBI 観測局の位置の時系列グラフ(2011/1/4～2013/1/29)

VLBI とは

VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線電波干渉法) とは、はるか数十億光年の彼方から、地球に届く電波を複数のパラボラアンテナで同時に受信し、その到達時刻の差から、数千 km 離れたアンテナの距離を測る測量技術です (図 A)。

国土地理院では、

- ① 世界の中の日本の位置を知る (国際地球基準座標系 : ITRF の構築維持)
- ② プレート運動を監視する
- ③ 地球の姿勢を測る
- ④ 宇宙探査機の精密な軌道決定等に貢献する

を目的に、国際 VLBI 事業 (IVS) に参加し、世界及び国内の VLBI 観測局と共同で全地球的な観測を実施しています (図 B)。

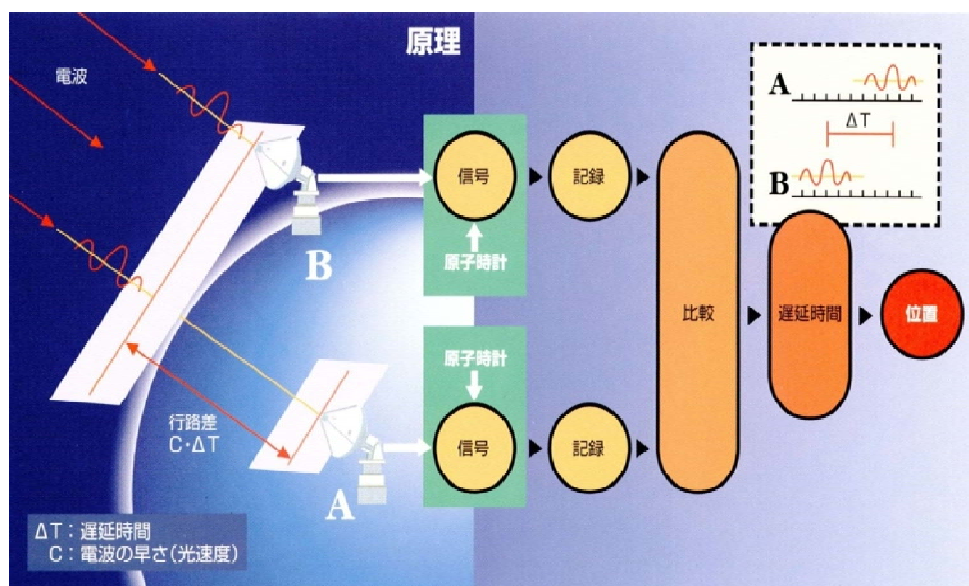


図 A VLBI の原理



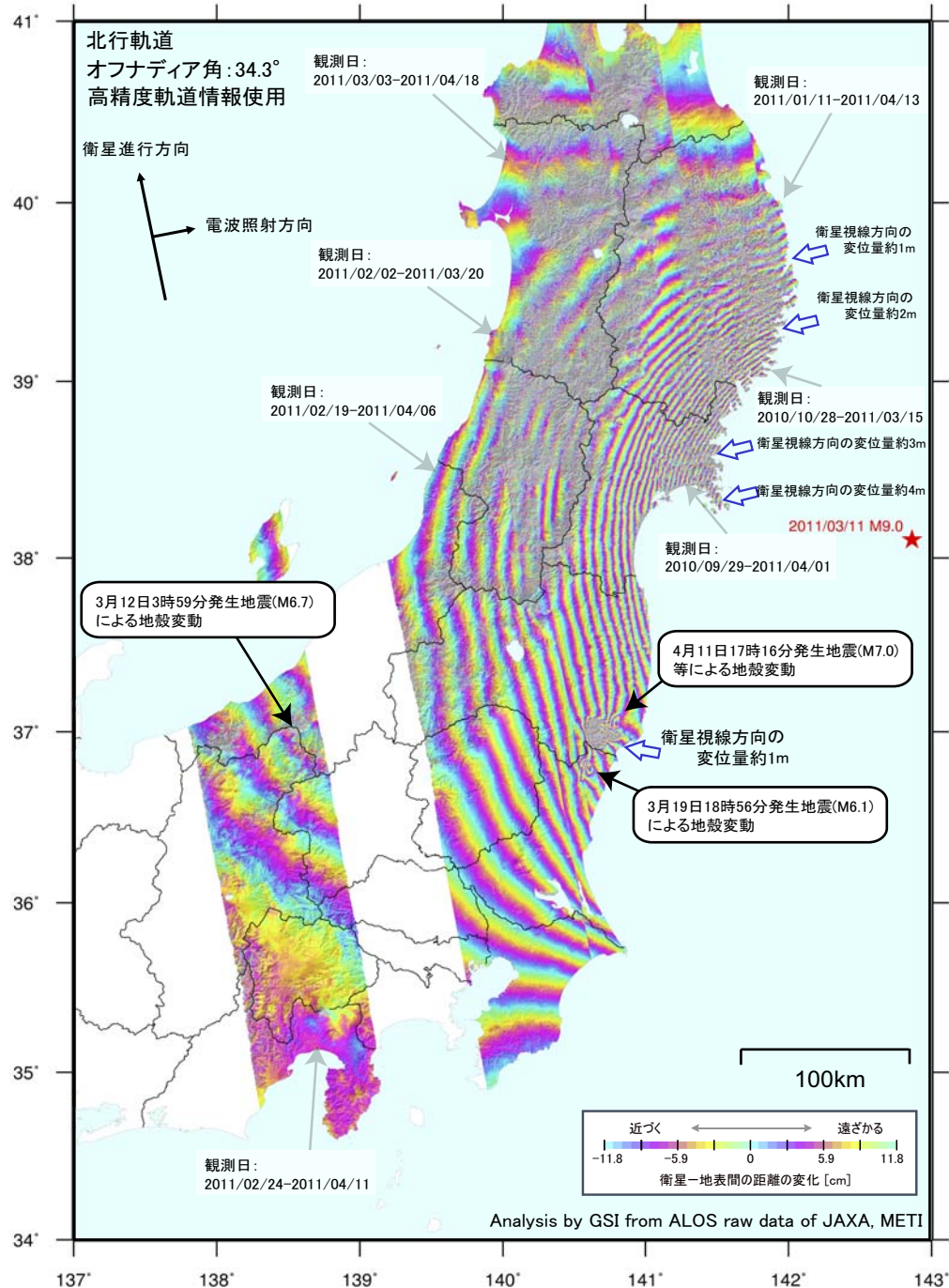
図 B IVS に参加しているおもな VLBI 観測局



「だいち」が捉えた地震前後の地殻変動

地球観測衛星「だいち」（宇宙航空研究開発機構：JAXA）が観測した合成開口レーダー画像を用いて干渉 SAR による解析を行ったところ、地震前後の地殻変動に関する面的分布が明らかになりました。

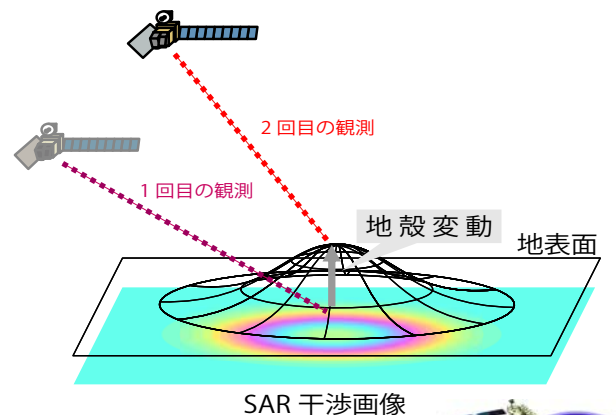
- ①地震に伴う変動は東北地方から関東地方および中部地方まで及んでいます。
- ②最も変動が大きかった牡鹿半島では、衛星と地表の間で、距離が最大で約4m伸びる変動がみられました。これは、GNSS 観測結果とも整合します。
- ③茨城県北部（3月19日 M6.1）、福島県浜通り（4月11日 M7.0 等）、長野県北部の地震（3月12日 M6.7）に伴う地殻変動がみられます。



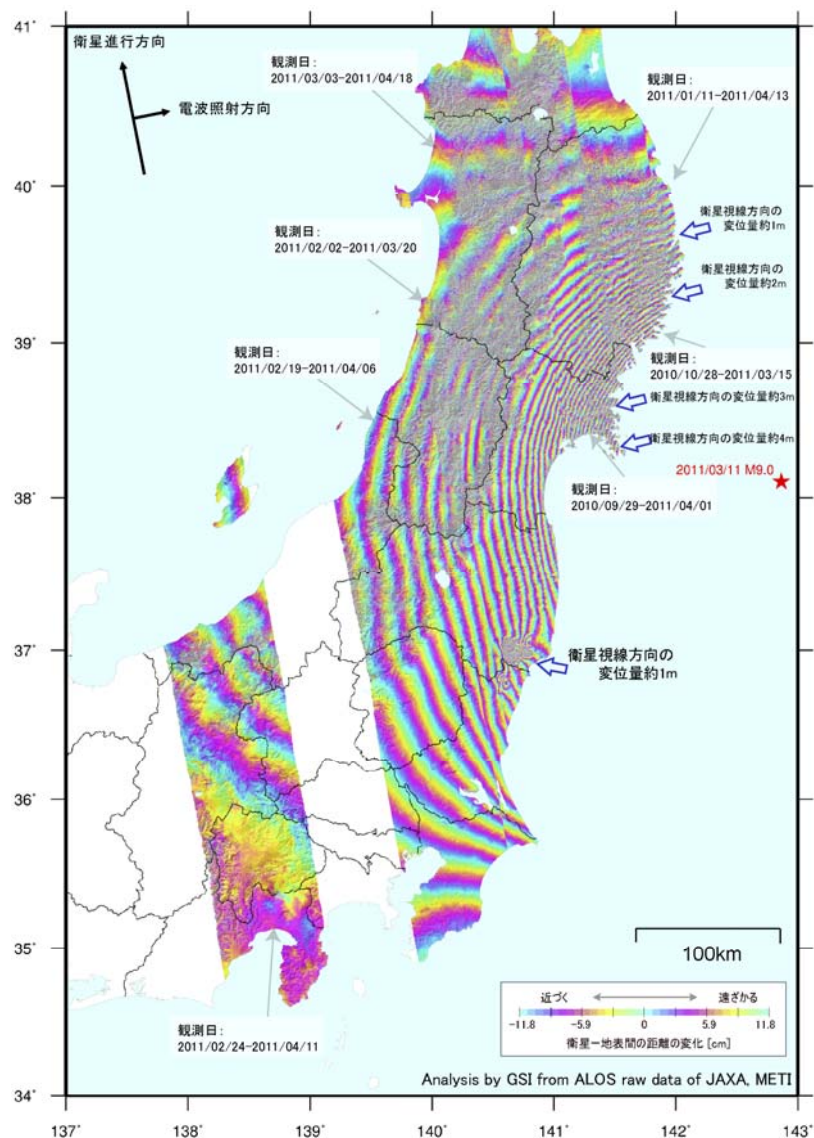
■ 干渉SARとは何か？

国土地理院では、地盤沈下・地すべりによる地盤・地表変動や火山活動による地殻変動の定常的な監視を実施しています。また、地震や火山等による災害が発生した場合には、その災害状況の把握や復興作業の情報提供を目的として、緊急解析を実施しています。

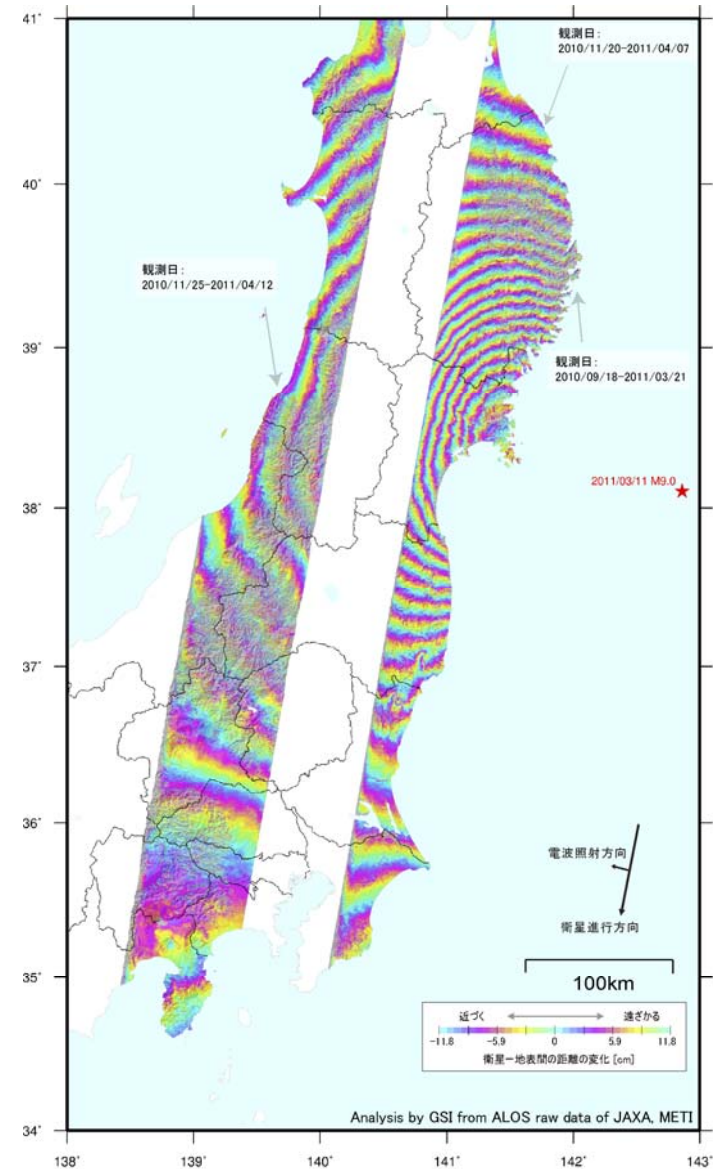
干渉 SAR は、宇宙から、わずか数センチメートルの地表面の変動を監視する画期的な技術です。干渉 SAR では、人工衛星や飛行機に搭載された SAR センサーを使って、地表の同じ場所に2回の SAR 観測を行います。両観測で得たデータを干渉処理後、算出した位相差を虹色で表現することで地表の変位を画像化します。これにより、地震や火山噴火に伴う地球表面の変動が、目に見える形で捉えることができます。観測には電波を利用するため、夜間や雨天時でも行える上、地表に観測施設が不要なため、どんな場所でも実施が可能です。



～北行軌道～



～南行軌道～



判読) 地震に伴い、東北地方から関東・中部地方まで及ぶ範囲で衛星視線方向に、衛星から遠ざかる変動が確認できます。
最も変動が大きい牡鹿半島で、最大で約4mの三次元的な変動が確認できました。これを水平成分と上下成分に分離するとGNSS観測による地殻変動結果と非常によく整合しています。また、本震後に内陸で生じた地震に伴う局所的な地殻変動も確認できます。

判読) 地震に伴い、東北地方から関東・中部地方まで及ぶ範囲で衛星視線方向に、衛星に近づく変動が確認できます。また、本震後、内陸で生じた誘発地震に伴う局所的な地殻変動も確認できます。

水準測量による地震前後の地殻変動(上下)

地震後、東北地方から関東地方で実施した水準測量の結果、東北地方の太平洋岸には特に大きな地殻変動が見られます。

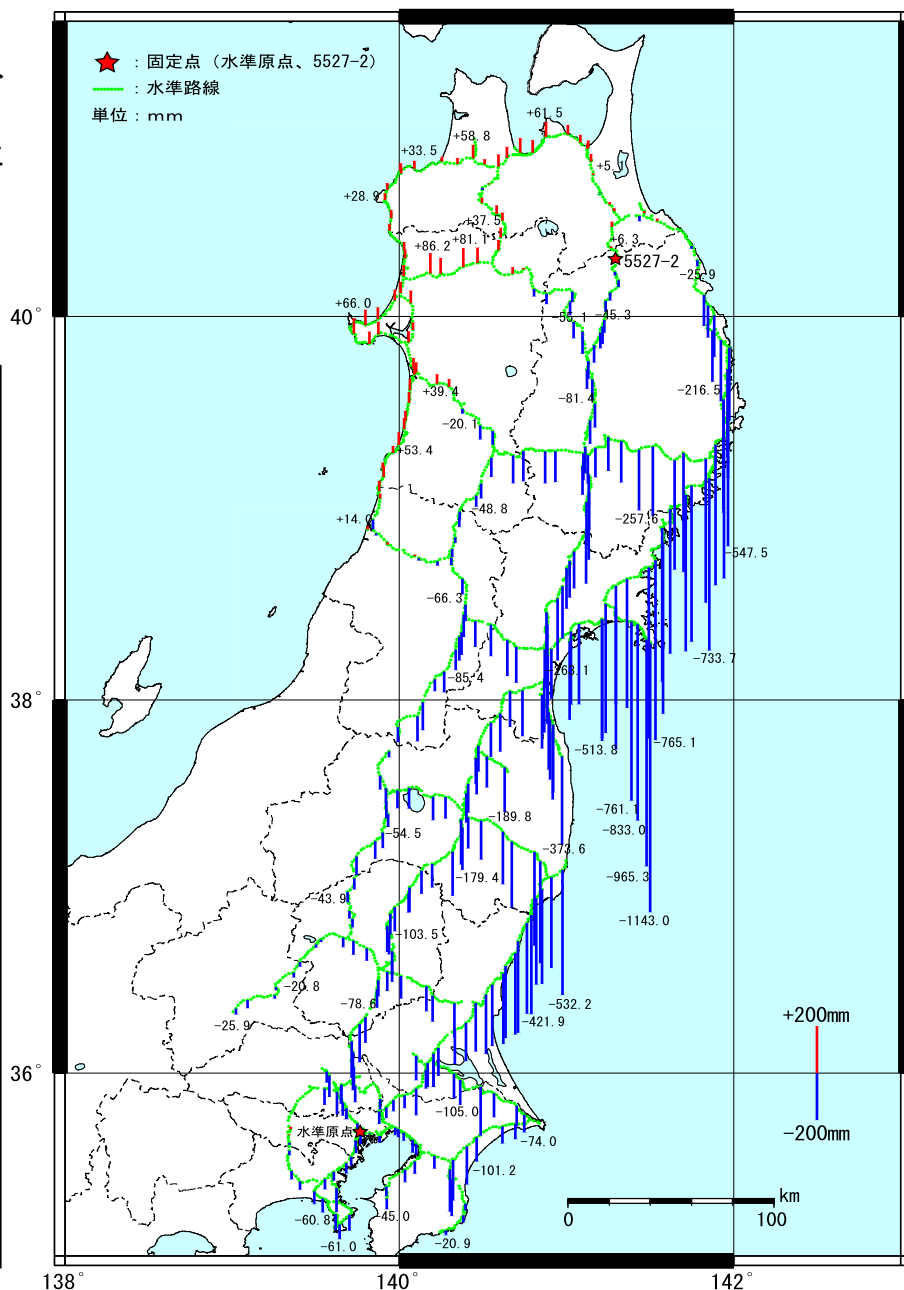
2000年に取りまとめた結果(地震前)と2011年に観測した結果(地震後)の差分による東北～関東の地殻変動量です。ただし、地殻変動量には、地震前までに蓄積していた地殻変動及び地震後の余効変動等を含みます。

水準点

水準点は、全国の主な国道又は主要地方道に沿って約2kmごとに設置されており、高さが正確に求められています。水準点を利用して測量することにより、土地の高さを精密(mm単位)に求めることができます。

また、この水準点を繰り返し測量することで、土地の上下変動が求められ、地殻変動監視、地盤沈下対策等に利用されています。

全国に約2万点ある水準点



水準測量

水準点の高さ(標高)は水準測量によって求めます。精密な水準測量では高低差を0.1mmまで求めています。水準測量は、2地点に標尺を立て、その間に水準儀を水平に置いて、2つの標尺の目盛を読み、その差から高低差を求めます。この繰り返しで、水準点間(約2km)の高さを求めます。

地震前後の重力変化

地震後に東北地方から千葉県にかけて重力測量を実施し、地震前の重力値と比較することで、地震に伴う重力変化を検出しました。

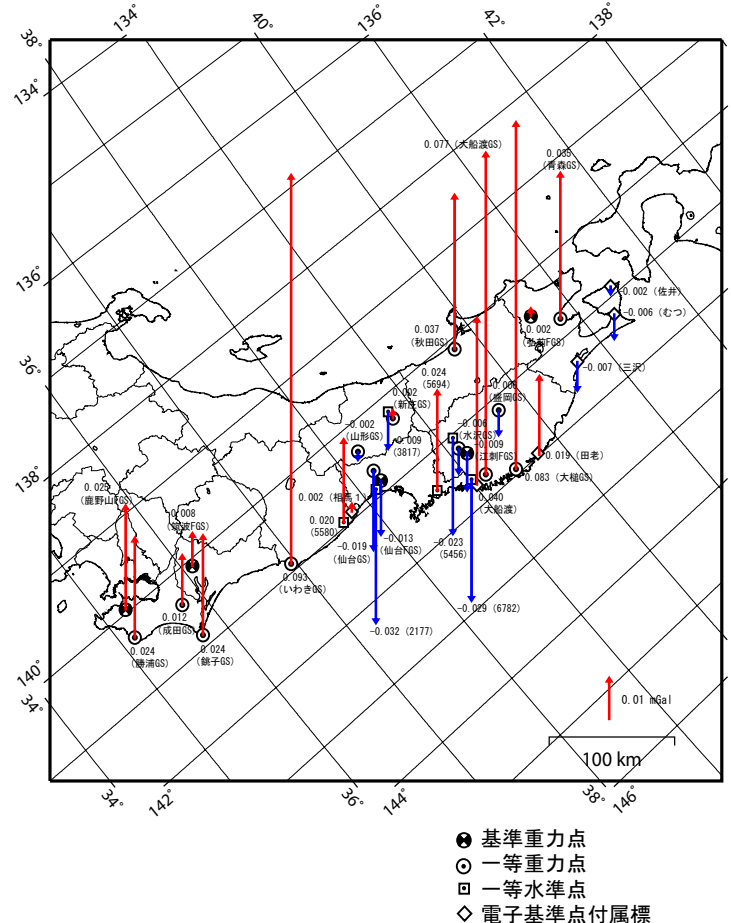
重力の変化は、主に観測点の高さの変化によって生じます。高さ1mの変化は、重力0.3mGalの変化に相当します。

また、観測点の地下で質量の大きなものが移動することによっても、重力値に変化が生じます。

地震後には、太平洋沿岸部の観測点では重力が増加し、少し内陸に入った観測点では重力が減少する傾向が見られました。また、房総半島では増加、下北半島では減少の傾向が見られます。

主な重力点の変化

点名	重力変化 (mGal)	地震前 (mGal)	地震後 (mGal)
(基準重力点)			
弘前FGS	0.002	980261.205	980261.207
江刺FGS	-0.009	980121.740	980121.731
仙台FGS	-0.013	980065.850	980065.837
鹿野山FGS	0.025	979690.801	979690.826
(一等重力点)			
盛岡GS	-0.006	980189.628	980189.622
大槌GS	0.083	980251.475	980251.558
大船渡GS	0.077	980210.591	980210.668
仙台GS	-0.019	980065.815	980065.796
いわきGS	0.093	980008.421	980008.514
銚子GS	0.024	979866.869	979866.893
(電子基準点付属標)			
佐井(付)	-0.002	980383.429	980383.427
田老(付)	0.019	980290.427	980290.446
大船渡(付)	0.040	980206.313	980206.353
相馬1(付)	0.002	980088.291	980088.293
(水準点)			
5456	-0.023	980153.276	980153.253
6782	-0.029	980207.812	980207.783
3817	-0.009	980061.439	980061.430
5694	0.024	980178.182	980178.206
2177	-0.032	980103.529	980103.497
5580	0.020	980093.716	980093.736



重力測量

国土地理院は全国に34点の基準重力点と80点の一等重力点を整備し重力測量を繰り返し実施しています。地震後の測量では、基準重力点を絶対重力計（FG5）を使用し、一等重力点、電子基準点付属標及び水準点はラコスト重力計を使用しました。これらの重力値は、計量分野における機器校正等にも利用されています。

【絶対重力計 FG5】

真空における物体の重力加速度を測定する可搬型の重力計で、高精度に絶対的な重力を求めることができます。



【ラコスト重力計】

スプリング型重力計で、スプリングに「おもり」をつり下げ、重力の違いによるスプリングの伸びの差を測ることにより、相対的な重力差を求めます。



地球の重力を測る (重力測量)

重力は、地球の質量による万有引力と、地球の自転による遠心力が合わさった力（合力）で表され（図1）、地球の形状や地下の内部構造によって変化します。具体的には、その地点の標高や、地下の鉱床、断層のような物質の境界によって空間的に変化するとともに、火山活動に伴う物質（マグマ等）の移動によって時間的に変化する性質のものです。

国土地理院では、定期的に重力を計測しており、得られた結果は、重力値データや重力図（一例として図2）として公表しており、地球の形状に関する研究や、地震・火山に関する研究の基礎資料として活用されます。

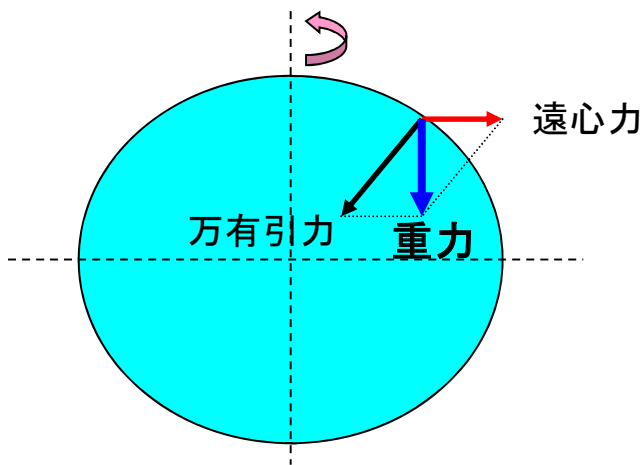


図1 重力のイメージ

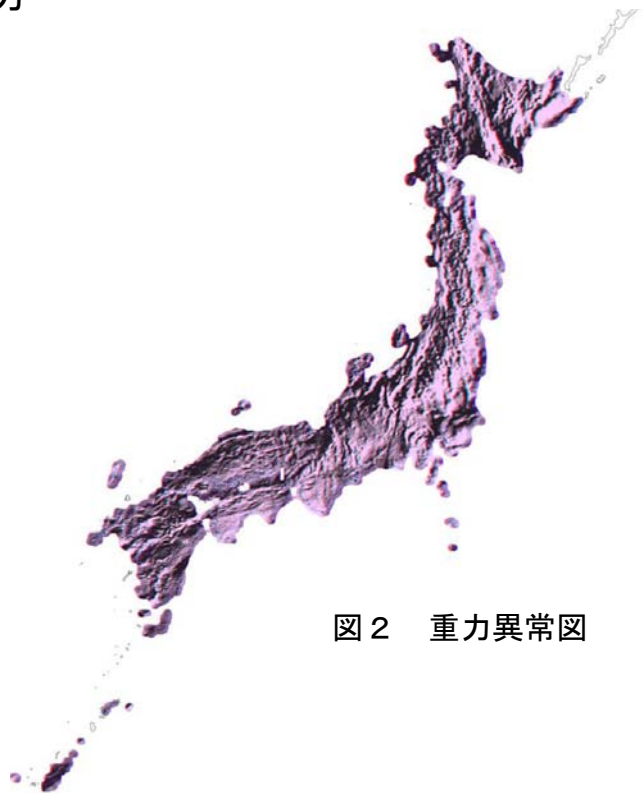


図2 重力異常図

（図1）重力は、万有引力と遠心力の合力で表されます。

（図2）この図は、標高ゼロメートルにおける重力の空間分布を示したもので、地下にある物質の質量のおおまかな分布がわかります。この図で、薄いところは、周辺と比べて地下にある物質の質量が軽いことを表しています。この図を利用して、地下断層の分布の推定や鉱物などの地下資源の探査が可能となります。