

3-4 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図は、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震後の2011年7～12月に実施された水準点改測作業によって得られたデータの網平均結果と2000年平均成果から計算された、上下変動の分布である。2011年の改測結果の網平均処理においては、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、水準原点については油壺験潮場の潮位観測と水準測量の結果を用いて改定された原点数値を適用した。5527-2については、付近のGEONET観測点「二戸」の上下変動が1cm未満と考えられることから、改測前の値を適用した。今回改測した水準点を緑色の点で示し、図を見やすくするために、適当に間引いて、隆起量を赤の棒で、沈降量を青の棒で示している。三陸南部から千葉県にかけての太平洋沿岸の路線で、最大114.3cm(牡鹿半島)の大きな沈降が観測されている。また、日本海側の路線では数cmの隆起が観測されている。これらの上下変動の大部分は東北地方太平洋沖地震およびその後の余効変動によるものと考えられる。

第2図に、水準点改測作業における環閉合差を示す。全体的に括弧内の制限値と比較して、環閉合差は小さく良好な水準測量が実施されている。本図に示した水準路線のうち、会報第87巻に掲載済みの路線以外の路線についての観測結果を、第3～13図に示す。

第3図は、福島県会津若松市から郡山市・いわき市を經由して広野町(まち)に至る東西の路線の水準測量結果である。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震とその後の余効変動等の影響で、広野町側で約45cmの相対的沈降が見られる。

第4図は、山形県酒田市から新庄市に至る東西の路線の水準測量結果である。新庄市側で約7cmの相対的沈降が見られる。

第5図は、秋田県能代市から岩手県滝沢村に至る東西の路線の水準測量結果である。滝沢村側で約10cmの相対的沈降が見られる。

第6図は、会津若松市から新庄市に至る南北の路線の水準測量結果である。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等の影響で、山形市付近で5cmを超える相対的沈降が見られる。

第7図は、南会津町(まち)から会津若松市に至る路線の水準測量結果である。下郷町(しもごうまち)で沈降が見られる。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等の影響とみられる。

第8図は、新庄市から秋田市に至る路線の水準測量結果である。秋田市側で10cmを超える相対的隆起が見られる。

第9図は、山形県酒田市から秋田県由利本荘市に至る日本海沿岸の路線の水準測量結果である。北側で約4cmの相対的隆起が見られる。

第10図は、由利本荘市から能代市に至る日本海沿岸の路線の水準測量結果である。潟上(かたがみ)市から能代市にかけて相対的沈降が見られる。

第11図の男鹿(おが)市から三種町(みたねちょう)に至る路線では三種町側で相対的

沈降が見られる。男鹿市から潟上（かたがみ）市に至る路線では特段の変動は見られない。

第12図は、秋田県能代市から青森県五所川原市を經由して青森市に至る路線の水準測量結果である。五所川原市側で相対的隆起が見られる

第13図は、秋田県大館市から青森県平内町（ひらないまち）に至る路線の水準測量結果である。特段の変動は見られない。

[GNSS 連続観測 地震前後]

第14～24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14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15図以降の左列に地震前からの後約16ヶ月間、右列に東北地方太平洋沖地震後の期間の時系列を示す。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15図の(2)岩泉2では地震後も沈降が継続しているが、鈍化している。

第16図の(3)山田観測点で約80cmの東南東方向の余効変動が観測されている。また、地震後の沈降は鈍化している。(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17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18図の(7)相馬1観測点、(8)いわき観測点共に、地震時に沈降した。地震後の隆起は鈍化している。

第19図の(9)銚子観測点、(10)銚子観測点も同様。(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20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の沈降が見られる。

第21図の(13)矢巾（やはば）、(14)本荘観測点の上下変動は小さい。

第22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23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る。

第24図の(19)日光、(20)足立観測点共に、その量は小さいが、地震時に沈降し、地震後は隆起している。

(4)～(10)の岩手県南部以南の観測点では、地震後、隆起が観測されている。(11)～(20)の内陸および日本海側の観測点では、地震後に隆起・沈降が明瞭に反転した点はない。

[GNSS 地震後の変動 対数関数によるフィッティング]

第25～34図は、第14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、若干の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。成分ごとに推定した場合と矛盾がなく、より精度良く安定した時定数が推定されることを確認している。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。現状では、いずれの観測点も対数関数がよくフィットしており、それから大きくずれるような傾向の変化は見られない。

[GNSS 地震後のベクトル]

第35～38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、最近3ヶ月間の変動および全期間の変動の累積を、福江観測点を固定局として示すものである。第35図と第37図に示す地震後の累積の変動ベクトル図には、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35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80cmである。

第36図に示す最近3ヶ月の水平ベクトルについても、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。3ヶ月間の変動の最大値は岩手川崎A観測点における約6.8cmである。

第37図に地震後の全期間における上下変動の累積を示す。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。ただし、M牡鹿の約18cm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38図に示す最近3ヶ月の上下変動については、最大2cm程度の隆起が観測されている宮城県周辺を除き、上下変動の大きさは概ね1cm以下となっている。

[GNSS 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震後の地殻変動速度]

第39～42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。どの観測点でも余効変動は減衰しつつも継続している。

第42図に示す三隅－銚子基線の東西成分速度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)に伴う地殻変動によるものである。また、2011年秋に見られる南北成分の一時的な速度の変化は、2011年10月26日頃から11月8日頃までの期間に房総半島沖で発生したスロースリップに伴う地殻変動によるものである。

[東北地方太平洋沖地震 滑り分布モデル一覧]

第43図は、以降に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44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2.8mを超える滑りが見られる。銚子沖に0.8mを超える滑りが見られる。

[モデル1：観測値と滑り分布モデル計算値の比較 水平]

第45図左上は、水平観測値と第44図の滑り分布断層モデルによる計算値の比較である。全体的に合っているが、一部合わないところもある。

第45図左下は、水平のO-Cのベクトルを拡大表示したものである。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も含まれると考えられる。

第45図右上は、上下観測値と第44図の滑り分布断層モデルによる計算値の比較である。全体的に合っているが、岩手・銚子付近など合わないところもある。

第45図右下は、上下のO-Cのベクトルを拡大表示したものである。GNSS観測の上下成分の誤差は大きく、断層モデル計算時の重みも下げているため、残差は大きめであるが、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。東経139°以西の系統的な見かけ上の隆起の原因は、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。

[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46～53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暫定結果である。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46～第47図は1ヶ月ごとの推定滑り分布である。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。滑りの大きさは時間と共に減衰している。銚子沖の滑りは三陸沖に比べて小さい。

第48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。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8.5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49～51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。両者は、比較的よく合っている。

第52～53図は、地殻変動時系列3成分の観測値と計算値の比較である。両者は概ね合っている。ただし、一部の観測点では上下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 時間依存インバージョン F3]

第54図は、海上保安庁による2011年11月までの海底地殻変動観測による余効変動データをGEONETのF3解と共に解析することにより得られたプレート境界面上の滑りのモデルである。海底地殻変動観測によると、「宮城沖1」観測点では西北西向きに約23cmの余効変動が観測されている。左上a)は海溝軸での滑りを拘束したモデルで、本震震源付近で最大約0.8mの西向きの滑りが推定された。右上b)は海溝軸での滑りを拘束しないモデルで、海溝付近で最大約2mの西向きの滑りが推定された。いずれにしろ、観測された変動を説明するためにはプレート収束速度を超える正断層滑りが必要であることから、プレート間カップリングのみで観測を説明できないことがわかった。

[高度地域基準点測量]

第55～56図は、高度地域基準点測量による、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震を挟む期間における東北地方北部および南部の水平歪図である。東北地方太平洋沖地震後に行われた高度地域基準点測量と、2004年から2007年にかけて行われた前回の高度地域基準点測量結果の差から求めたものである。東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動により、太平洋沿岸を中心とするに広い範囲に東北地方太平洋沖地震の震源域に向かう方向の伸びが見られる。また、岩手県と宮城県の県境付近には、2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震の影響が見られる。

第57～58図は、前回の高度地域基準点測量結果と1979年から1982年にかけて行われた一次網測量の結果から求めた、東北地方太平洋沖地震前の期間における歪みである。第55～56図を検討する際の参考のために付けた。

[GNSS 機動観測]

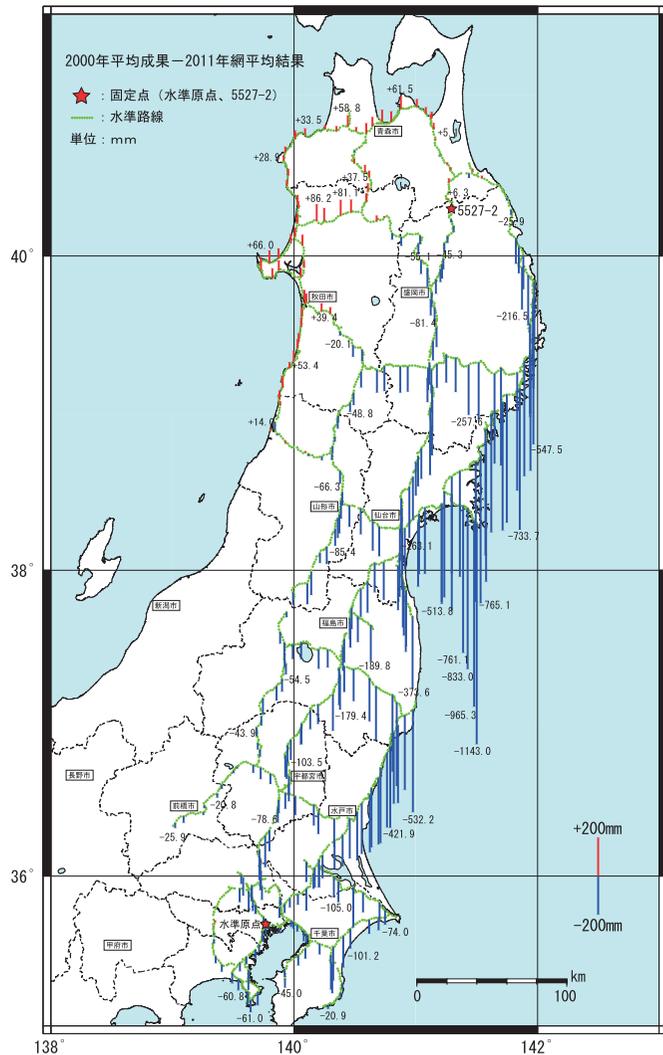
第59図は、牡鹿地区のGNSS機動観測（繰り返し観測；キャンペーン観測）の結果である。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う東西伸張を示すひずみが見られる。

参 考 文 献

- 1) 国土地理院, 2012, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 87, 101-153.
- 2) 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.

東日本の上下変動

東北地方太平洋沖地震に伴い、太平洋側で大きな沈降が見られ、日本海側では隆起が見られる。



・2011年の改測結果の網平均計算においては、水準原点について改定された原点数値を、変動が小さいと考えられる5527-2については改測前の値を適用して固定した。

第1図 東日本の上下変動

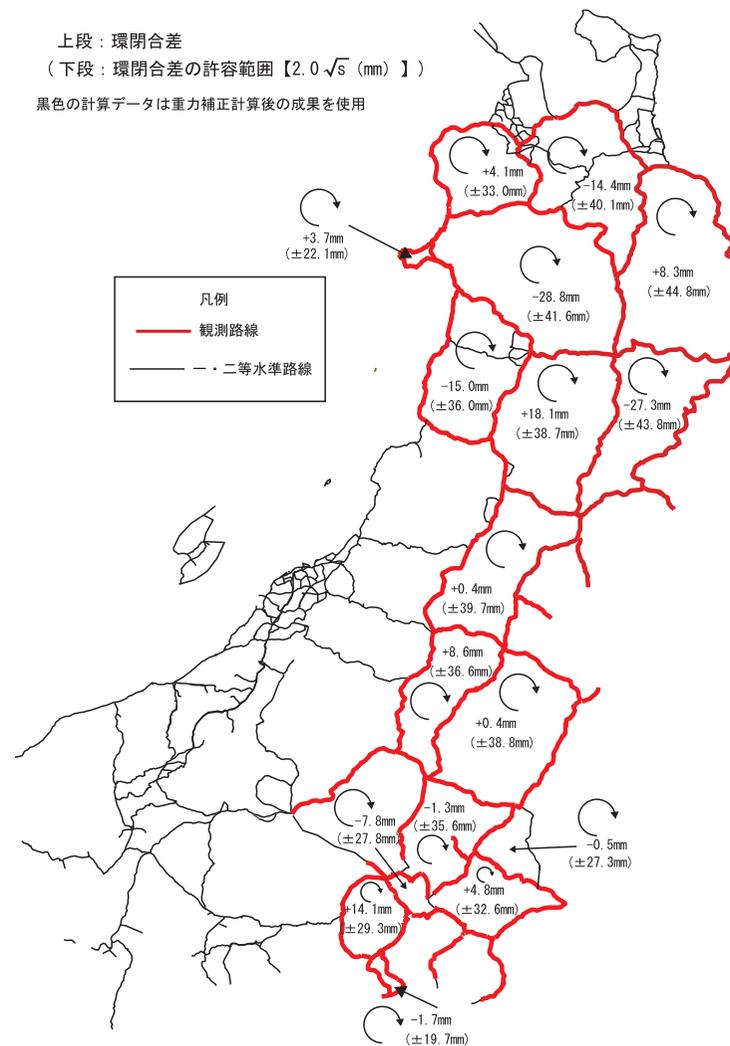
Fig. 1 Vertical movements in eastern Japan observed by leveling survey.

平成23年度(2011年)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

上段：環閉合差
(下段：環閉合差の許容範囲 $[2.0\sqrt{s} \text{ (mm)}]$)

黒色の計算データは重力補正計算後の成果を使用



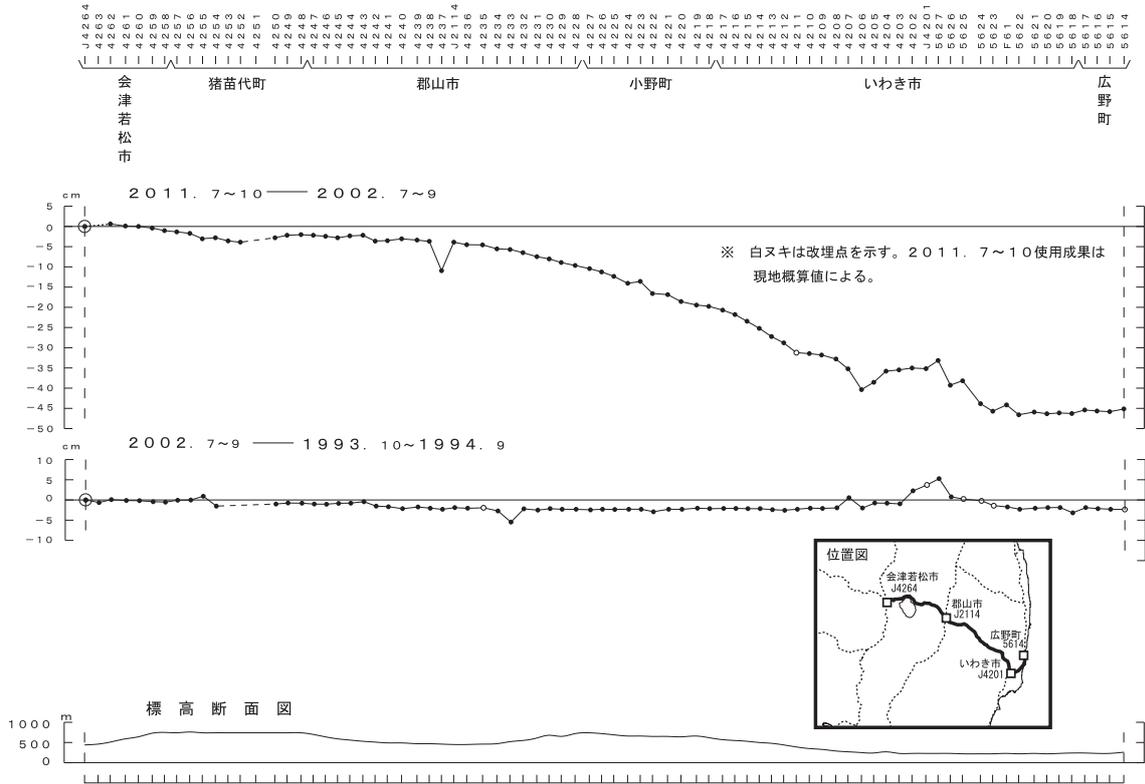
※この図の縦横比は実際と異なります。

第2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. 2 Route and circuit closing of leveling surveys for revision of vertical survey results after the 2011 Tohoku Earthquake.

会津若松市～広野町間の上下変動

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等に伴い、広野町側で約45cmの沈降が見られる。

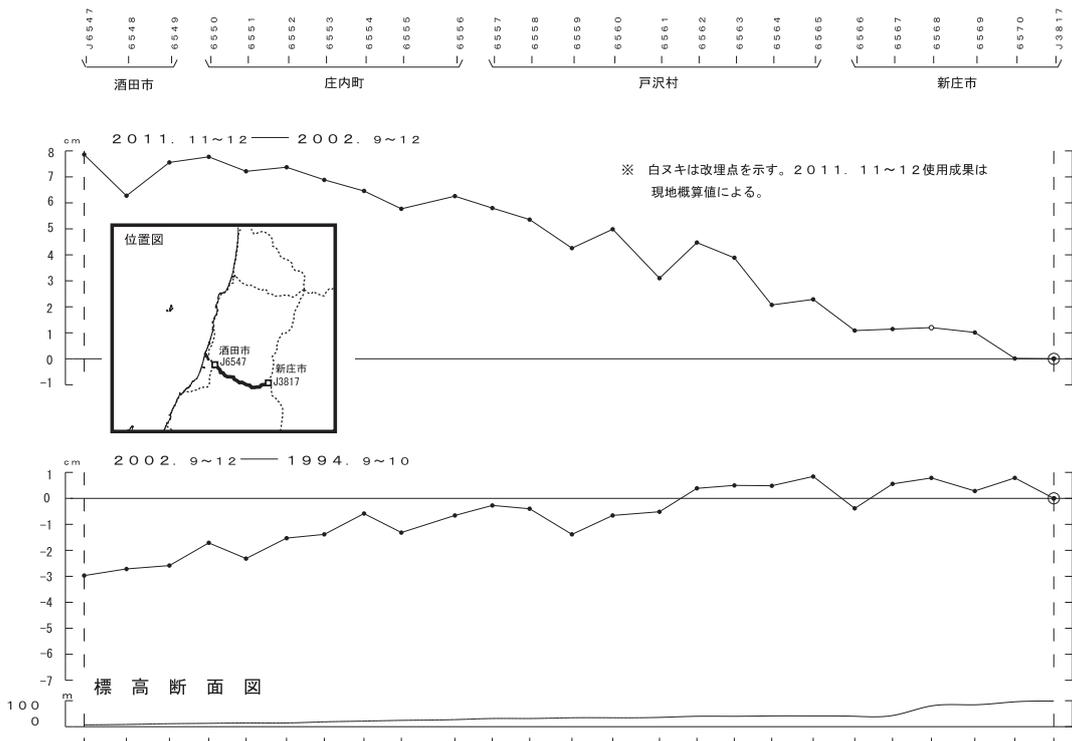


第3図 会津若松市～広野町間の上下変動

Fig. 3 Results of leveling survey from Aizuwakamatsu city to Hirono town.

酒田市～新庄市間の上下変動

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等に伴い、新庄市側で約7cmの沈降が見られる。

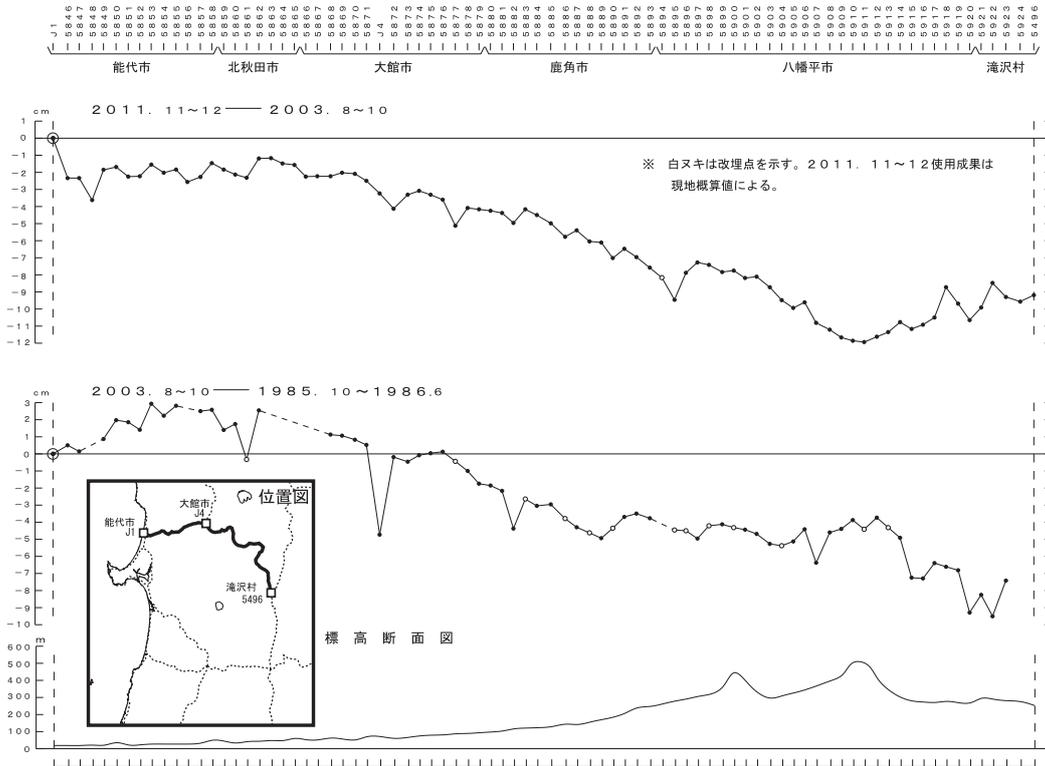


第4図 酒田市～新庄市間の上下変動

Fig. 4 Results of leveling survey from Sakata city to Shinjo city.

能代市～滝沢村間の上下変動

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等に伴い、滝沢村側で約10cmの沈降が見られる。

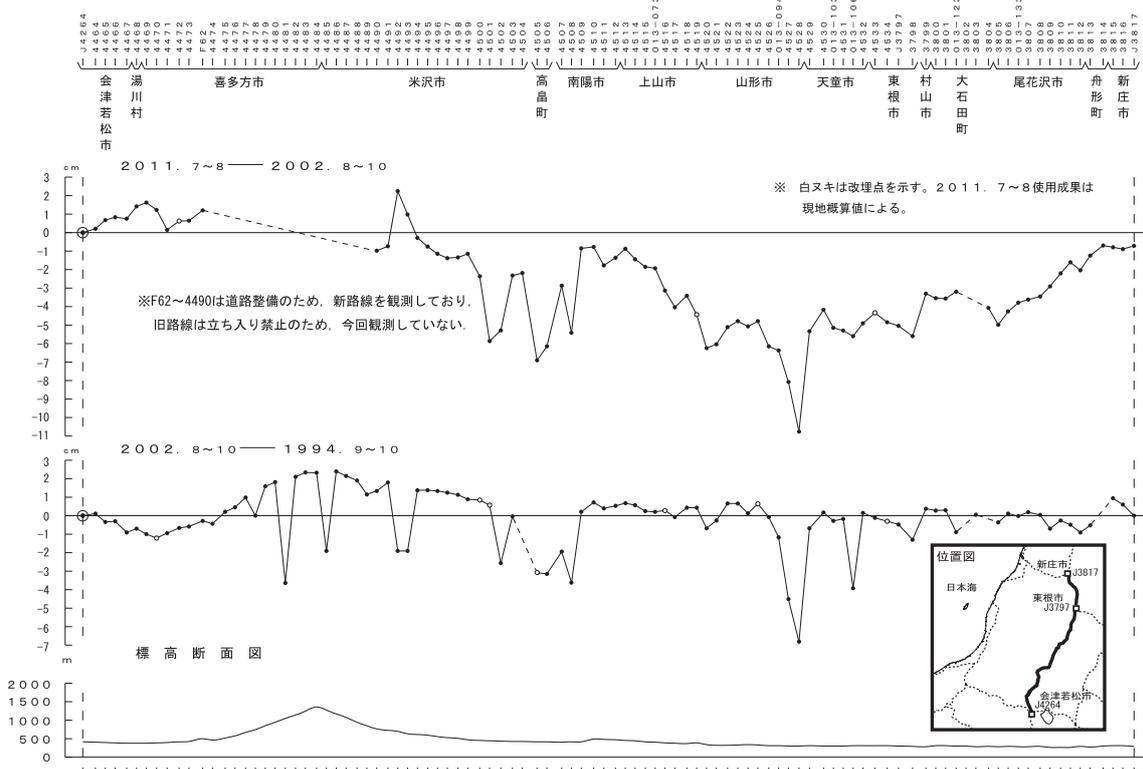


第5図 能代市～滝沢村間の上下変動

Fig. 5 Results of leveling survey from Noshiro city to Takizawa village.

会津若松市～新庄市間の上下変動

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等に伴い、山形市付近で5cmを超える沈降が見られる。

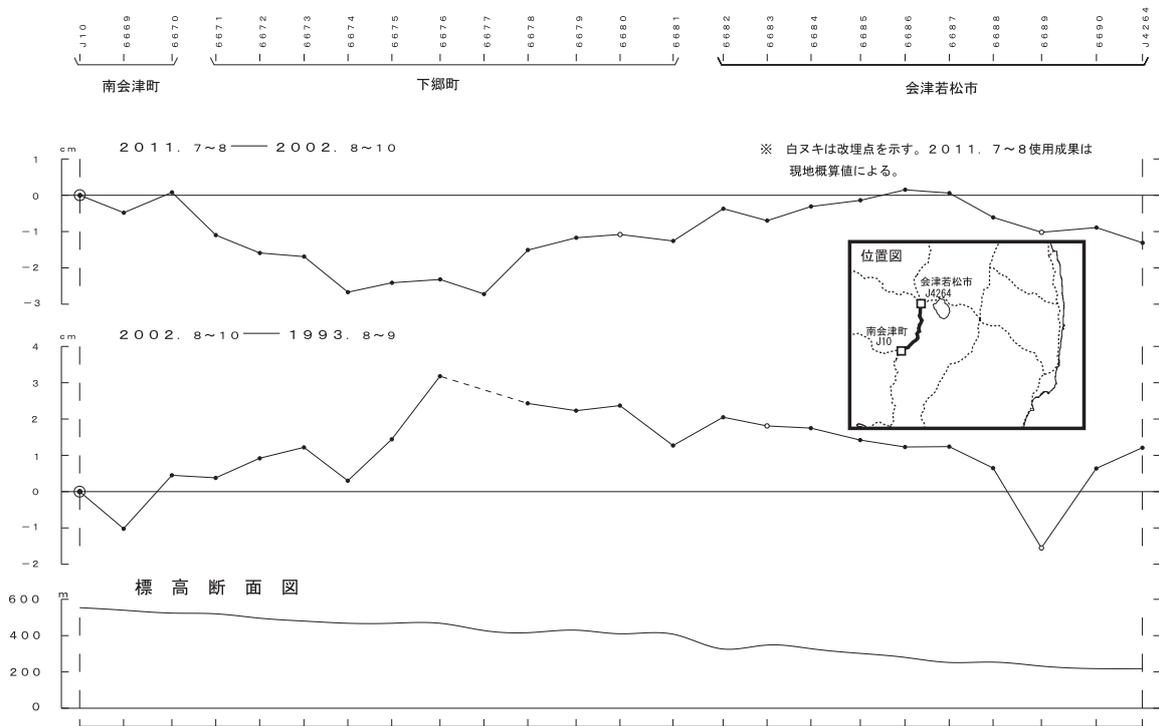


第6図 会津若松市～新庄市間の上下変動

Fig. 6 Results of leveling survey from Aizuwakamatsu city to Shinjo city.

南会津町～会津若松市間の上下変動

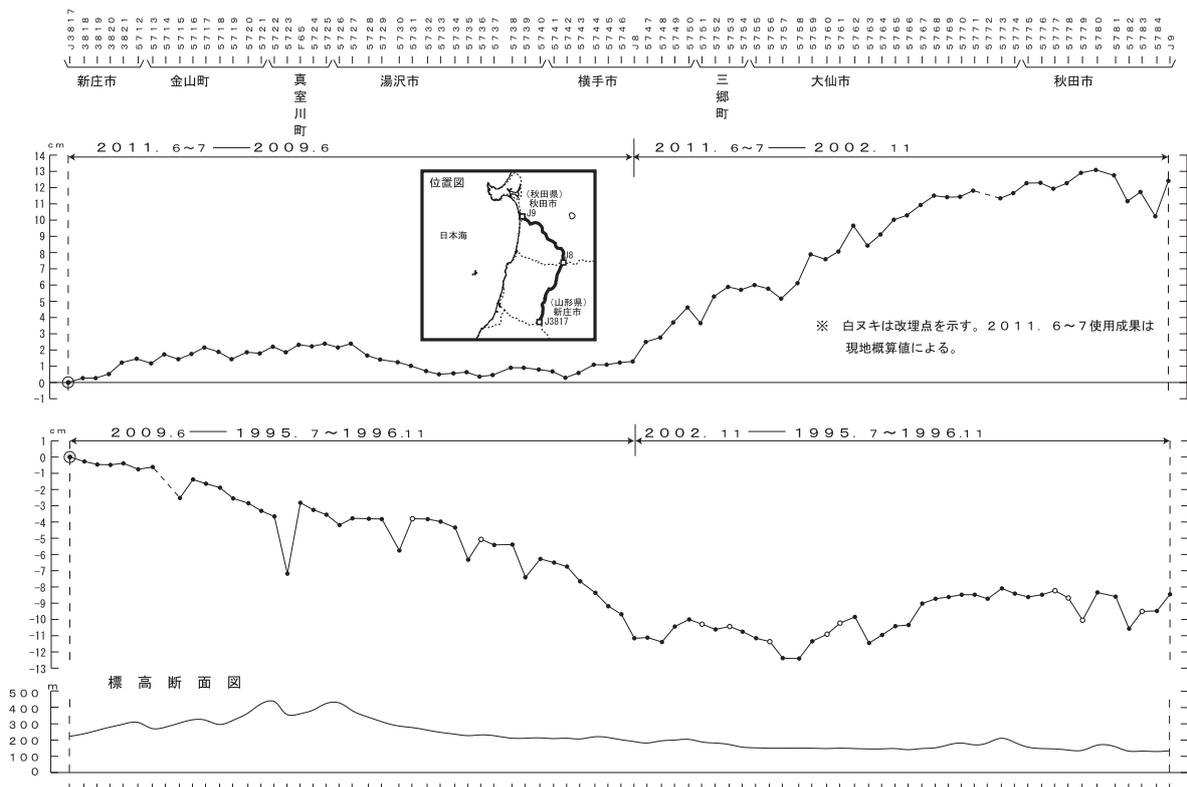
下郷町付近で沈降が見られる。



第7図 南会津町～会津若松市間の上下変動
Fig. 7 Results of leveling survey from Minami-Aizu town to Aizuwakamatsu city.

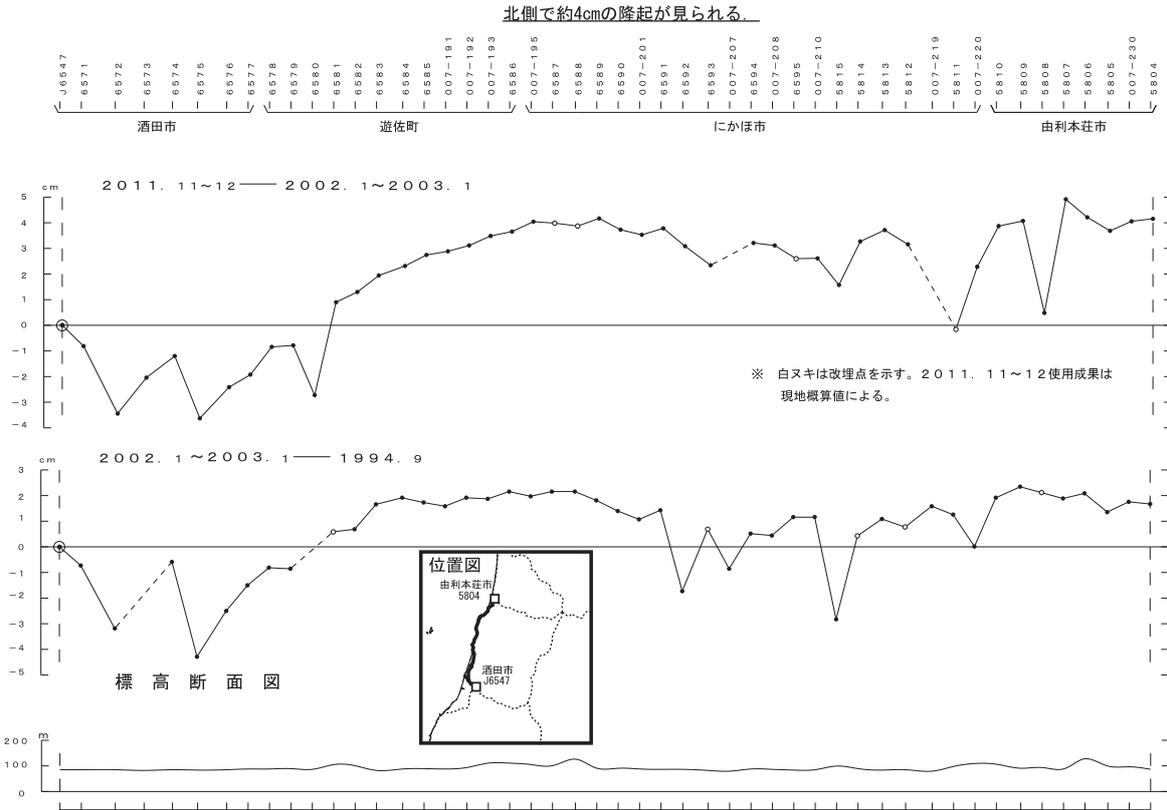
新庄市～秋田市間の上下変動

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震等に伴い、秋田市側で10cmを超える隆起が見られる。



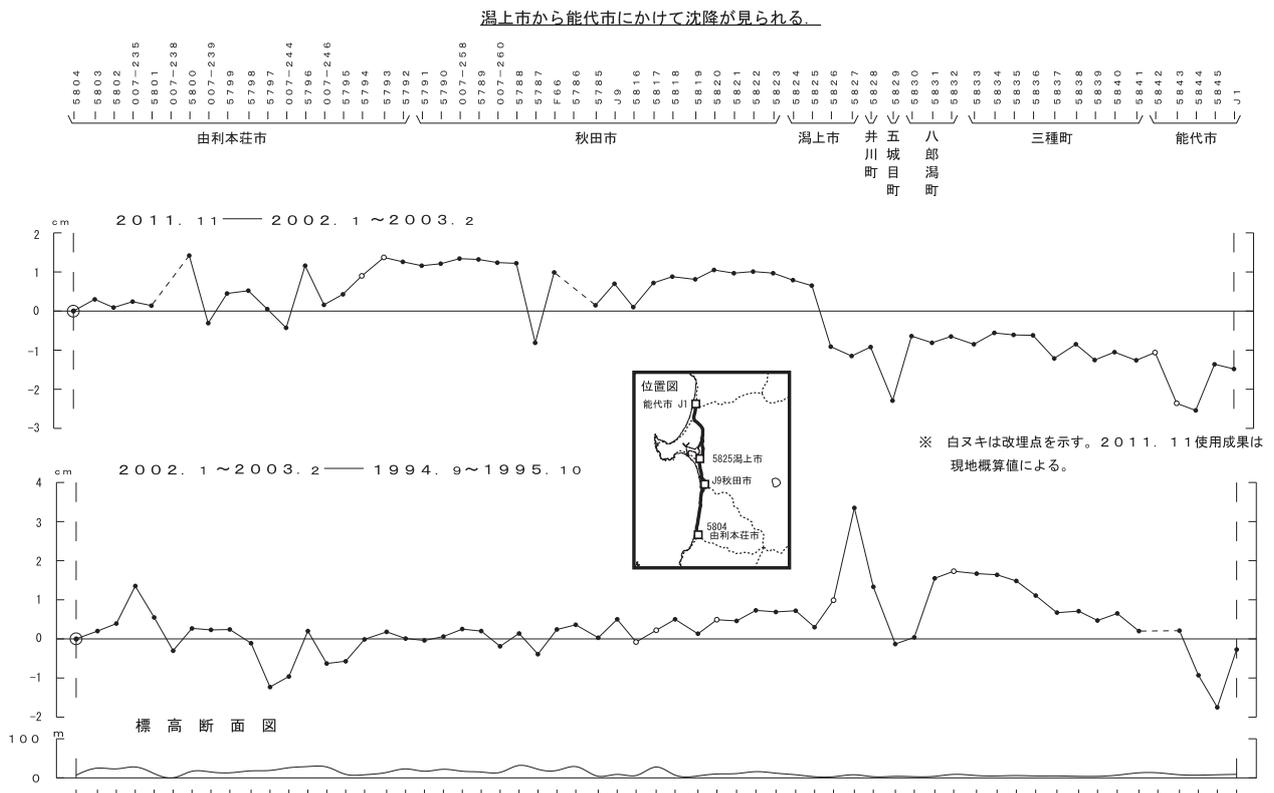
第8図 新庄市～秋田市間の上下変動
Fig. 8 Results of leveling survey from Shinjo city to Akita city.

酒田市～由利本荘市間の上下変動



第9図 酒田市～由利本荘市間の上下変動
Fig. 9 Results of leveling survey from Sakata city to Yurihonjo city.

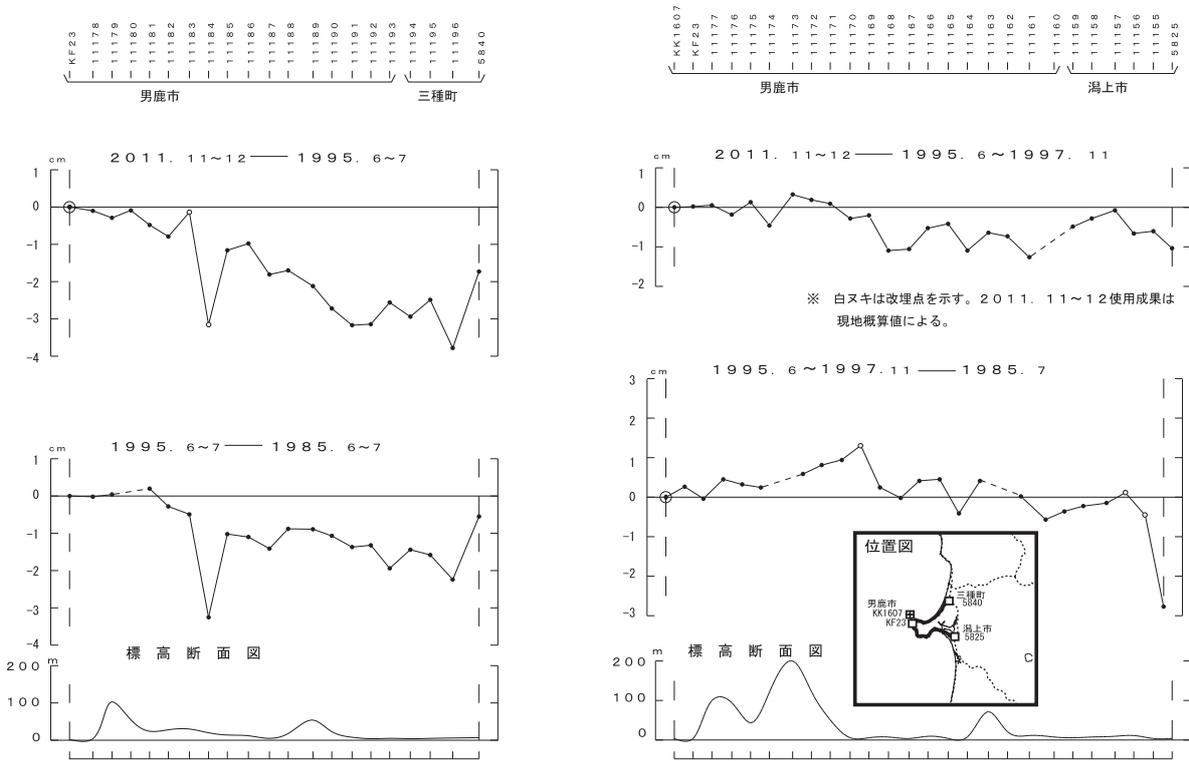
由利本荘市～能代市間の上下変動



第10図 由利本荘市～能代市間の上下変動
Fig. 10 Results of leveling survey from Yurihonjo city to Noshiro city.

男鹿市～三種町，男鹿市～潟上市間の上下変動

三種町付近にかけて沈降が見られる。

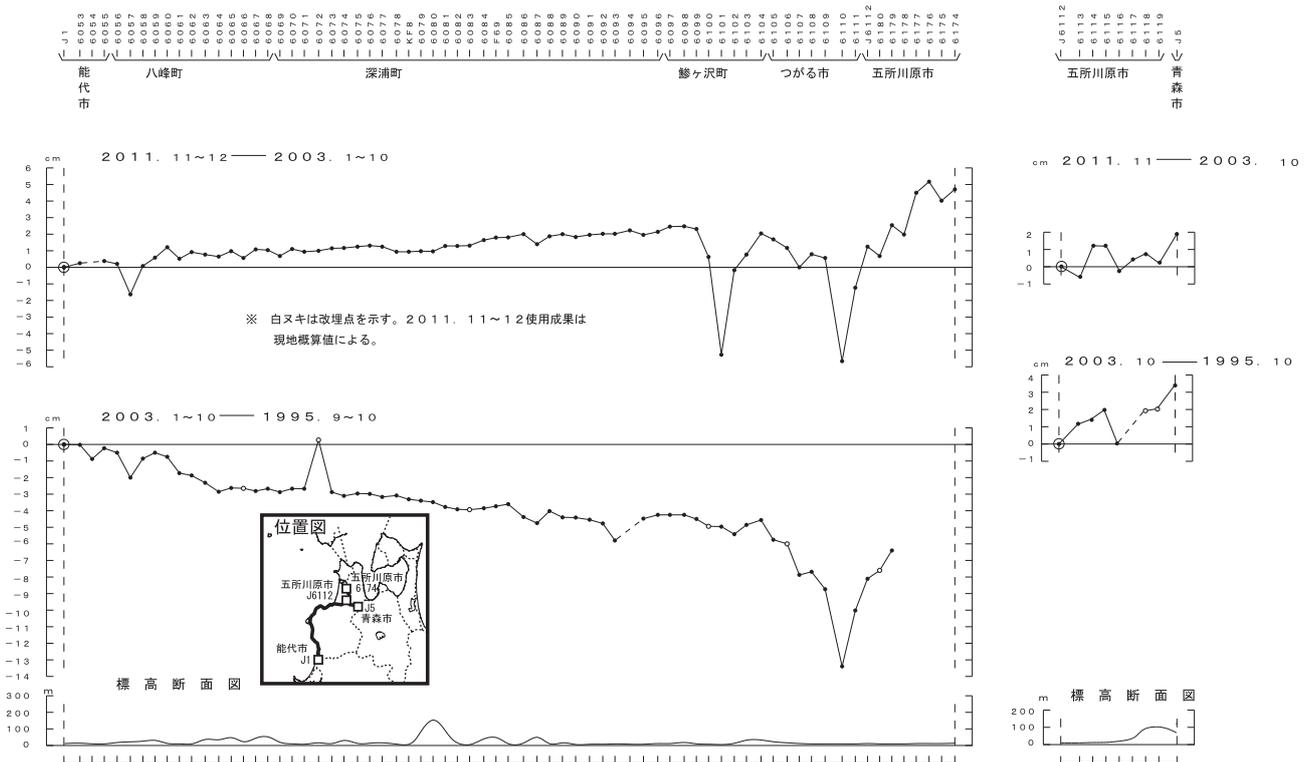


第 11 図 男鹿市～三種町、男鹿市～潟上市間の上下変動

Fig. 11 Results of leveling survey from Oga city to Mitane town, Oga city to Katagami city.

能代市～五所川原市～青森市間の上下変動

五所川原市側で隆起が見られる。

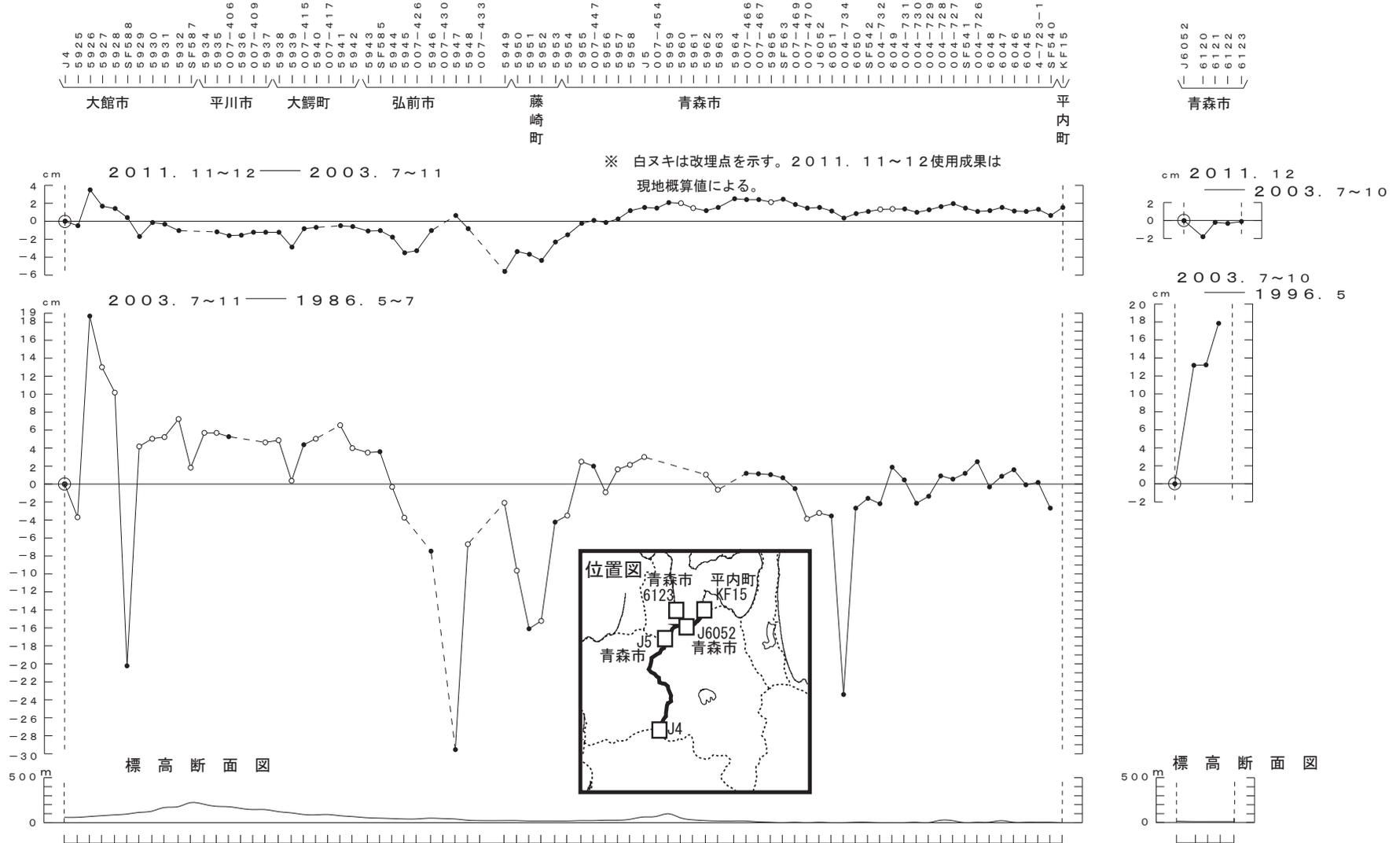


第 12 図 能代市～五所川原市～青森市間の上下変動

Fig. 12 Results of leveling survey from Noshiro city to Aomori city via Goshogawara city.

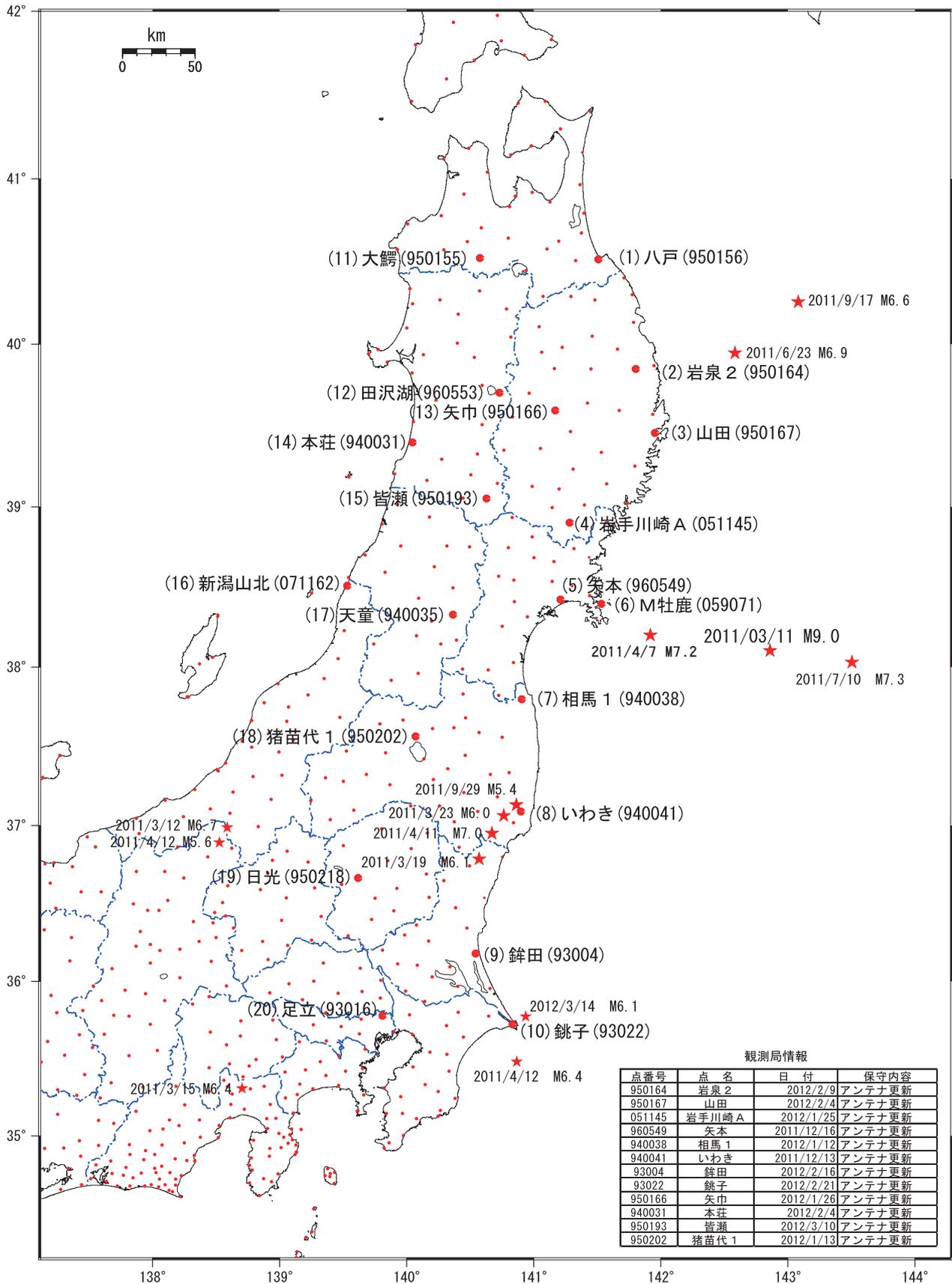
大館市～青森市～平内町間の上下変動

特段の変動は見られない。



第13図 由利本荘市～能代市間の上下変動
 Fig. 13 Results of leveling survey from Yurihonjo city to Noshiro city.

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

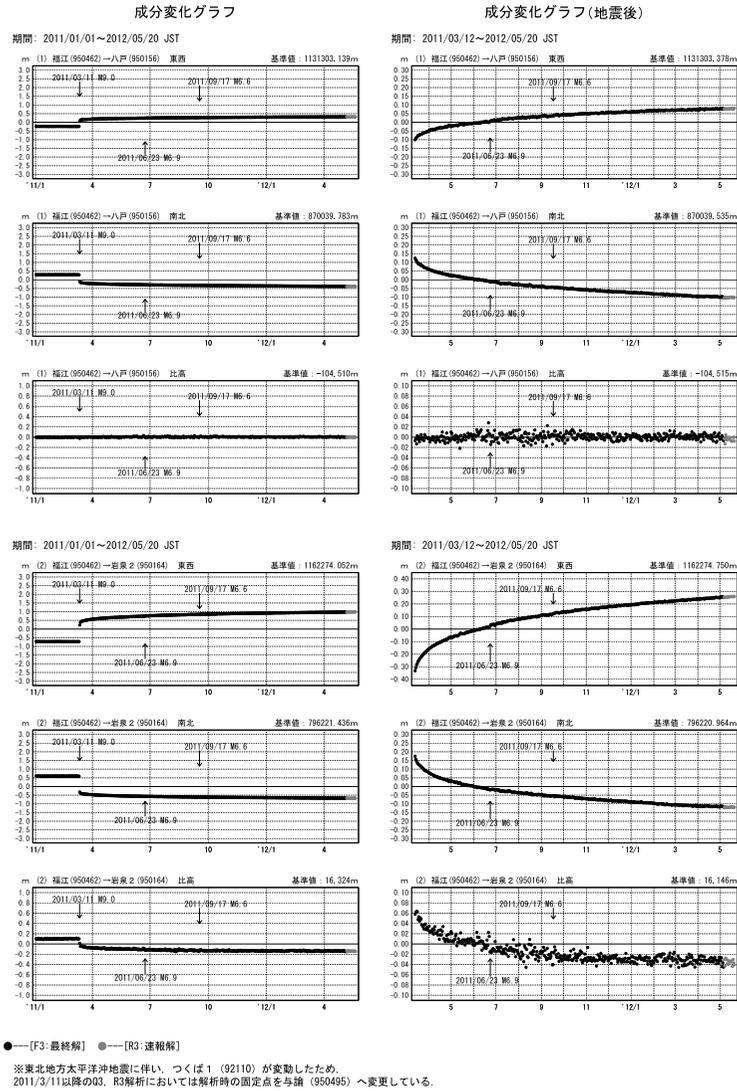


第 14 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（時系列） 配点図

Fig. 14 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鈍化している。



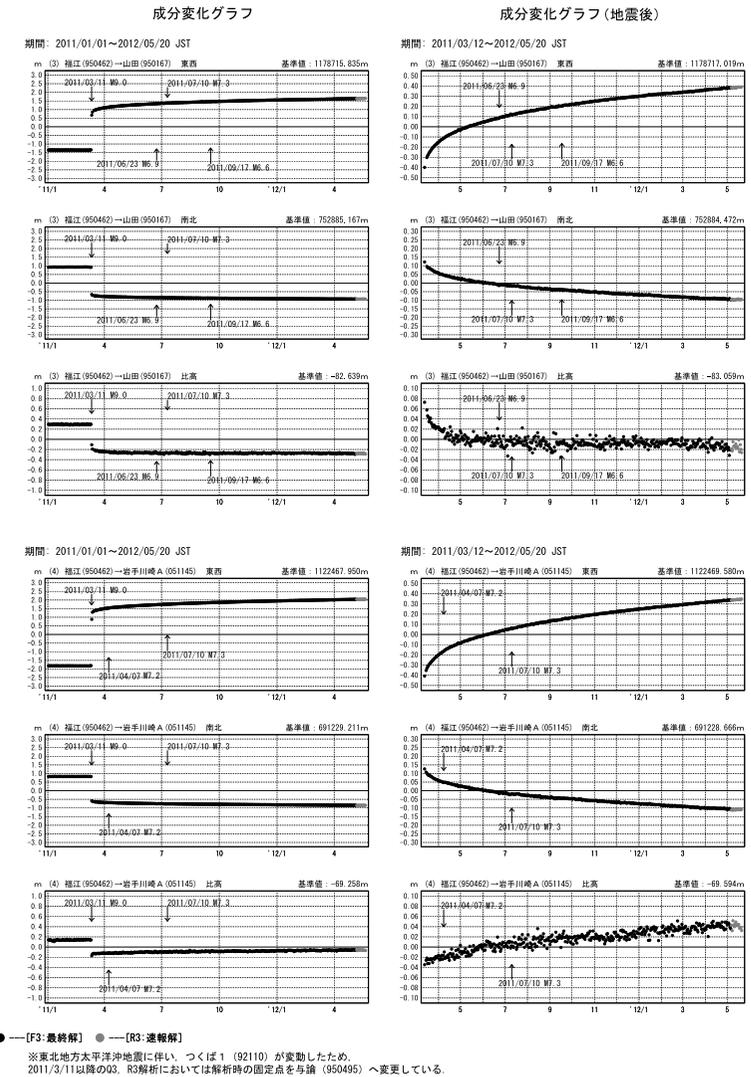
第15図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 15 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/10).

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80cmの変動が見られる。

山田観測点では地震後の沈降が鈍化している。

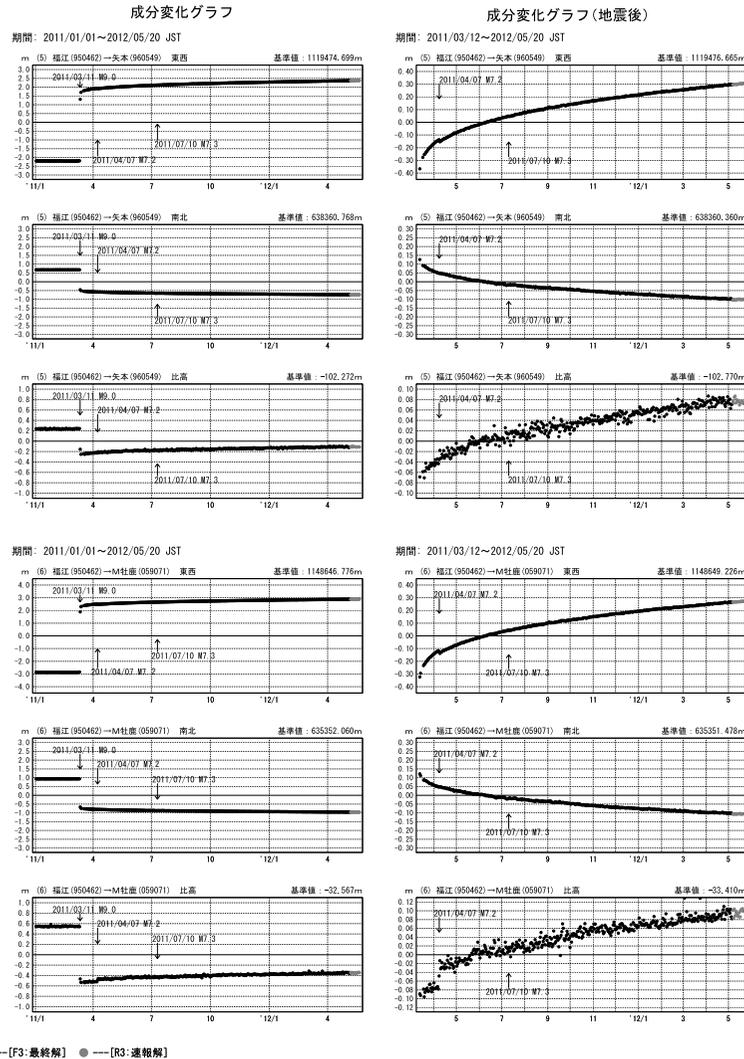
岩手川崎A観測点では地震時に沈降したが、地震後は隆起している。



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 (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。

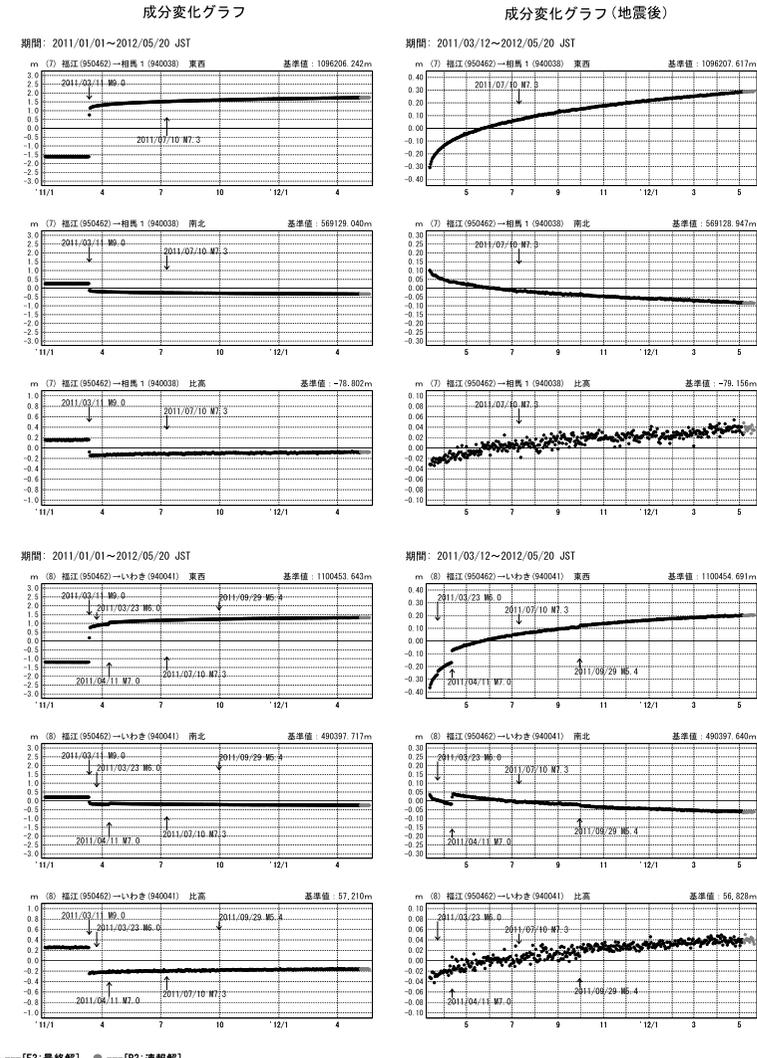


●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解]
 ※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1（92110）が変動したため、
 2011/3/11以降の03、R3解析においては解析時の固定点を与論（950495）へ変更している。

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 (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、地震後は隆起が継続したが、隆起は鈍化している。

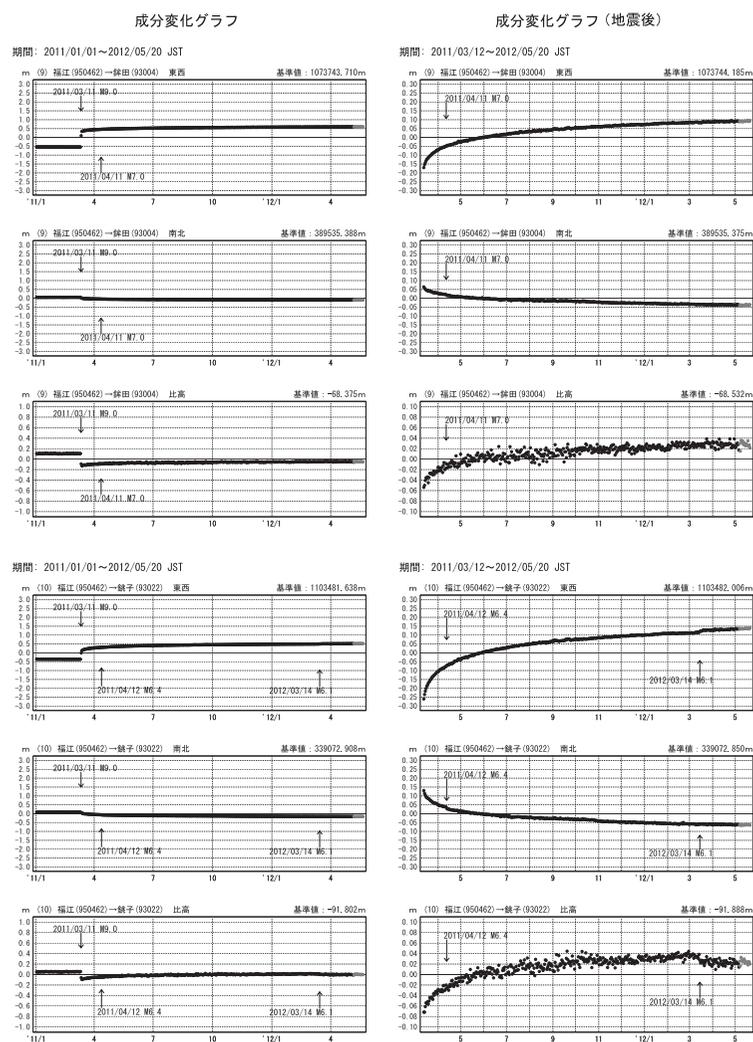


●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解]
 ※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1（92110）が変動したため、
 2011/3/11以降の03、R3解析においては解析時の固定点を与論（950495）へ変更している。

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 (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、隆起は鈍化している。

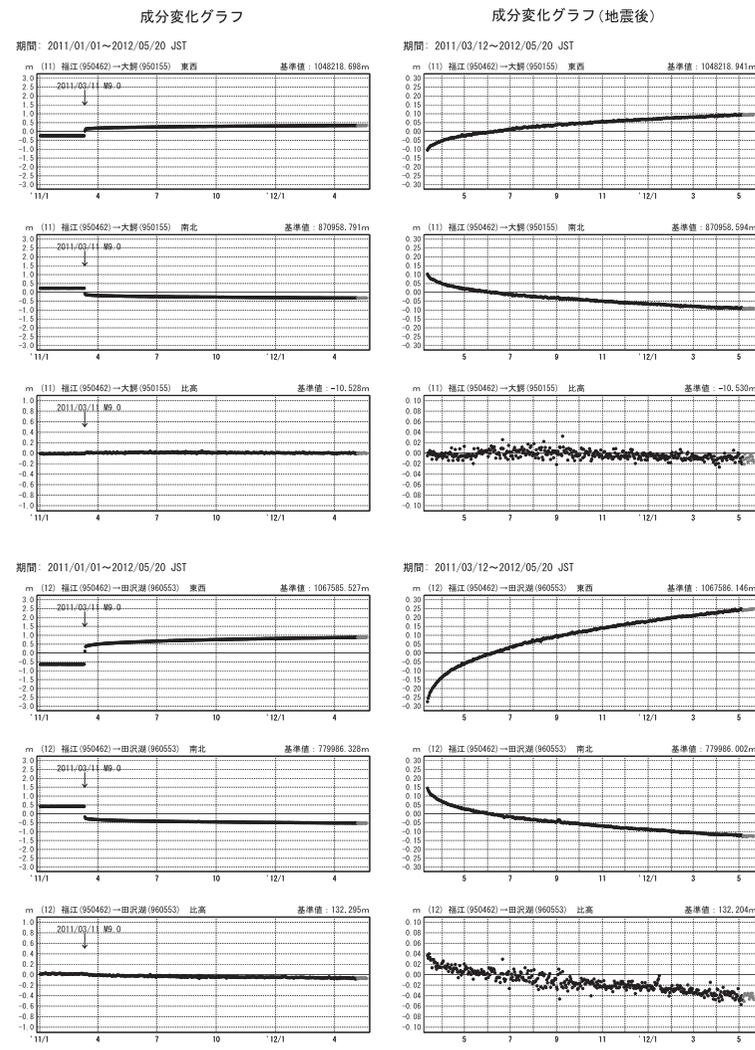


●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解]

※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1 (92110) が変動したため、2011/3/11以降の03、R3解析においては解析時の固定点を与論 (950495) へ変更している。

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 (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）

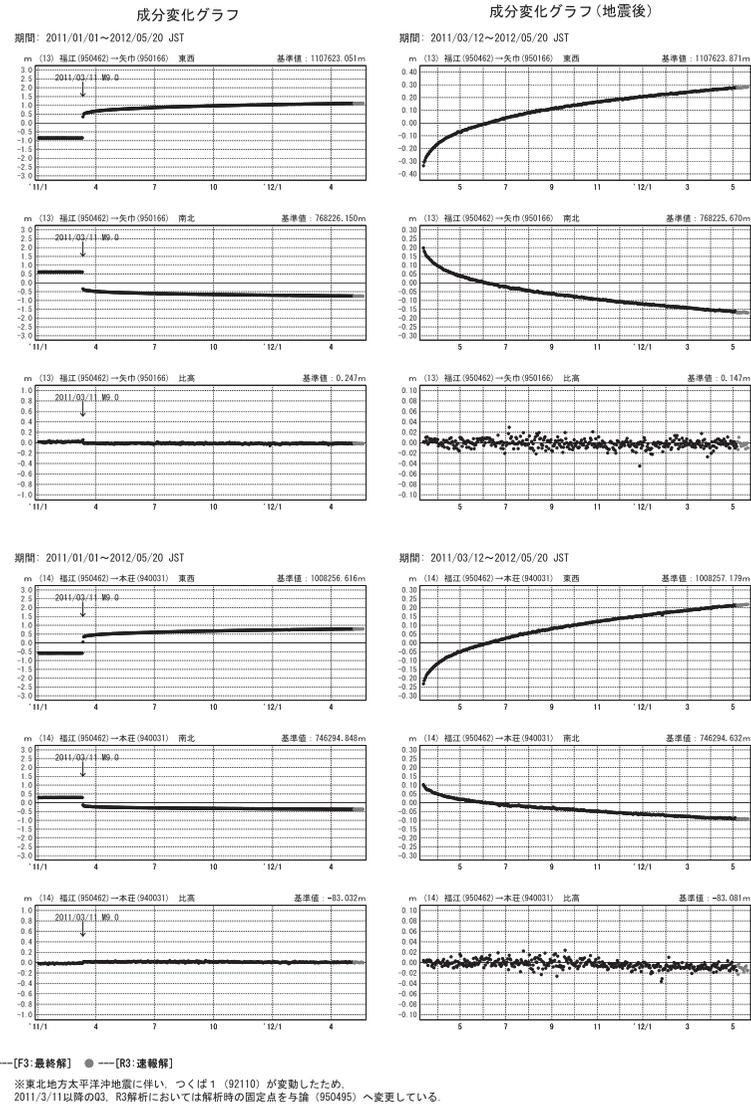


●---[F3:最終解] ●---[R3:速報解]

※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1 (92110) が変動したため、2011/3/11以降の03、R3解析においては解析時の固定点を与論 (950495) へ変更している。

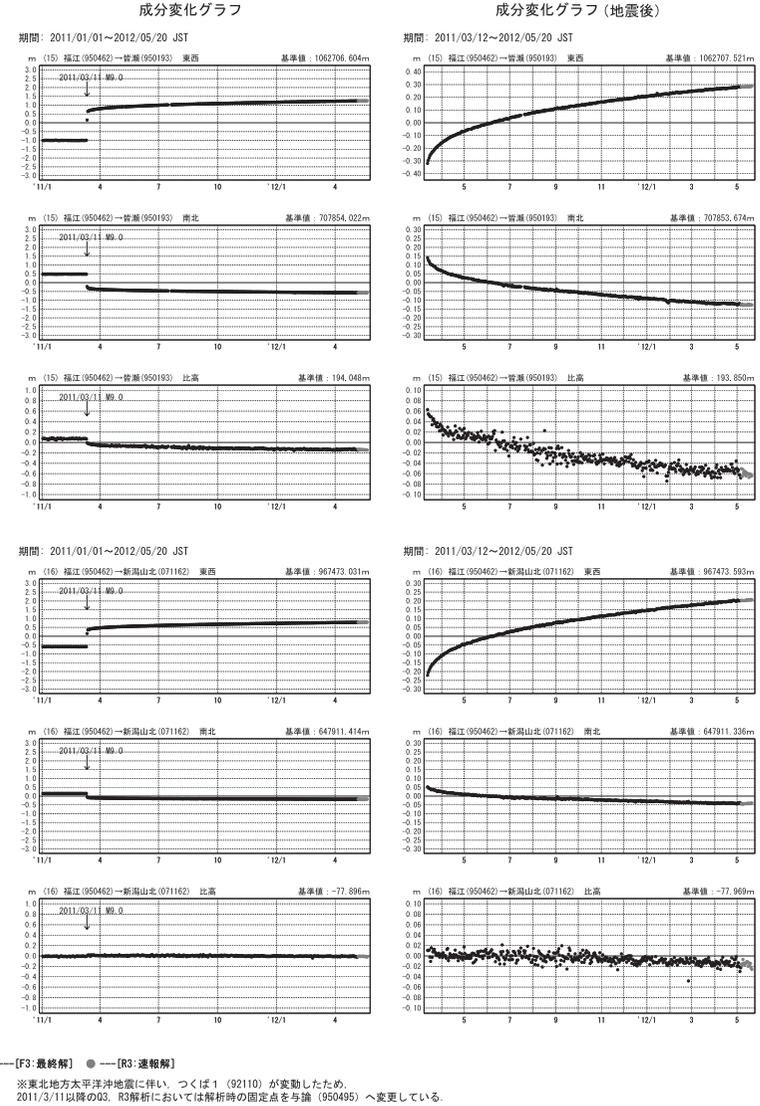
第20図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 20 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (6/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（7）



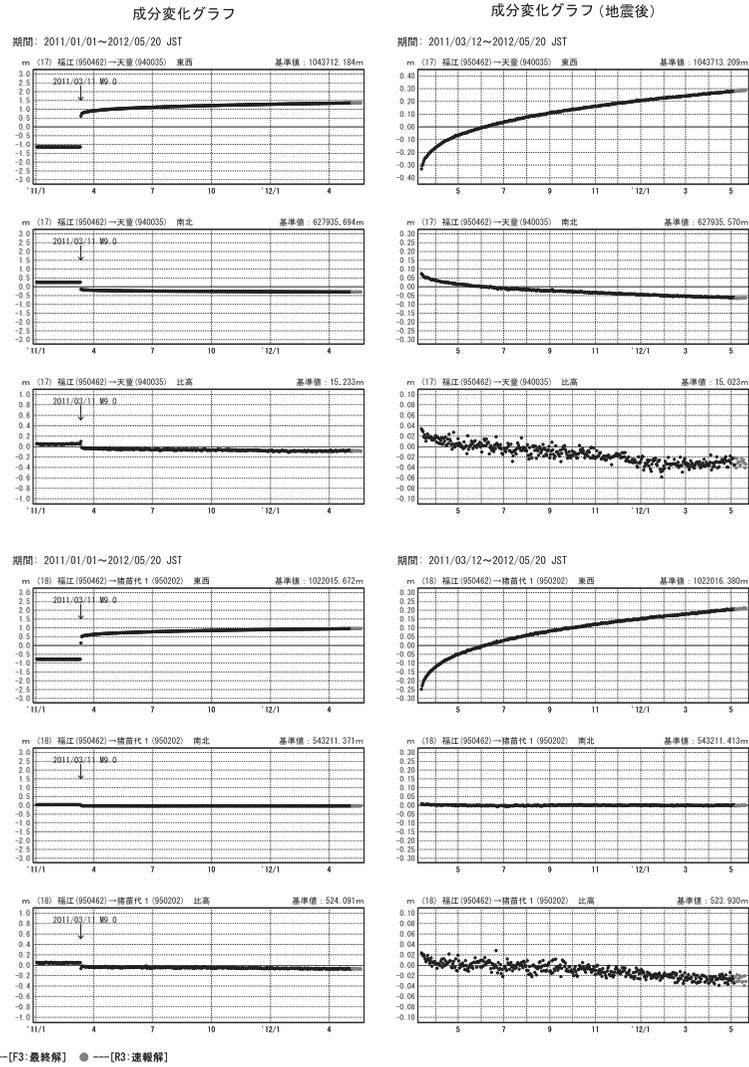
第 21 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 21 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (7/10).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（8）



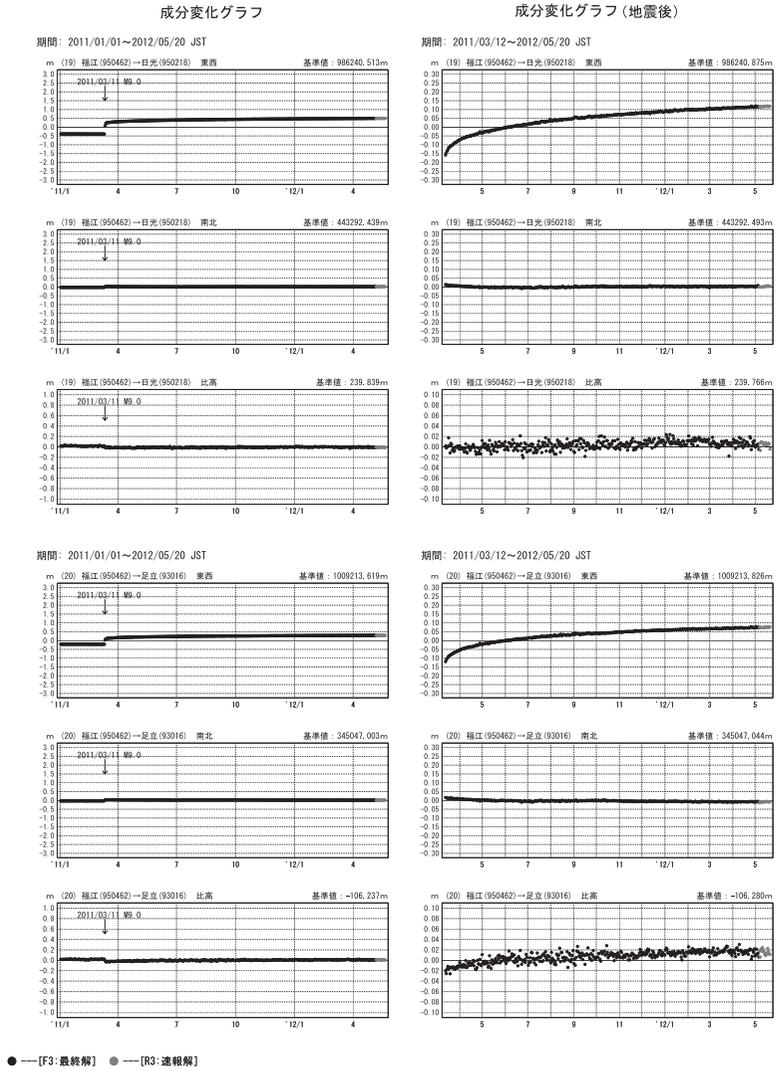
第 22 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 22 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (8/10).

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 23 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 23 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）



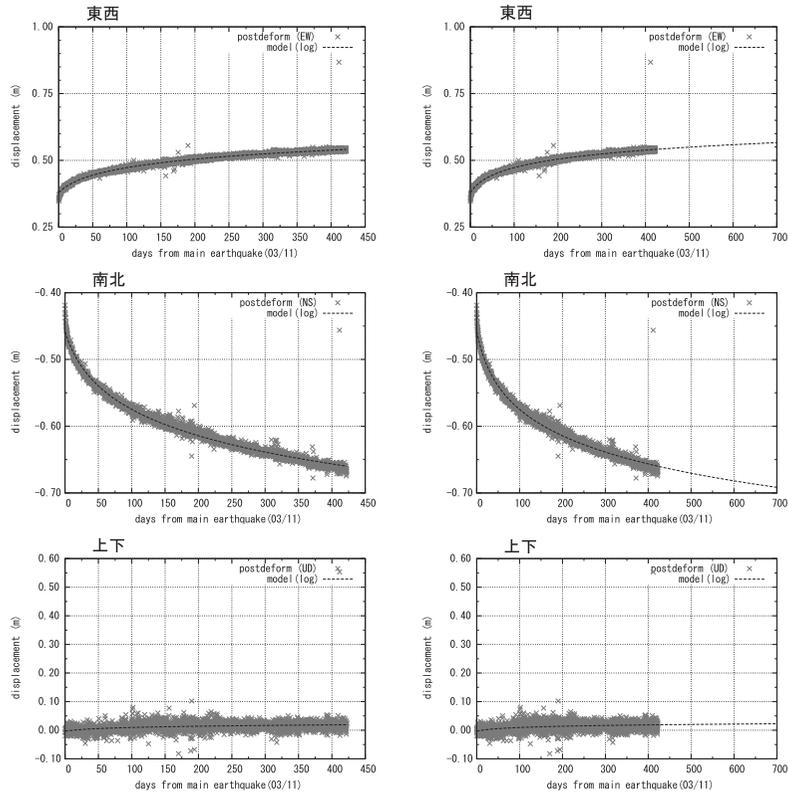
第 24 図 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動
Fig. 24 Crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (10/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(1) 八戸(950156) 固定局: 福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.0523 \pm 0.0002) \log(1+t/(20.05 \pm 0.39)) + (0.3789 \pm 0.0004)$
南北	$(-0.0652 \pm 0.0001) \log(1+t/(20.05 \pm 0.39)) + (-0.4582 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0073 \pm 0.0004) \log(1+t/(20.05 \pm 0.39)) + (-0.0033 \pm 0.0009)$

reduced chi square : $\chi^2=2.1$

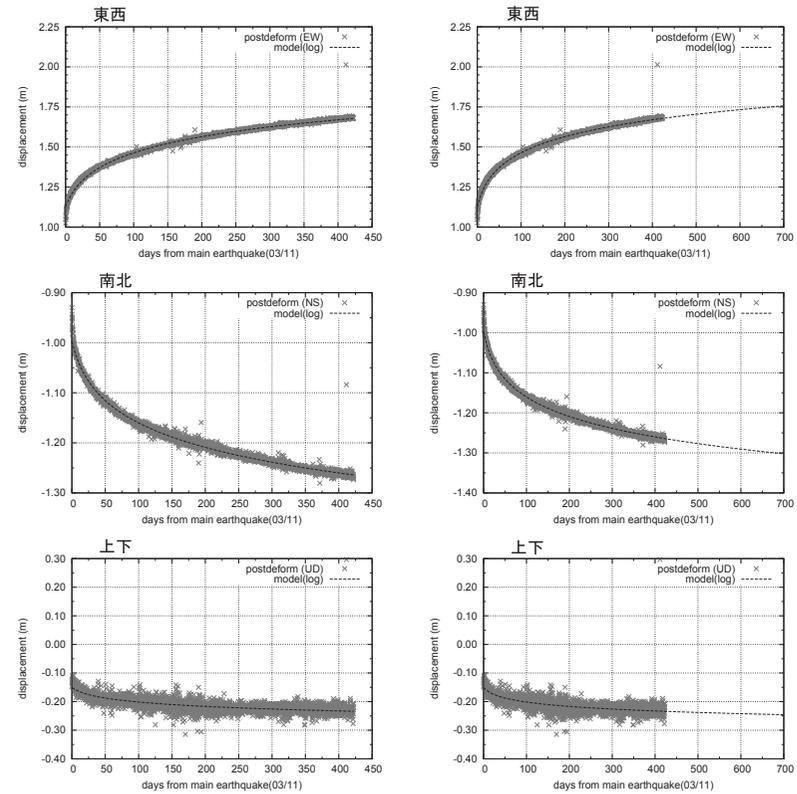
第 25 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 25 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (1/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(2) 岩泉2(950164) 固定局: 福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.1596 \pm 0.0002) \log(1+t/(13.80 \pm 0.19)) + (1.1267 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0773 \pm 0.0001) \log(1+t/(13.80 \pm 0.19)) + (-0.9970 \pm 0.0004)$
上下	$(-0.0241 \pm 0.0004) \log(1+t/(13.80 \pm 0.19)) + (-0.1505 \pm 0.0011)$

reduced chi square : $\chi^2=3.2$

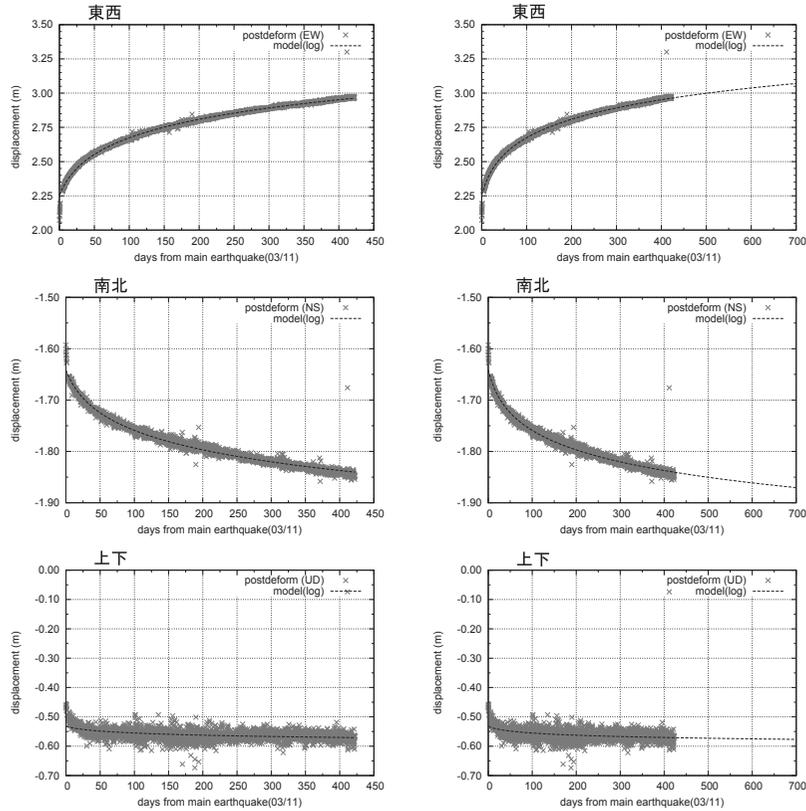
第 26 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 26 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (2/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(3) 山田 (950167) 固定局 : 福江 (950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.2189 \pm 0.0003) \log(1+t/(17.33 \pm 0.25)) + (2.2552 \pm 0.0007)$
南北	$(-0.0615 \pm 0.0001) \log(1+t/(17.33 \pm 0.25)) + (-1.6413 \pm 0.0004)$
上下	$(-0.0119 \pm 0.0004) \log(1+t/(17.33 \pm 0.25)) + (-0.5322 \pm 0.0011)$

reduced chi square : $\chi^2 = 3.8$

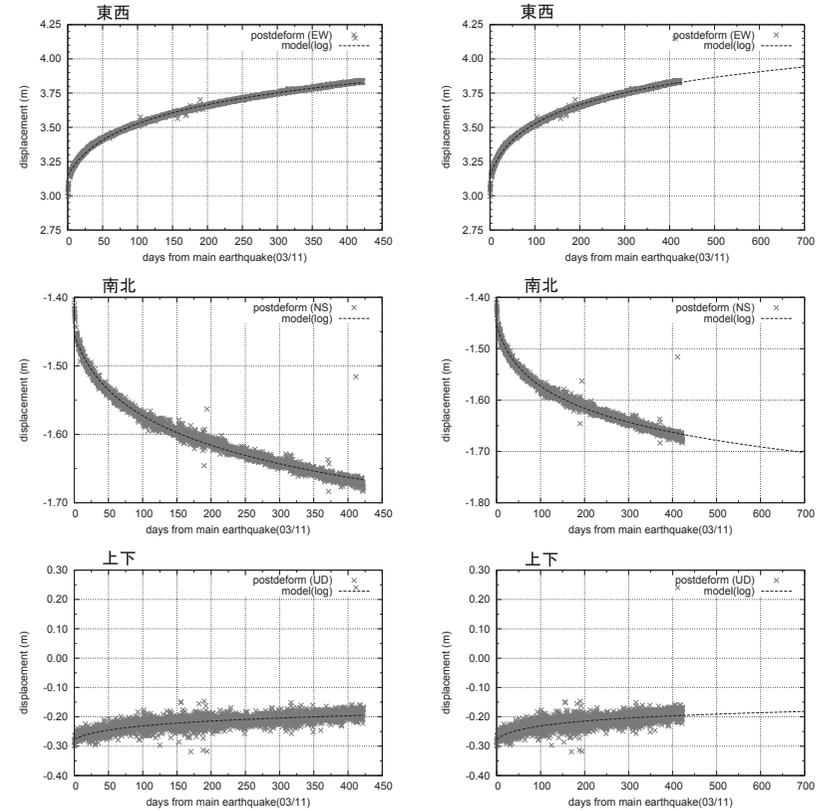
第 27 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 27 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (3/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(4) 岩手川崎 A (051145) 固定局 : 福江 (950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.2358 \pm 0.0003) \log(1+t/(24.99 \pm 0.32)) + (3.1468 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0736 \pm 0.0002) \log(1+t/(24.99 \pm 0.32)) + (-1.4544 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0281 \pm 0.0004) \log(1+t/(24.99 \pm 0.32)) + (-0.2760 \pm 0.0009)$

reduced chi square : $\chi^2 = 3.9$

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 and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (4/10).

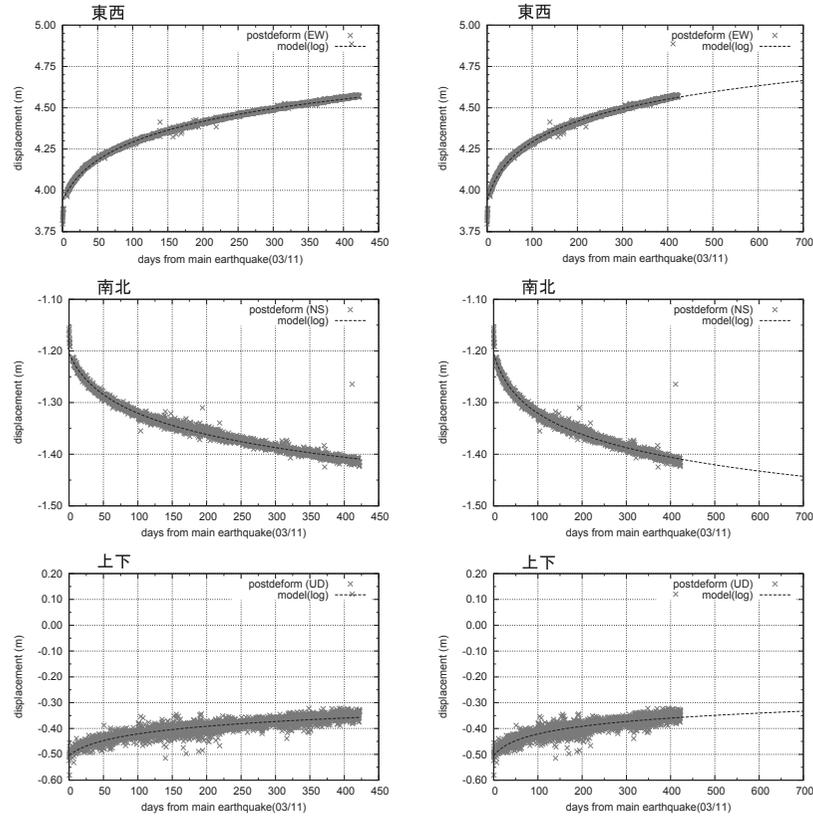
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(5) 矢本(960549)

固定局：福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.2097 \pm 0.0003) \log(1+t/(22.85 \pm 0.36)) + (3.9401 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0689 \pm 0.0001) \log(1+t/(22.85 \pm 0.36)) + (-1.2046 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0497 \pm 0.0005) \log(1+t/(22.85 \pm 0.36)) + (-0.5045 \pm 0.0010)$

reduced chi square : $\chi^2 = 3.7$

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 and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (5/10).

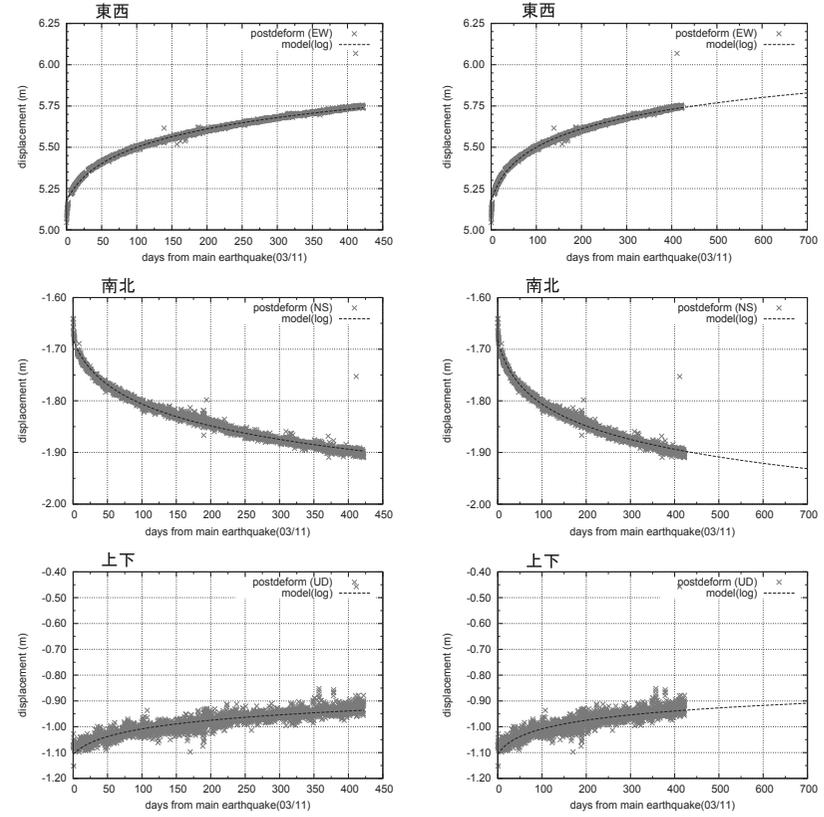
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(6) M牡鹿(059071)

固定局：福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.1838 \pm 0.0003) \log(1+t/(20.51 \pm 0.33)) + (5.1744 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0700 \pm 0.0001) \log(1+t/(20.51 \pm 0.33)) + (-1.6821 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0555 \pm 0.0005) \log(1+t/(20.51 \pm 0.33)) + (-1.1065 \pm 0.0011)$

reduced chi square : $\chi^2 = 3.7$

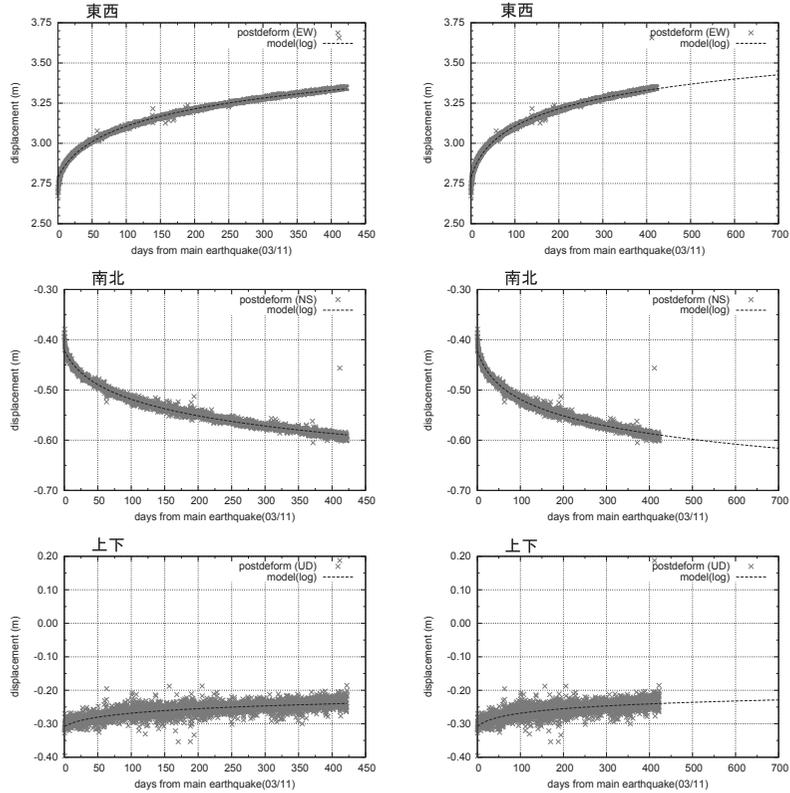
第 30 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 30 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (6/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(7) 相馬 1 (940038) 固定局 : 福江 (950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.1791 \pm 0.0002) \log(1+t/(20.38 \pm 0.30)) + (2.7878 \pm 0.0005)$
南北	$(-0.0545 \pm 0.0001) \log(1+t/(20.38 \pm 0.30)) + (-0.4217 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0222 \pm 0.0004) \log(1+t/(20.38 \pm 0.30)) + (-0.3079 \pm 0.0009)$

reduced chi square : $\chi^2 = 3.1$

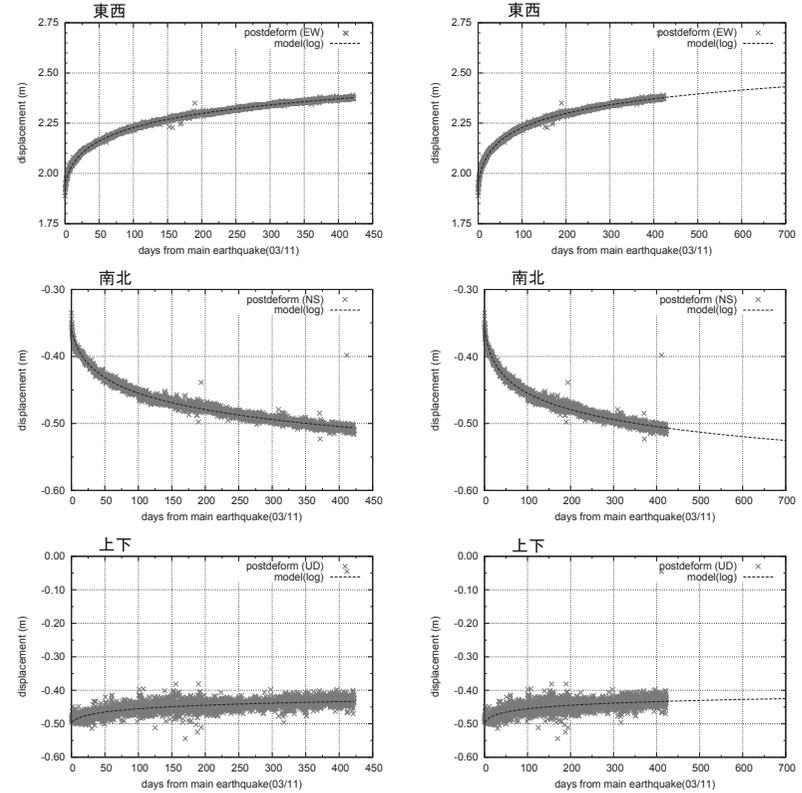
第 31 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 31 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (7/10).

平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(8) いわき (940041) 固定局 : 福江 (950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.1087 \pm 0.0002) \log(1+t/(8.89 \pm 0.17)) + (1.9556 \pm 0.0005)$
南北	$(-0.0377 \pm 0.0001) \log(1+t/(8.89 \pm 0.17)) + (-0.3603 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0161 \pm 0.0003) \log(1+t/(8.89 \pm 0.17)) + (-0.4955 \pm 0.0010)$

reduced chi square : $\chi^2 = 2.0$

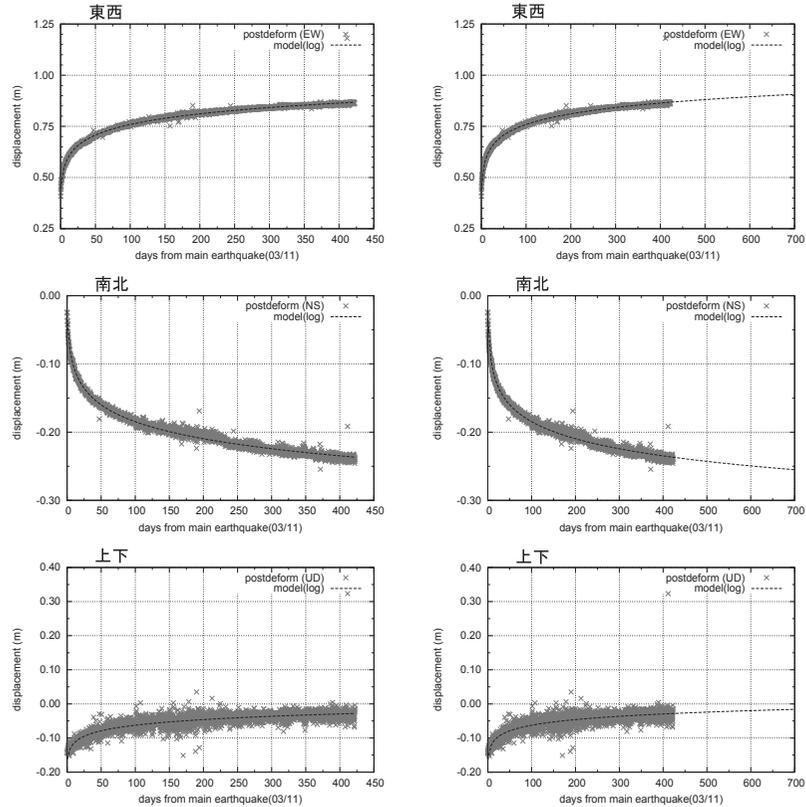
第 32 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 32 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (8/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(10) 銚子(93022) 固定局: 福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.0761 \pm 0.0001) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (0.4370 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0364 \pm 0.0001) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (-0.0306 \pm 0.0004)$
上下	$(0.0241 \pm 0.0003) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (-0.1644 \pm 0.0012)$

reduced chi square : $\chi^2 = 1.8$

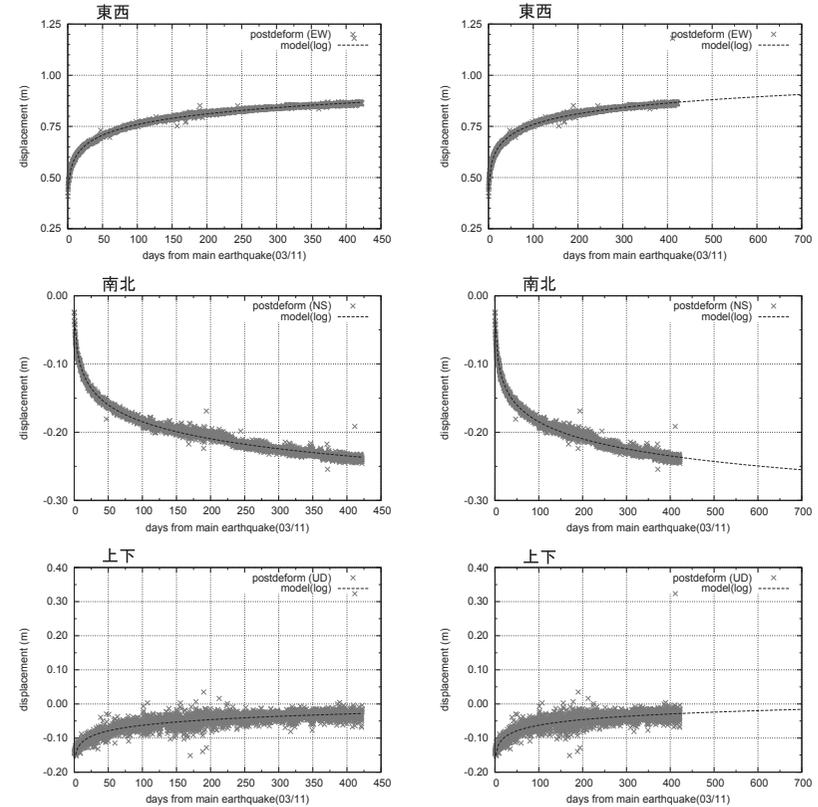
第 33 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 33 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (9/10).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

対数関数近似

計算期間 2011/03/11 18:00 :00 2012/05/06 21:00:00 【Q3 解】

(10) 銚子(93022) 固定局: 福江(950462)



成分	fitting function (推定値±漸近標準誤差)
東西	$(0.0761 \pm 0.0001) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (0.4370 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0364 \pm 0.0001) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (-0.0306 \pm 0.0004)$
上下	$(0.0241 \pm 0.0003) \log(1+t/(1.47 \pm 0.06)) + (-0.1644 \pm 0.0012)$

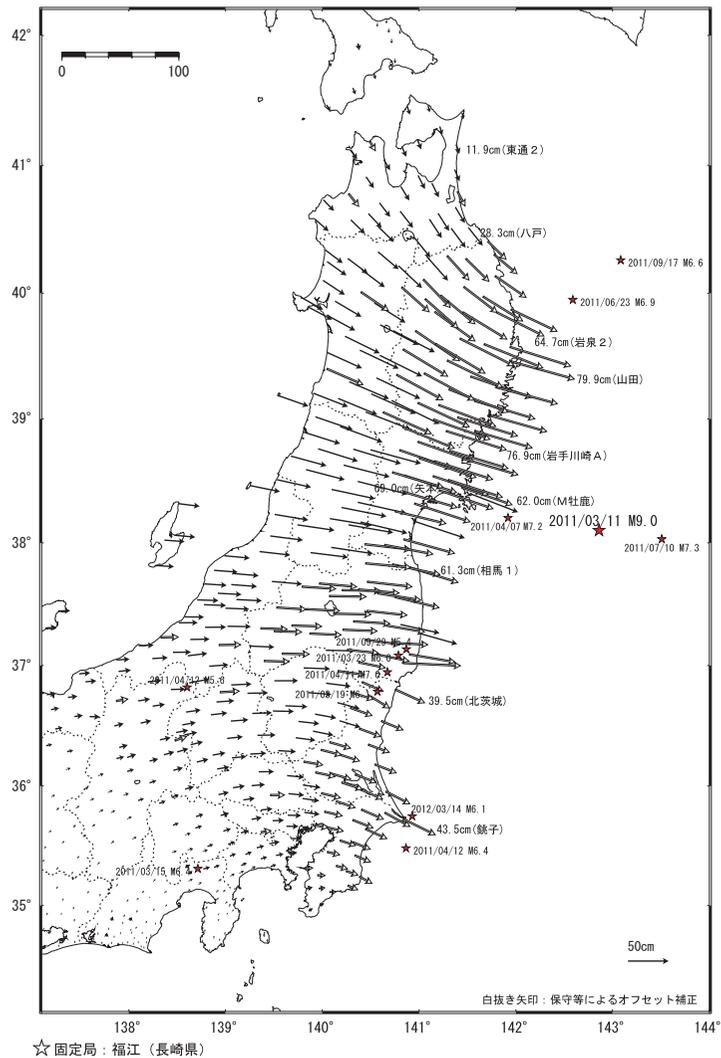
reduced chi square : $\chi^2 = 1.8$

第 34 図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 関数近似
Fig. 34 Logarithmic and exponential function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake (10/10).

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (水平) - 累積 -

東日本で東向きの変動が見られる。

基準期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F 3 : 最終解]
比較期間 : 2012/04/15 -- 2012/04/21 [F 3 : 最終解]

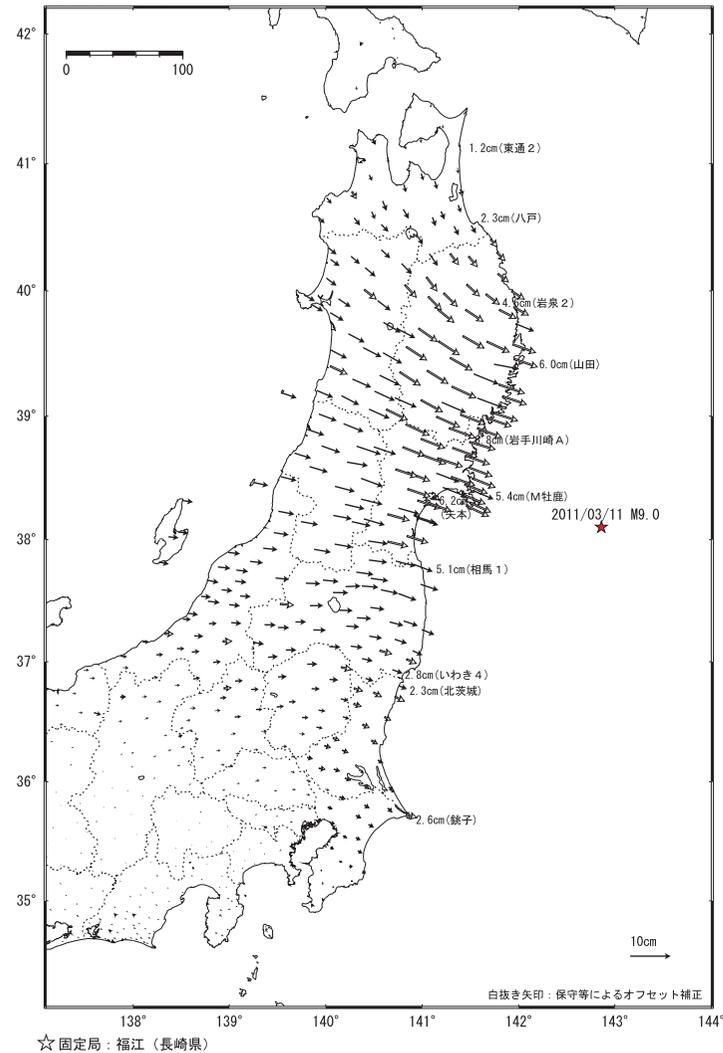


第 35 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動 (水平)
Fig. 35 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (horizontal).

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (水平) - 3ヶ月 -

東日本で東向きの変動が見られる。

基準期間 : 2012/01/15 -- 2012/01/21 [F 3 : 最終解]
比較期間 : 2012/04/15 -- 2012/04/21 [F 3 : 最終解]

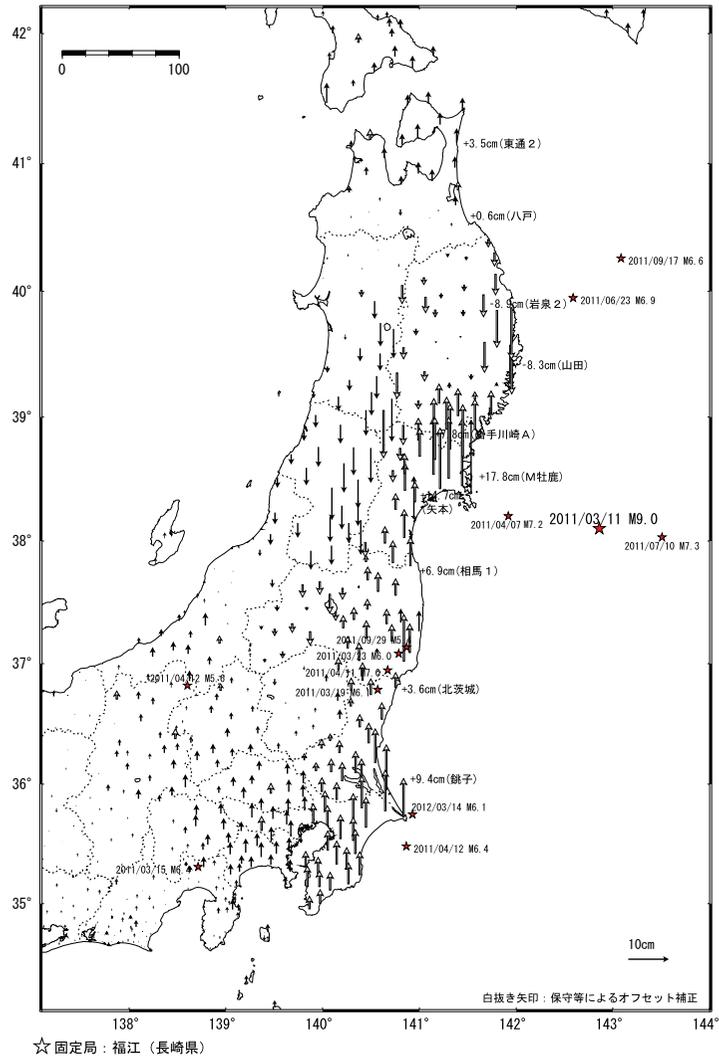


第 36 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の 3 ヶ月の地殻変動 (水平)
Fig. 36 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (horizontal).

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (上下) - 累積 -

太平洋沿岸の一部観測点で隆起傾向が見られるが、岩手県沿岸部では沈降が見られる。

基準期間：2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3：最終解]
比較期間：2012/04/15 -- 2012/04/21 [F3：最終解]

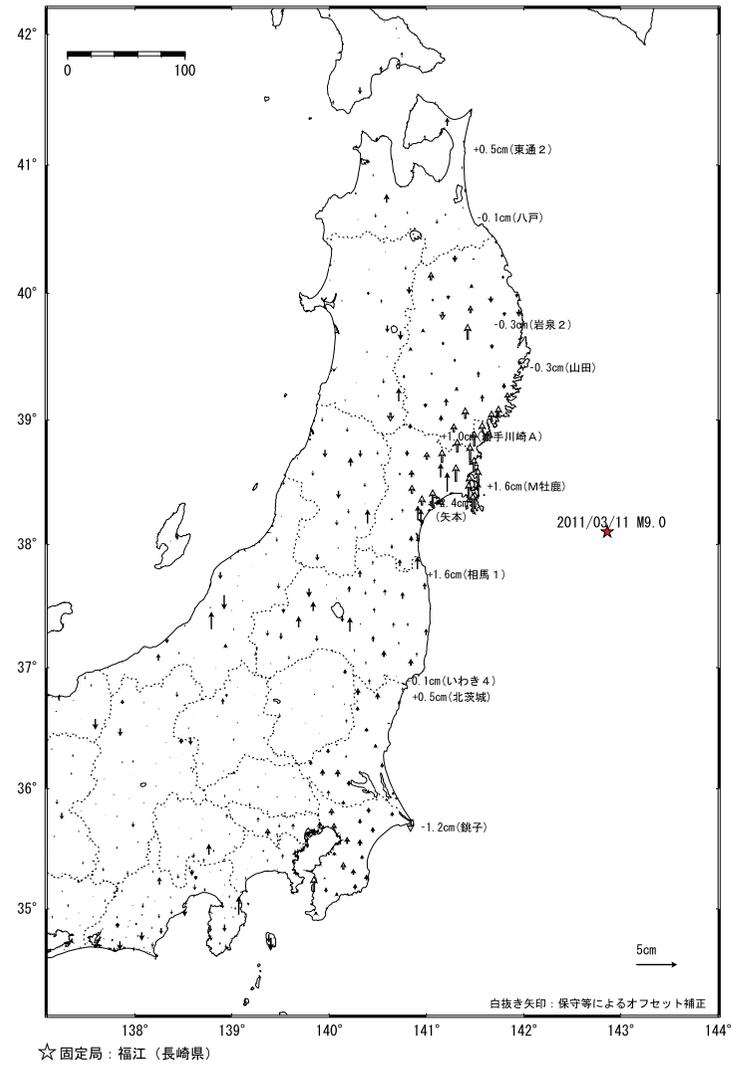


第 37 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動(上下)
Fig. 37 Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (上下) - 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：2012/01/15 -- 2012/01/21 [F3：最終解]
比較期間：2012/04/15 -- 2012/04/21 [F3：最終解]



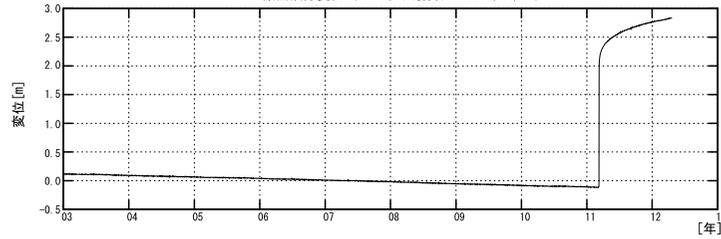
第 38 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の3ヶ月の地殻変動(上下)
Fig. 38 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (vertical).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

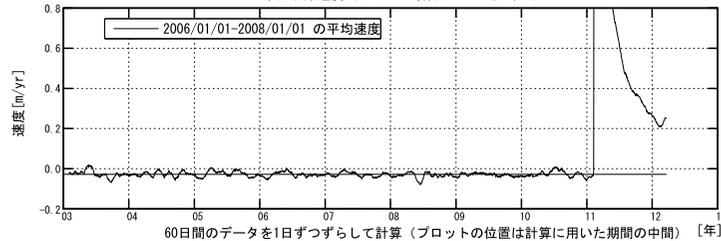
東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない

三隅(950388) - 山田(950167)間の成分変位と速度グラフ

東西成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)

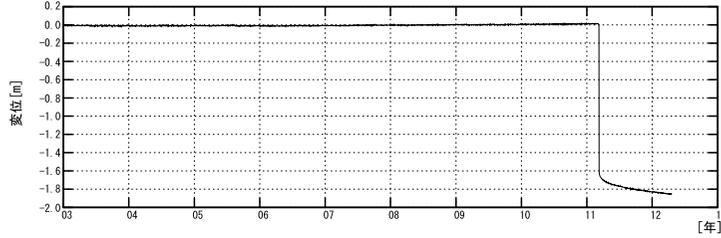


東西成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)

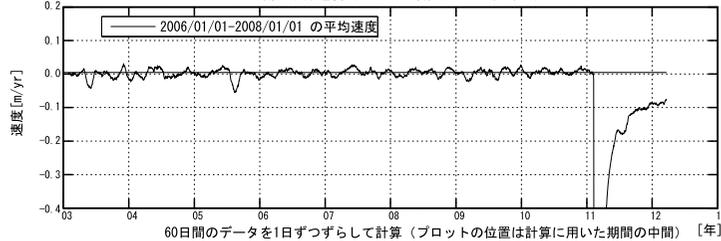


60日間のデータを1日ずつずらして計算 (プロットの位置は計算に用いた期間の中間) [年]

南北成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



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) [年]

第39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)

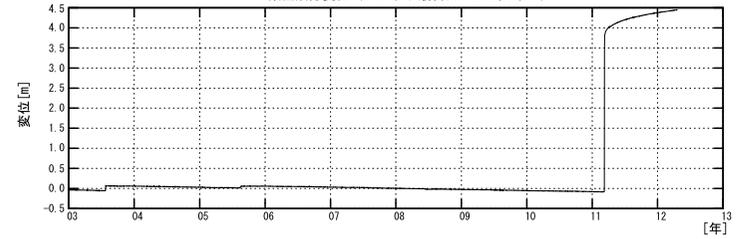
Fig. 39 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamada site) (1/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

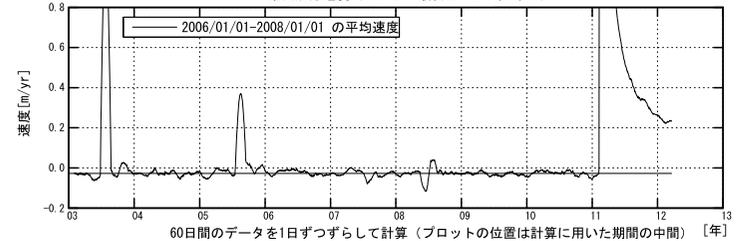
東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない

三隅(950388) - 矢本(960549)間の成分変位と速度グラフ

東西成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)

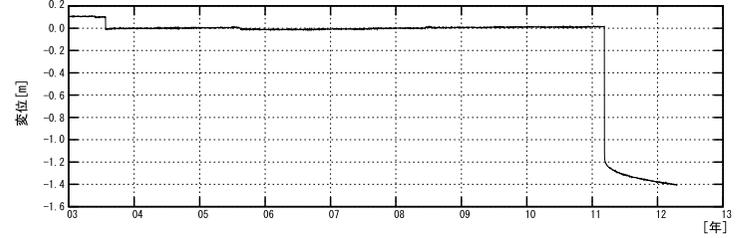


東西成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)

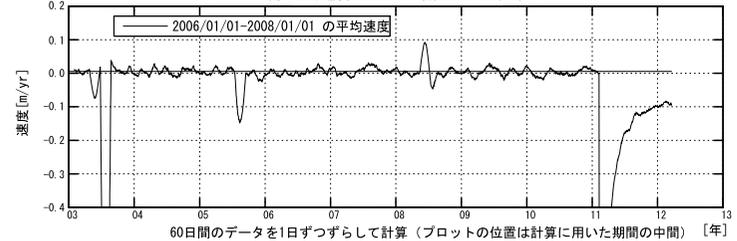


60日間のデータを1日ずつずらして計算 (プロットの位置は計算に用いた期間の中間) [年]

南北成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



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) [年]

第40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)

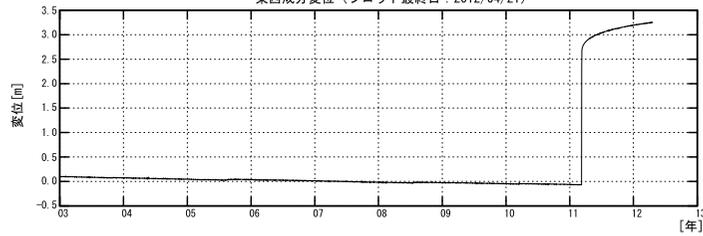
Fig. 40 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Yamato site) (2/4).

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

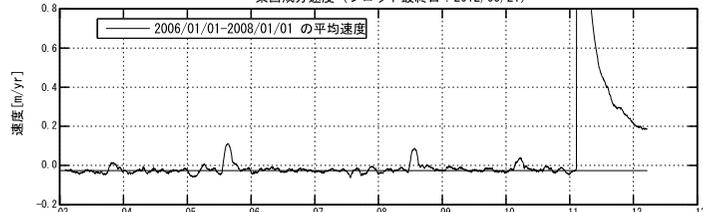
東北地方太平洋沖地震発生前の変動速度に戻りきっていない

三隅(950388) - 相馬1(940038)間の成分変位と速度グラフ

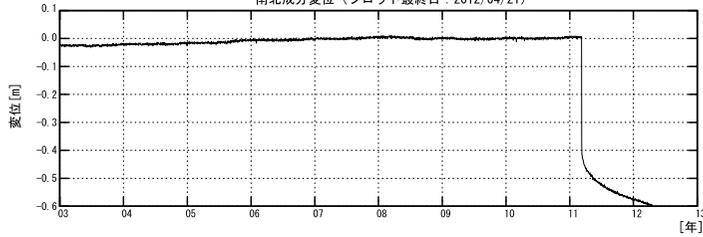
東西成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



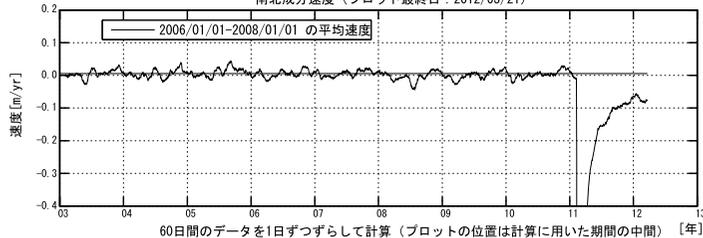
東西成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



南北成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



第 41 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. 41 Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area (Time series at Souma 1 site) (3/4).

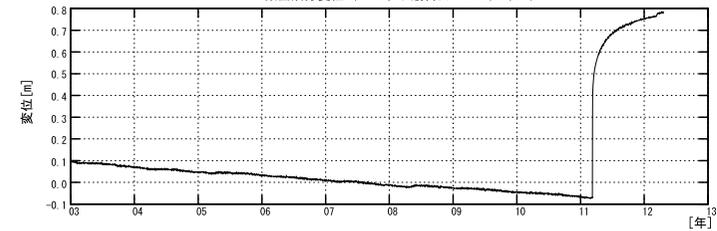
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の地殻変動

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

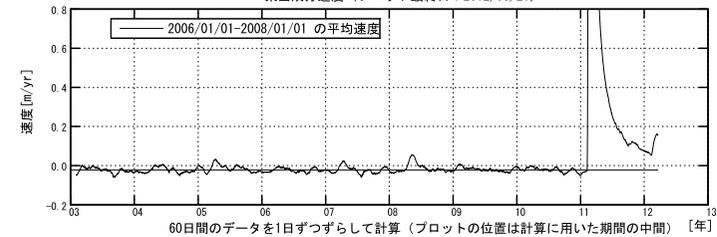
2011年10月26日頃から11月8日頃までスロースリップ現象に伴う非定常な地殻変動の影響が見られる。
2012年3月14日の千葉県東方沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。

三隅(950388) - 銚子(93022)間の成分変位と速度グラフ

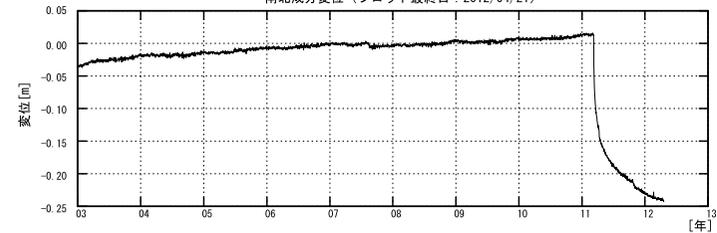
東西成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



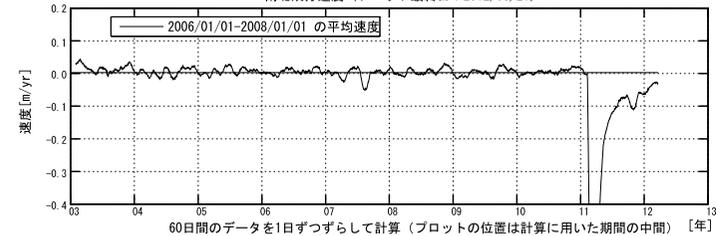
東西成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



南北成分変位 (プロット最終日: 2012/04/21)



南北成分速度 (プロット最終日: 2012/03/21)



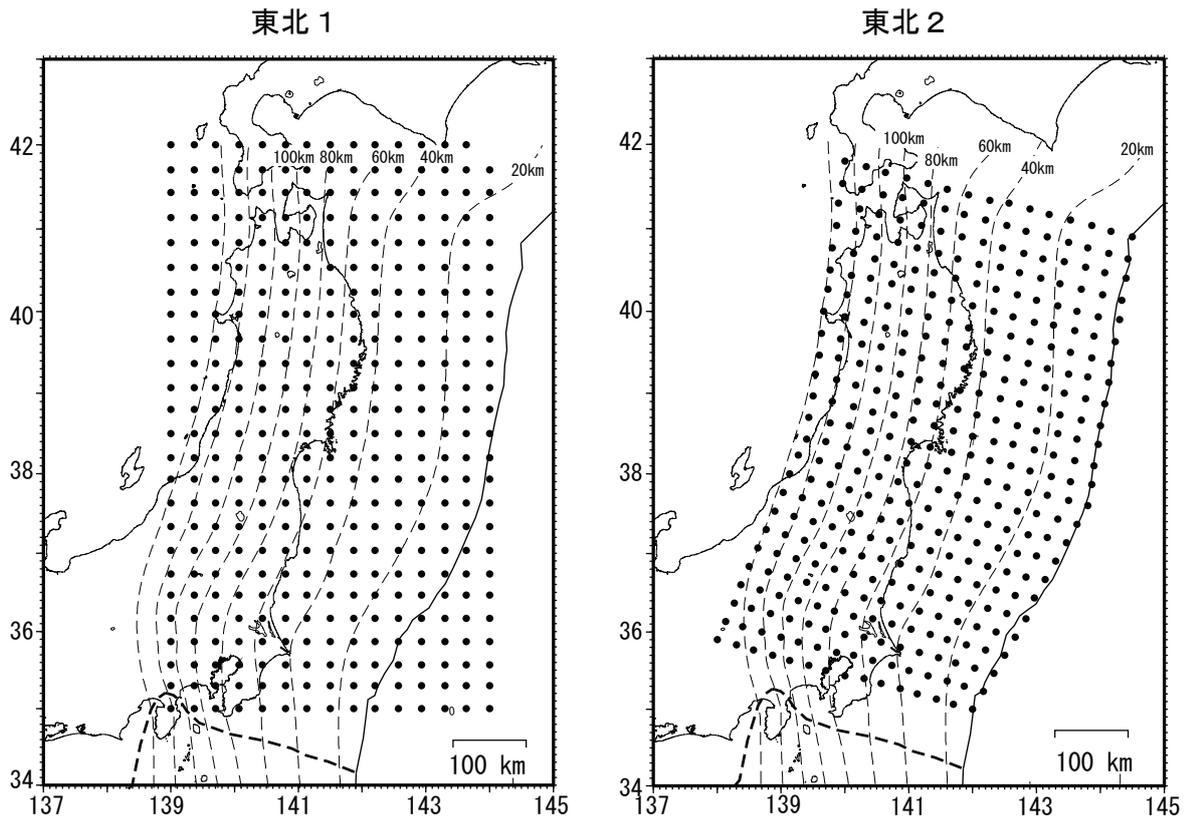
第42図 東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化 (銚子観測点・時系列)

Fig. 42 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- 3/26	地震後	Q3	1 : 3		東北 1
モデル2	時間依存	3/12- 4/12	地震後	F3 (R3を含む)	1 : 3		東北 2
モデル3	矢吹&松浦	4/1 - 12/1	地震後	F3+海底地殻変動	1 : 3 : 1		東北 2

モデル領域



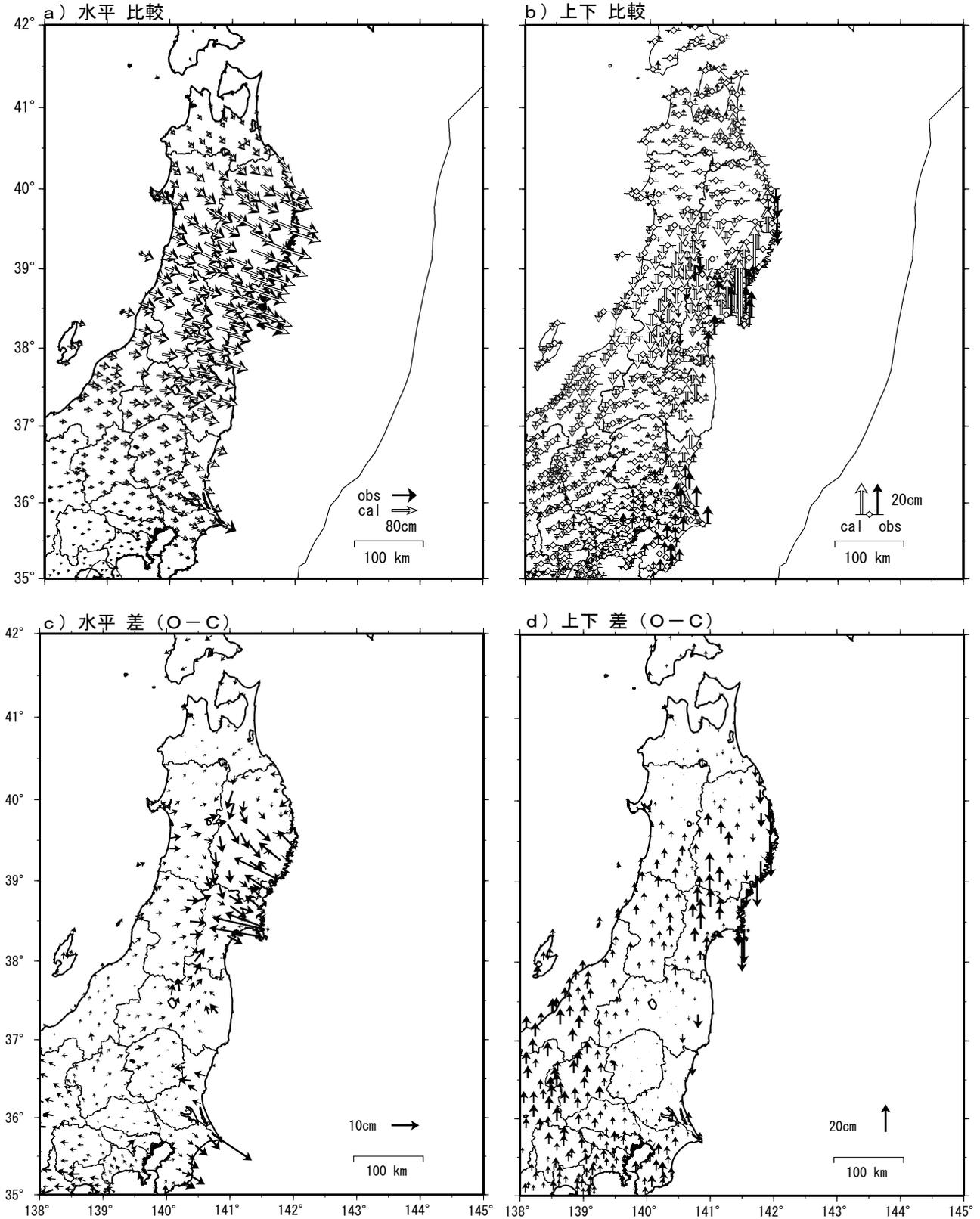
- ・ 点線は沈み込む太平洋プレート上面の等深線 (Nakajima and Hasegawa, 2006) .
- ・ 太点線はプレート境界 (Bird, 2003)

第 43 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. 43 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, list of slip distribution model on the plate interface of the mainshock.

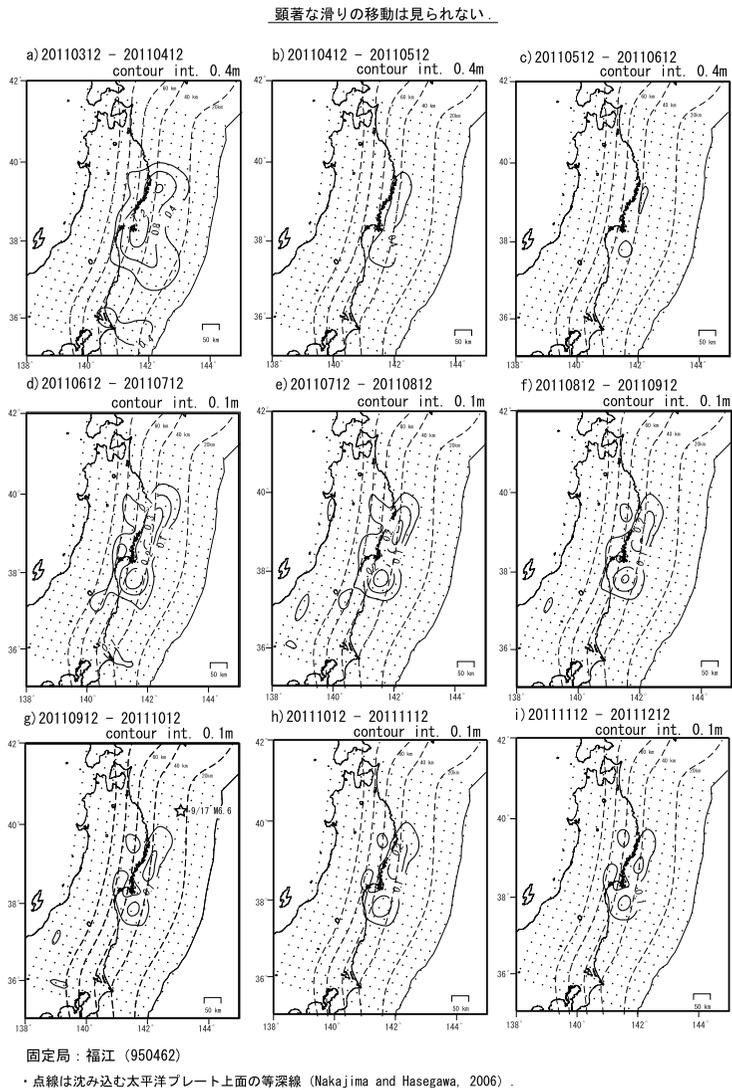
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動ベクトルの観測値と計算値(暫定)【モデル1】

データ期間 20110311 18:00 - 20120326 18:00 (Q3解) 固定局: 三隅(950388)



第45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. 45 Afterslip model of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (preliminary result).
【model 1】

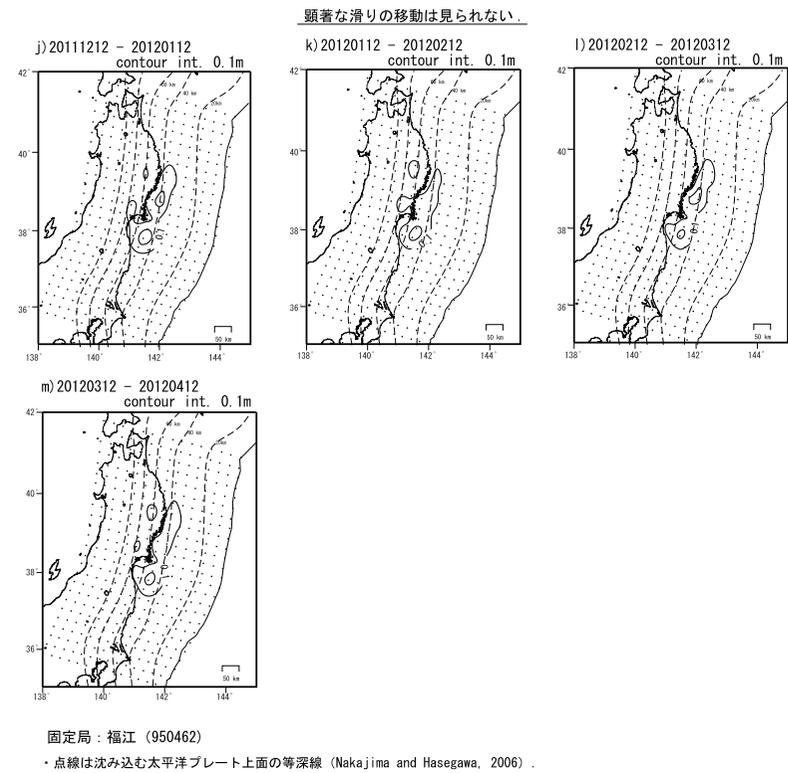
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
プレート境界面上の滑りの時間変化（1）（暫定）【モデル 2】



第 46 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. 46 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (1/3) 【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（2）（暫定）【モデル 2】

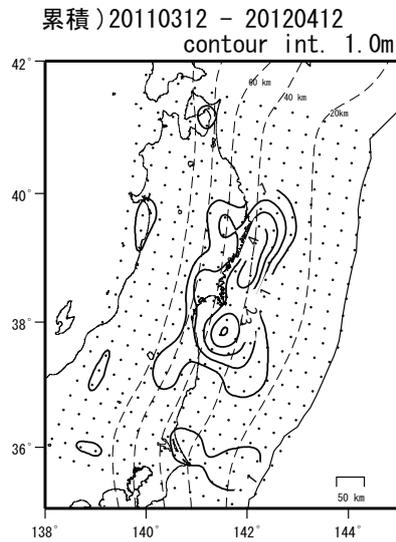


第 47 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑りの時間変化（暫定）【モデル 2】

Fig. 47 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (2/3) 【model 2】.

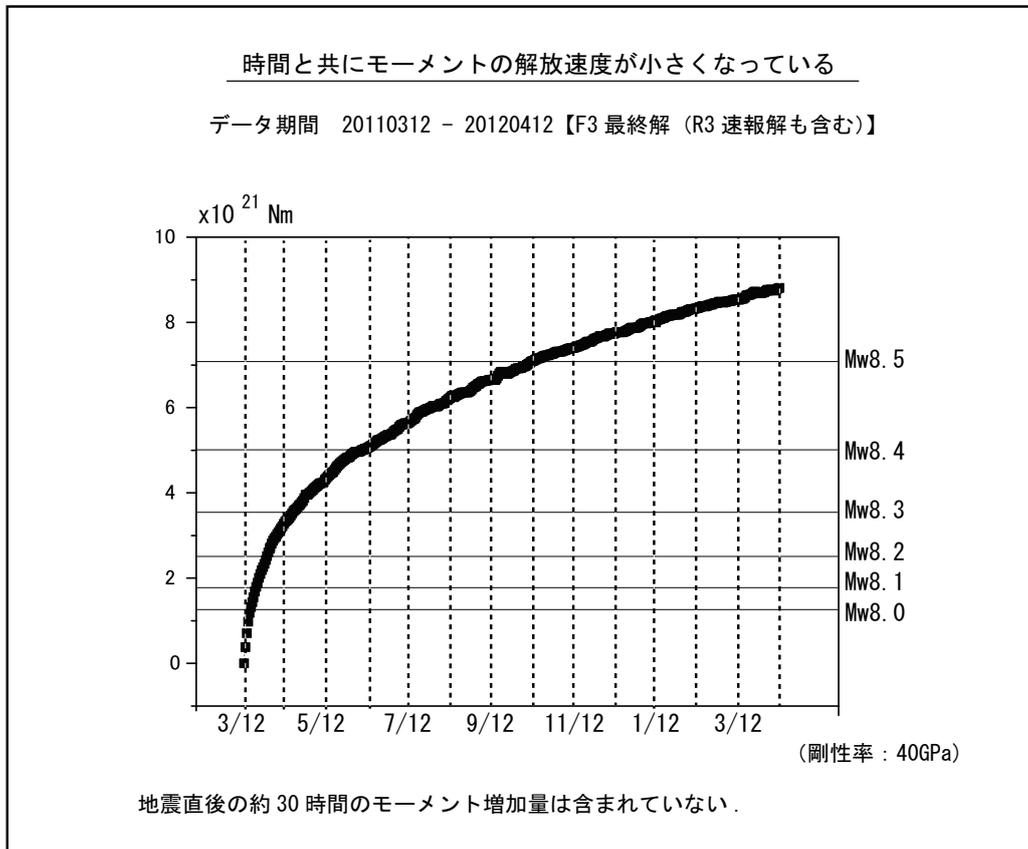
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
プレート境界面上の滑りの時間変化（3）（暫定）【モデル 2】

顕著な滑りの移動は見られない。



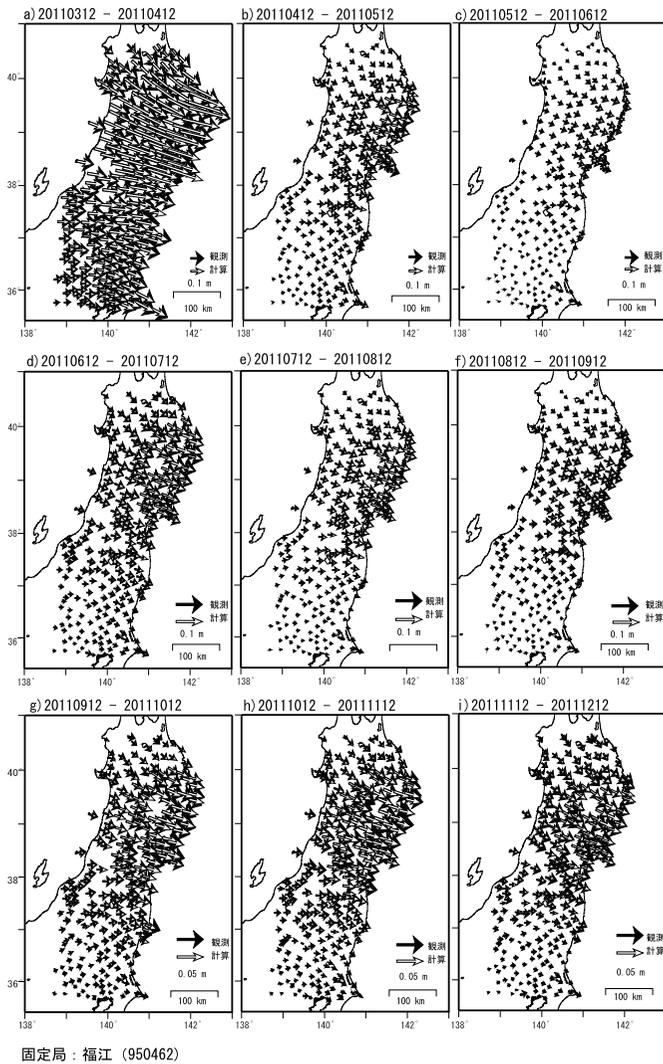
固定局：福江（950462）

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



第 48 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. 48 Spatial and temporal evolution of afterslip (preliminary result) (3/3) 【model 2】.

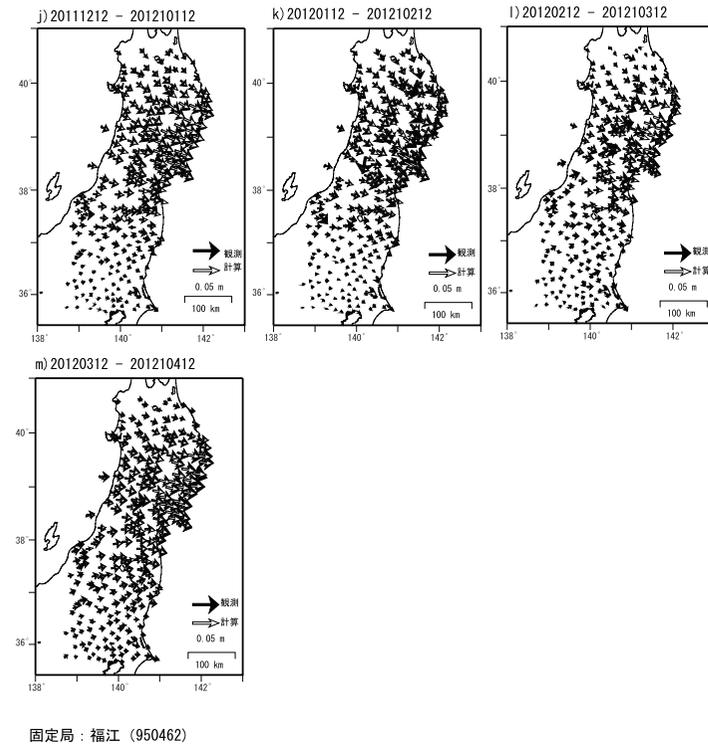
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較（1）（暫定）【モデル 2】



第 49 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. 49 Observed and calculated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (1/3) 【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（2）（暫定）【モデル 2】

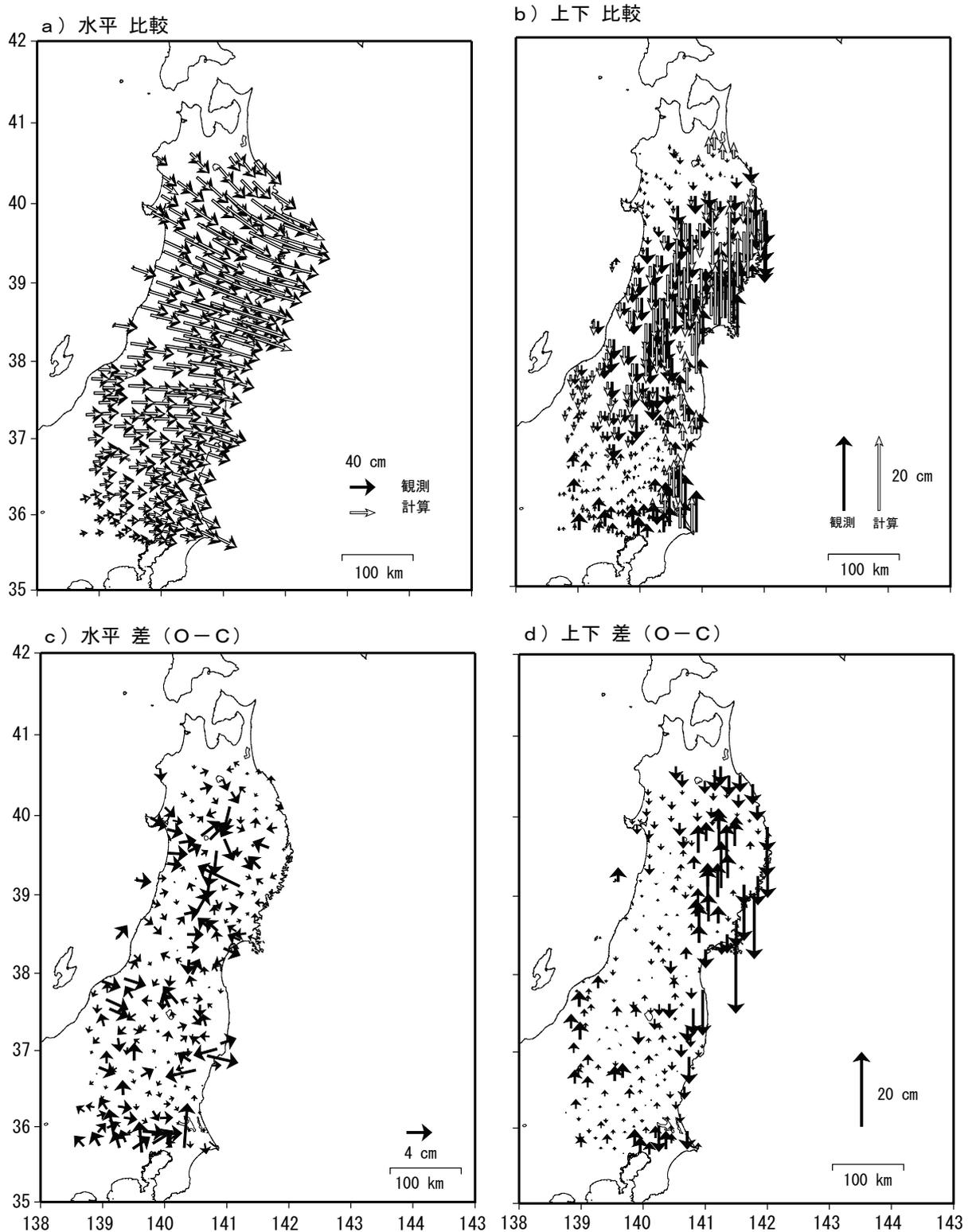


第 50 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動 観測値と計算値の比較（暫定）【モデル 2】

Fig. 50 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (2/3) 【model 2】.

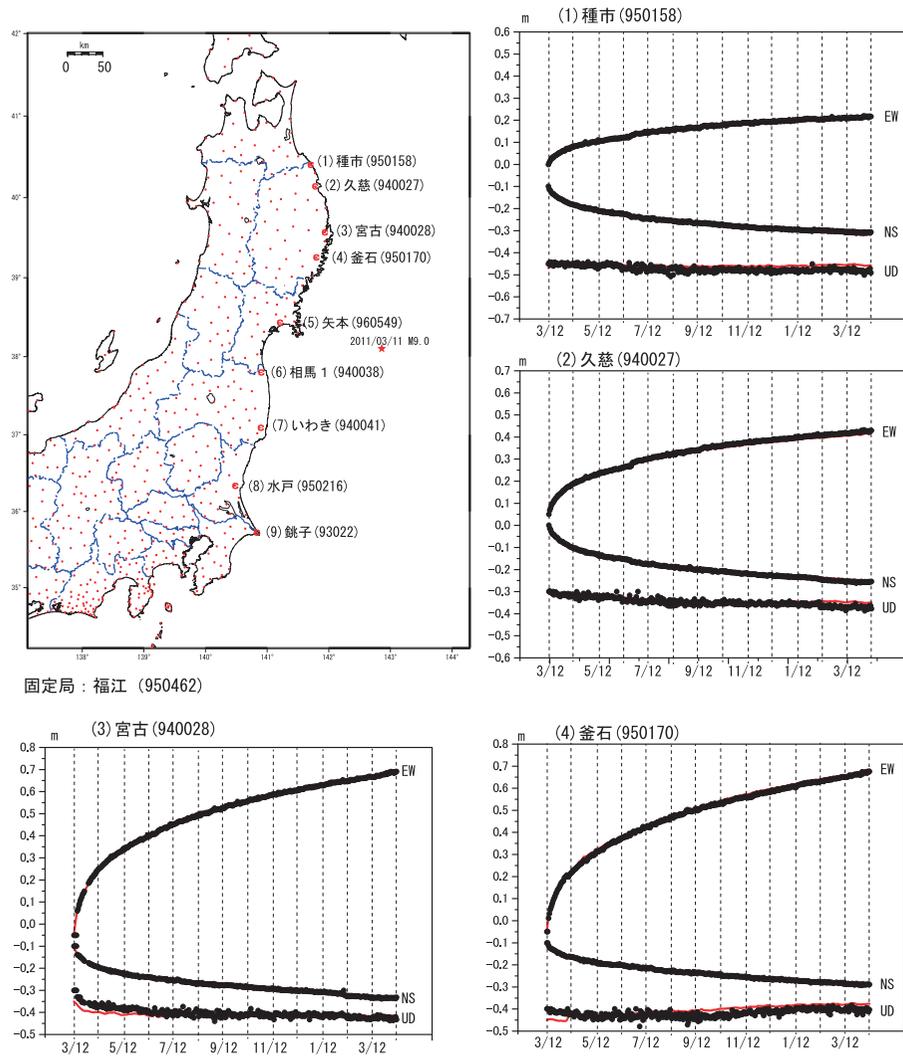
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動ベクトルの観測値と計算値の比較（3）（暫定）【モデル 2】

データ期間 20110312-20120412 【F3最終解（R3速報解も含む）】 固定局：福江(950462)



第 51 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. 51 Observed and calculated crustal deformation after the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (preliminary result) (3/3) 【model 2】.

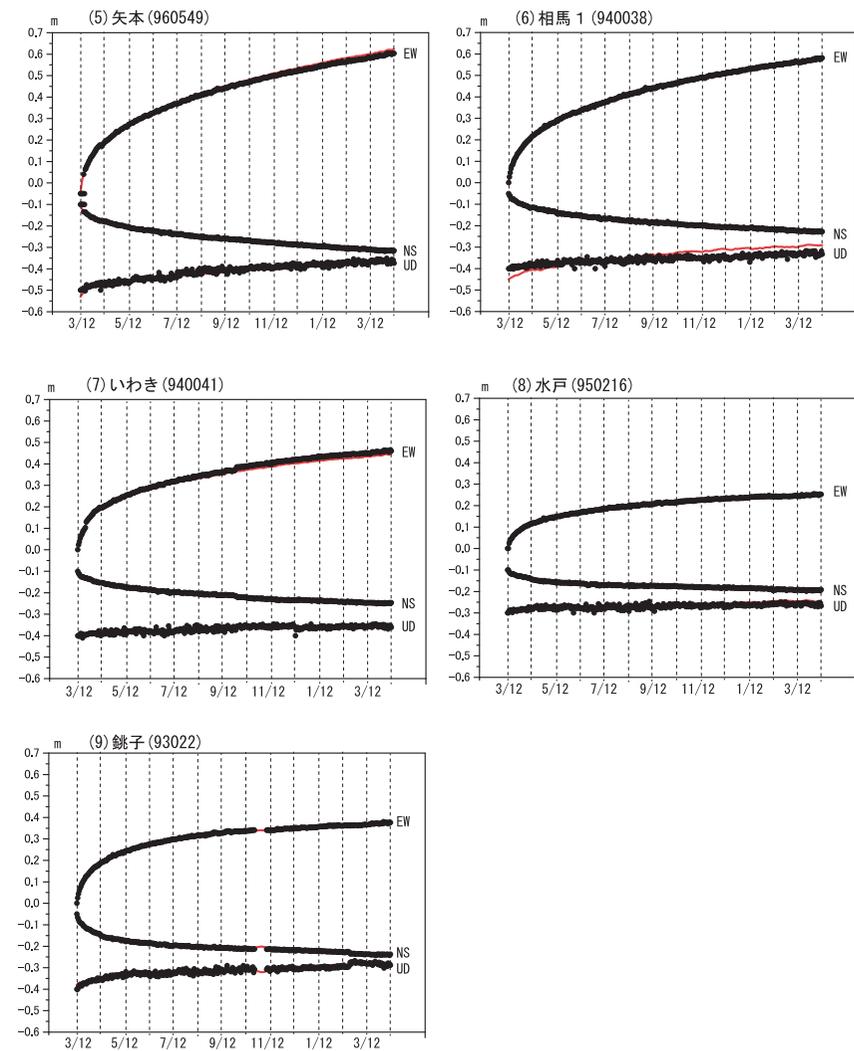
平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後の
地殻変動時系列の観測値 (黒丸) と計算値 (赤線) (1) (暫定) 【モデル 2】



第 52 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. 52 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 53 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】

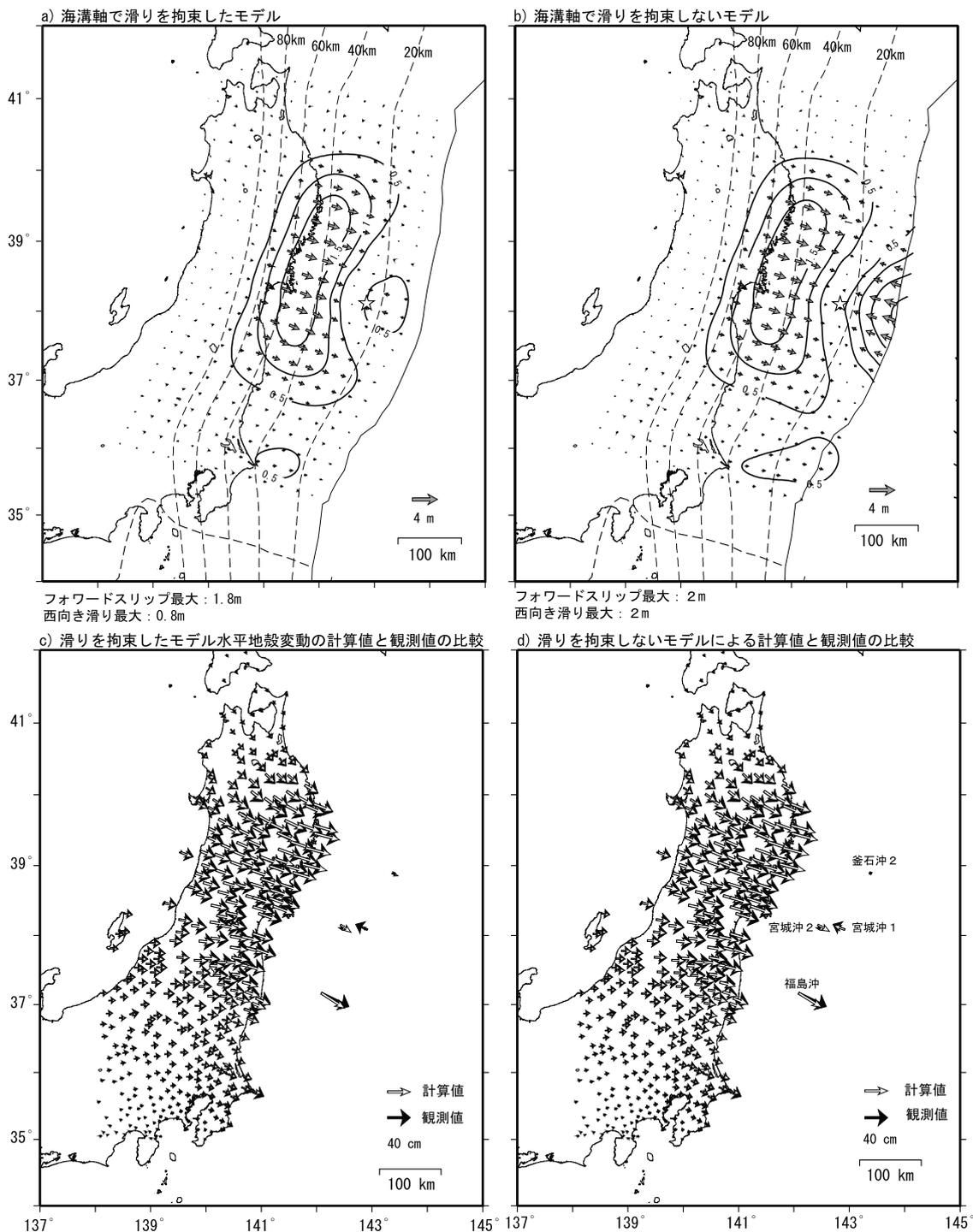
Fig. 53 Observed and computed ground displacements (preliminary result) (2/2) 【model 2】.

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および観測値と計算値の比較（暫定）【モデル 3】

海溝軸で拘束した場合震央付近で西向き滑りが見られ、拘束しない場合海溝付近で西向き滑りが見られる。

データ期間 20110401-20111201 【F3最終解】 固定局：福江 (950462)+海底地殻変動 (SG0byJCG)



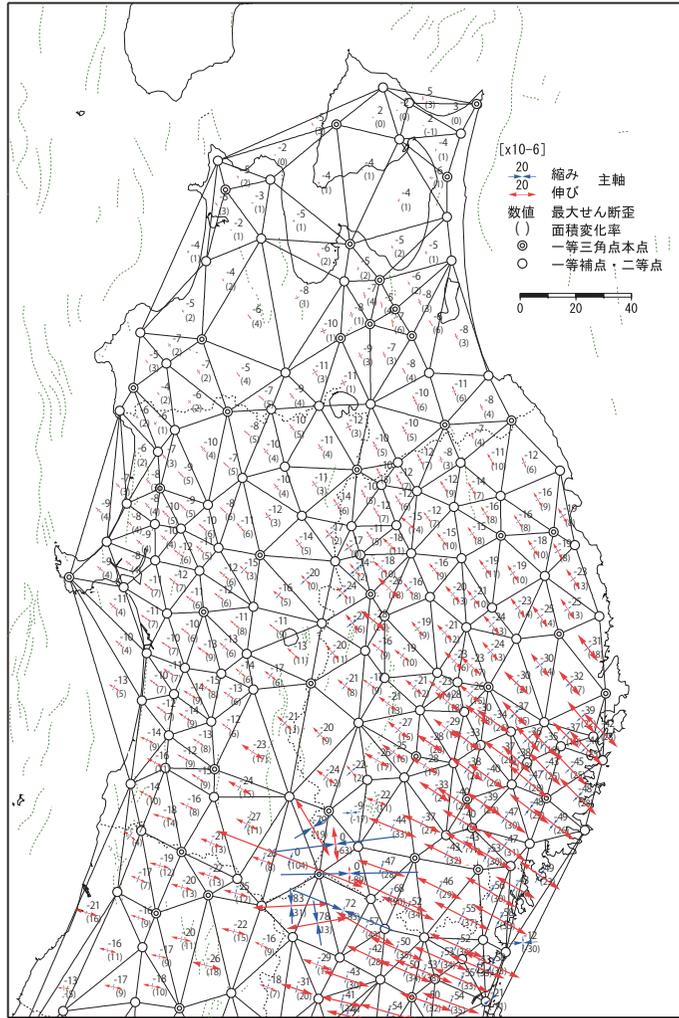
第 54 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑り分布および観測値と計算値の比較（暫定）【モデル 3】

Fig. 54 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】.

東北地方北部の水平歪

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震の影響が見られる。
2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震等の影響が見られる。

高度地域基準点測量 (2011年6月~8月) — 高度地域基準点測量 (2006年)

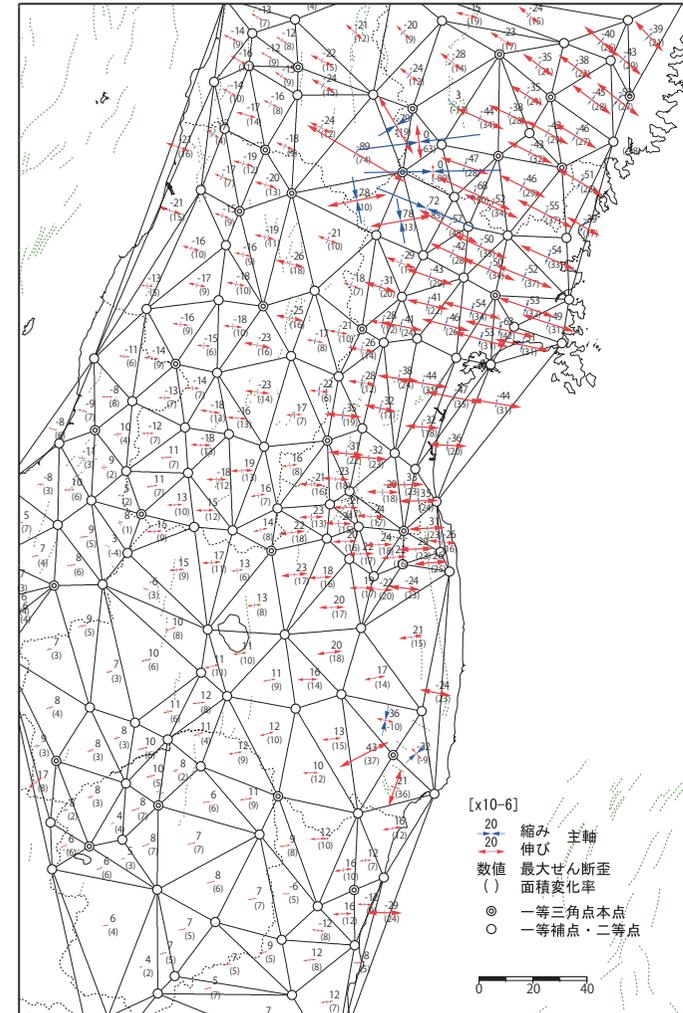


第55図 測地測量結果による東北地方北部の水平歪
Fig.55 Crustal horizontal strain of northern Tohoku district calculated from geodetic survey results (1/2).

東北地方南部の水平歪

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震の影響が見られる。
2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震等の影響が見られる。

高度地域基準点測量 (2011年6月~8月) — 高度地域基準点測量 (2004年-2007年)

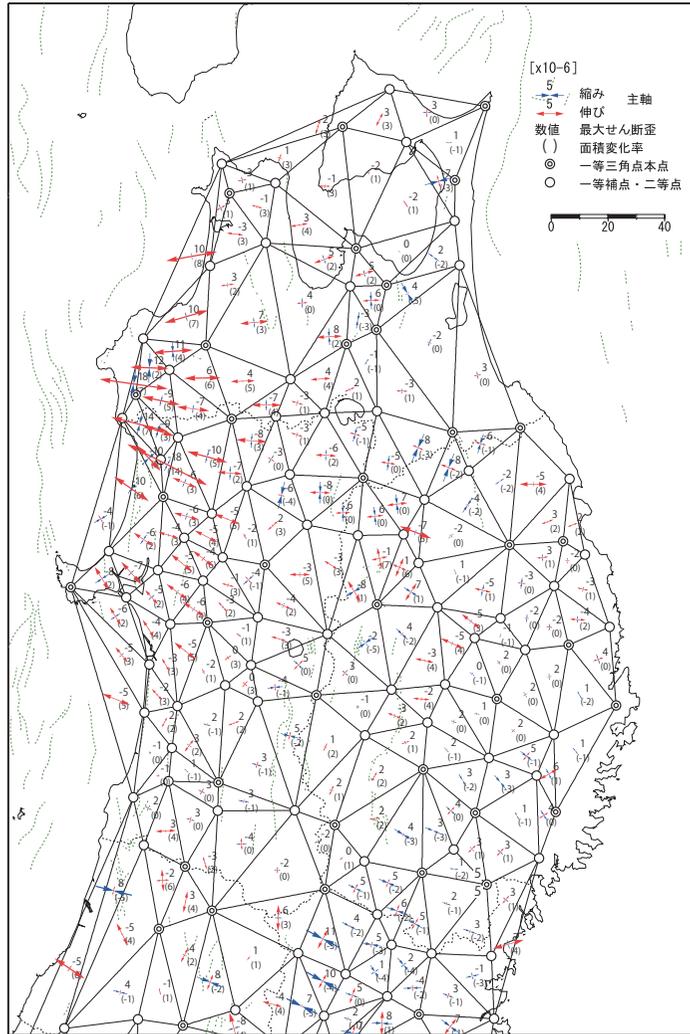


第56図 測地測量結果による東北地方南部の水平歪
Fig.56 Crustal horizontal strain of southern Tohoku district calculated from geodetic survey results (1/2).

東北地方北部の水平歪

1983年5月26日に発生した日本海中部地震の影響が見られる。

高度地域基準点測量 (2006年) — 一次網 (1981年-1982年)



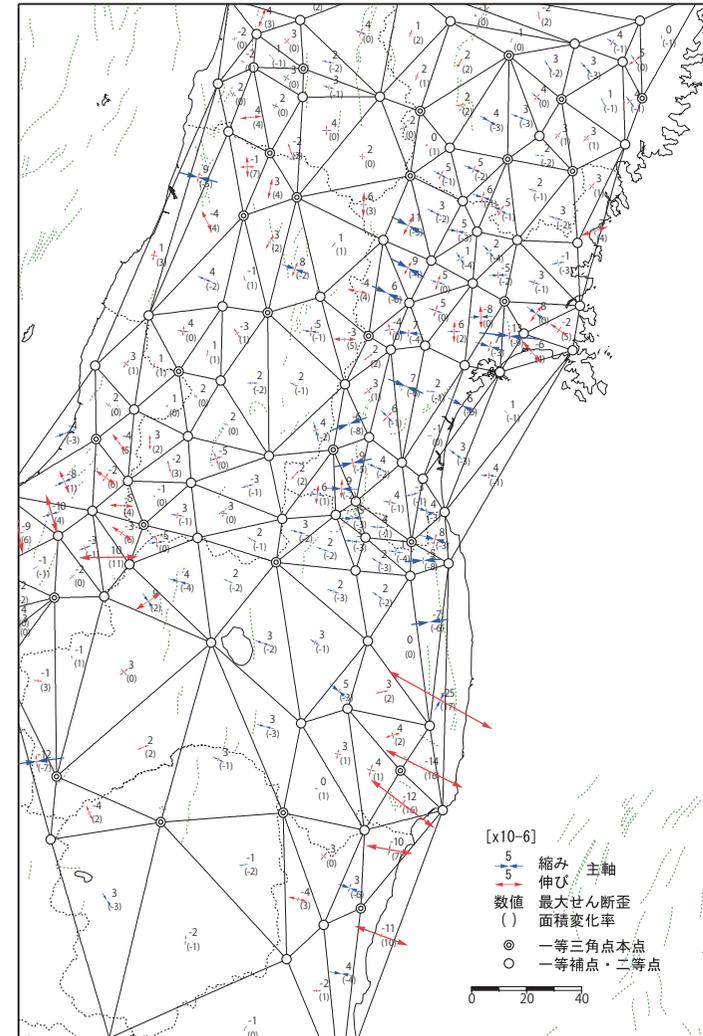
・緑点線は活動層(「日本の活断層」による)

第57図 測地測量結果による東北地方北部の水平歪み
Fig.57 Crustal horizontal strain of northern Tohoku district calculated from geodetic survey results (2/2).

東北地方南部の水平歪

1976年に閉山した常盤炭田付近で局所的な変動の影響が見られる。

高度地域基準点測量 (2004年-2007年) — 一次網 (1979年-1982年)



・緑点線は活断層(「日本の活断層」による)

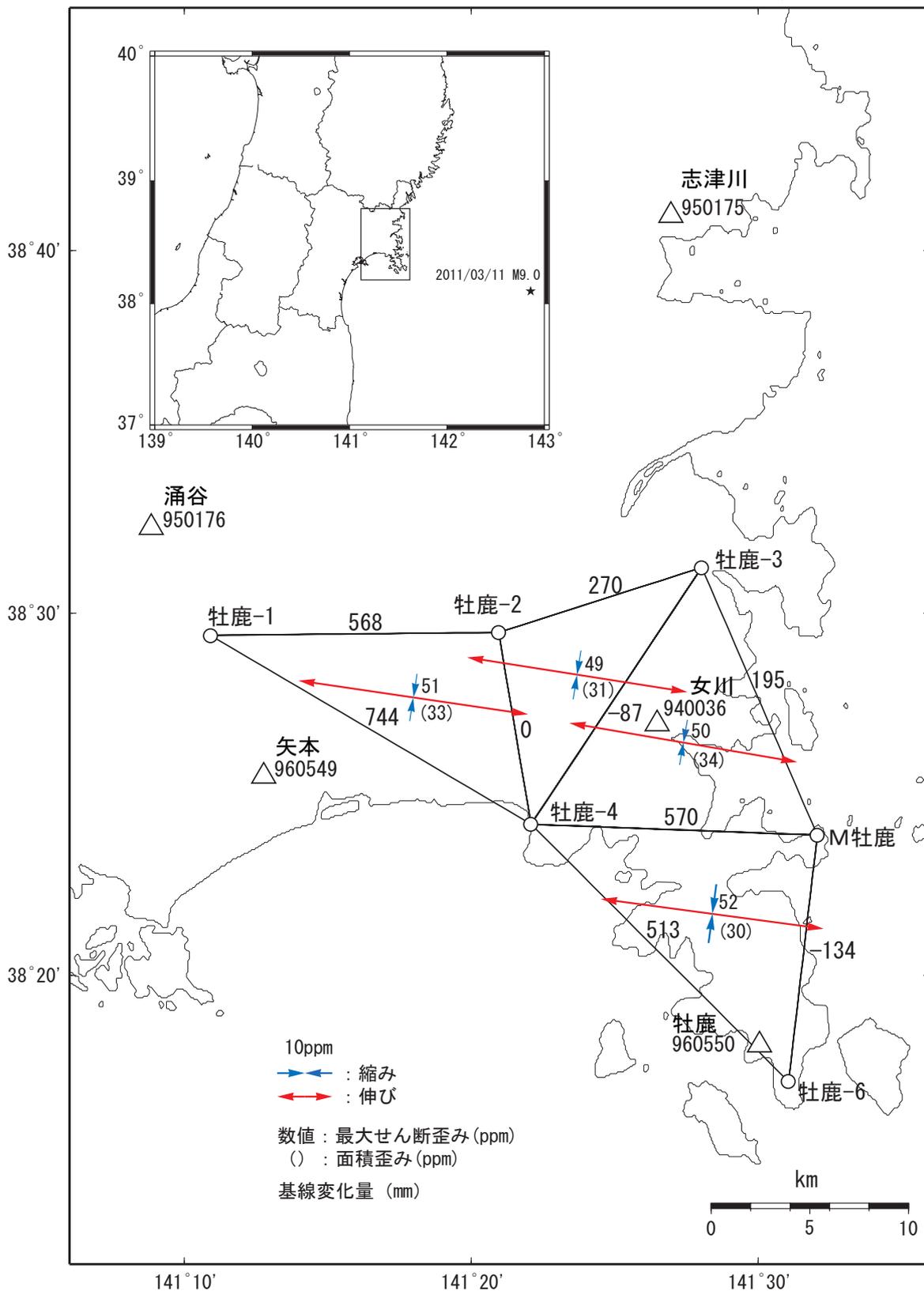
第58図 測地測量結果による東北地方南部の水平歪み
Fig.58 Crustal horizontal strain of southern Tohoku district calculated from geodetic survey results (2/2).

宮城県 牡鹿地区 GNSS 繰り返し観測 GNSS 機動観測

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響による歪みが見られる。

前回観測：2010年 5月

今回観測：2011年11月



第 59 図 牡鹿地区地殻変動観測点における GNSS 観測結果

Fig. 59 Results of campaign GNSS observation on the crustal deformation monitoring points in Oshika region.