3-2 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 岩沼市~利府町]

第1図は、宮城県岩沼市から利府町に至る東西の路線の水準測量結果である.参考として、右側に 昨年度行われた利府町から石巻市に至る路線の結果も示す.岩沼市に対する利府町側の隆起が見ら れ、全体として東に向かうほど隆起量が大きいという傾向を示している.

[水準測量 新発田市~会津若松市]

第2図は、新潟県新発田市から福島県会津若松市に至る東西の路線の水準測量結果である.最上段 のグラフについては、今回の観測が2015年8~9月、前回の観測は2002年であり、東北地方太平洋沖 地震の地震時変動と余効変動を含んでいる.会津若松市に対する新発田市側の隆起が見られる.

[水準測量 会津若松市~いわき市]

第3図は、福島県会津若松市から郡山市を経ていわき市に至る東西の路線の水準測量結果である. 最上段のグラフは2011年7月以降の変動であり、会津若松市に対するいわき市側の顕著な隆起が見られる.

[GNSS 地震後の変動ベクトルおよび等変動量線図]

第4~8回は、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4~6 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4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126cmである.

第5図および第6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42cm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7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2.1cmとなっている.

第8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9~14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 9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10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10~14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9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10~12図上段に示す太平洋岸の10観測点では,(2)岩泉観測点と(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,岩泉観測点およ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12図上段から第14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15~20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.なお、第15図の三隅 一宮古基線および第16図の三隅一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および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.また、第20図に示される三隅一皆瀬基線の変化のうち、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21~37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という従来からの取り組み の延長であるが,今回は予測能力の向上を図り,時定数の異なる対数関数と指数関数を組 み合わせたモデルを適用している.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2.3年間の)予測能力の評価を示 した.

第22~25図が,対数関数成分と指数関数成分の和からなる(1)対数・指数関数混合モデル, 第26~29図が時定数の異なる2つの対数関数と指数関数の和からなる(2)ダブル対数・指数 モデル,第30~33図が対数関数と時定数の異なる2つの指数関数の和からなる(3)対数・ダ ブル指数モデルの資料である.

推定パラメータの多いモデルの非線形最小二乗推定においては、一般にグローバル解を 得ることが困難であるが、4観測点の3成分を同時に推定する等の工夫により、比較的安定 してグローバル解を得ることができるようになった。(1)のモデルよりも推定パラメータの 多い(2)と(3)のモデルの方が現在までの予測能力は高いが、(2)と(3)のモデルによる20年後 の予測結果は異なっており、予測結果はデータ・解析条件によって変わってしまう。長期 的な変動速度は定常速度に近づくことになるが、定常速度は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おり、推定パラメータではない、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、定常速度が普遍的なものかどうかがわかる可能性がある.

なお,近似能力が最も高いモデル(3)(対数・ダブル指数モデル)について,直近の(地 震後4.6年までの)データを用いたより正確な20年予測を第34~37図に示した.用いたデータ 期間が変わっても予測結果は定性的には変わらないが,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変わっている.

[宮城県沖の地震(5/13 M6.8)に伴う地殻変動]

第38~39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)に伴う地殻 変動の資料である.今回はF3解を用いて作成した.

第38図は,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.

第39図は、地殻変動データを元に推定された断層モデルである. 走向・傾斜・すべり角はF-net のメカニズム解にほぼ拘束して推定を行った. 解析の結果、プレート境界における西傾斜の逆 断層滑りで、モーメントマグニチュードは6.8と推定された.



第1図 岩沼市~利府町~石巻市間の上下変動

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

新発田市~会津若松市間の上下変動



会津若松市に対する新発田市側の隆起が見られる.

第2図 新発田市~会津若松市間の上下変動

Fig. 2 Results of leveling survey from Shibata city to Aizuwakamatsu city.



第3図 会津若松市~いわき市間の上下変動

Fig. 3 Results of leveling survey from Aizuwakamatsu city to Iwaki city.





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



- 第5図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下)
- Fig. 5 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).



第6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. 6 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical, contour).











Fig. 8 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	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9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. 9 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)



基準值 · 1162273_358m

2015/02/17 W6 9

2015/1/1

基准值 · 796221 935m

基準值:16.521m

基準值:1122466.232n

蒸28.00:691229 790m

基准值



[※]グラフの縦軸は2011/03/10の値を0cmとした.

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 (1/5).





基準值 · 635352 695m 7/1 2012/1/1 7/1 2013/1/1 7/1 2014/1/1 7/1 2015/1/1 7/1



基準值 · 1100452 543m 2016 基準值:490397.804m 7/1 2012/1/1 7/1 2013/1/1 7/1 2014/1/1 7/1 2015/1/1 7/1 基準值:57.678m





,an

.9

280

9

- 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 (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)

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12図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 12 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/5).

成分変化グラフ

期間: 2011/03/12~2015/10/31 JST

(14) 福江(950462)→木荘(940031) 東西

(14) 福江(950462)→本荘(940031) 南北







,	/1	2012	лл	7/1	2013/1/1	7/1	2014/1/1	7/1	2015/1/1	1/1
14)	指江	(9504	462)→7	K荘 (94	10031) 比	高			基準值:	-82. 984m
1		l,	i yi	Ś				, in the second se		
				•		Ī		-		
7	/1	2012	/1/1	7/1	2013/1/1	7/1	2014/1/1	7/1	2015/1/1	7/1

非现值:1008256.046

基準備 · 746295 090m



● ---[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.

q

第13図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 13 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14図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

Fig. 14 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/5).



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 (宮古観測点・時系列)

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



- 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 (山田観測点・時系列)
- Fig. 16 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at 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

<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 (矢本観測点・時系列)

Fig. 17 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at 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 <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>

三隅 (950388) -- 相馬1 (940038) 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18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. 18 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (4/6).





第19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. 19 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

<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20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. 20 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Minase site) (6/6).

	モデルタ	モデルオ	図番号		
			予測値と観測値の比較	20 年予測	
1	対数 + 指数混合	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c - d \exp\left(-\frac{t}{e}\right) + V t$	22-25	_	
2	ダブル対数 + 指数	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c + d \ln\left(1 + \frac{t}{e}\right) - f \exp\left(-\frac{t}{g}\right) + Vt$	26-29	_	
3	対数 + ダブル指数	$D(t) = a \ln\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c - d \exp\left(-\frac{t}{e}\right) - f \exp\left(-\frac{t}{g}\right) + Vt$	30-33	34-37	

モデル一覧

観測点一覧



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

- 第21図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(説明)
- Fig. 21 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)

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【F3解】 福江(950462)-**矢本**(960549) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+指数混合モデル

対数関数と指数関数の混合モデルによる2年間のデータに基づく予測は、過小予測傾向。



対数+指数混合モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) +Vt
・時定数b,eを4観測点・3成分共通として推定。
・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

Fig. 22 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/4 model 1).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(2)

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【F3解】 福江(950462)-**銚子**(93022) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+指数混合モデル

対数関数と指数関数の混合モデルによる2年間のデータに基づく予測力が高い。



対数+指数混合モデル式 D(t) = a ln(1+t/b)+c - d exp(-t/e)+Vt
時定数b,eを4観測点・3成分共通として推定。
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 (2/4 model 1).

-84-

モデル1



東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(3)

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【F3解】 福江(950462)-**宮古**(940028) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+指数混合モデル

東西成分でわずかに過小予測傾向。対数による沈降と指数による長期的隆起で説明。



対数+指数混合モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) +Vt

時定数b, eを4観測点 3成分共通として推定。

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24図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 24 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/4 model 1).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(4)

近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【F3解】 福江(950462)-**皆瀬**(950193) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+指数混合モデル

東西・南北成分は、過小予測傾向。短期の対数も長期の指数も沈降。



対数+指数混合モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) +Vt

・時定数b, eを4観測点・3成分共通として推定。

・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 (4/4 model 1).

モデル1



・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

AIC

-93865

標準誤差

4.72 mm

関数近似

結果

Fig. 26 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/4 model 2).

対数時定数b

1.4 日

対数時定数e

82.0日

指数時定数g

3217.0 日

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(6) 近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11[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

モデル2

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27図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 27 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/4 model 2).



モデル2



・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28図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 28 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/4 model 2).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(8) 近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【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

モデル2

南北がわずかに過大予測傾向。短期も長期も沈降。



・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29図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 29 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/4 model 2).



東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(9)

モデル3

・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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30図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 30 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/8 model 3).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(10) 近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11[F3解] 福江(950462)-**銚子**(93022) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+ダブル指数モデル

モデル3

対数+ダブル指数関数モデルによる2年間のデータに基づく予測は、過大予測傾向。



・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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31図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 31 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/8 model 3).



福江(950462)-宮古(940028) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+ダブル指数モデル





・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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32図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 32 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/8 model 3).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(12) 近似期間 2011/03/12-2013/03/11(731日) 最終データ 2015/07/11【F3解】 福江(950462)-**皆瀬**(950193) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+ダブル指数モデル

モデル3

東西・南北成分の予測は良好。短期も長期も沈降、ただし過小予測。



・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

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33図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 33 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/8 model 3).



福江(950462)-**矢本**(960549) 4観測点同時・3成分同時推定対数+ダブル指数モデル



・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) +Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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34図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 34 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/8 model 3).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(14)

モデル3

近似期間 2011/03/12-2015/10/17(1681日) 最終データ 2015/10/17【F3解】20年予測 福江(950462)-錦子(93022) 4観測点同時・3成分同時推定 対数+ダブル指数モデル

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。



・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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35図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 35 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/8 model 3).



近似期間 2011/03/12-2015/10/17(1681日) 最終データ 2015/10/17【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 対数+ダブル指数モデル

沈降から隆起に転じたが、今後鈍化すると予測される。

近似期間 予測期間 dinivinoini vivi ew 近似期間観測値 計算値 ewc 東西成分 e_log 対数成分 e_exp1 指数成分1 e_exp2 指数成分2 1.987.65 e_v 定常速度 730 1460 2190 2920 3650 4380 5110 5840 6570 7300 Days from the main shock 0 -1.3 -1.4 • ns nsc -1.5 南北成分 n log -1.6 n_exp1 -1.7 n_exp2 -1.8 n_v 2013 2015 2017 2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 year -1.9 0 -0.1 • ud 上下成分 -0.2 udc u_log -0.3 u_exp1 -0.4 u_exp2 -0.5 u_v -0.6 2013 2015 2017 2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 vear 標準偏差 対数時定数b 指数時定数e 指数時定数g 関数近似 AIC 結果 5.15 mm -210979 1.6 日 266.8日 5928.5 日

・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) +Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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36図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 36 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/8 model 3).

東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験(16)

モデル3

近似期間 2011/03/12-2015/10/17(1681日) 最終データ 2015/10/17【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 対数+ダブル指数モデル

2030年以降に西向きに反転し、沈降は継続する。

近似期間 予測期間 um vuvvvvvv 近似期間観測値 ew 計算値 ewc 東西成分 e_log 対数成分 e_exp1 指数成分1 e_exp2 指数成分2 e_v 定常速度 730 1460 2190 2920 3650 4380 5110 5840 6570 7300 Days from the main shock 0 -0.7 -0.8 ns ns -0.9 nsc -1 南北成分 -1.1 n log -1.2 n_exp1 -1.3 -1.4 n_exp2 -1.5 n_v -1.6 2013 2015 2017 2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 0 • ud -0.1 上下成分 udc -0.2 u log -0.3 u_exp1 u_exp2 -0.4 u_v -0.5 2013 2015 2017 2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 year 標準偏差 対数時定数b 指数時定数e 指数時定数g AIC 関数近似 結果 5.15 mm -210979 1.6 日 266.8日 5928.5 日

・対数+ダブル指数モデル式 D(t) = a ln(1+t/b) + c - d exp(-t/e) - f exp(-t/g) + Vt
・時定数b, e, gを4観測点・3成分共通として推定。

・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37図 東北地方太平洋沖地震余効変動の予測実験

Fig. 37 Speculative experiments on postseismic deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/8 model 3).

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 38 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. 38 Crustal deformation associated with the M6.8 off the Miyagi prefecture earthquake on May 13, 2015: horizontal and 3 components time series.

宮城県沖の地震(2015年5月13日 M6.8)の震源断層モデル

プレート境界における西傾斜の逆断層滑り(長さ23km,幅43km,滑り量約60cm, Mw6.8)と推定された.



Lat= 38.97, Lon= 142.50, D= 30.5km, L= 23.4km, W= 43.1km, Strike= 178.3, Dip= 24.8, Rake= 63.8, Slip= 0.56 m, Mw=6.8 Lower Depth= 48.6km, Strike Component= 0.25 m, Dip Component= 0.50 m, Rigidity=30GPa



Lat= 38.97, Lon= 142.50, D= 30.5km, L= 23.4km, W= 43.1km, Strike= 178.3, Dip= 24.8, Rake= 63.8, Slip= 0.56 m, Mw=6.8 Lower Depth= 48.6km, Strike Component= 0.25 m, Dip Component= 0.50 m, Rigidity=30GPa

- 第39図 宮城県沖の地震(2015年5月13日、M6.8)の震源断層モデル
- Fig. 39 Rectangular fault model of the M6.8 off the Miyagi prefecture earthquake on May 13, 2015.

[・]余震分布は、気象庁一元化震源(20150513 06:12JST-20150531 23:59JST)を使用した。