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 東北地方太平洋沖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か月間の変動を、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1図は地震後の全期間における水平変動の累積を示している.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. 岩手川崎 A 観測点における変動量は約 154cm である.

第2~3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。岩手県三陸北部沿岸と奥羽脊梁山脈付近で沈降が見られる一方、岩手県 南部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 67cm 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か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1.3cmとなっている.

第5図に最近3か月間の上下変動を示す.ノイズレベルを超える変動は見られない.

[GNSS 連続観測 東北地方太平洋沖地震後]

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。

第7図~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図~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、又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前後の地殻変動速度]

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.水平変動速度は、銚子観測点の東西成分では元の速度に戻り つつあるが、それ以外の観測点では、徐々に減衰しつつあるものの地震前の速度には戻っておらず、 余効変動が継続していることが分かる.上下変動速度は、銚子観測点では元の速度に戻りつつある が、そのほかの宮古、山田、矢本、相馬1 観測点は隆起傾向、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回に示される三隅-銚子基線の変化のうち,南北成分の速度に2011年秋,2014年初頭及び2018年夏に見られる一時的な変化は,それぞれ2011年10月下旬頃から11月上旬頃まで,2014年1月上旬頃及び2018年6月頃に発生したSSEに伴う地殻変動の影響である.また,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.

[変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配 北海道~関東地方]

第18~20 図は,GEONET の最終解(F3)から得られる変位速度分布から,プレート収束方向に 関する水平勾配を計算し,北海道地方から関東地方まで千島海溝と日本海溝の平均走向に沿った水 平勾配の分布を示したものである.各観測点について最近5年間の時系列から年周・半年周成分と 地震時等のオフセットを推定,除去し,最近1年間における水平,上下方向の変位の線形速度を求め, プレート収束方向に沿った帯状領域毎に,水平方向(プレート収束方向)及び上下方向の変位速度 の空間分布から水平勾配を計算する.

この地域にある観測点は陸側プレート上だけに分布しているため、一般に、地震間でプレート間 固着していると、海溝に近いほど陸向きの速度が大きくかつ沈降速度が大きくなる.

第18図は,最近1年間における帯状領域毎の水平勾配のプロファイルである.水平方向の勾配は, 東北地方太平洋沖地震の震源に近いところでは海溝側ほど大きいが,それ以外の場所では逆向きに なっている.一方,上下方向では,東北地方から関東地方にかけた広い範囲で海溝側ほど隆起する(も しくは沈降が小さくなる)傾向が見られる.

第19図は,水平勾配の時空間変化である.2011年以降,水平方向は北緯38°~41°付近,上下 方向は37°~40°付近で負から正に変化し,東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響と考えられる. 一方,北緯36°~38°付近の水平方向では,東北地方太平洋沖地震の後に一時正となった後,負に 変化しており,余効変動(粘性緩和)の影響とともに固着の回復が重なって見えている可能性がある.

第20図の東北地方太平洋沖地震の前,及び直後の時期の結果と比較すると,第18図の最近の結果では,東北地方太平洋沖地震の余効変動は小さくなっているとしても,これらの図と比べ第18図の図では,広い範囲において未だ地震前の状態には戻っていないことが分かる.



東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(水平)一累積一 <u>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</u>.

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).



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).





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



第4図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(最近3か月、水平) Fig. 4 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for recent three months (horizontal).



第5図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(最近3か月、上下) Fig. 5 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for recent three months (vertical).



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



93004

93022

950155

960553

鉾田

銚子

大鰐

田沢湖

2013/12/05 ビドーム
2017/11/01 受信機交
2012/02/16 スパーナ

 2020/01/30
 受信機交

 2012/10/02
 アンテナ!

2017/12/04 受信機交 2012/09/14 アンテナリ

2012/02/16
 2012/02/16
 アンテナ更

 2019/05/09
 受信機交換

 2012/02/21
 アンテナ更

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).

950218 93016

950462

日光

福江

2012/11/13 アンテナ更業 2012/12/11 アンテナ更業

2016/12/28 2018/03/19 受信機交換

<u>2012/11/07</u> 2016/02/17 受信機交割

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(1/5)

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(2/5)

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(3/5)

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(4/5)

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

第11図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(5/5)

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



※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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Miyako station.



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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Yamada station.



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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Yamoto station.



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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Souma-1 station.



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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Choshi station.



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 deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Minase station.



変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配

データ期間内に発生した地震や保守作業によるオフセットは除去している。

幅±30kmの各帯状領域内の観測点から変位速度の空間勾配を計算している(速度の基準は三隅)。水平 成分は、プレート収束方向(北海道:N120°E、東北〜関東地方:N105°E)の速度から計算している。

速度勾配は、海溝側ほど海溝方向、隆起の速度が大きくなる場合を正(海側)にとっている。

本解析は、海洋研究開発機構 飯沼卓史氏から提供頂いたプログラム(Iinuma 2018)を使用している。

第18図 変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配

Fig. 18 Spatial (trench-parallel) variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: horizontal and vertical rate components are shown with bars in red and blue, respectively.



変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配の時系列

各帯状領域の中心線が経度140°と交わる点の緯度を、横軸にとっている

海溝側ほど海溝方向、隆起の速度が大きくなる場合を正にとっている。

第19図 変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配(時系列)

Fig. 19 Spatio-temporal variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: horizontal (vertical) rate components are shown on top (bottom) panel.

変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配 (北海道〜関東地方)比較用(F3解)



- 左の図は、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震前の5年間の期間で推定した変位速度の 空間勾配を表す。
- 右の図は、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震直後の1年間の期間で推定した変位速度の 空間勾配を表す。

第20図 変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配(比較用)

Fig. 20 Spatial (trench-parallel) variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: (left) for five-year period of time before, and (right) for one year right after, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.