

3-2-2 東北地方の地殻変動

Crustal Movements in the Tohoku District

国土地理院
Geographical Survey Institute

[水準測量]

第1図は、仙台から牡鹿（おしか）半島石巻市鮎川検潮所に至る路線の水準測量結果である。

下段は、仙台から利府町の区間が2004年秋に対する2006年秋の上下変動で、利府町から鮎川検潮所の区間が2005年秋月に対する2006年秋の上下変動である。利府町以東は、わずかに沈降が見られ、沈降量は東ほど大きく③で示した2005年8月16日の宮城県沖の地震(M7.2)による沈降量の分布と同様である。GPS連続観測による「牡鹿」の時系列を見ても、これらの沈降は、③の地震の余効変動によるものと考えられる。電子基準点「牡鹿」は隣接点と比べてわずかに沈降である点は、地震時の上下変動と同様である。

中段は、2006年秋に対する2007年夏の利府町以東の上下変動である。東松島市や石巻市でわずかに隆起が見られるが、牡鹿半島の鮎川検潮所では、ほぼゼロになっている。この内、東松島市の隆起が大きめの区間は、②で示した2003年7月26日の宮城県北部（宮城県中部）の地震(M6.4)に伴い8cm以上の隆起を示していた5664～5670の区間と一致している。

上段は、仙台から利府町の区間が2006年秋に対する2008年秋の上下変動で、利府町から鮎川検潮所の区間が2007年秋月に対する2008年秋の上下変動である。鮎川検潮所付近でわずかな隆起が見られる。これは、水準測量・GEONETによる長・中期的傾向とは逆であるが、この期間のGEONETデータとの差は誤差の範囲内である。

第2図は、仙台から岩沼市に至る路線の水準測量結果で、最上段が2年前との比較である。原因不明の異常点があるが、特段の変動は見られない。

[GPS 連続観測]

第3～6図は、飛島を固定局として東北地方太平洋沿岸の観測点における2005年宮城県沖の地震前後の地殻変動を示した時系列グラフである。1997年10月から2002年10月を定常的な期間としてトレンド・半年周・年周成分を除いたグラフとしている。左の列に2004年1月～2008年10月までの長期の時系列、右の列に2008年1月以降の短期の時系列を示した。まず、左の列の長期の時系列では、すべてのグラフに、2005年8月16日の宮城県沖の地震後に余効的な変動が見られる。2005年12月2日に発生した8月16日の宮城県沖の地震の最大余震に伴う変動と、その後の余効変動も、志津川、女川、牡鹿の観測点のグラフに見られる。2008年3月以降、すべての基線で、東向き成分がわずかに大きくなる傾向が見られるが、過去2年の同時期にも同様の傾向が見られた。2006年、2007年、2008年の時系列で、「3～8月は東南東向きの変動が進行し、9～2月は停止するという」年周成分が除去しきれ

ていない可能性がある。余効変動は減衰しながらも完全には止まっていない可能性がある。

すべての基線で、2008年6月14日に平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う飛び数mm～約3cmが見られる。2008年7月19日に福島県沖の地震に伴う飛びが見られる。南側の(4)牡鹿、(6)亘理、(7)相馬1観測点では、特に東西成分に、福島県沖の地震後の余効変動が見られる。なお、基線の始点である飛島観測点は、岩手・宮城内陸地震時に東南東方向に約6mm(東に6.3mm、南に1.5mm：岩崎固定)の変動が見られた。

[GPS 機動観測]

第7図は、牡鹿地区のGPS機動観測(繰り返し観測；キャンペーン観測)の結果である。歪みには、わずかな東西圧縮が戻ってきており、2005年8月16日の宮城県沖の地震後の余効変動は小さくなっているようである。

[GPS 平成20年7月19日の福島県沖の地震]

第8図は、2008年7月19日の福島県沖の地震(M6.9)前後におけるGEONET等のGPS連続観測点による水平変動ベクトル図及び基線変化グラフである。この地震に伴い地殻変動観測点「S浪江」で1.0cmの東南東方向への移動が観測されるなど、地殻変動が観測された。

[平成20年7月19日の福島県沖の地震 断層モデル]

第9図は、GPSによる地殻変動データを元に、矩形断層・一様すべりを仮定してインバージョンにより断層パラメータを推定した震源断層モデルである。初期モデルは、遠地地震波形によるすべりの推定結果(東北大学ウェブページ)を参考に設定し、強く拘束したパラメータは深さ・傾斜角、弱く拘束したパラメータは緯度・経度・すべり角、ほとんど拘束しなかったパラメータは走向・長さ・幅・すべり量である。中央付近に、推定された断層パラメータを示す。傾斜方向に長い長方形の断層面で近似したプレート境界における西傾斜の逆断層すべりで、すべり量約1m、モーメントマグニチュードは6.8と推定された。

上段のベクトル図は、水平ベクトルの観測値とモデル計算値の比較で、計算値が白抜き矢印、観測値が黒塗り矢印で示してある。両者のフィッティングは、概ね良好である。

下段は、推定された矩形断層と余震活動の位置関係を三次元的に比較した図である。推定された断層の水平位置は、余震分布とほぼ一致する。また推定された断層面もほぼ震源を通る位置に推定された。

[平成20年7月19日の福島県沖の地震発生前の地殻変動]

第10図は、2008年7月19日の福島県沖の地震発生前約2年分のGPSによる非定常地殻変動時系列である。上段は時系列を示す観測点位置および2007年11月26日の福島県沖

の地震と2008年7月19日の福島県沖の地震の震央位置を示す。下段は、左側に東西成分、右側に南北成分を示す。ここに示す時系列は、大潟観測点に対する非定常地殻変動時系列で、トレンド成分および年周・半年周成分を、2006年1月～2008年1月のデータから推定し、取り除いている。表示期間に発生した地震（2007年11月26日福島県沖の地震、2008年5月8日茨城県沖の地震、2008年7月19日福島県沖の地震）の地震時の変動は取り除いていない。地震発生の半年ほど前から東西成分に変化が見られる。南北成分および、ここには示していないが上下成分には顕著な変化は見られない。

第11図は、前ページの時系列から、2008年1月～2008年5月までの4ヶ月間の非定常地殻変動をベクトル表示したものを上段に、この変動ベクトルの解釈の一つとして、矩形断層によるすべりを仮定して断層モデルを推定したものを下段に示す。2008年1月～2008年5月までの4ヶ月間に最大5mmの東向きの変動が観測され、この変動を説明する一つの解釈として、2007年11月26日の福島県沖の地震と2008年7月19日の地震の震源の間の領域でモーメントマグニチュード6.4に相当するプレート間すべりが発生していたと考えられる。

[岩手県沿岸北部（岩手県中部）の地震 GPS]

第12図は、2008年7月24日に発生した岩手県中部（岩手県沿岸北部）の地震に伴う地殻変動を確認するための資料である。有意な地殻変動は見られない。水平ベクトル図の南部に見られる北東向きのベクトルは、停滞前線による影響とみられる。

[水準測量 地震後の2回目の結果]

第13図には、地震後に行った水準測量の結果を示した。中央列に、南北にはしる国道4号線上の一等水準路線のうち、金ヶ崎町の水準点5460から一関市の水準点5442までの上下変動が示されており、最上段が地震を挟む期間の変動である。震源域から離れたこの場所の上下変動は、GPSでも断層モデルでも1cm未満であり、水準測量結果と調和的である。この一等水準路線から、西の震源域に伸びる2本の路線の水準測量結果を左の列に示した。

まず、北側の路線は、奥州市水沢区の水準点5458から西へ国道397号にほぼ沿い胆沢（いさわ）区の水準点BM3に至る公共水準路線（1級相当）である。左上の図には、余震域に唯一含まれるBM3で約19cmの隆起が見られる。第33図を見ると、BM3は、SAR干渉画像に見られる南北約7km東西約3kmの北に張り出した細長い変動領域の付け根にあたる。この変動領域のSAR観測値には、周囲に対し、約0.1～0.2mの隆起が見られ、水準測量と調和的である。また、北上低地西縁断層帯の南端である出店（でだな）断層を横切るBM1とBM2間の上下変動は1cm未満であることから、出店断層の浅部はずれていないとみられる。

次に、一関市にある水準点5444から西へ国道342号に沿い同市天王の水準点BM7に至る公共水準路線（3級相当）である。左下の図で、震源域に最も近い水準点No1、No2では、2cm強の沈降が観測され下盤側の変動を示している。

また、電子基準点水沢1（940029）、胆沢（970796）、平泉（020912）にも水準測量（取付観

測という)を実施したが、GPS観測結果と概ね調和的である。

[水準測量 地震後の2回目の結果]

第14図は、岩手・宮城地区の水準測量の結果である。第14図は、奥州市胆沢区の国道397号に沿った水準路線のうち、地震後に2回目の水準測量を2008年10月21～22日に実施した路線の地震後の上下変動である。水準点BM3(市野々;いちのの)から水準点BM2(愛宕)間は、2008年6月30日～7月1日の水準測量で(1987年11月と比較して)約19cmの地震時の隆起が観測された区間である。また、970796Aは、余効変動とみられる変位が続いている電子基準点「胆沢」(970796;愛宕)の付属金属標である。今回の10月の観測にあたって、6～7月の観測時に仮設した固定鋺10点を再活用し、固定鋺毎の3ヶ月間の変動を解析したところ、BM2に対するBM3の7.3mmの隆起のなかで、6.5mmの変動が固定鋺(3)～(2)間(宮坂;区間長約480m)で生じていた。特に、固定鋺(5)に対し固定鋺(2)は14mm隆起しており、余効変動が集中する場所の東西位置がこの約1.5kmの間に絞り込まれた。

本震をはさむ「だいち」PALSARの干渉画像では、市野々付近から金ヶ崎町の黒沢川上流域にかけて、その周囲に比べ約0.1～0.2mの隆起と東向きへの変動がやや顕著な、長さ約10km・幅約3kmの領域が、震源断層直上部の地殻変動集中帯から北へ張出している。BM2～BM3間は、この領域の東縁付け根付近にあたり、また北上低地西縁断層帯(地震調査委員会)の南端部を構成する断層群の延長部にあたる。固定鋺(3)～(2)間付近では、変動地形は未だ報告されていないが、付近での胆沢川の屈曲が著しいこと、国道脇の構造物に東西圧縮を示唆する変形があること、胆沢川沿いの段丘群(渡辺1991)の西縁部にあることなどから、山麓線に沿った何らかの構造が考えられる。

[GPS]

第15～20図は、GEONETによるGPS連続観測から求めた震源域周辺の地殻変動である。

[GPS ベクトル図 F2(最終)解 余効変動]

第15図は、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震時の地殻変動ベクトル図で、上段に水平変動ベクトル、下段に上下変動が示してある。固定局は、岩崎観測点とした。F2解、栗駒2の傾斜補正(方位角274°に4.58cmの電子基準点ピラーの傾斜を補正)済み、及び水沢1で保守による変位を補正済みである。震源域に位置する栗駒2観測点では、南東方向へ約154cmの変動と約208cmの隆起を観測した。栗駒観測点、鳴子観測点では、電子基準点ピラーが地震時に傾斜したので、(1.5cm程度の)傾斜補正を施してある。水平変動は、秋田県南部の皆瀬観測点で東南東方向へ約29cmなど、震源域を挟んで東西(西北西-東南東方向)短縮するような地殻変動が観測された。

第16図は、岩手・宮城内陸地震の余効変動を示すGPS連続観測による地殻変動ベクトル図である。上段に水平変動ベクトル、下段に上下変動を示した。上段の図で震源域西側の

東成瀬を含む5点，震源域東側の栗駒を含む7点以上で，地震後の変動ベクトルが地震時の変動ベクトルに近い方向を向いていることから，余効変動が観測されたとみている．震源域北側の胆沢は，地震時に北向きに2.0cm変動したのに対し，地震後約2週間に東南東向きに3.0cmの余効変動が見られていたが，前回までの地震後約1ヶ月間で4.3cmまで成長したままである．また，地震時に2.60mもの地殻変動を観測した上盤上の栗駒2観測点の余効変動が，東南東方向に地震後約1ヶ月間6.4cmから，4ヶ月間で8.5cmとなった．下段の上下余効変動の図には，±3cm程度のばらつきが含まれるが，少なくとも5cmを超えるような余効変動は観測されていない．

[GPS 時系列 短期 R2(速報)解]

第17～19図は，岩崎観測点を基線ベクトルの始点とした6本の基線ベクトル3成分の時系列グラフである．左の列の期間が，地震を挟んだ約6ヶ月間で，右列は地震後の約4ヶ月半である．地震時に明瞭な飛びが見られる一方，明瞭なプレスリップは見えない．全ての基線で，小さな余効変動が観測されている．注目すべきこととして，第19図上段の(5)胆沢（いさわ）観測点では，地震時の地殻変動2.0cmを超える余効変動4.3cmが観測されている．地震時と地震後で，すべりの方向が異なる．余効変動は，栗駒2観測点でのみ観測されており，他の観測点では見えなくなっている．

[GPS 時系列 GPS 1秒サンプリング]

第20図は，震源域周辺の4つの観測点の3成分の1秒サンプリングGPS解析による時系列グラフである．基線解析ソフトウェアは，RTDを用いている．水平成分には地震に伴う明瞭なステップが見られるが，地震の直前，直後に有意な変動は見られない．

[GPS1秒 と 地震計から計算した変位波形の比較]

第21図は，東成瀬と雄勝観測点のそれぞれ近傍にあるK-NET観測点における加速度記録を，基線補正を行い2回積分して得られた変位波形とGPS1秒データの比較である．両者は概ね一致している．

[地震計から計算した変位ベクトルとの比較]

第22図は，第21図と同様の手法で計算したK-NET，KiK-net（地表）観測点における永久変位とGEONETによる変位の水平成分を比較したものである．両者は概ね整合的で，震源域を挟んで東西に短縮する地震時地殻変動パターンが明瞭に見て取れる．

[合成開口レーダー（SAR）]

第23図は、「だいち」(ALOS) PALSARデータの干渉解析結果である。西南西上空 (Ascending軌道) の仰角約 52° (オフナディア角 34.3°) の人工衛星から地震前後の2007年8月6日と2008年6月23日に撮影した合成開口レーダー画像を干渉処理し、衛星と地上を結ぶ視線方向の距離の変化を位相で表示したものである。震源域西側で最大約1mの衛星から遠ざかる変動が観測された。

第24図は、東南東上空 (Descending軌道) の仰角約 41° の人工衛星から地震前後の2006年6月19日と2008年6月24日の干渉画像である。震源域西側で衛星に近づくセンス、東側で衛星から遠ざかるセンスの最大50cm以上の変動が観測された。

第25～26図は、7月に取得された「だいち」(ALOS) PALSARデータの干渉解析結果である。どちらも東南東上空 (Descending軌道) から撮影されたもので、第25図がオフナディア角 41.5° 、第26図が 34.3° の干渉画像である。色が衛星と地上を結ぶ視線方向の距離の変化を位相で表示したものである。地震後のデータもさらに取得される予定であり、これらの干渉画像を用いて、地殻変動・震源断層モデルの分析を進める予定である。

[SAR干渉画像2.5次元解析]

第27図は、北行 (Ascending) 軌道の西南西からのSAR観測と南行 (Descending) 軌道の東南東からのSAR観測の2方向からの観測値の組合せ解析 (2.5次元解析) による結果で、地殻変動の準東西成分と準上下成分を分離したものである。地殻変動集中帯を挟んで、西北西－東南東方向に地殻が約2m短縮したことを示している。震源域を除く周辺では、モデル計算値どおり、沈降が見られる。

干渉画像の震源域北部に見られる細長い変動領域のSAR観測値には、周囲に対し、約0.1～0.2mの隆起が見られ、水準測量と調和的である。

第28図は、余震域北端付近における周囲に対する相対的な準東西方向と準上下方向の変位量分布拡大図である。余震域北端付近 (奥州市胆沢区市野々 (いちのの) 付近から金ヶ崎町の黒沢川上流域) において、周辺と比較して相対的に隆起、東西方向に圧縮の変動が見られる。この変動の特徴は、2007年新潟県中越沖地震の際に見られた小木ノ城背斜に沿った隆起と類似する。

[震源断層モデル すべり分布 SAR・GPS]

第29～32図は、GPS及びInSARデータから推定した震源断層モデルである。水準測量データは使用していない。

第29図が、推定された断層面上のすべり分布である。推定にあたって、断層面の水平位置、深さ、傾斜角を地殻変動データから推定した。前回報告したように、成層構造媒質を用いても、断層面の深さはあまり変化しなかったことから、通常通り均質媒質を用いた。北側の断層の傾斜角に比べて南側の断層面の傾斜角は小さく推定された。これら南北2枚の矩形断層面を滑らかにつなぐ曲面上のすべり分布を推

定した。

本震震源の南側の浅いところ（深さ約2～4km）で大きなすべりが推定された。これは、荒砥沢ダム北方の地表変状（産総研）から本震震源へ向かう南北に長い領域に相当する。つまり、長さ（南北）約10km、幅（東西）約3kmの領域で、8mを超えるすべりが推定された。南側の断層面上端は、荒砥沢ダム北方の地表変状付近を通過する一方、杓木立（はのきだち）の地表変状からは3～4km離れている。

[震源断層モデル 余震分布との位置関係・断面図]

第30図は、断層面と余震分布との位置関係を示している。左下の断面図で、断層面が☆で示した本震震源をほぼ通過している。今回プロットした震源位置は、東北大・北大・弘前大・地震研・名大・京大防災研・九大・鹿大・防災科研等からなる2008年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループによる余震観測の内、観測点配置が改善された2008年7月2日～7日のデータを用いてDDトモグラフィを行なった結果で、従来、5kmより深かった余震分布上端が2kmまで浅くなっている。また、同時に再決定された本震震源位置は、その深さが一元化震源の8kmから5kmと約3km浅くなったと同時に水平位置が約1km東南東に移動した。

以上のように、地殻変動データから推定した断層面は、緊急観測グループによる余震観測とDDトモグラフィによって決定された（本震+余震）震源分布と整合する。整合した理由のひとつは、震源再決定であり、もうひとつは断層面を走向・傾斜角の異なる2つに分けたことである。

[震源断層モデル GPSのフィッティング]

第31図は、GPS変動ベクトルのフィッティングである。黒矢印で示した観測値と白矢印で示した計算値は調和的であり、フィッティングが良好である。

[震源断層モデル SAR干渉画像のフィッティング]

第32図は、SAR干渉画像のフィッティングである。上中下段の3枚の干渉画像について、左の列に観測されたSAR干渉画像、中央列にモデル計算値、右の列に残差を示した。残差は小さく、フィッティングが良好である。

[集約図 SAR干渉画像と余震分布など]

第33図は、SAR干渉画像の拡大図に、余震分布、電子基準点、活断層、地質断層、地表変状、水準路線、断層面位置を重ね合わせた集約図である。幅約10km、長さ約30kmの帯状の地域に地殻変動の集中を示すまだら模様が見られる。岩手・宮城内陸地震緊急合同余震観測グループによる三次元不均質構造を考慮して再決定された震源（暫定値）による6月14日～20日の期間の余震分布と地殻変動集中域は、その水平位置が良く一致する。

約19cmの隆起を観測した胆沢区の水準点BM3は、SAR干渉画像に見られる南北約7km東西約3kmの北に張り出した細長い変動領域の付け根にあたる。この変動領域のSAR観測値には、周囲に対し、約0.1～0.2mの隆起が見られ、水準測量と調和的である。

北上低地西縁断層帯の南端である出店（でだな）断層の浅部はずれていないことが確認された。これは、電子基準点「胆沢」で観測された変動量が、3cm未満であることと調和的である。

東北大学、産業技術総合研究所、国土地理院等が、現地調査で確認した県道49号線沿い（一関市柷木立地区の）地表変状（地表変位）の位置（図上で×印）と、その付近に伸びる地質断層（茶色の点線）は、地殻変動集中帯の東縁に位置する。

北側の断層面の断層上端は、水準点BM2とBM3の間で特に固定鉤(5)付近を通過する。これは、前回、BM3が地震時に約19cm隆起したことで調和的である。また、上下余効変動が固定鉤(5)から西側に集中することとも調和的である。地震時の変動と余効変動の場所が変化したとの報告もあるが、断層モデルは、余効変動を含むSARデータも用いていることから、余効変動を含むモデルである。

南側の断層面の断層上端は、荒砥沢ダム北方の地表変状付近を通過する一方、柷木立の地表変状の西北西3～4kmに位置する。

[GPS 高度地域基準点測量（繰り返し観測） 岩手・宮城・秋田・山形]

第34図は、2007年の岩手県・宮城県・秋田県・山形県の三角点のGPS繰り返し観測の結果である。電子基準点は大きな○、三角点は小さな○で示してある。基準となる測量は、西側の赤い三角網が2007年秋、東側の緑色の三角網が2005年秋である。参考までに、平成20年岩手・宮城内陸地震の震源断層を矩形で示した。震源域の周囲で、西北西－東南東方向の伸びが見られる。

[GPS 地震前の地殻変動 先行現象か？ 過去の資料]

第35～36図は、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震震源域周辺のGEONET観測点の岩崎固定による地震前の地殻変動3成分の時系列である。2003年5月26日の宮城県沖の地震(M7.1)、2003年9月26日の十勝沖地震(M8.0)、2005年8月16日の宮城県沖の地震(M7.2)等の影響が見られる他、東西成分には、東西圧縮を示すトレンドが見られる。第36図右上の栗駒2観測点には、2004年～2007年にかけて南東方向の局所的な変動が見られる。（東西成分では、栗駒2以外の観測点が西向きトレンドがあるのに対し、栗駒2のそれは小さい。南北成分では、栗駒2のみ南向きのトレンドをもっている。）

[栗駒2観測点のGPS 地震前の地殻変動]

第37～38図は、2008年6月23日の第110回火山噴火予知連絡会に提出された栗駒2

観測点の変動に関する資料である。栗駒2については、2004年5月以降、注目すべき変動が見られたので、過去に複数回（2005年2月以降10回）、噴火予知連に報告している。栗駒2観測点は、2004年～2007年にかけて周りのGEONET観測点に対し、南東向きの変動を示した。第38図右図に示したように、約500m離れた別の尾根に設置された臨時観測点でも、栗駒2と同様の変動が観測されたことから、地すべりに起因する可能性は低い。

[空中写真判読で把握した平成20年岩手・宮城内陸地震の地表変状]

平成20年6月14日に発生した「平成20年岩手・宮城内陸地震」(M7.2)について、国土地理院は平成20年6月15日と16日に縮尺1/10,000の空中写真を撮影した。この空中写真を使ってこの地震による地表変状の判読を行った。

写真判読の範囲は、地表地震断層の可能性のある地表変状の報告(産業総合技術研究所活断層研究センター、東北大学理学部など)のあった一関市柵木立(はのきだち)地区を中心に、既存の地質図に記載されている地質断層に沿った地域とその周辺である。その結果、地表地震断層の可能性のある地表変状が連続することが確認できた。空中写真判読範囲を図1(第39図)に、地表変状の分布を図2, 3(第40図, 第41図)に示す。

山地部については、樹林に覆われているため判読が困難であったが、樹冠に隙間が生じている箇所や道路部において変状が認められた。河川沿いの平野部については、何枚かの水田にまたがって直線的に色調の変化している箇所が認められ、実体視判読の結果からも高低差が認められた。このような箇所を、地表変状箇所としてプロットした。

以下、代表的な地位変状が見られた箇所について、判読結果の詳しい説明を行う。なお、地表地震断層の可能性のある地表変状が報告(産業総合技術研究所活断層研究センター)されている餅転地区については、空中写真が撮影されていないため、写真判読は行っていない。

なお、荒砥沢ダム上流部の大規模崩壊地の北東側の地表変状については、産業技術総合研究所活断層研究センターで、遠田晋次・吉見雅行・丸山正各氏の現地調査結果の説明を受け、判読の際の参考にさせていただいた。また、日本地質学会現地調査団茨城大学班(天野一男、藤縄明彦、本田尚正、松原典考の各氏)からの現地情報も、参考にさせていただいた。ここに記して感謝します。

[写真測量で計測した荒砥沢ダム北方の水平変動]

第45図は、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の前後に国土地理院が撮影した空中写真を使用した写真測量で、主に樹冠の間隙を計測して得た水平変動である(2006年撮影1/30,000と2008年撮影1/10,000)。変動ベクトルは、下盤側の変動が

小さくなるように調整している。全体として、北西－南東方向に短縮する変動を示している。なお、産業総合技術研究所が地表地震断層の可能性のある地表変動として報告している箇所付近では、ブロック的な動きを示しており、相対的に水平成分は右横ずれとなる。

[福島県沖・茨城県沖の地震に関する宮城・福島・茨城県太平洋沿岸GPS連続観測結果]

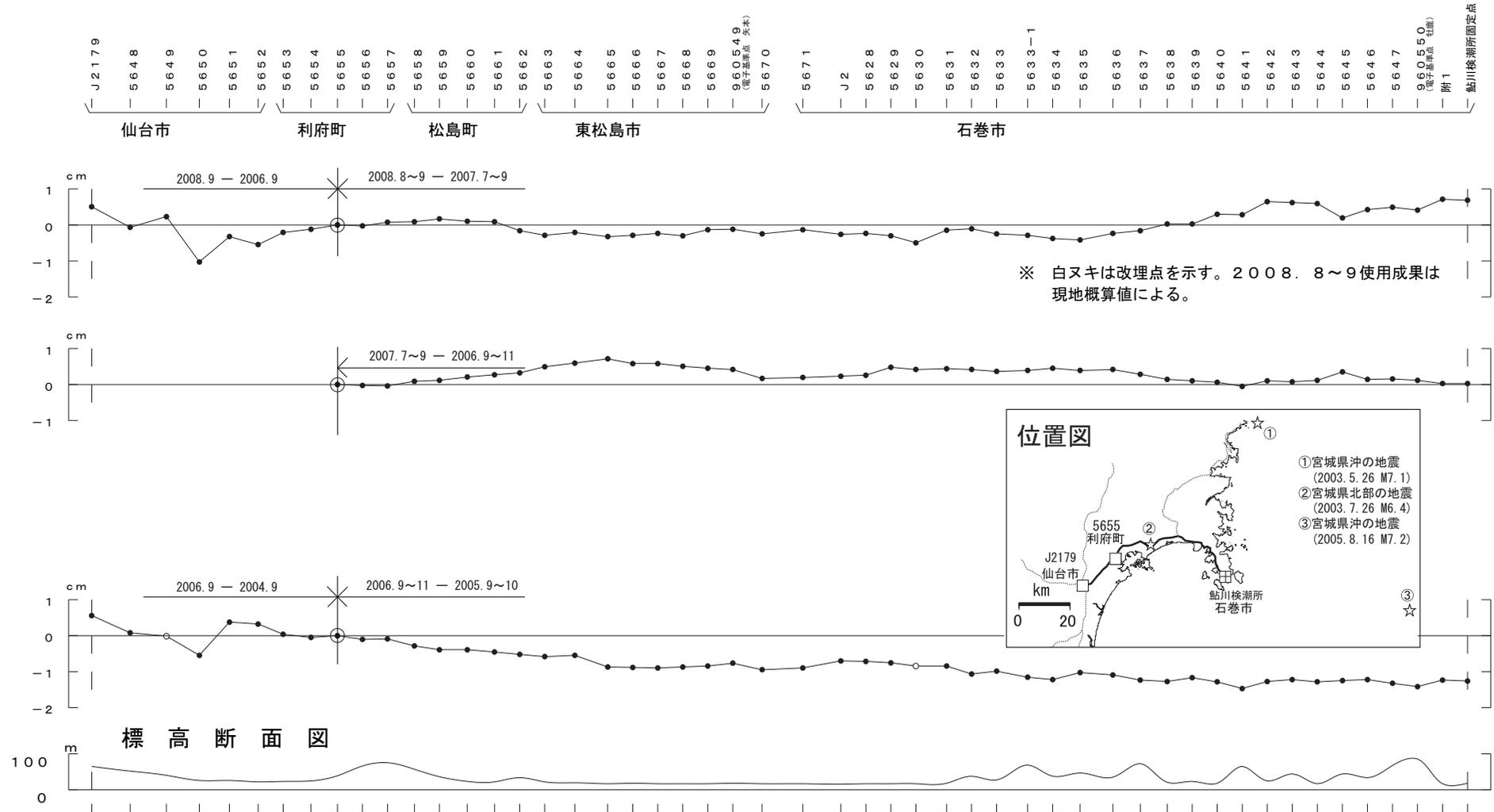
第46図は、宮城県～茨城県の太平洋岸のGPS連続観測点による東西・南北の成分変化グラフである。これらの観測値には、2008年5月9日の茨城県沖の地震(M7.0)、2008年7月19日の福島県沖の地震(M6.9)、2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)に伴う地殻変動及び余効変動の影響が見られる。楢葉(ならば)観測点(950208)では、2008年7月19日福島県沖の地震発生の半年ほど前から東西成分に変化が見られる。また、福島県、茨城県の電子基準点で、2008年の茨城県沖の地震、福島県沖の地震後の余効変動が観測されている。

参 考 文 献

- 1) 国土地理院, 2004, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 71, 279-329.
- 2) 国土地理院, 2004, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 72, 138-158.
- 3) 国土地理院, 2005, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 73, 85-88.
- 4) 国土地理院, 2006, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 75, 75-114.
- 5) 国土地理院, 2006, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 76, 107-129.
- 6) 国土地理院, 2007, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 77, 80-97.
- 7) 国土地理院, 2007, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 78, 127-137.
- 8) 国土地理院, 2008, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 79, 74-79.
- 9) 国土地理院, 2008, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 80, 75-79.

仙台市～石巻市間の上下変動

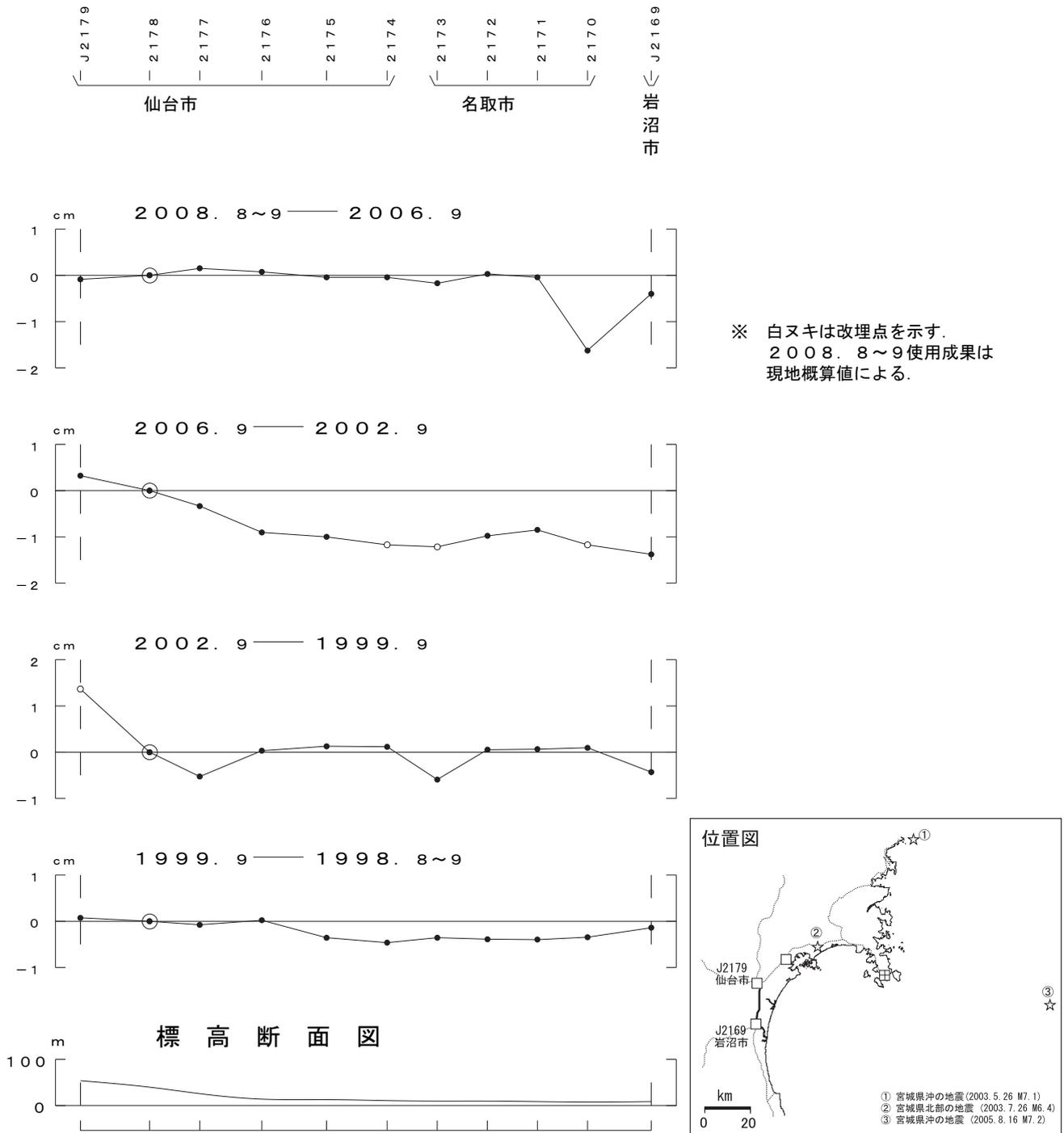
鮎川検潮所付近でわずかな隆起が見られる。



第1図 仙台市～石巻市間の上下変動
 Fig. 1 Results of leveling survey from Sendai city to Ishinomaki city.

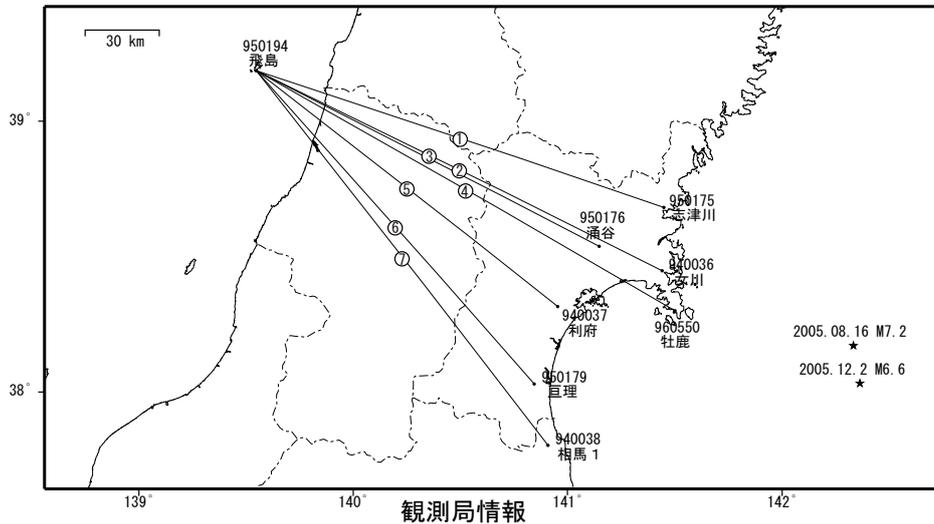
仙台市～岩沼市間の上下変動

特段の変動は見られない。



第2図 仙台市～岩沼市間の上下変動
Fig. 2 Results of leveling survey from Sendai city to Iwanuma city.

東北地方太平洋岸 GPS連続観測時系列 (1)



点番号	点名	アンテナ交換	アンテナ高調整	周辺伐採
950175	志津川	2003. 7. 17		
940036	女川	2001. 11. 28		2005.08. 24
		2002. 12. 18		
950176	湧谷	2003. 7. 17		
960550	牡鹿	2002. 12. 16		
960549	矢本	2002. 12. 16		
940037	利府	2002. 12. 13		

※ 2003年3月25日に基準局92110（つくば1）のアンテナおよびレドームの交換を実施し、解析値に補正をしています。

第3図a 宮城県周辺におけるGPS連続観測結果（基線図・観測点保守状況）

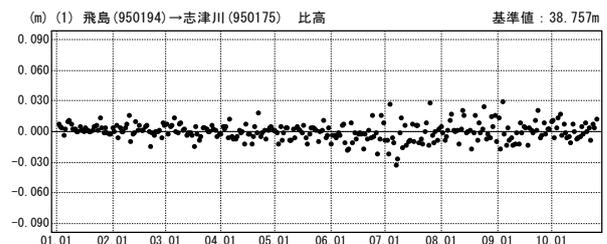
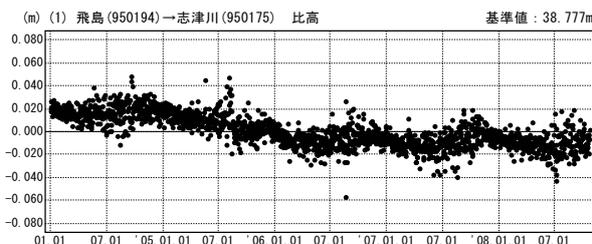
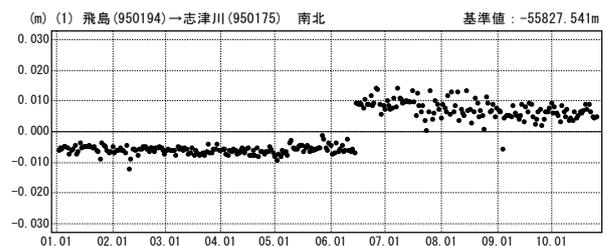
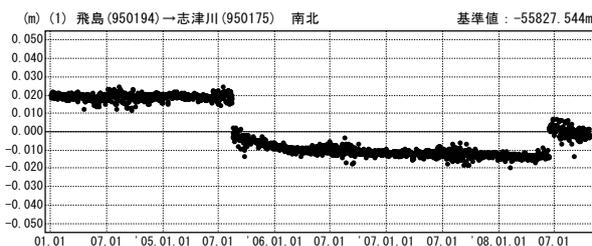
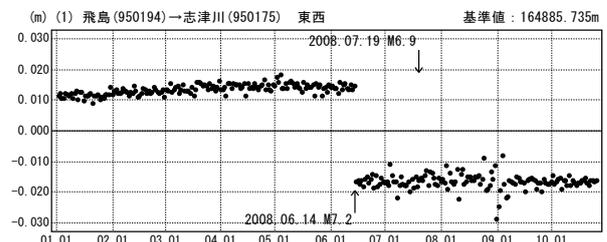
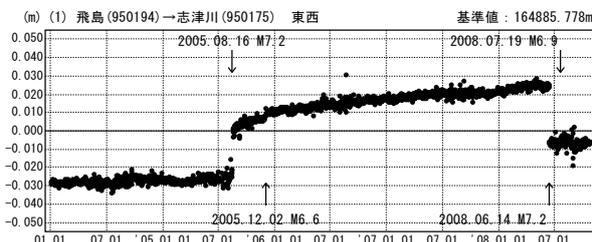
Fig. 3a Long term time series of GEONET F2 solution results of continuous GPS measurements around Miyagi Prefecture (Baseline map and records of site maintenance).

1次トレンド・半年周・年周除去後

期間：2004.01.01～2008.10.25 JST

期間：2008.01.01～2008.10.25 JST

計算期間：1997.10.01～2002.10.01



● ---[F2:最終解]

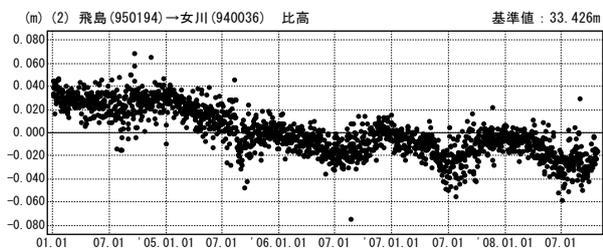
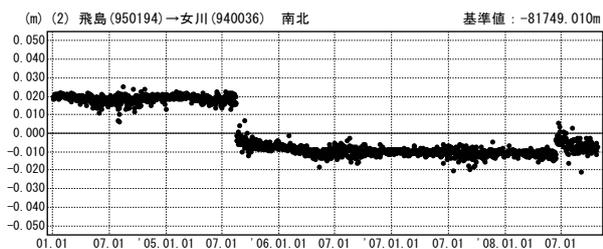
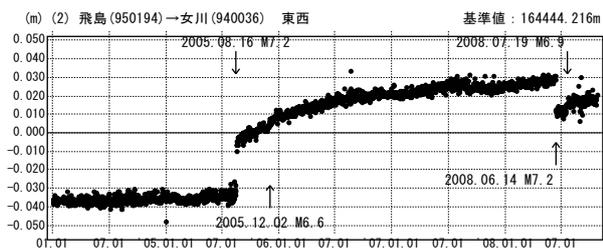
第3図b 宮城県周辺におけるGPS連続観測結果（トレンド・年周・半年周除去，固定点飛島）

Fig. 3b Long term time series of GEONET F2 solution results of continuous GPS measurements around Miyagi Prefecture (corrected data removing linear trend and one year cycle and half year cycle components referred to Tobishima) (1/4).

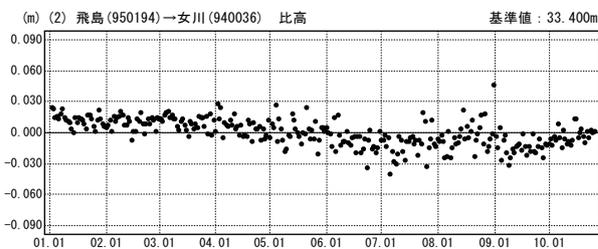
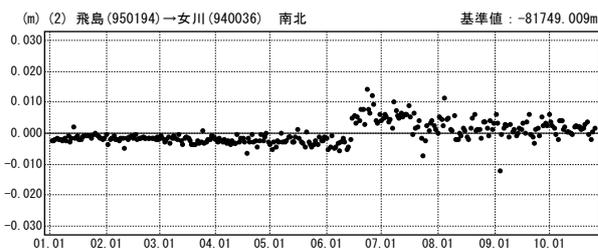
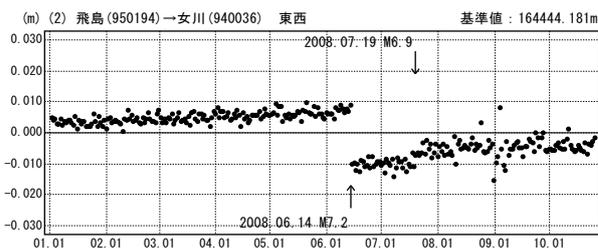
東北地方太平洋岸 GPS 連続観測時系列 (2)

1次トレンド・半年周・年周除去後

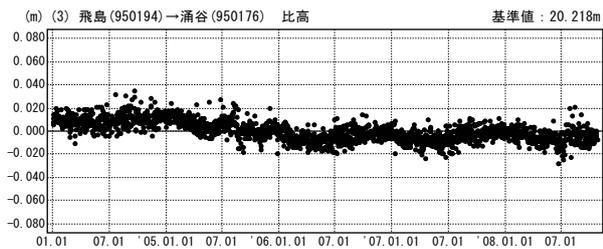
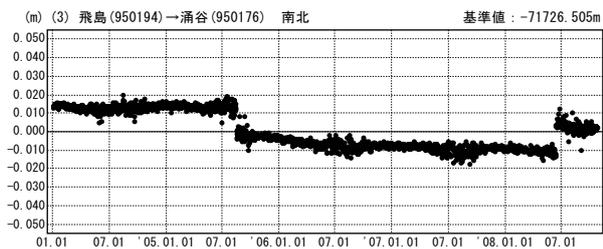
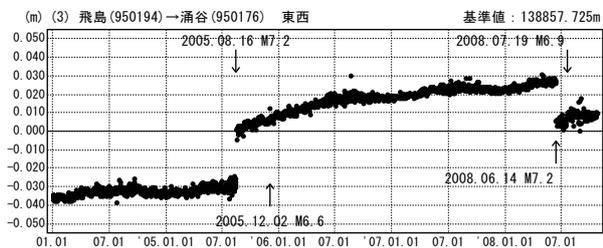
期間 : 2004. 01. 01~2008. 10. 25 JST



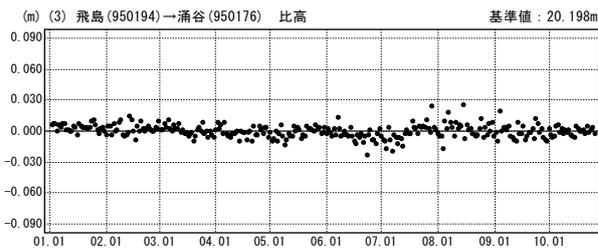
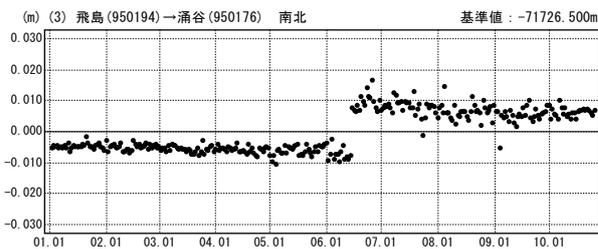
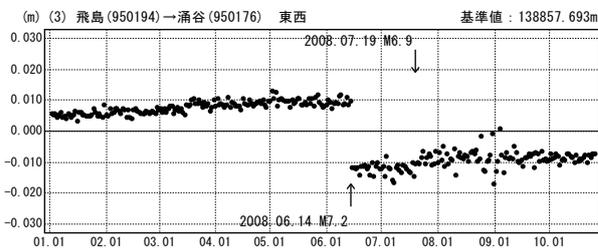
期間 : 2008. 01. 01~2008. 10. 25 JST 計算期間: 1997. 10. 01~2002. 10. 01



期間 : 2004. 01. 01~2008. 10. 25 JST



期間 : 2008. 01. 01~2008. 10. 25 JST 計算期間: 1997. 10. 01~2002. 10. 01



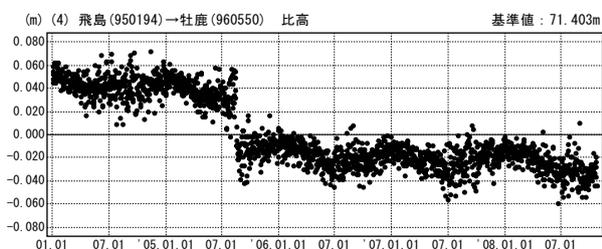
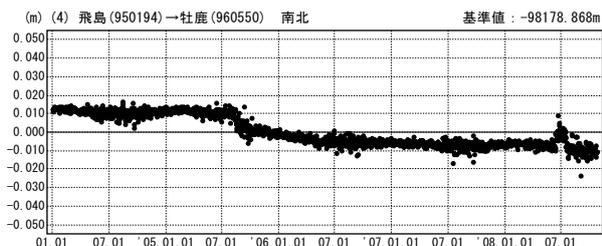
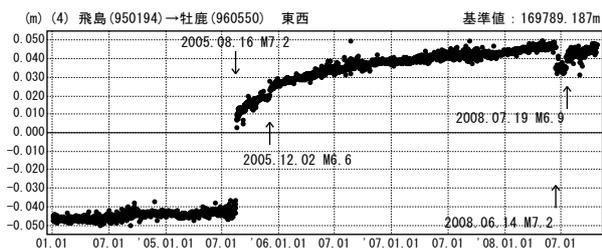
● ---[F2:最終解]

第 4 図 宮城県周辺におけるGPS連続観測結果 (トレンド・年周・半年周除去, 固定点飛島)
 Fig. 4 Long term time series of GEONET F2 solution results of continuous GPS measurements around Miyagi Prefecture (corrected data removing linear trend and one year cycle and half year cycle components referred to Tobishima) (2/4).

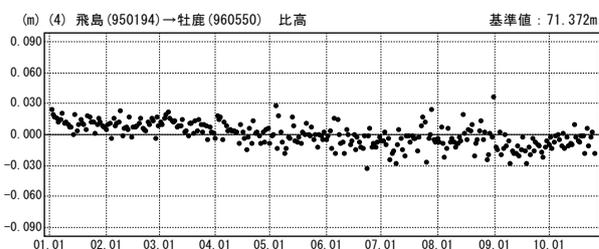
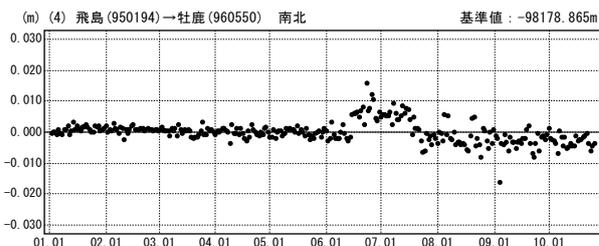
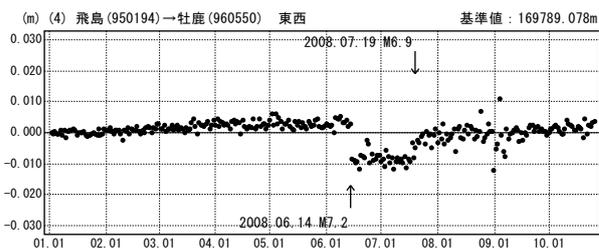
東北地方太平洋岸 GPS連続観測時系列 (3)

1次トレンド・半年周・年周除去後

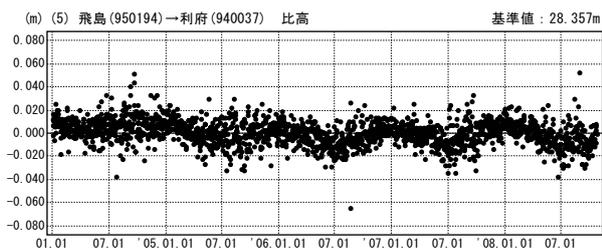
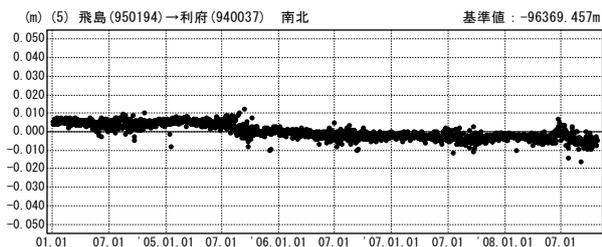
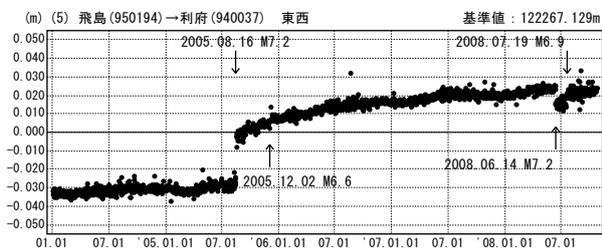
期間：2004.01.01～2008.10.25 JST



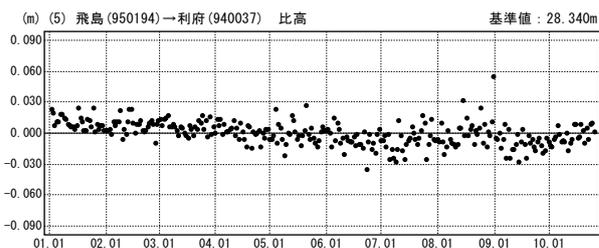
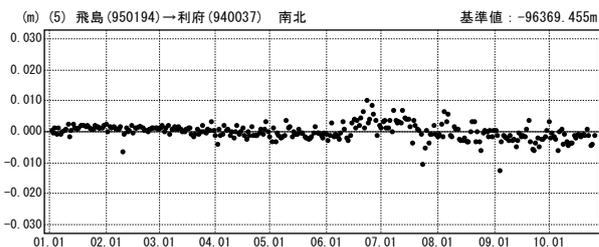
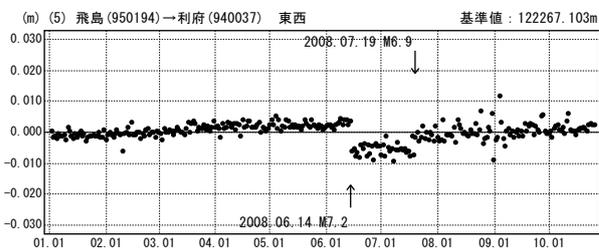
期間：2008.01.01～2008.10.25 JST 計算期間：1997.10.01～2002.10.01



期間：2004.01.01～2008.10.25 JST



期間：2008.01.01～2008.10.25 JST 計算期間：1997.10.01～2002.10.01



● ---[F2:最終解]

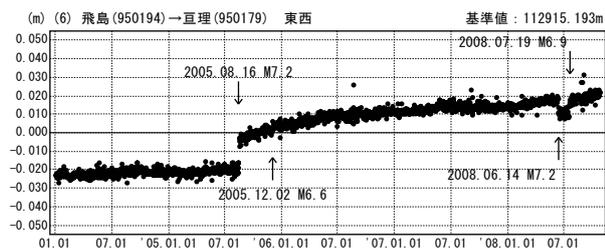
第5図 宮城県周辺におけるGPS連続観測結果 (トレンド・年周・半年周除去, 固定点飛島)

Fig. 5 Long term time series of GEONET F2 solution results of continuous GPS measurements around Miyagi Prefecture (corrected data removing linear trend and one year cycle and half year cycle components referred to Tobishima) (3/4).

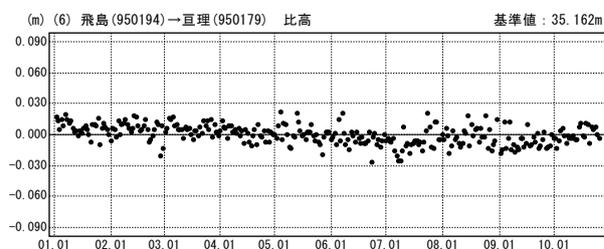
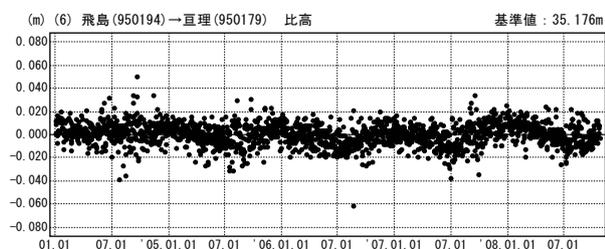
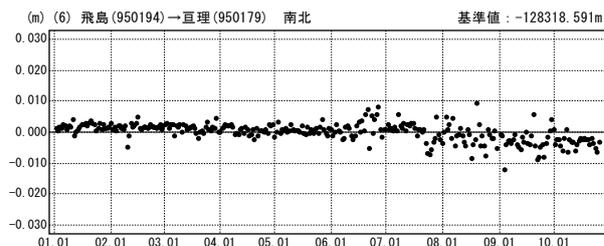
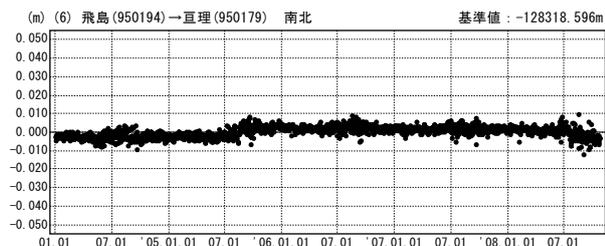
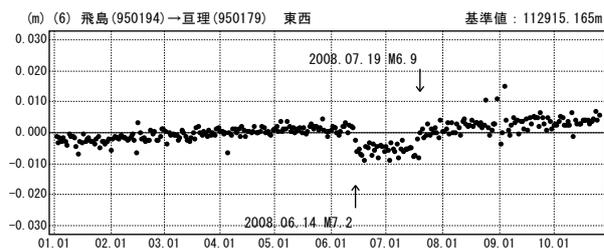
東北地方太平洋岸 GPS連続観測時系列 (4)

1次トレンド・半年周・年周補正後

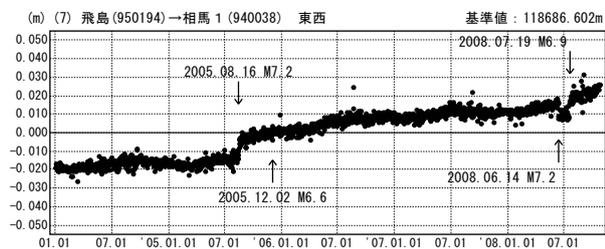
期間：2004.01.01~2008.10.25 JST



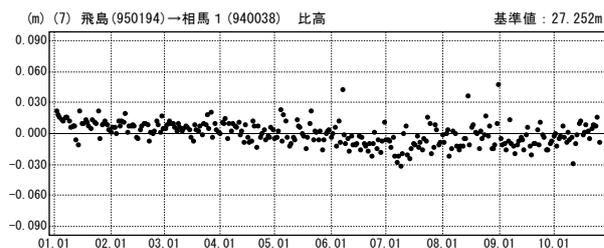
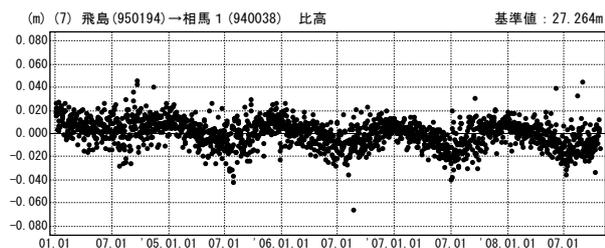
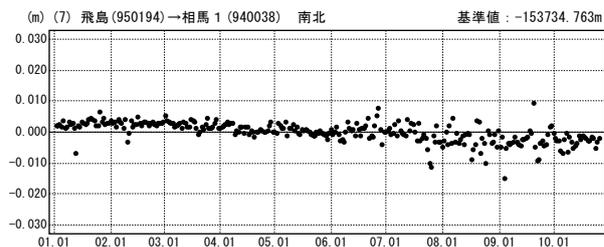
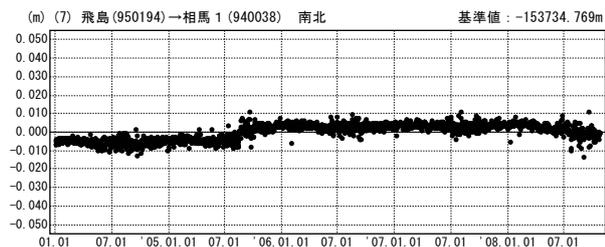
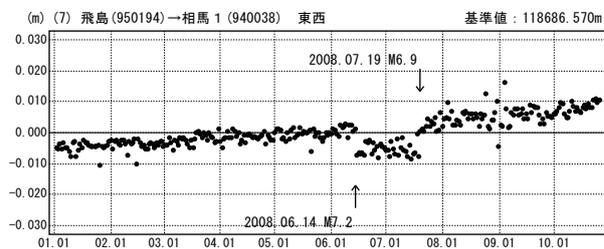
期間：2008.01.01~2008.10.25 JST 計算期間：1997.10.01~2002.10.01



期間：2004.01.01~2008.10.25 JST



期間：2008.01.01~2008.10.25 JST 計算期間：1997.10.01~2002.10.01



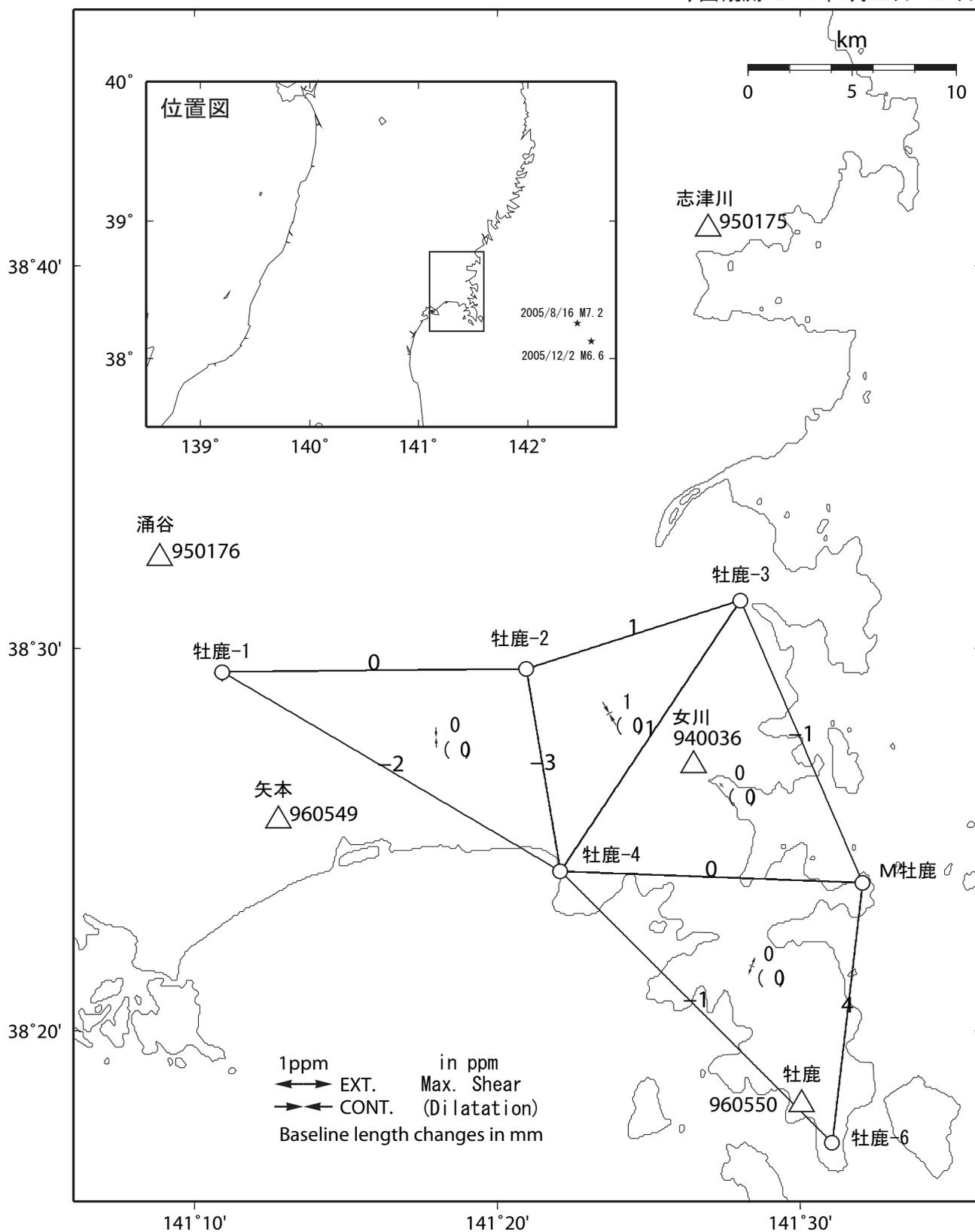
● ---[F2:最終解]

第6図 宮城県周辺におけるGPS連続観測結果 (トレンド・年周・半年周除去, 固定点飛島)
 Fig. 6 Long term time series of GEONET F2 solution results of continuous GPS measurements around Miyagi Prefecture (corrected data removing linear trend and one year cycle and half year cycle components referred to Tobishima) (4/4).

宮城県 牡鹿地区 GPS繰り返し観測 GPS機動観測

わずかな東西圧縮が戻ってきており、2005年8月16日の宮城県沖の地震後の余効変動は小さくなっているようである。

前回観測: 2007年5月18日, 21日
 今回観測: 2008年5月22日~23日



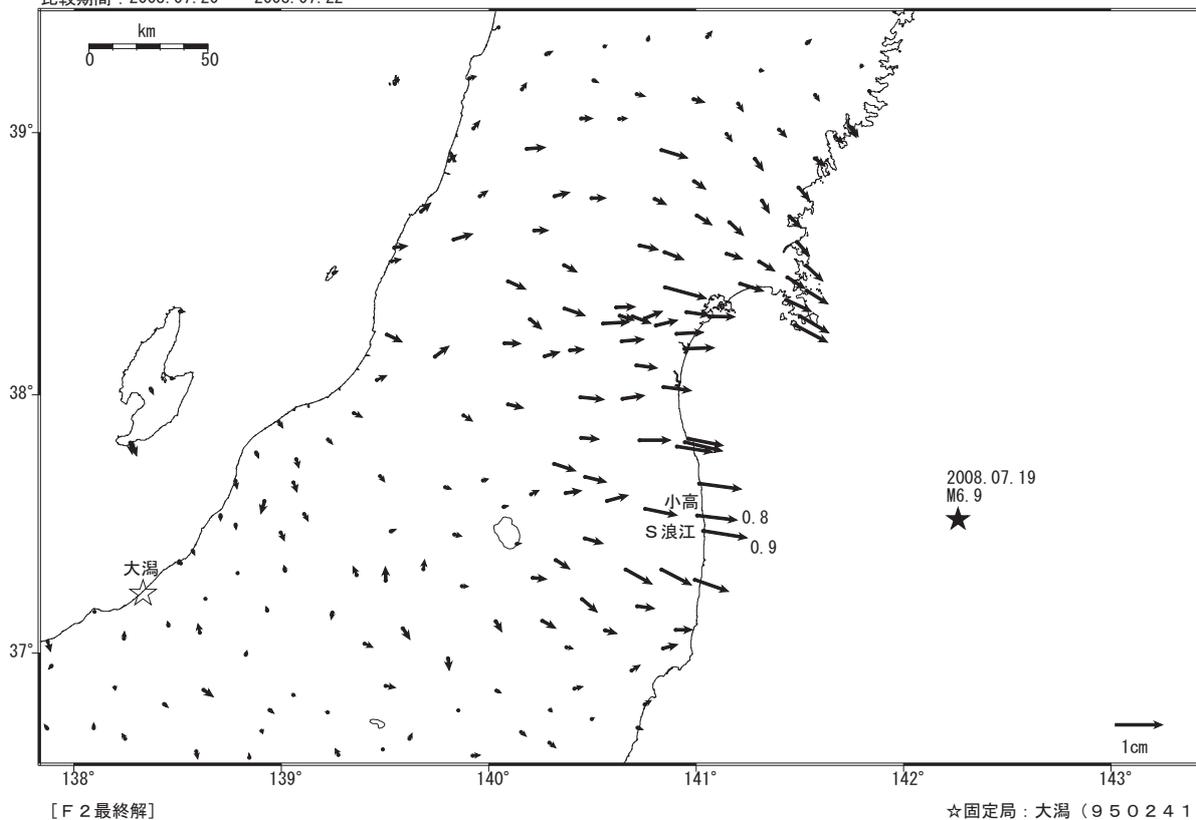
第7図 牡鹿地区地殻変動観測点におけるGPS観測結果
 Fig. 7 Results of campaign GPS observation on the crustal deformation monitoring points in Oshika region.

福島県沖の地震(7月19日, M6.9)に伴う地殻変動

この地震に伴い地殻変動観測点「S浪江」で東南東方向へ約1cmの移動が観測されるなど、地殻変動が観測された。

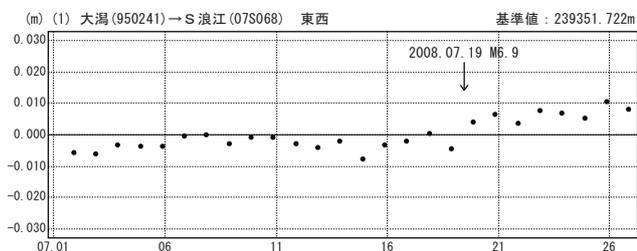
水平変動ベクトル図

基準期間：2008.07.13 ~ 2008.07.18
比較期間：2008.07.20 ~ 2008.07.22

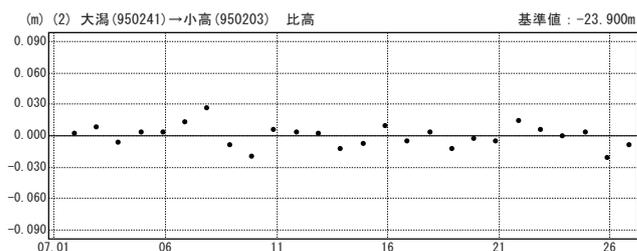
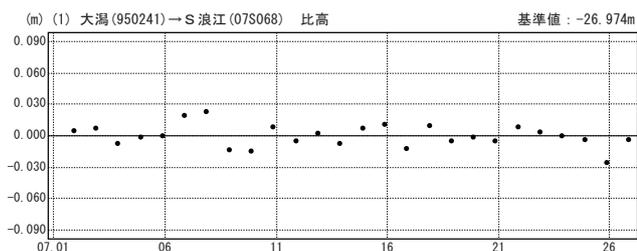
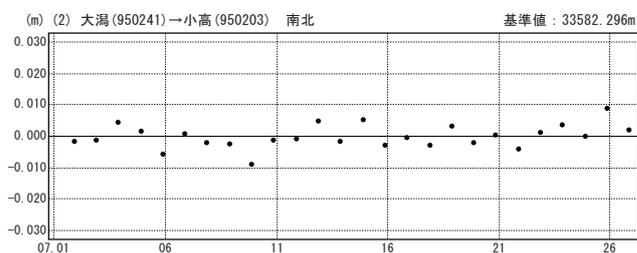
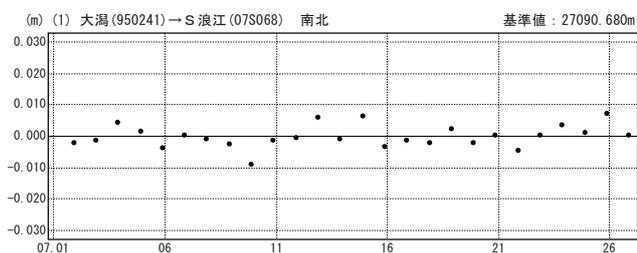
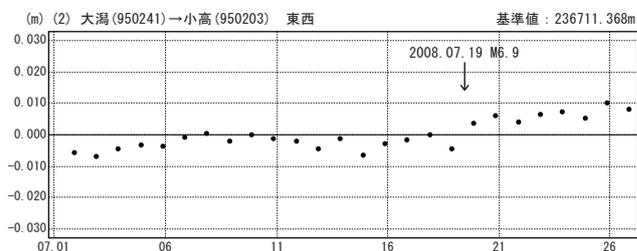


成分変化グラフ

期間：2008.07.01~2008.07.26 JST



期間：2008.07.01~2008.07.26 JST



● ---[F2:最終解]

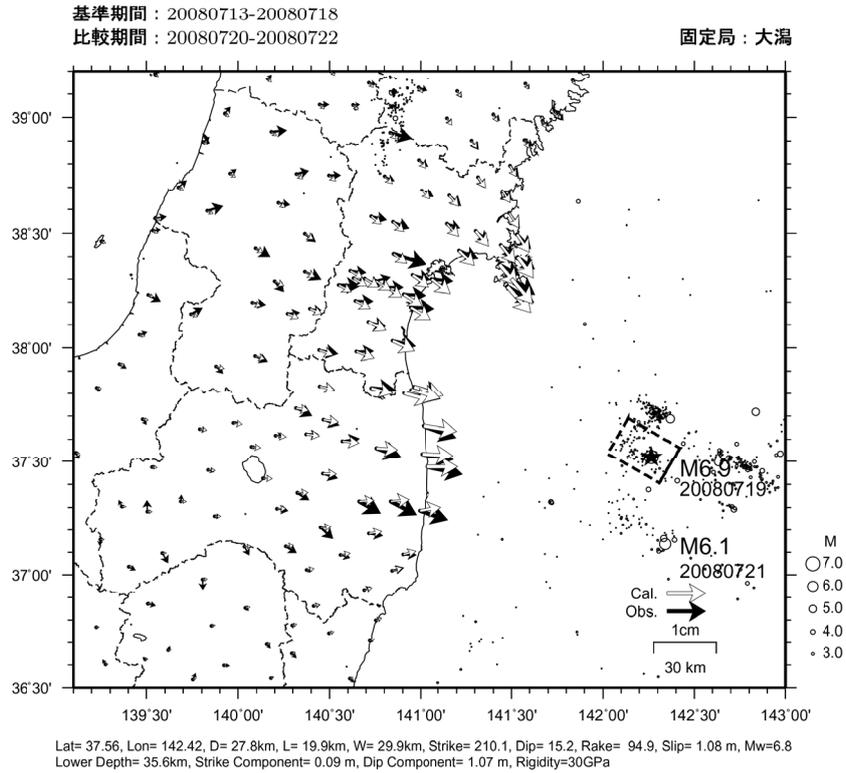
第8図 2008年7月19日福島県沖の地震による地殻変動

Fig. 8 Crustal deformation associated with M6.9 the off Fukushima prefecture earthquake in 2008 (horizontal).

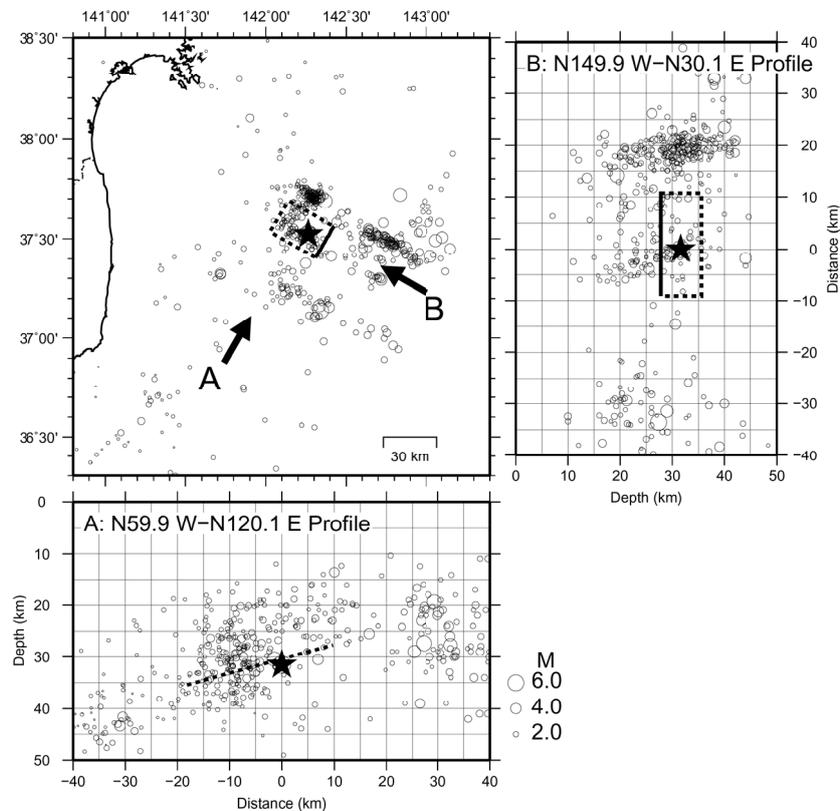
福島県沖の地震（2008年7月19日）の震源断層モデル

プレート境界における西傾斜の逆断層すべり（長さ 20km, 幅 30km, すべり量約 1m, Mw6.8）と推定された。

1. 震源断層モデルと地殻変動



2. 震源断層モデルと余震分布の位置関係



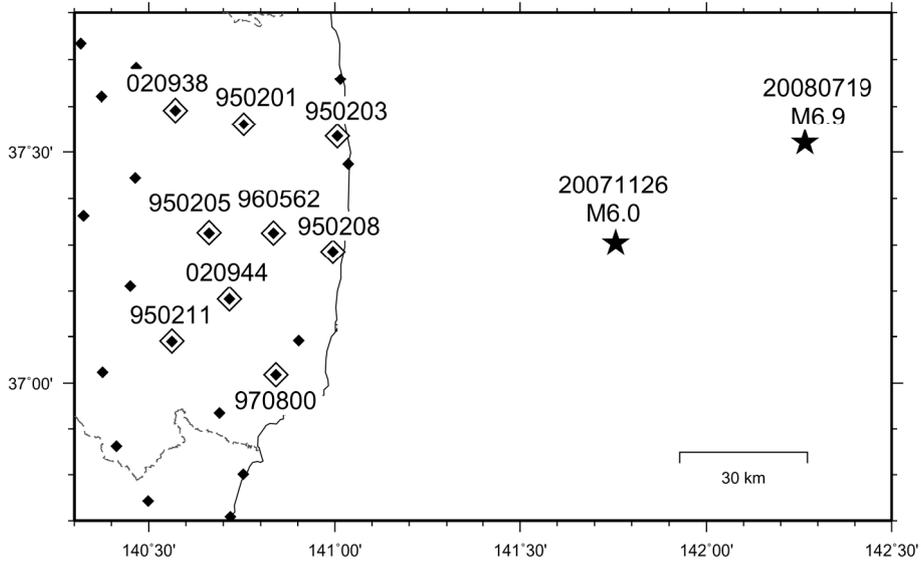
・余震分布は、気象庁一元化震源（20080719 11:39JST-20080723 23:59JST）を使用した。

第9図 福島県沖の地震（上）震源断層モデルと地殻変動 及び（下）震源断層モデルと余震分布の位置関係
Fig. 9 (upper) Fault model and crustal deformation associated with the off Fukushima prefecture earthquake. (lower) Location of model fault and hypocenter of aftershocks.

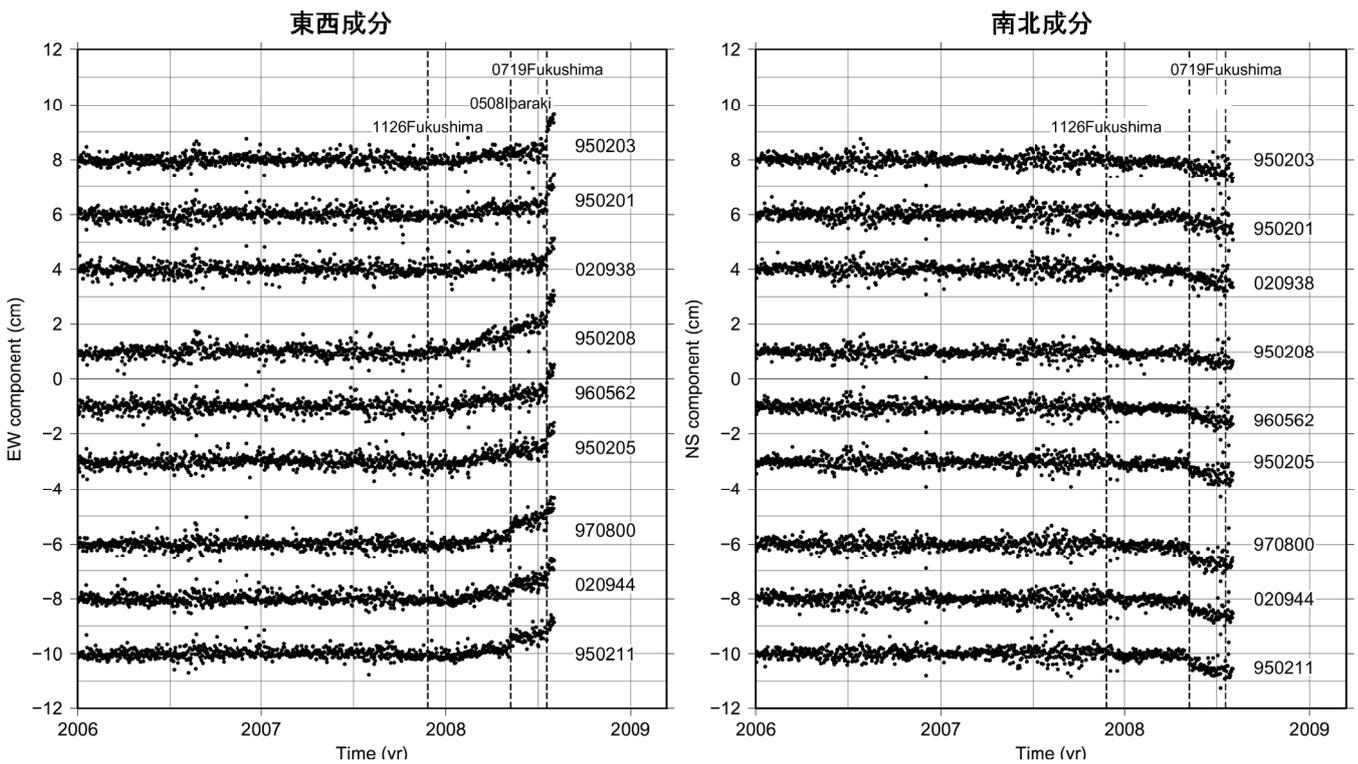
福島県沖の地震（2008年7月19日）発生前の地殻変動について（1）

福島県沖の地震発生の半年ほど前から東西成分に変化が見られた。
 南北・上下成分には顕著な変化は見られない。

1. 観測点図



2. 非定常地殻変動時系列



- ・大潟観測点（950241）に対する非定常地殻変動時系列。
- ・一次のトレンド成分および年周/半年周成分は、2006年1月～2008年1月のデータから推定し、取り除いている。
- ・表示期間に発生した地震（2007年11月26日福島県沖の地震、2008年5月8日茨城県沖の地震、2008年7月19日福島県沖の地震）の地震時の変動は取り除いていない。

第10図 福島県沖の地震 発生前の地殻変動(1)

Fig. 10 Crustal deformation before the off Fukushima prefecture earthquake in 2008 (1/2). (upper) GPS sites location whose time series are displayed below. (lower) Transient time series at selected GPS sites.

福島県沖の地震（2008年7月19日）発生前の地殻変動について（2）

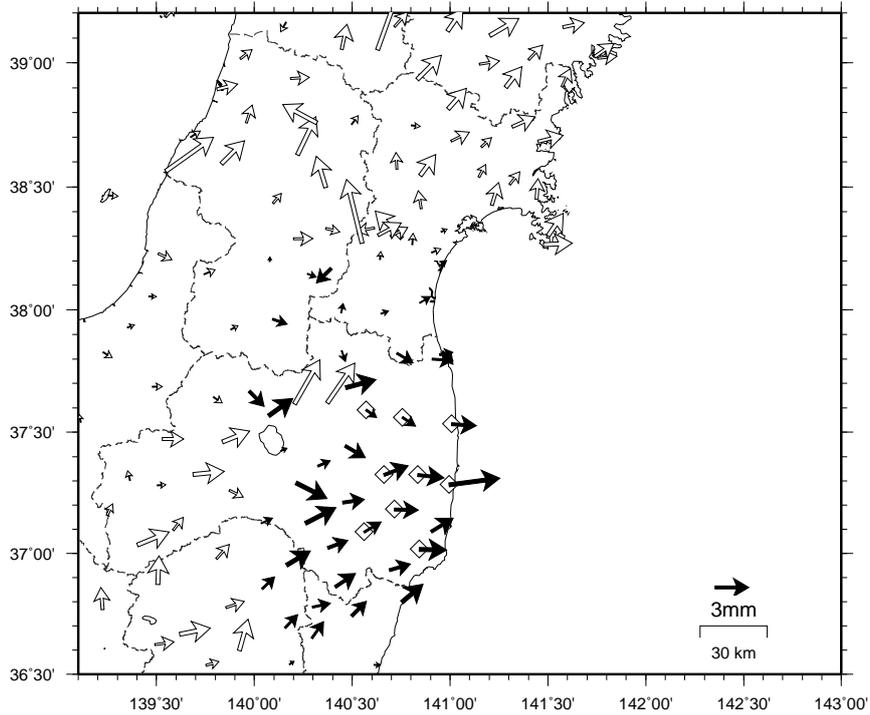
2007年11月26日の地震と2008年7月19日の地震の震源の間の領域で
Mw6.4に相当するプレート間すべりが発生していたと考えられる。

3. 非定常地殻変動ベクトル

基準期間：20071222-20080101

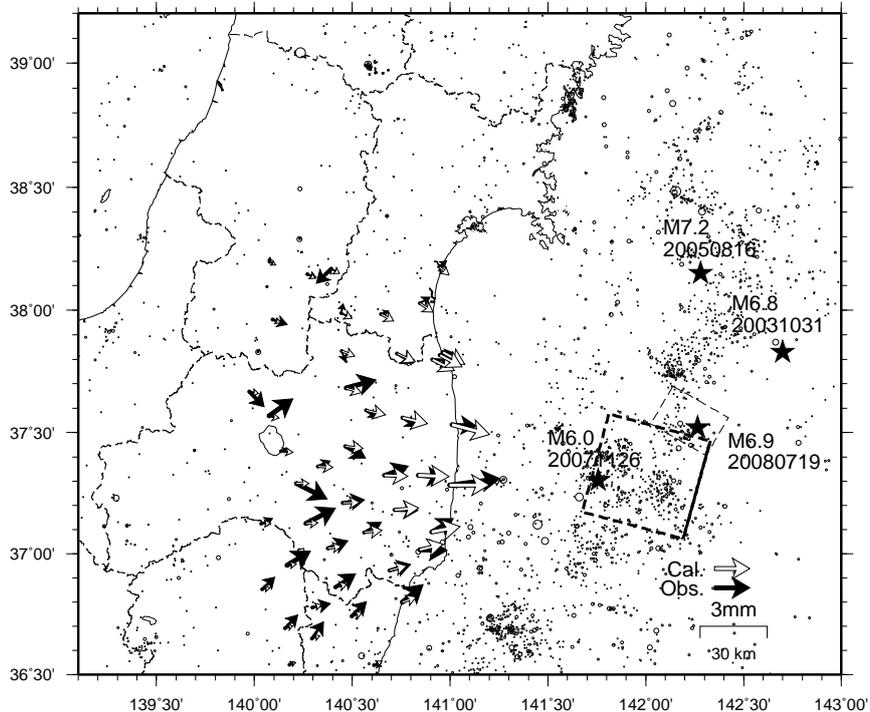
比較期間：20080421-20080501

固定局：大湊



- ・黒矢印は、断層モデル推定（下図）に使用した観測点。
- ・◇は前ページに時系列を示した観測点。

4. 断層モデル（暫定）



Lat= 37.47, Lon= 142.33, D= 27.5km, L= 46.5km, W= 49.1km, Strike= 195.2, Dip= 15.0, Rake= 99.0, Slip= 0.07 m, Mw=6.4
Lower Depth= 40.2km, Strike Component= 0.01 m, Dip Component= 0.07 m, Rigidity=30GPa

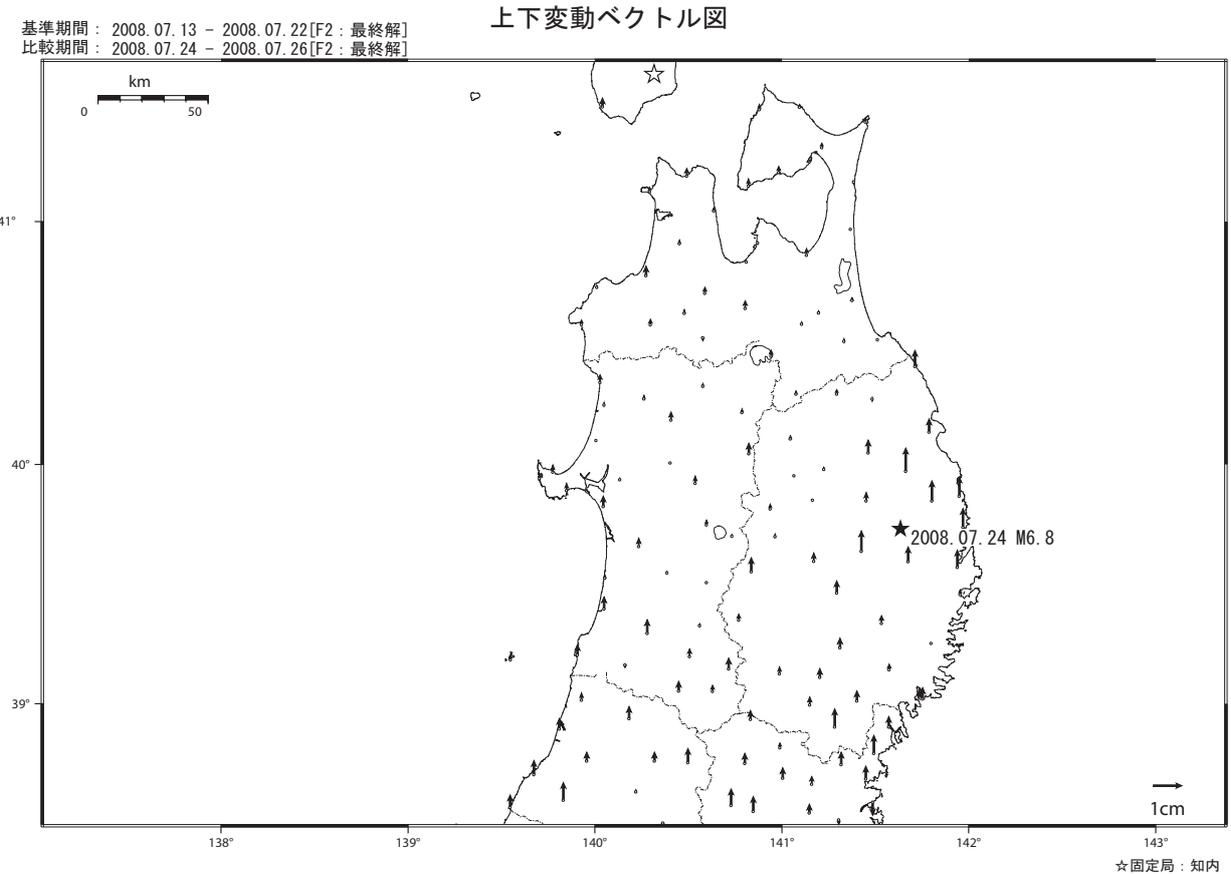
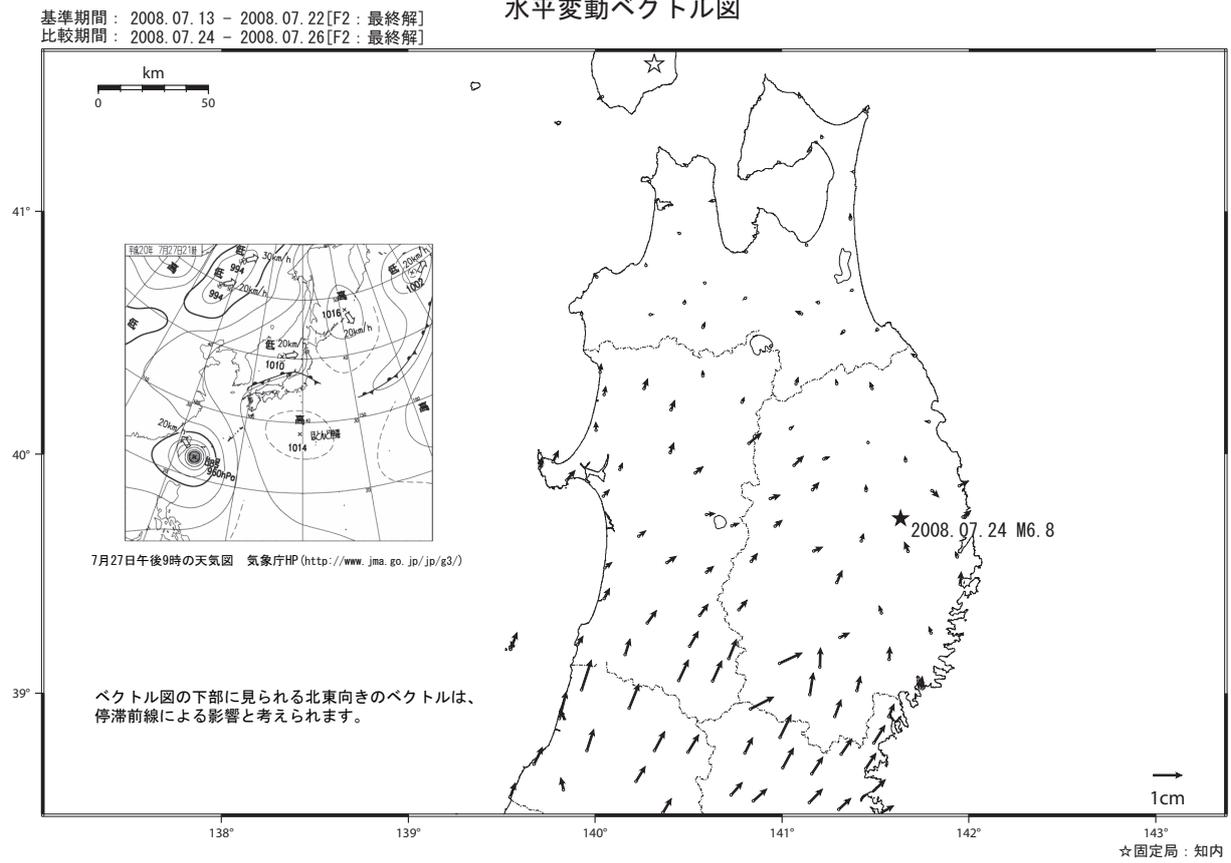
- ・○は気象庁一元化震源による震央分布（20071201-20080430）。
- ・細破線で示す矩形領域は、2008年7月19日福島県沖の地震の地震時の断層面。

第11図 福島県沖の地震 発生前の地殻変動(2)

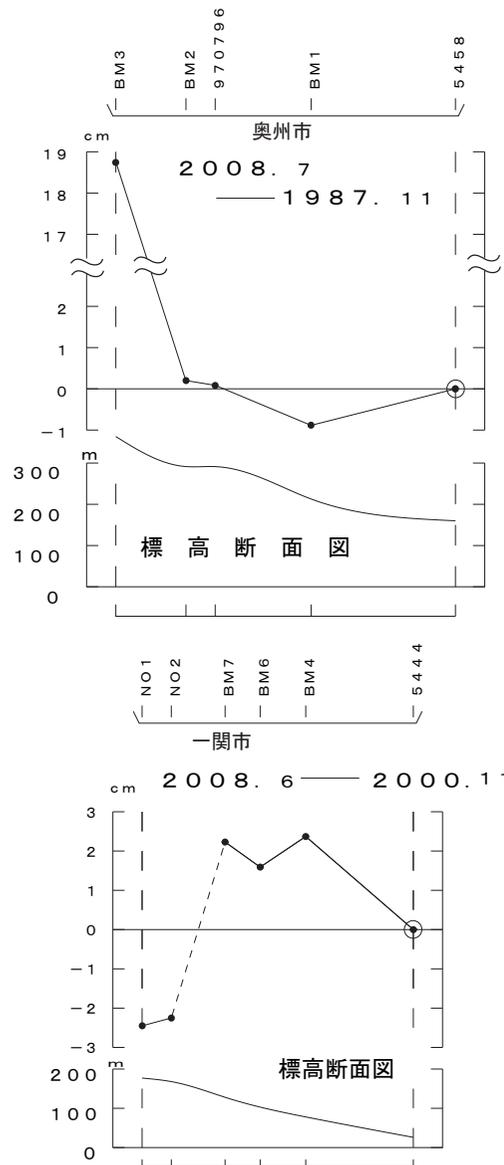
Fig. 11 Crustal deformation before the off Fukushima prefecture earthquake in 2008 (2/2). (upper) Transient horizontal displacement vectors during the period from 20080101 to 20080501. (lower) Fault model of pre-seismic deformation before the off Fukushima prefecture earthquake in 2008.

岩手県中部〔岩手県沿岸北部〕の地震に伴う地殻変動

この地震に伴う有意な地殻変動は見られない。

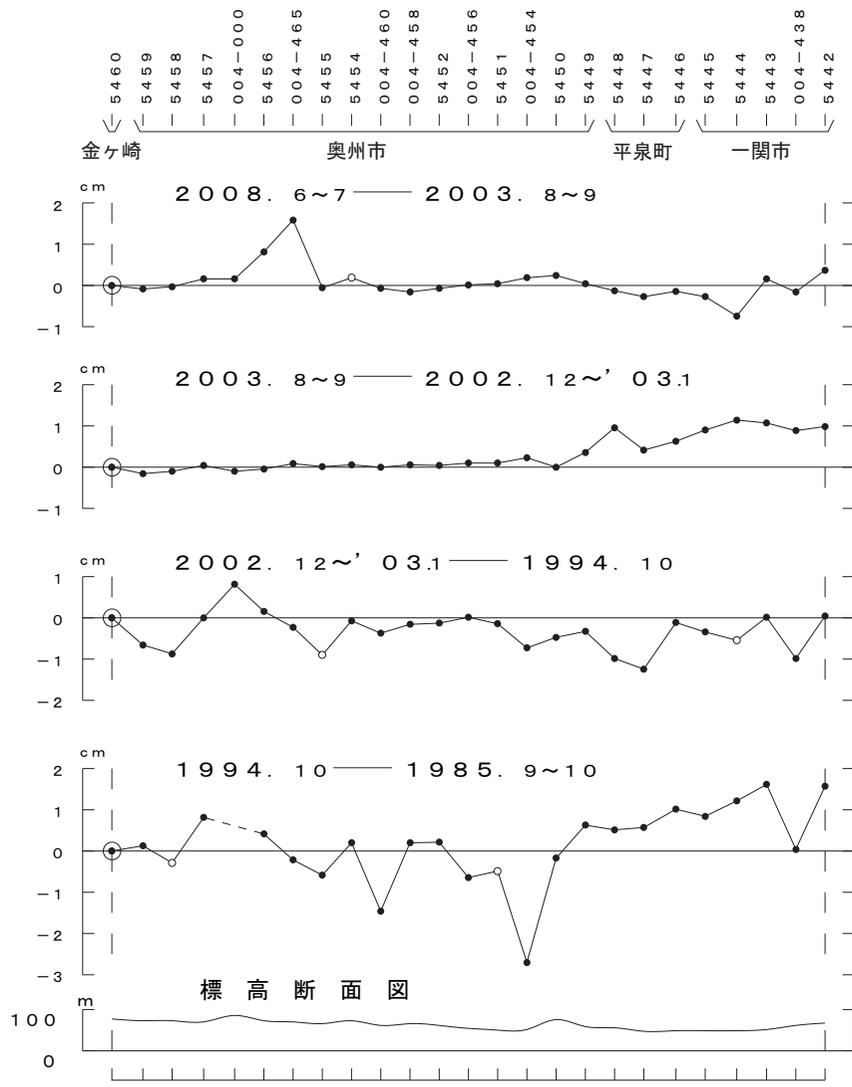


第12図 岩手県中部(岩手県沿岸北部)の地震に伴う地殻変動
Fig. 12 Crustal deformation associated with the central Iwate (northern part of Iwate prefecture on the coast) Earthquake on July 22, 2008.

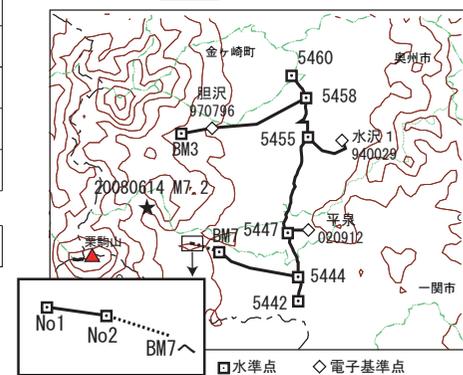
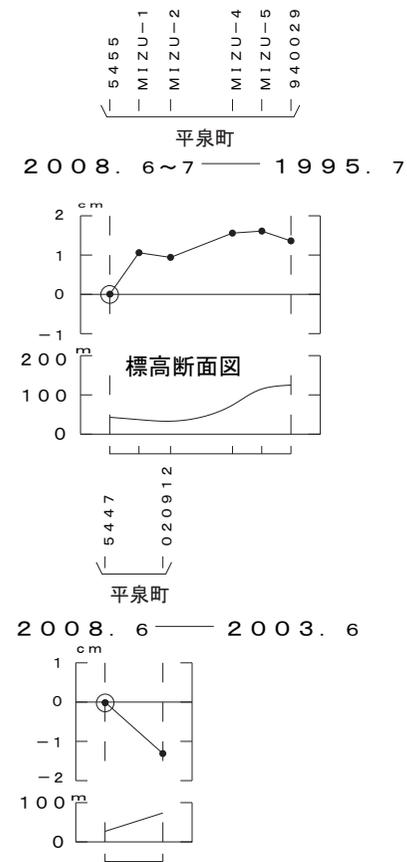


※ 破線区間 (NO2~BM7) はGPSによる間接水準を実施 (近傍の観測値から求めたジオイドモデルを使用)

金ヶ崎町～一関市間の上下変動 水準測量



※ 白ヌキは改埋点を示す。2008. 6~7使用成果は現地概算値による。

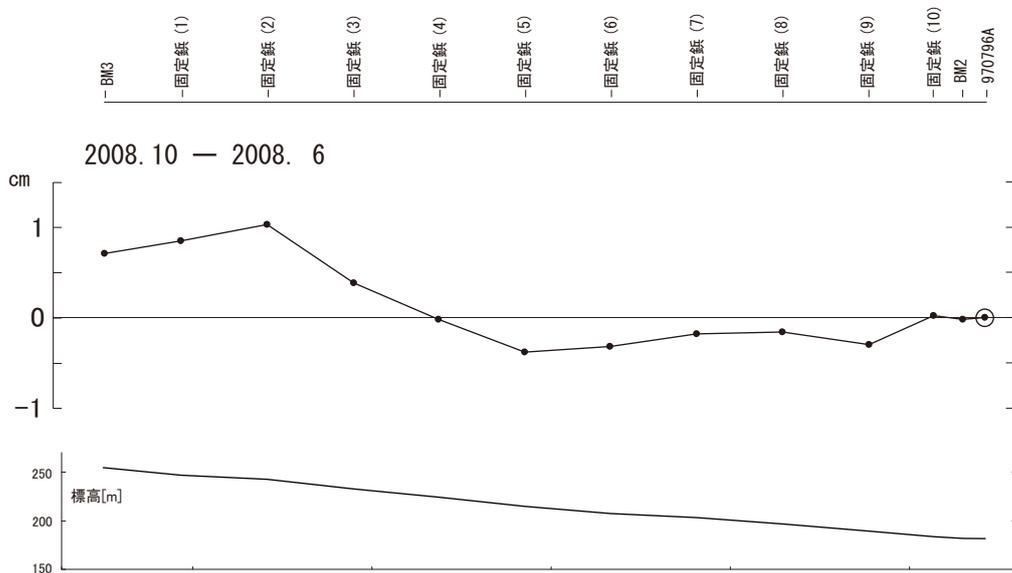


第13図 金ヶ崎町～一関市間の上下変動 2008年岩手・宮城内陸地震時
Fig. 13 Results of leveling survey from Kanegasaki town to Ichinoseki city.

岩手・宮城地区 水準測量結果

BM3 が BM2 に対して約 7mm 隆起する余効変動が観測された。
 固定鉄 (5) に対し固定鉄 (2) が約 14mm 隆起しており、
 余効変動が集中する場所の東西位置が絞り込まれた。

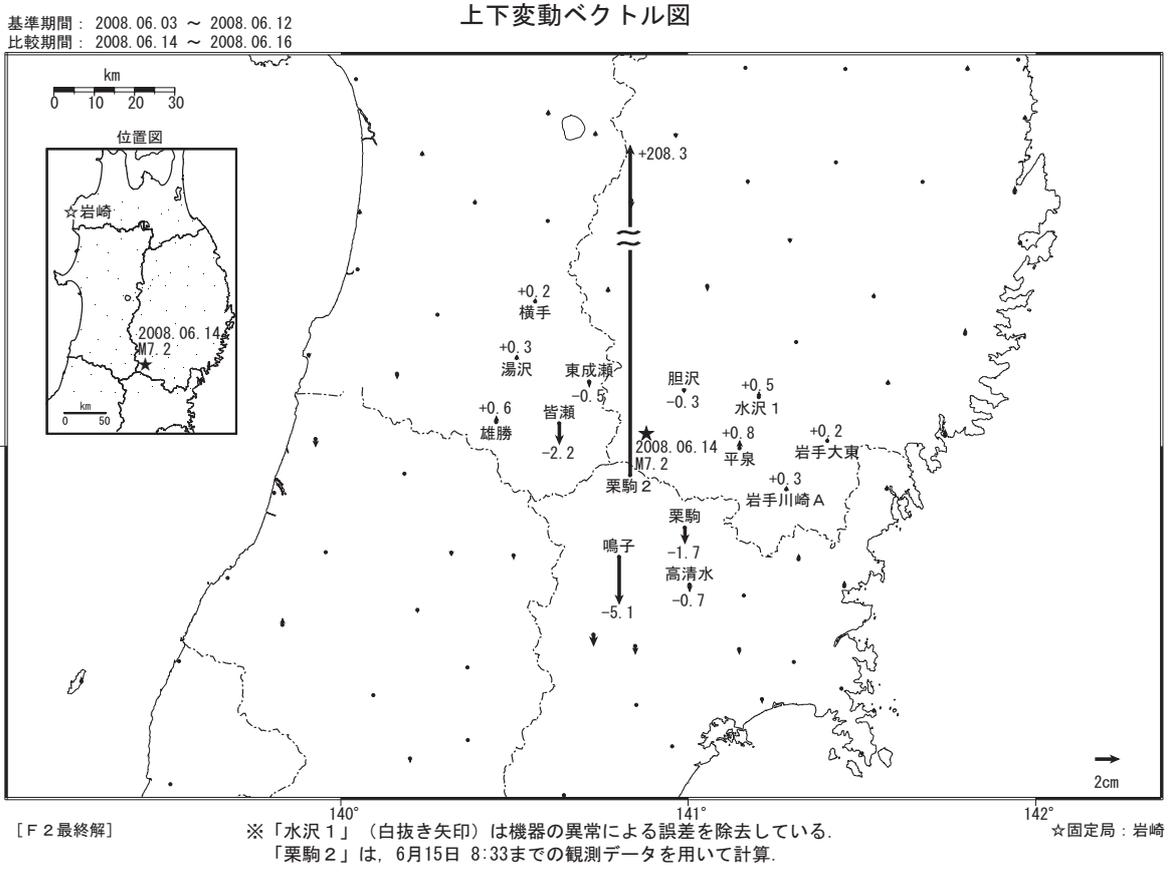
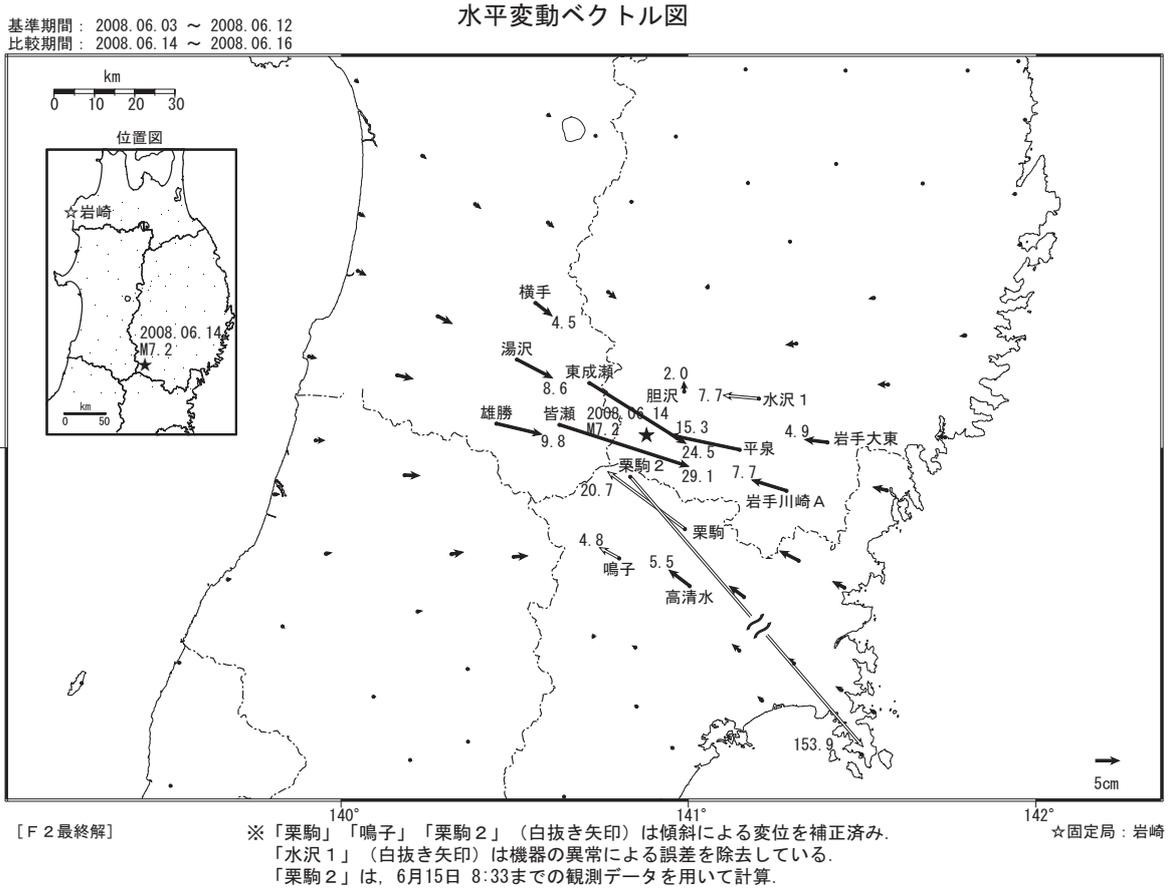
区間 1 : BM3 ~ 970796



第14図 2008年岩手・宮城内陸地震後の上下変動
 Fig. 14 Postseismic vertical deformation after the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008.

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(1)

この地震に伴い、電子基準点「栗駒2」で南東方向へ約154cmの移動と約208cmの隆起など、岩手・宮城・秋田県境付近を中心とした地域で地殻変動が観測された。



第15図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(1)地震時の変動

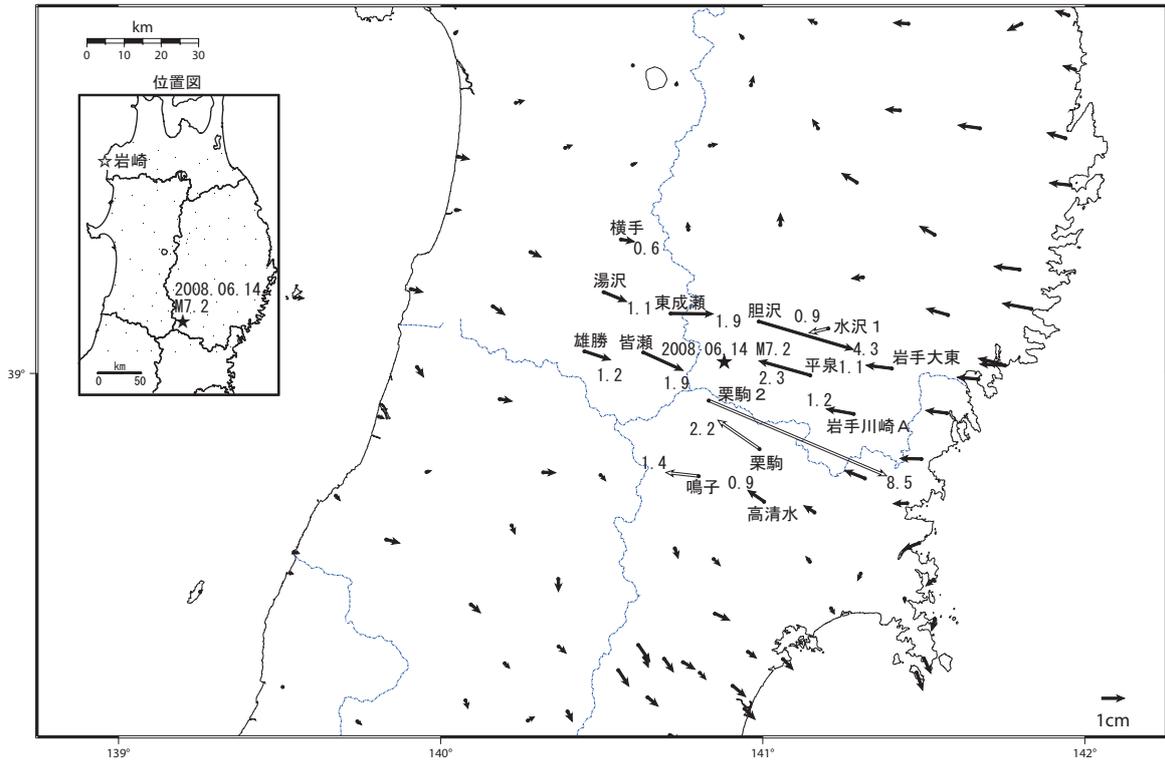
Fig. 15 Crustal deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (1/5).

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(2)

この地震に伴う余効変動が観測されている。

水平変動ベクトル図(地震後)

基準期間: 2008.06.14 ~ 2008.06.14
比較期間: 2008.10.21 ~ 2008.10.25



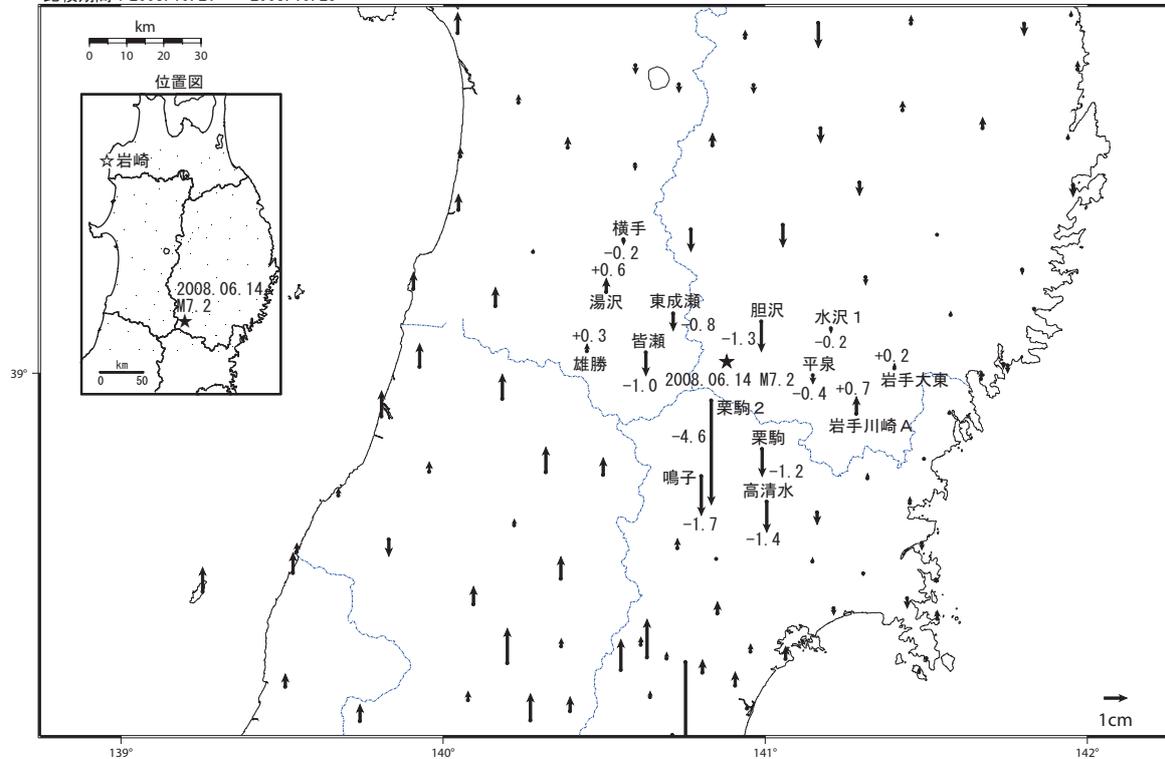
[F2最終解]

※「栗駒」「鳴子」「栗駒2」(白抜き矢印)は傾斜による変位を補正済み。
「水沢1」(白抜き矢印)は機器の異常による誤差を除去している。

☆固定局: 岩崎

上下変動ベクトル図(地震後)

基準期間: 2008.06.14 ~ 2008.06.14
比較期間: 2008.10.21 ~ 2008.10.25



[F2最終解]

※「水沢1」(白抜き矢印)は機器の異常による誤差を除去している。

☆固定局: 岩崎

第16図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(2)余効変動

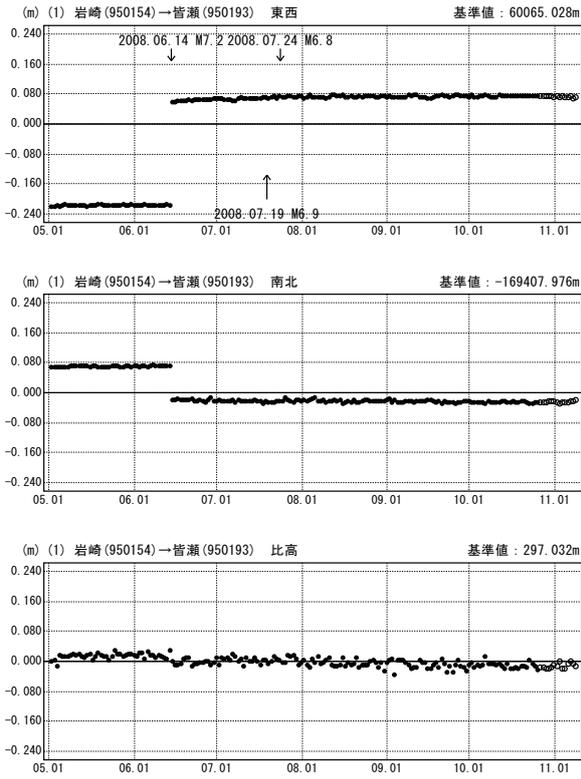
Fig. 16 Crustal deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (2/5).

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(3) 暫定

この地震に伴う地殻変動および余効変動が観測されている。

成分変化グラフ

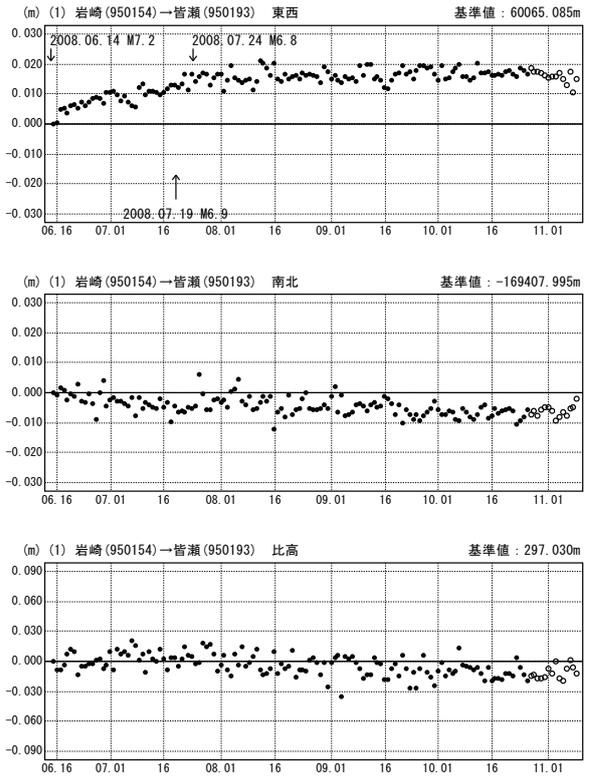
期間：2008.05.01～2008.11.08 JST



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

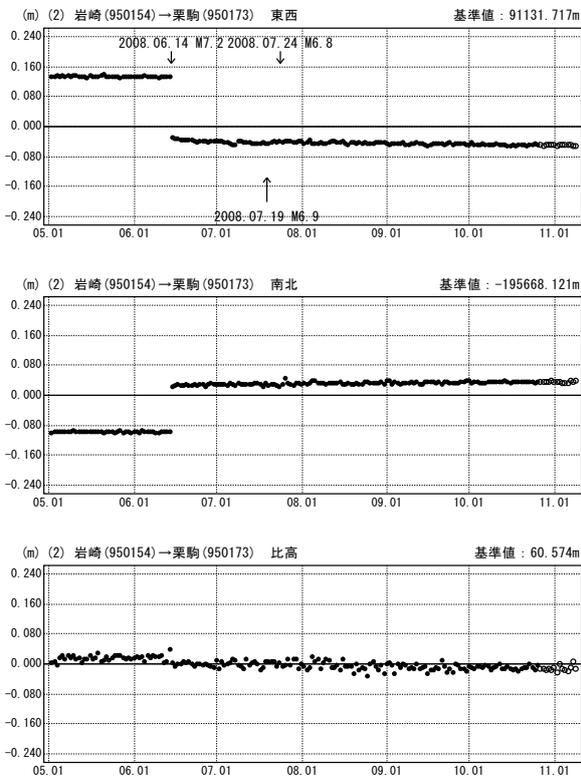
成分変化グラフ(地震後)

期間：2008.06.14～2008.11.08 JST



成分変化グラフ

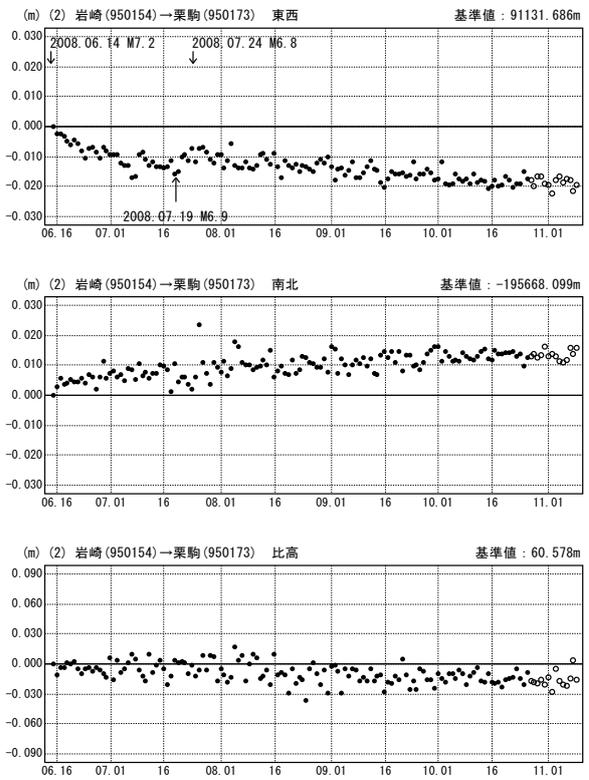
期間：2008.05.01～2008.11.08 JST



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

成分変化グラフ(地震後)

期間：2008.06.14～2008.11.08 JST



※「栗駒」は傾斜補正済み。

第17図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(3)時系列

Fig. 17 Crustal deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (3/5).

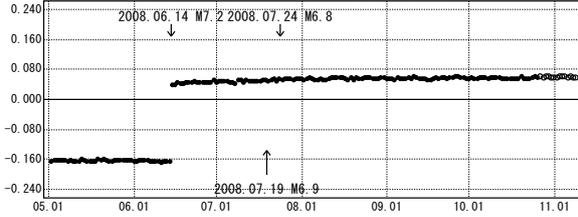
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(4) 暫定

この地震に伴う地殻変動および余効変動が観測されている。

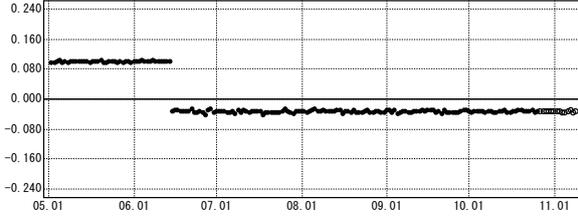
成分変化グラフ

期間：2008.05.01～2008.11.08 JST

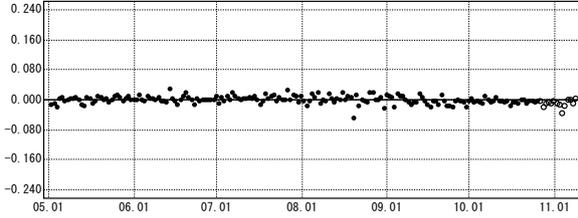
(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 東西 基準値：67336.667m



(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 南北 基準値：-158939.353m



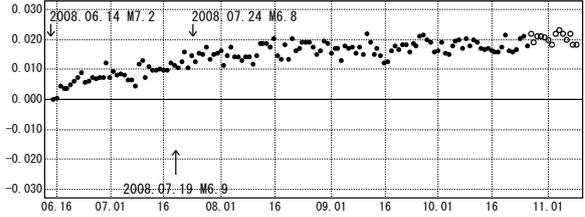
(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 比高 基準値：274.078m



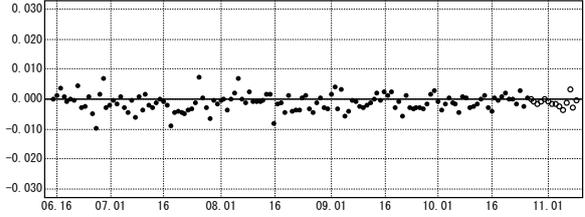
成分変化グラフ(地震後)

期間：2008.06.14～2008.11.08 JST

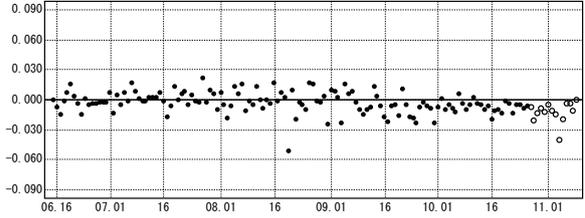
(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 東西 基準値：67336.706m



(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 南北 基準値：-158939.385m



(m) (3) 岩崎(950154)→東成瀬(020928) 比高 基準値：274.081m

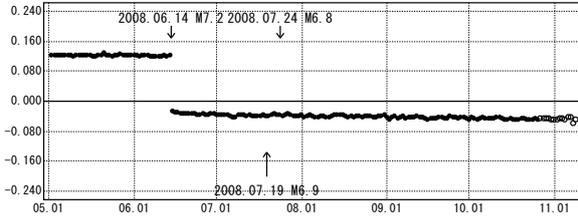


● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

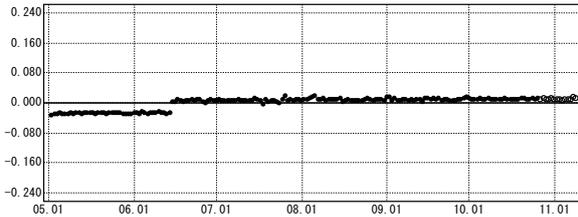
成分変化グラフ

期間：2008.05.01～2008.11.08 JST

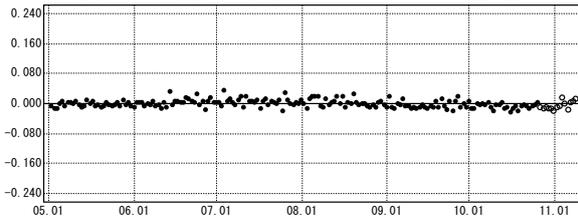
(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 東西 基準値：104541.859m



(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 南北 基準値：-175673.327m



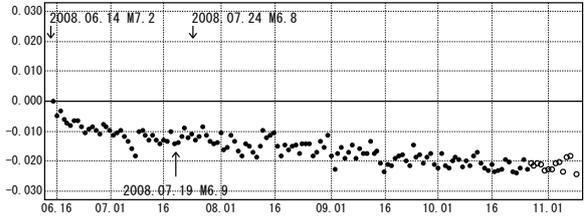
(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 比高 基準値：83.710m



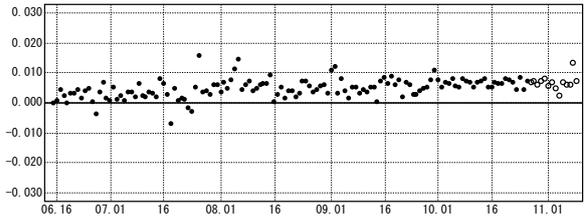
成分変化グラフ(地震後)

期間：2008.06.14～2008.11.08 JST

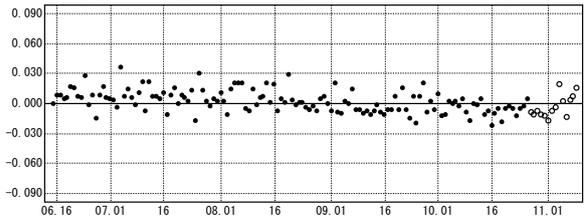
(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 東西 基準値：104541.834m



(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 南北 基準値：-175673.323m



(m) (4) 岩崎(950154)→平泉(020912) 比高 基準値：83.708m



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

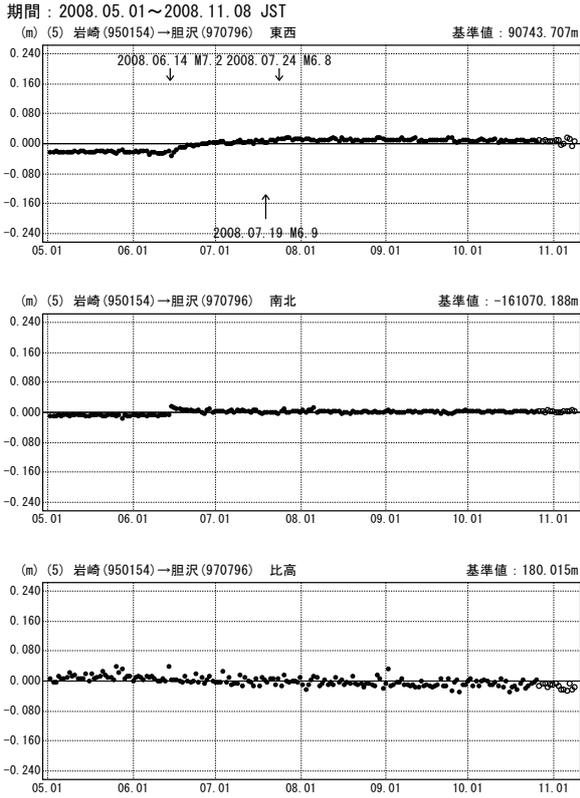
第18図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(4) 時系列

Fig. 18 Crustal deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (4/5).

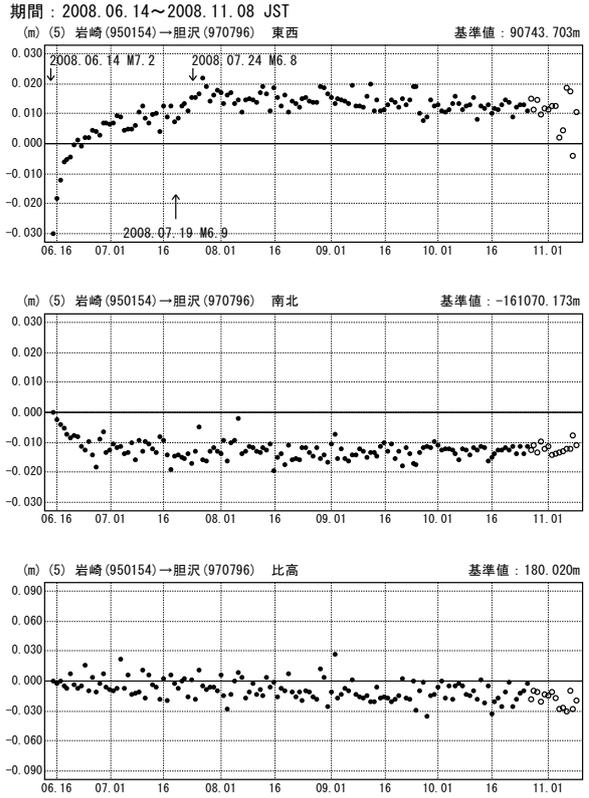
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(5) 暫定

この地震に伴う地殻変動および余効変動が観測されている。

成分変化グラフ

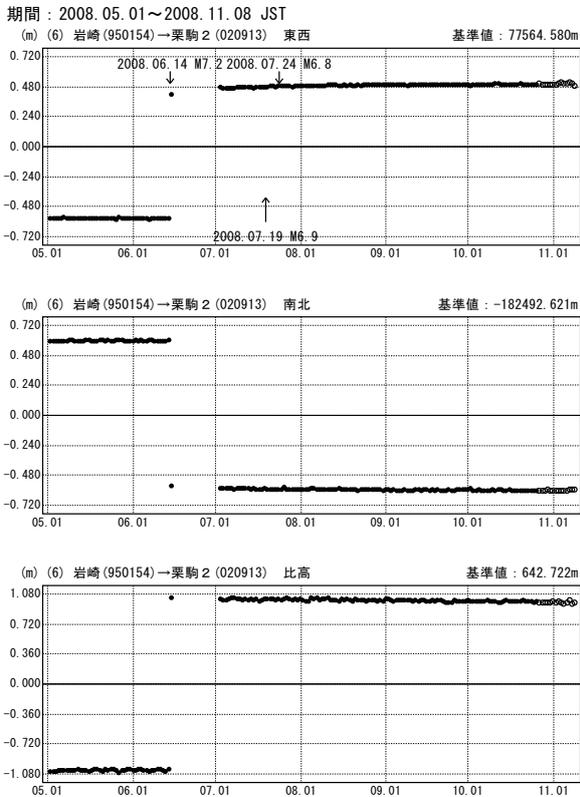


成分変化グラフ(地震後)

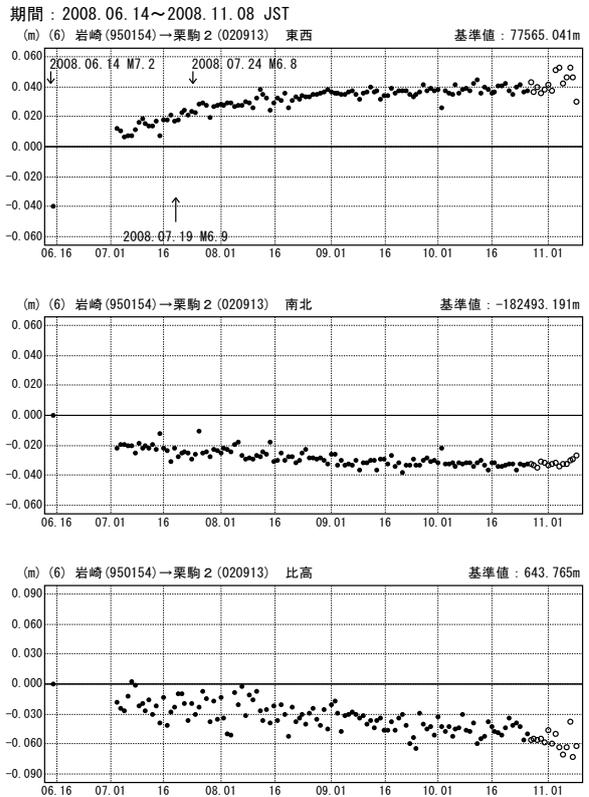


● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

成分変化グラフ



成分変化グラフ(地震後)



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

※「栗駒2」は傾斜補正済み。
 6月15日～7月1日の期間のデータは、停電のため取得されていない。

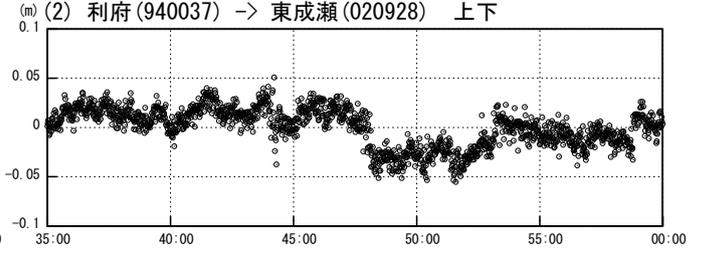
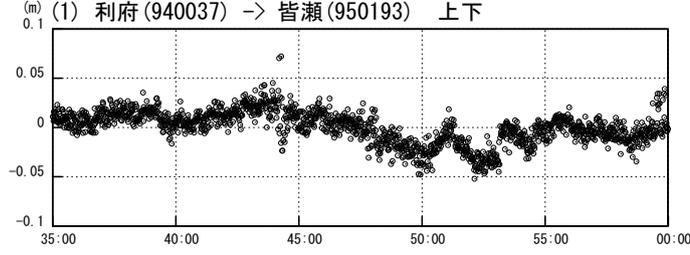
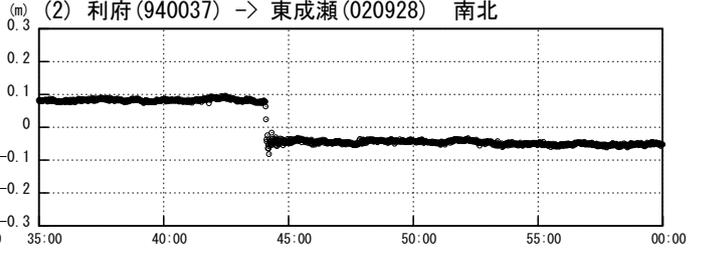
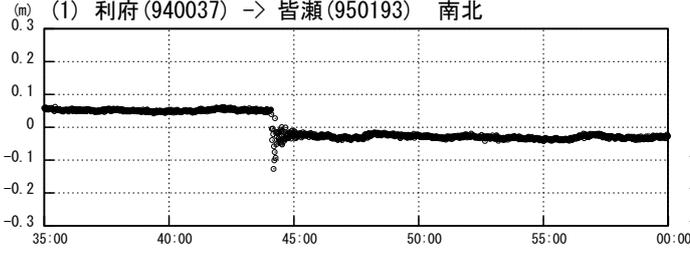
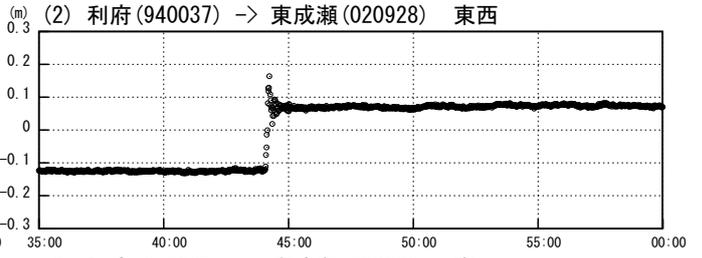
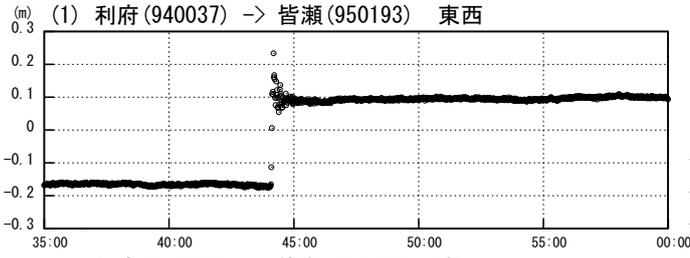
第19図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(5) 時系列
 Fig. 19 Crustal deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (5/5).

平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震に伴う基線変化グラフ RTDによる1秒サンプリング解析

地震に伴う明瞭なステップが見られるが、地震の直前、直後に有意な変動は見られない。

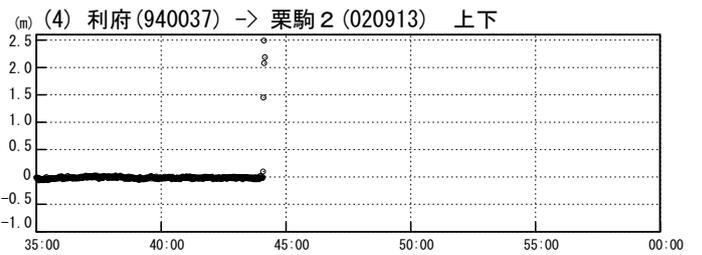
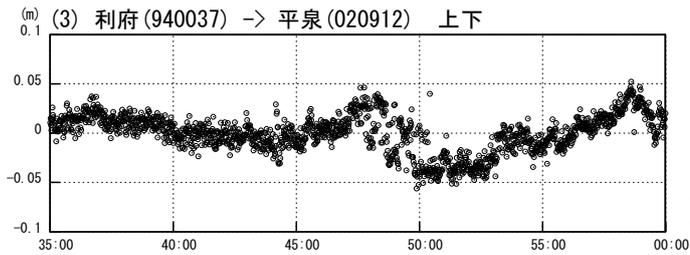
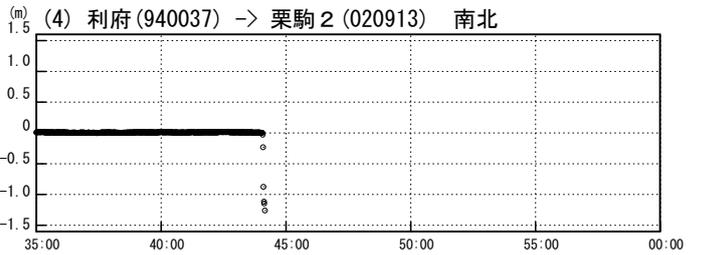
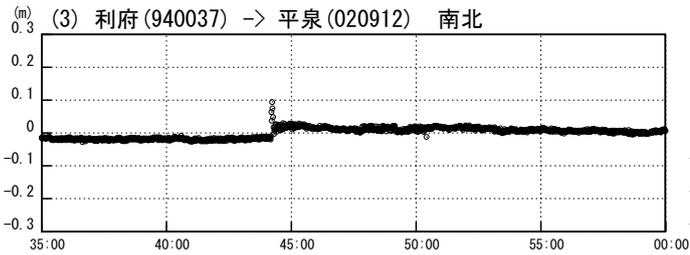
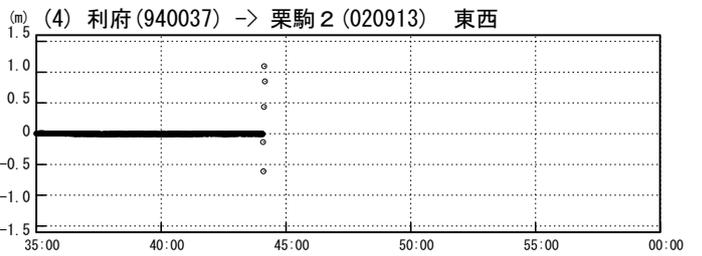
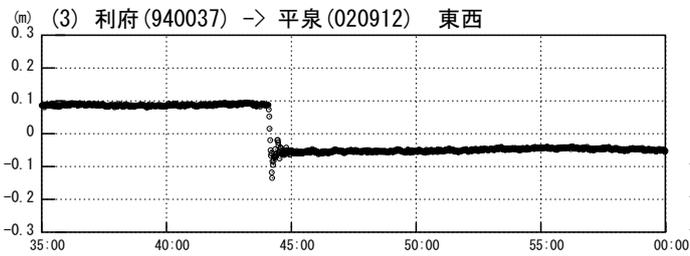
表示期間：2008/6/13 23:35:00～2008/6/13 23:59:59 (GPS時刻)

表示期間：2008/6/13 23:35:00～2008/6/13 23:59:59 (GPS時刻)



表示期間：2008/6/13 23:35:00～2008/6/13 23:59:59 (GPS時刻)

表示期間：2008/6/13 23:35:00～2008/6/13 23:59:59 (GPS時刻)



※ 解析は、1秒間隔のデータを使用
※ GPS 時刻 = UTC (協定世界時) + 14秒

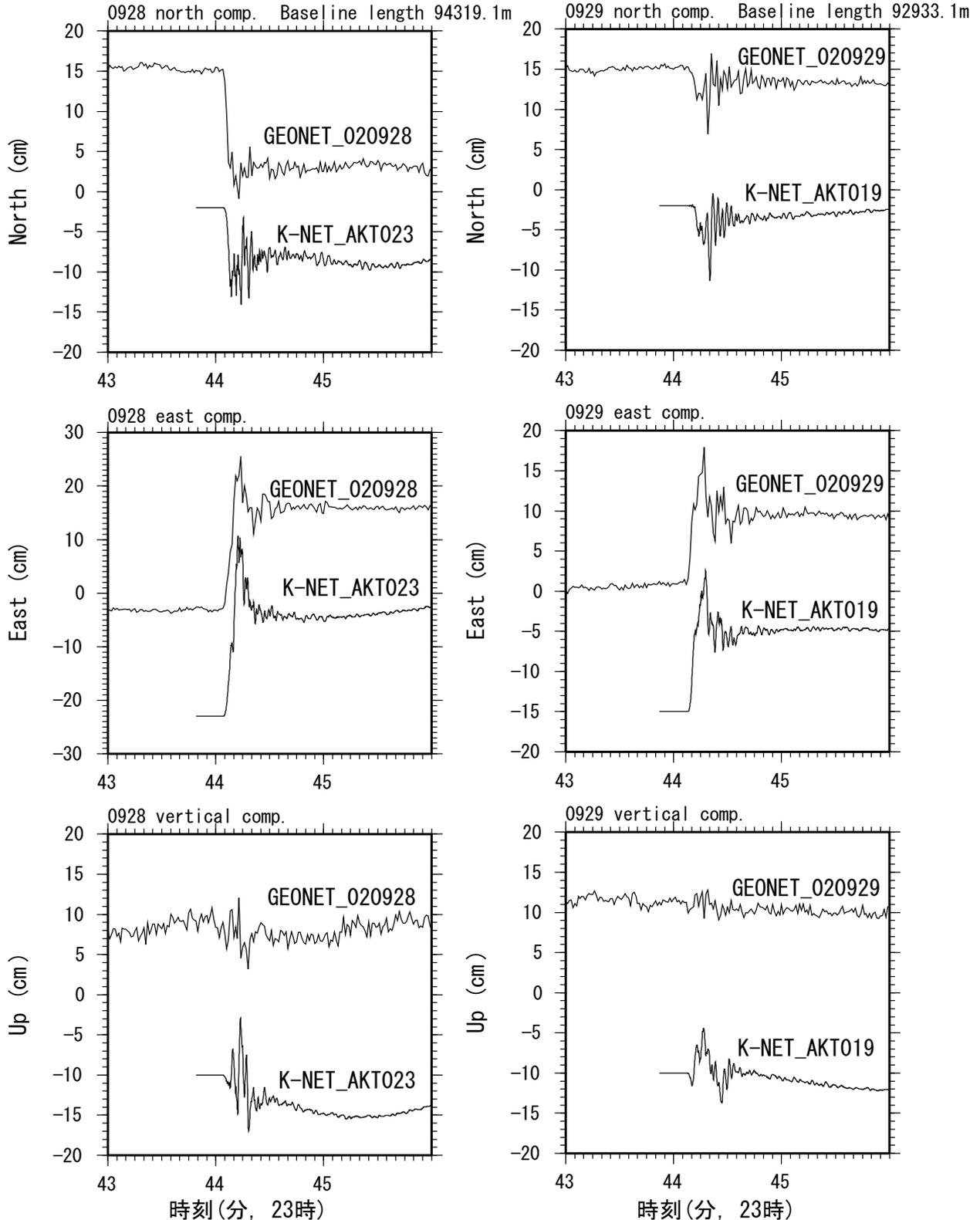
※ 「栗駒2」の1秒観測データは、地震直後より停止
※ 「栗駒2」は縦軸目盛が50cm

第20図 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う基線変化グラフ (1秒サンプリング)
Fig. 20 Time series of GEONET GPS data with 1 second sampling.

GPS1秒データと地震計による変位波形の比較

020928 (東成瀬)

020929 (雄勝)



両者は概ね一致している。

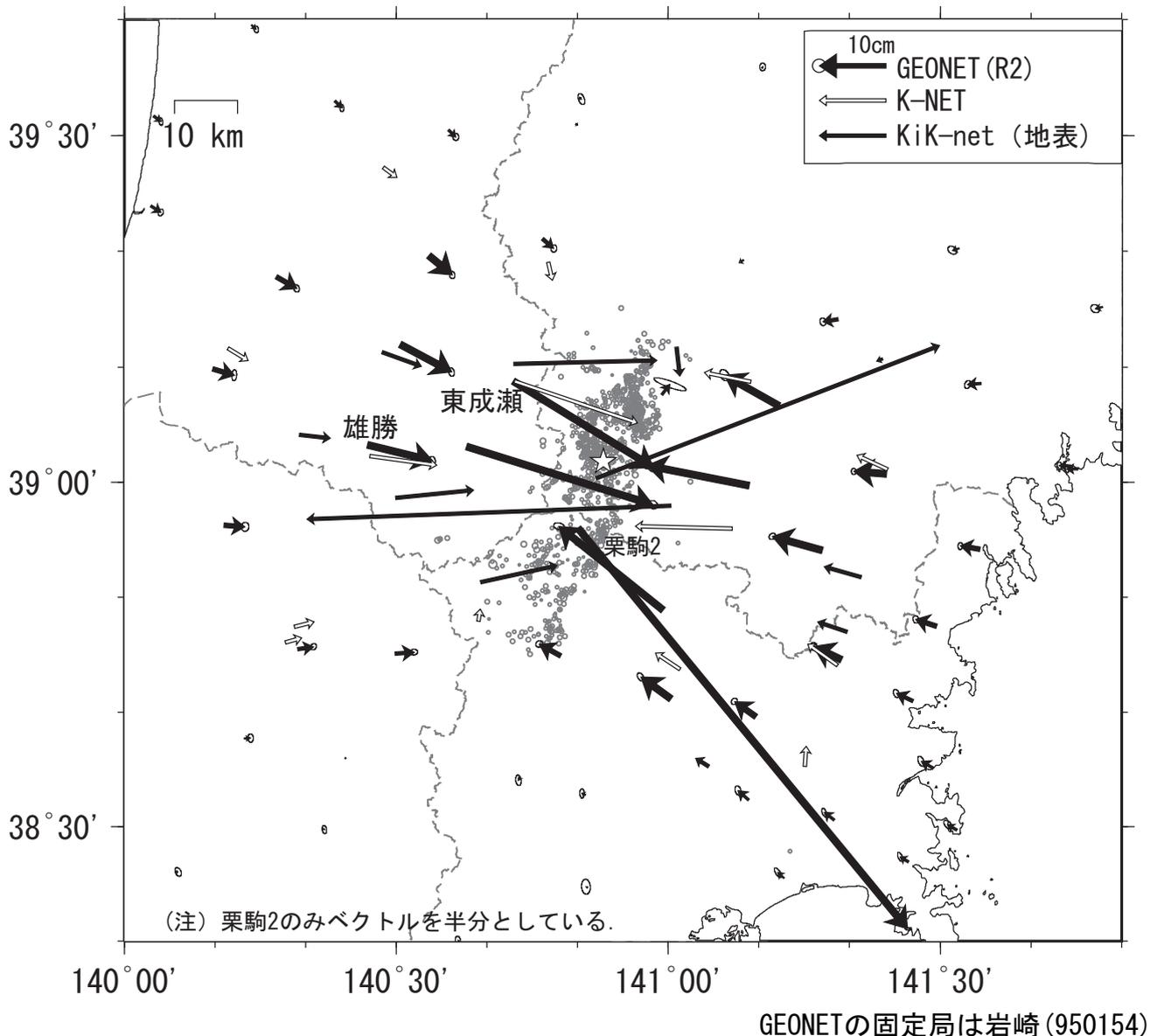
各図の上の時系列がGEONET1秒データの解析結果。固定点は940037(利府) 下側が近傍の地震観測点(K-NET)における加速度記録を、基線補正を行い2回積分して得られた変位波形。横軸は、GPS時刻(UTC+14秒)。

謝辞：防災科学技術研究所K-NETの波形記録を使用した。

第21図 2008年岩手・宮城内陸地震 GPS1秒データと地震計による変位波形の比較

Fig. 21 Comparison of displacement waveforms from GPS (GEONET) and accelerometer (K-NET).

GEONETとK-NET, KiK-netから推定される変位量の比較



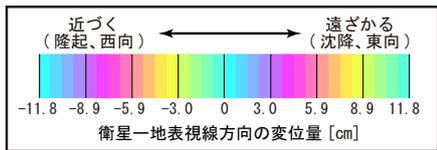
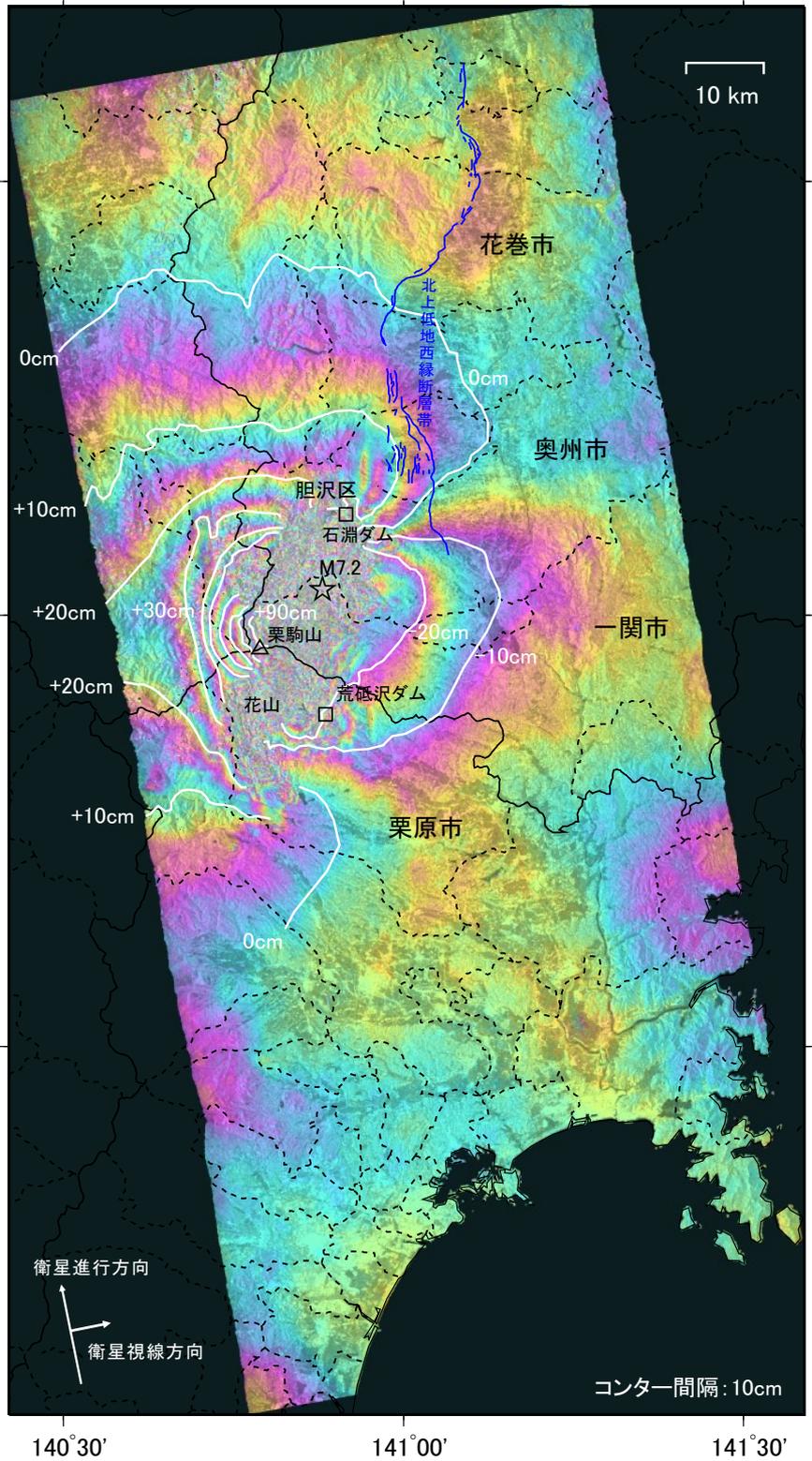
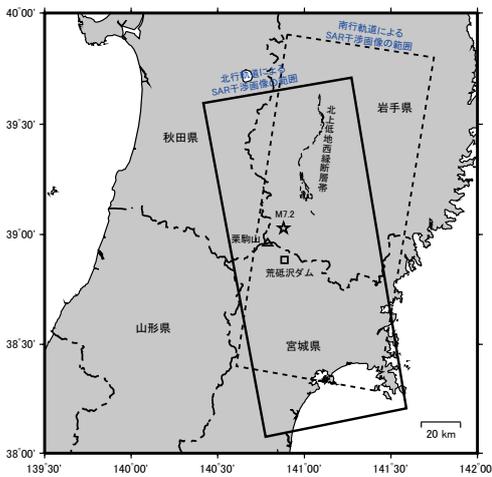
K-NET, KiK-netの観測点において推定された永久変位（地殻変動）は、GEONETで得られた変位と概ね調和的である。

GEONETの変位は、基準期間が2008/6/3-12、比較期間が2008/6/14-22。栗駒2のみ変動量を半分にして表示している。K-net, KiK-netにおける変位量は、原記録（加速度）を、基線補正を行い2回積分して推定した。謝辞：防災科学技術研究所K-NET, KiK-netの波形記録を使用した。また、震源分布は気象庁一元化震源(2008/6/14-20)を利用した。

第22図 2008年岩手・宮城内陸地震 GEONETとK-NET, KiK-netから推定される変位量の比較
 Fig. 22 Comparison of displacements estimated from data of GEONET, K-NET and KiK-net.

「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図（北行軌道）

観測日：2007/08/06 - 2008/06/23
 オフナディア角：34.3°，北行軌道



カラーバーや画像中のコンターの数値は、衛星から地表までの視線方向の距離の変化量を示します。つまり、マイナスの場合は、衛星と地表の距離が縮まったことを示し、地表が隆起あるいは西向に動いたことを意味します。

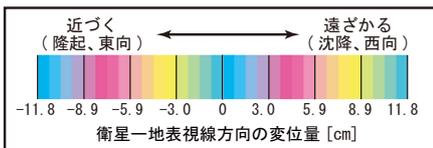
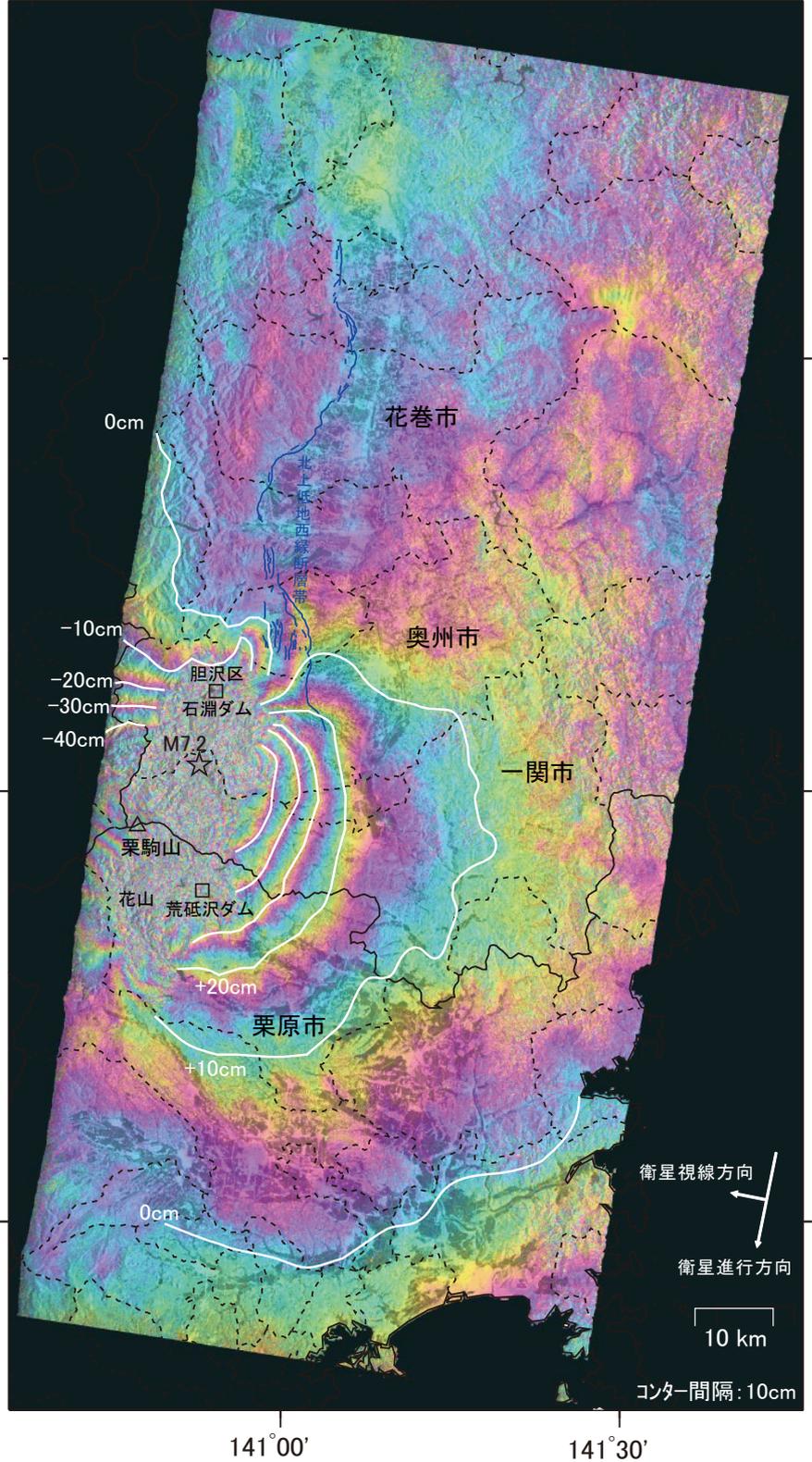
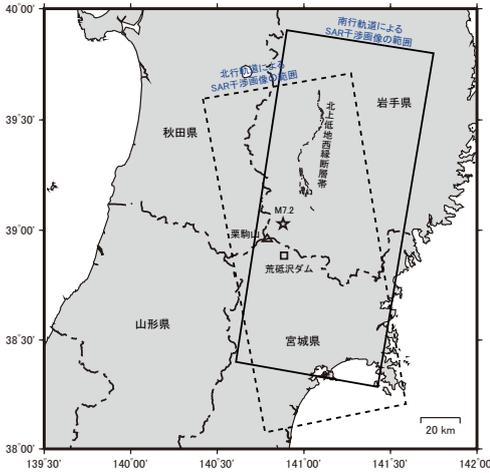
Analysis by GSI from ALOS raw data (c)JAXA,METI

第23図 「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図(北行軌道)
 Fig. 23 Crustal deformation associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake obtained from ALOS/PALSAR interferogram (Ascending 34.3°, Path402).

「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図（南行軌道）

観測日：2006/06/19 - 2008/06/24

オフナディア角：41.5°，南行軌道



カラーバーや画像中のコンターの数値は、衛星から地表までの視線方向の距離の変化量を示します。つまり、マイナスの場合は、衛星と地表の距離が縮まったことを示し、地表が隆起あるいは東向に動いたことを意味します。

Analysis by GSI from ALOS raw data (c)JAXA,METI

第24図 「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図(南行軌道)

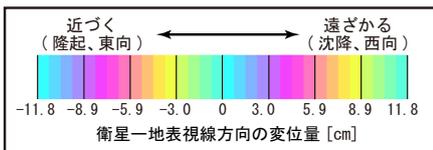
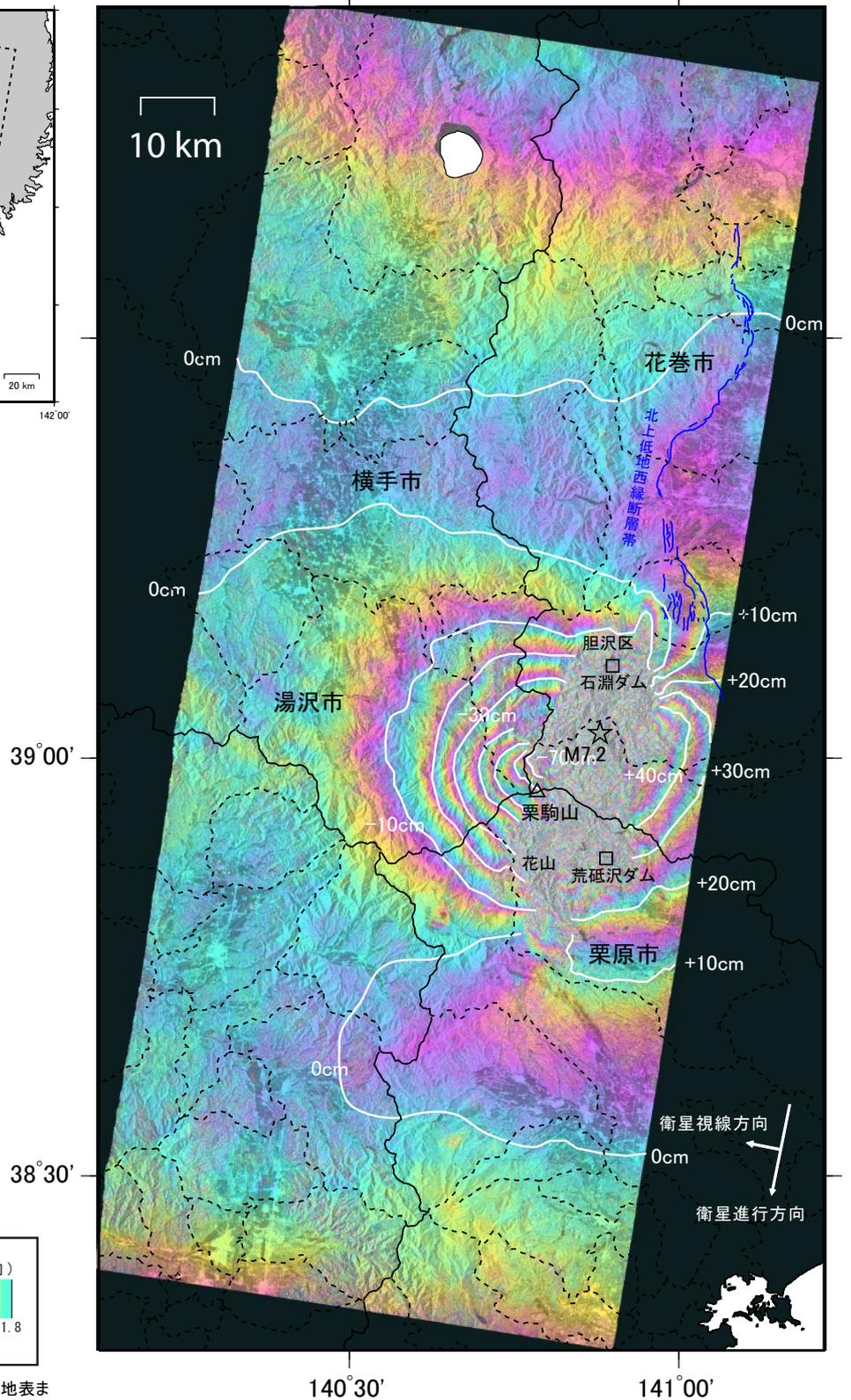
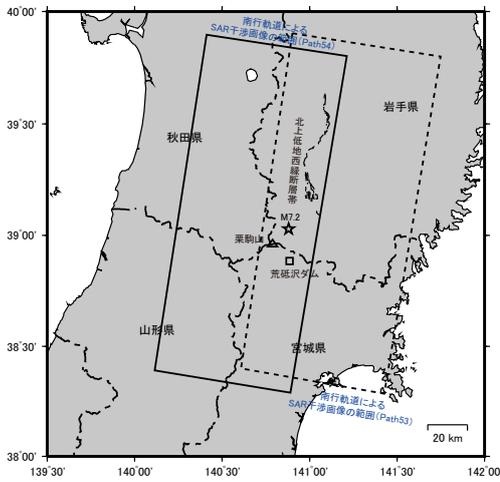
Fig. 24 Crustal deformation obtained from ALOS/PALSAR interferogram (Descending 41.5°, Path53).

「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図（南行軌道）

観測日：2006/07/06 - 2008/07/11

オフナディア角：41.5°，南行軌道

軌道情報：ALOS 高精度軌道情報



カラーバーや画像中のコンターの数値は、衛星から地表までの視線方向の距離の変化量を示します。つまり、マイナスの場合は、衛星と地表の距離が縮まったことを示し、地表が隆起あるいは東向に動いたことを意味します。

140°30' 141°00'

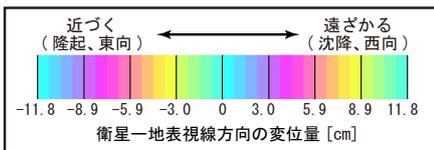
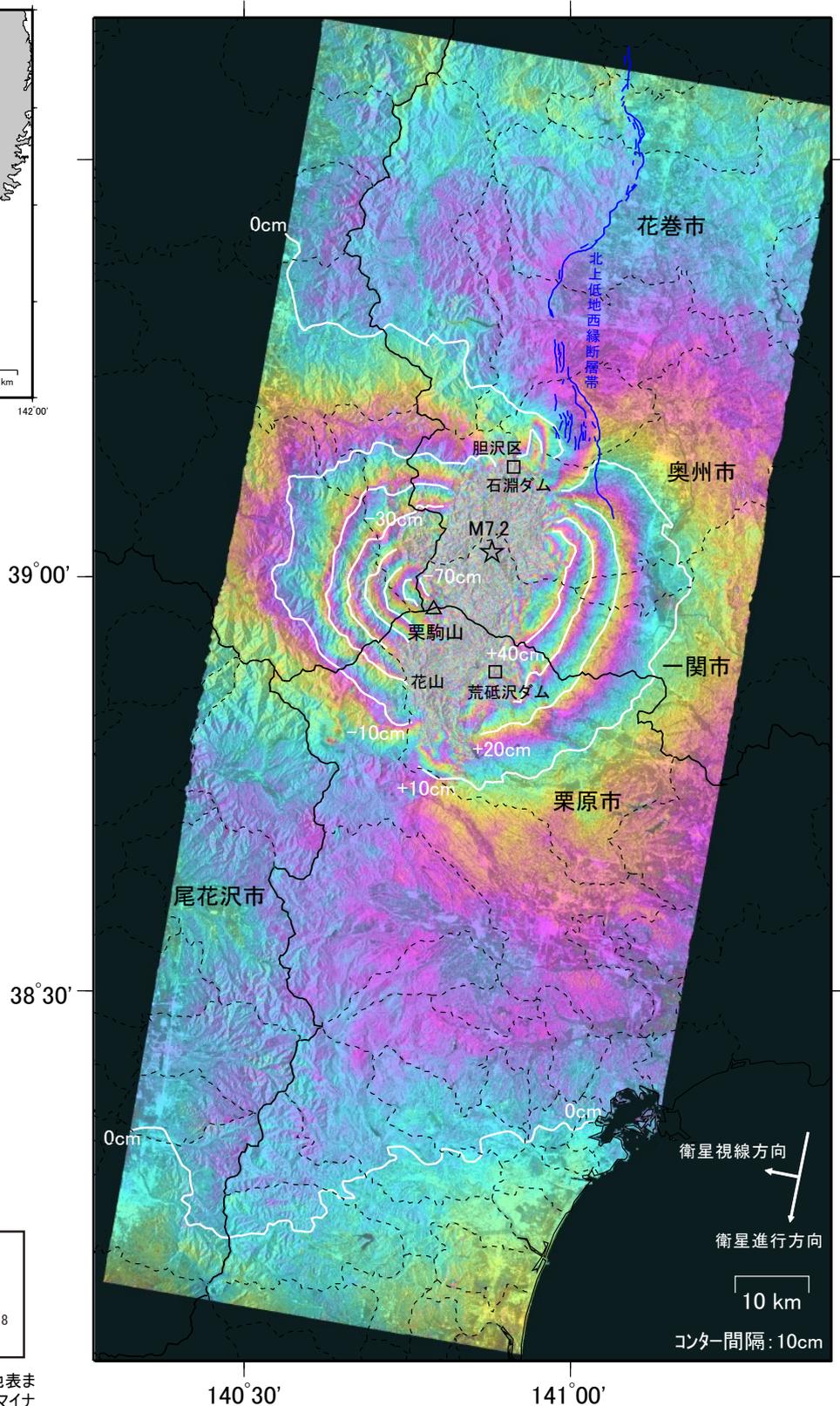
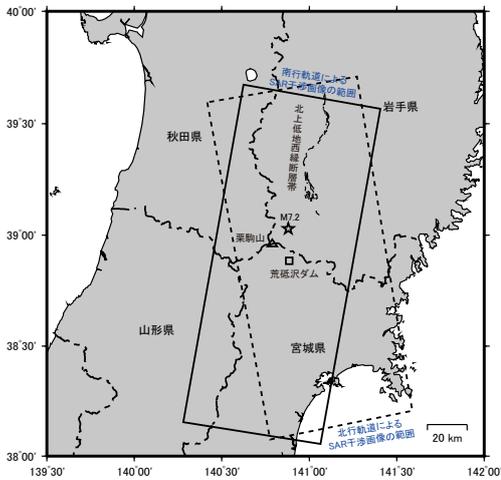
Analysis by GSI from ALOS raw data (c)JAXA,METI

第25図 「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図(南行軌道)

Fig. 25 Crustal deformation obtained from ALOS/PALSAR interferogram (Descending 41.5°, Path54).

「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図（南行軌道）

観測日：2007/08/29 - 2008/07/16
 オフナディア角：34.3°，南行軌道
 軌道情報：ALOS 高精度軌道情報



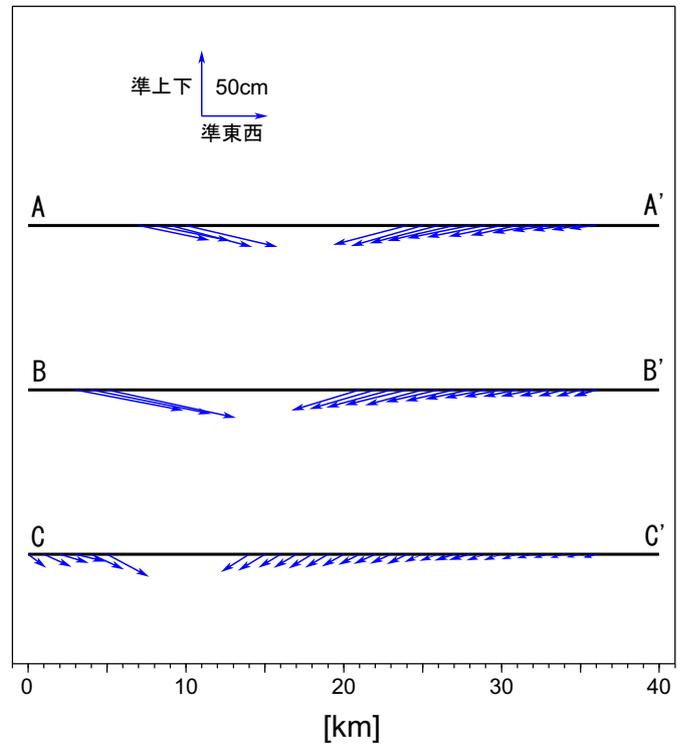
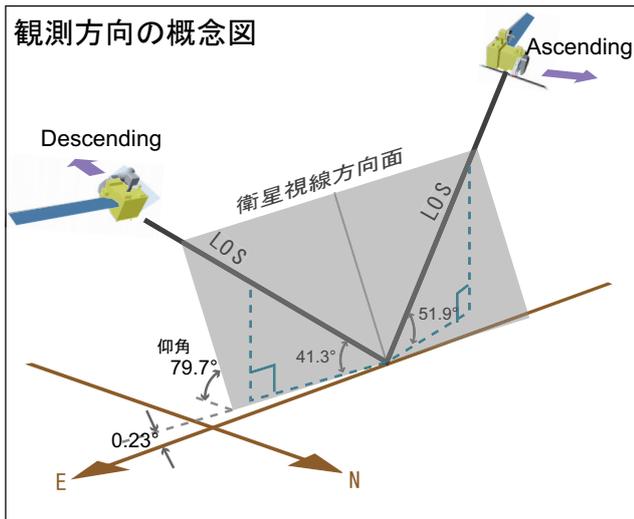
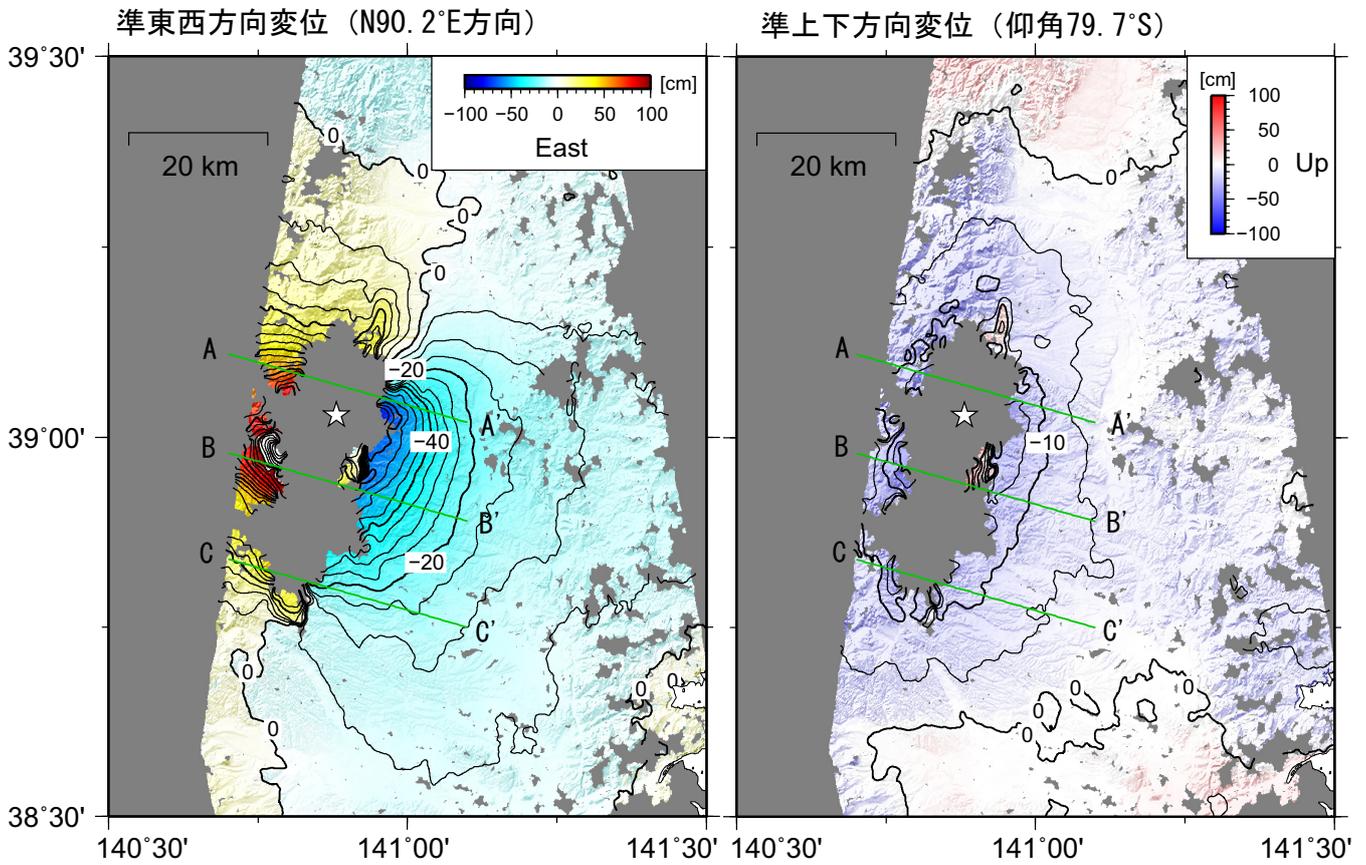
カラーバーや画像中のコンターの数値は、衛星から地表までの視線方向の距離の変化量を示します。つまり、マイナスの場合は、衛星と地表の距離が縮まったことを示し、地表が隆起あるいは東向に動いたことを意味します。

Analysis by GSI from ALOS raw data (c)JAXA,METI

第26図 「だいち」合成開口レーダーによる地殻変動分布図(南行軌道)
 Fig. 26 Crustal deformation obtained from ALOS/PALSAR interferogram (Descending 34.3°, Path57).

合成開口レーダー（SAR）の2方向の観測データを組み合わせた解析による 準東西方向と準上下方向の変位量分布

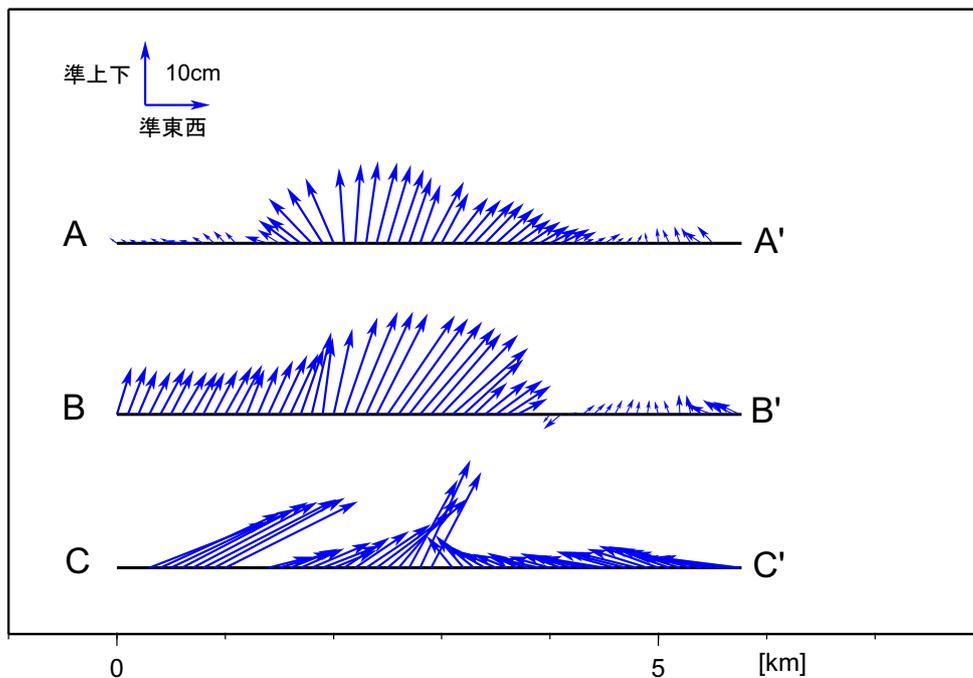
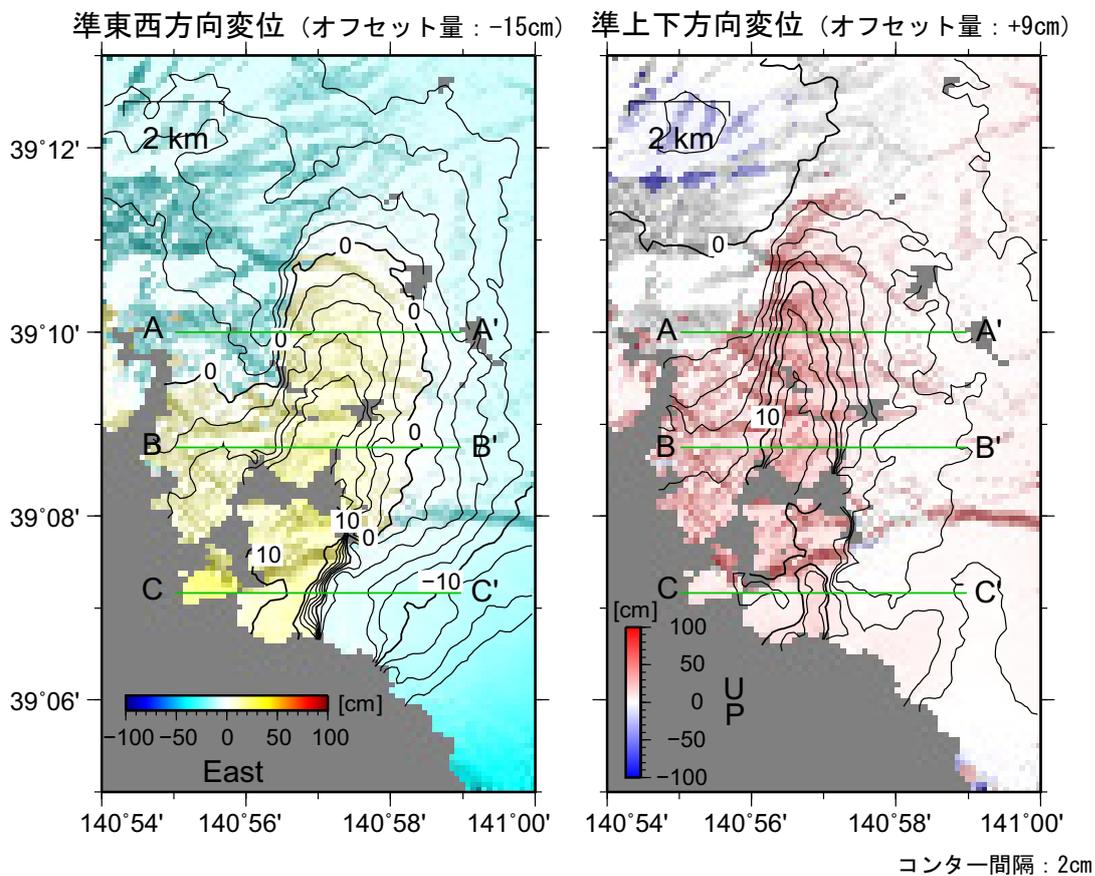
余震域をはさんで、東西方向に約2mの短縮がみられる。余震域周辺では、沈降がみられる。



第27図 「だいち」合成開口レーダーの干渉画像から得られた準東西方向と準上下方向の変位量分布
Fig. 27 Quasi-eastward and quasi-upward displacements associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake calculated from ALOS/PALSAR interferograms.

余震域北端付近における準東西方向と準上下方向の変位量分布

余震域北端付近（奥州市胆沢区市野々付近から金ヶ崎町の黒沢川上流域）において、周辺と比較して相対的に隆起、東西方向に圧縮の変動がみられる。この変動の特徴は、2007年新潟県中越沖地震の際に見られた小木ノ城背斜に沿った隆起と類似する。



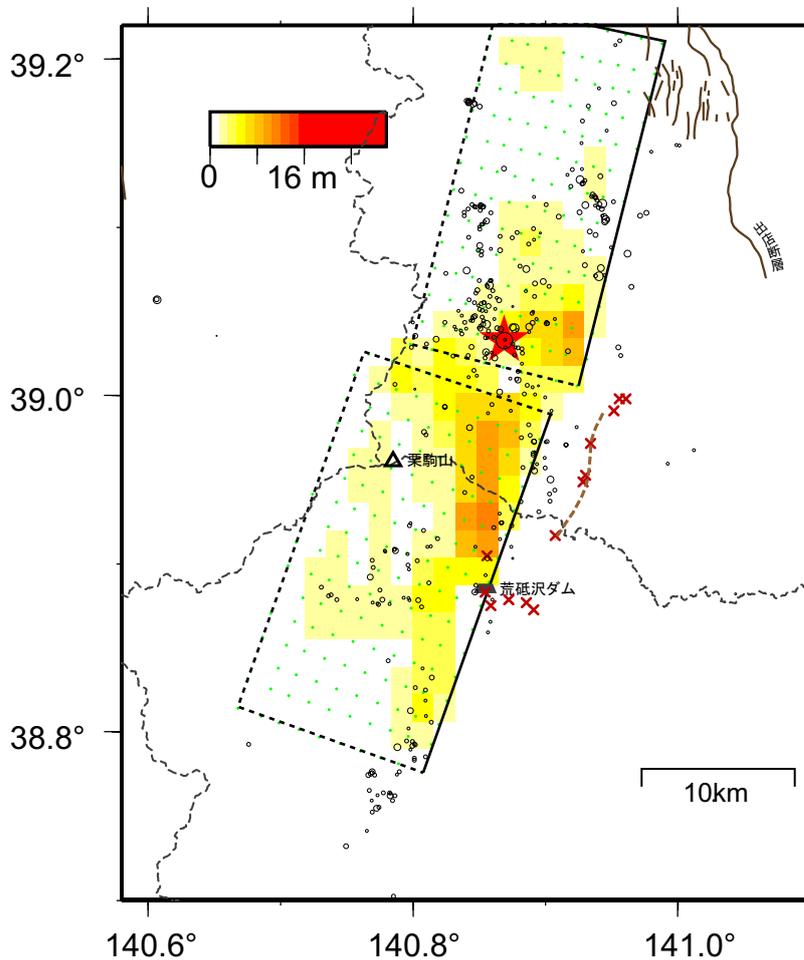
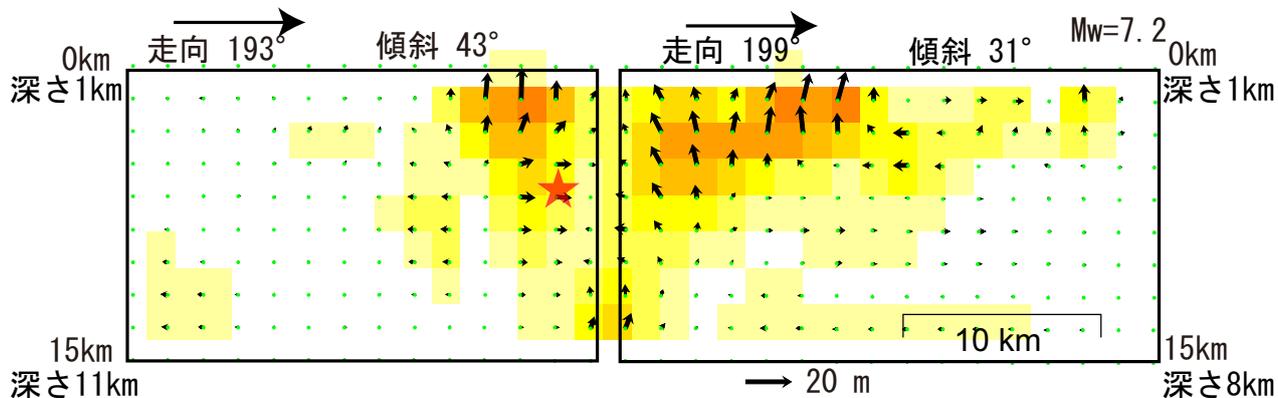
余震域北端付近における変動の特徴を見やすくするため、得られた変位量にオフセット（準東西: -15cm, 準上下: +9cm）を与え、図を作成した。

第28図 準東西方向と準上下方向の変位量分布 (余震域北端付近)
 Fig. 28 Quasi-eastward and quasi-upward displacements around northern end of the aftershock area .

平成20年岩手・宮城内陸地震
断層面上のすべり分布

断層面の水平位置, 深さ, 傾斜を地殻変動データから推定 均質媒質

本震震源の南側の浅いところで大きなすべりが推定された。
これは、荒砥沢ダム北方の地表変状から本震震源へ向かう南北に長い領域に相当する。



★ 本震震央

断層面
断層面上端

○ 余震分布 (20080702-0707)
2008年岩手・宮城内陸地震緊急合同余震観測グループ(北海道大学・弘前大学・東北大学・東京大学・名古屋大学・京都大学・高知大学・九州大学・鹿児島大学・防災科学技術研究所)による三次元不均質構造を考慮して再決定された震源(暫定値)を使用

/ 活断層 (地質調査研究推進本部による)

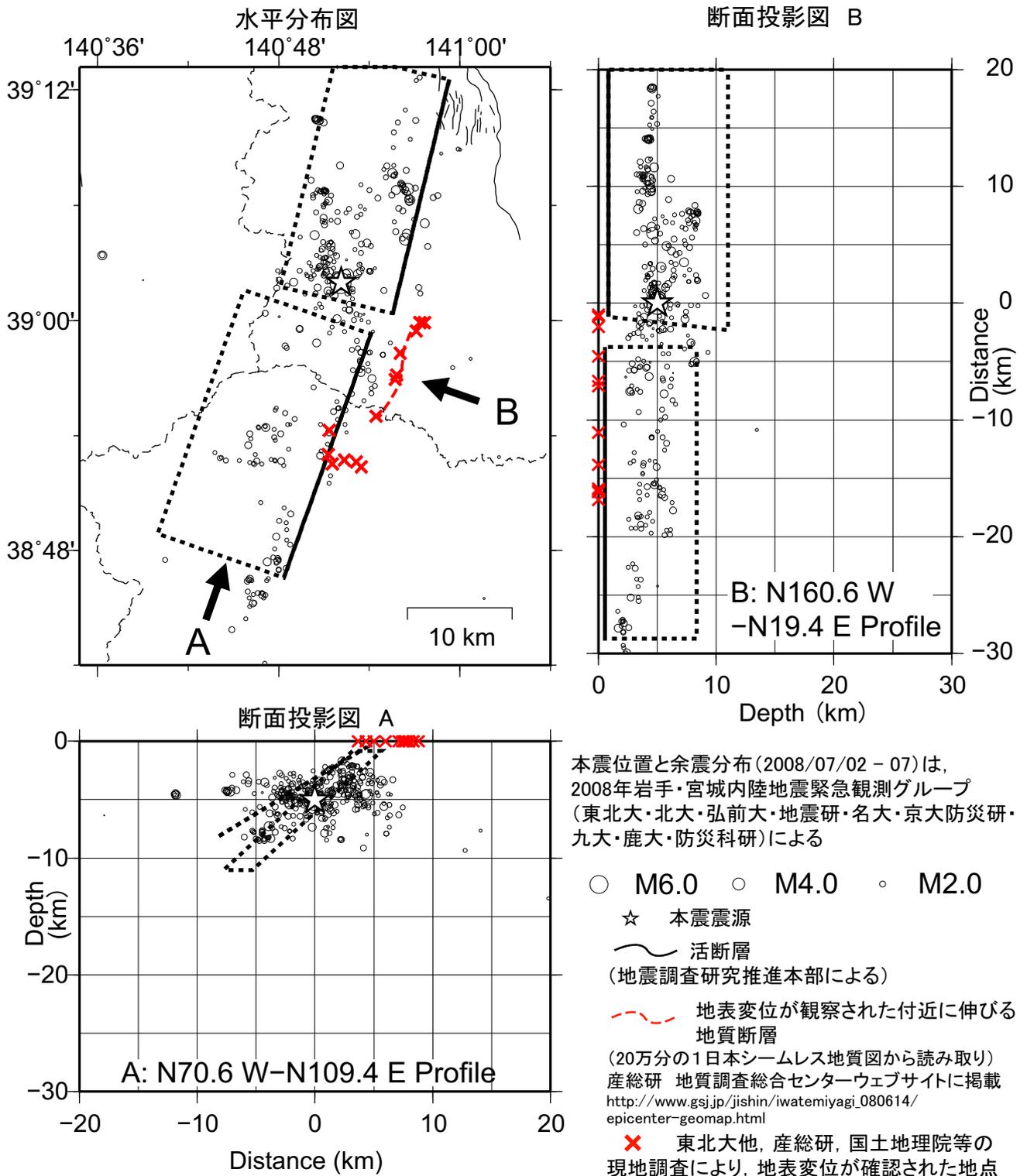
地表変位が観察された付近に伸びる地質断層 (20万分の1日本シームレス地質図から読み取り)
産総研 地質調査総合センターのWEBサイトに掲載
http://www.gsj.jp/jishin/watamiyagi_080614/epicenter-geomap.html

× 東北大他, 産総研, 国土地理院等の現地調査により, 地表変位が確認された地点

第29図 2008年岩手・宮城内陸地震 断層面上のすべり分布
Fig. 29 Slip distributions on the fault of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008.

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の 震源断層モデルと余震分布の位置関係

地殻変動データから推定した断層面は、緊急観測グループによる余震観測とDDトモグラフィによって決定された震源分布と整合する。

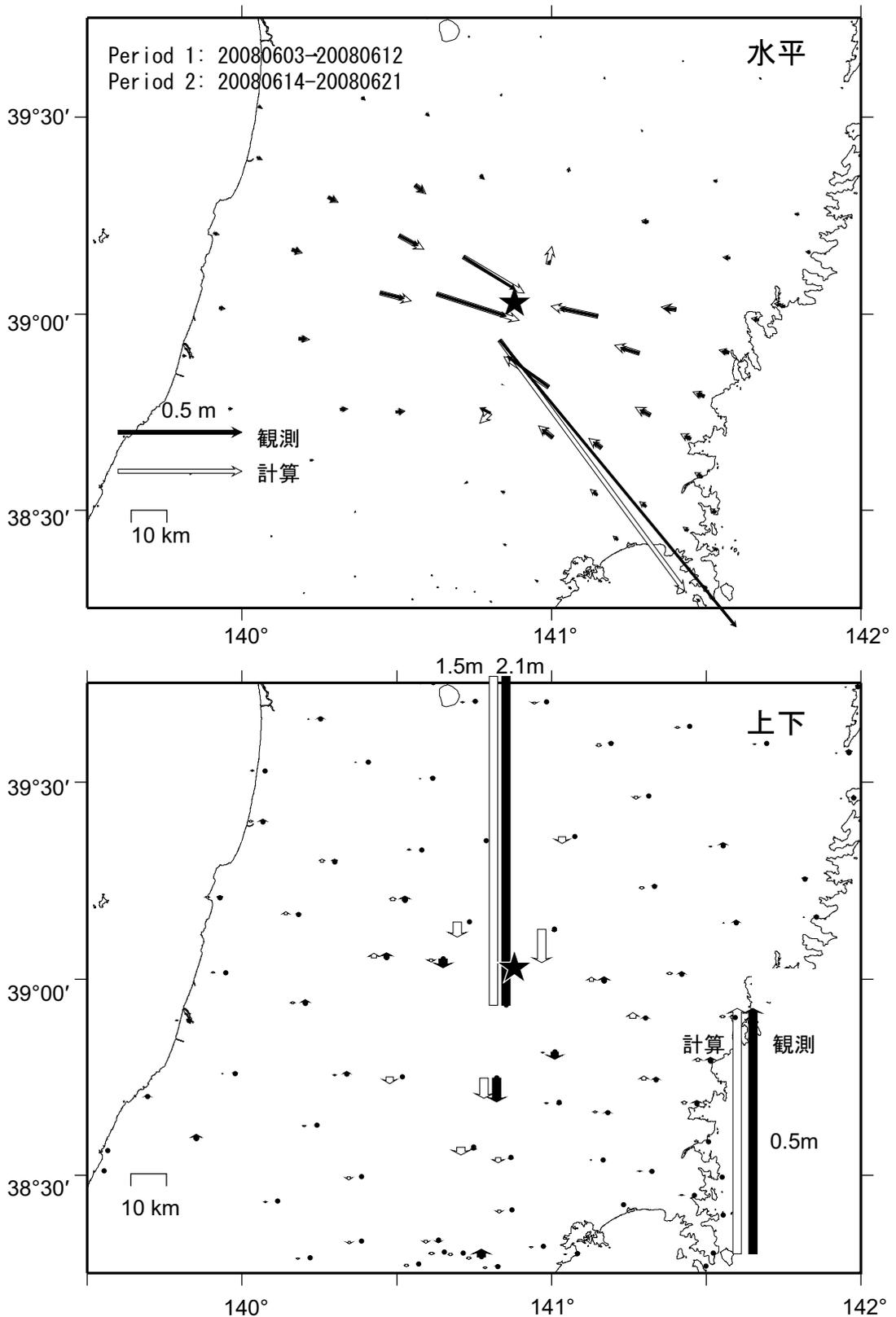


第30図 2008年岩手・宮城内陸地震 震源断層モデルと余震分布の位置関係
 Fig. 30 Locations of the model fault and aftershocks distributions of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008.

平成20年岩手・宮城内陸地震
電子基準点における観測値と計算値の比較

均質媒質構造

GPS変動ベクトルのフィッティングは良好である。

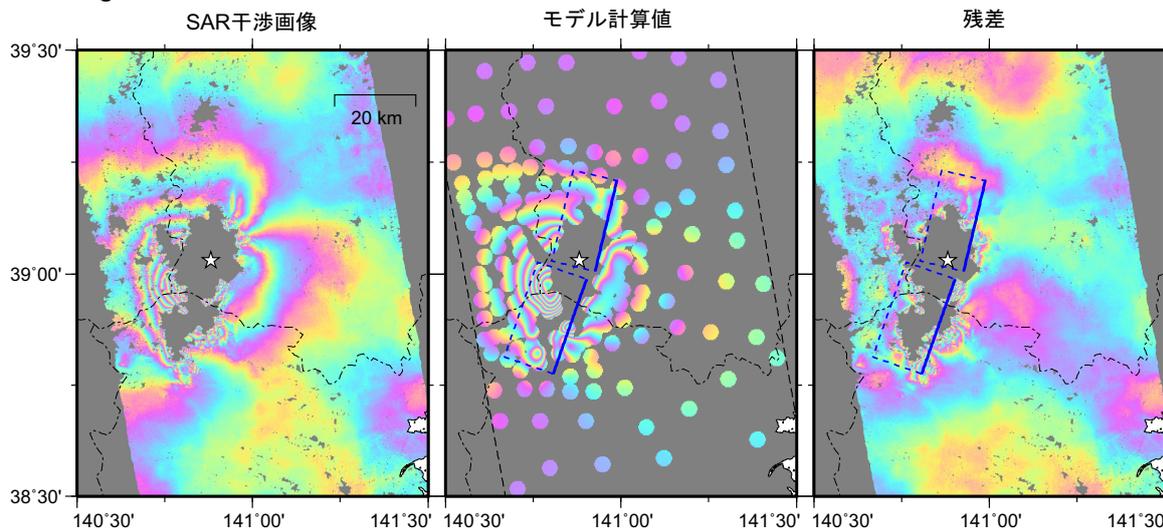


第31図 2008年岩手・宮城内陸地震 電子基準点における観測値と計算値の比較
Fig. 31 Comparisons of horizontal and vertical displacements between GPS observation and model calculation.

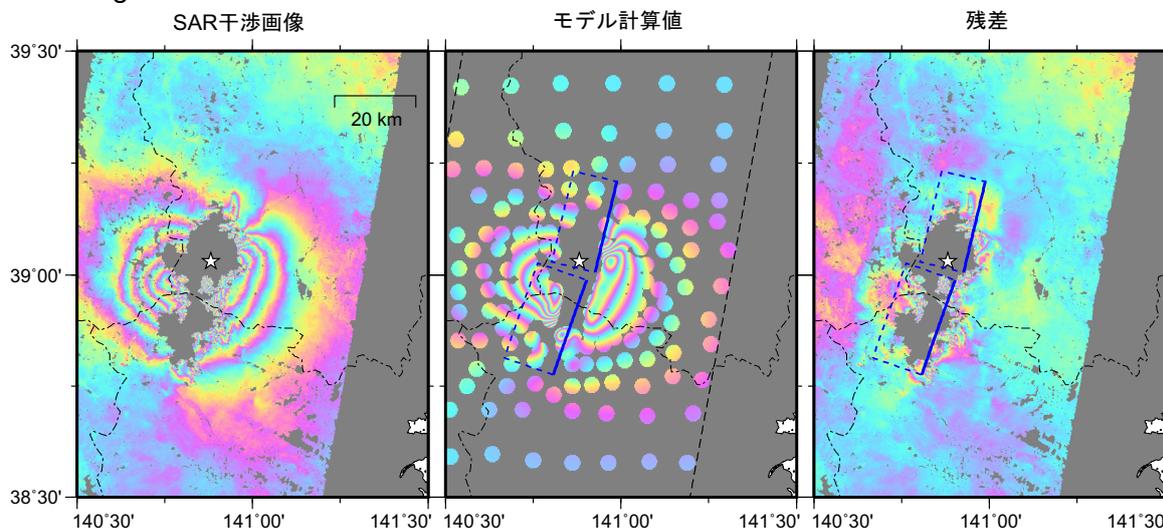
SAR干渉画像とモデル計算値の比較

SAR干渉画像のフィッティングは良好である。

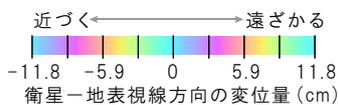
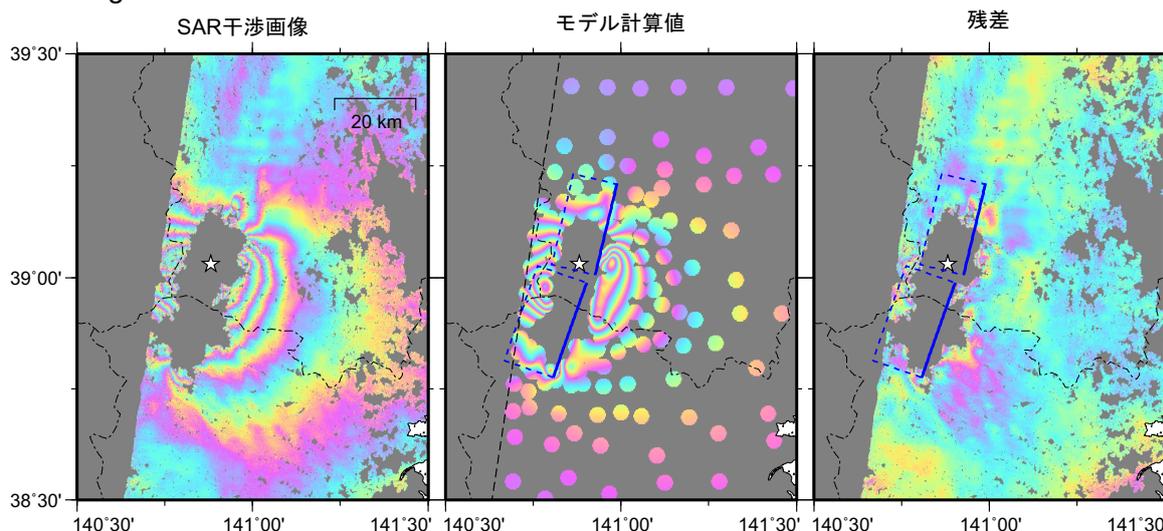
Ascending 34.3° Path402 (観測日: 20070806 - 20080623)



Descending 34.3° Path57 (観測日: 20070829 - 20080716)



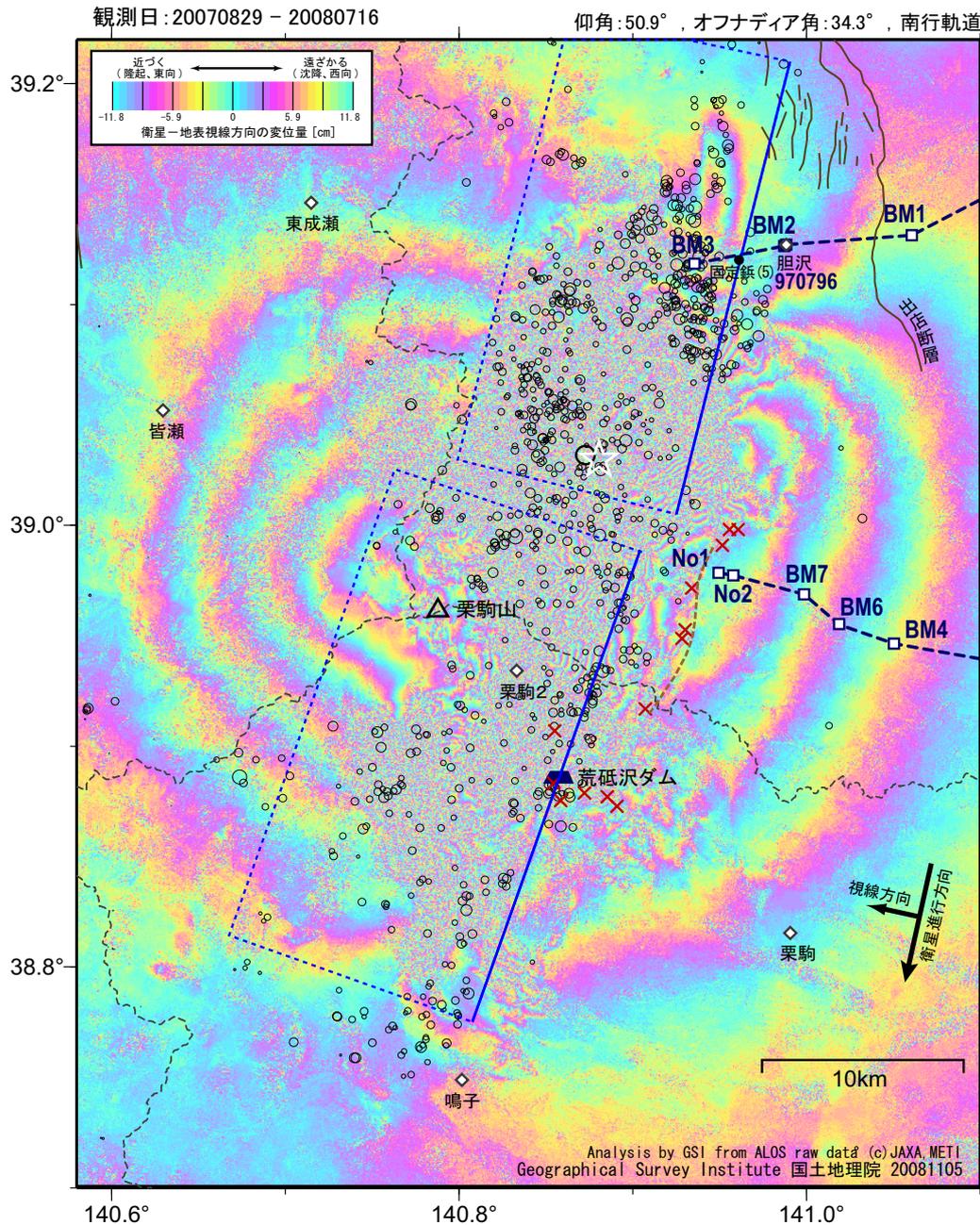
Descending 41.5° Path53 (観測日: 20060619 - 20080624)



第32図 2008年岩手・宮城内陸地震 SAR干渉画像とモデル計算値の比較
 Fig. 32 Comparisons of SAR interferograms between observation and model calculation.

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震集約図
 「だいいち」SAR干渉画像, 余震分布, 地表変状, 電子基準点, 水準路線

北側の断層面の断層上端位置は, 水準測量結果と調和的である。
 南側の断層面の断層上端は, 荒砥沢ダム北方の地表変状付近を通過する一方, 杵木立の地表変状とは約3~4km離れている。



- ☆ 本震震央
(気象庁一元化震源)
- 本震位置
- 余震分布 (20080614-0620)
2008年岩手・宮城内陸地震緊急合同余震観測グループ(北海道大学・弘前大学・東北大学・東京大学・名古屋大学・京都大学・高知大学・九州大学・鹿児島大学・防災科学技術研究所)による三次元不均質構造を考慮して再決定された震源(暫定値)を使用
- / — 活断層 (地震調査研究推進本部による)
- - - 地表変位が観察された付近に伸びる地質断層 (20万分の1日本シームレス地質図から読み取り)
産総研 地質調査総合センターのWEBサイトに掲載
http://www.gsj.jp/jishin/iwatemiyagi_080614/epicenter-geomap.html
- - - 水準路線
- ◇ 電子基準点
- × 東北大他, 産総研, 国土地理院等の現地調査により, 地表変位が確認された地点

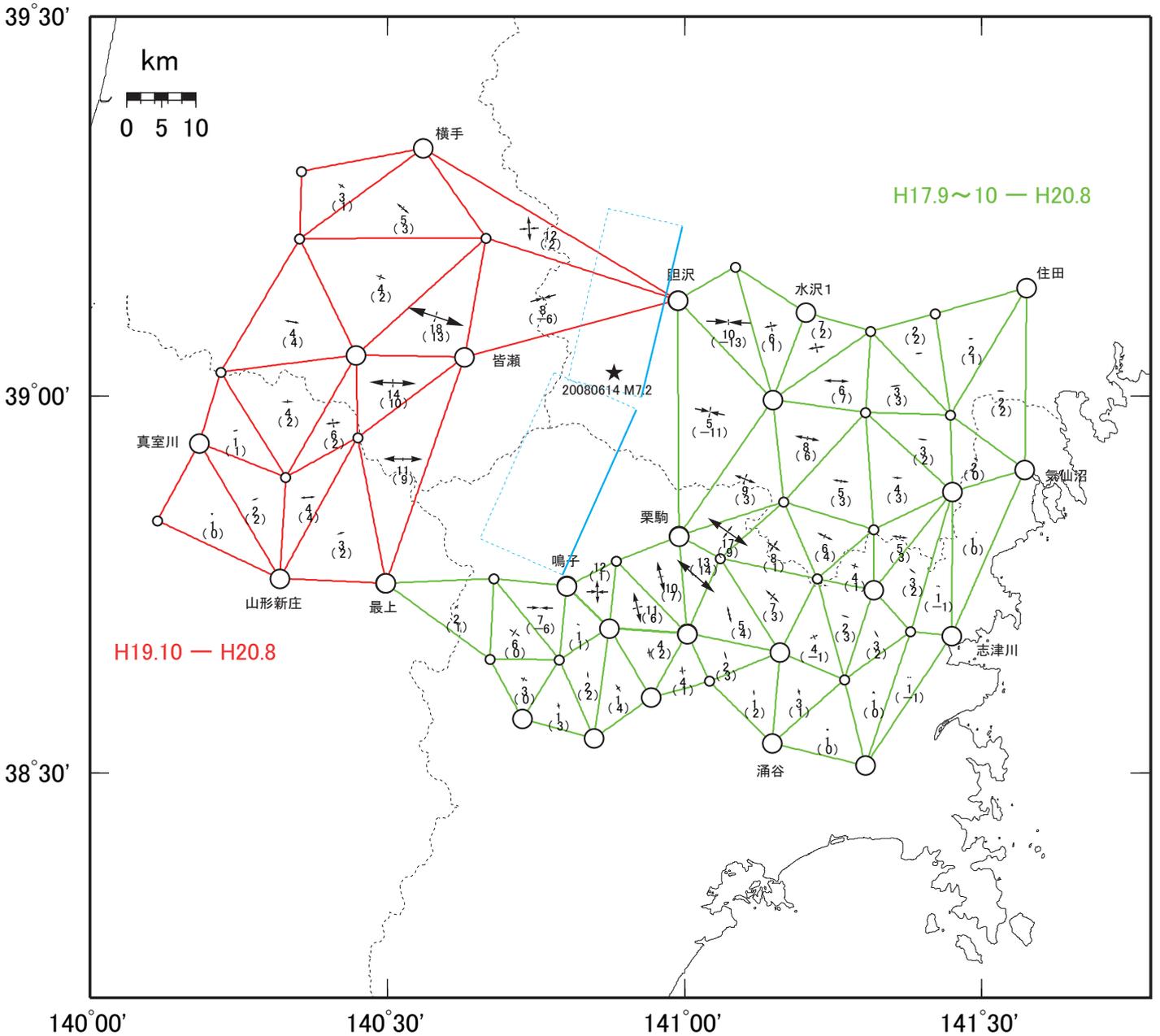
第33図 2008年岩手・宮城内陸地震 集約図
 Fig. 33 Integrated map based on SAR interferograms about the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008.

高度地域基準点測量による岩手・宮城地方の水平歪

2005. 9~10 - 2008. 8 (—)

2007. 10 - 2008. 8 (—)

震源域の周囲で、西北西—東南東方向の伸びが見られる。



○ 電子基準点

○ 三角点

10ppm

in ppm

↔ EXT. Max. Shear

↔ CONT. (Dilatation)

断層面

断層面上端

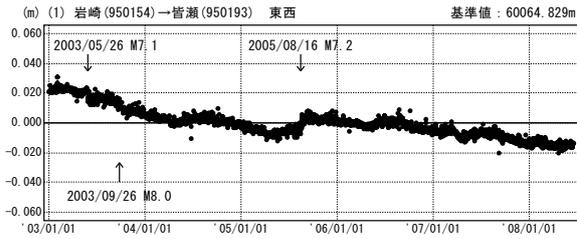
第34図 高度基準点測量による岩手・宮城地方の水平歪

Fig. 34 Horizontal strain in Iwate-Miyagi district derived from campaign GPS measurements at triangulation control points.

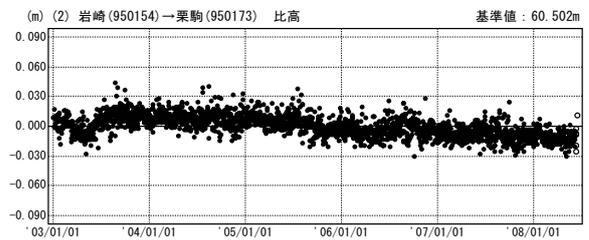
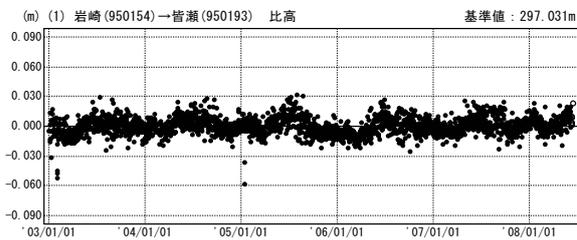
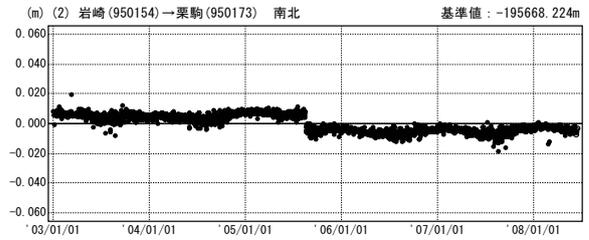
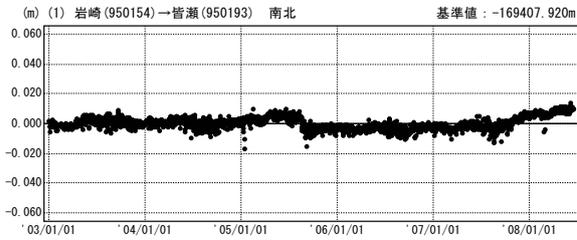
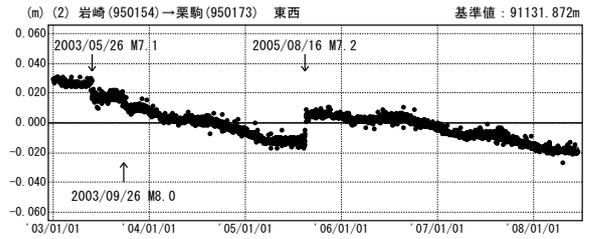
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震以前の地殻変動(1)

成分変化グラフ

期間：2003/01/01～2008/06/13 JST



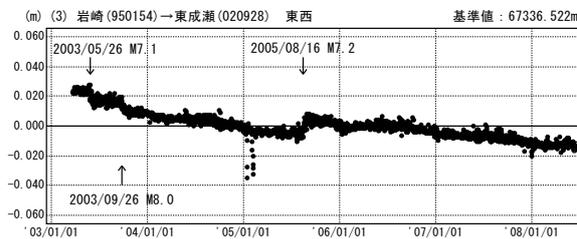
期間：2003/01/01～2008/06/13 JST



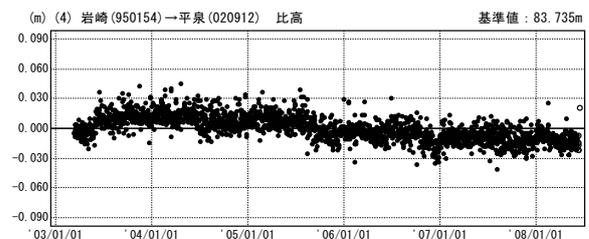
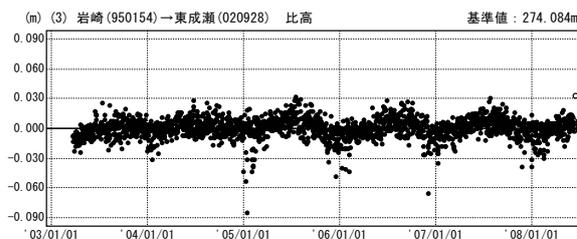
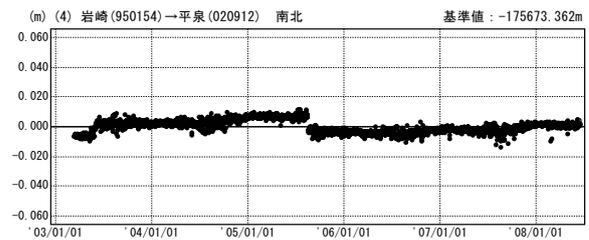
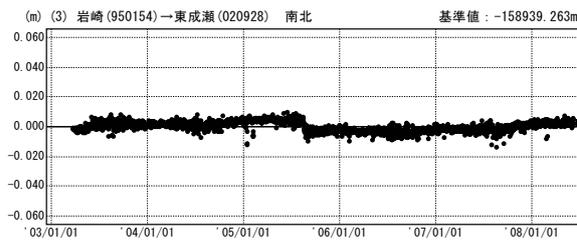
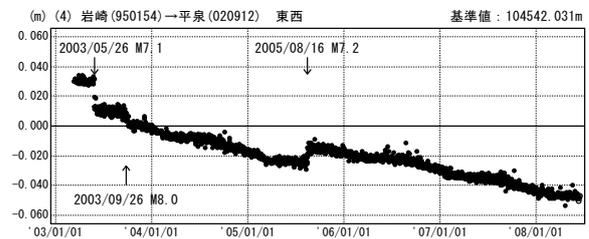
● ---[F2:最終解]

成分変化グラフ

期間：2003/01/01～2008/06/13 JST



期間：2003/01/01～2008/06/13 JST



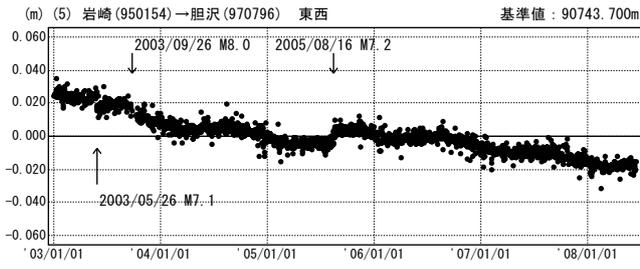
● ---[F2:最終解]

第35図 2008年岩手・宮城内陸地震以前の地殻変動(1)
Fig. 35 Crustal deformation before the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (1/2).

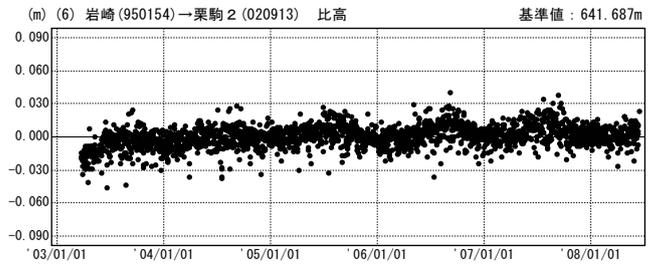
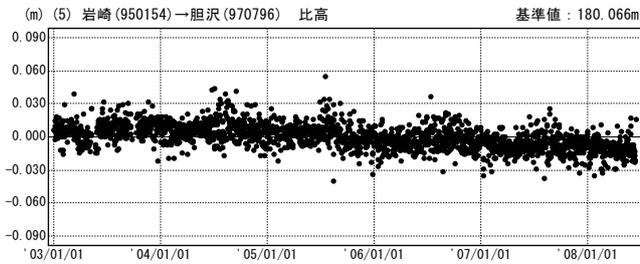
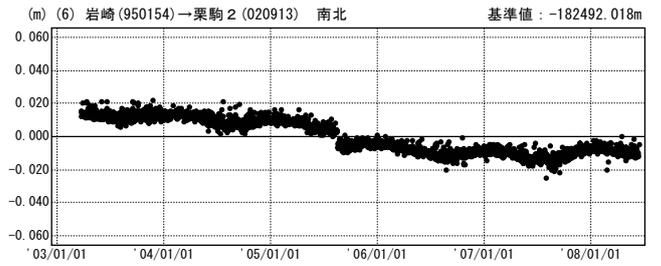
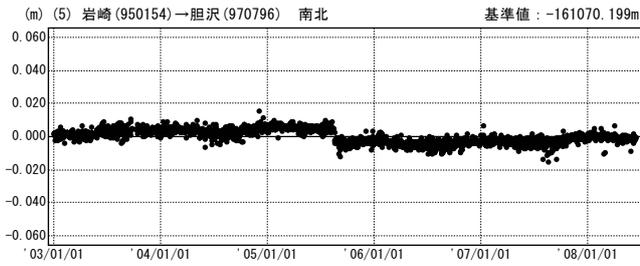
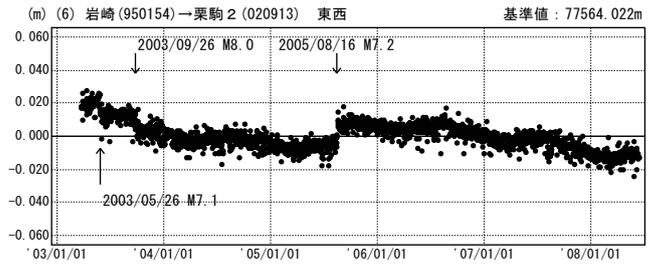
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震以前の地殻変動(2)

成分変化グラフ

期間：2003/01/01～2008/06/13 JST



期間：2003/01/01～2008/06/13 JST

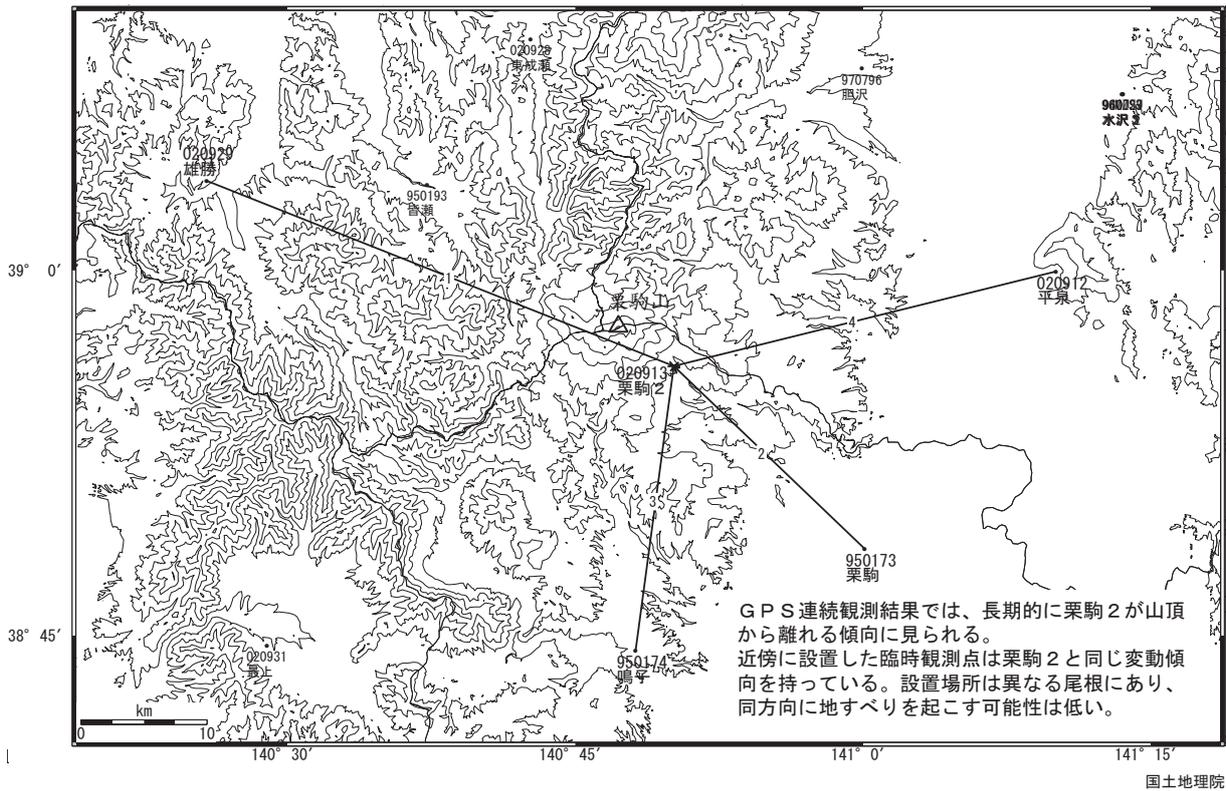


● ---[F2:最終解]

第36図 2008年岩手・宮城内陸地震以前の地殻変動(2)

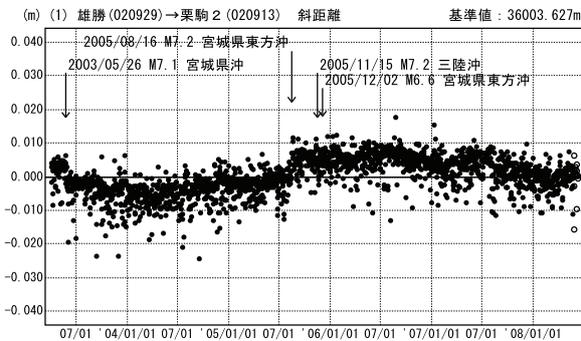
Fig. 36 Crustal deformation before the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 (2/2).

栗駒山周辺 GPS連続観測基線図



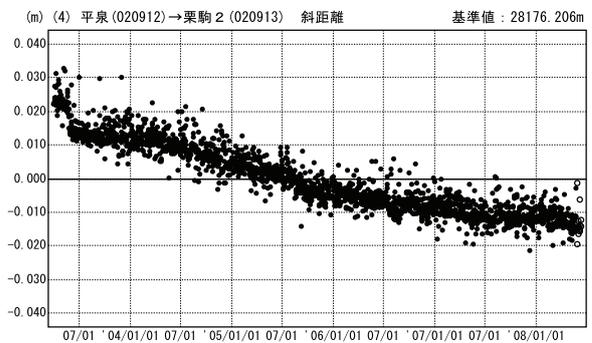
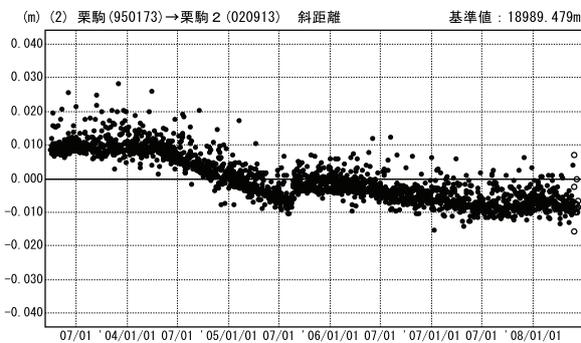
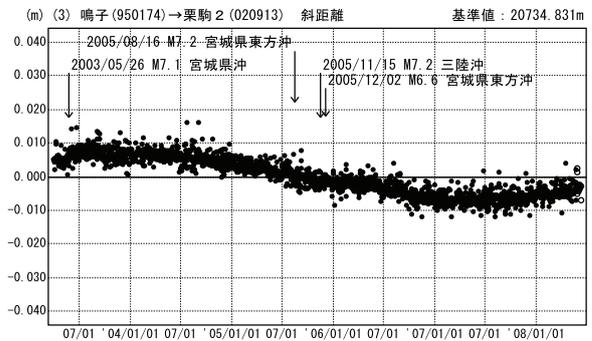
基線変化グラフ

期間：2003/04/01～2008/06/08 JST



基線変化グラフ

期間：2003/04/01～2008/06/08 JST



● — [F2:最終解] ○ — [R2:速報解]

国土地理院

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

第37図 栗駒山周辺GPS連続観測結果
Fig. 37 Results of continuous GPS measurements near Kurikoma-yama.

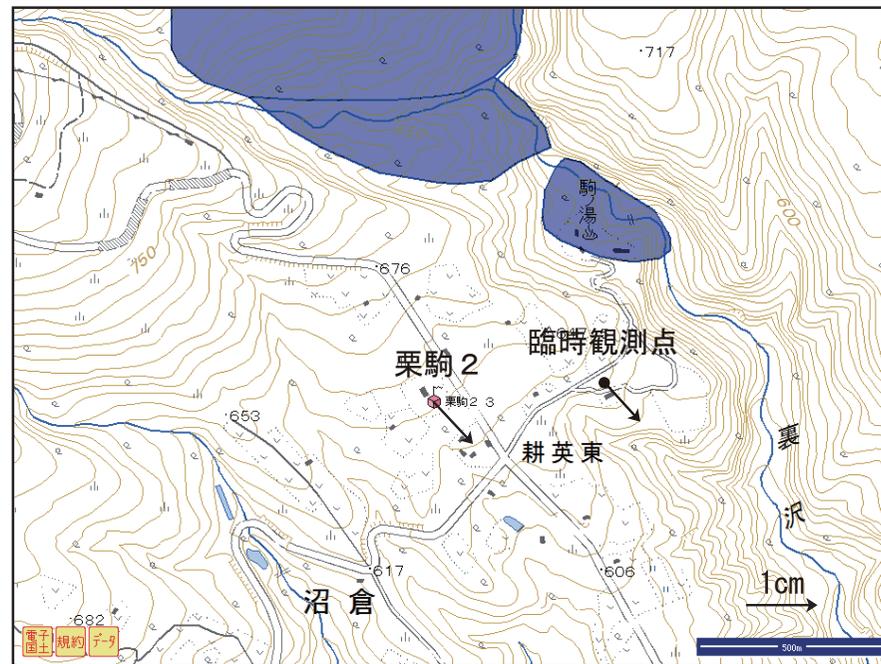
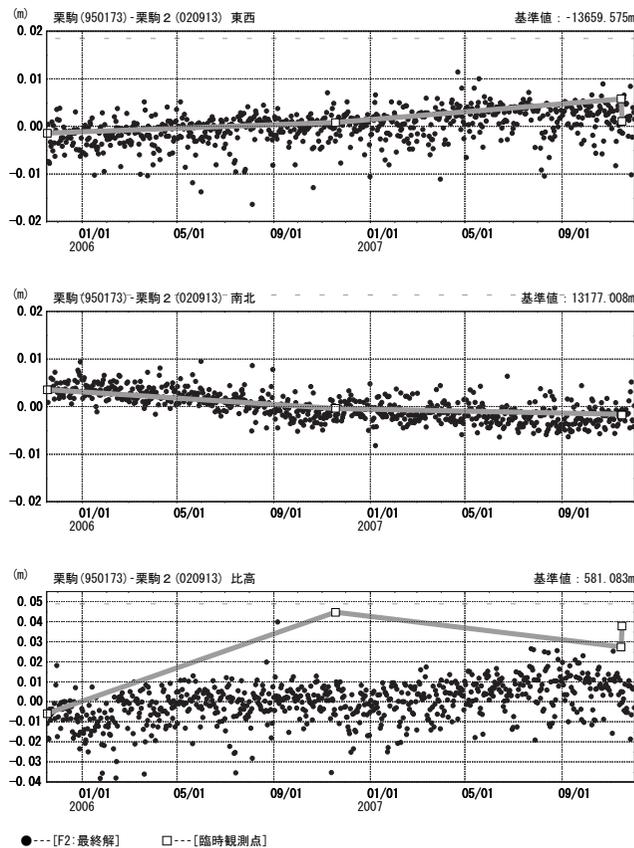
2005年～2007年 栗駒山GPS繰り返し観測結果

※「栗駒2」の安定性は確認された。

栗駒山繰り返し観測

期間：2005/11/17-2007/12/01 JST

※電子基準点の保守等による変動は補正済み



	栗駒2	GPS臨時観測点
基準日	2005/11/12～2005/11/22	2005/11/17
比較日	2007/11/09～2007/11/19	2007/11/14～2007/11/15

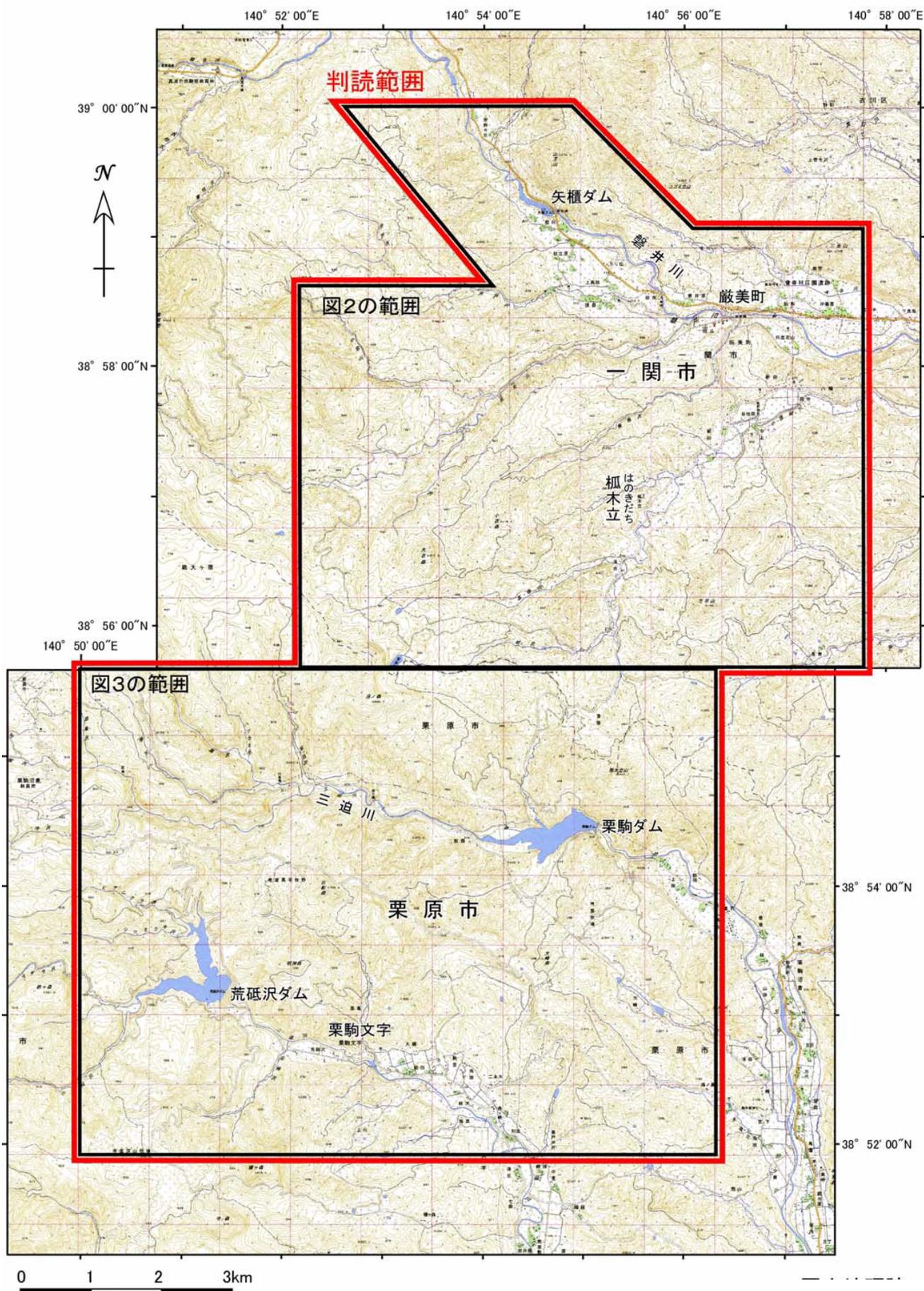
「栗駒」を基準とした基線変化グラフ
「栗駒2」とGPS臨時観測点は同様の変動傾向を示している。

どちらも南東方向に約7mmの変動が見られる。

第38図 2005年～2007年栗駒山GPS繰り返し観測結果
Fig. 38 Results of campaign GPS measurements near Kurikoma-yama in 2005 – 2007.

空中写真の判読範囲

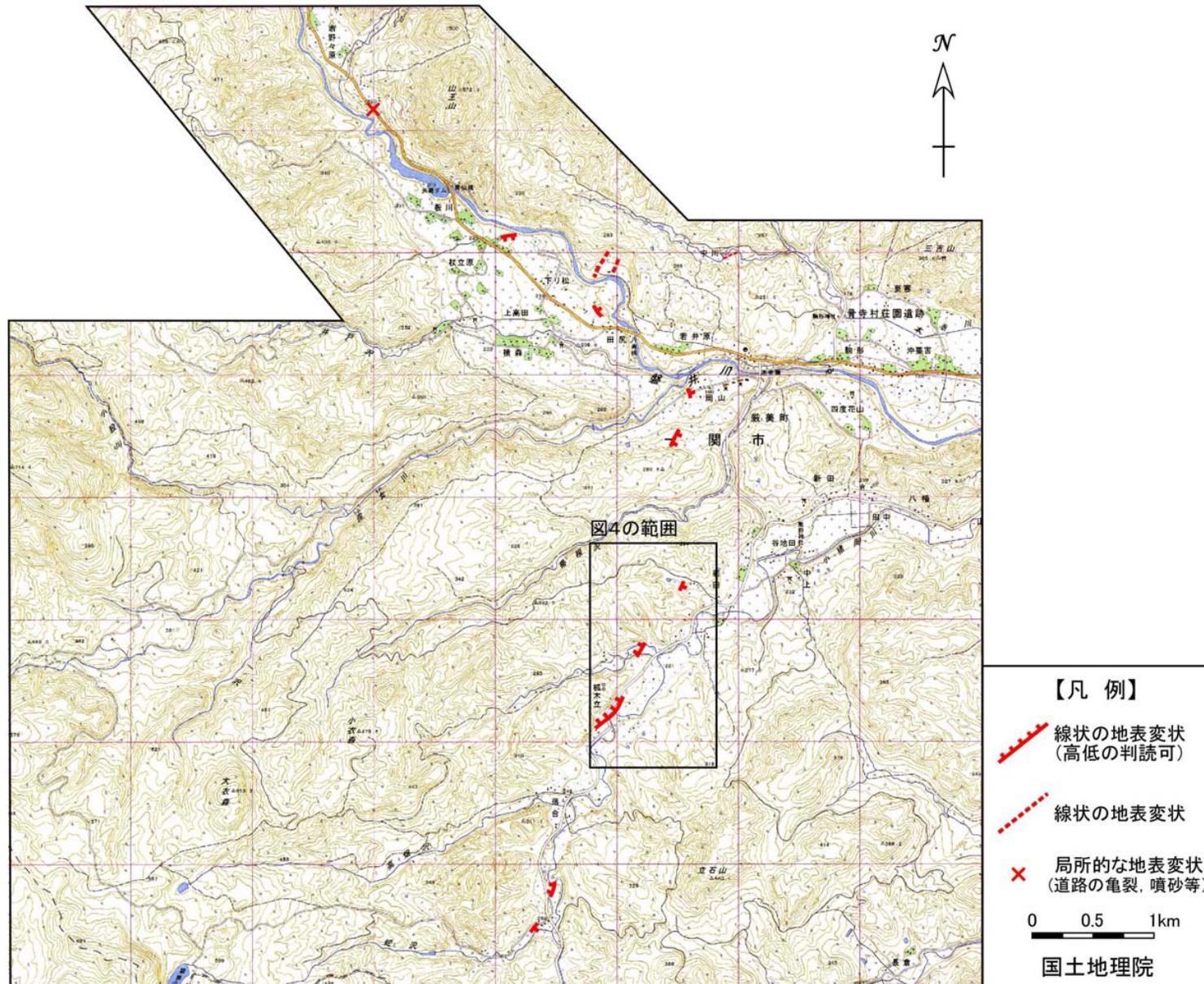
図1



第39図 空中写真の判読範囲
Fig. 39 Area of aerial photo interpretation.

空中写真判読による地表変状分布図(北側)

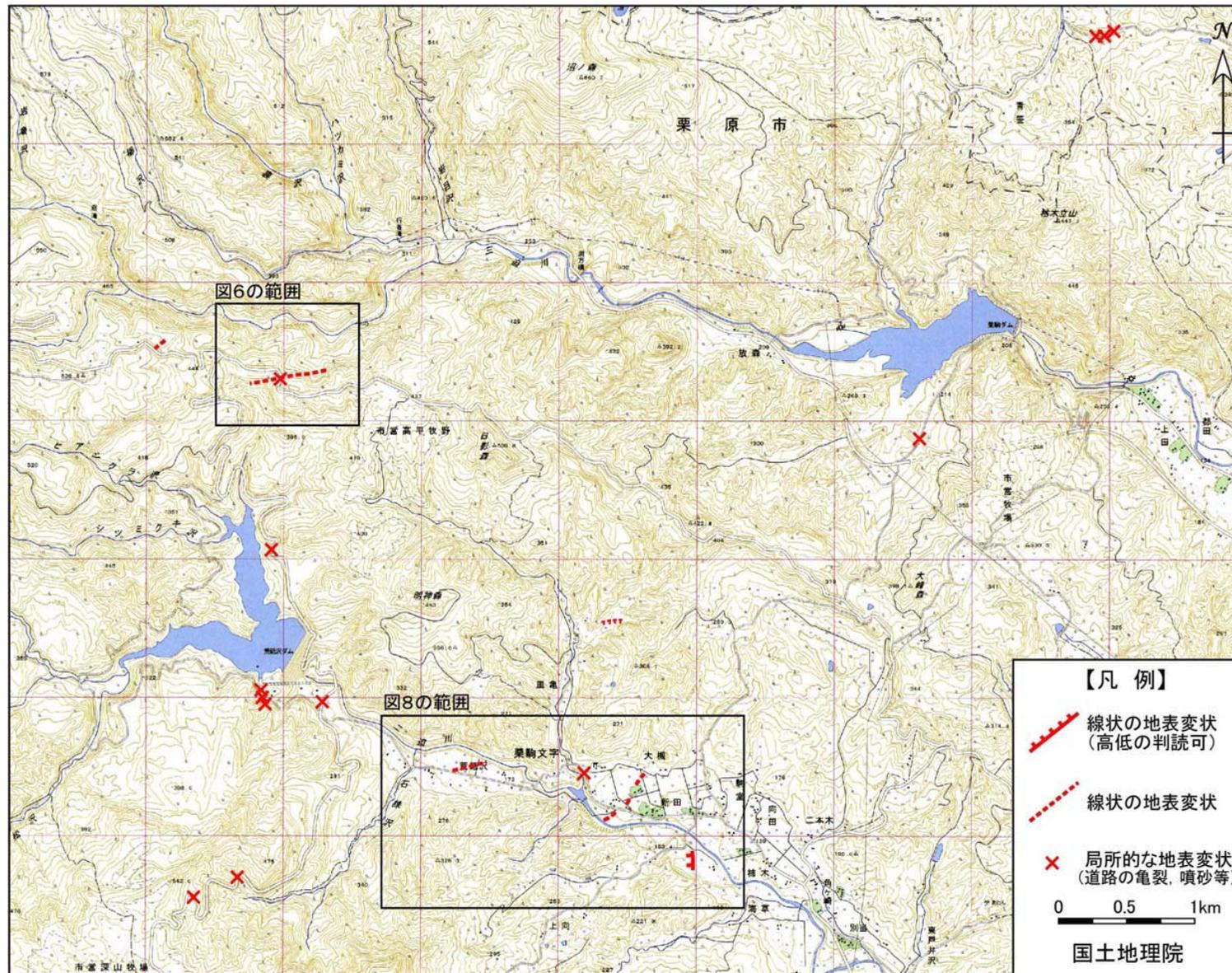
図2



第40図 空中写真判読による地表変状分布図(北側)
 Fig. 40 Distribution map of surface deformation caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (the northern part).

空中写真判読による地表変状分布図(南側)

図3



第41図 空中写真判読による地表変状分布図(南側)
 Fig. 41 Distribution map of surface deformation caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (the southern part).

1. 一関市柺木立（はのきだち）地区

柺木立（はのきだち）地区の空中写真を図4に示す。この写真では、北北東から南南西方向に伸びる地表変状が確認できた。水田の色調の変化が直線的に複数の水田にまたがって出現しており、相対的に隆起した水田の水が乾燥して薄い茶色になっている。相対的に沈降した水田は水がたまっているために濃い緑色になっている。この地区で連続する地表変状は、一番北東側のもの（A地点）は北西側上がりであるが、それ以外は北西側下がり形状を呈している。この地域は現地調査で地表変状を確認しており、C地点を南西側から撮った写真を図5に示す。なお、C地点の地表変状の北東側には、帯状に地盤が相対的に隆起した地域が認められる。

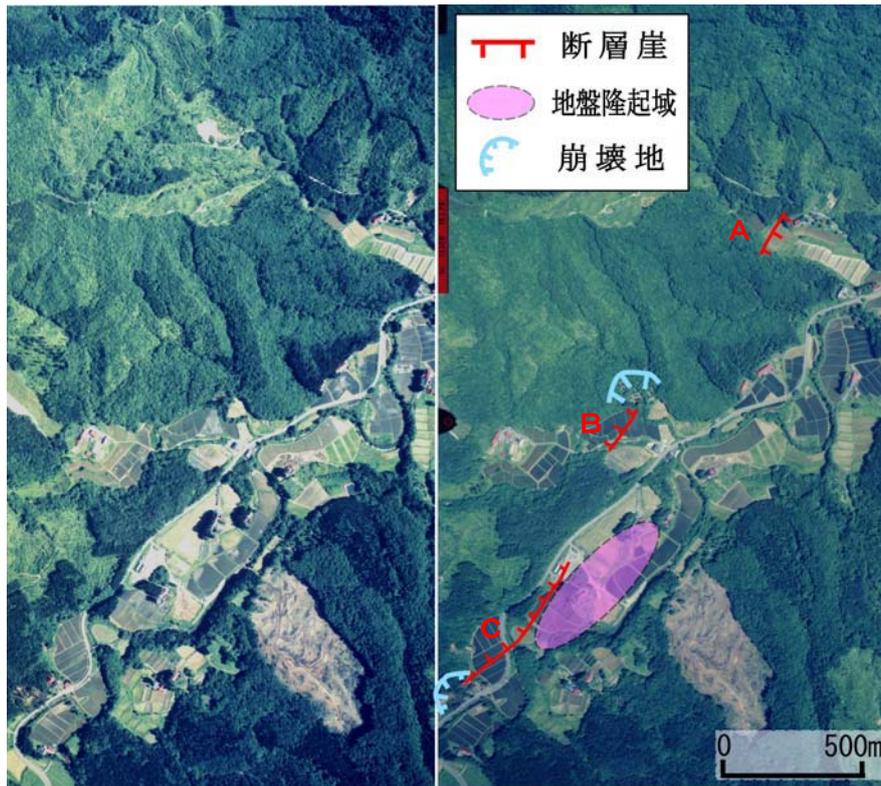


図4 柺木立（はのきだち）地区の空中写真（実体視可能）
平成20年6月15日撮影 C1-045,046



図5 C地点の地表変状の写真（南西端から北東方向を見て撮影）

第42図 空中写真判読で把握した岩手・宮城内陸地震の地表変状（一関市柺木立地区）
Fig. 42 Aerial photo interpretation of surface deformation caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (Hanokidachi, Ichinoseki city).

2. 栗原市荒砥沢ダム上流部の大規模崩壊地の北東側

荒砥沢ダム上流部の大規模崩壊地と尾根を挟んで反対側の大規模崩壊地に挟まれた箇所
で、地震前の空中写真（2006年撮影：縮尺 1/30,000）では明瞭に認められない、樹冠の
大きな隙間が連続しているのが判読でき、その箇所では樹木の倒れ込み等が認められること
から、地表変状が生じているものと判断される（図6）。その変状が道路を横断する部分で
空中写真を拡大すると（図7）、道路が破壊されていることが確認できる。この箇所を見る
限りは右ずれの変位を示している。



図6 荒砥沢ダム上流部の大規模崩壊地の北東部の地表変状
平成20年6月16日撮影 C1-045



図7 道路破壊地点の拡大図

第43図 空中写真判読で把握した岩手・宮城内陸地震の地表変状(栗原市荒砥沢ダム上流部の大規模崩壊地の北東側)

Fig. 43 Aerial photo interpretation of surface deformation caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (north east side of large landslides of the Aratozawa dam, Kurihara city).

3. 栗原市荒砥沢ダム下流部（荒砥沢から新田にかけて）

迫川沿いの平野部の水田上で、楓木立（はのきだち）地区と同様に、直線的に複数の水田にまたがって水田の色が変化している箇所が認められる。周辺の空中写真を図8に示す。ここでは、①～③で色調の変化が認められる。

①水田を横切って斜めに走る、色調の変化が見られる。

②①と同様の色調変化が認められる。なお、②の周辺の水田には、他にも色調の変化（図8の黄色破線部分）が確認できるが、これらの箇所を旧版地形図（図9）で見ると、現在は圃場整備等で原地形が改変されていることがわかり、盛土が変状した可能性が高い。

③同様の色調変化であるが、ここは比較的段差が明瞭で、西下がりである。



図8 荒砥沢ダム下流（荒砥沢～新田）の地震後の空中写真
平成20年6月16日撮影 C8-14

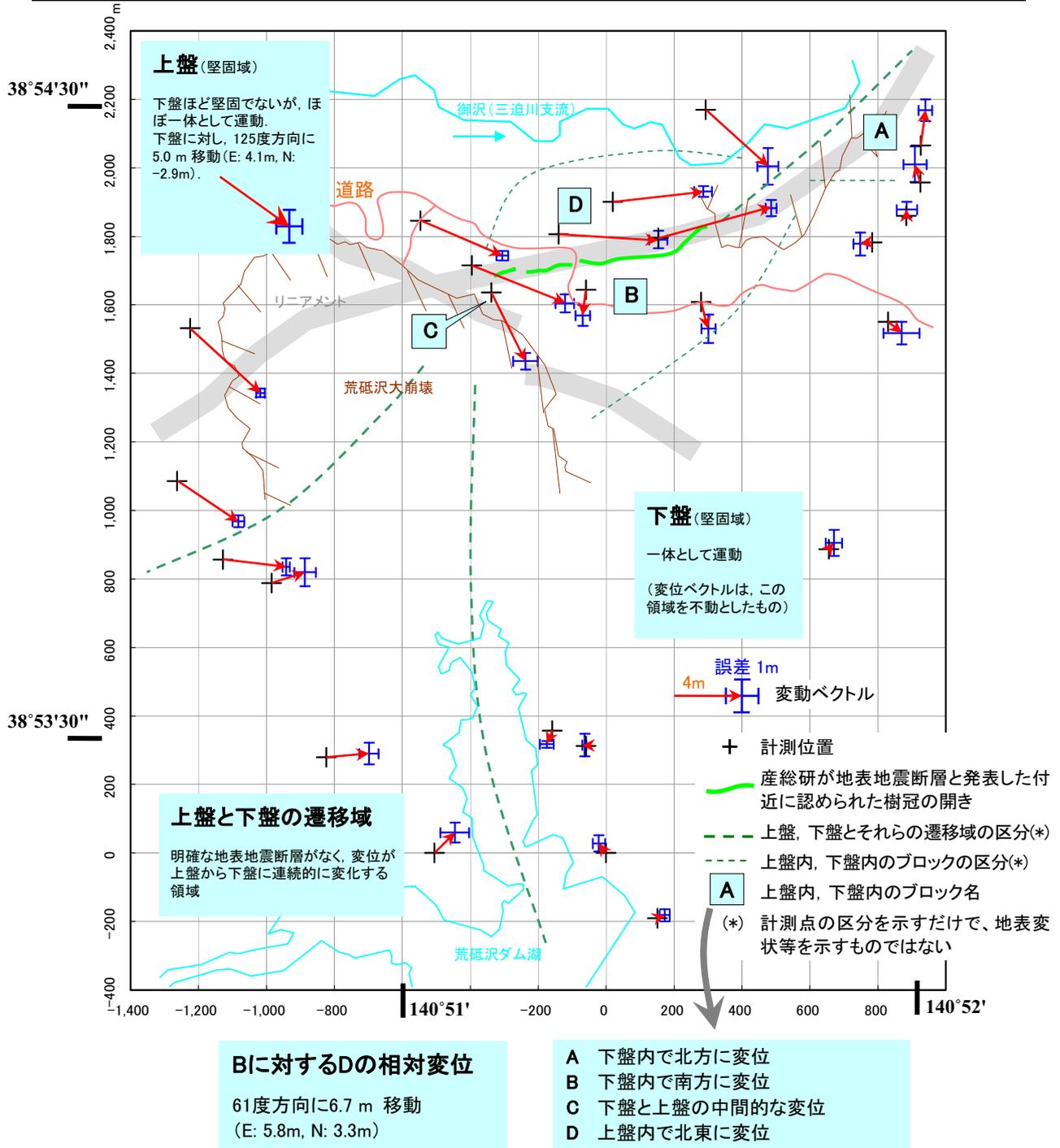


図9 昭和41年測量2.5万分1地形図「切留、沼倉」の一部

第44図 空中写真判読で把握した岩手・宮城内陸地震の地表変状（栗原市荒砥沢ダム下流部）
Fig. 44 Aerial photo interpretation of surface deformation caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (down stream of the Aratozawa dam, Kurihara city).

写真測量で計測した荒砥沢ダム北方の水平変動 岩手・宮城内陸地震

地表変状を境とするブロック的な水平変動で、全体としては北西-南東方向の圧縮。



2006年撮影 1/30,000 白黒写真と、
2008年撮影 1/10,000 カラー写真の
間の変位を写真測量で計測(主に、
樹冠の間隙を計測)。

各点の変位は、3~10箇所の変位の
計測の平均。誤差は、その標準偏
差。

密着印画焼き写真をスキャンし、地
形図(電子国土)を使い絶対標定。

(注意) 変位には、平行移動、拡
大、回転の自由度がある。本図は、
下盤(堅固域)の変位の2乗和が最
小になるように調整したものである。

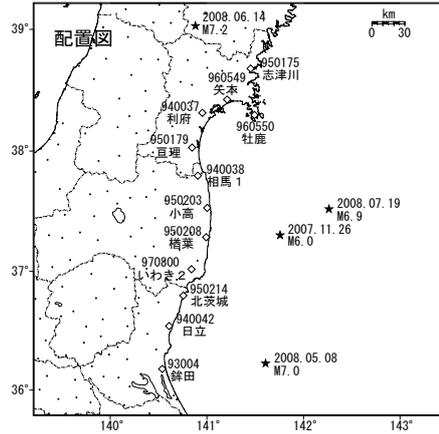
図郭に付した数値は、平面直角
座標系 第10系の
X(N) = -123,376m
Y(E) = 2,043m
を原点(0,0)とする座標値。

方向は、北から右回りの角度で
示す。

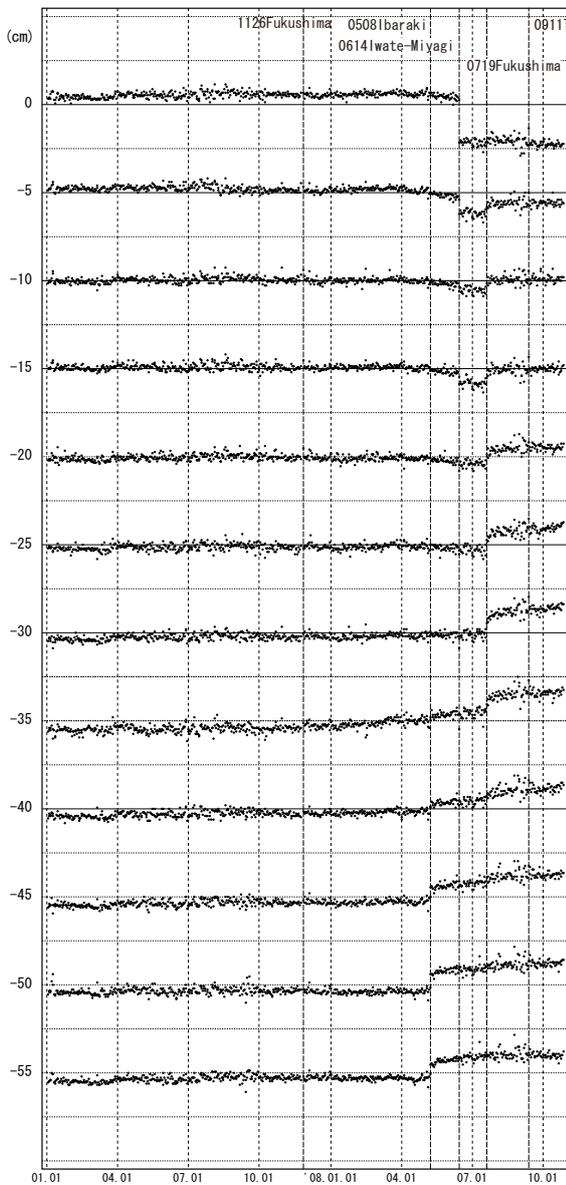
第45図 写真測量で計測した荒砥沢ダム北方の水平変動
Fig. 45 Photogrammetry measurement of horizontal displacement north of Aratozawa dam caused by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake.

宮城・福島・茨城県太平洋岸 GPS連続観測時系列

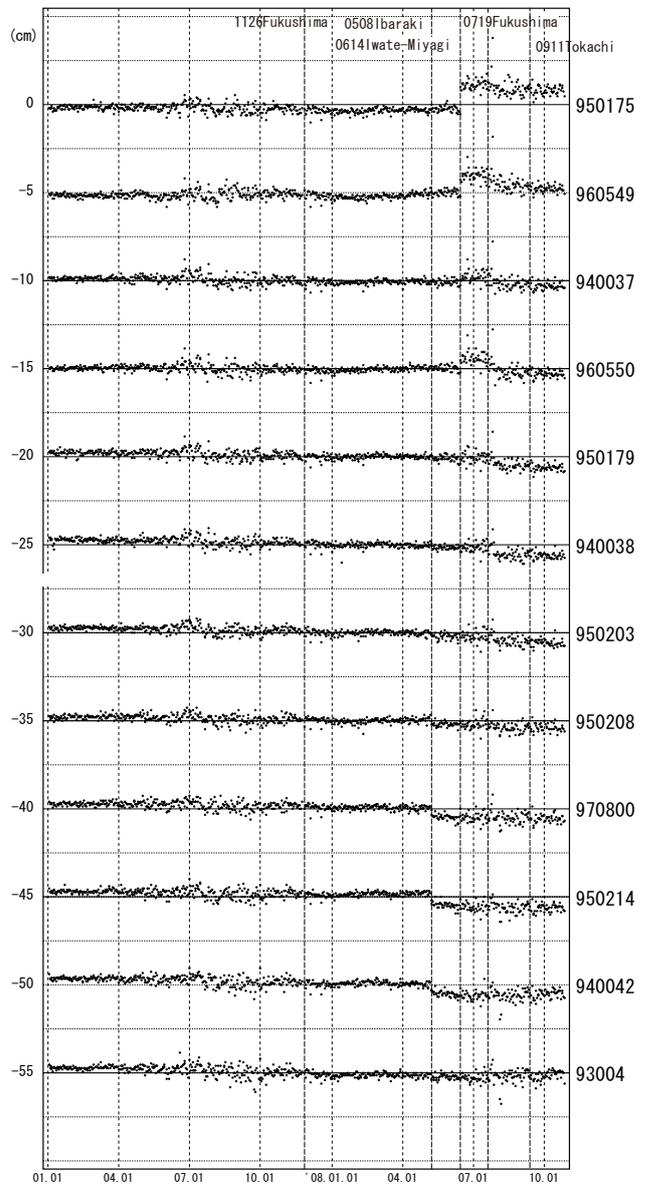
2008年5月9日の茨城県沖の地震(M7.0)、2008年7月19日の福島県沖の地震(M6.9)、2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震(M7.2)に伴う地殻変動及び余効変動の影響が見られる。



1次トレンド・半年周・年周成分除去後（東西成分）
 期間：2007.01.01～2008.10.25 JST 計算期間：2006.01.01～2008.01.01



1次トレンド・半年周・年周成分除去後（南北成分）
 期間：2007.01.01～2008.10.25 JST 計算期間：2006.01.01～2008.01.01



● --- [F2:最終解] 固定局：大湊 (950241)

第46図 宮城・福島・茨城県太平洋岸 GPS連続観測時系列

Fig. 46 Results of continuous GPS measurements on the Pacific coast of Miyagi, Fukushima and Ibaraki Prefectures.