

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1～6図は、2011年東北地方太平洋沖地震以後に水準測量が行なわれた東北地方の路線のうち、下北半島、津軽半島、および、宮城県の岩沼市から石巻市にかけての結果である。岩沼市から石巻市にかけての路線については、東北地方太平洋沖地震後2回目の測量結果となっている。

第1図は、東日本における水準測量の実施状況と、下北半島及び津軽半島の路線についての環閉合差である。

第2図は、青森県八戸市からむつ市に至る南北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、今回の測量が2011年7月～2012年10月、前回は2003年9～10月となっており、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。八戸市に対する六ヶ所村側の隆起が見られる。

第3図は、野辺地町からむつ市に至る南北の路線の水準測量結果である。野辺地町に対する、むつ市側のわずかな隆起が見られる。なお、むつ市のJ6267から6274までの区間については、前回の観測が1986年となっている。そこで、1986年から2012年9～10月までの変動を区間全体について算出した結果を3段目に示す。

第4図は、青森市から今別町に至る南北の路線の水準測量結果である。外ヶ浜町から今別町にかけて、わずかな沈降が見られる。

第5図は、五所川原市から今別町間、今別町から外ヶ浜町に至る南北の路線の水準測量結果である。中泊町側に対する今別町側の沈降がみられる。五所川原市のJ6112の周辺には中泊町側に対する長期的な沈下傾向が見られる。

第6図は、宮城県岩沼市から石巻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、仙台市付近に対する石巻市側の顕著な隆起が見られる。この結果は、GNSS観測に見られる東北地方太平洋沖地震の余効変動による牡鹿半島を中心とする隆起傾向と調和的である。

[GNSS 地震後の変動ベクトルおよび等変動量線図]

第7～11図は、東北地方太平洋沖地震後の期間における水平・上下の地殻変動を、全期間の累積および最近3ヶ月について、福江観測点を固定局として示すものである。第7～9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の沈下, 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7図に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90cmである。

第8図および第9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牡鹿の約23cm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10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4.9cmとなっており、その前の3ヶ月間における値（6.5cm）よりもやや小さくなっている。

第11図に最近3ヶ月の上下変動を示す。岩手県南部から福島県にかけての太平洋岸では隆起が続いているが、その他の地域では上下変動は小さくなってきている。最近3ヶ月間の隆起量はM牡鹿観測点で3cm弱となっており、その前の3ヶ月間における値（2cm弱）よりもやや大きめとなっている。

[GNSS 連続観測 地震前後]

第12～22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12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13～22図の左列に地震前の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は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の沈下, 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13図の(2)岩泉2観測点では地震後に沈降が減衰しながら続いていたが、最近ではほぼ停滞している。

第14図の(3)山田観測点で約90cmの東南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15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16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17図の(9)銚田観測点，(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18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，最近ほぼ停滞しているように見える。

第19図の(13)矢巾（やはば），(14)本荘観測点の上下変動は小さい。

第20図の(15)皆瀬（みなせ）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（にいがたさんぼく）観測点の上下変動は小さい。

第21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下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22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23～32図は，第12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500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590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日間のデータは対数関数の推定に用いていない。水平成分については対数関数の適合がよく，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，岩手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から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33～36図は，三隅観測点に対する山田，矢本，相馬1，銚子観測点の水平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，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。なお，

第36図に示される三隅一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日頃までのスロースリップに伴う地殻変動の影響、東西成分速度の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(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37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38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39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、第38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39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。また、上下成分については、東経139°以西に上向きの系統的な差が見られるが、モデルで沈降と計算されるのに対し、観測では顕著な沈降が見られないためと考えられる。なお、GNSSの上下成分の誤差は水平成分に比べて大きく、断層モデル計算時の重みを下げてあるため、水平成分に比べて残差は大きめになる。一部、モデルでは説明しにくい局所的な上下変動が見られる。

[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40～49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40～42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43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44～47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48～49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]

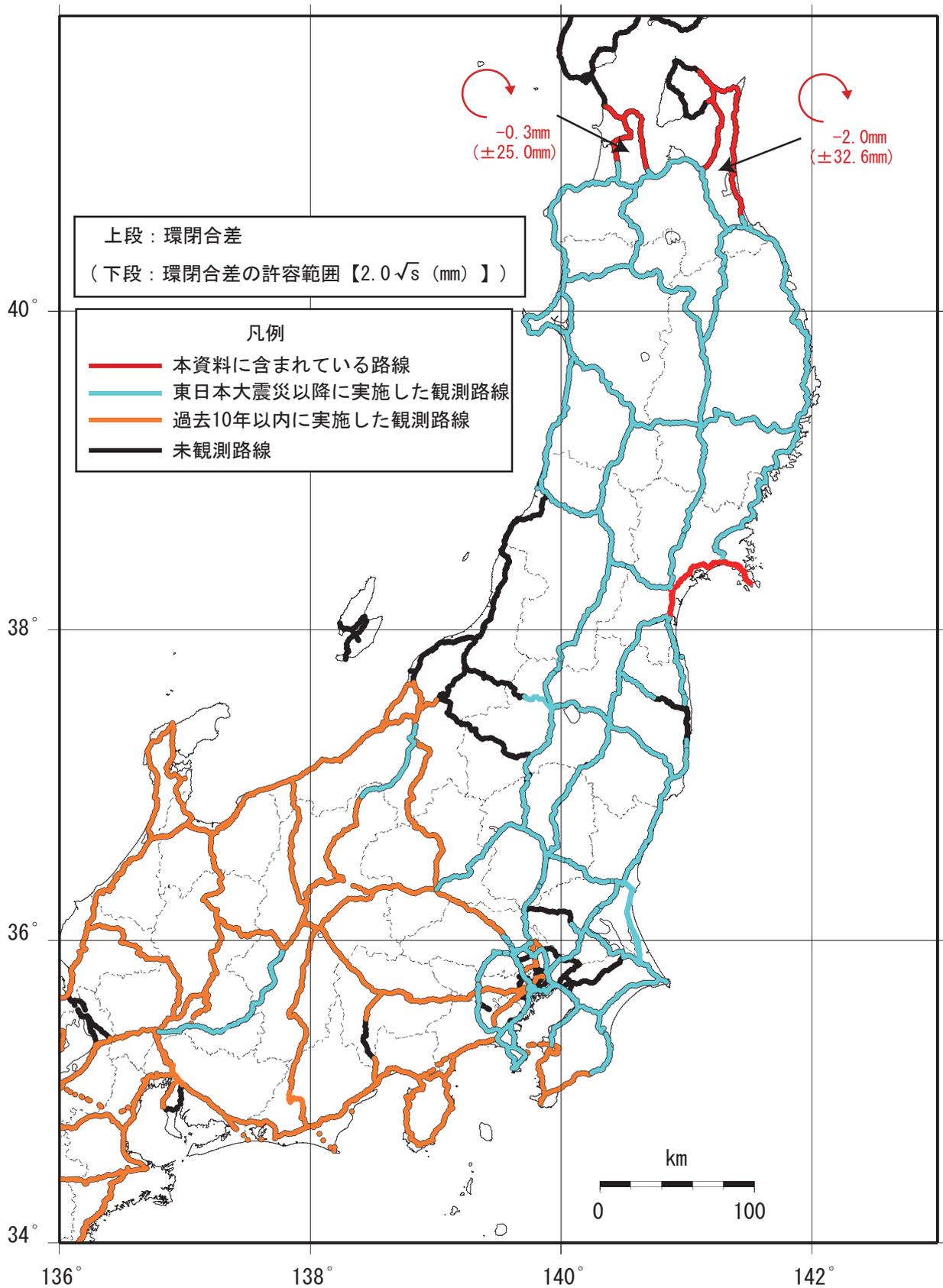
第50図は、海上保安庁による2012年9月までの海底地殻変動観測データとGEONETのデータとあわせて解析することによって得られた地震後の滑り分布（アフタースリップ）モデルである。上段は海溝におけるスリップをゼロに制約した場合、下段は制約しない場合の結果である。各段の左の図はアフタースリップの推定結果、右の図は観測値と計算値の比較図である。いずれの場合も、陸域の観測データ及び海底地殻変動の観測データは、モデルによって概ね説明できることがわかる。宮城沖1の近くに大きな西向き正断層的なすべりが求められる。正断層的なすべりは地震時の滑りとは逆向きである。これは釜石沖および宮城沖の海底地殻変動観測点の地震後の変動が小さい、ないし、西向きであることを反映した結果である。

第51図は、前回（2012年5月）までの海底地殻変動データによるモデルである。Yabuki, T., and M. Matsu'ura (1992)の手法においては平滑化のパラメータをABIC最小化処理により決定するが、比較を容易にするため、第50図の解析において用いた平滑化パラメータを適用した。第50図をこれと比較すると、三陸沿岸に近い海域や房総半島沖の直下に見られる逆断層型の余効すべりの累積には増加が見られるが、三陸沖の海溝に近い領域に見られる正断層型のすべりについては、新たなデータを加えたことによる変化は小さいことがわかる。

参 考 文 献

- 1) 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.

水準測量作業 環閉合図

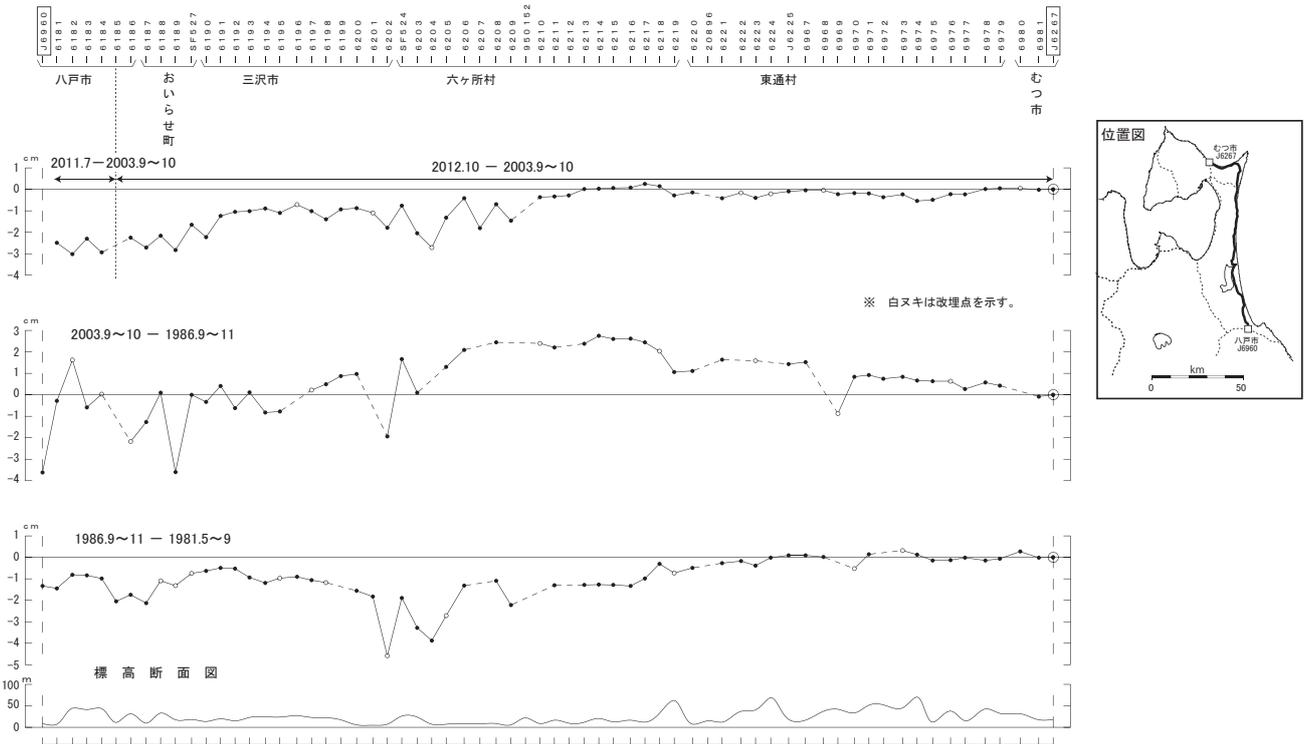


第1図 東北地方太平洋沖地震に伴う水準点改測成果算出作業 環閉合図

Fig. 1 Route and circuit closing of leveling surveys for revision of vertical survey results after the 2011 Tohoku Earthquake.

八戸市 ～ むつ市間の上下変動

八戸市に対する六ヶ所村側の隆起が見られる。

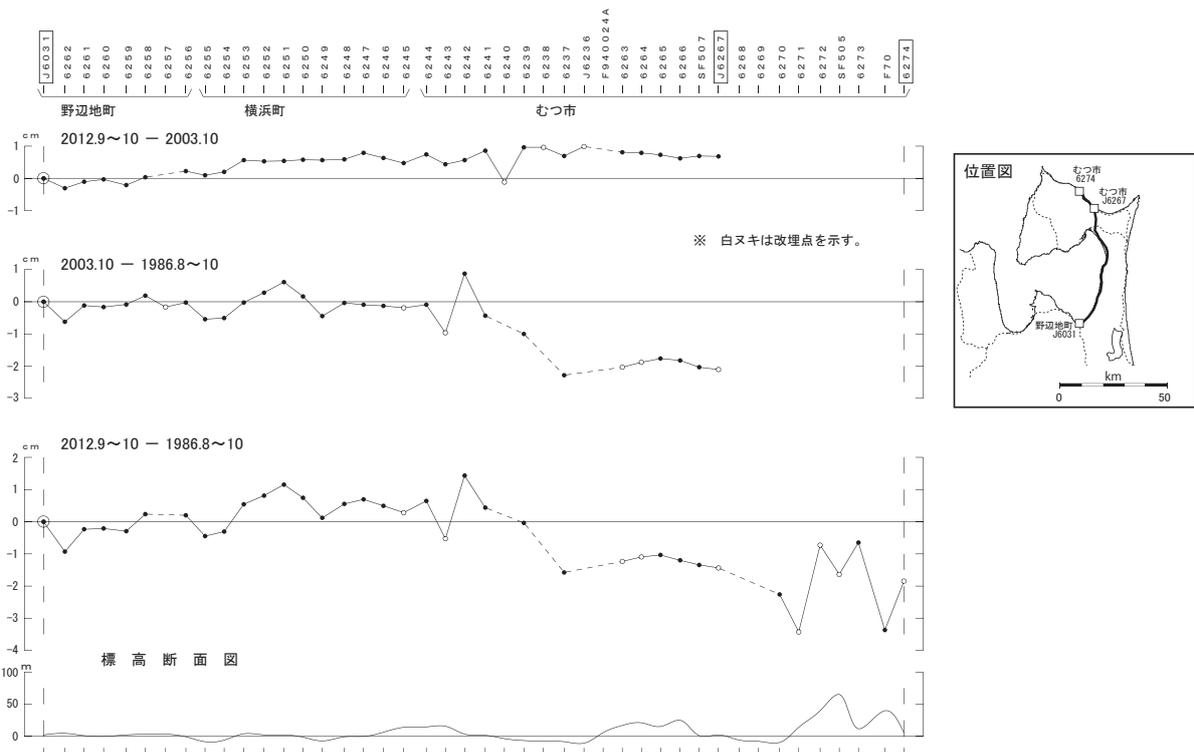


第2図 八戸市～むつ市間の上下変動

Fig. 2 Results of leveling survey from Hachinohe city to Mutsu city.

野辺地町 ～ むつ市間の上下変動

野辺地町に対するむつ市側のわずかな隆起が見られる。

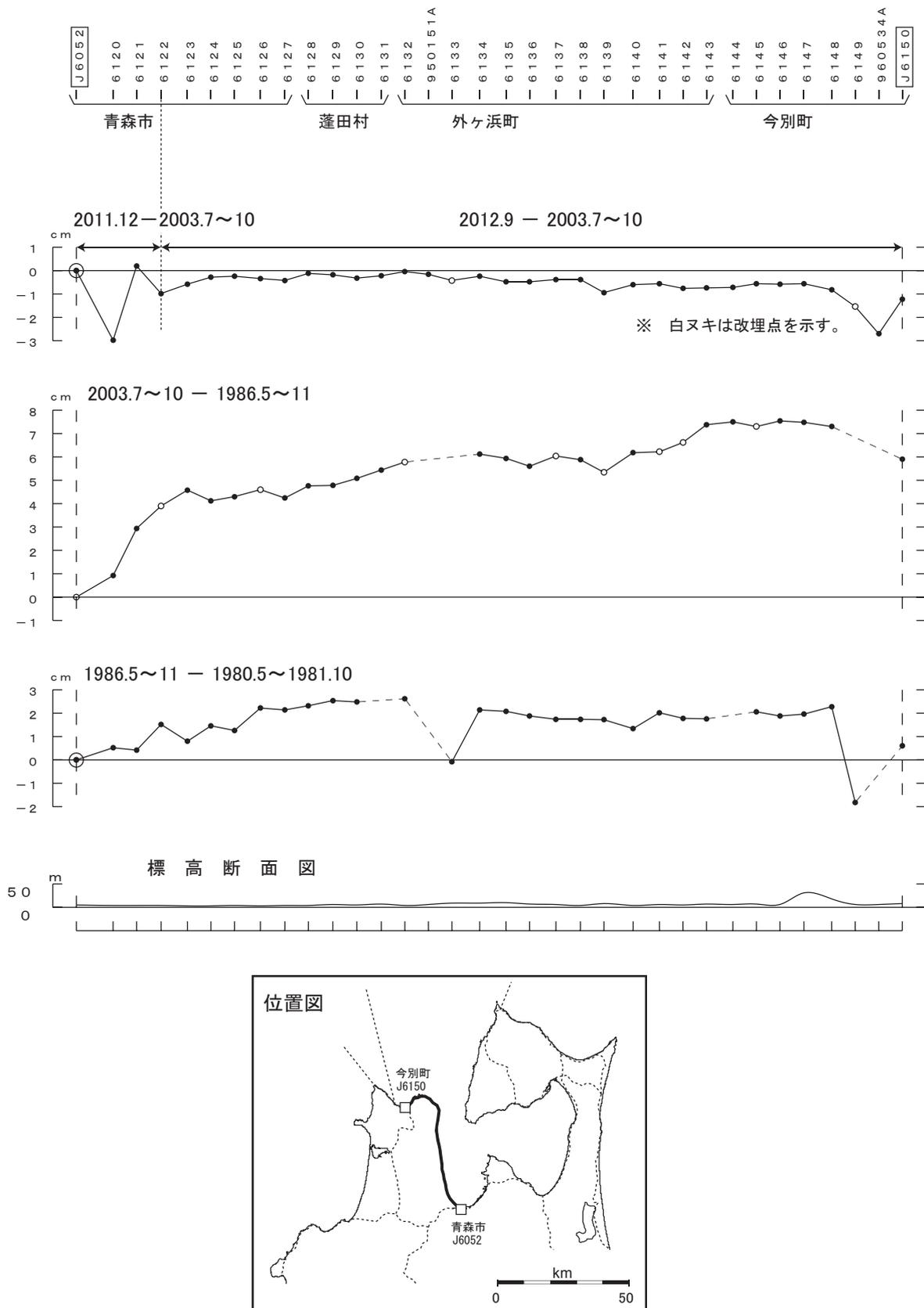


第3図 野辺地町～むつ市間の上下変動

Fig. 3 Results of leveling survey from Noheji town to Mutsu city.

青森市 ～ 今別町間の上下変動

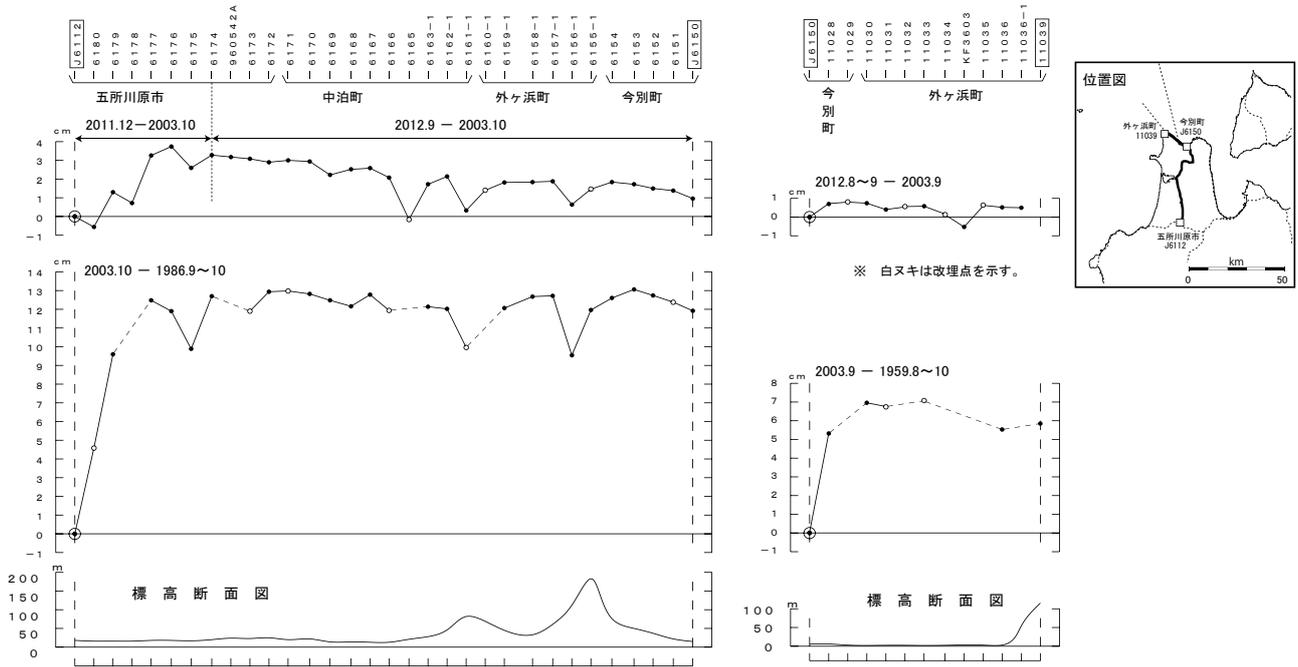
外ヶ浜町から今別町にかけてわずかな沈降が見られる。



第4図 青森市～今別町間の上下変動
Fig. 4 Results of leveling survey from Aomori city to Imabetsu town.

五所川原市 ~ 今別町間、今別町 ~ 外ヶ浜町間の上下変動

中泊町に対する今別町側の沈降が見られる。

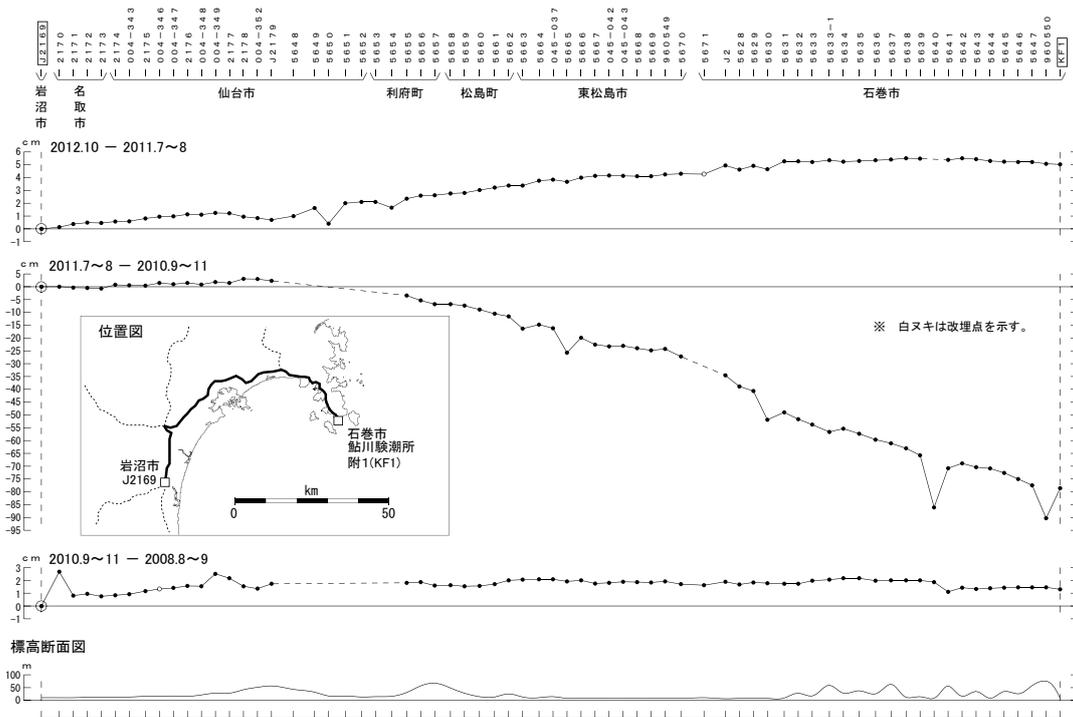


第5図 五所川原市～今別町、今別町～外ヶ浜町間の上下変動

Fig. 5 Results of leveling survey from Goshogawara city to Imabetsu town, Imabetsu town to Sotogahama town.

岩沼市 ~ 石巻市間の上下変動

仙台市に対する石巻市側の顕著な隆起が見られる。



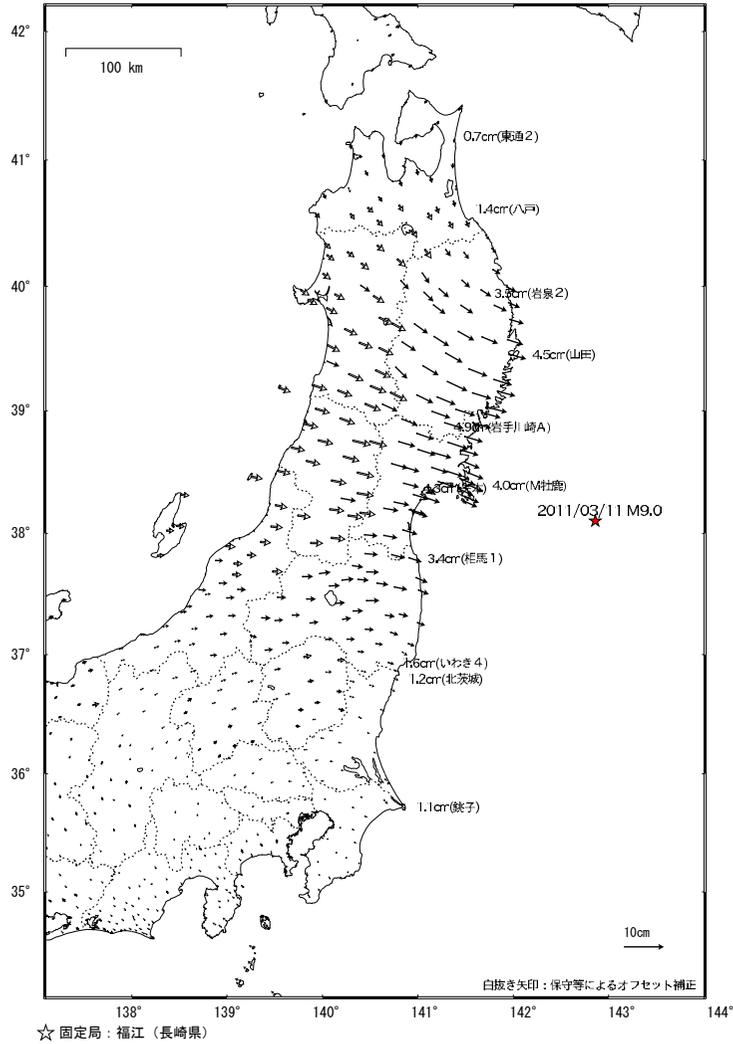
第6図 岩沼市～石巻市間の上下変動

Fig. 6 Results of leveling survey from Iwanuma city to Ishinomaki city.

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (水平) - 3 ヶ月 -

東日本で東向きの変動が見られる。

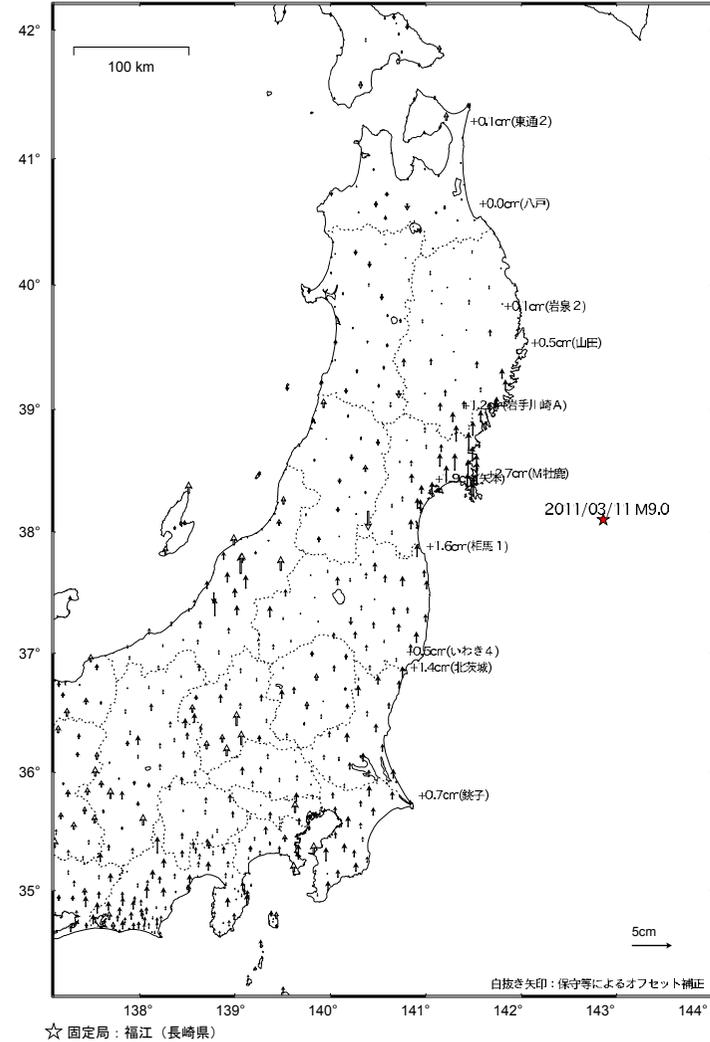
基準期間 : 2012/07/04 -- 2012/07/10 [F3 : 最終解]
比較期間 : 2012/10/04 -- 2012/10/10 [F3 : 最終解]



東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (上下) - 3 ヶ月 -

太平洋沿岸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。

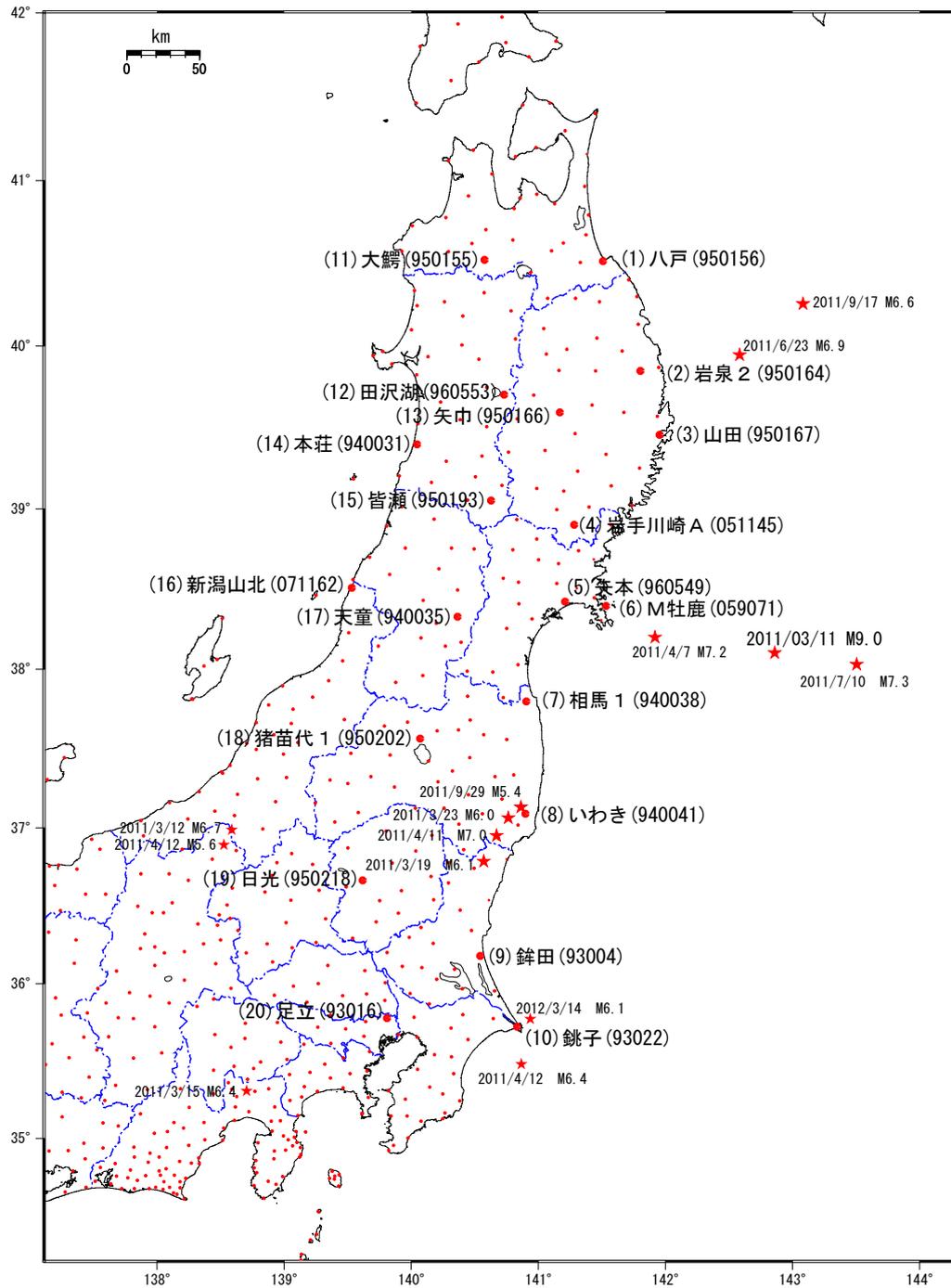
基準期間 : 2012/07/04 -- 2012/07/10 [F3 : 最終解]
比較期間 : 2012/10/04 -- 2012/10/10 [F3 : 最終解]



第10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. 10 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (horizontal).

第11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. 11 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



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
940038	相馬1	2012/01/12	アンテナ更新
940041	いわき	2011/12/13	アンテナ更新
93004	銚田	2012/02/16	アンテナ更新
93022	銚子	2012/02/21	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
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

第 12 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（時系列） 配点図

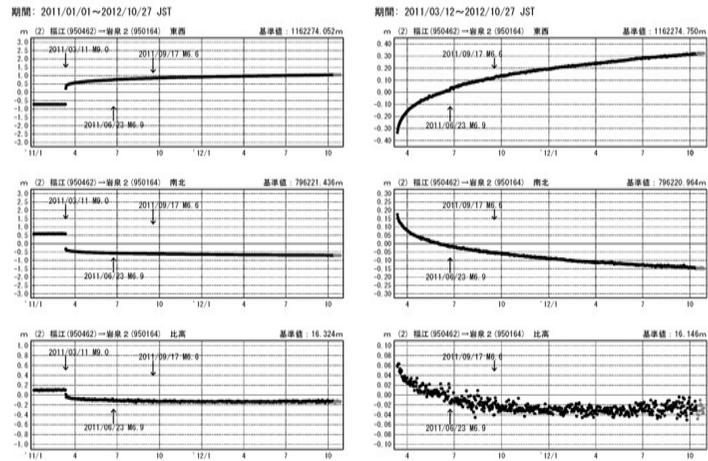
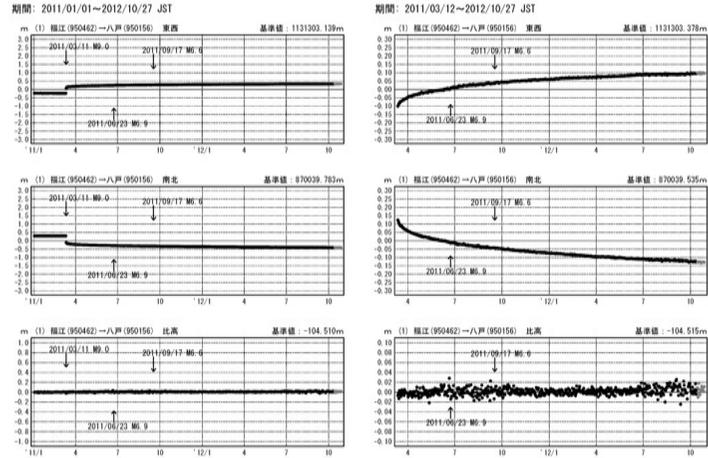
Fig. 12 Time series of crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Site location map).

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

成分変化グラフ(地震後)



●---[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 (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（2）

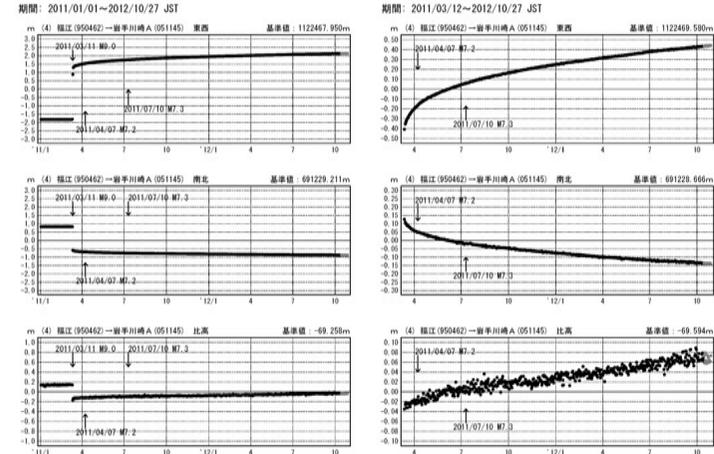
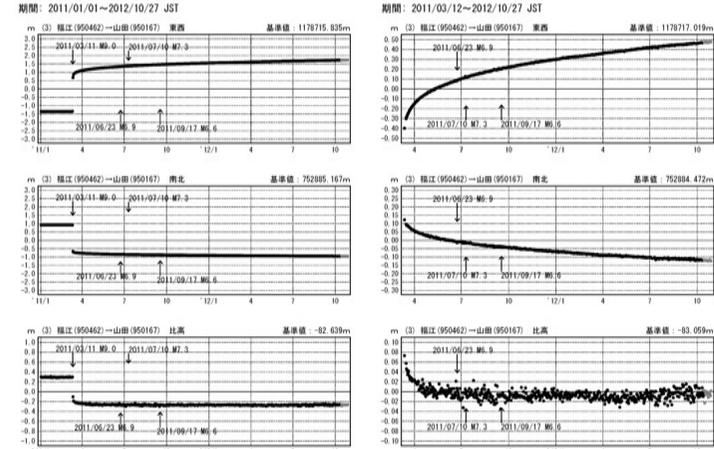
山田観測点では地震後、東方向に約90cmの変動が見られる。

山田観測点では地震後の沈降は、ほぼ停滞している。

岩手川崎A観測点では地震時に沈降したが、地震後は隆起している。

成分変化グラフ

成分変化グラフ(地震後)

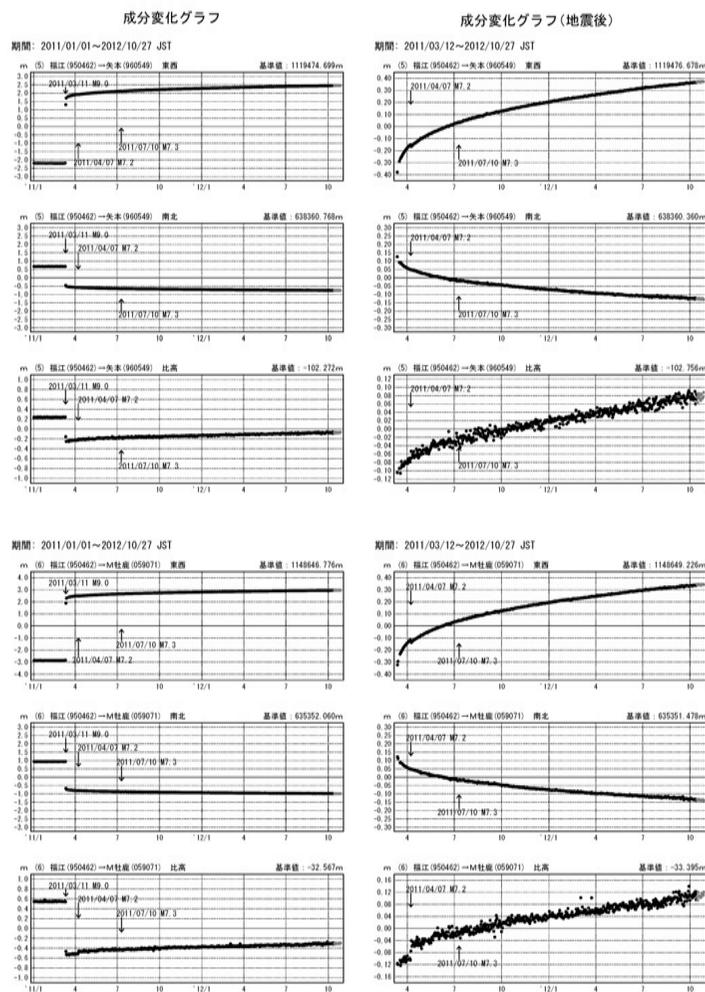


●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

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 (2/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（3）

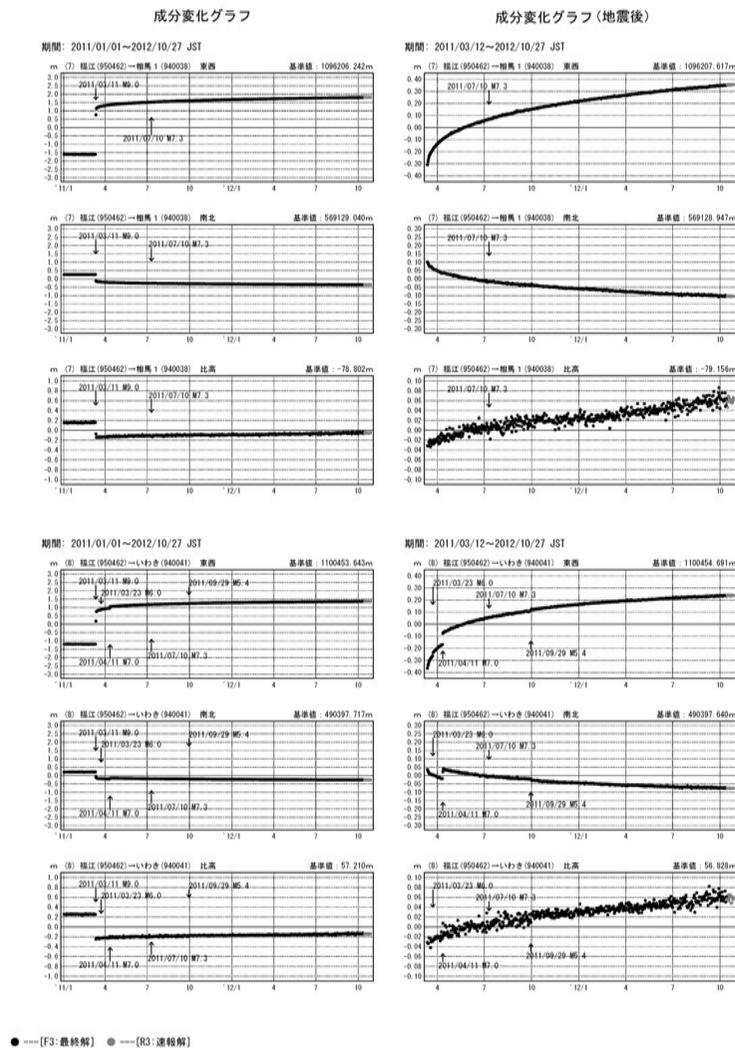
矢本観測点、M社鹿観測点共に地震時には沈降したが、地震後は隆起している。



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 (3/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（4）

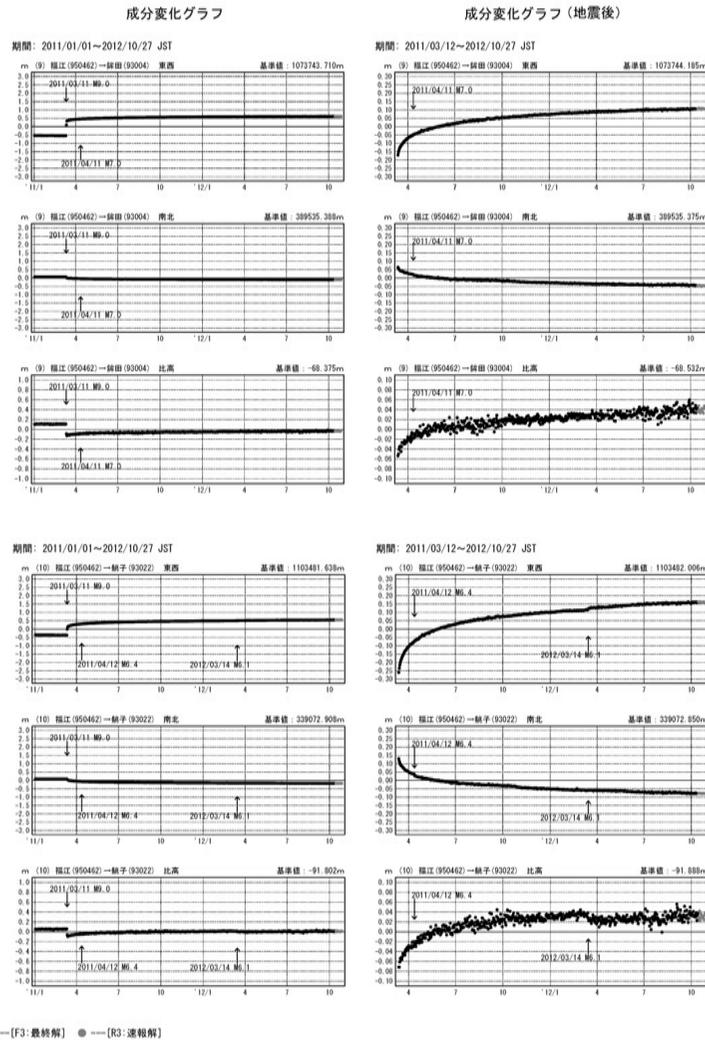
相馬1観測点、いわき観測点共に地震時には沈降し、地震後は隆起している。



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 (4/10).

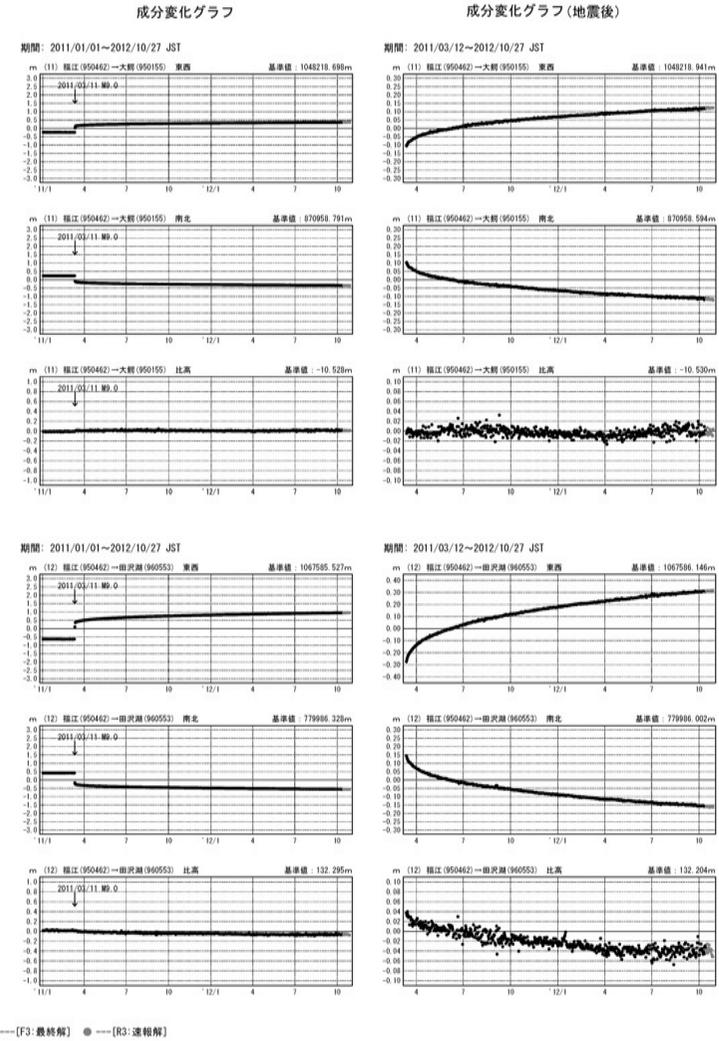
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（5）

銚子観測点、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。



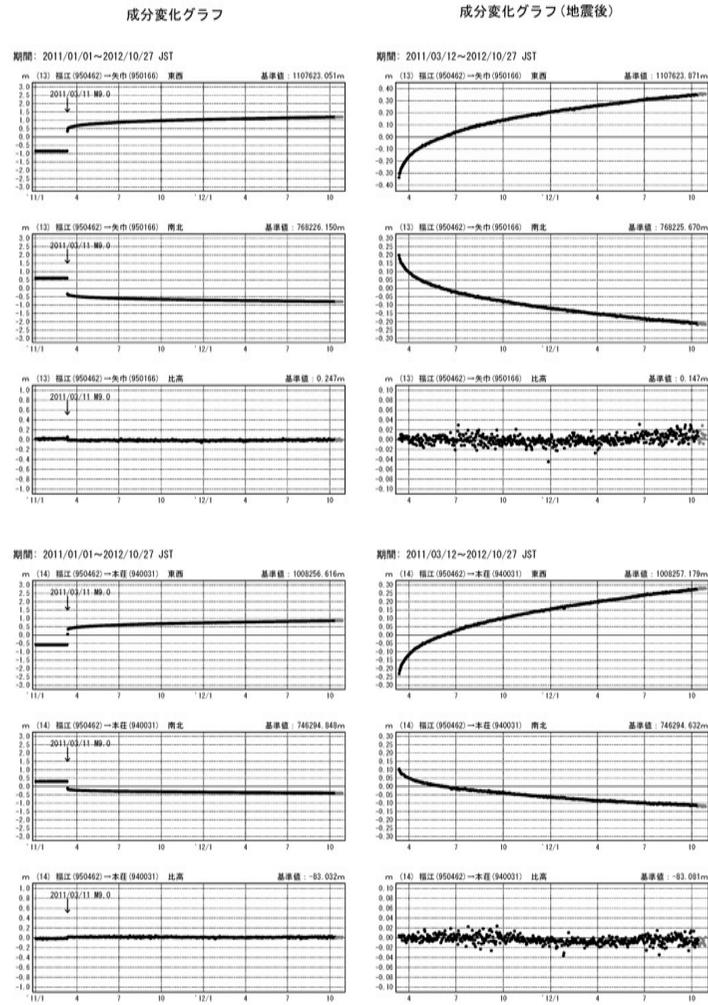
第 17 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 17 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（6）



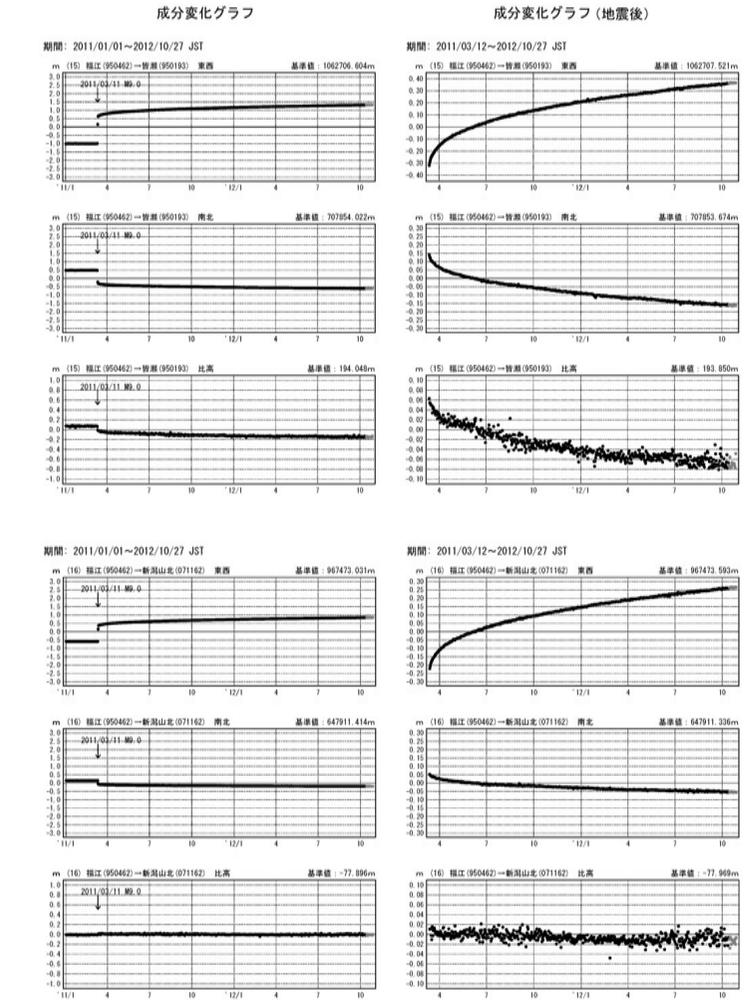
第 18 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 18 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（7）



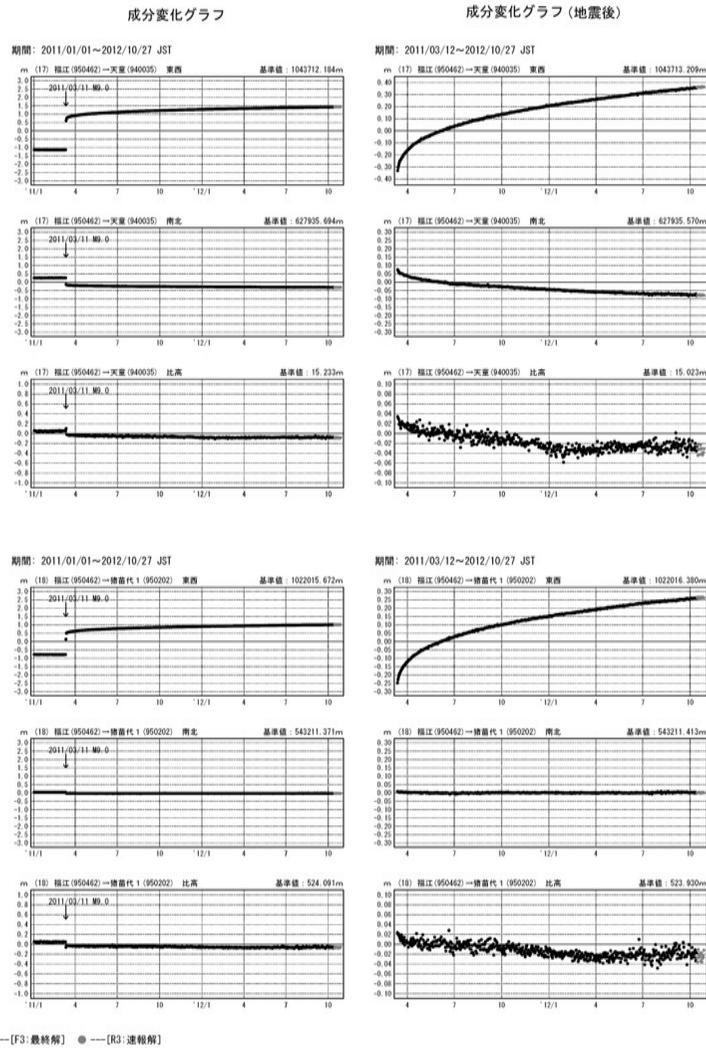
第 19 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 19 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（8）



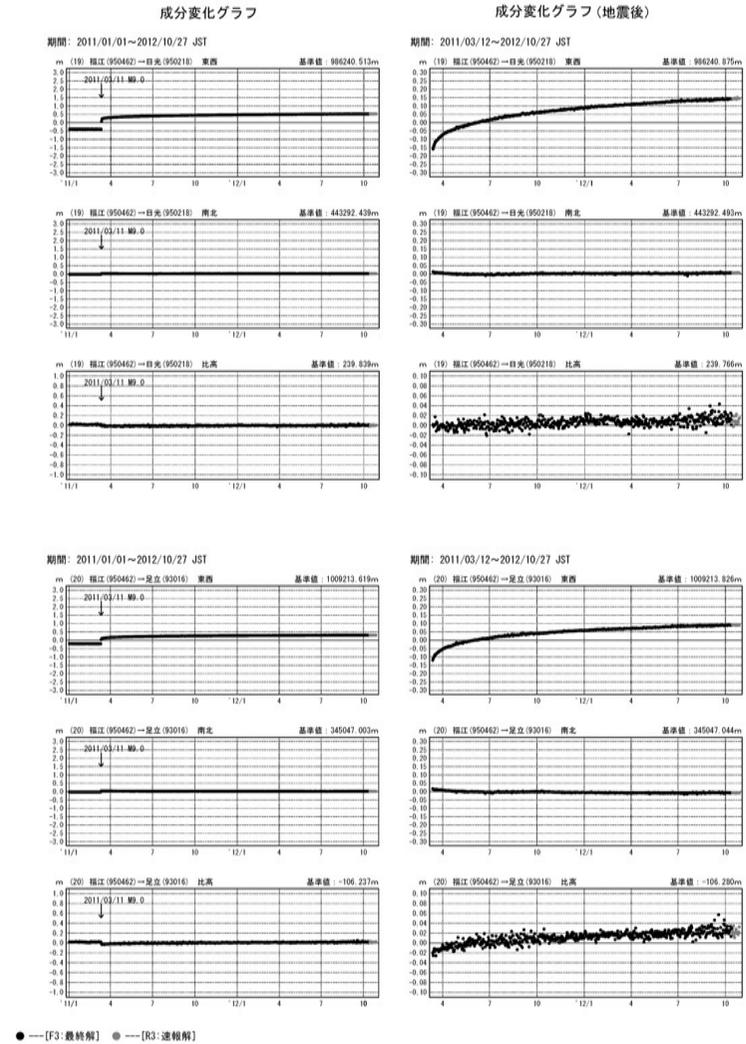
第 20 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 20 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（9）



第 21 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 21 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (9/10).

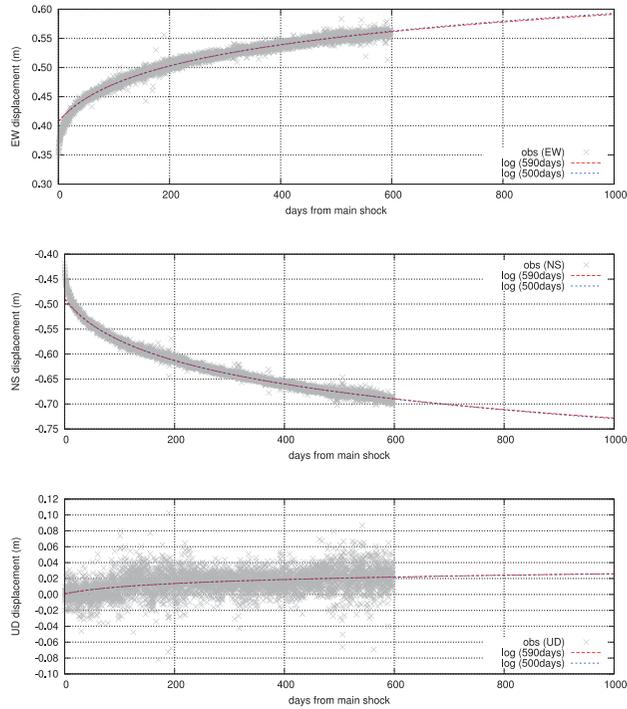
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（10）



第 22 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 22 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】
福江 (950462) - 八戸 (950156)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0624	55.26	+0.4072	
南北	-0.0811	55.26	-0.4890	1.39
上下	+0.0087	55.26	+0.0005	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
-0.0021/-0.0031/+0.0021 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

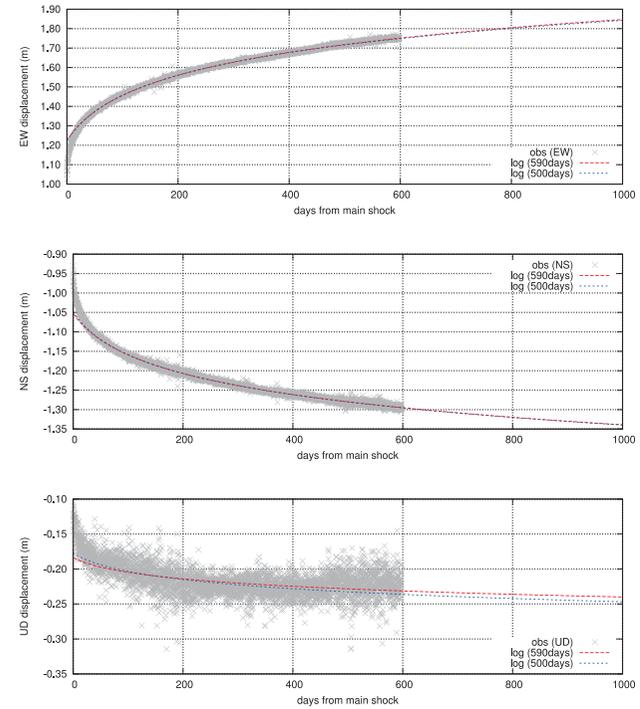
成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0643	59.90	+0.4083	
南北	-0.0828	59.90	-0.4913	1.29
上下	+0.0087	59.90	+0.0010	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
-0.0021/+0.0002/+0.0005 [m]

第 23 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 23 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】
福江 (950462) - 岩泉 2 (950164)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.1980	45.77	+1.2273	
南北	-0.0913	45.77	-1.0535	1.69
上下	-0.0179	45.77	-0.1839	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0008/-0.0003/+0.0113 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.1934	42.38	+1.2230	
南北	-0.0906	42.38	-1.0493	1.54
上下	-0.0218	42.38	-0.1771	

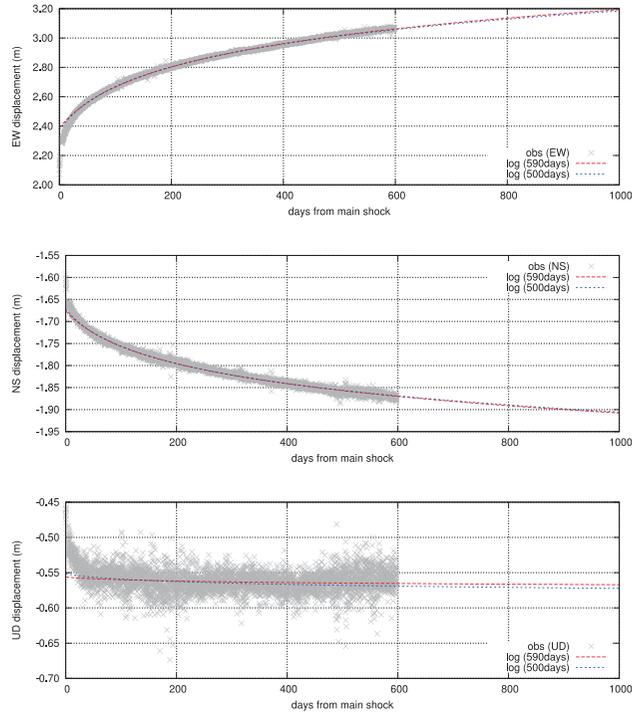
97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0050/+0.0019/+0.0125 [m]

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 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - 山田 (950167)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2766	57.59	+2.3887	
南北	-0.0795	57.59	-1.6763	1.87
上下	-0.0037	57.59	-0.5563	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0026/-0.0022/+0.0080 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2650	49.70	+2.3761	
南北	-0.0765	49.70	-1.6723	1.68
上下	-0.0068	49.70	-0.5516	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

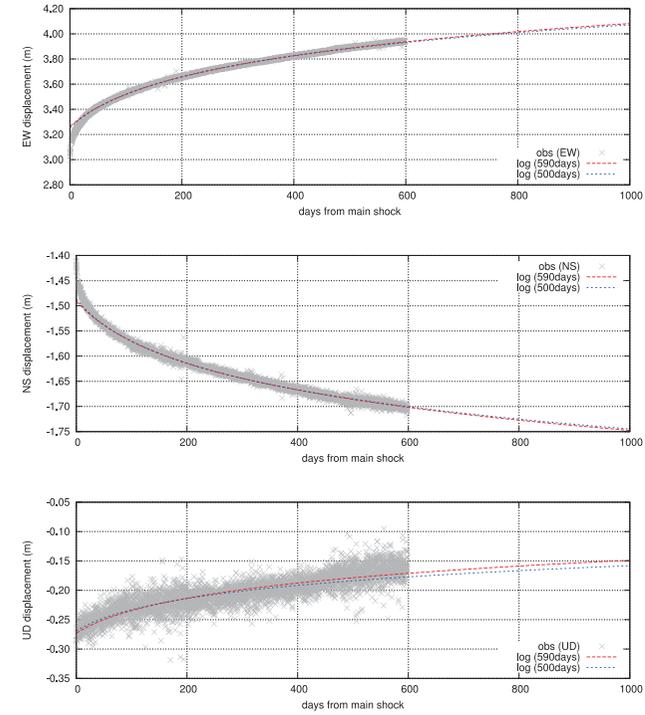
+0.0076/-0.0014/+0.0092 [m]

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 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 30 日間のデータを除外して推定

表示期間 2011/03/11 18:00:00 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - 岩手川崎 A (051145)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.3152	81.20	+3.2663	
南北	-0.0990	81.20	-1.4912	1.84
上下	+0.0479	81.20	-0.2728	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0038/-0.0022/+0.0095 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2999	70.56	+3.2557	
南北	-0.0946	70.56	-1.4875	1.67
上下	+0.0407	70.56	-0.2688	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

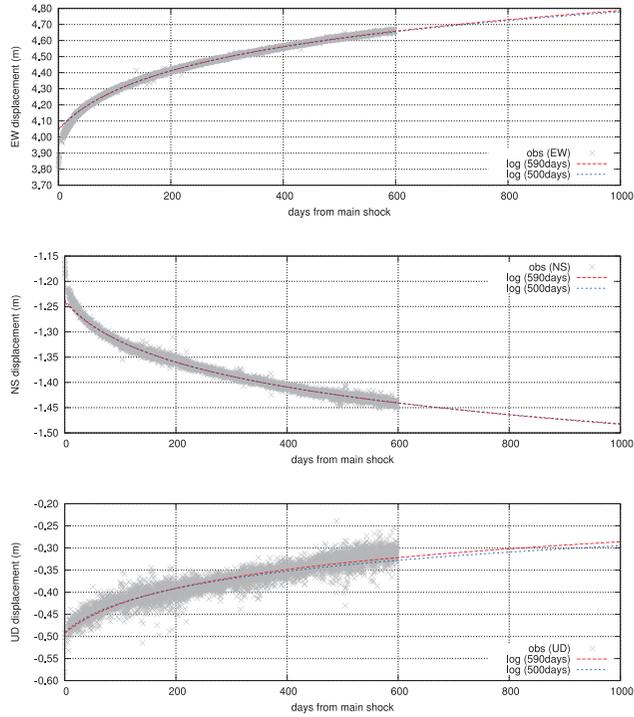
+0.0086/-0.0018/+0.0138 [m]

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 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - 矢本 (960549)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2735	72.42	+4.0493	
南北	-0.0897	72.42	-1.2409	1.68
上下	+0.0767	72.42	-0.4928	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0031/-0.0014/+0.0129 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2636	65.05	+4.0419	
南北	-0.0874	65.05	-1.2374	1.57
上下	+0.0696	65.05	-0.4896	

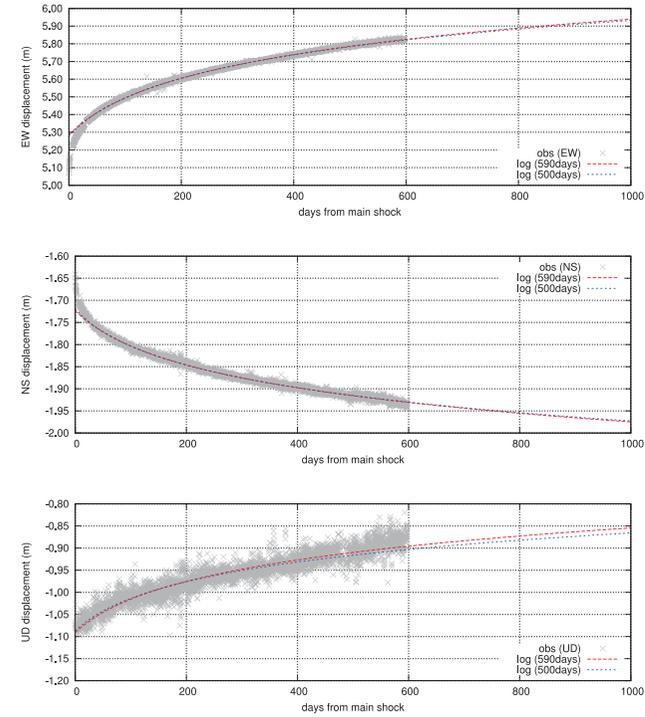
97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0062/+0.0001/+0.0136 [m]

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 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - M 牡鹿 (059071)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2453	74.62	+5.2855	
南北	-0.0944	74.62	-1.7231	1.70
上下	+0.0886	74.62	-1.0910	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0011/-0.0056/+0.0223 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2352	65.99	+5.2779	
南北	-0.0910	65.99	-1.7195	1.55
上下	+0.0796	65.99	-1.0871	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)
+0.0060/-0.0012/+0.0175 [m]

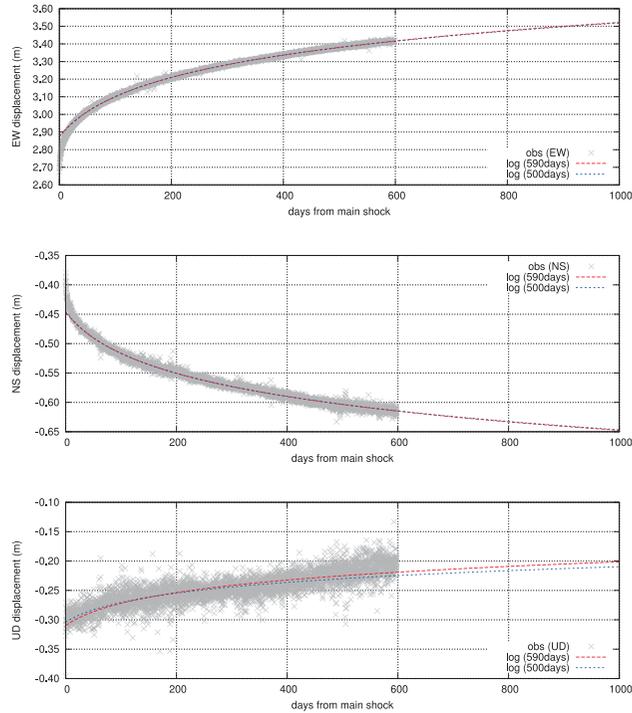
第 28 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 28 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (6/10).

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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - 相馬 1 (940038)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2204	56.54	+2.8763	
南北	-0.0686	56.54	-0.4467	1.47
上下	+0.0370	56.54	-0.3095	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0007/-0.0012/+0.0145 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2165	53.20	+2.8722	
南北	-0.0674	53.20	-0.4454	1.39
上下	+0.0315	53.20	-0.3038	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0026/-0.0007/+0.0143 [m]

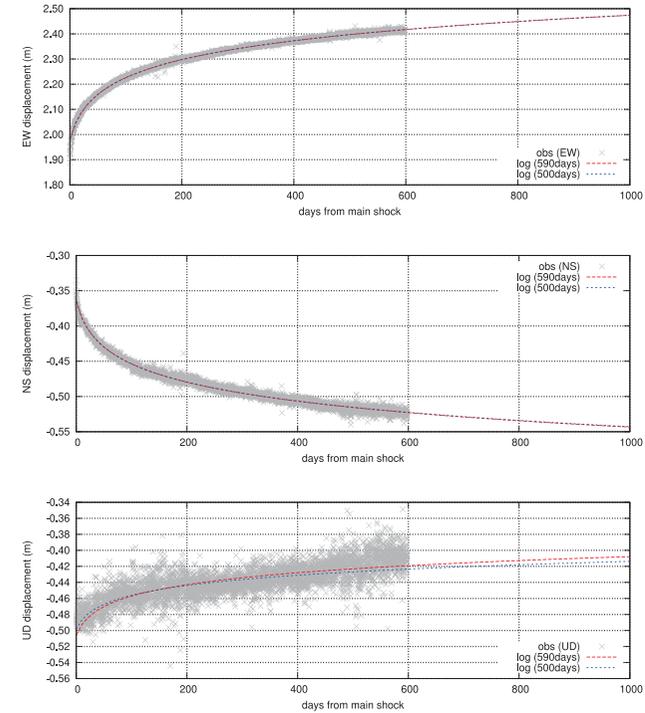
第 29 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 29 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (7/10).

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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】

福江 (950462) - いわき (940041)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.1130	12.90	+1.9810	
南北	-0.0409	12.90	-0.3651	1.25
上下	+0.0224	12.90	-0.5057	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

-0.0020/-0.0015/+0.0093 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

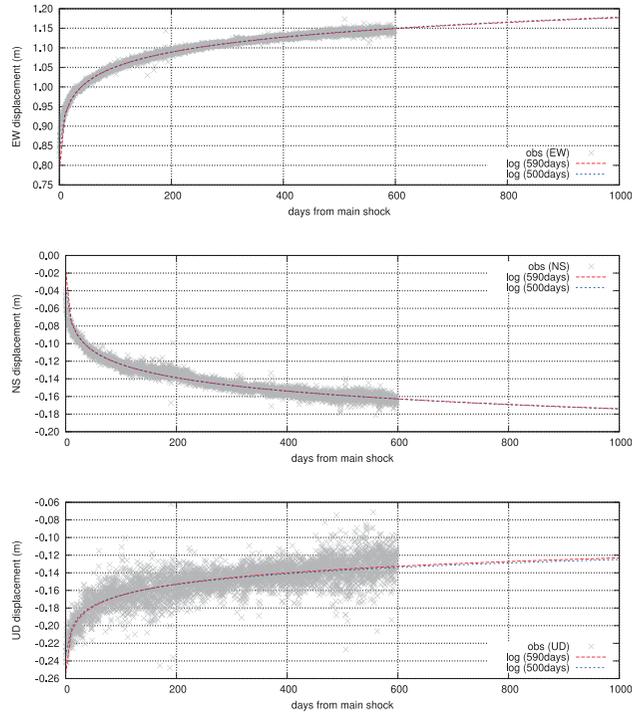
成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.1127	12.62	+1.9794	
南北	-0.0405	12.62	-0.3651	1.17
上下	+0.0193	12.62	-0.4983	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0000/-0.0011/+0.0114 [m]

第 30 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 30 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】
 福江 (950462) - 銚田 (93004)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0547	0.81	+0.7876	
南北	-0.0219	0.81	-0.0179	1.09
上下	+0.0186	0.81	-0.2551	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

-0.0040/-0.0021/+0.0061 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

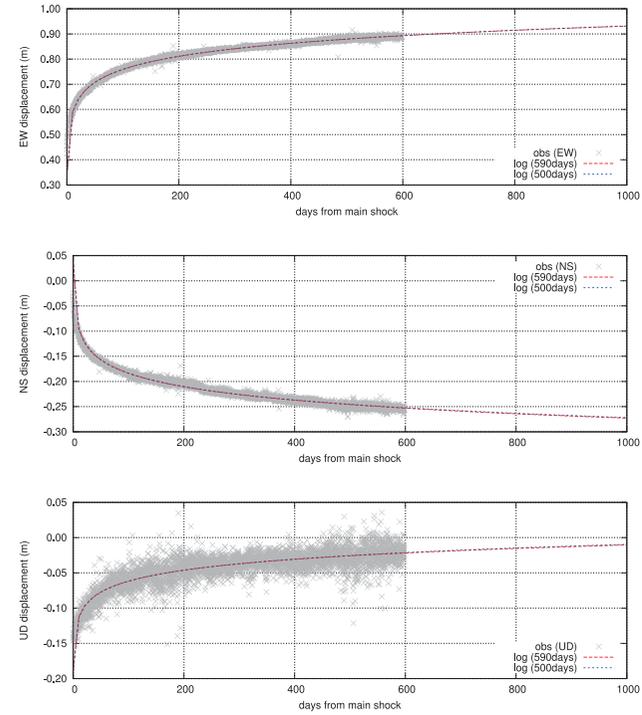
成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0558	2.06	+0.8332	
南北	-0.0222	2.06	-0.0368	0.98
上下	+0.0177	2.06	-0.2345	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

-0.0026/+0.0002/+0.0041 [m]

第 31 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
 Fig. 31 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 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 - 2012/10/29 12:00:00 【Q3 解】
 福江 (950462) - 銚子 (93022)



地震後 590 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0747	0.37	+0.3404	
南北	-0.0387	0.37	+0.0338	1.34
上下	+0.0223	0.37	-0.1868	

7 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

-0.0036/-0.0022/+0.0005 [m]

地震後 500 日までのデータによる推定値

$$\text{disp} = a \log(1 + t/b) + c$$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.0749	0.37	+0.3392	
南北	-0.0382	0.37	+0.0305	1.27
上下	+0.0227	0.37	-0.1891	

97 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

-0.0011/-0.0023/-0.0016 [m]

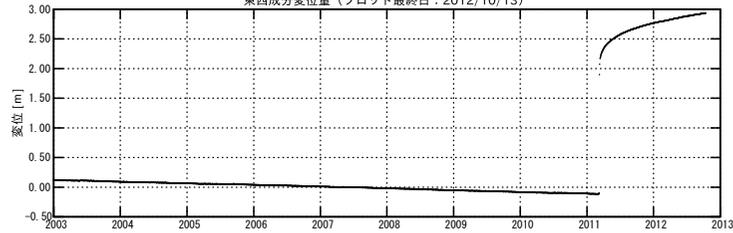
第 32 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
 Fig. 32 Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (10/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

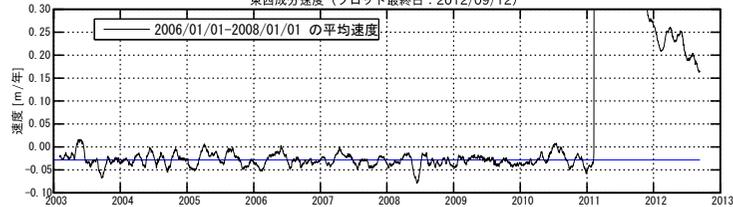
東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない

三隅(950388) -- 山田(950167) 間の成分変位と速度グラフ

東西成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)

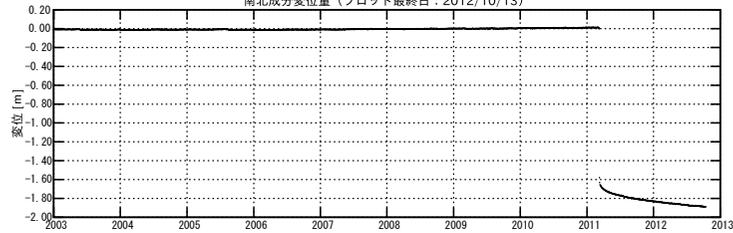


東西成分速度 (プロット最終日: 2012/09/12)

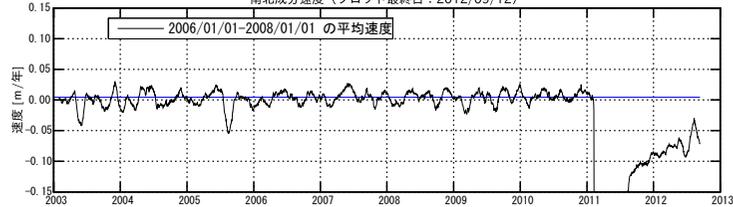


※成分変化率は60日間のデータを1日ずつずらして計算 (プロットの位置は計算に用いた期間の中間)

南北成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/09/12)



※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)

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

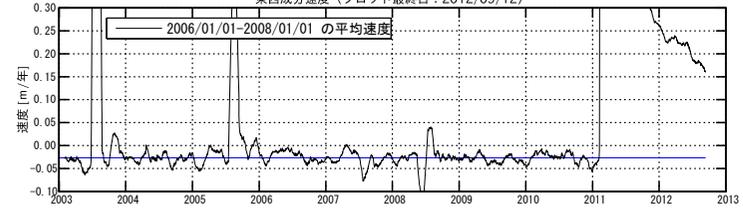
東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない

三隅(950388) -- 矢本(960549) 間の成分変位と速度グラフ

東西成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)

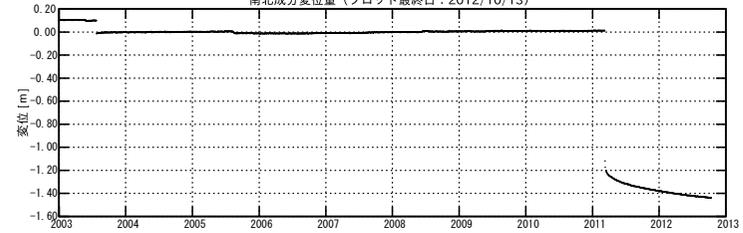


東西成分速度 (プロット最終日: 2012/09/12)

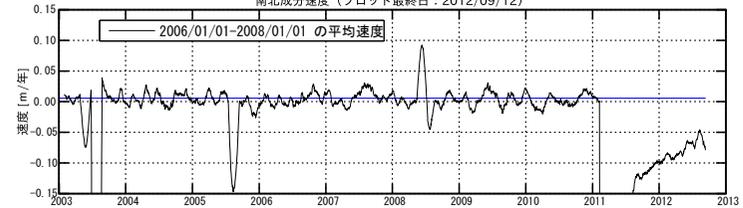


※成分変化率は60日間のデータを1日ずつずらして計算 (プロットの位置は計算に用いた期間の中間)

南北成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/09/12)



※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 33 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. 33 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamada site) (1/4).

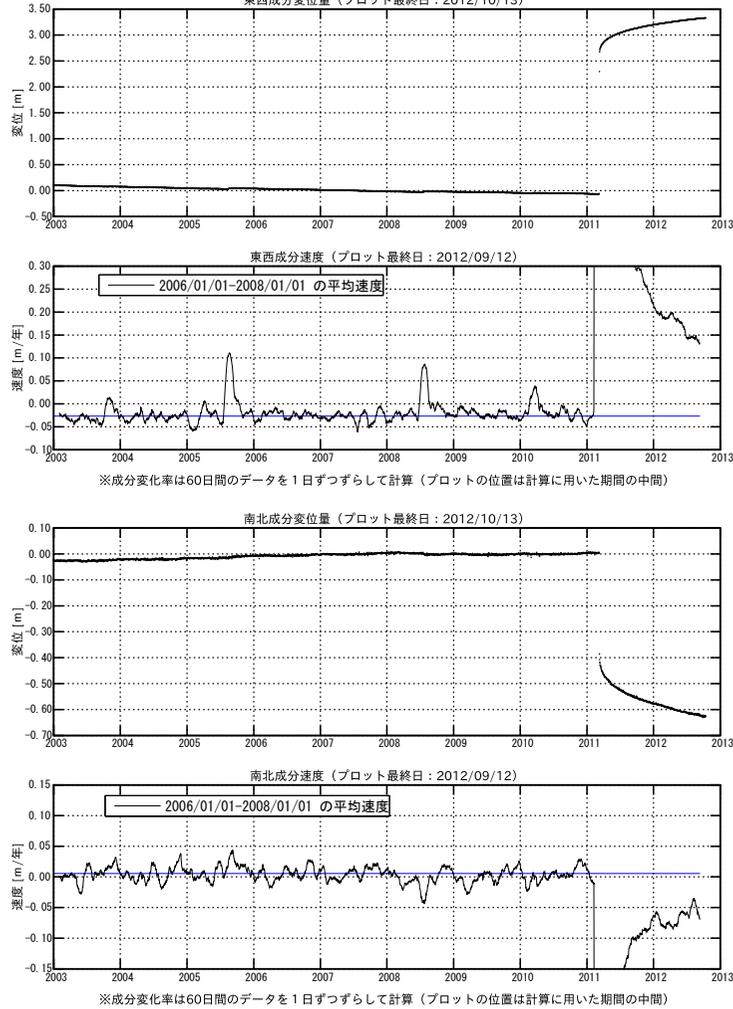
第 34 図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化 (矢本観測点・時系列)

Fig. 34 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamato 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戻りきっていない

三隅(950388) -- 相馬 1(940038) 間の成分変位と速度グラフ
東西成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)



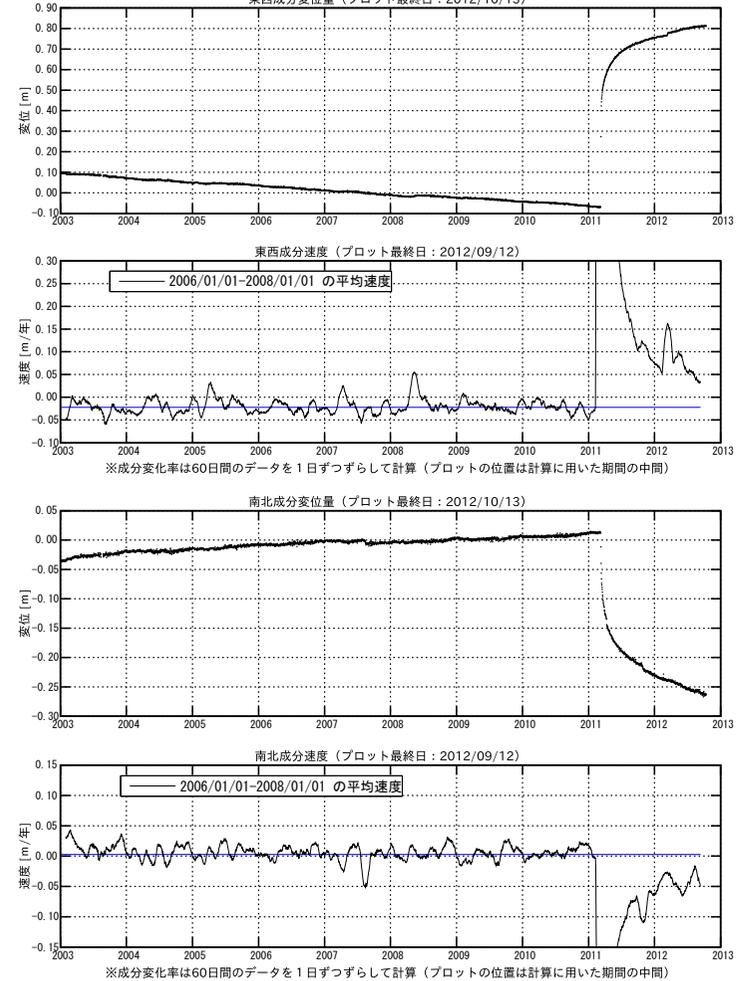
第 35 図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化 (相馬 1 観測点・時系列)
Fig. 35 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (3/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

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

2011年10月26日頃から11月8日まで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日の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
東西成分変位量 (プロット最終日: 2012/10/13)

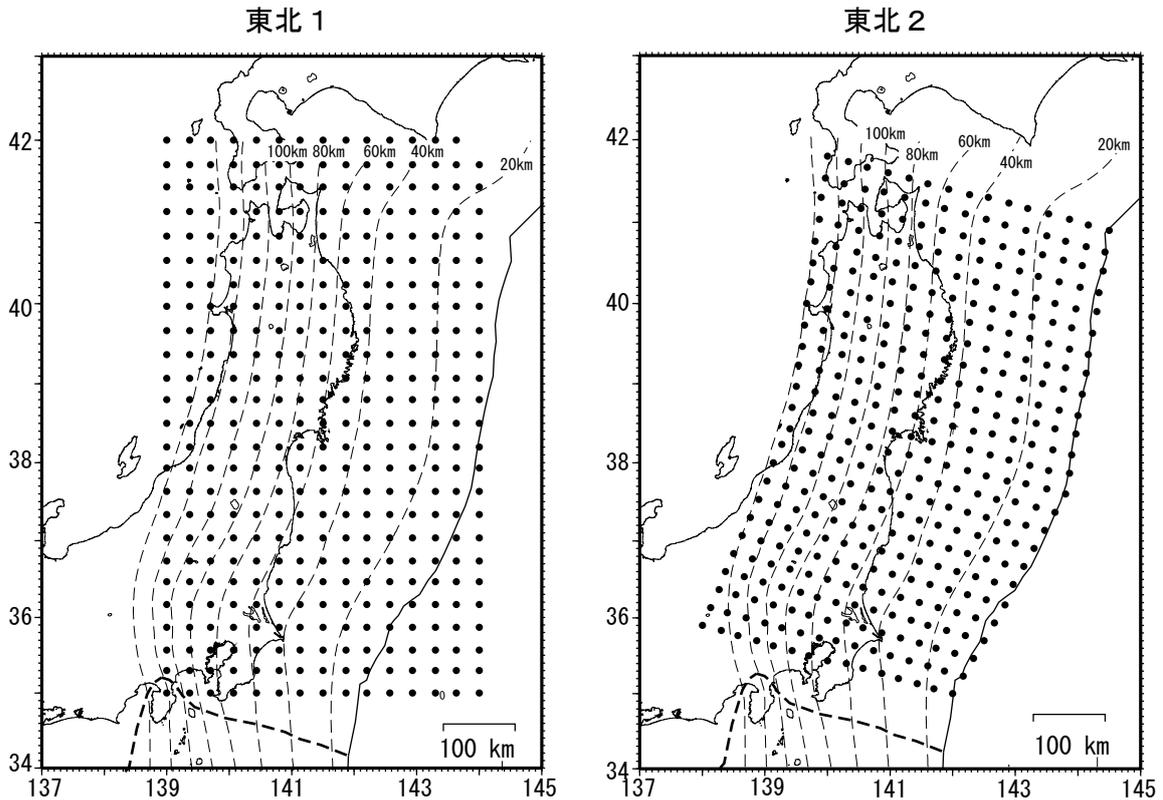


第 36 図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化 (銚子観測点・時系列)
Fig. 36 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Choshi site) (4/4).

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 (2011-2012年)	解析期間	データ	重みの逆数(誤差)		モデル 領域
					水平:上下:海底		
モデル1	矢吹&松浦	3/11- 9/25	地震後	Q3	1 : 3		東北 1
モデル2	時間依存	3/12- 10/24	地震後	F3 (R3を含む)	1 : 3		東北 2
モデル3	矢吹&松浦	4/1 - 9/3	地震後	F3+海底地殻変動	1 : 3 : 1		東北 2

モデル領域



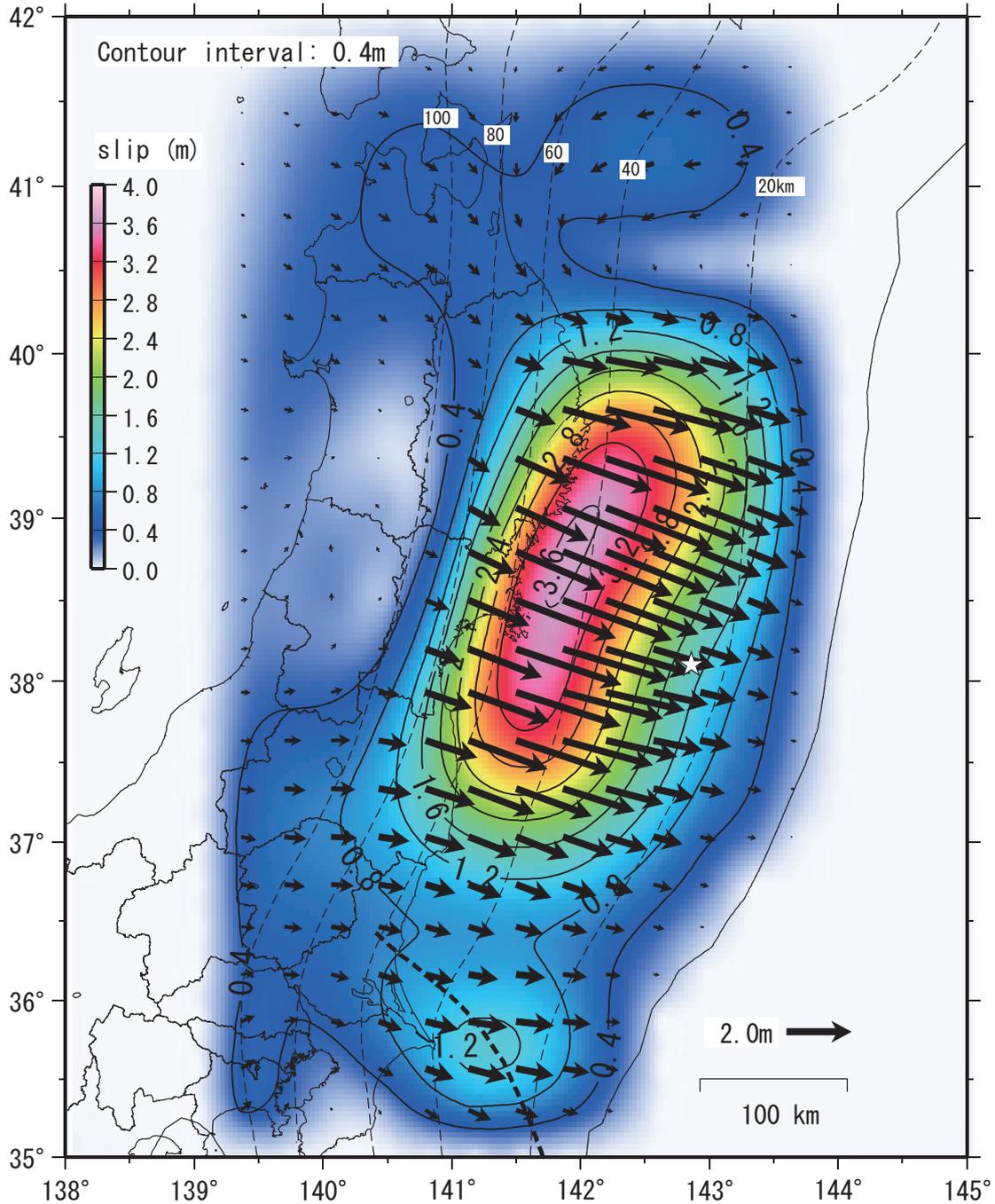
- ・点線は沈み込む太平洋プレート上面の等深線 (Nakajima and Hasegawa, 2006) .
- ・太点線はプレート境界 (Bird, 2003)

第 37 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. 37 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 - 20120925 18:00 (Q3解) 固定局: 三隅(950388)



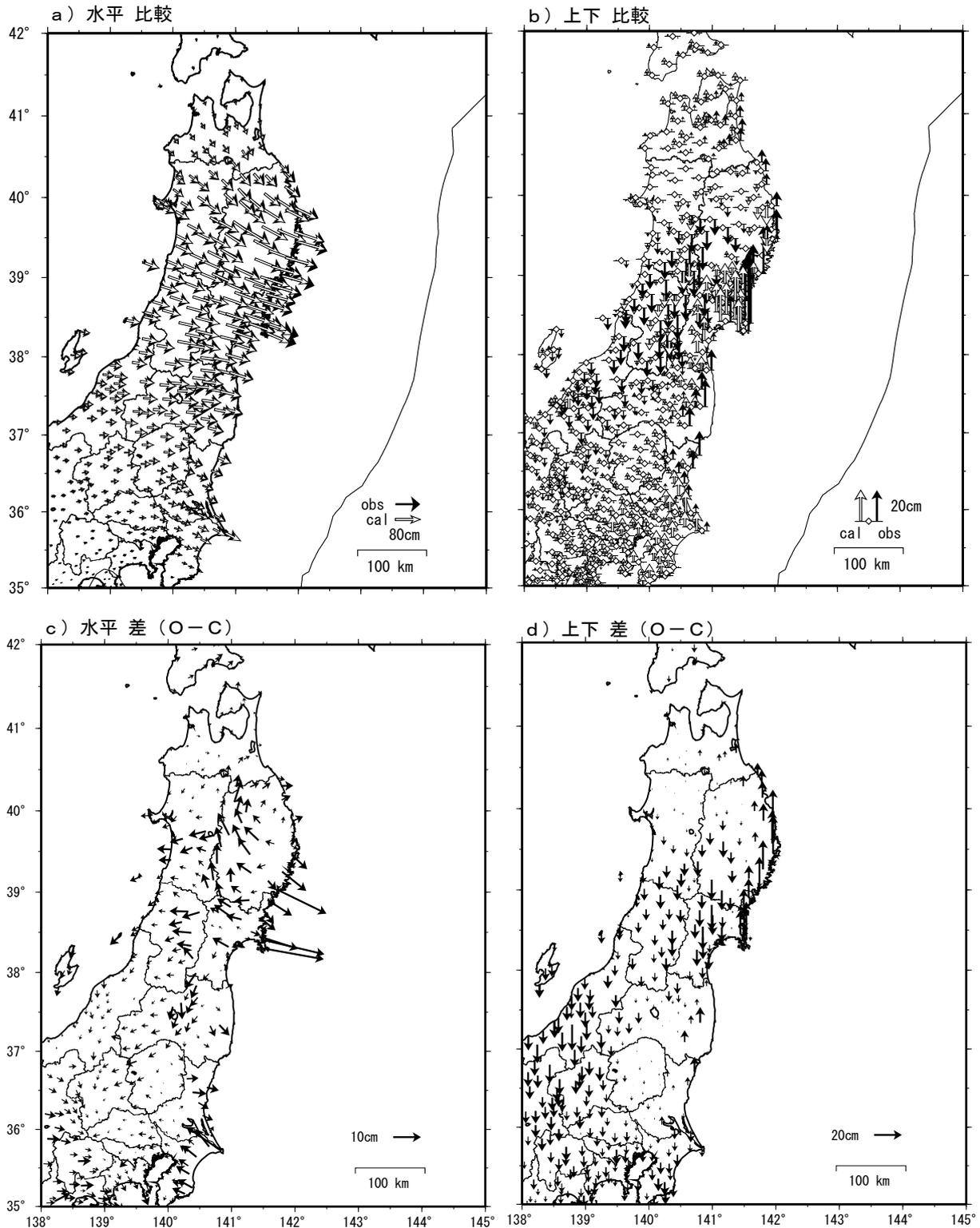
- ☆: 本震の震央(気象庁).
- ・太点線はフィリピン海スラブの北東端(Uchida et al., 2010, JGR).
- ・点線は沈み込む太平洋プレート上面の等深線(Nakajima and Hasegawa, 2006).

第38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. 38 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, slip distribution on the plate interface after the mainshock (preliminary result). 【model 1】

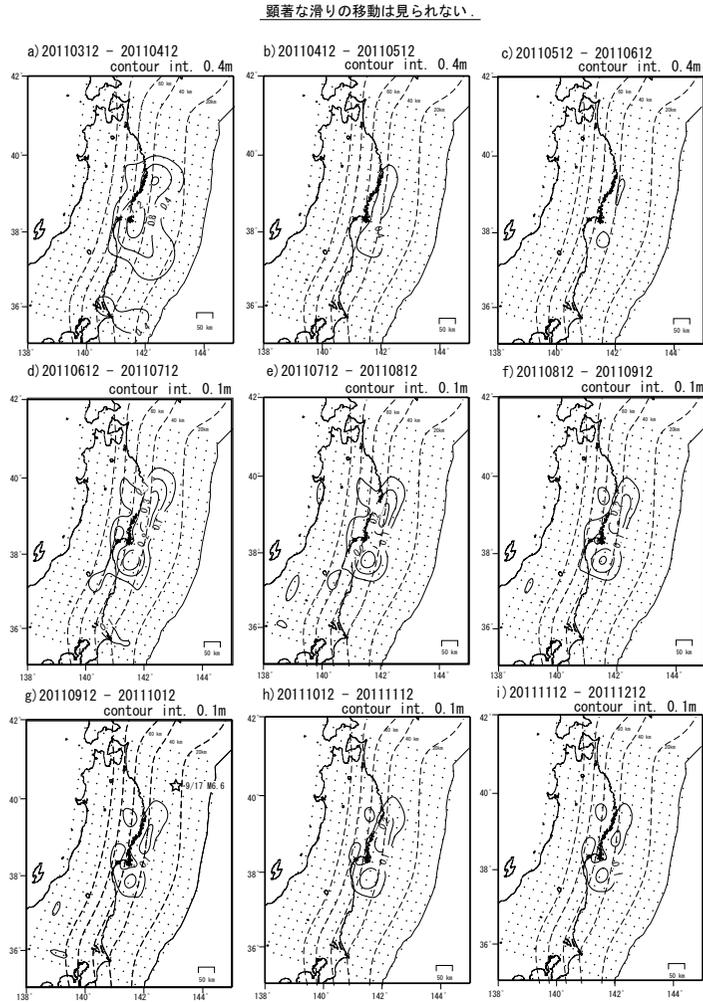
平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動ベクトルの観測値と計算値 (暫定) 【モデル1】

データ期間 20110311 18:00 - 20120925 18:00 (Q3解) 固定局 : 三隅(950388)



第39図 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】
Fig. 39 Afterslip model of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (preliminary result).
【model 1】

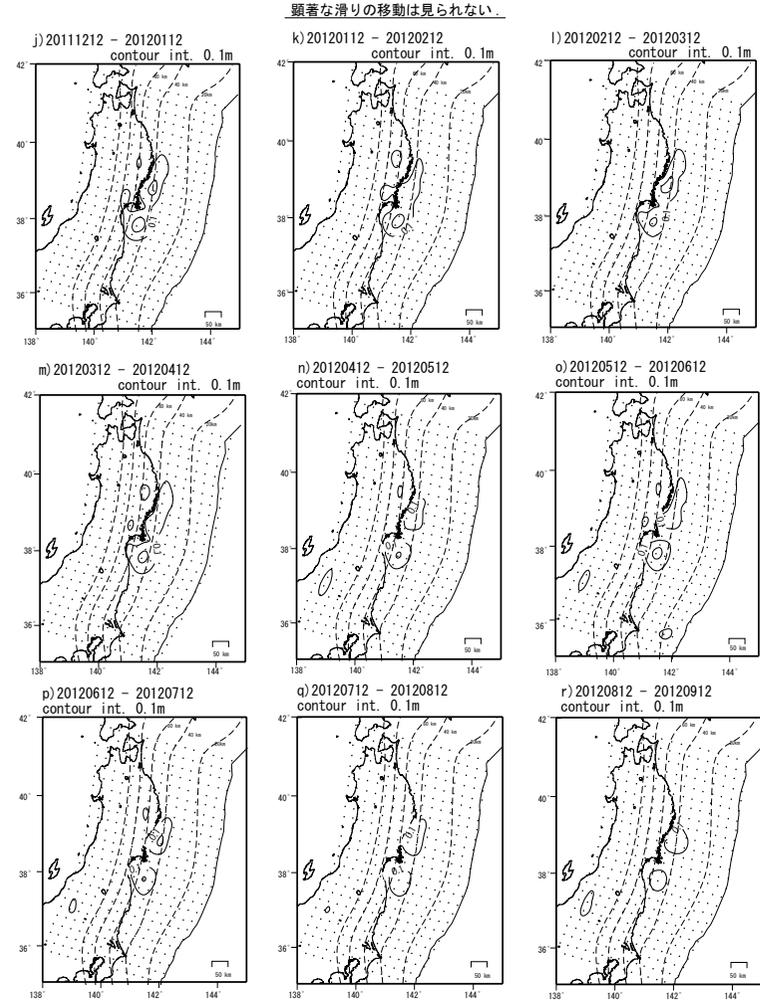
平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後の
プレート境界面上の滑りの時間変化 (1) (暫定) 【モデル 2】



固定局：福江 (950462)

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

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 (2) (暫定) 【モデル 2】



固定局：福江 (950462)

・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 40 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】

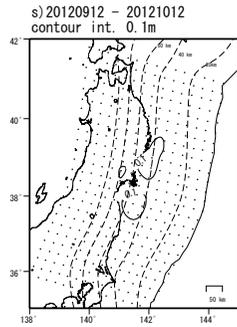
Fig. 40 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (1/4) 【model 2】 .

第 41 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. 41 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
プレート境界面上の滑りの時間変化（3）（暫定）【モデル 2】

顕著な滑りの移動は見られない。

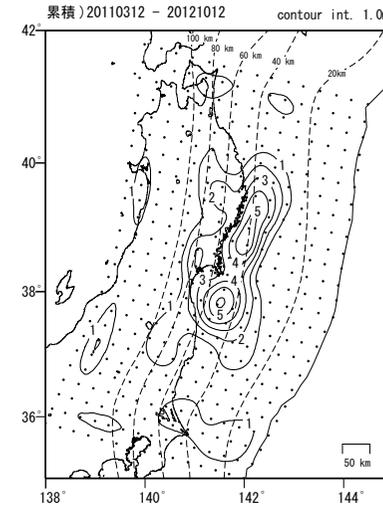


固定局：福江 (950462)

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

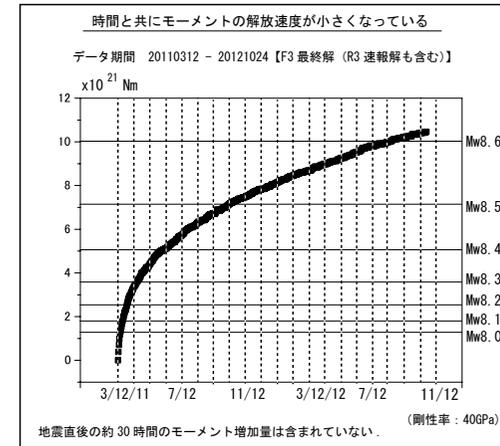
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
プレート境界面上の滑りの時間変化（4）（暫定）【モデル 2】

顕著な滑りの移動は見られない。



第 42 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】

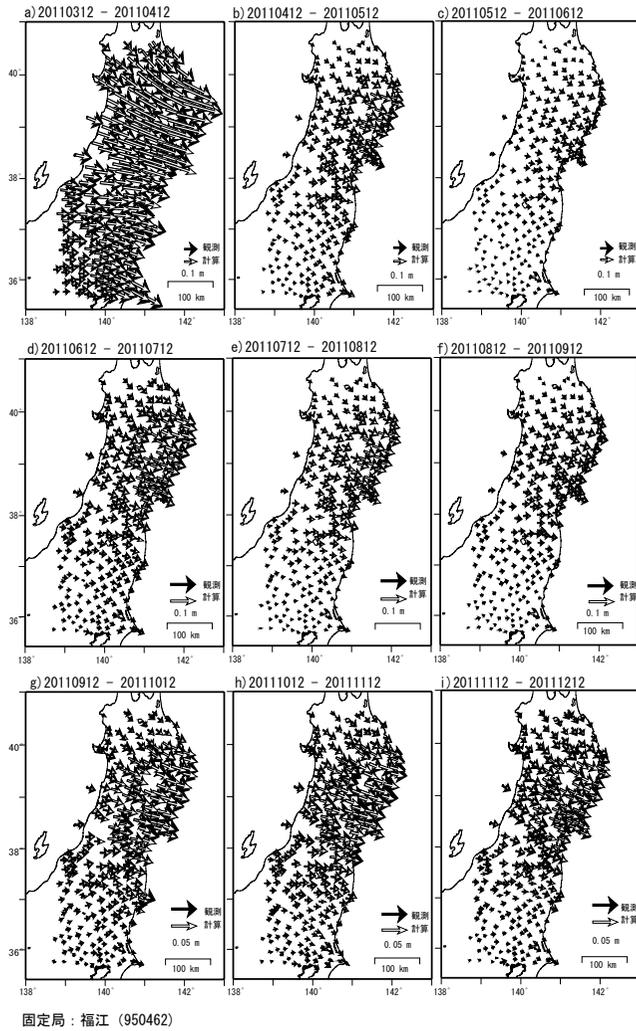
Fig. 42 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (3/4) 【model 2】 .



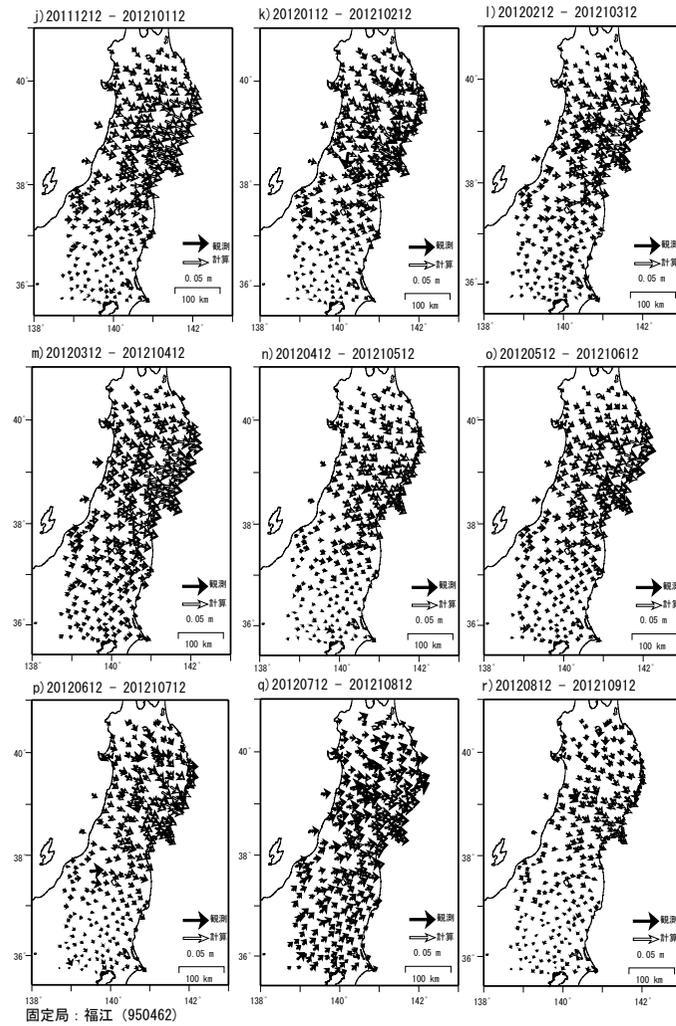
第 43 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑りの時間変化（暫定）【モデル 2】

Fig. 43 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（1）（暫定）【モデル 2】



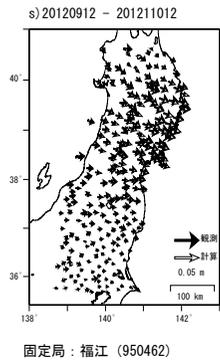
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較（2）（暫定）【モデル 2】



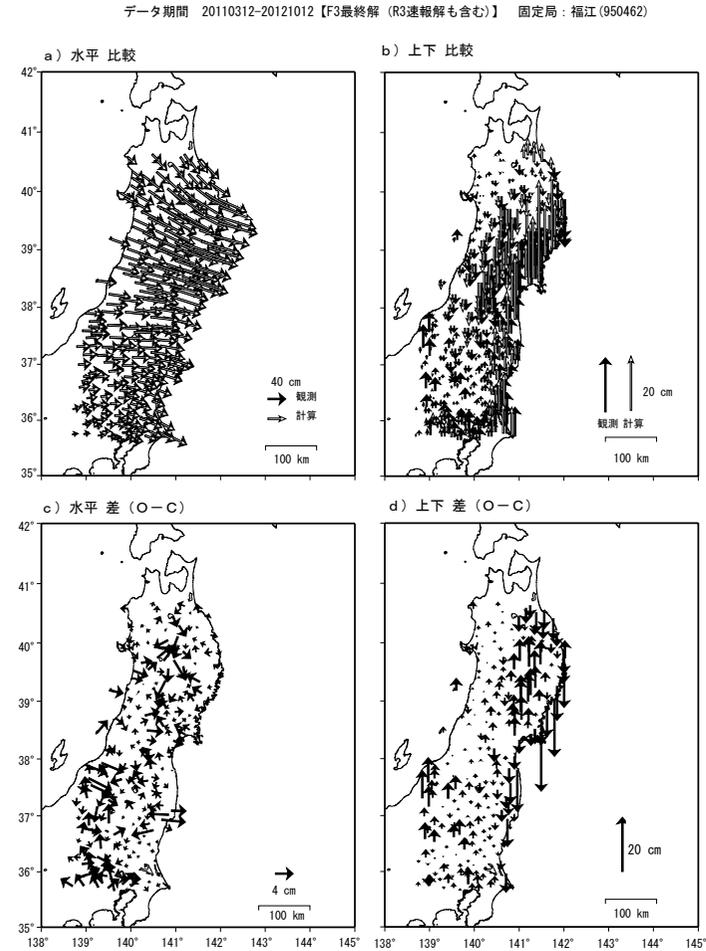
第 44 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較（暫定）【モデル 2】
Fig. 44 Observed and calculated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (1/4) 【model 2】 .

第 45 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. 45 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】



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】



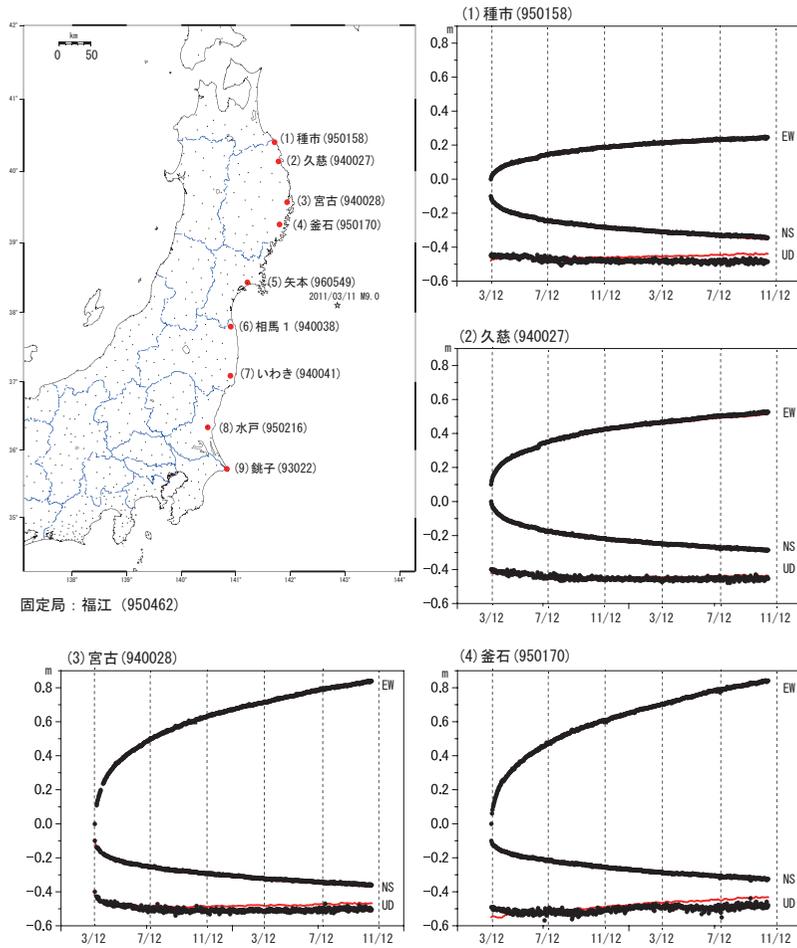
第 46 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の
比較（暫定）【モデル 2】

Fig. 46 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011
off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (3/4) 【model 2】 .

第 47 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】

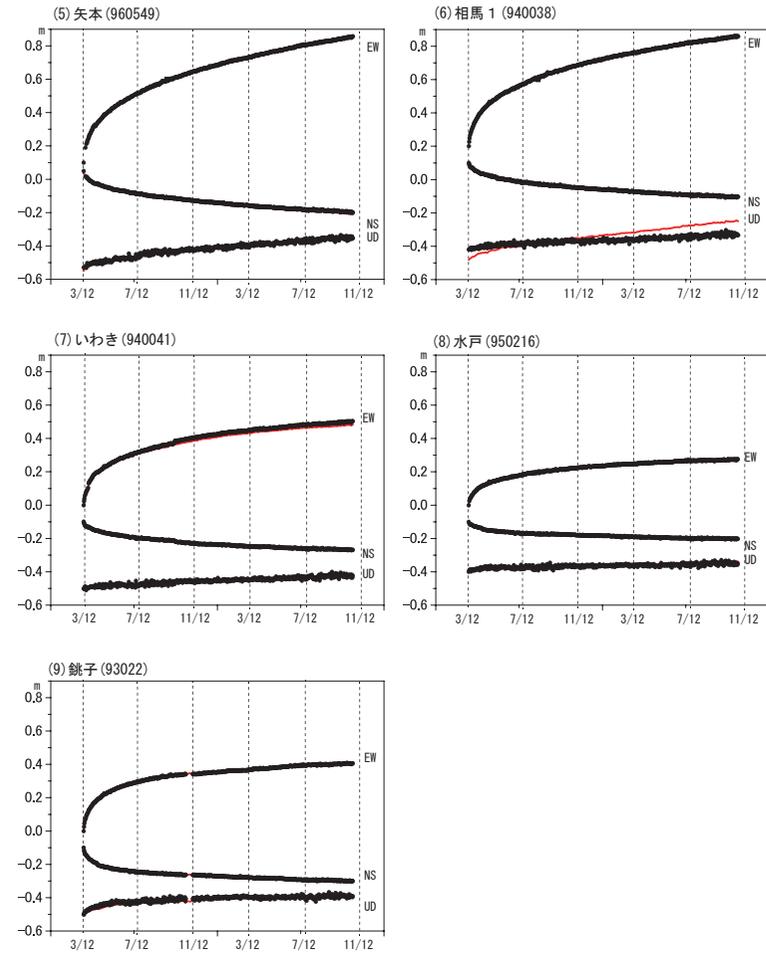
Fig. 47 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011
off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (4/4) 【model 2】 .

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）（1）（暫定）【モデル 2】



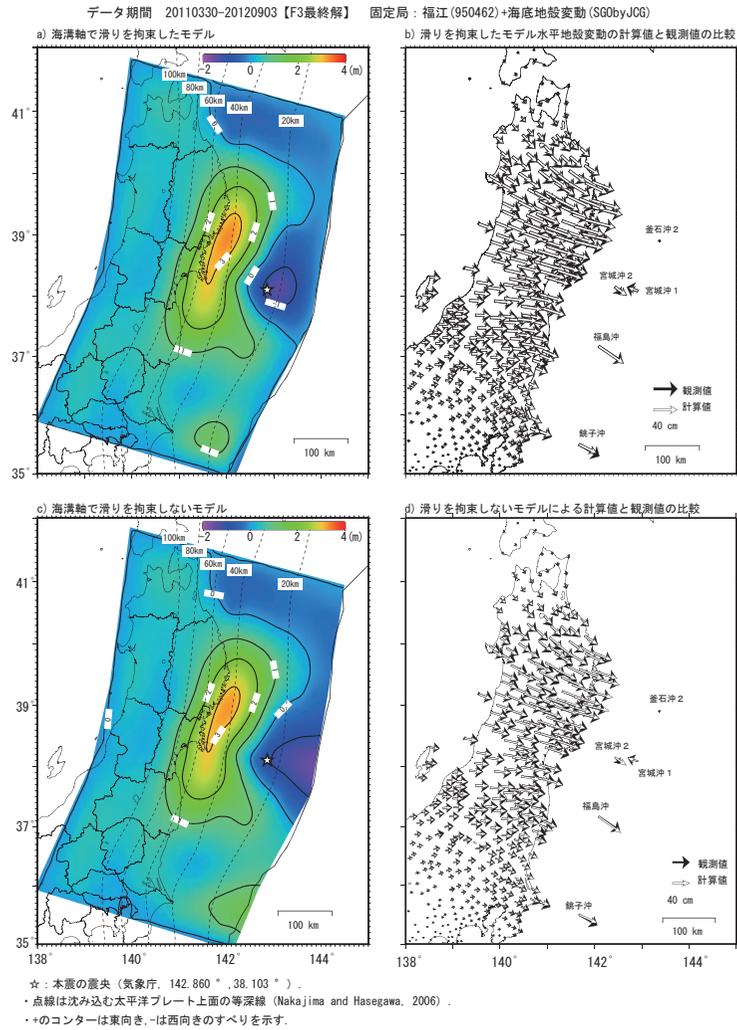
第 48 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動時系列 観測値と
計算値（暫定）【モデル 2】
Fig. 48 Observed and computed ground displacements (preliminary result) (1/2)
【model 2】 .

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】



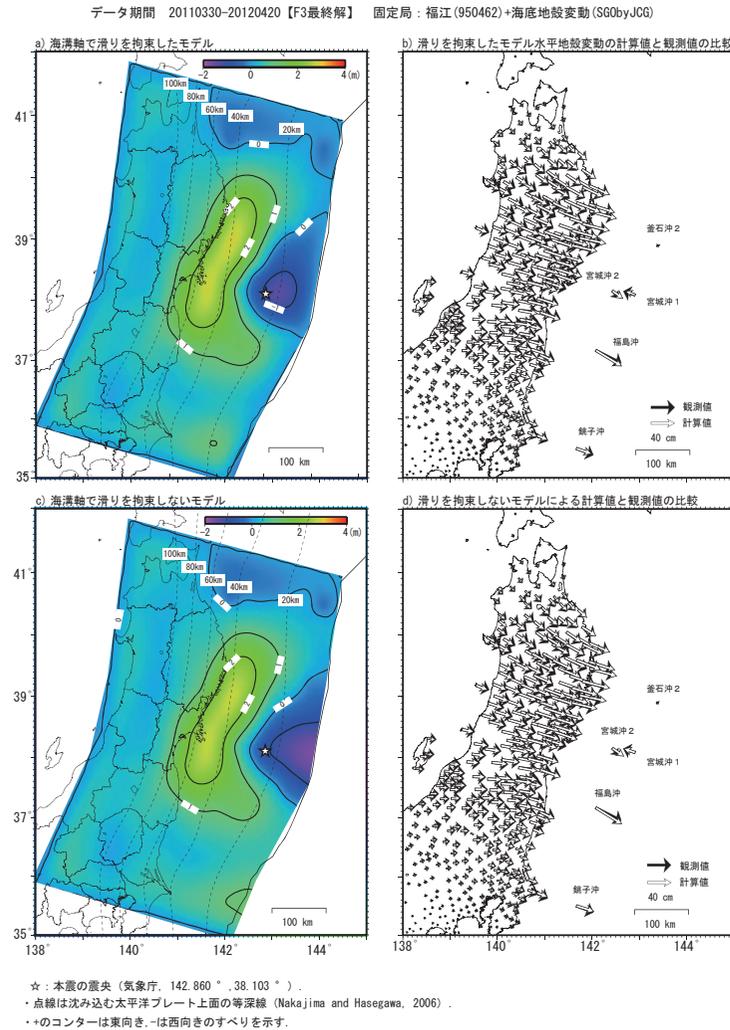
第 49 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動時系列 観測値と
計算値（暫定）【モデル 2】
Fig. 49 Observed and computed ground displacements (preliminary result) (2/2)
【model 2】 .

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】
プレートの浅部で西向きの滑りが現れる。



第 50 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. 50 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】
2012 年 4 月 20 日までの観測値に基づいたモデル。



第 51 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 4 月まで）
Fig. 51 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 2012/4).