3-3 東北地方の地殻変動 Crustal Movements in the Tohoku District

国土地理院 Geospatial Information Authority of Japan

[水準測量]

第1図は、福島県いわき市から楢葉町、南相馬市から相馬市に至る南北の路線の水準測量 結果である.福島県いわき市から楢葉町の区間については、楢葉町の区間のみが初出であ り、より広域的での変動傾向を見るために、いわき市から広野町までの既出の観測結果(会 報第88巻p110)に追加して示す.最上段のグラフが、東北地方太平洋沖地震前に行われた前 回の観測からの変動であり、地震時変動および地震後の余効変動の影響を含んでいる.い わき市側の変動には、炭鉱の閉山の影響によるいわき市付近の隆起が含まれるものと考え られる.楢葉町周辺では広野町に対してわずかに隆起が見られる.相馬市に対する南相馬 市側の顕著な沈降が見られる.

[GNSS 地震後の変動ベクトルおよび等変動量線図]

第2~6図は、東北地方太平洋沖地震後の期間における水平・上下の地殻変動について、 全期間の累積および最近3ヶ月の変動を、福江観測点を固定局として示したものである.第2 ~4図に示す地震後の累積の図には、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2,最大震度6強,深 さ約66km,逆断層・スラブ内地震,地殻変動GNSSで水平約3cm西南西と約5cmの隆起),2011 年4月11日17:16福島県浜通りの地震(M7.0,最大震度6弱,深さ約6km,正断層,地殻変動 GNSSで約30cm水平と約50cmの沈降,SARで約2m),2011年4月12日07:26長野県北部の地震 (M5.6,最大震度5 弱,深さ約0km,横ずれ,地殻変動北東へ約2.6cm),2011年4月12日08:08 千葉県東方沖の地震(M6.4,最大震度5弱,深さ約26km,右横ずれ,地殻変動約1cm),2011 年6月23日岩手県沖の地震(M6.9,Mw6.7,最大震度5弱,地殻変動東方向に約1.5cm),2011 年7月10日三陸沖の地震(M7.3,Mw7.0,深さ34km,最大震度4,地殻変動西方向に約5mm, 左横ずれ),2011年9月17日岩手県沖の地震(M6.6,最大震度4,プレート境界逆断層,地殻変動東 方向に数mm)等の影響が震源近傍の観測点で見られる.

第2図は地震後の全期間における水平変動の累積を示す.東日本全体で東北地方太平洋沖 地震の震源域に向かう余効変動が観測されている.最大の変動量は、山田観測点における 約98cmである.

第3図および第4図は、地震後の全期間における上下変動の累積を、それぞれ、変動ベクトル図および等値線図で示したものである。岩手県三陸沿岸と奥羽脊梁山脈付近で沈降が見られる一方、宮城県から千葉県の太平洋沿岸では隆起傾向が見られる。M牡鹿観測点の約26cmの隆起のうちの約5cmは、2011年4月7日の宮城県沖の地震によるものである。

第5図に示す最近3ヶ月の水平ベクトルには,東日本全体で東北地方太平洋沖地震の震源域 に向かう変動が見られ,余効変動が継続していることがわかる.この期間における岩手川 崎A観測点の変動は3.9cmとなっており,その前の3ヶ月間における値(4.3cm)よりもやや小 い. 第6図に最近3ヶ月の上下変動を示す. 牡鹿半島周辺にわずかな隆起が見られるが,上下 変動は小さくなってきており,3ヶ月間の変動ではノイズとの見分けがつけにくくなってい る.

[GNSS 連続観測 地震前後]

第7~17図は、東北地方太平洋沖地震前後の東日本におけるGNSS連続観測時系列である. 第7図の地図に示した太平洋岸の観測点10点と、その西側の観測点10点の合計20観測点について、第8図以降の左列に地震前の2011年1月以降の期間、右列に東北地方太平洋沖地震後の期間の時系列を示す.一部の観測点の上下成分については余効変動が停滞ないし鈍化してきているように見えるが、水平成分については余効変動が減衰しながらも継続している. 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2、最大震度6強、深さ約66km、逆断層・スラブ内地震、地殻変動GNSSで水平約3cm西南西と約5cmの隆起、影響は(5)~(6))、2011年4月11日17:16福島県浜通りの地震(M7.0、最大震度6弱、深さ約6km、正断層、地殻変動GNSSで約30cm水平と約50cmの沈降、SARで約2m、影響は(8)~(9))、2011年4月12日08:08千葉県東方沖の地震(M6.4、最大震度5弱、深さ約26km、右横ずれ、地殻変動約1cm、影響は(10))、2011年6月23日岩手県沖の地震(M6.9、Mw6.7、最大震度5弱、地殻変動東方向に約1.5cm、影響は(1)~(3))、2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3、Mw7.0、深さ34km、最大震度4、地殻変動西方向に約5mm、 左横ずれ、影響は(3)~(8))、2011年9月17日岩手県沖の地震(M6.6、最大震度4、プレート境界逆 断層、地殻変動東方向に数mm、影響は(1)~(3))等の影響が震源近傍の観測点で見られる.

第8図の(2)岩泉2観測点では地震後に見られた沈降は、最近ではほぼ停滞している.

第9図の(3)山田観測点で約98cmの東方向の余効変動が観測されている.また,地震後の 沈降はほぼ停滞している.(4)岩手川崎A観測点では地震時に沈降したが,地震後は隆起し ている.

第10図の(5)矢本観測点,(6)M牡鹿観測点共に,地震時に沈降したが,地震後は隆起している.

第11図の(7)相馬1観測点,(8)いわき観測点共に,地震時に沈降し,地震後は隆起している.

第12図の(9)鉾田観測点,(10)銚子観測点共に地震時に沈降し,地震後は隆起した.隆起 は鈍化しながら継続しているように見える.(10)銚子観測点の南北成分の変動量は,地震 時より地震後の方が大きい.

第13図の(11)大鰐(おおわに)観測点の上下変動は小さい. (12)田沢湖観測点では地震後に 沈降が見られたが,最近はほぼ停滞しているように見える.

第14図の(13)矢巾(やはば),(14)本荘観測点の上下変動は小さい.

第15図の(15)皆瀬(みなせ)観測点では,地震時に沈降し地震後も沈降が継続している.(16) 新潟山北(にいがたさんぽく)観測点の上下変動は小さい.

第16図の(17)天童,(18)猪苗代1観測点では,地震時に沈降し地震後も沈降が継続していたが,最近では沈降傾向がほぼ停滞しているように見える.なお,天童観測点の上下成分については昨年末から今年の初めにかけての沈降がやや大きめに見えるが,これは積雪による地殻の荷重変形の影響等による変化である可能性がある.

第17図の(19)日光,(20)足立観測点共に、地震時に沈降し、地震後はわずかに隆起してい

たが,最近の隆起は小さい.

[GNSS 地震後の変動 対数関数によるフィッティング]

第18~27図は、第7図に示した(1)~(10)の10観測点について、東北地方太平洋沖地震後の 3成分時系列の対数関数近似を行った結果である.地震(余震や誘発地震)による跳びは自動 で除去しているが、若干跳びが残っている場合もある.時定数相当の係数(以下、時定数) は、水平成分(東西成分と南北成分の二乗和平方根)を用いて推定し、これを3成分共通の値 として、振幅とオフセットを推定した.時定数の単位は日である.各成分の縦軸は、地震 前の値をゼロとしており、地震時および地震後の累積の変動量を表している.そのため、 沈降した地盤が地震前の高さに戻るかどうかは、上下成分がゼロに回復するかどうかで判 断できる.対数曲線は地震後680日目(約3ヶ月前)までのデータを用いて推定したものと、 地震後790日目までのデータを用いて推定したものの2種類を示し、それぞれについて、そ の後のデータの対数関数による予測値からのずれを評価した.また、最近のデータについ ての近似・予測精度を向上させるため、変化の大きな本震後の30日間のデータは推定に用 いていない.水平成分については対数関数近似の適合がよく予測から大きく逸れる傾向は 見られない.上下成分については,(6)M牡鹿観測点をはじめ、宮城県から福島県にかけて の観測点で観測値のばらつきの中心が予測よりも隆起側にやや逸れる傾向が見られる.こ れは、プレート境界面上のすべりの減衰傾向に不均一がある可能性を示唆している.

[GNSS 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動速度]

第28~31図は、三隅観測点に対する山田、矢本、相馬1、銚子観測点の変位と変動速度を 時系列で示したものである. どの観測点についても、水平変動速度は徐々に減衰しつつあ るが、地震前のレベルには戻っておらず、余効変動が継続していることがわかる. 上下変 動速度については、山田観測点についてはほぼ元の速度に戻っているが、その他の観測点 については、地震後の隆起傾向が続いていることがわかる. なお、第31図に示される三隅 -銚子基線に見られる一時的な変化のうち、南北成分速度に2011年秋に見られる一時的な 変化は、2011年10月26日頃から11月8日頃までのSSEに伴う地殻変動の影響、東西成分速度 に見られる2012年3月頃の増加傾向は、2012年3月14日に発生した千葉県東方沖の地震(M5. 8)によるものである.

[東北地方太平洋沖地震 滑り分布モデル一覧]

第32図は、以降の図で紹介する東北地方太平洋沖地震の断層モデルの一覧である.

[モデル1:東北地方太平洋沖地震後の滑り分布モデル 従来のモデル Q3]

第33図は,GEONETによる東北地方太平洋沖地震後の地殻変動データを基にYabuki & Matsu'ura (1992)の手法を用いて推定した滑り分布モデルである.茨城県沖からフィリピン海スラブの北東端 を太い点線で示した.宮城県沖から岩手県南部沖に3.6mを超える滑りが見られる.銚子沖に1.2mを 超える滑りが見られる.

第34図左上および右上は、それぞれ、水平観測値と上下観測値について、前第図の滑り分布断層 モデルによる計算値との比較を示した図である.全体的に合っているが、一部合わないところもあ る.

第34図左下及び右下は、計算値に対する観測値の差(O-C)のベクトルを、それぞれ、水平成分および上下成分について示す図である. 三陸海岸付近や銚子付近を初めとしてはO-Cがやや大きめとなっている観測点が見られる. これは、震源断層モデルの誤差の他、局所的な地殻活動や地殻構造の 不均質による地殻変動などが含まれると考えられる.

[モデル2:東北地方太平洋沖地震後 時間依存インバージョン F3]

第35~44図は、東北地方太平洋沖地震後のF3解による地殻変動を基にプレート境界面上の滑りの 1ヶ月ごとの時間変化を時間依存インバージョンによって求めた結果である.現段階ではこのモデル 2の余効滑りを最良のモデルと考えている.

第35~37図は1ヶ月ごとの推定滑り分布である.滑りの大きさは時間と共に減衰しているが,例え ば深部延長で滑りが加速するなどの滑りの場所の顕著な移動はないようである. 銚子沖の滑りは三 陸沖に比べて小さい.

第38図の上段に地震後の全期間における累積の滑りの分布を,下段に地震モーメントの累 積解放量の時間変化を示す.余効変動による地震モーメントの累積解放量は,モーメントマ グニチュードにして8.6を超えている.なお,この数値には地震直後の約30時間分のモーメント解放 分は含まれていない.

第39~42図は、水平変動の観測値と計算値の比較である.比較しやすいように、段ごとにベクトルのスケールを変えている.観測値と計算値は概ね合っている.

第43~44図は,地殻変動時系列3成分の観測値と計算値の比較例である.両者は概ね合っている. ただし,一部の観測点で上下成分のフィッティングが良くないものもあり,その理由の一つとして, 上下成分のデータの重みが低いことが挙げられる.

[モデル3:東北地方太平洋沖地震後 海底地殻変動データを用いたインバージョン F3]

第45~46図は,海上保安庁による2012年12月までの海底地殻変動観測データとGEONETのデータ とあわせて解析することによって得られた地震後の滑り分布(アフタースリップ)モデルである.第45 図は前回示した2012年9月までのデータによる結果で,比較のために示したもの,第46図は2012年12 月までの新たなデータを用いた結果であり,各図の上段は海溝におけるスリップをゼロに制約した 場合,下段は制約しない場合の結果である.いずれのモデルについても,滑り分布の平滑化パラメ ータは全て同じ値を用いている.各段の左の図はアフタースリップの推定結果,右の図は観測値と 計算値の比較図である.いずれの場合も,陸域の観測データ及び海底地殻変動の観測データは,モ デルによって概ね説明できることがわかる.滑り分布の空間的なパターンは前回とほぼ同様である が,三陸沿岸に近い海域の顕著な余効すべりと,宮城沖1の近くの大きな西向きの正断層的なすべり の双方が,前回の観測結果(会報第89巻p105)からさらに増加している.

参考文献

- 1) 国土地理院, 2012, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 88, 104-142.
- 2) 国土地理院, 2013, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 89, 72-105.
- Yabuki, T., and M. Matsu'ura (1992): Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, Geophys. J. Int., 109, 363-375.



第1図 いわき市〜楢葉町、南相馬市〜相馬市間の上下変動 Fig. 1 Results of leveling survey from Iwaki city to Naraha town, Minami-Souma city to Souma city.





基準期間 . 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3:最終解」 比較期間 . 2013/04/21 -- 2013/04/27 [F3:最終解」





the Pacific coast of Tohoku Earthquake (horizontal).



第3図 2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下) Fig. 3 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).





2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下、コンター) 第4図

Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Fig. 4 (vertical, contour).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(水平)-3ヶ月-

東北地方を中心に東向きの変動が見られる.

基準期間 . 2013/01/21 -- 2013/01/27 【F3:最終解】 比較期間 . 2013/04/21 -- 2013/04/27 【F3:最終解】



- 第5図 2011年東北地方太平洋沖地震後の3ヶ月の地殻変動(水平)
- Fig. 5 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (horizontal).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(上下)-3ヶ月-

宮城県付近の一部観測点で隆起傾向が見られるが、その大きさは小さくなってきている.



第6図 2011年東北地方太平洋沖地震後の3ヶ月の地殻変動(上下) Fig. 6 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (vertical).



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(時系列) 配点図



点番号	点 名	日付	保守内容	点番号	点 名	日付	保守内容
950156	八戸	2012/09/25	アンテナ更新	950155	大鰐	2012/10/02	アンテナ更新
950164	岩泉2	2012/02/09	アンテナ更新	960553	田沢湖	2012/09/14	アンテナ更新
950167	田田	2012/02/04	アンテナ更新	950166	矢巾	2012/01/26	アンテナ更新
051145	岩手川崎A	2012/01/25	アンテナ更新	940031	本荘	2012/02/04	アンテナ更新
960549	矢本	2011/12/16	アンテナ更新	950193	皆瀬	2012/03/10	アンテナ更新
940038	相馬1	2012/01/12	アンテナ更新	071162	新潟山北	2012/09/05	アンテナ更新
940041	いわき	2011/12/13	アンテナ更新	940035	天童	2012/08/21	アンテナ更新
93004	鉾田	2012/02/16	アンテナ更新	950202	猪苗代1	2012/01/13	アンテナ更新
93022	銚子	2012/02/21	アンテナ更新	950218	日光	2012/11/13	アンテナ更新
950462	福江	2012/11/07	アンテナ更新	93016	足立	2012/12/11	アンテナ更新

第7図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(時系列) 配点図

Fig. 7 Time series of crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Site location map).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(1)

岩泉2観測点について見られた地震後の沈降はほぼ停滞している.

成分変化グラフ

期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST

期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST

011/03/11 M9.D

2011/03/11 M9.0

2011/06/11 M9.D

(2) 福江(950462)→岩泉2(950164) 東西

n (2) 福江(950462)→岩泉2(950164) 南北

2011/06/23 M6.9

n (2) 福江(950462)→岩泉2(950164) 比准

2011/06/23 M6:9

2001/09/17 M6.6

081/09/17 M6.6

2011/09/17 M6.6

期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST #FT (950462)→八百(950156) 東西

2011/09/17 W6:6

2011/06/23 .06.9

2011/06/23 16. 9

成分変化グラフ(地震後)

基準值:1131303.378n

13/1

基準値: -104.515m

20 Harris

基準値: 870039.535

m	(1)	福江	(950462)	→八戸(9	50156)	東西		基準値:「	131303.1	.3
3.0	2	011/0	2/11 00				 			F
2.5		1	A		1/09/17	M6.6	 			
1.5		¥		·			 			į
1.0	l						 			h
0.0		_	_	-						۳
D. 5							 			-
1.0	l		1	<u>.</u>			 			Ľ.
2.0	ļ		2011/08	23 10.9			 			ļ
2.5	h						 			ŀ
s. u				1 1	0 1	9/1		A	9/1	
			-		• •			•		

m_(1) 福江(950462)→八戸(950156)	南北	基準値:870039.783m	m	(1) 福江(950462)→八戸	(950156) 南	i#
3.0 2.5 2.0 1.5 2.0 1.5	7 146.6		0.30 0.25 0.20 0.15		2011/09/17	W6.6	
1.0 0.5			0.10	\sim			
-1.0 -1.5 -2.0 2011/06/23 W8:9			-0.10 -0.15 -0.20 -0.25		↑ 06/23.W6.9		
-3.0	12/1 4 7	10 *13/1 4	-0.30	4	7 10	12/1	4
m_(1) 福江(950462)→八戸(950156)	比高	基準值:-104.510m	m	(1) 福江(950462) →八戸	(950156) 段	:高
1.0 0.8 2011/03/11 M9.0 2011/09/1	7 MG. 6		0.10 0.08 0.06		2011/09/17	MG: 6	



●----[F3:最終解] ●----[R3:速報解]

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(2)

山田観測点では地震後、東方向に約98cmの変動が見られる。 山田観測点では地震後の沈降は停滞している。 岩手川崎A観測点では地震時に沈降したが、地震後は降起している。

成分変化グラフ



基準值:1178717.047m



13/1

基準值:-83.059 2011/07/10 17:3

期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST 期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST (4) 福江(950462)→岩手川崎A(051145) 東西 基準值:1122467.950n (4) 福江(950462)→岩手川崎A(051145) 東西 基準值:1122469.580 2011/08/11-19-0 2011/04/07 W7.2 2011/07/10 107.3 2011/07/10 17.3 2011/04/07.07.2 2.5 -0.50 12/1 13/1 福江(950462)→岩手川崎A(05 基準值:691229.21 福江(9 462)→岩手川崎 0 5 .2011/08/11 M9.0 DOLL/04/07-W7-2 -11 2011/07/10.M7.3. 2011/07/10 17: 2011/04/02 17-2 (4) 福江(950462)→岩手川崎A(051145) 比高 基準值:-69.258n 基準值:-69.594m (4) 福江(950462)→岩手川崎A(051145) 比高 .0 2011/05/11 M9.0 0. 10 0. 08 0. 06 0. 04 0. 04 Site and and the 2011/04/07-107-2---2011/07/10 M7.1 2011/07/10 17.3 2011/04/07 M7. 2

● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

第9図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

12/1

Fig. 9 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/10).

第8図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 8 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(3)

<u>矢本観測点、M牡鹿観測点共に地震時には沈降したが、地震後は降起している。</u>



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(4)

相馬1観測点、いわき観測点共に地震時には沈降し、地震後は隆起が継続している。



● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

第10回 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 10 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/10).

- 第11図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
- Fig. 11 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(5)

成分変化グラフ(地震後)

基準值: 1073744.185m

基準值:-68.5324

期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST

2011/04/11 M7.0

(福江 (950462)→録田 (93004) 東西

<u>鉾田観測点、銚子観測点共に地震時には沈降し、地震後は隆起したが、隆起は鈍化しながら継続している。</u>

期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST) 移転工(950462)→鉢田(93004) 東西 展標値: 1073743.710 2011/03/11 M9 2011/04/11 M7.0

2011/03/11 19.0

2011/04/11 M7.0

2011/04/11 M7.0

(10) 福江(950462)→饒子(93022)

m (10) 福江(950462)→魏子(93022) 南北

m (10) 福江(950462)→餘子(93022) 比高

2011/03/11 N9

2011/04/12 M

3.0 2.5 2011/08/11 M9.0

J

2011/04/12 M

Ţ

m (9) #852 (950462) →1 1.0 0.8 2011/03/11 M9.0

成分変化グラフ





2012/03/14 M



2012/03/14 M

● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

第12図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(6)



●----[F3:最終解] ●----[R3:速報解]

第13図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 13 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(7)



成分変化グラフ(地震後)

基準值:0.147m

30.00



● ---- [F3:最終解] ● ---- [R3:速報解]

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(8)



● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

第14図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 14 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/10).

- 第15図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
- Fig. 15 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(9)

. 22

0.40 0.30 0.20 0.10 0.00

成分変化グラフ(地震後)

基準值:1043713.209#

基準值:627935.570m

基準值:15.023m

期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST

) 福江(950462)→天童(940035) 東西

462)→天童(940035) 南北

成分変化グラフ 期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST



(17)	福江(9	50462) → Э	ミ童 (9400	135) 南北	;		基	拳値:627	935. 694m
20	11/03/1	1 NO.0							
	+								
	-		-			-			
1/1	4	7	10	12/1	4	7	10	' 13/1	4
(17)	MILL (C	(50462) → T	- 南 (9400	335) H:酒	6			35.28.48	15.233





● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST

2011/00/11 M9 0

1

0 5 2011/00/11 M9.0

(18) 福江 (950462

1.0 0.8 2011/03/11 M9.0

一猪苗代

第16図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 16 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (9/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(10)

成分変化グラフ(地震後) 成分変化グラフ 期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST 期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST (19) 福江(950462)→日光(950218) 東西 基準值:986240.513 福江(950462)→日光(950218) 東西 基準值:986240.875 2011/00/11 M9.0 Ļ (19) 福江(950462)→目光(950218) 南北 基準值:443292.439 19) 福江(950462)→日光(950218) 南北 基準值:443292.493m 2011/03/11 M9.0 Ţ (19) 福江(950462)→日光(950218) 比高 基準值:239.839 (19) 福江(950462)→日光(950218) 比濃 基準值:239.766 1.0 0.8 2011/03/11 M9.0 WS Solin 期間: 2011/01/01~2013/05/11 JST 期間: 2011/03/12~2013/05/11 JST (20) 福江(950462)→足立(93016) 東西 (20) 福江(950462)→足立(93016) 東西 基準值:1009213.619r 基準值:1009213.826m 2011/00/11 49.0 1 (20) 福江(950462)→足立(93016) 南北 基/#41 : 345047.003 福江(950462)→足立(93016) 南北 MUMAR : 345047 044 2011/08/11 M9.0 Ŧ m (20) 福江 (950462) → 建立 (93016) 比离 1.0 1.8 基準值:-106.237m (20) 福江(950462)→足立(93016) 比違 基準値:-105.280+

● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

第17図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

Fig. 17 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (10/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(1) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江 (950462) - 八戸 (950156)



(分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2	成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ
〔西	+0.0614	55.37	+0.4087		東西	+0.0601	56.50	+0.4115	
北	-0.0821	55.37	-0.4876	1.38	南北	-0.0838	56.50	-0.4864	1.
:下	+0.0089	55.37	+0.0002		 上下	+0.0097	56.50	-0.0008	
100	日間予測残	達平均 (東	〔西/南北/上	下)	10	日間予測残	差平均 (東	西/南北/上	下)
	-0.0054/-0	0.0042/+0	0.0025 [m]			-0.0034/-0	0.0039/+0	.0020 [m]	

 χ^2

1.43

第18図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

南北

上下 +0.0089

Fig. 18 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(2) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江(950462) - 岩泉2(950164)



- 第19図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
- Fig. 19 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(3) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江 (950462) - 山田 (950167)



+0.0029/-0.0021/+0.0151 [m]

10日間予測残差平均(東西/南北/上下) +0.0032/-0.0018/+0.0125 [m]

 χ^2

第20図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似



東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(4) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江(950462) - 岩手川崎A(051145)



100 日間予測残差平均(東西/南北/上下) +0.0030/-0.0043/+0.0115 [m]

10 日間予測残差平均(東西/南北/上下) +0.0037/-0.0037/+0.0133 [m]

第21図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 21 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(5) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江(950462) - 矢本(960549)



100 日間予測残差平均(東西/南北/上下) +0.0022/-0.0028/+0.0155 [m]

-0.5008 +0.088180.74 10日間予測残差平均(東西/南北/上下) +0.0029/-0.0022/+0.0099 [m]

 χ^2

第22図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 22 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(6) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00 【Q3 解】

福江(950462) - M牡鹿(059071)



+0.0034/-0.0019/+0.0144 [m]

第23図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

+0.0009/-0.0031/+0.0178 [m]

Fig. 23 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(7) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江(950462) - 相馬1(940038)



第24図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 24 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(8) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00 【Q3 解】

福江(950462) - いわき(940041)



100 日間予測残差平均(東西/南北/上下) -0.0031/-0.0009/+0.0132 [m]

10日間予測残差平均(東西/南北/上下) -0.0017/-0.0020/+0.0124 [m]

 χ^2

第25図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 25 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(9) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00【Q3 解】

福江 (950462) - 鉾田 (93004)



100 日間予測残差平均(東西/南北/上下) -0.0080/-0.0010/+0.0088 [m]

-0.2897 +0.0217 0.36 10日間予測残差平均(東西/南北/上下) -0.0081/-0.0013/+0.0047 [m]

 χ^2

第26図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 26 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (9/10).

東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 対数関数近似(10) 地震後30日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 ~ 2013/05/20 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - 銚子 (93022)



第 27 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 27 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (10/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 <u>東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない</u>

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



- 第28図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における 地殻変動速度の変化(山田観測点・時系列)
- Fig. 28 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamada site) (1/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 <u>東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない</u>

三隅 (950388) -- 矢本 (960549) 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)

- 第29図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における 地殻変動速度の変化(矢本観測点・時系列)
- Fig. 29 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamoto site) (2/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 <u>東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない</u>

三隅 (950388) -- 相馬1 (940038) 間の成分変位と速度グラフ



- 第30図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における 地殻変動速度の変化(相馬1観測点・時系列)
- Fig. 30 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (3/4).



- 第31図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における 地殻変動速度の変化(銚子観測点・時系列)
- Fig. 31 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Choshi site) (4/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の プレート境界面上の滑り分布モデル一覧

	解析方法	解析期間	解析期間	データ	重みの逆数(誤差)	モデル
		11-11-01-01	11-11-11-11		水平:上下:海底	領域
モデル1	矢吹&松浦	2011/ 2012/ 3/11- 12/26	地震後	Q3	1:3	東北 1
モデル2	時間依存	2011/ 2013/ 3/12- 4/12	地震後	F3 (R3を含む)	1:3	東北 2
モデル3	矢吹&松浦	2011/ 2013/ 4/1 - 1/12	地震後	F3十海底地殻変動	1:3:1	東北2

モデル領域



・点線は沈み込む太平洋プレート上面の等深線 (Nakajima and Hasegawa, 2006). ・太点線はプレート境界 (Bird, 2003)

第32図 2011年東北地方太平洋沖地震 地震時の滑り分布モデル一覧

Fig. 32 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, list of slip distribution model on the plate interface of the mainshock.

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の プレート境界面上の滑り分布モデル(暫定)【モデル1】

データ期間 20110311 18:00 - 20121226 18:00 (Q3解) 固定局:三隅(950388)



☆:本震の震央(気象庁).

・太点線はフィリピン海スラブの北東端 (Uchida et al., 2010, JGR).

・点線は沈み込む太平洋プレート上面の等深線(Nakajima and Hasegawa, 2006).

第33図 2011年東北地方太平洋沖地震 地震後の滑り分布モデル(暫定)【モデル1】

Fig. 33 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, slip distribution on the plate interface after the mainshock (preliminary result). [model 1]

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の 地殻変動ベクトルの観測値と計算値(暫定)【モデル1】



データ期間 20110311 18:00 - 20121226 18:00 (Q3解) 固定局:三隅(950388)

第34図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動ベクトルの観測値と計算値(暫定)【モデル1】 Fig. 34 Observed and calculated crustal deformation and residual between observed and calculated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) 【model 1】.

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の プレート境界面上の滑りの時間変化(1)(暫定)【モデル2】

<u>顕著な滑りの移動は見られない</u>



第 35 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート 境界面上の滑りの時間変化(暫定)【モデル2】 Fig. 35 Spatial and temporal evolution of afterslip

(preliminary result) (1/4) [model 2].

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の



第36図 2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート 境界面上の滑りの時間変化(暫定)【モデル2】 Fig. 36 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (2/4) 【model 2】.



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の

- 境界面上の滑りの時間変化(暫定)【モデル2】
- Fig. 37 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (3/4) [model 2].

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震後の プレート境界面上の滑りの時間変化(4)(暫定)【モデル2】 <u>顕著な滑りの移動は見られない。</u>





第 38 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート 境界面上の滑りの時間変化(暫定)【モデル2】 Fig. 38 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (4/4) 【model 2】.

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の 地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較(2)(暫定)【モデル2】



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の

地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較(1)(暫定)【モデル2】

a) 20110312 - 20110412

d) 20110612 - 20110712

第39図 2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較(暫定)【モデル2】

固定局: 福江 (950462)

Fig. 39 Observed and calculated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (1/4) [model 2].



- 第40図 2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較(暫定)【モデル2】
- Fig. 40 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (2/4) [model 2].

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の 地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較(3)(暫定)【モデル2】



第41図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較(暫定)【モデル2】

Fig. 41 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (3/4) [model 2].

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震後の

地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較(4)(暫定)【モデル2】

データ期間 20110312-20130412 【F3最終解 (R3速報解も含む)】 固定局:福江(950462)



- 第42図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較(暫定)【モデル2】
- Fig. 42 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (4/4) [model 2].

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震後の 地殻変動時系列の観測値(黒丸)と計算値(赤線)(2)(暫定)【モデル2】



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の

第43図 2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動時系列 観測値と計算値(暫定)

Fig. 43 Observed and computed ground displacements (preliminary result) (1/2).



- 第44図 2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動時系列 観測値と計算値(暫定)
- Fig. 44 Observed and computed ground displacements (preliminary result) (2/2).



- 第45図 2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑り分布 および観測値と計算値の比較(暫定)【モデル3】(2012年9月まで)
- Fig. 45 Slip distribution on the plate interface and observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) [model 3] (until 2012/9).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の

プレート境界面上の滑り分布モデルおよび観測値と計算値の比較(暫定)【モデル3】 プレート境界の浅部で西向きの滑りが現れる.



- 第46図 2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑り分布 および観測値と計算値の比較(暫定)【モデル3】(2012年12月まで)
- Fig. 46 Slip distribution on the plate interface and observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) [model 3] (until 2012/12).