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 利府町~石巻市]

第1図は,宮城県利府町から石巻市に至る東西の路線の水準測量結果である.利府町に対 する石巻市側の隆起が見られる.

[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ヶ月間の変動を、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, 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,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,岩手川崎A観測点における 約119cm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40cm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図の最近3ヶ月間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観測点の変動量は2.4cmとなっている.

第6図に最近3ヶ月間の上下変動を示す. 牡鹿半島周辺にわずかな隆起が見られるが, その他の地域では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きにくくなっている.

[GNSS 連続観測 地震前後]

第7~20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回以降に東北地方太平洋沖地震後の期間の時系列を示す.各成分の縦軸は,本震直前の値 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.

第8~17図に示す太平洋岸の10観測点については、第7図に示した地震(余震や誘発地震)に よる跳びを自動で除去し、地震後1年間のデータを除外した期間について対数関数による近似 を行った結果を示した.対数関数の適合処理においては、時定数相当の係数(以下、時定数) について、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.対数曲線は地震後1400 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1490日目までのデータを用 いて推定したものとの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.鉾田、銚子観測点の東西成分については、最近のデータに対数関 数による予測よりもわずかに西向きに逸れる傾向が見られる.上下成分については、牡鹿半島 周辺の観測点について、ばらつきの中心がわずかに予測よりも隆起側に逸れる傾向が見られ る.原因として、プレート境界面上の滑りの減衰傾向に不均一が生じている可能性や、(対数 関数のみでの近似のため)粘性緩和の影響を考慮していないことによる可能性が考えられる.

[GNSS 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動速度]

第21~24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. 上下変動速度は、 銚子観測点については元の速度に戻りつつあるが、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. なお、第21図に示される三隅-山田基線の東西成分の速度に2015年初頭に 見られる一時的な変化は、2015年2月17日に発生した三陸沖の地震によるものである. また、 第24図に示される三隅-銚子基線の変化のうち、南北成分の速度に2011年秋および2014年初頭 に見られる一時的な変化は、2011年10月下旬頃から11月上旬頃までの期間および2014年上旬頃 に発生したSSEに伴う地殻変動の影響、東西成分速度の2012年3月頃に見られる最近の増加傾 向は、2012年3月14日に発生した千葉県東方沖の地震(M6.1)によるものである.

[三陸沖の地震(2/17 M6.9)に伴う地殻変動]

第25~26図は、2015年2月17日に発生した三陸沖の地震(M6.9、最大震度4)に伴うGNSS連 続観測による水平変動ベクトル図および基線変化グラフである.この地震に伴い、東南東方向 にわずかな地殻変動が観測された.

[宮城県沖の地震(5/13 M6.8)に伴う地殻変動]

第27図は、2015年5月13日に発生した三陸沖の地震(M6.8,最大震度5強)に伴うGNSS連続 観測による水平変動ベクトル図および基線変化グラフである.この地震に伴い、大船渡観測点 (岩手県)やS陸前高田観測点(宮城県)で東南東方向に約2cmなど、岩手県から宮城県の太 平洋岸を中心に地殻変動が観測された.

利府町~石巻市間の上下変動

利府町に対する石巻市側の隆起が見られる.



第1図 利府町~石巻市間の上下変動

Fig.1 Results of leveling survey from Rifu town to Ishinomaki city.





- 第2図 2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(水平)
- Fig. 2 Accumulated crustal deformation after the 2011 off 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).



第4図 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)

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





Fig. 5 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (three months , horizontal displacement).



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



各観測局情報

点番号	点 名	日付	保守内容		点番号	点 名	日付	保守内容
950101	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	山田	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
		2014/11/20	受信機交換] [940035	天童	2012/08/21	アンテナ更新
940041	いわき	2011/12/13	アンテナ更新] [950202	猪苗代1	2012/01/13	アンテナ更新
		2013/12/05	レドーム開閉] [950218	日光	2012/11/13	アンテナ更新
93004	鉾田	2012/02/16	アンテナ更新] [93016	足立	2012/12/11	アンテナ更新
93022	銚子	2012/02/21	アンテナ更新]				
950462	福江	2012/11/07	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).

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 366 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江 (950462) - 八戸 (950156)



第8図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 8 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 366 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 岩泉2(950164)



第9図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 9 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 366 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江 (950462) - 山田 (950167)



100 日間予測残差平均 (東西/南北/上下) +0.0070/-0.0014/+0.0075 [m]

	disp =	$a \log(1 + i)$	t/b) + c	
戓分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.3174	111.54	+2.4768	
南北	-0.0894	111.54	-1.7055	1.42
上下	+0.0607	111.54	-0.6714	
15	日間予測残	差平均 (東	西/南北/上	下) 下)
	+0.0087/-	0.0000/+	0.0027 [m]	

第10図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 10 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/10).

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366日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 岩手川崎A (051145)



+0.0033/-0.0032/+0.0085 [m]

第11図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 11 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366日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 矢本(960549)



+0.0008/-0.0033/+0.0096 [m]

	disp =	$a \log(1 + i)$	t/b) + c	
7	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
ij	+0.3109	134.43	+4.1342	
Ł	-0.1122	134.43	-1.2534	1.19
F	+0.1586	134.43	-0.5831	

+0.0019/-0.0024/+0.0088 [m]

第12図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 12 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366日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - M牡鹿(059071)



第13図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 13 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 366 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 相馬1(940038)



+0.0019/-0.0023/+0.0059 [m]

南北	-0.0733	41.14	-0.4164	1.05					
上下	+0.0855	41.14	-0.4449						
15日間予測残差平均 (東西/南北/上下)									
+0.0019/-0.0023/+0.0041 [m]									

第14図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 14 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366日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - いわき(940041)



-0.0050/-0.0013/+0.0026 [m]

第15図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

-0.0050/-0.0014/+0.0039 [m]

Fig. 15 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 366 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 鉾田(93004)



-0.0091/-0.0005/-0.0012 [m]

	$\operatorname{disp} =$	$a\log(1+a)$	t/b) + c	
戓分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0147	9.58	+1.0831	
南北	-0.0234	9.58	-0.0671	2.44
上下	+0.0360	9.58	-0.2835	
15	日間予測残	差平均 (東	西/南北/上	下)
	-0.0083/+	-0.0002/-0	.0030 [m]	

第16図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 16 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366日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/12 ~ 2015/04/25 【F3 解/R3 解】

福江(950462) - 銚子(93022)



第17図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似

Fig. 17 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(1)

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(2)

成分変化グラフ







gm (12) 福江(950462)→田沢湖(960553) 南北 基準值:779986.670m 1 (12) 福江(950462)→田沢湖(960553) 比高 基準值:132 372m 200

期間: 2011/03/12~2015/04/25 JST

.q

150 140

130

14) 福江(950462)→本荘(940031) 東西

期間: 2011/03/12~2015/04/25 JST

2012/1/

cm (12) 相江(950462)→田沢湖(960553) 東西

基準值:1067584.912r

2015/1/

2015/1/

基準值:1008256.053r

7/1 2012/1/1 7/1 2013/1/1 7/1 2014/1/1 7/1 2015/1/1

2013/1/1

2014/1/

•••

期間: 2011/03/12~2015/04/25 JST











●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解] ※グラフの縦軸は2011/03/10の値を0cmとした.

第18図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 18 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/3).





2015/1/ 2014/1/



1 (16	5) 福江	(950462)	→新潟山	北(07116;	2) 比高		1	5年值:-77	ι.
°			-						Ē
5									
		Basel.				die.			
°	106			giá~~	1,1202	1.00		a	
s			•						
·	7/1	2012/1	/1 1/	1 2013	/1/1 7	/1 2014	1/1/1 7	/1 2015	1

2013/1/1

2012/1/ 7/1 2014/1/1 7/1 2015/1/1

7/1

基準值:967472.459n

基準值:647911.497m

2015/1/1

基準值:1022014.934m

2015/1/1

基準值:543211.333m

(18) 福江(950462)→猪苗代1(950202) 東西

2012/1/1

mm (18) 福江(950462)→猪苗代1(950202) 南北

200

170





2013/1/1 2014/1/1 2015/1/1 7/1 7/1





2013/1/1

2014/1/1



●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解] ※グラフの縦軸は2011/03/10の値を0cmとした.

第19図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 19 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/3).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(3)



成分変化グラフ

● ----[F3:最終解] ● ----[R3:速報解]

※グラフの縦軸は2011/03/10の値を0cmとした.

第20図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 20 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/3).

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後に沈隆し、その後降起に転じた</u> <u>東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度には戻っていない</u> 2015年2月17日に発生した三陸沖辺地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 三隅 (950388) -- 山田 (950167) 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21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. 21 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 東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度には戻っていない___

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22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. 22 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 東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度には戻っていない___

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





- 第23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. 23 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (3/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 上下成分については東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻ってきたが、水平成分については戻っていない。 2011年10月下旬頃から11月上旬頃、2014年1月上旬頃に発生したスロースリップ現象に伴う非定常な地殻変動の影響が見られる。 2012年3月14日に発生した千葉県東方洋の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。





※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24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. 24 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Choshi site) (4/4).

三陸沖の地震(2月17日 M6.9)前後の観測データ(1)

この地震に伴いわずかな地殻変動が観測された.



第25図 2015年2月17日三陸沖の地震(M6.9)に伴う地殻変動:水平・3成分 時系列グラフ

Fig. 25 Crustal deformation associated with the M6.9 off the Sanriku earthquake on February 17, 2015 (1/2): horizontal and 3 components time series.

三陸沖の地震(2月17日 M6.9)前後の観測データ(2)

成分変化グラフ



- 第26図 2015年2月17日三陸沖の地震(M6.9)に伴う地殻変動:3成分 時系列グラフ
- Fig. 26 Crustal deformation associated with the M6.9 off the Sanriku earthquake on February 17, 2015 (2/2): 3 components time series.

宮城県沖の地震(5月13日 M6.8)前後の観測データ



この地震に伴い小さな地殻変動が観測された.

第 27 図 2015 年 5 月 13 日宮城県沖の地震(M6.8) に伴う地殻変動:水平・3 成分時系列グラフ Fig. 27 Crustal deformation associated with the M6.8 off the Miyagi prefecture earthquake on May 13, 2015: horizontal and 3 components time series.

●----[F3:最終解] O----[R3:速報解]