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

[GNSS 地震後の変動ベクトル及び等変動量線図]

第1~5 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、全期間の累積及び最近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1~3 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66 km、逆断層・スラブ内地震、地殻変動 GNSSで水平約3 cm 西南西と約5 cm 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6 km、正断層、地殻変動 GNSSで約30 cm 水平と約50 cm の沈降、SARで約2 m)、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0 km、横ずれ、地殻変動北東へ約2.6 cm)、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26 km、右横ずれ、地殻変動約1 cm)、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1.5 cm)、2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3、深さ34 km、最大震度4、地殻変動西方向に約5 mm、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1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136 cm である。

第2図及び第3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、変動ベクトル図及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49cm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4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分かる.この期間における岩手川崎A観測点の変動量は1.5 cm となっている.

第5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6~11 図は、東北地方太平洋沖地震後の東日本における GNSS 連続観測時系列である。第6 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7 図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、地震時及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7~11 図の各観測点の時系列では、東北地方太平洋沖地震の余効変動が減衰しながらも継続している様子が見られる。また、第6 図の地図に示した各地震の影響が、震源近傍の観測点で見ら

れる.

第7~9図上段に示す太平洋岸の10観測点では、(2) 岩泉2観測点と(3) 山田観測点を除き、 地震直後から隆起が継続している. なお、岩泉2観測点及び山田観測点についても、2013年以降 はそれまでの沈降傾向が反転し、隆起となっている.

第9図下段から第11図の西側の観測点10点では、地震直後からの沈降、または隆起が減衰しながらも継続している。

[GNSS 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動速度]

第12~17 図は、三隅観測点に対する宮古、山田、矢本、相馬1、銚子、皆瀬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分かる。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、その他の宮古、山田、矢本、相馬1 観測点については隆起傾向、皆瀬観測点は沈降傾向が続いている。

第12図の三隅-宮古基線及び第13図の三隅-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及び2015年5月13日に発生した宮城県沖の地震によるものである。

第15図の三隅 - 相馬1基線の東西成分・南北成分の速度に2016年末頃に見られる一時的な変化は、2016年11月22日に発生した福島県沖の地震によるものである。

第16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 年秋及び 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及び 2014 年上旬 頃に発生したスロースリップイベント (SSE) に伴う地殻変動の影響、東西成分速度の 2012 年 3 月頃に見られる一時的な変化は、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。

「GNSS 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験]

第18~26 図は、東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験に関する資料である。GEONET の F3 解による地殻変動 3 成分(東西、南北、上下)の時系列データに対して関数近似を行い、これを外挿することで、余効変動の予測を試みる取り組みで、時定数の異なる対数関数と指数関数を組み合わせた混合モデルによる近似結果と予測結果を報告している。ただし、こうした余効変動の予測は非常に困難で、かつ研究初期段階にあり、その手法は確立していない。

地震後の上下変動の推移が異なる各地域を代表する4つの観測点,宮城県の「矢本」(隆起の後,隆起),千葉県の「銚子」(隆起の後,停滞),岩手県の「宮古」(沈降の後,隆起),秋田県の「皆瀬」(沈降の後,沈降)について、それぞれ地震後2年間のデータによる関数フィッティングの結果と、その後現在までの(約5.8年間の)予測能力の評価を示した後、それぞれ地震後20年間の余効変動予測結果を示した。

今回はモデル (2) (ダブル対数・指数モデル)の資料を掲載している。第19~22 図は、地震後2年間の近似期間による予測(赤)と地震後5.8年間の観測値(灰色)の比較を示している。図からわかるように、地殻変動は、おおむね予測の範囲内で進行しており、モデル(2)の予測能力が良好であると同時に、顕著なずれは見られないことが確認できる。なお、各図の下に掲載している関数近似結果及び予測部分の標準偏差は、モデル(2)全体(4観測点同時・3成分同時推定)での

値である.

第 23 ~ 26 図は、モデル(2)に基づく地震後 20 年間の余効変動の予測である。今回は、直近まで(地震後 5.8 年まで)のデータを用いた予測に加え、地震後 2 年間のデータを用いた予測を併せて示している。用いたデータ期間によって、定量的には西向きへの反転時期や地震時沈降回復時期に関する予測結果が異なっている。

長期的な変動速度は定常速度に近づくことになるため、定常速度は余効変動予測において重要である。しかし残念ながら、関数近似の際の非線形最小二乗推定において定常速度を推定パラメータに含めると、グローバル解を安定的に得ることが難しい。そのため、ここではグローバル解を得るために、定常速度は推定せず、1997年4月から2000年3月の各観測点の平均速度と同じであると仮定し与えている。今後、余効変動の実データによる検証を行うことによって、これらの余効変動予測モデルの実力がわかると同時に、定常速度が地震サイクルの中で一定であるかどうかがわかる可能性がある。

[水準測量]

第27~34 図は、東北地方の太平洋側の地域で2016年9~11 月に行われた水準測量の結果に関する資料である。前回の観測は主に東北地方太平洋沖地震後の2011年7~11 月に行われており、最新の結果は東北地方太平洋沖地震の後の余効変動を示している。

第27図に水準測量を行った路線と環閉合差、それぞれの路線別の結果を示した図番号を記載している。

第28 図は、今回の水準測量で得られたデータの網平均結果と、2011 年7~12 月に実施された水準測量で得られたデータの網平均結果とを比較して得られた上下変動の分布である。それぞれの網平均計算においては、水準原点と二戸市にある一等水準点5527-2 の2 点を固定した。GEONET の観測結果から、固定した水準点での変動量はほぼ0と考えられることから、2011年の標高値を適用した。牡鹿半島付近で最も大きな隆起が見られ、南北に離れるに従い、隆起量が減少する。水準測量による結果とGEONET の観測結果とは直接比較はできないが、概ね整合的な結果となっている。

第29回は、福島県いわき市から相馬市に至る南北の路線の水準測量結果である。相馬市側に対して浪江町~南相馬市付近で沈降が見られる。楢葉町より南側では特段の変動は見られない。

第30図は、福島県相馬市から岩手県北上市に至る南北の路線の水準測量結果である。相馬市に対して岩手県平泉町〜北上市付近で沈降が見られる。

第31 図は、北上市から青森県五戸町に至る南北の路線の水準測量結果である。五戸町に対して 北上市~盛岡市付近で隆起が見られる。

第32回は、宮城県仙台市から石巻市に至る東西の路線の水準測量結果である。太平洋沿岸域に向かって隆起が見られる。

第33回は、宮城県石巻市から岩手県釜石市に至る太平洋沿岸の南北の路線の水準測量結果である。釜石市側に対して石巻市側で隆起が見られる。

第34回は、岩手県釜石市から青森県五戸町にいたる太平洋沿岸の南北の路線の水準測量結果である。五戸町に対して釜石市〜宮古市付近で隆起が見られる。

[福島県沖の地震 地震に伴う地殻変動 GNSS]

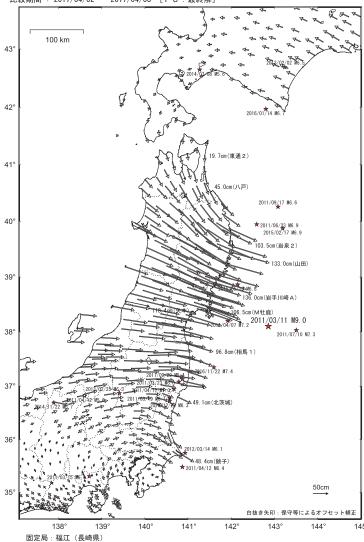
第35図は、2016年11月22日に発生した福島県沖の地震(M7.4、最大震度5弱)に伴う地殻変動を示すGNSS連続観測による水平変動ベクトル図及び基線変化グラフである。この地震に伴い、福島県の小高観測点で北西方向へ約4cm、楢葉A観測点で西北西方向へ約3cm変位するなど、震央周辺の観測点で地殻変動が観測された。下段は上記2観測点の3成分時系列グラフである。地震時に各成分でステップ的な変化が見られる。

[福島県沖の地震 震源断層モデル]

第 36 図は、GNSS 連続観測により得られた地殻変動に基づき推定した震源断層モデルである。 南西 – 北東走向で南東傾斜の断層が正断層性の滑りをしたと推定された。長さ約 45 km、幅約 18 km の断層が約 0.8 m 滑ったと推定され、計算されるモーメントマグニチュードは約 6.8 cm である。

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(水平)一累積一 東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られる。

基準期間: 2011/03/12 — 2011/03/12 [F3:最終解] 比較期間: 2017/04/02 — 2017/04/08 [F3:最終解]



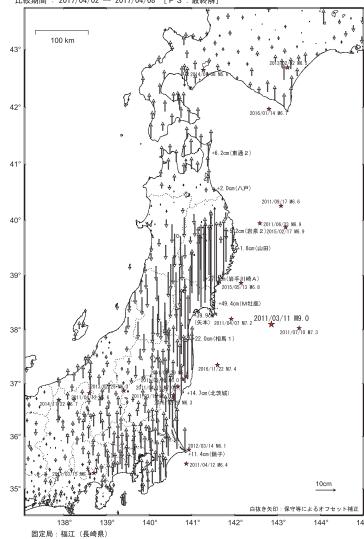
第1図 2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(水平)

Fig. 1 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (horizontal).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(上下)一累積一

宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸に隆起が、岩手県沿岸と奥羽背梁山脈付近に沈降が見られる。 関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が見られる。

基準期間: 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3:最終解] 比較期間: 2017/04/02 -- 2017/04/08 [F3:最終解]



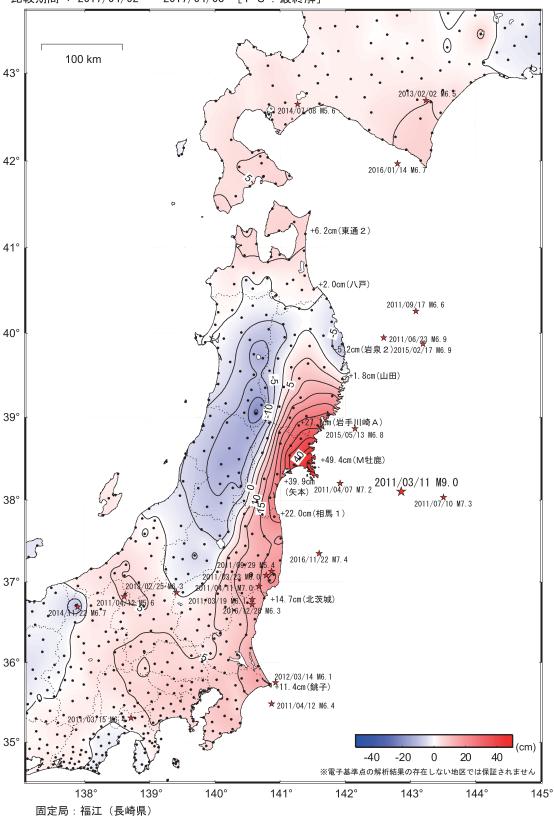
第2図 2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下)

Fig. 2 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(上下)一累積-

宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸に隆起が、岩手県沿岸と奥羽背梁山脈付近に沈降が見られる。 関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が見られる。

基準期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3:最終解] 比較期間 : 2017/04/02 -- 2017/04/08 [F3:最終解]

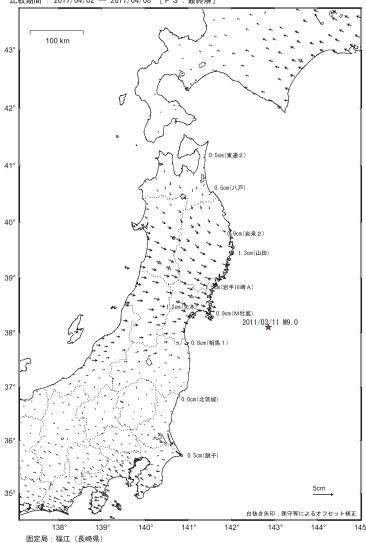


第3図 2011年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下、コンター)

Fig. 3 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical, contour).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(水平)一3ヶ月一 東北地方を中心に東向きの変動が見られる。

基準期間: 2017/01/02 -- 2017/01/08 [F3:最終解] 比較期間: 2017/04/02 -- 2017/04/08 [F3:最終解]

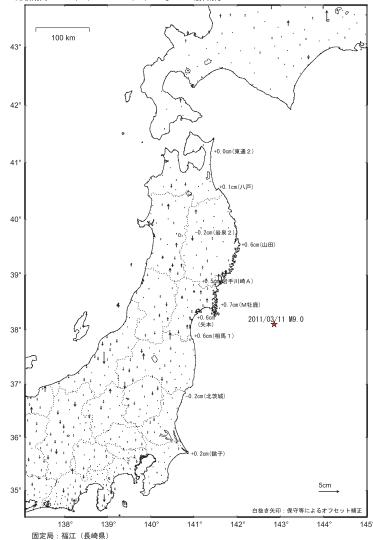


第4図 2011年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(最近3ヶ月、水平)

Fig. 4 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (three months , horizontal displacement).

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(上下)一3ヶ月一宮城県付近の一部創場長で降転傾向が見られるが、その大きなけれるくなってきている。

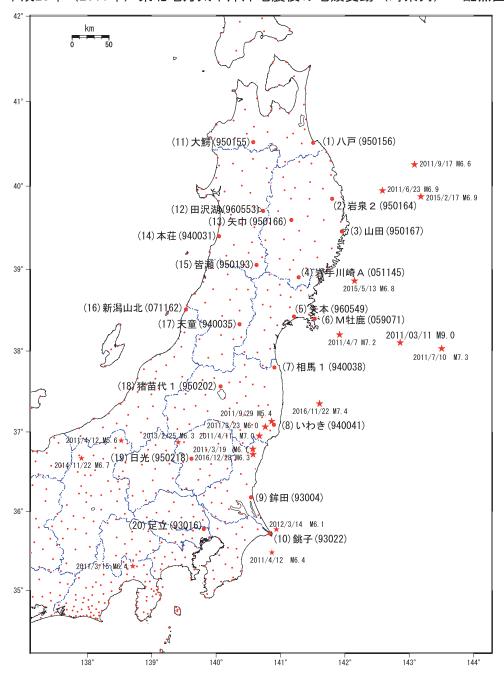
基準期間: 2017/01/02 -- 2017/01/08 [F3: 最終解] 比較期間: 2017/04/02 -- 2017/04/08 [F3: 最終解]



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

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) 配点図



各観測局情報

点番号	点 名	日 付	保守内容
950156	八戸	2012/09/25	アンテナ更新
950164	岩泉2	2012/02/09	アンテナ更新
950167	山田	2012/02/04	アンテナ更新
051145	岩手川崎A	2012/01/25	アンテナ更新
960549	矢本	2011/12/16	アンテナ更新
		2016/12/02	受信機交換
940038	相馬1	2012/01/12	アンテナ更新
		2014/11/20	受信機交換
940041	いわき	2011/12/13	アンテナ更新
		2013/12/05	レドーム開閉
93004	鉾田	2012/02/16	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

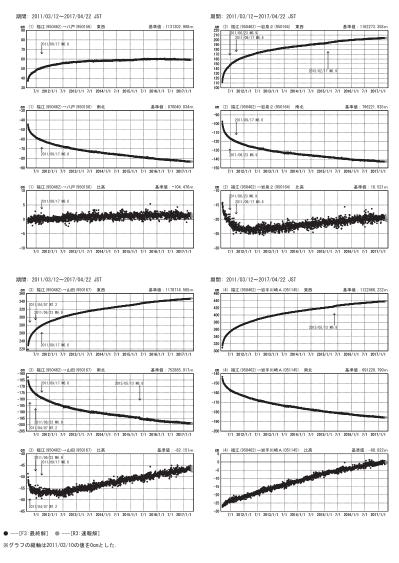
点番号	点 名	日 付	保守内容	
950155	大鰐	2012/10/02	アンテナ更新	
960553	田沢湖	2012/09/14	アンテナ更新	
950166	矢巾	2012/01/26	アンテナ更新	
940031	本荘	2012/02/04	アンテナ更新	
950193	皆瀬	2012/03/10	アンテナ更新	
071162	新潟山北	2012/09/05	アンテナ更新	
		2016/12/01	受信機交換	
940035	天童	2012/08/21	アンテナ更新	
950202	猪苗代1	2012/01/13	アンテナ更新	
		2015/04/06	アンテナ交換	
950218	日光	2012/11/13	アンテナ更新	
93016	足立	2012/12/11	アンテナ更新	
		2016/12/28	アンテナ交換	

第6図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動(時系列) 配点図及び保守状況

Fig. 6 Time series of crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Site location map and history of maintenance).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(1)

成分変化グラフ

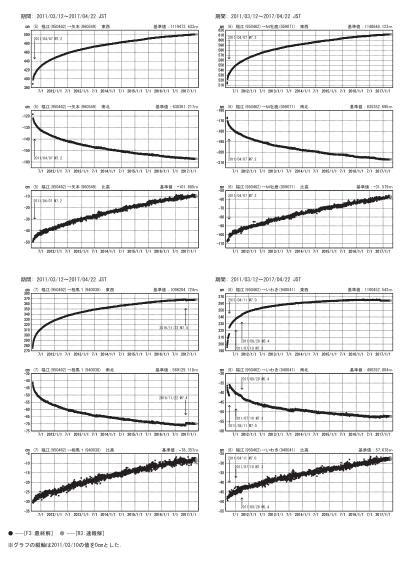


第7図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 7 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/5).

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

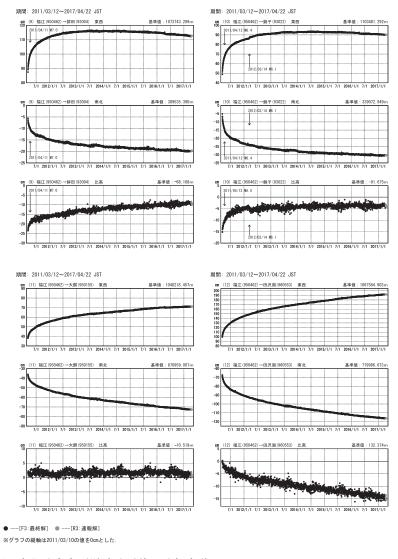


第8図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 8 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/5).

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

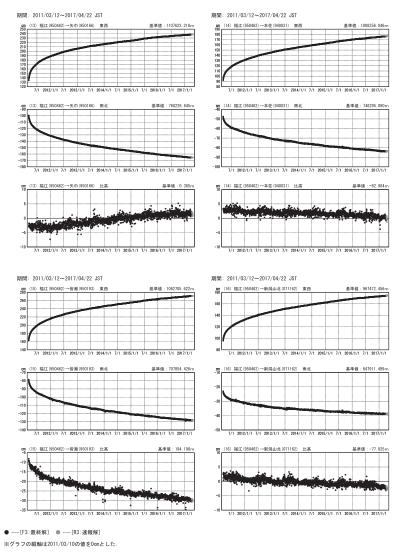


第9図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 9 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/5).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(4)

成分変化グラフ

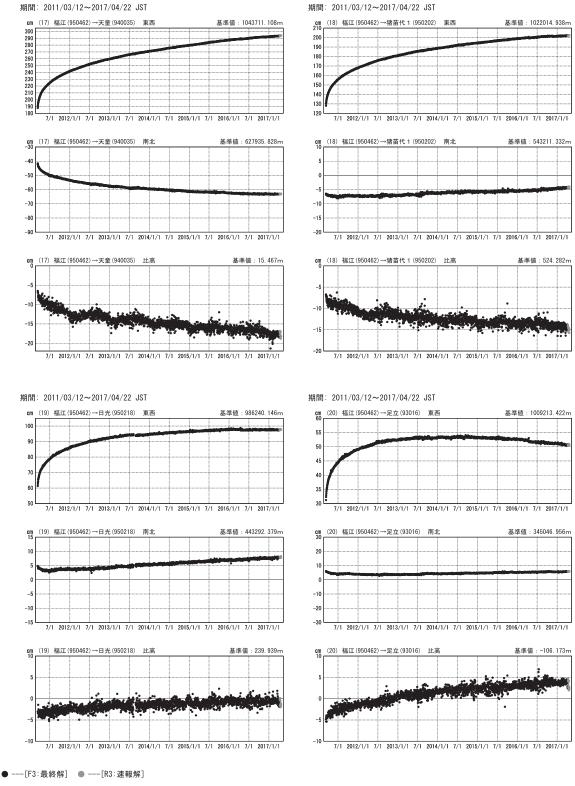


第10図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 10 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/5).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(5)

成分変化グラフ



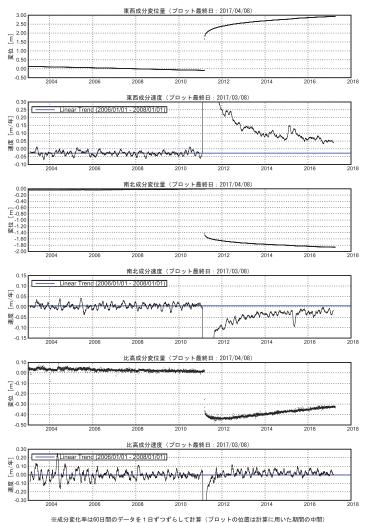
※グラフの縦軸は2011/03/10の値を0cmとした.

第11図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 11 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/5).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動 東北地方太平洋沖地震後に沈降し、その後隆起に転じた。

2015年2月17日に発生した三陸沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 2015年5月13日に発生した宮城県沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 三隅(950388) -- 宮古(940028) 間の成分変位と速度グラフ

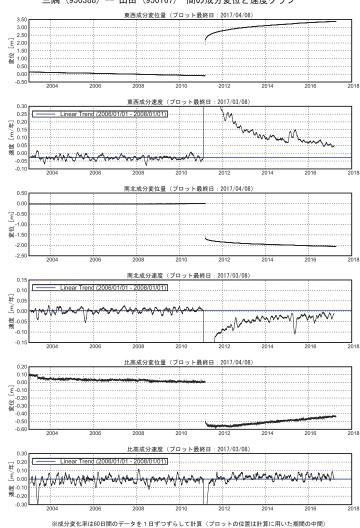


第12図 東北地方太平洋岸のGEONET観測点における地殻変動速度の変化(宮古観 測点・時系列)

Fig. 12 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Miyako site) (1/6).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

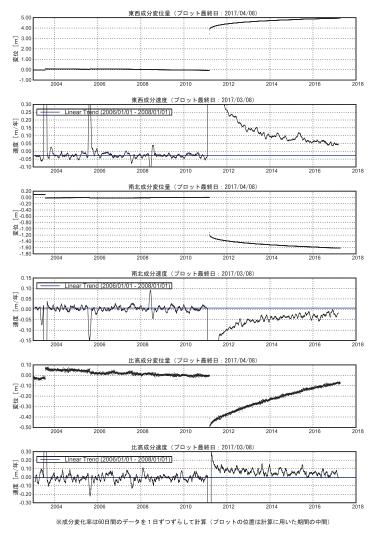
東北地方太平洋沖地震後に沈隆し、その後隆起に転じた。 2015年2月17日に発生した三陸沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 2015年5月13日に発生した宮城県中の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 三隅(950388) - 山田(950167) 間の成分変位と速度グラフ



第13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. 13 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamada site) (2/6).

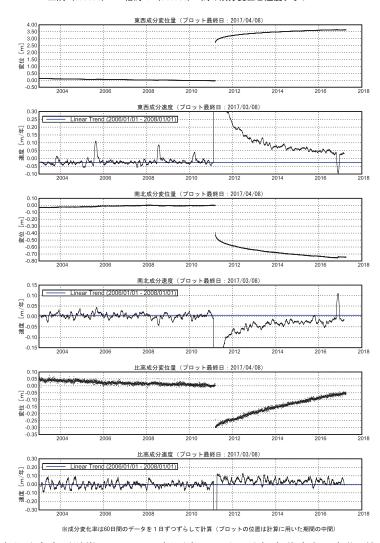
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動 東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度には戻っていない。 2015年5月13日に発生した宮城県沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 三隅(950388) -- 矢本(960549) 間の成分変位と速度グラフ



第14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. 14 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamoto site) (3/6).

平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動 東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度には長っていない。 2016年11月22日に発生した福島県沖の地震に使う地殻変動の影響が見られる。 三隅(950388) — 相馬 1(940038) 間の成分変位と速度グラフ

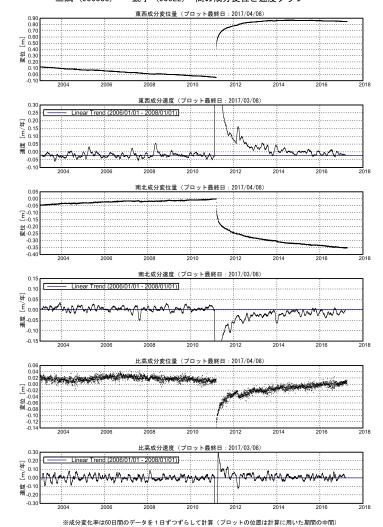


第15図 東北地方太平洋岸のGEONET 観測点における地殻変動速度の変化(相馬1 観測点・時系列)

Fig. 15 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (4/6).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

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沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。 三隅(950388) - 銚子 (93022) 間の成分変位と速度グラフ



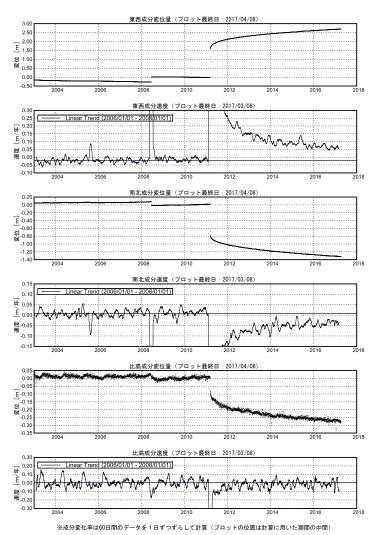
第16図 東北地方太平洋岸のGEONET 観測点における地殻変動速度の変化(銚子観測点・時系列)

Fig. 16 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Choshi site) (5/6).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動

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。 2015年5月13日に発生した宮城県沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。

三隅(950388) -- 皆瀬(950193) 間の成分変位と速度グラフ



第17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(皆瀬観測点・時系列)

Fig. 17 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Minase site) (6/6).

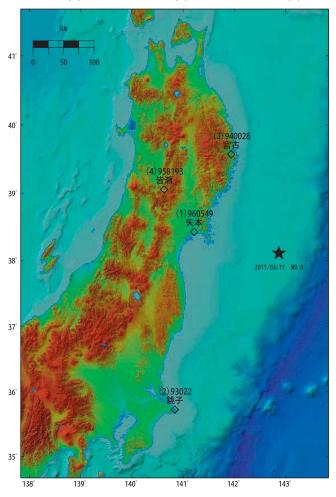
東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(説明)

モデル一覧

モデルタ	モデル名	モデル式	資料ページ	
		E77024	予測値と観測値の比較	20 年予測
1	対数 + 指数混合	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c - d \exp\left(-\frac{t}{e}\right) + Vt$	_	_
2	ダブル対数 + 指数	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c + d \ln\left(1 + \frac{t}{e}\right) - f \exp\left(-\frac{t}{g}\right) + Vt$	第27図-第30図	第31図-第34図
3	対数 + ダブル指数	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c - d \exp\left(-\frac{t}{e}\right) - f \exp\left(-\frac{t}{g}\right) + Vt$	_	_

観測点一覧

(1) 矢本 (960549) (2) 銚子 (93022) (3) 宮古 (940028) (4) 皆瀬 (950193)



本図は地理院地図を使用して作成している. なお,海域部は海上保安庁; 洋情報部の資料を使用している.

第18図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(説明)

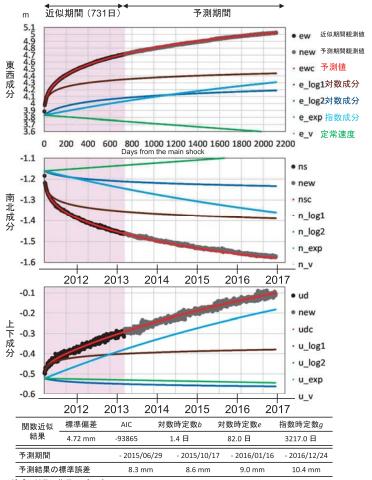
Fig. 18 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (explanation).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(1)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2016/12/24【F3解】 福江(950462)-矢本(960549) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

ダブル対数+指数関数モデルによる2年間のデータに基づく予測は依然良好。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt$
- ・時定数b,e,gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度Vは、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第19図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

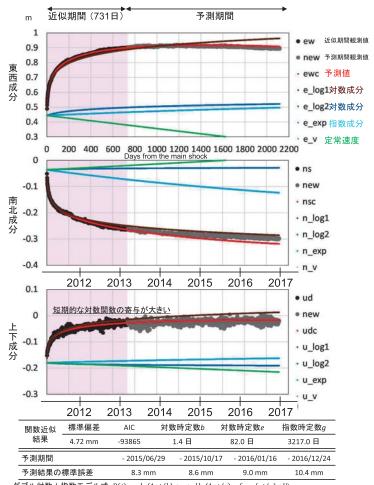
Fig. 19 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(2)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2016/12/24【F3解】 福江(950462)-銚子(93022) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

短期的な対数関数の寄与が大きい。わずかに過大予測傾向。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt$
- ・時定数b, e, gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度1/は、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第20図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

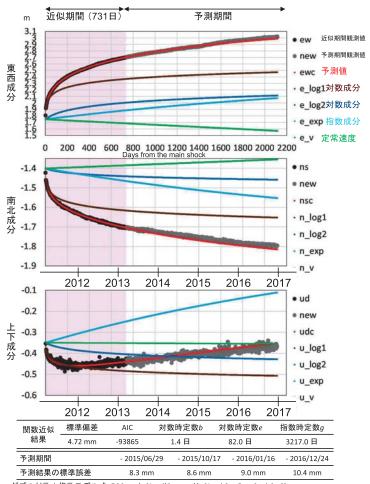
Fig. 20 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(3)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2016/12/24【F3解】 福江(950462)-宮古(940028) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

予測は依然良好。短期的な沈降と指数による長期的降起で説明。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t) = a \ln(1+t/b) + c + d \ln(1+t/e) f \exp(-t/g) + Vt$
- ・時定数b,e,gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下) 共通として推定。
- ・定常速度Vは、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第21図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

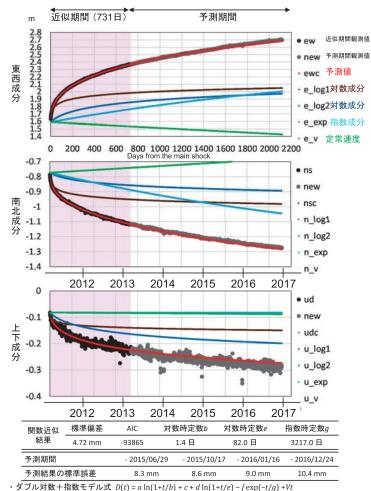
Fig. 21 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(4)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2016/12/24【F3解】 福江(950462)-皆瀬(950193) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

予測は依然良好。短期も中期も沈降。



- ・時定数b,e,gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度Vは、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第22図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

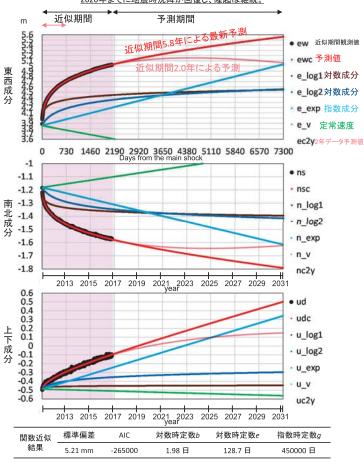
Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(5)

モデル2

近似期間 2011/03/12- 2016/12/24(2115日) 最終データ 2016/12/24 [F3解] 20年予測 福江(950462)-矢本(960549) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

2年間データに基づくピンクの予測値は西向き反転、赤の5.8年データでは東向き継続。 2020年までに地震時沈降が回復し、隆起は継続。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t) = a \ln(1+t/b) + c + d \ln(1+t/e) f \exp(-t/g) + Vt$
- ・時定数b, e, gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下) 共通として推定。
- ・定常速度1/は、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第23図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

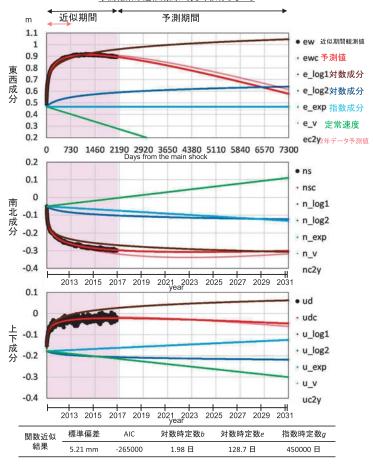
Fig. 23 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(6)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2016/12/24(2115日) 最終データ 2016/12/24 [F3解] 20年予測 福江(950462)-銚子(93022) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

<u>今後西向きが加速、定常沈降に向けてゆっくりと沈降に転じる。</u> 予測結果は近似期間にあまり依存しない。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt$
- ・時定数b,e,gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度1/は、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第24図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

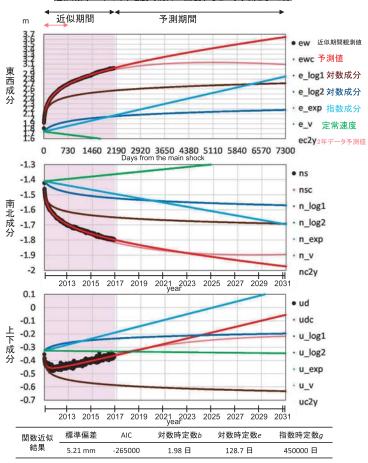
ig. 24 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(7)

モデル2

近似期間 2011/03/12-2016/12/24(2115日) 最終データ 2016/12/24【F3解】 20年予測 福江(950462)-宮古(940028) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

沈降から隆起に転じ、隆起は継続。 近似期間5.8年では、地震時沈降が回復するという予測となった。



- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t) = a \ln(1+t/b) + c + d \ln(1+t/e) f \exp(-t/g) + Vt$
- ・時定数b,e,gをそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度1/は、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第25図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

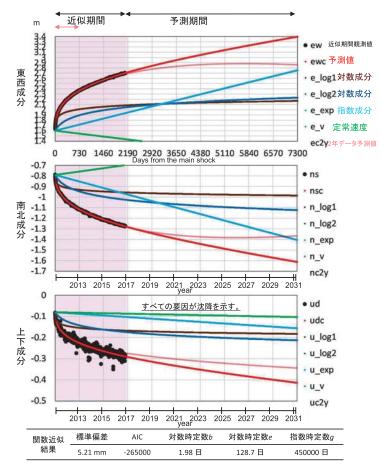
Fig. 25 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/8).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(8)

モデル2

近似期間 2011/03/12- 2016/12/24(2115日) 最終データ 2016/12/24 [F3解] 20年予測 福江(950462)-皆瀬(950193) 4観測点同時・3成分同時推定 ダブル対数+指数モデル

近似期間により西向きへの反転時期が異なる。沈降速度は速め。

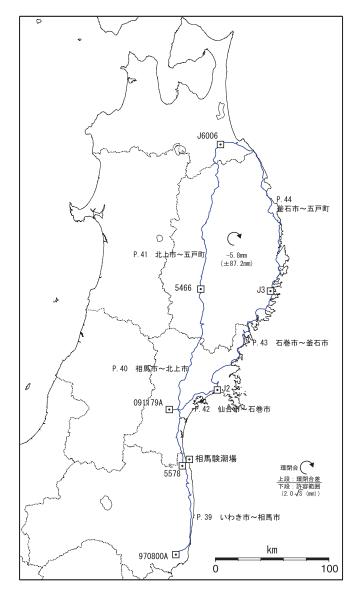


- ・ダブル対数+指数モデル式 $D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt$
- ・時定数*b, e, g*をそれぞれ、4観測点・3成分(東西・南北・上下)共通として推定。
- ・定常速度Vは、1997/4/1-2000/3/31観測値の近似直線の傾きの値で固定。

第26図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

ig. 26 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/8).

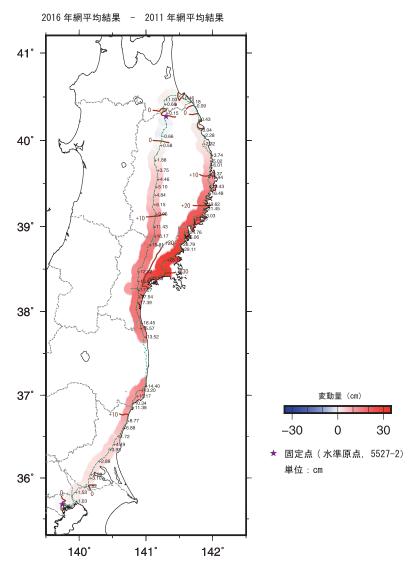
平成28年度 東北地方水準測量 路線図



第27図 平成28年度東北地方水準測量路線図

Fig. 27 The route of leveling surveys of Tohoku district in 2016.

東北地方の上下変動

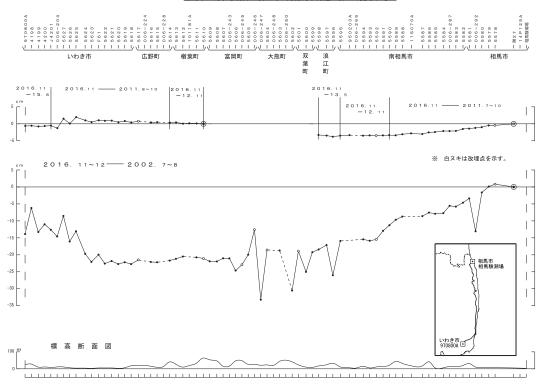


第28図 水準測量による東北地方の上下変動

Fig. 28 Vertical movement in Tohoku district by leveling survey.

いわき市~相馬市間の上下変動

相馬市に対する沈降が浪江町~南相馬市付近において見られる.

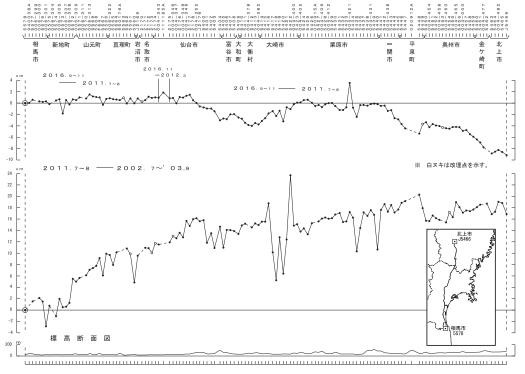


第29図 いわき市~相馬市間の上下変動

Fig. 29 Results of leveling survey from Iwaki city to Soma city.

相馬市~北上市間の上下変動

相馬市に対する沈降が平泉町~北上市付近において見られる.

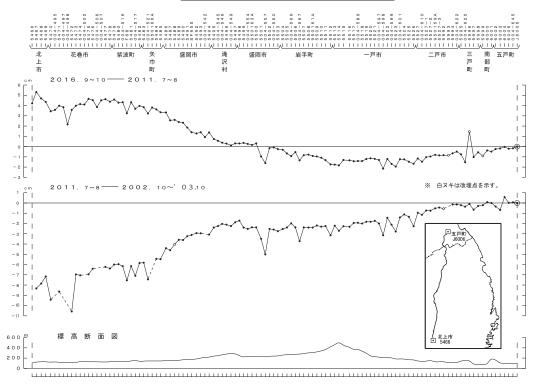


第30図 相馬市~北上市間の上下変動

Fig. 30 Results of leveling survey from Soma city to Kitakami city.

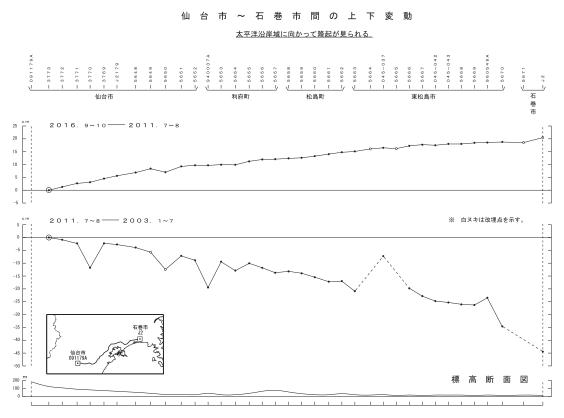
北上市~五戸町間の上下変動

五戸町に対する隆起が北上市~盛岡市付近にかけてみられる.



第31図 北上市~五戸町間の上下変動

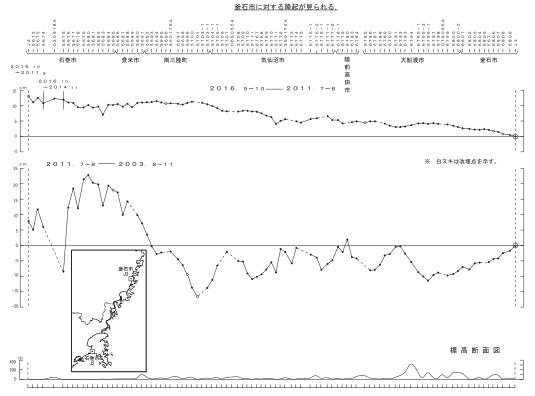
Fig. 31 Results of leveling survey from Kitakami city to Gonohe town.



第32図 仙台市~石巻市間の上下変動

Fig. 32 Results of leveling survey from Sendai city to Ishinomaki city.

石巻市~釜石市間の上下変動



第33図 石巻市~釜石市間の上下変動

Fig. 33 Results of leveling survey from Ishinomaki city to Kamaishi city.

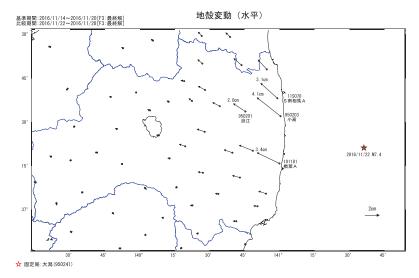
釜石市~五戸町間の上下変動

第34図 釜石市~五戸町間の上下変動

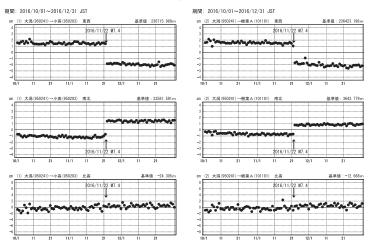
Fig. 34 Results of leveling survey from Kamaishi city to Gonohe town.

福島県沖の地震(11月22日 M7.4)に伴う地殻変動

この地震に伴い地殻変動が観測された。





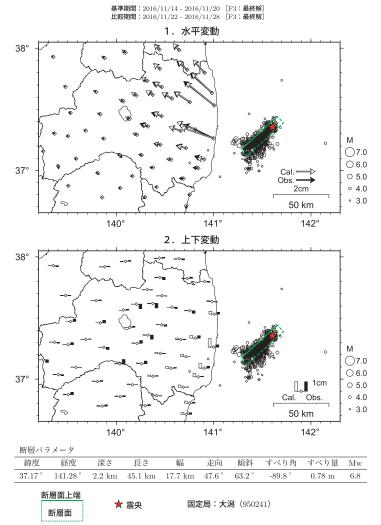


第35図 2016年11月22日福島県沖の地震 (M7.4) に伴う地殻変動:水平・3成分時系列グラフ

Fig. 35 Crustal deformation associated with the M7.4 off the Fukushima prefecture earthquake on November 22, 2016: horizontal and 3 components time series.

福島県沖の地震(2016年11月22日 M;7.4)の震源断層モデル

南東傾斜の正断層すべり(長さ 45km, 幅 18km, すべり量約 80cm, Mw6.8)と推定された.



・余震分布 (M≥3.0) は、気象庁一元化震源(20161122 05:59JST-20161129 23:59JST)を使用した。

第36図 福島県沖の地震(2016年11月22日、M7.4)の震源断層モデル

Fig. 36 Rectangular fault model of the M7.4 off the Fukushima prefecture earthquake on November 22, 2016.