

7 - 19 北陸・中部地方の地殻変動

Crustal Movements in the Hokuriku and Chubu District

国土地理院
Geographical Survey Institute

[水準測量 新潟県]

第1図は、2004年10月23日に発生した平成16年(2004年)新潟県中越地震の震源域よりも北西側の5~25kmだけ離れた地域を通る路線についての、地震後初めての水準測量結果である。参考として、震源域直上を通る水準路線の測量は、地震直後の2004年11~12月に実施され、震源断層上の小千谷市、川口市では、最大約74cmの隆起が観測・報告されている。

左上の柏崎市から燕市に至る日本海沿岸の路線には、柏崎市のJ3745に約9cmの沈下が見られるが、これは、消雪用地下水の過剰揚水に起因した地盤沈下である。長岡市や燕市ではわずかな沈降が見られるが、期間が13年であることから、地震による変動とは言いにくい。

右上の燕市から見附市に至る路線には、見附市に6cmを超える隆起が見られるが、断層モデルから予想される隆起より大きく、また期間が39年なので、これも地震による変動とは言いにくい。

左下の柏崎市から長岡市に至る路線には、約5年間に西の沈降と東の隆起の傾向が見られるが、これは地震の断層モデルから予想される傾向と整合している。

右下の長岡市の水準点J3761から三条市に至る路線では、断層モデルによれば、東に向かって数cmの沈降が予想されるが、見附市の6759以東は良いものの、長岡市ではモデルと大きく食い違っている。この原因は、消雪用地下水の過剰揚水に起因した地盤沈下であることが、新潟県による地盤沈下調査から明らかになっている。

[水準測量 中京地方]

第2図は中京地方の水準測量結果である。顕著な変動はない。

[GPS 御嶽山]

第3図は、岐阜県と長野県の県境に位置する御嶽山周辺のGPS連続観測結果である。固定点は豊科にとった。上段は、最近2ヶ月間の水平変動ベクトルで、御嶽山周辺の観測点で御嶽山を中心に広がるような変動が見られる。南北に比べて東西の伸びが大きい。下段は、斜距離の時系列グラフで、2006年12月中下旬以降、御嶽山を挟む基線で斜距離が伸びて、膨張を示す変動が見られる。

第4図は、御嶽山の地殻変動データを元に作成した力源モデルである。山頂の地下に、深さ10kmの球状圧力源とその上に上端の深さ5.4kmのほぼ垂直の開口割れ目を設定することで、白い矢印で示した水平変動ベクトルの計算値が黒い矢印の観測値を良く説明できる。ダイクの位置(深さと水平位置)は、2006年12月下旬に始まった山頂付近の浅い所を震源とする火山性地震の震源位置に近い。

[EDM 跡津川断層]

第5図は、富山県の有峰湖地区で行っている跡津川断層を挟んだ光波測距儀による約2年ごとの繰り返し辺長測量結果である。右横ずれの変動が継続していることが見られる。水平歪の主軸の方

向は、GPS 連続観測によるものと良く一致している。

[2007年3月25日の平成19年(2007年)能登半島地震]

第6～40図は、2007年3月25日に発生した平成19年(2007年)能登半島地震に伴う地殻変動等である。

[GPS R2 能登半島地震]

第6～8図は、GEONETによるGPS連続観測から求めた能登半島周辺の地殻変動である。地震後のGPSの測位解は、速報解(R2解)である。

第6図は、平成19年(2007年)能登半島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、福光観測点とした。震源に一番近い富来(とぎ)観測点とその東側の能登島観測点では、電子基準点ピラーが地震時に傾斜(富来5.2cm、方位角 262° ；能登島1.1cm、方位角 54°)したので、傾斜補正を施してある。水平変動は、富来で約21cm、穴水で約12cm、能登島で約7cmである。上下変動としては、それぞれ約7cmの隆起、約2cm、約3.5cmの沈降が見られる。

第7～8図は、福光観測点を基線ベクトルの始点とした8本の基線の基線ベクトル3成分の時系列グラフである。期間は、地震を挟んだ約2週間で、富来と能登島の傾斜は補正済みである。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や余効変動は見えない。

第9～10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。矩形断層面の上端の辺を実線で、それ以外の3辺を破線で示した。

[矩形震源断層モデル from GPS R2 能登半島地震]

第9～10図は、第6図の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。

第9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で示してある。電子基準点ピラーが傾斜した富来と能登島では、ベクトルの差が見られる。これらの観測値に対し、既知の傾斜量は補正しているが、表層地盤の変形・変位量は不明なので、補正していない。

第10図は、上下成分の観測値と計算値の比較で、計算値が白抜き棒で示してある。水平と同様に、富来と能登島では、約7cmと約3cmの差が見られる。傾斜の影響は無視できるが、表層地盤の変形・変位量は不明なので、補正していない。

第11図は、震源断層モデルの概念図で、インバージョンにより推定された断層パラメータも示されている。上端深さ1.2km、長さ約21km、幅約14km、走向が 55° 、傾斜角が 63° 、右横ずれ成分が約1.2m、縦ずれ量が約1.1mである。なお、インバージョンにあたって、強く拘束したパラメータは長さや幅で、やや強く拘束したのは傾斜角とすべり角、弱く拘束したのは緯度・経度・深さ・走向、拘束しなかったのはすべり量である。

第12図は、推定された矩形断層の位置の検証を行うために、余震分布との比較を行った結果である。上段の図は、断層モデルの走向方向とそれに垂直な方向の2方向から見た鉛直断面図で、位置と傾斜角が概ね一致している。下段の図は平面図で、矩形断層、一元化震源の位置の他に、産業技術総合研究所による海底活断層、金沢大学による地表断層、応用地質による門前町道下(とうげ)

集落付近の圧縮性の変状の位置も重ねて表示した。

[GPS 1秒サンプリング 能登半島地震]

第13図は、GPS1秒サンプリングデータによる座標3成分の時系列グラフである。通信障害により、地震波到達後約10秒以降、データがとぎれているものの、地殻変動の進行が見える。

第14図は、最上段が富来観測点、2段目以降、穴水、能登島、志賀（しか）観測点の1秒毎の座標値の変化と三次元的に示した図である。左列が水平断面図、中央の列が東西断面図で縦軸が上下成分、右列が南北断面図である。黒のプロットが主に地震前の位置、赤が地震後の位置を示し、1秒毎に地殻変動が進行していく様子が見える。青の△は速報解による最終的な地震時の変動を参考のために示したもので、青だけは傾斜補正済みである。

第15図は、富来と穴水の1秒データと近傍のK-netの観測点の加速度データ（2階積分で変位に変換）を比較した算定的な結果である。GPSとK-net観測点は同一でないことを考えれば、初動のセンスや大きさなどは、わりあい一致している。

[験潮]

第16図は、国土地理院の10箇所の験潮場で観測された平成19年（2007年）能登半島地震前後の潮位記録である。また、第17図は、能登半島付近の験潮場の潮位差である。

どちらにも地震時の地殻変動による潮位の飛びは見られない。第6図のGPS上下成分や第10図の断層モデルによる計算値では、輪島の上下変動量は2cm以下であり、験潮記録のノイズレベルを超えないことから、飛びが見られなくても矛盾はない。

[GPS（地震前）]

第18～19図は、2004年4月～2007年3月24日までの地震前約3年間の、福光を基線ベクトルの始点とした8観測点との基線ベクトル3成分の時系列グラフである。2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震（M7.1）の影響を除くと、特に目立った変化は見られない。（2004年10月23日の平成16年（2004年）新潟県中越地震の影響は見られない。）

[GPS F2 能登半島地震]

第20～22図は、GEONETによるGPS連続観測から求めた能登半島周辺の地殻変動である。地震前後のGPSデータとして、第172回連絡会で報告した速報解（R2解）に替わって最終解（F2解）が使用されている。

第20図は、能登半島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、福光観測点とした。震源に一番近い富来（とぎ）観測点とその東側の能登島観測点では、電子基準点ピラーが地震時に傾斜（富来 5.2cm、方位角 262°；能登島 1.1cm、方位角 54°）したので、傾斜補正を施してある。水平変動は、富来で約21cm、穴水で約12cm、能登島で約7cmである。上下変動としては、それぞれ約6cmの隆起、約2cm、約4cmの沈降が見られる。これらの数値は、図6の速報解と比べてすべて1cm以内の変更にとどまっている。

第21～22図は、福光観測点を基線ベクトルの始点とした8本の基線の基線ベクトル3成分の時系列グラフである。期間は、地震前5日間と地震後の約7週間で、富来と能登島の傾斜は補正済みである。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や余効変動は見えない。

[GPS 30 秒 最大余震 能登半島地震]

第 23 図は、GPS30 秒サンプリングデータによる高時間分解能の座標 3 成分の時系列である。余効変動及び最大余震に伴う変動については、ノイズレベルを超えるものは見えない。

[GPS 1 秒 最大余震 能登半島地震]

第 24～27 図は、GPS1 秒サンプリングデータによるさらに高時間分解能の座標 3 成分の時系列である。地震時の地殻変動が大きかった富来等 8 点の 3 成分について、第 24～25 図には 3 月 25 日 18:11:45 (M5.3) の最大余震前後の時系列、第 26～27 図には 3 月 26 日 7:16:36 (M5.3) の最大余震前後の時系列を示した。どちらの余震についても、ノイズレベルを超える変動は見えない。

[合成開口レーダー (SAR) Ascending]

第 28 図は、「だいち」(ALOS) PALSAR データの干渉解析結果である。西南西上空の入射角約 47° (高度角約 43°) の人工衛星から 2007 年 2 月と 4 月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。画像の上下端に見える青の場所を基準にすると震源に至るまでに 4 サイクル以上衛星に近づくセンスの位相変化が数えられるので、47.2cm 以上の地殻変動が観測された。

[震源断層モデル すべり分布 SAR・GPS]

第 29 図は、「だいち」PALSAR の干渉画像と GPS 3 成分から推定した断層面上のすべり分布である。走向 (55°) と傾斜 (63°) は、図 11 の矩形断層・一様すべりと同じ値を使用し、干渉 SAR(2007/02/23 - 2007/04/10) と GPS の観測結果に基づき、矩形断層の位置を推定。その上端深さ、走向、傾斜角を拘束し、矩形断層を幅 20km、長さ 34.5km に拡張した面上で詳細なすべり分布を推定した。解を安定させるために、上端のすべり量は 0 とした。すべり量の大きな場所は、震源のすぐ上から南西方向の浅い方に伸びており、最大すべり量は、約 3.5m で、主要なすべり角は 140° ~ 150° である。

第 30～31 図は、震源断層モデルのフィッティングの程度を評価するための図である。

第 30 図は、地殻変動ベクトルの観測値とモデル計算値の比較で、上段が水平、下段が上下成分、計算値が白抜き矢印で示してある。電子基準点ピラーが傾斜した富来と能登島では、ベクトルの差が見られる。これらの観測値に対し、既知の傾斜量は補正しているが、表層地盤の変形・変位量は不明なので、補正していない。

第 31 図は、干渉画像について、上段左に観測画像、上段右に断層モデルによるシミュレーション画像、さらに、下段に差分を示した。局所的な地盤変動を除いて、長い空間波長の残差は少なく、フィッティングは良好である。

[合成開口レーダー (SAR) Ascending+Descending]

第 32 図は、「だいち」PALSAR の干渉画像 2 枚 (アセンディングとディセンディング) と GPS 3 成分から推定した断層面上のすべり分布である。走向 (55°) と傾斜 (63°) は、図 11 の矩形断層・一様すべりと同じ値を使用し、干渉 SAR(アセンディング; 2007/02/23 - 2007/04/10) と GPS の観測結果に基づき、矩形断層の位置を推定。その上端深さ、走向、傾斜角を拘束し、矩形断層を幅 20km、長さ 34.5km に拡張した面上で詳細なすべり分布を、2 つの干渉 SAR 解析 (アセンディング; 2007/02/23 - 2007/04/10 及び ディセンディング; 2006/12/23 - 2007/05/10) と GPS の観測結果を用いて推定した。解を安定させるために、上端のすべり量は 0 とした。干渉画像のコヒー

レンス（干渉性）が異なることから、インバージョンの際には、アセンディングの観測値の重みをディセンディングの1.5倍にした。第29図と比較して、顕著な差異はなく、震源の南西側浅部のすべりは本物であると見られる。ただし、この浅部のすべりの位置は、約1.5km陸側のBに近づいた。また、すべり角が若干小さくなり横ずれ成分に対する縦ずれ成分の比が大きくなった。

第33図には、上段(1)にアセンディング、下段(2)にディセンディングの干渉画像を示した。左列の観測画像と右列の断層モデルによるシミュレーション画像を比較すると、局所的な地盤変動を除いて、長い空間波長の変動の差異は小さく、フィッティングは良好である。

[海成段丘の旧汀線高度と接峰面図]

第34図の上段左は1997年に国土地理院が作成した10万分の1地殻変動土地条件図（第172回連絡会で配布）の一部（能登半島地震震源域周辺）である。富来～門前の西海岸には数段の海成段丘がよく発達し、特にM1面（オレンジ色）は連続性がよい。下段の図は各段丘の旧汀線高度を示したものである。M1面は、B付近で約20m、C付近で約60mで、北に向かって高度を増している。同様の傾向は高位の段丘にもみられる。これは、SARや生物痕により示された今回の地震に伴う隆起パターンと整合することから、今回の地震と同様の地殻変動が地震のたびに繰り返り、累積していると考えられる。M1面におけるBとCの高度差40mがすべて今回の地震による隆起パターンで形成されたとすると、平均活動間隔はおよそ1000年となる。一方、上段右の図はデジタル標高データから作成した1kmメッシュの接峰面図である。断層の東方延長を挟んだ両側の山地の高度には差が見られず、変位を累積させる断層が東方の陸上部へ延長していることは考えにくい。

[干渉SAR画像にみる輪島市門前町中野屋の「地震断層」]

第35図は、地震発生直後に金沢大学から報告された「地震断層」の地点を干渉SAR画像（断層モデルで求めた地殻変動を取り除いた残差画像）でみたものである。地表地震断層の出現を示唆するシャープな地表の変位を示す画像は観察されず、この地点の東側の斜面がわずかに衛星方向に移動したことを示唆するパターンがみられ、「地震断層」は地震時の地すべり性の移動による変状である可能性が高い。なお、その後、山形大と金沢大は、この地点でトレンチ調査を行い、この「断層」は、過去の地すべり面を境に、上盤側の地すべり堆積物が地震動により移動した非構造的断層であると報告している。

[地震前のトレンド変化]

第36～38図は、第172回連絡会での統計数理研究所からの報告の中であったGEONETの震源付近の観測点で2001年末以降トレンドが変わったとの指摘に関連した資料である。第36図に示した4本の基線は、斜距離変動速度の変化が特に大きいと報告された基線である。第37～38図は、これら4本の基線の1997年4月～2001年12月までの期間のトレンド・年周・半年周を取り除いた斜距離と3成分の時系列である。

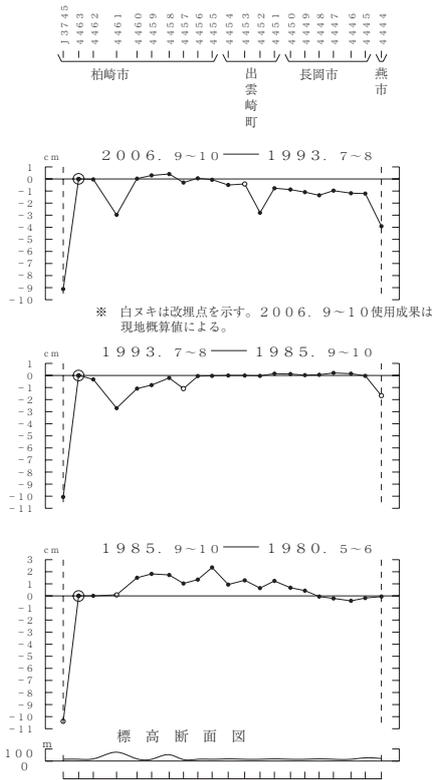
第38図の(1)小木（おぎ）－富来（とぎ）、(2)鳥越（とりごえ）－輪島の基線では、地震や受信機交換による飛びを考慮すると顕著なトレンド変化はないように見える。

第43図の能登島を端点とする2本の基線(3)糸魚川1－能登島、(4)能登島－大町では、2003年夏頃から南北成分のゆらぎが大きくなっており、また2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震の影響もあり、トレンド変化に関する詳細な議論は難しい。

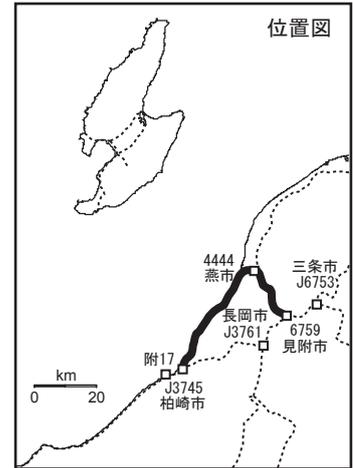
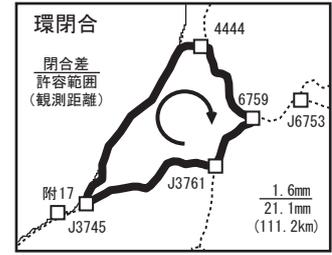
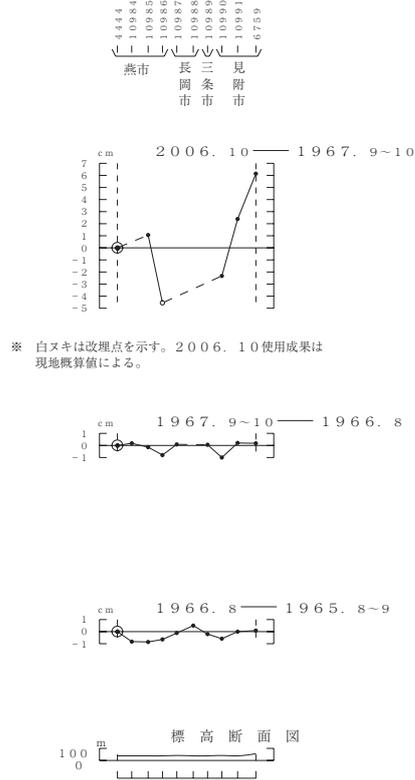
参 考 文 献

- 1) 国土地理院, 2004, 中部・近畿地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 72, 510-514.
- 2) 国土地理院, 2005, 北陸地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 73, 269-317.
- 3) 国土地理院, 2005, 中部・近畿地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 73, 426-463.
- 4) 国土地理院, 2005, 北陸地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 74, 331-345.
- 5) 国土地理院, 2005, 中部・近畿地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 74, 365-380.
- 6) 国土地理院, 2006, 北陸地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 75, 443-450.
- 7) 国土地理院, 2006, 長岡における絶対重力測定, 地震予知連絡会会報, 75, 451-452.
- 8) 国土地理院, 2006, 北陸・中部地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 76, 446-463.

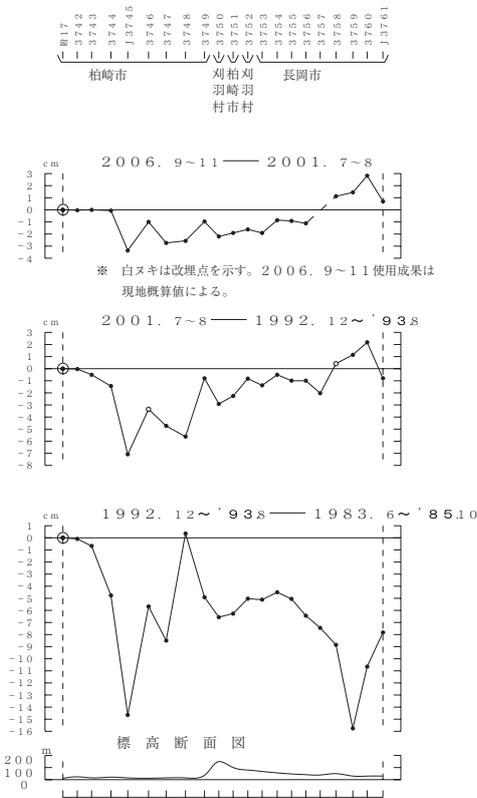
柏崎市～燕市間の上下変動



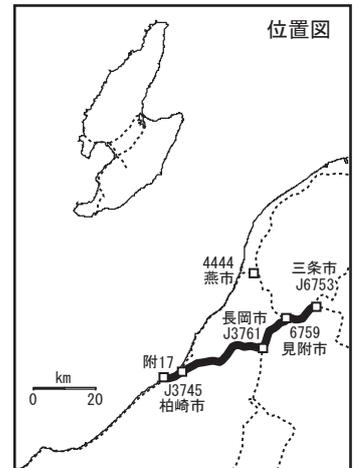
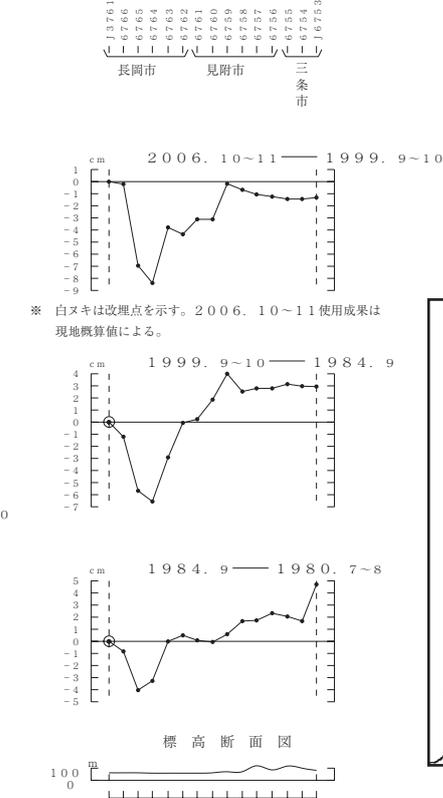
燕市～見附市間の上下変動



柏崎市～長岡市間の上下変動



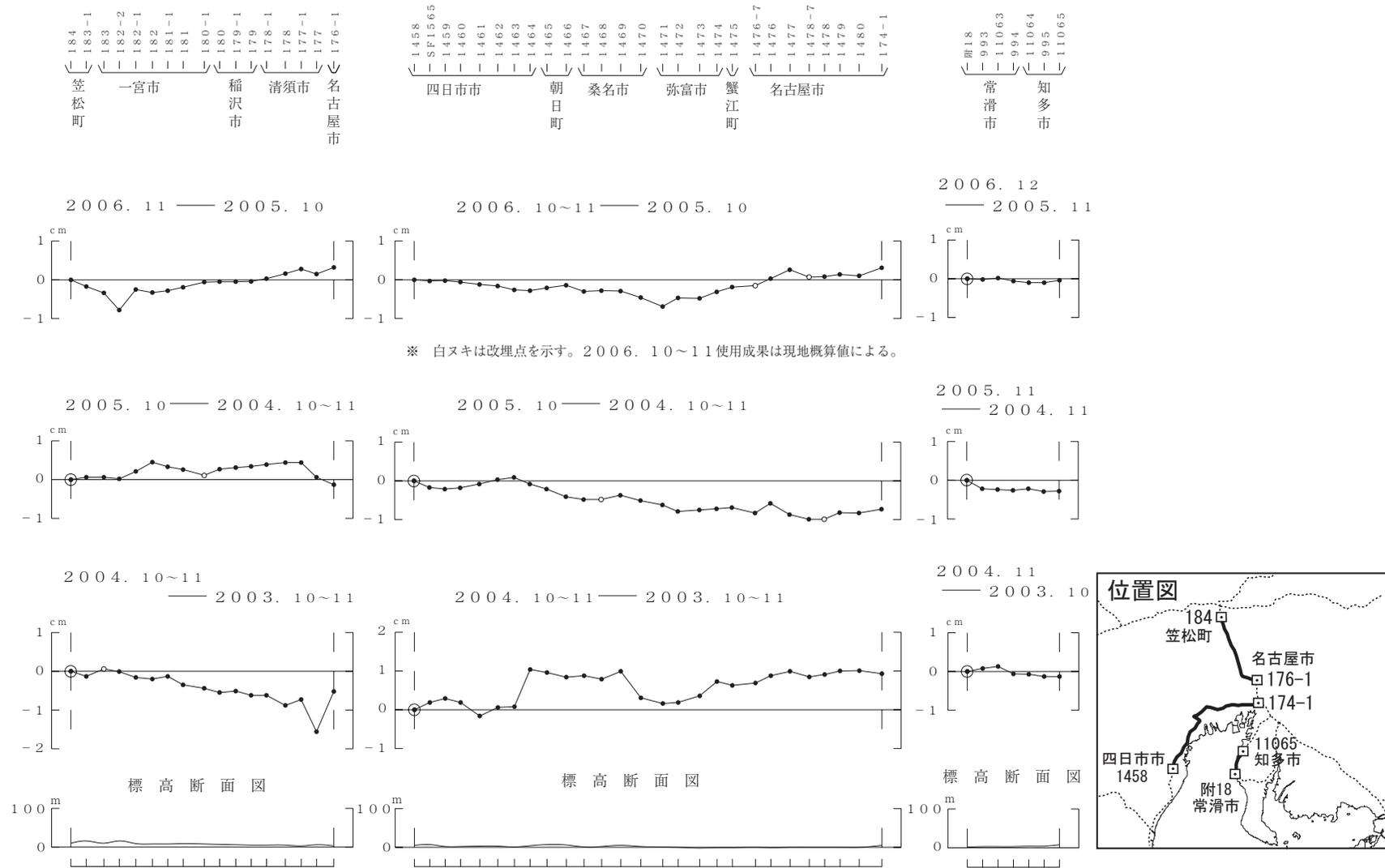
長岡市～三條市間の上下変動



第1図 柏崎市～燕市間の上下変動

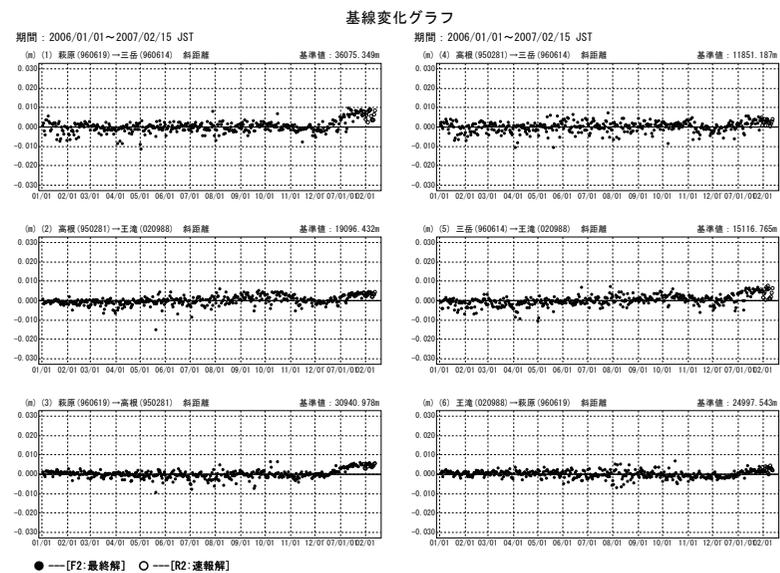
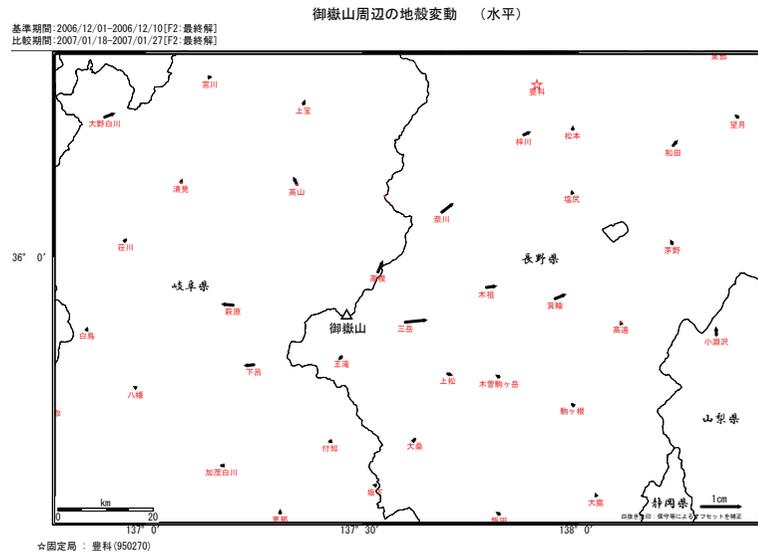
Fig.1 Results of leveling survey from Kashiwazaki city to Tsubame city

中京の上下変動

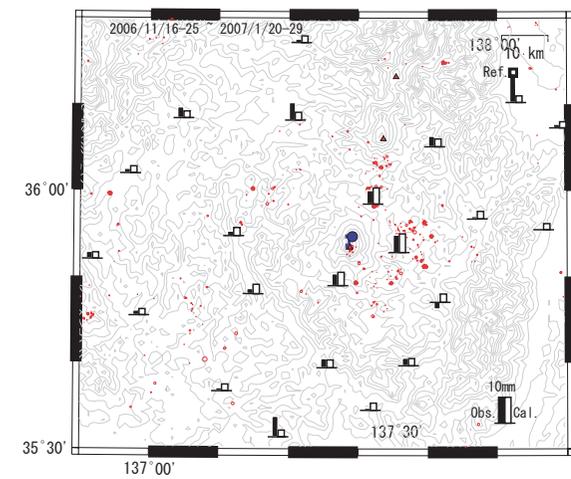
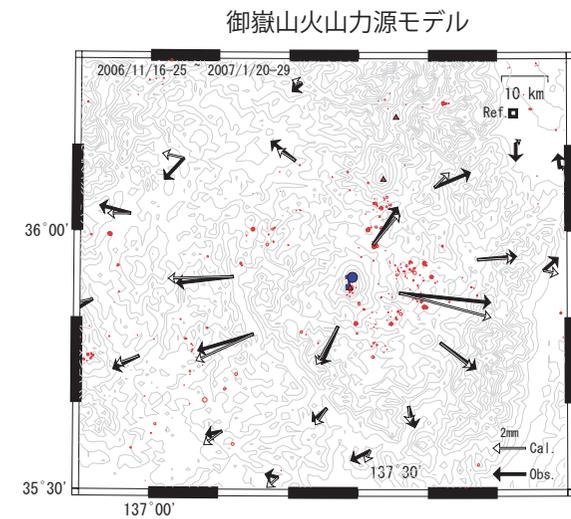


第2図 中京の上下変動

Fig.2 Results of leveling survey of Chukyo region



第3図 御嶽山周辺の地殻変動 (水平)
Fig.3 Horizontal Crustal Movements around Ontake-san by GPS Continuous Measurements.



力源モデル (球状圧力源 (丸の領域) + 開口断層 (矩形領域)) の最適パラメータ
球状圧力源: N35.911 E137.485 Depth 10.0km ΔV 3.7×10^3 m³
開口断層: N35.913 E137.478 Depth 5.4km Length 2.7km Width 0.300km
Strike 179 Dip 83 Open 0.33m [ΔV 4.5×10^3 m³]

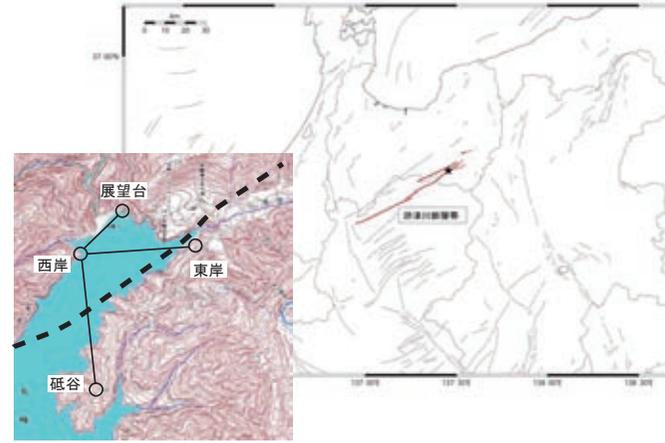
赤丸は、2006/12/1~2007/1/29の気象庁一元化震源 (深さ30km以浅) を表す。

第4図 御嶽山火山力源モデル
Fig.4 Pressure Source Model. Comparisons of horizontal and vertical displacements between GPS observation and calculation from the model.

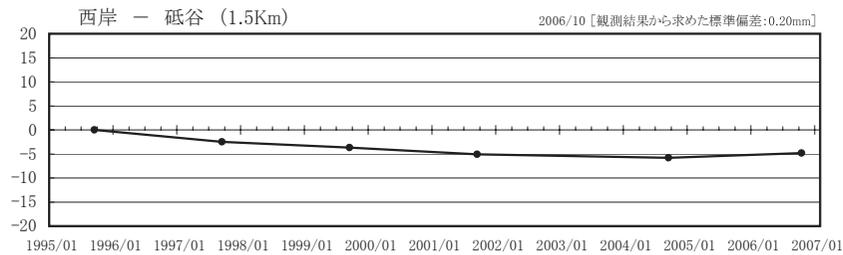
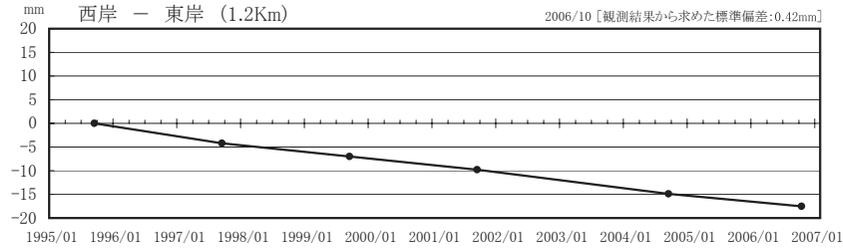
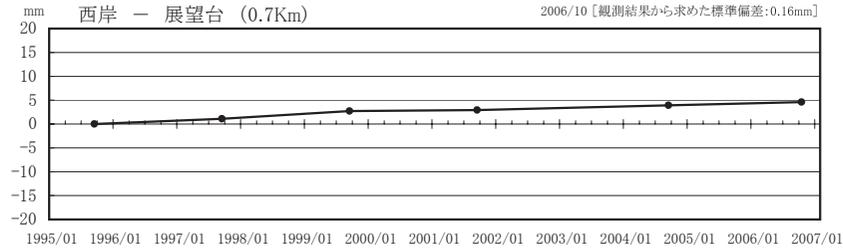
跡津川(有峰湖地区) 変動地形調査測量結果

位置図

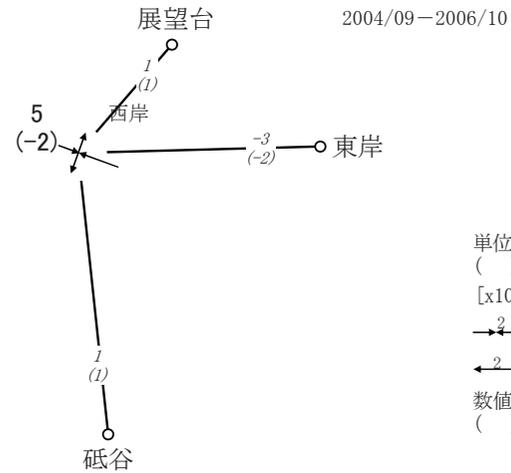
区間	測定年月	1995/09	1997/09	1999/09	2001/09	2004/09	2006/10
西岸～展望台	m	694.4769	.4780	.4796	.4798	.4808	.4815
西岸～東岸		1185.409	.4044	.4016	.3988	.3937	.3911
西岸～砥谷		1470.687	.6848	.6836	.6822	.6815	.6825



辺長の経年変化



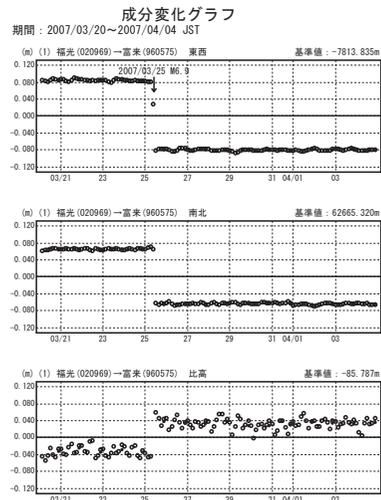
水平歪・辺長変化



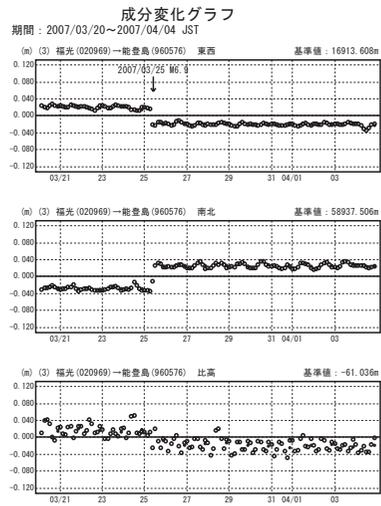
単位 mm
 () $\Delta s / S$
 [$\times 10^{-6}$]
 → 縮み 主軸
 ← 伸び
 数値 最大せん断歪
 () 面積変化率

※機器 ME-5000 (公称精度:0.2mm+0.2ppm)

第5図 跡津川(有峰湖地区)変動地形調査測量結果
 Fig.5 Distances from EDM survey around Atotsugawa fault



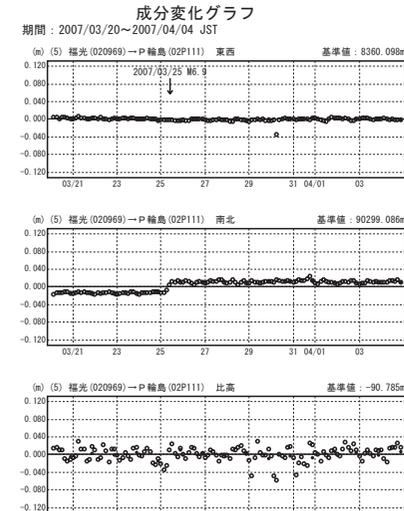
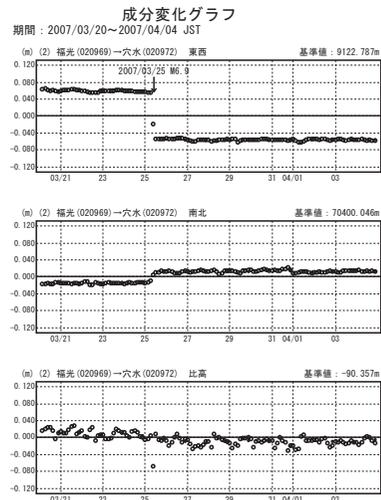
※「富来」の傾斜による変位は補正しています。



※「能登島」の傾斜による変位は補正しています。

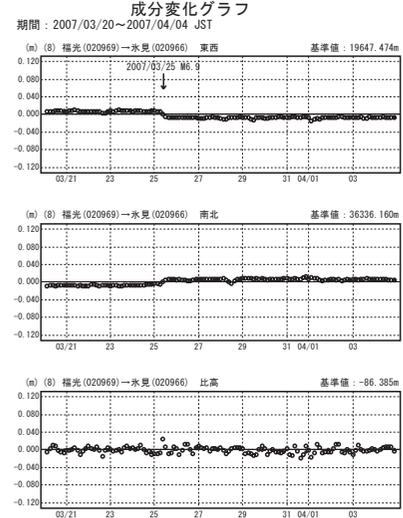
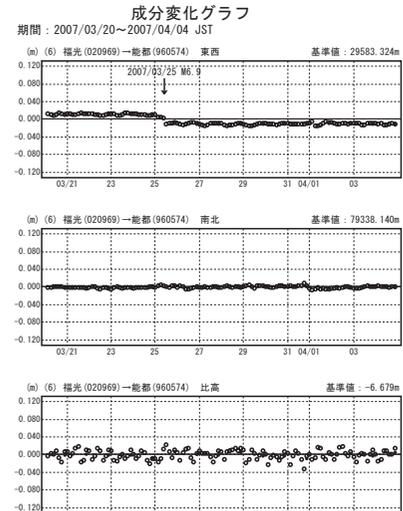
○ — [02:迅速解] ● — [R2:速報解]

第7図 能登半島におけるGPS連続測定結果（速報解）
Fig.7 Results of continuous GPS measurements in Noto Peninsula (R2)



○ — [02:迅速解] ● — [R2:速報解]

第8図 能登半島におけるGPS連続測定結果（速報解）
Fig.8 Results of continuous GPS measurements in Noto Peninsula (R2)

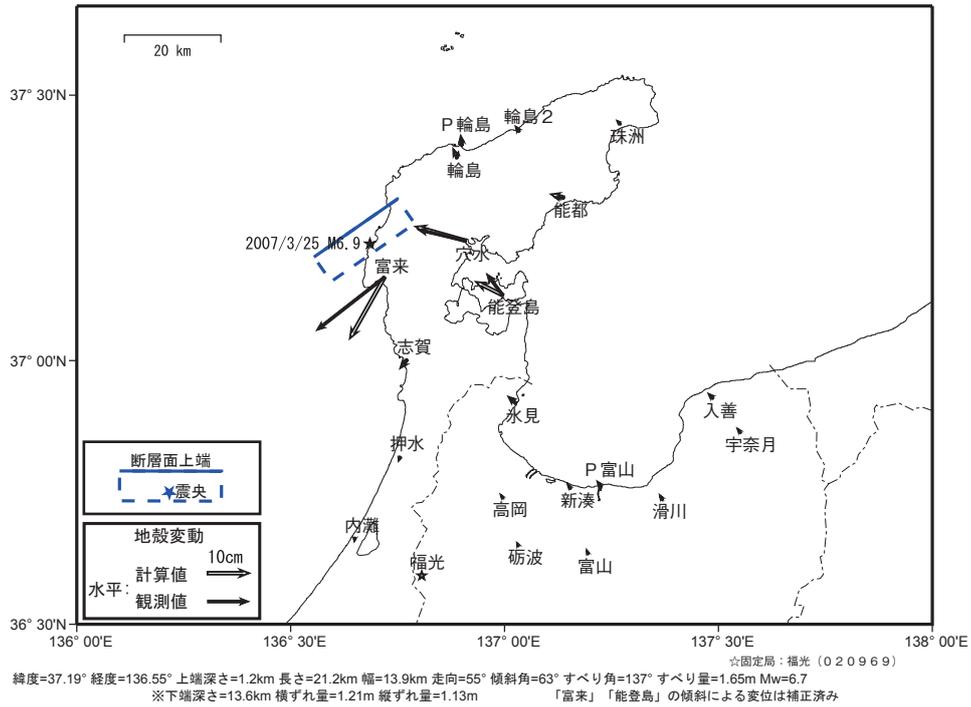


○ — [02:迅速解] ● — [R2:速報解]



平成19年能登半島地震 断層モデル

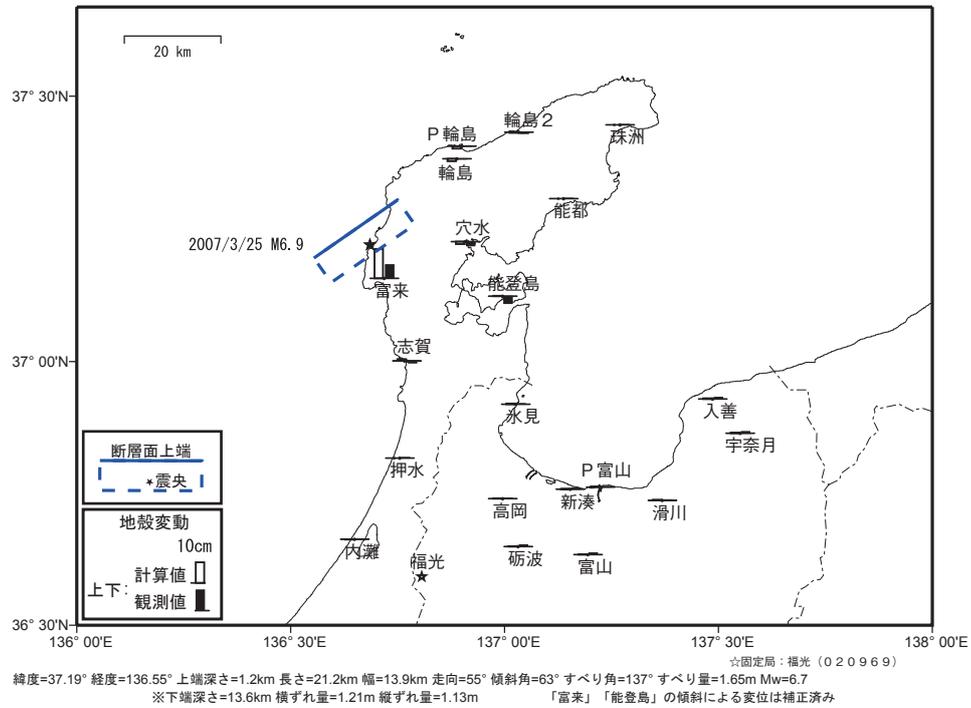
基準期間: 2007/03/18 - 2007/03/24
比較期間: 2007/03/26 - 2007/03/26



第9図 平成19年能登半島地震断層モデル（水平，速報解使用，矩形断層一様すべり）
Fig.9 Horizontal ground displacements detected by the GPS array and an estimated fault model. Black arrow shows observations, while white arrow shows computation values from the model.

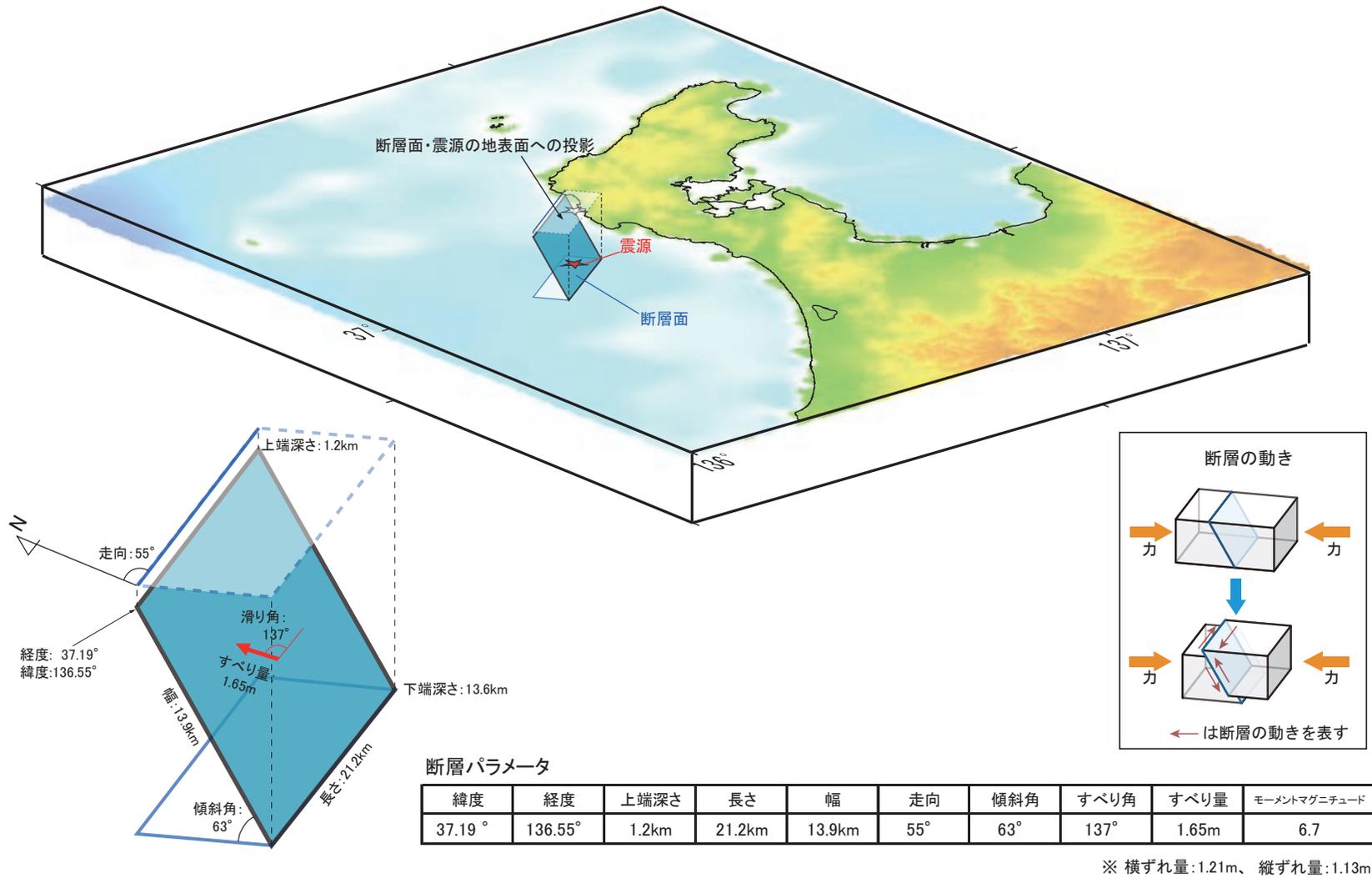
平成19年能登半島地震 断層モデル

基準期間: 2007/03/18 - 2007/03/24
比較期間: 2007/03/26 - 2007/03/26



第10図 平成19年能登半島地震断層モデル（上下，速報解使用，矩形断層一様すべり）
Fig.10 Vertical ground displacements detected by the GPS array and an estimated fault model.

平成19年能登半島地震 断層モデルの概念図

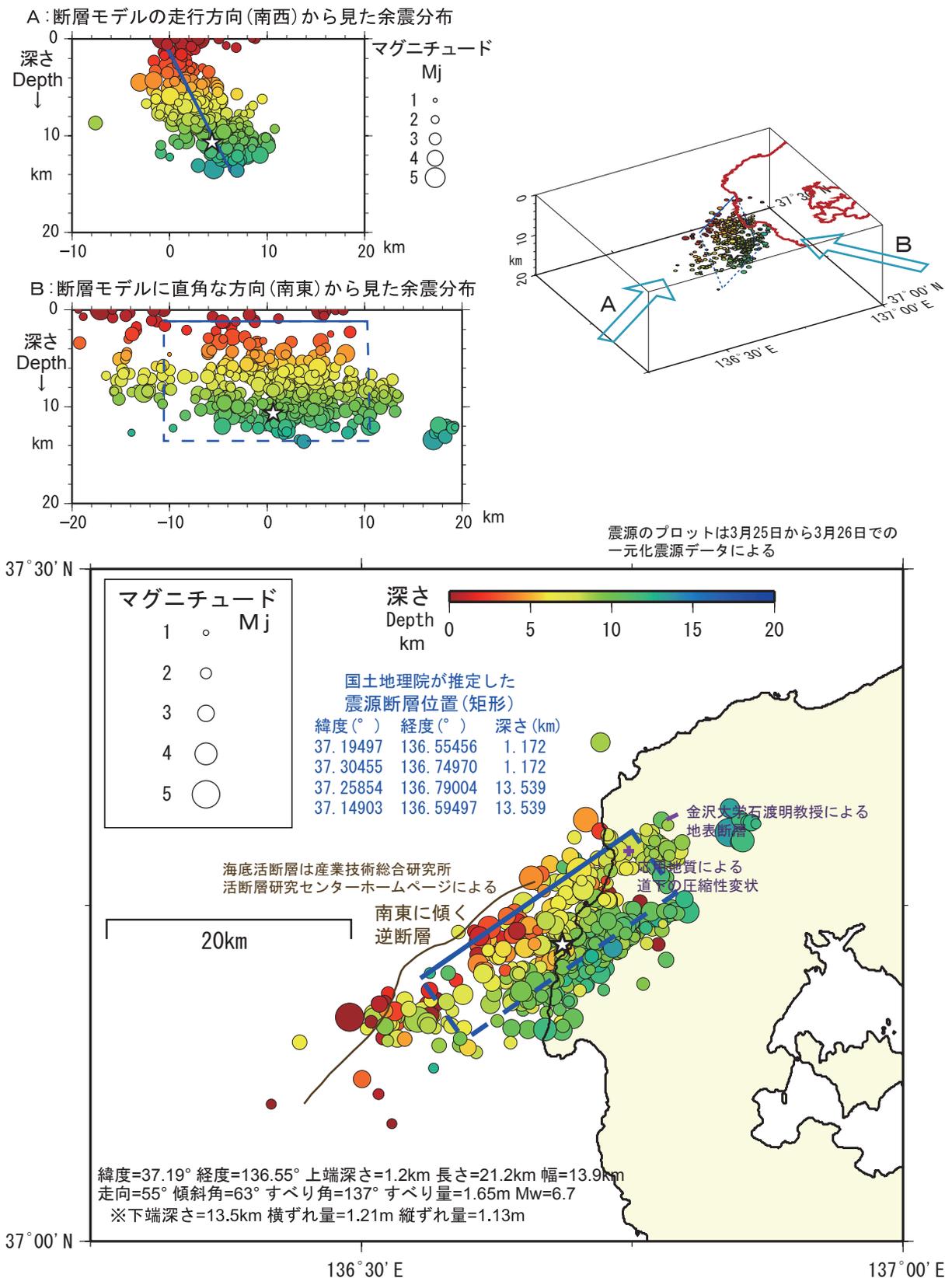


第 11 図 平成 19 年能登半島地震断層モデルの概念図と断層パラメータ

Fig.11 Schematic diagram and fault parameters of the earthquake source fault model of the Noto Hanto Earthquake in 2007.

平成19年(2007年)能登半島地震を起こした震源断層の姿 The Noto Hanto Earthquake in 2007

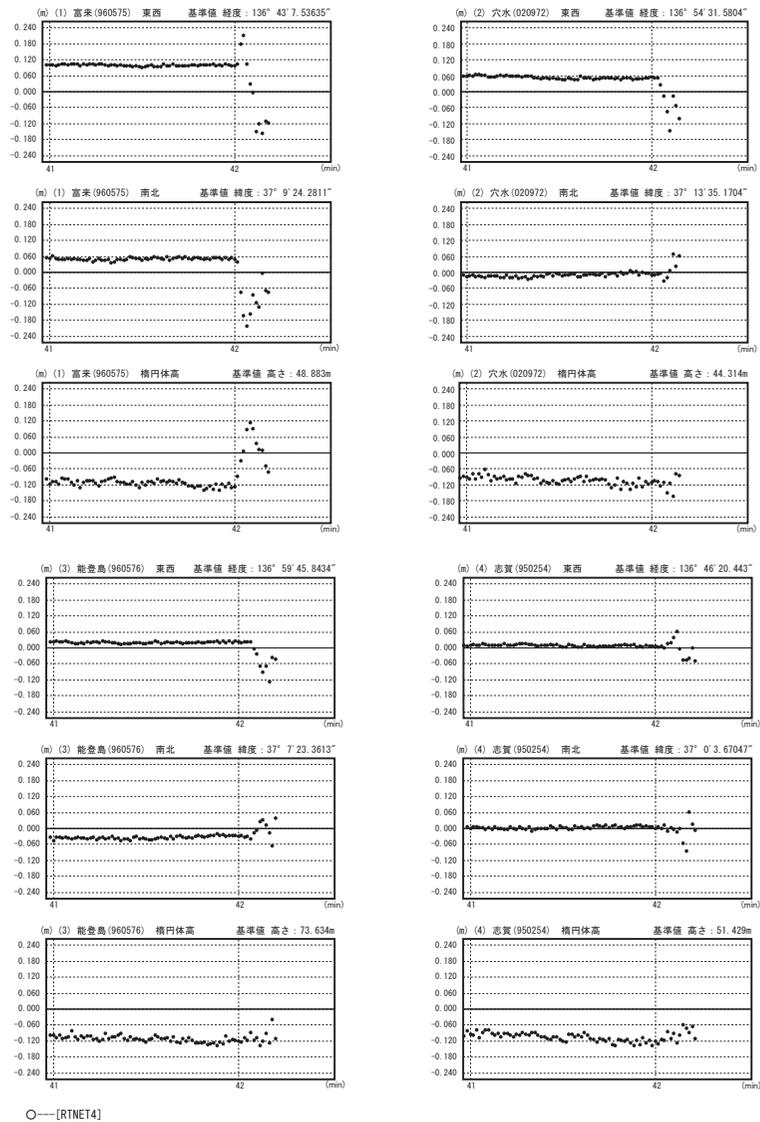
震源断層モデル, 余震(3月25, 26日)分布, 海底活断層, 地表断層



第12図 平成19年(2007年)能登半島地震を起こした震源断層の姿

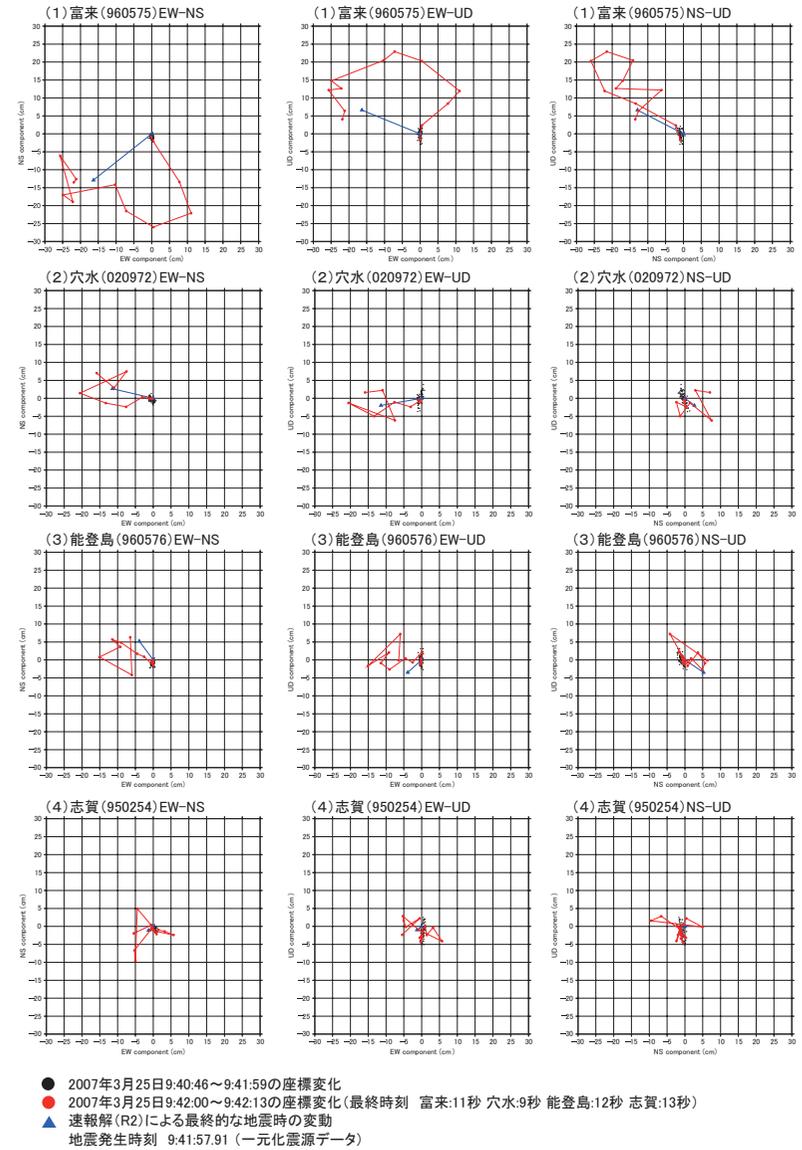
Fig.12 Parameters for the fault model of the Noto Hanto Earthquake in 2007, hypocenter of aftershocks, submarine active fault, and surface rupture.

1秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化(1)(暫定)
座標変化グラフ



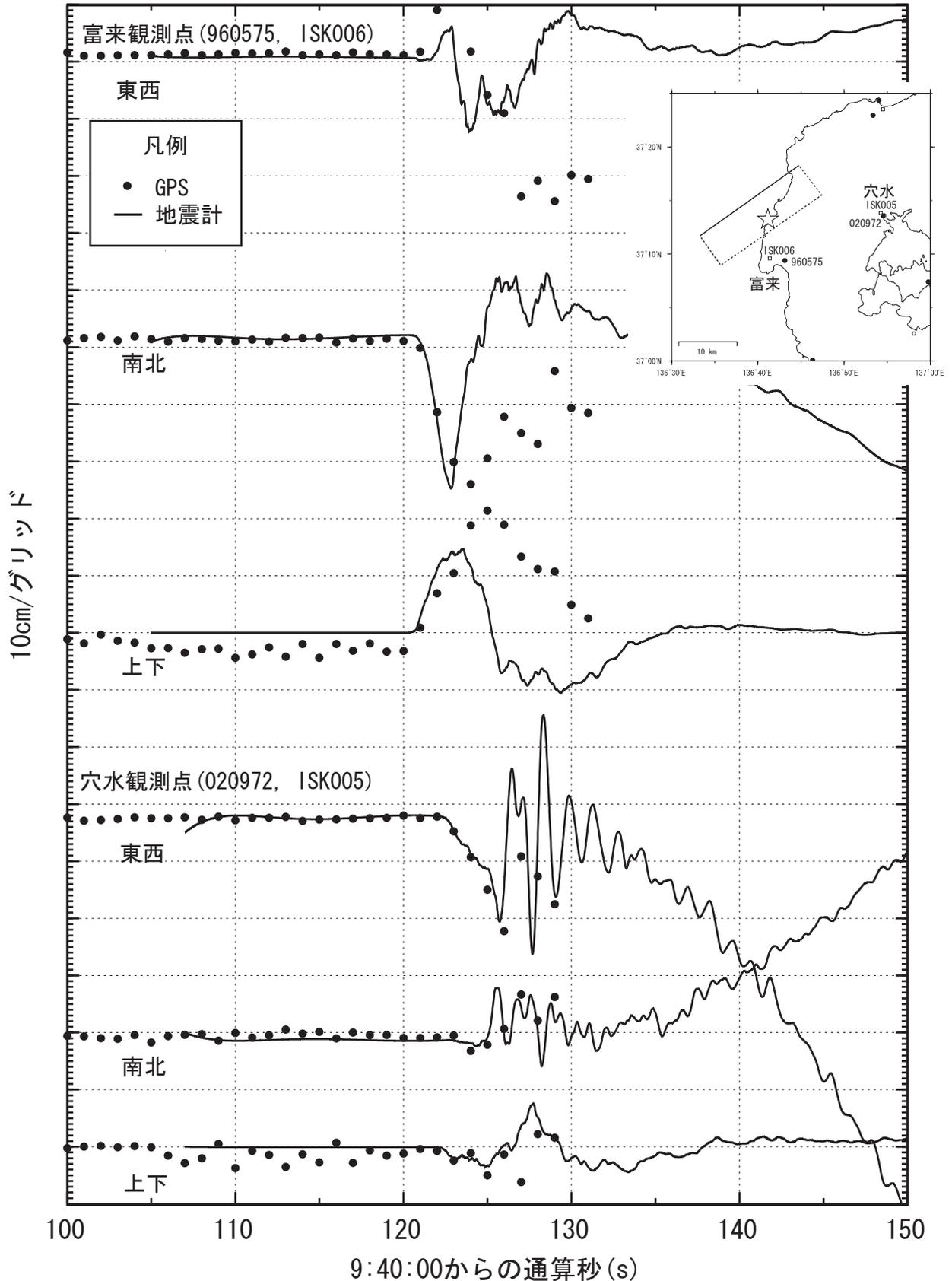
第 13 図 1 秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化(1)(暫定)
Fig.13 Displacements of the 2007 Noto Hanto Earthquake measured by one Hz sampling GPS

1秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化(2)(暫定)



第 14 図 1 秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化(2)(暫定)
Fig.14 Particle motion plots of the displacements by one Hz sampling GPS

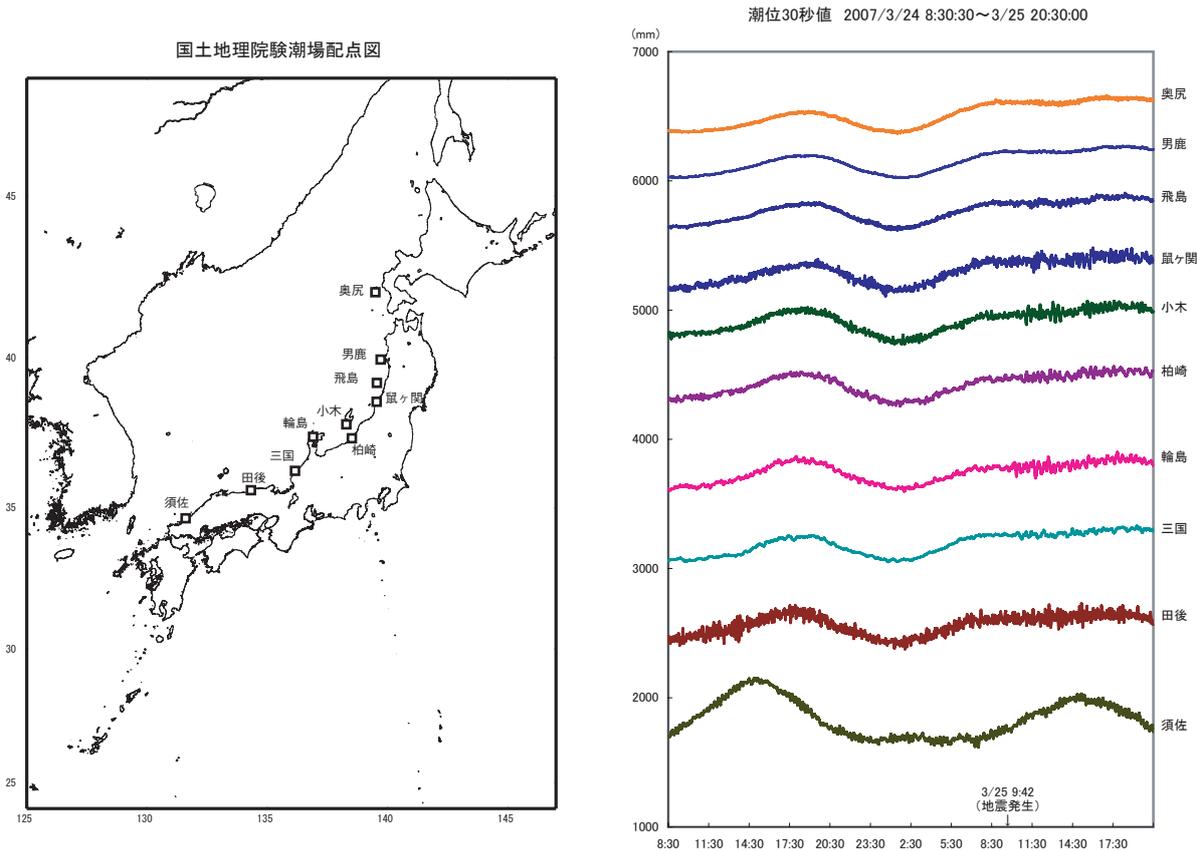
1秒サンプリングGPS解析による座標変化（3）地震計（K-net）との比較（暫定）



地震計のデータは、加速度記録に20秒のハイパスフィルター処理を行なった後、積分を2回行なった。なお、地震計のデータとして防災科学技術研究所K-netを使用した。

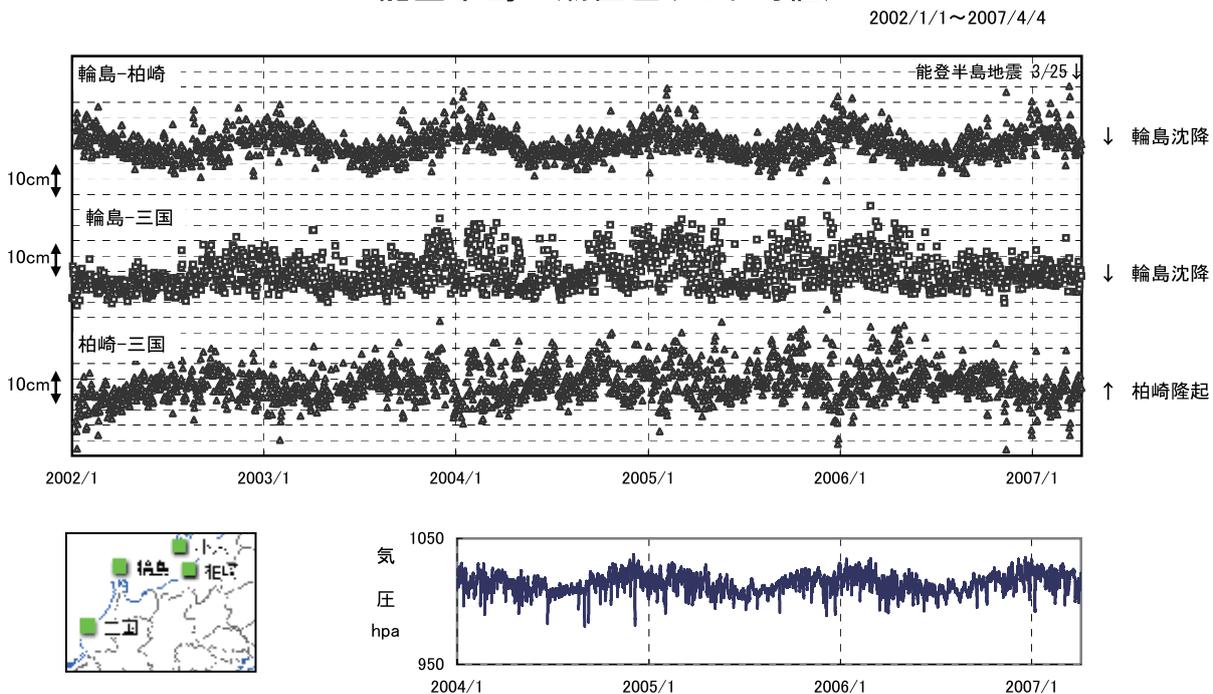
第15図 1秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化（3）
地震計（K-net）との比較（暫定）

Fig.15 Comparison of the displacements between the one Hz GPS and integral of K-net seismometer records

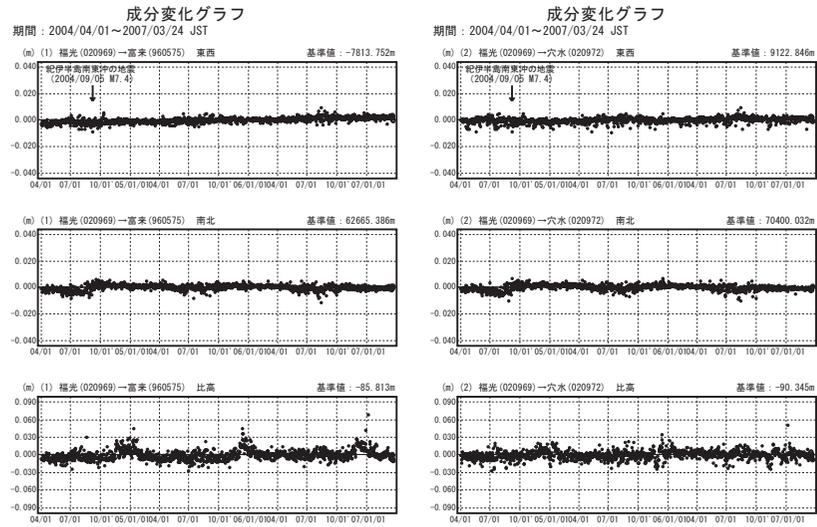


第 16 図 平成 19 年（2007 年）能登半島地震前後の潮位記録
 Fig.16 Tide level records at GSI's tidal stations before and after the Noto Hanto Earthquake of 25 March 2007.

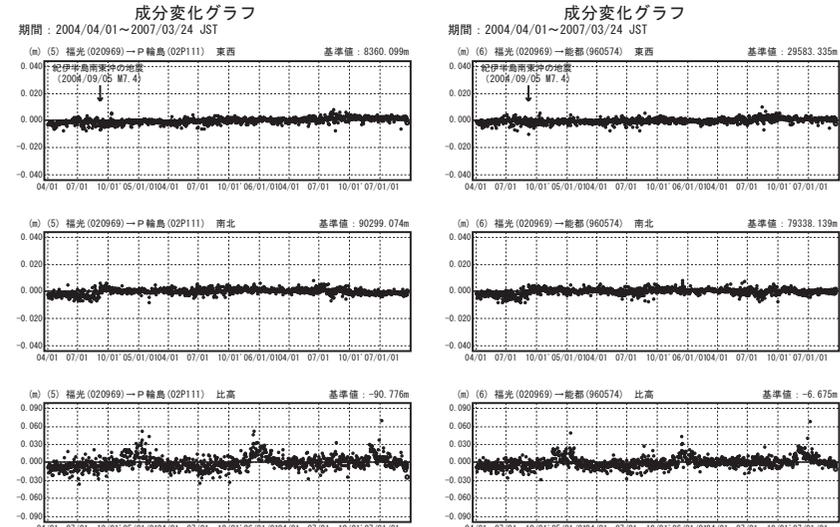
能登半島の潮位差(日平均值)



第 17 図 平成 19 年（2007 年）能登半島地震前後の潮位差（日平均值）
 Fig.17 The difference of daily mean tide level between tidal stations before and after the earthquake.

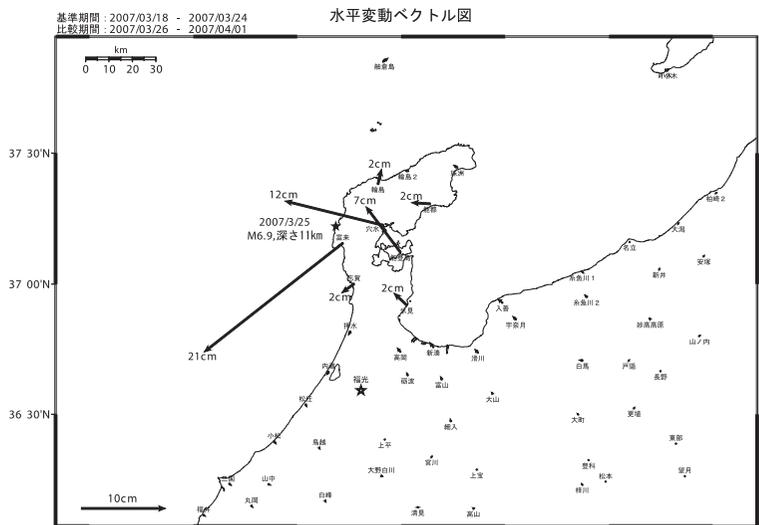


第 18 図 能登半島における地震前 GPS 連続観測結果 (2004 年 4 月 1 日～2007 年 3 月 24 日・3 成分)
 Fig. 8 Results of Continuous GPS Measurements on Noto Peninsula from April 1, 2004 to March 24, 2007 (3 components) (1/2)



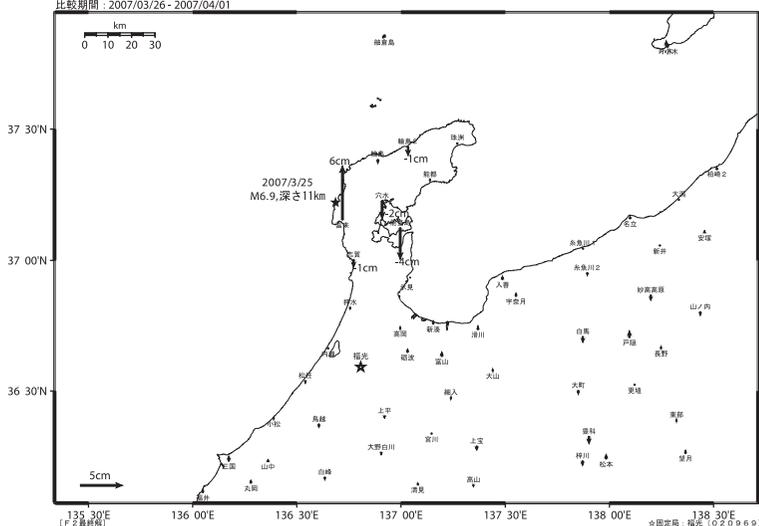
第 19 図 能登半島における地震前 GPS 連続観測結果 (2004 年 4 月 1 日～2007 年 3 月 24 日・3 成分)
 Fig.19 Results of Continuous GPS Measurements on Noto Peninsula from April 1, 2004 to March 24, 2007 (3 components) (2/2)

平成19年（2007年）能登半島地震に伴う地殻変動



基準期間：2007/03/18 - 2007/03/24
比較期間：2007/03/26 - 2007/04/01

上下変動ベクトル図 ※「富来」「能登島」の傾斜による変位は補正しています。

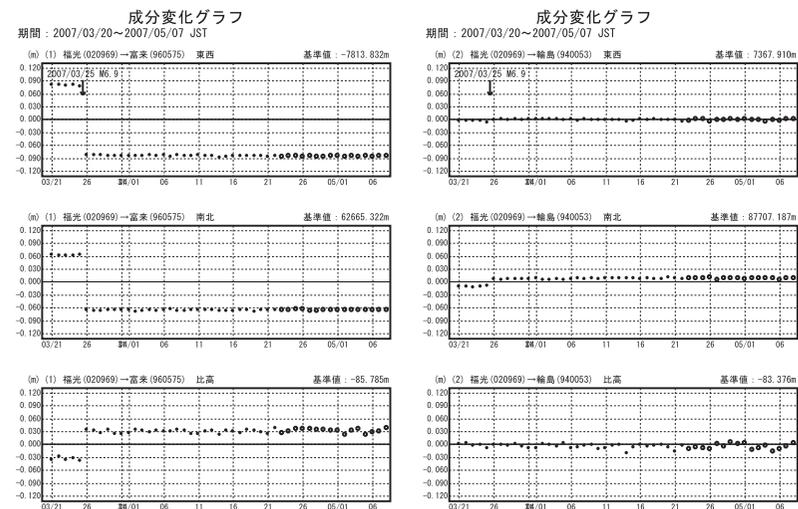


基準期間：2007/03/18 - 2007/03/24
比較期間：2007/03/26 - 2007/04/01

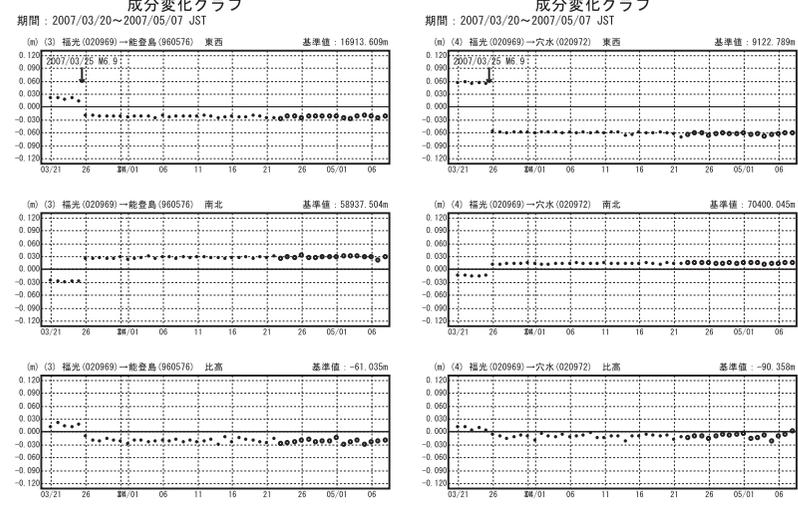
第20図 a 平成19年（2007年）能登半島地震（M6.9）に伴う地殻変動（水平，最終解）
Fig.20a Crustal deformation associated with M6.9 Noto Hanto Earthquake in 2007 (horizontal, F2)

第20図 b 平成19年（2007年）能登半島地震（M6.9）に伴う地殻変動（上下，最終解）
Fig.20b Crustal deformation associated with M6.9 Noto Hanto Earthquake in 2007 (vertical, F2)

平成19年（2007年）能登半島地震に伴う基線変化グラフ



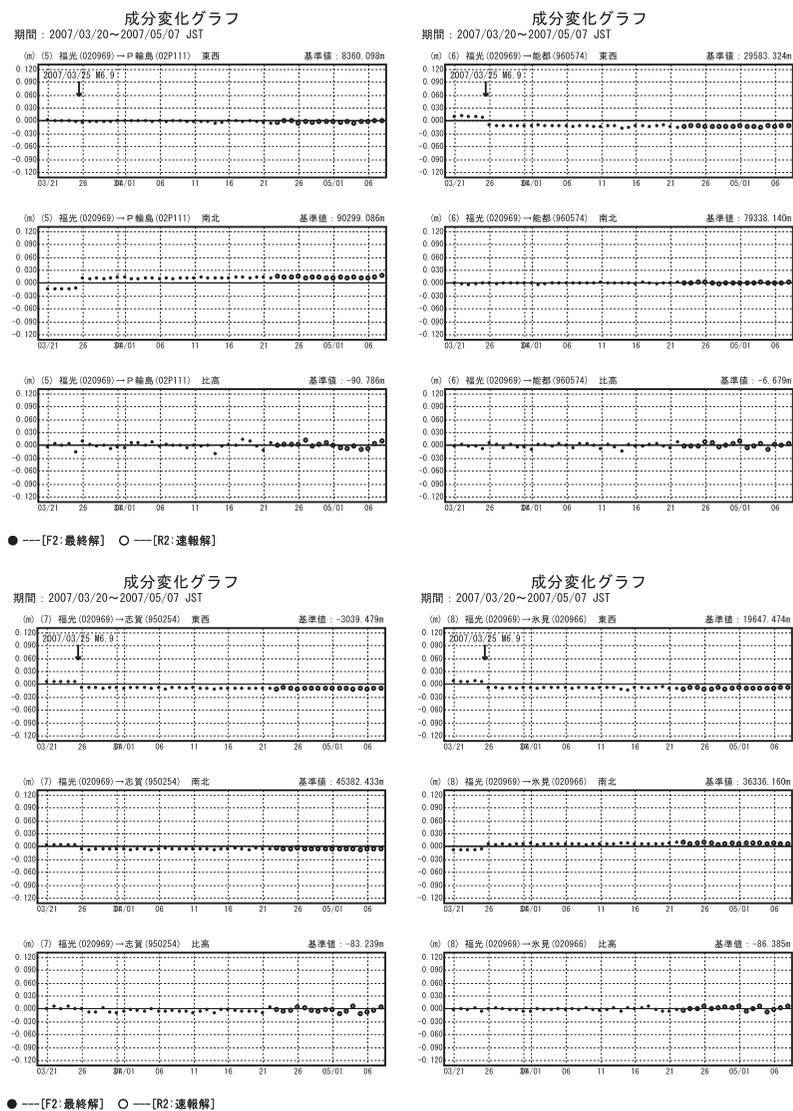
●—[F2:最終解] ○—[R2:速報解] ※「富来」の傾斜による変位は補正しています



●—[F2:最終解] ○—[R2:速報解] ※「能登島」の傾斜による変位は補正しています

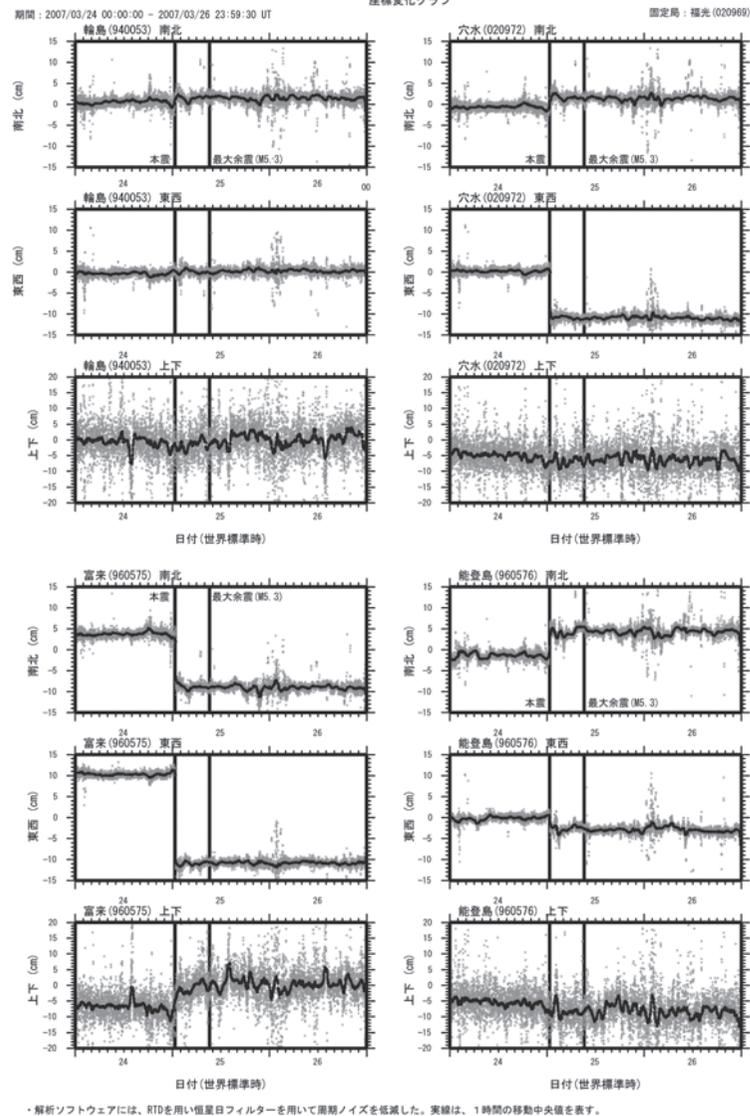
第21図 能登半島におけるGPS連続測定結果
Fig.21 Results of continuous GPS measurements in Noto Peninsula

平成19年（2007年）能登半島地震に伴う基線変化グラフ

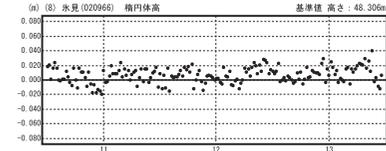
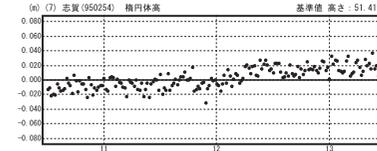
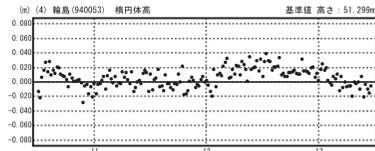
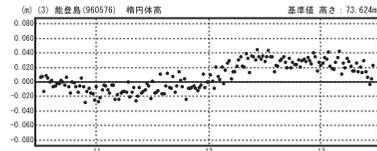
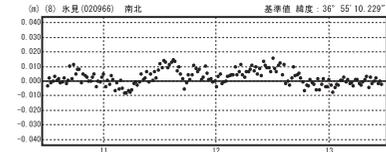
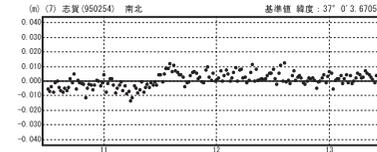
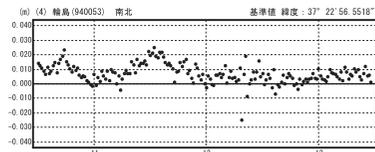
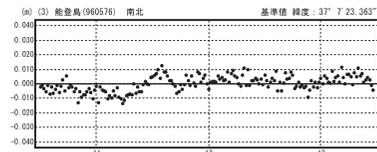
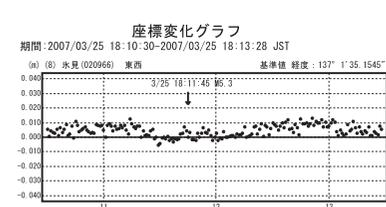
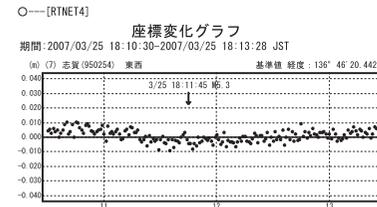
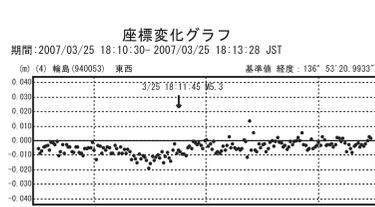
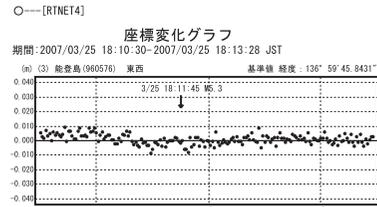
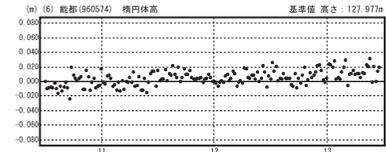
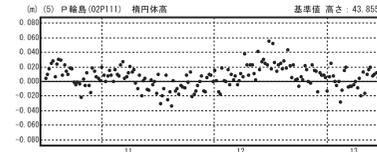
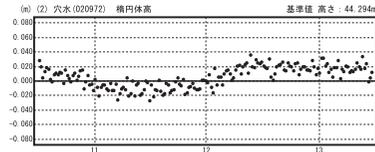
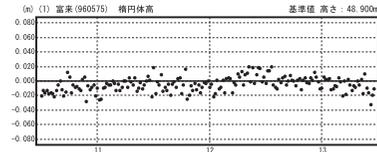
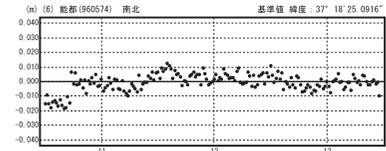
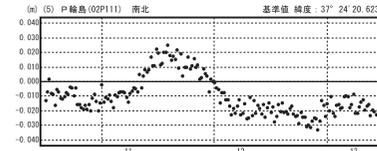
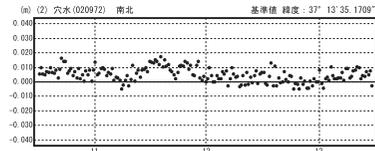
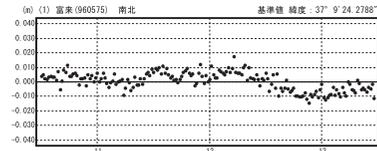
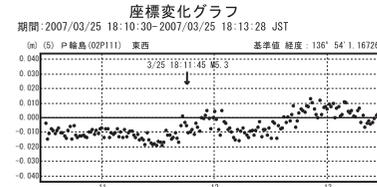
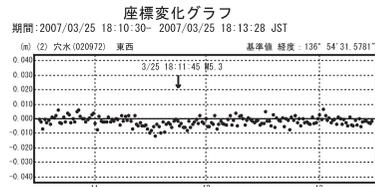
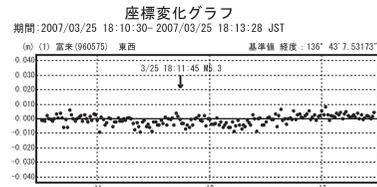


第 22 図 能登半島における GPS 連続測定結果
Fig.22 Results of continuous GPS measurements in Noto Peninsula

30 秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化座標変化グラフ



第 23 図 30 秒サンプリングGPS解析による能登半島地震に伴う座標変化。ノイズレベルを超える最大余震に伴う変動は見られない。
Fig.23 30 seconds GPS time series of the Noto Hanto Earthquake in 2007

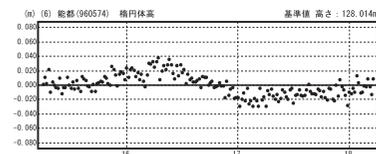
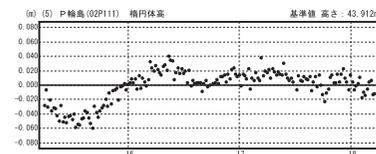
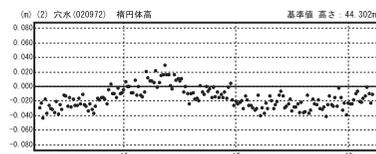
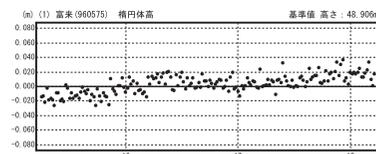
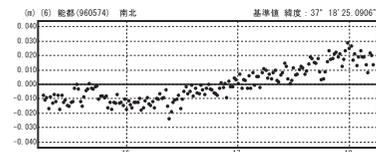
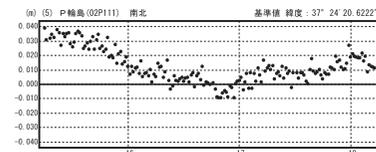
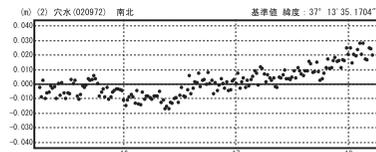
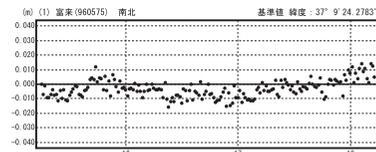
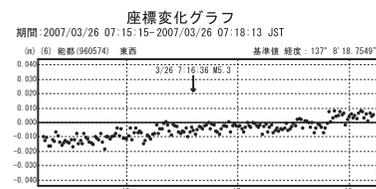
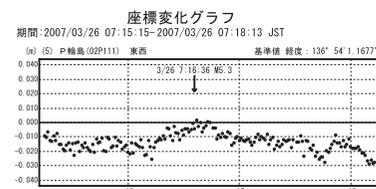
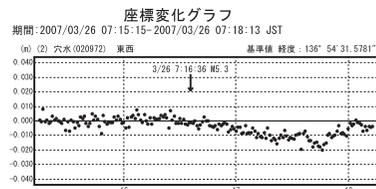
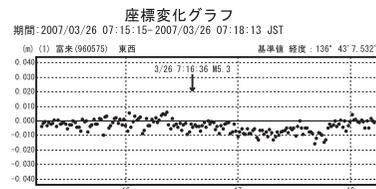


第 24 図 能登半島地震におけるGPS 1秒サンプリングデータによる高時間分解能の座標3成分(3月25日18:11:45(M5.3)の最大余震前後の時系列)

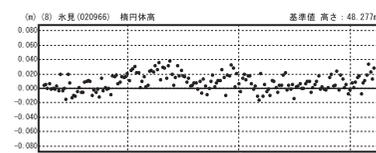
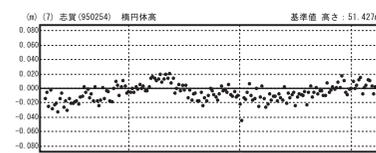
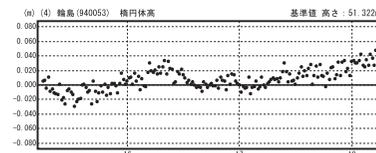
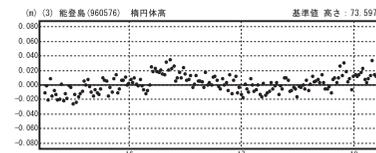
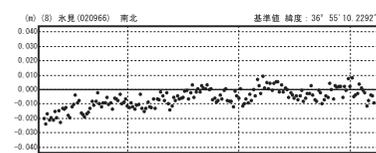
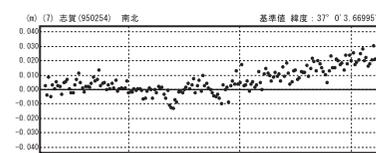
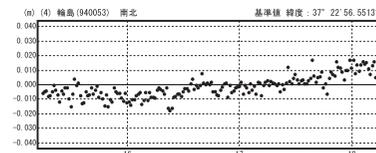
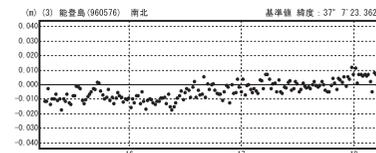
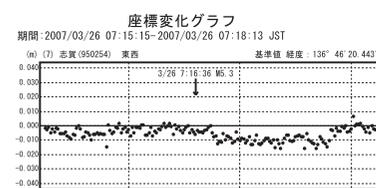
Fig.24 One Hz GPS time series before and after the largest aftershock on March 25 (1/2)

第 25 図 能登半島地震におけるGPS 1秒サンプリングデータによる高時間分解能の座標3成分(3月25日18:11:45(M5.3)の最大余震前後の時系列)

Fig.25 One Hz GPS time series before and after the largest aftershock on March 25 (2/2)



○—[RTNET4]

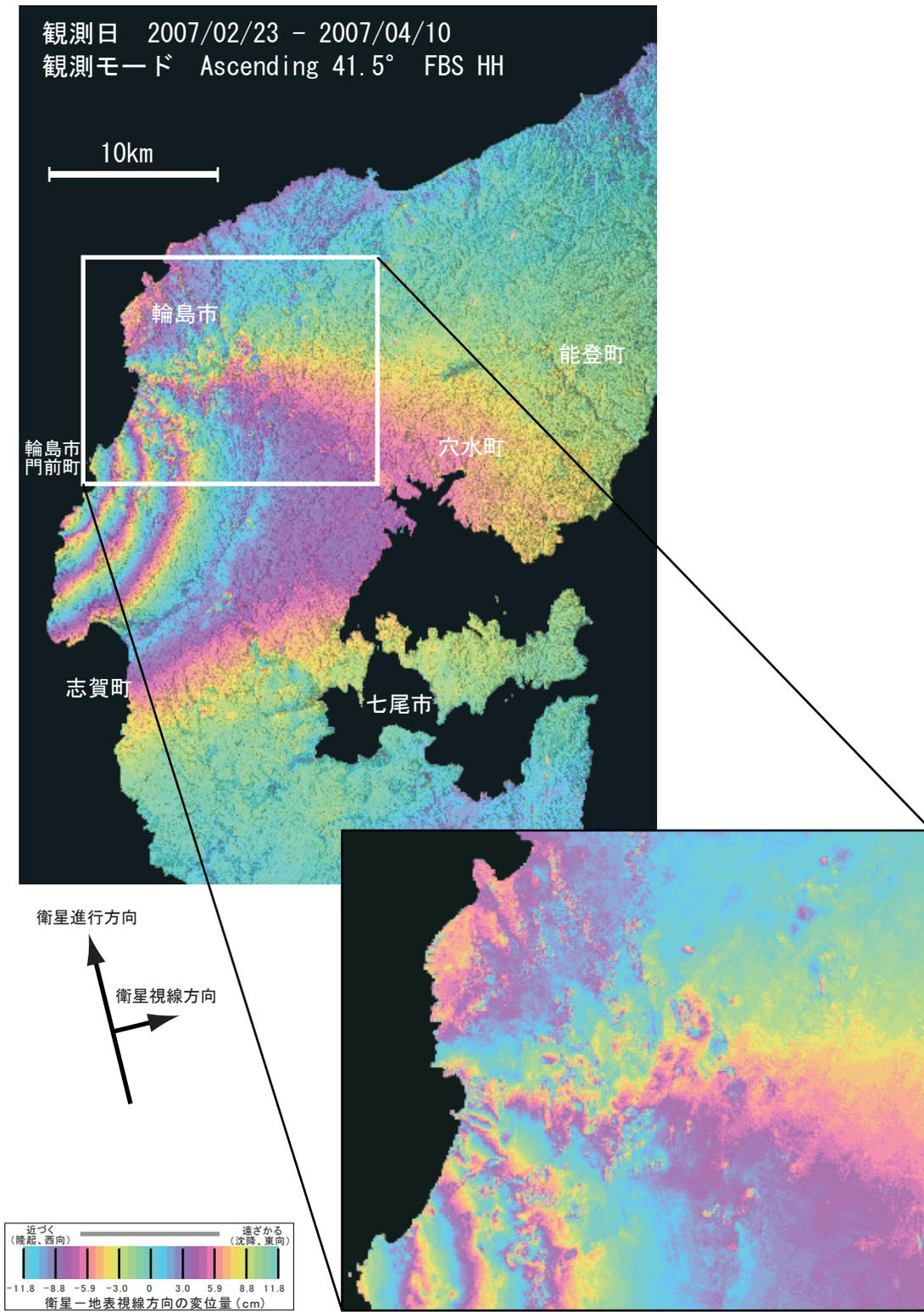


○—[RTNET4]

第 26 図 能登半島地震におけるGPS 1秒サンプリングデータによる高時間分解能の座標3成分(3月26日7:16:36(M5.3)の最大余震前後の時系列)
 Fig.26 One Hz GPS time series before and after the largest aftershock on March 26 (1/2)

第 27 図 能登半島地震におけるGPS 1秒サンプリングデータによる高時間分解能の座標3成分(3月26日7:16:36(M5.3)の最大余震前後の時系列)
 Fig.27 One Hz GPS time series before and after the largest aftershock on March 26 (2/2)

「だいち」PALSAR データの干渉解析で得られた
能登半島地震の地殻変動



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

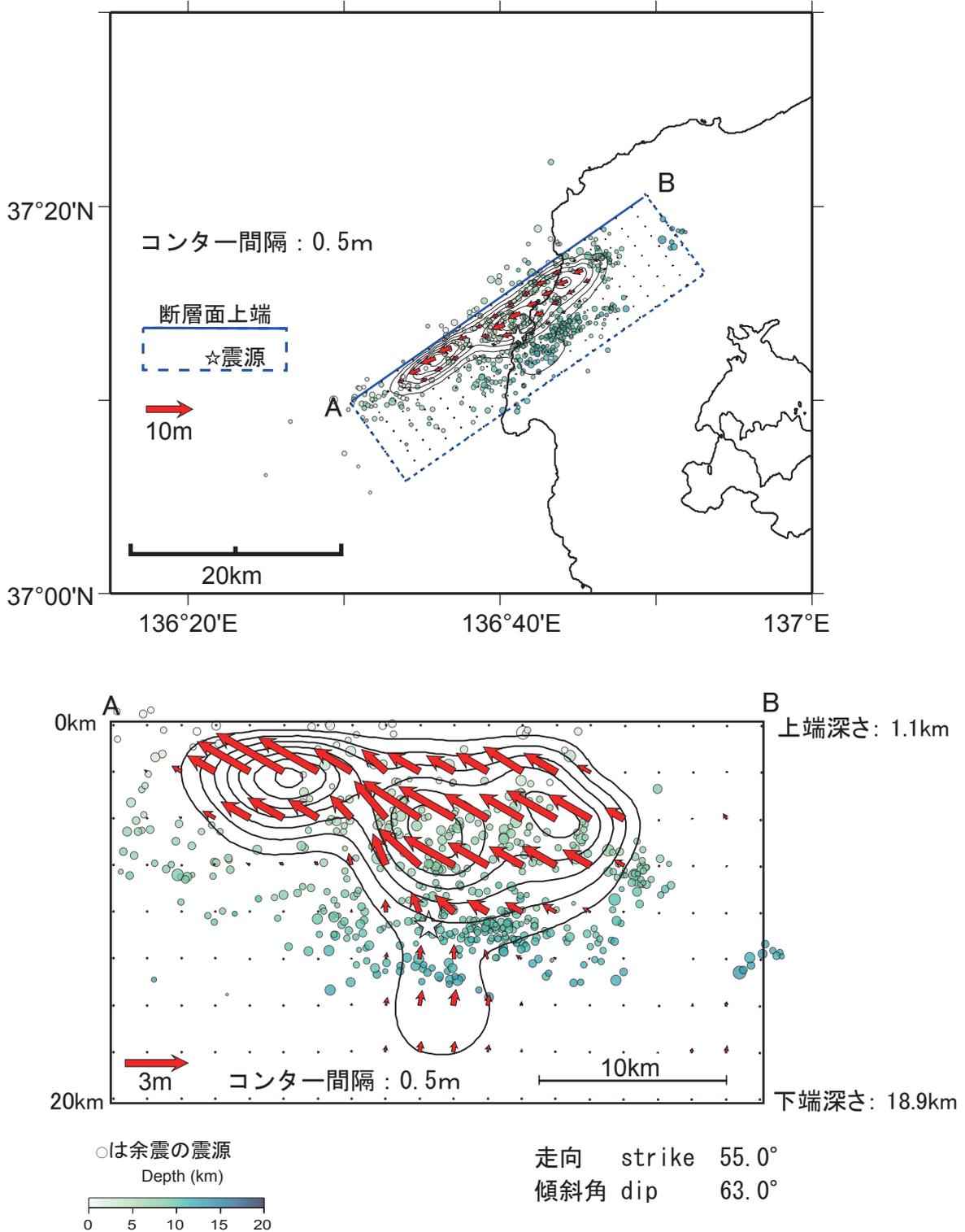
SAR-1

第 28 図 「だいち」PALSAR データの干渉解析で得られた能登半島地震の地殻変動

Fig.28 Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram of the Noto Hanto Earthquake from the images acquired by PALSAR on board Daichi (ALOS) satellite

震源断層面上の推定すべり分布(暫定)

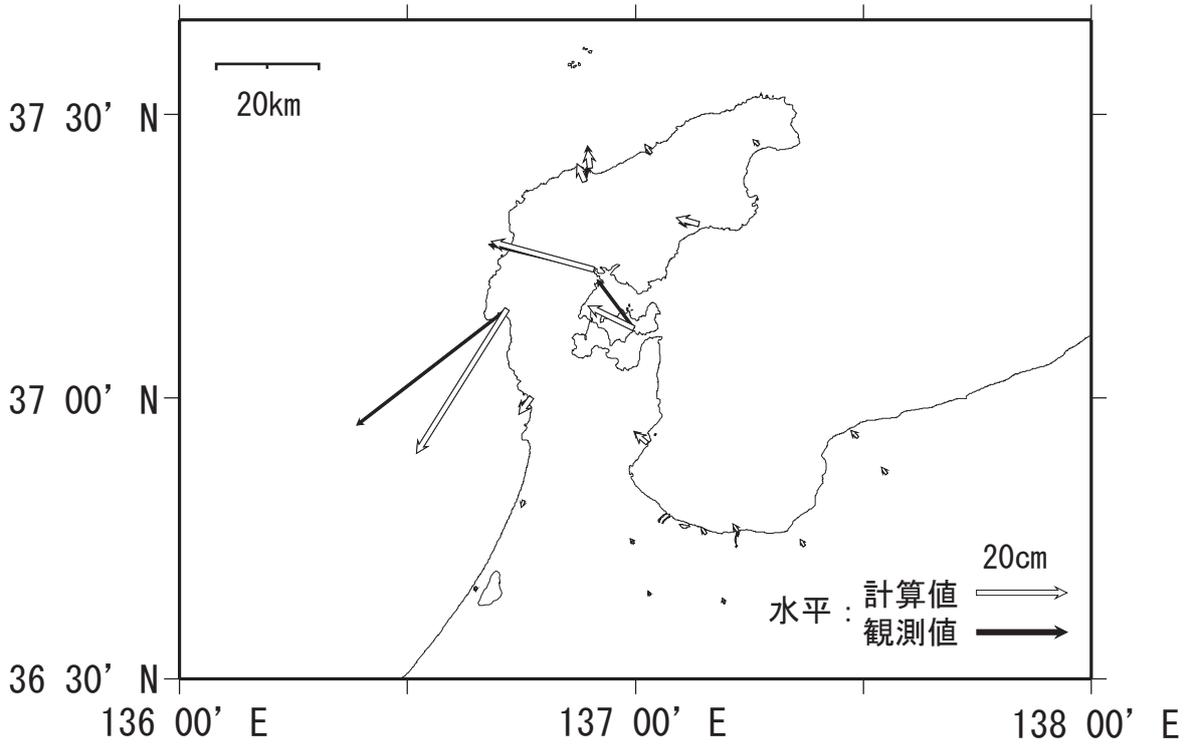
干渉SAR(2007/02/23-2007/04/10)とGPSの観測結果に基づき、矩形断層の位置を推定。その上端深さ、走向、傾斜角を拘束し、矩形断層を幅20km、長さ34.5kmに拡張した面上で詳細なすべり分布を推定した。上端すべり量は0に拘束した。



第 29 図 「だいち」 PALSAR の干渉画像と GPS 3 成分から推定した断層面上のすべり分布

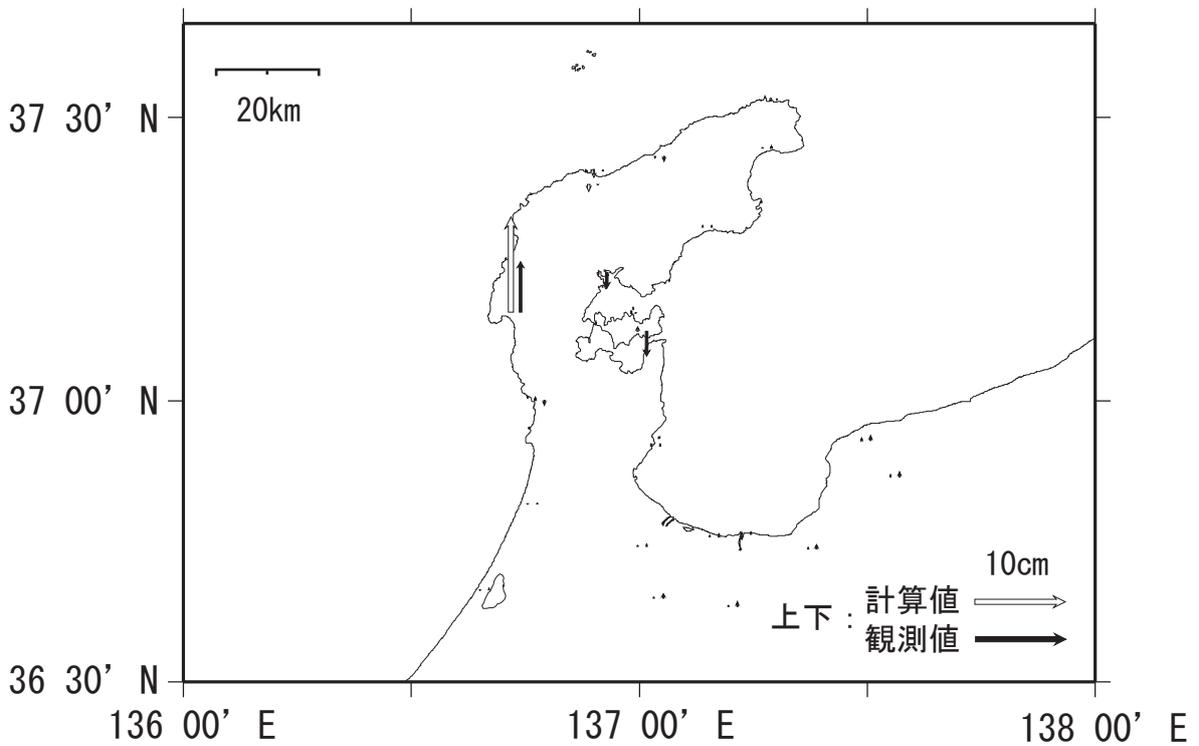
Fig.29 Estimated slip distribution on the earthquake source fault from the SAR interferogram (Ascending) and GPS results

観測値と計算値の比較



第30図 a 地殻変動ベクトルの観測値とモデル計算値の比較（水平）

Fig.30a Comparison of horizontal vector between GPS observation and the model calculation



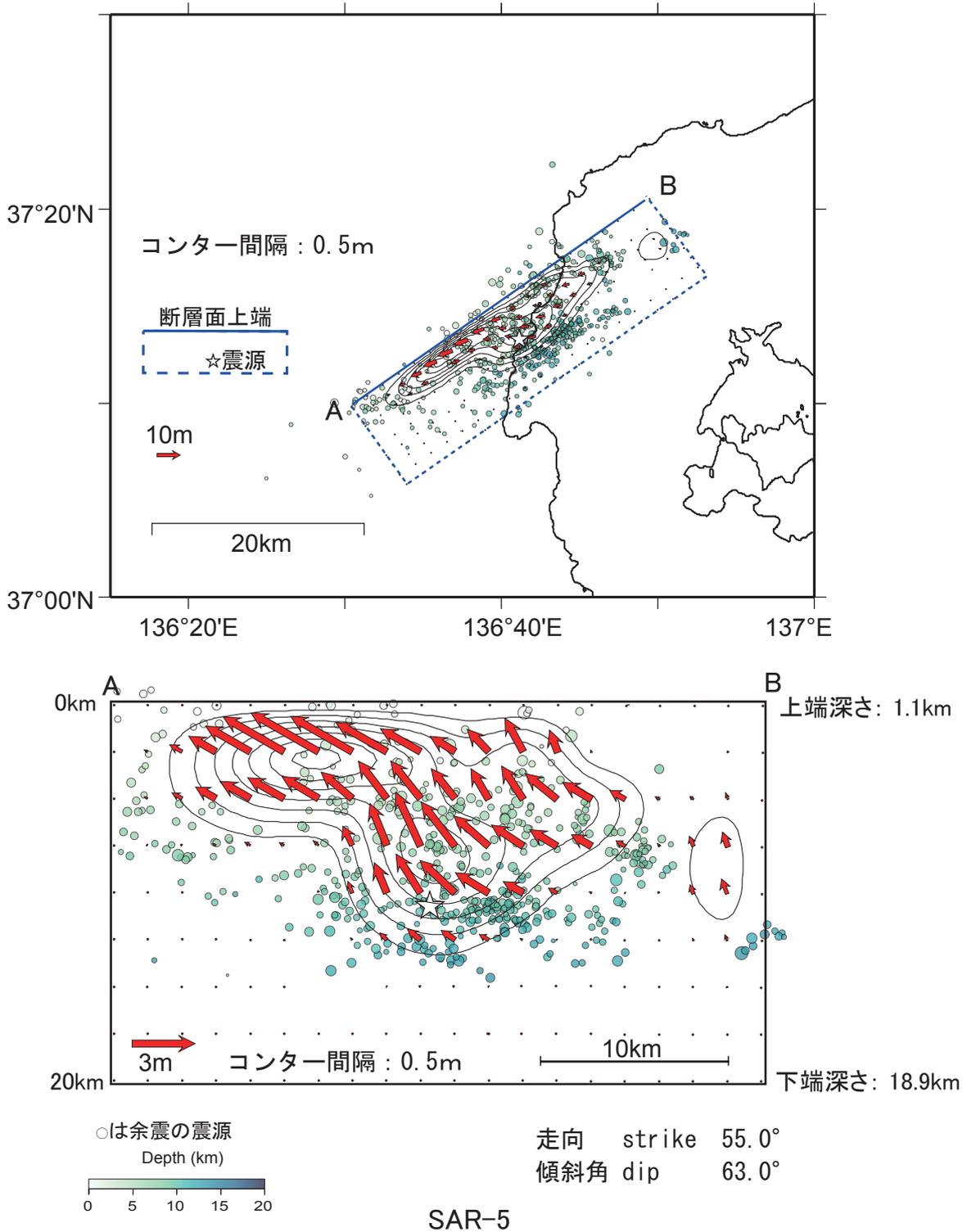
SAR-3

第30図 b 地殻変動ベクトルの観測値とモデル計算値の比較（上下）

Fig.30b Comparison of vertical component vectors between GPS observation and the model calculation

震源断層面上の推定すべり分布(暫定)

干渉SAR解析(アセンディング: 2007/02/23-2007/04/10)とGPSの観測結果に基づき, 矩形断層の位置を推定. その上端深さ, 走向, 傾斜角を拘束し, 矩形断層を幅20km, 長さ34.5kmに拡張した面上での詳細なすべり分布を, 2つの干渉SAR解析(上と同じ & ディセンディング: 2006/12/23-2007/05/10)とGPSの観測結果を用いて推定した. 上端すべり量は0に拘束した.

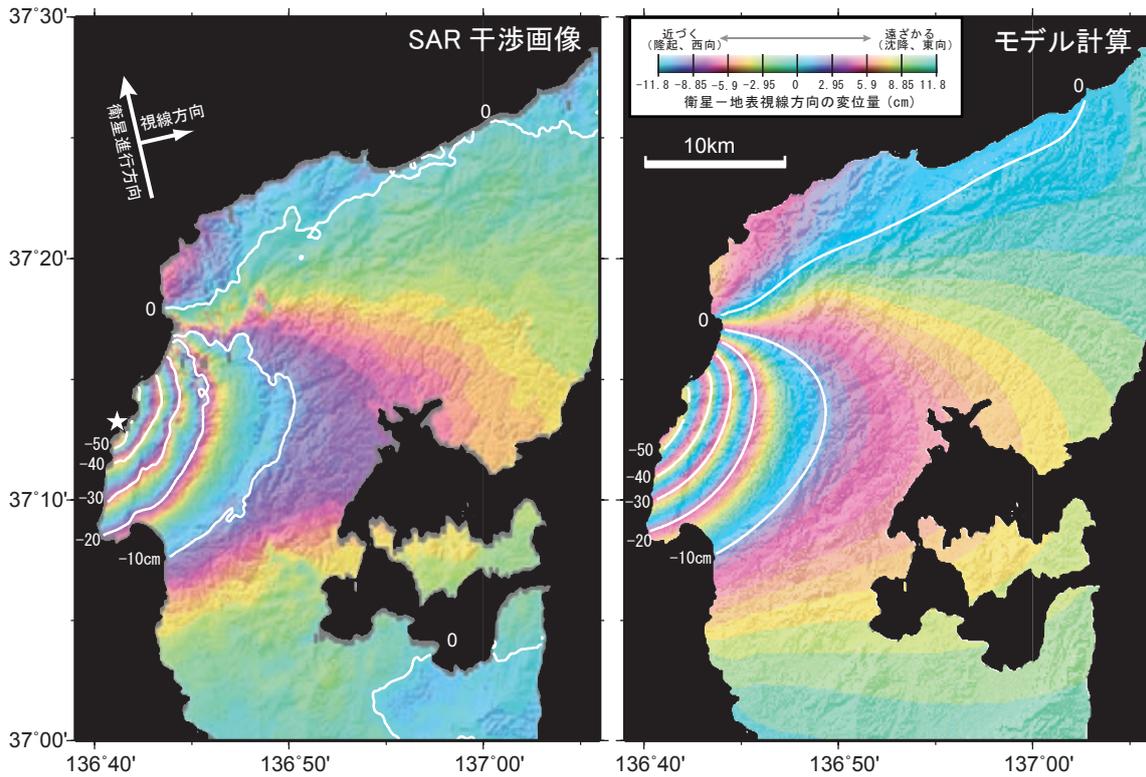


第 32 図 「だいち」 PALSAR の干渉画像と GPS 3 成分から推定した断層面上のすべり分布

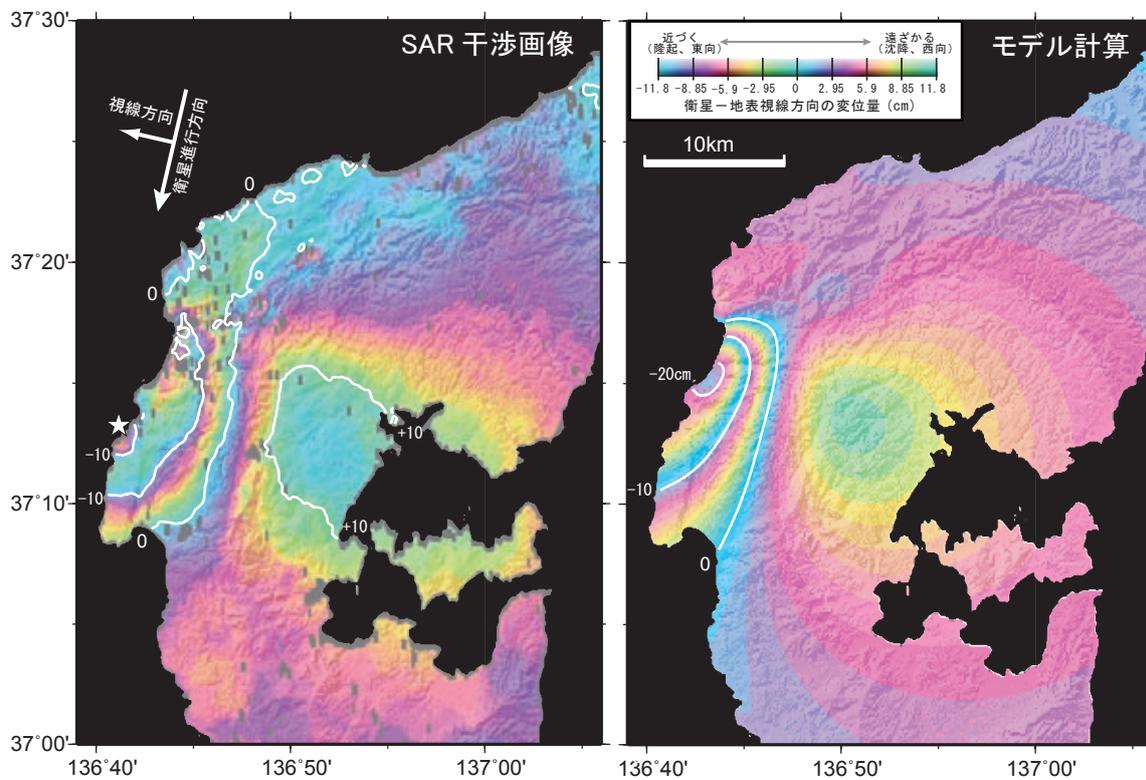
Fig.32 Estimated slip distribution on the earthquake source fault from the SAR interferogram (Ascending + Descending) and GPS results

「だいち」 SAR データ干渉解析で得られた地殻変動と計算値の比較

(1) Ascending 41.5° (観測日 : 2007/02/23 - 2007/04/01)



(2) Descending 34.3° (観測日 : 2006/12/23 - 2007/05/10)



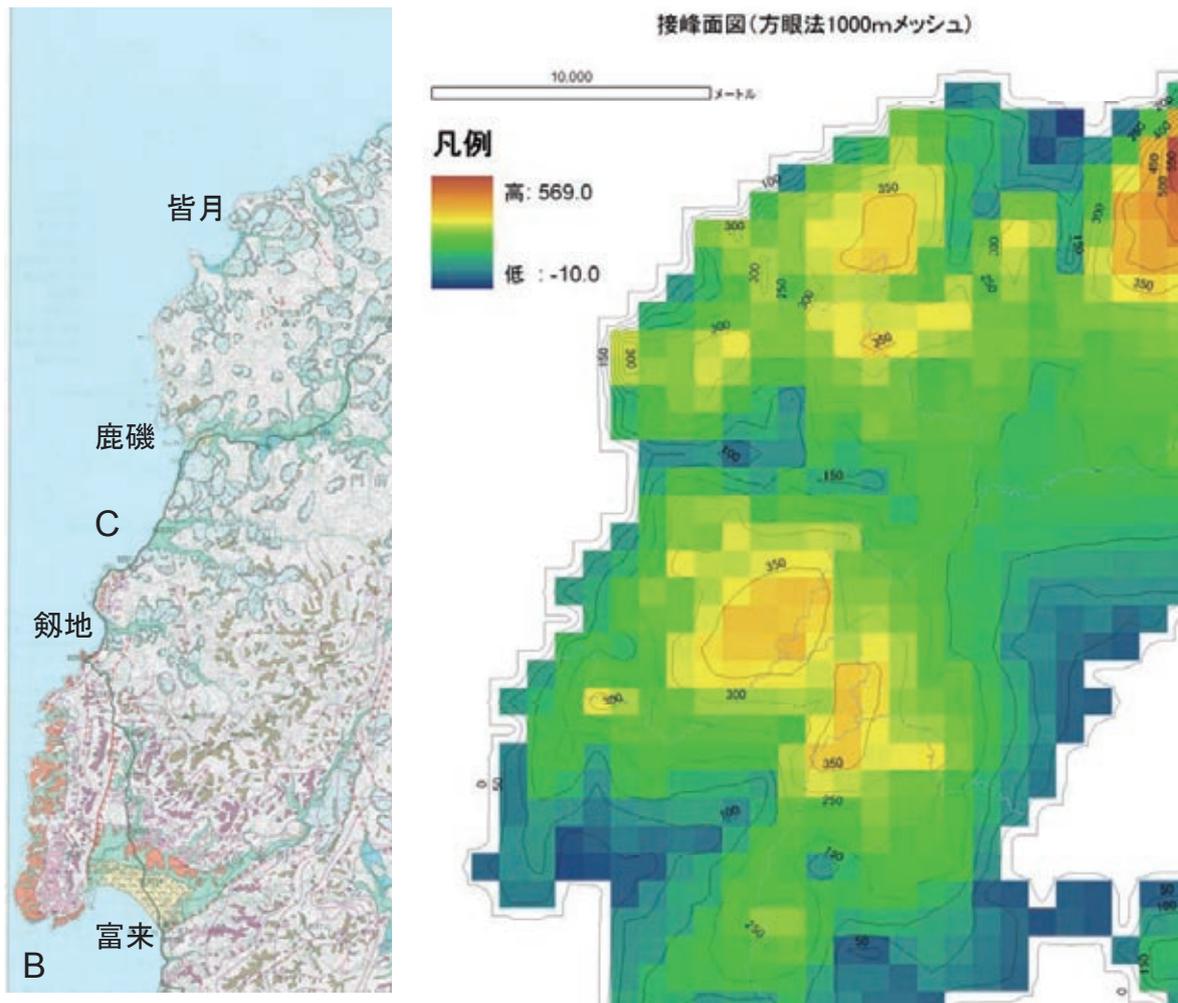
コンター間隔 : 10cm

SAR-6

第 33 図 「だいち」 PALSAR データの干渉解析で得られた地殻変動と計算値の比較

Fig.33 Comparison of SAR interferogram between SAR observation and the model calculation (Ascending + Descending)

海成段丘の旧汀線高度と接峰面図



富来～門前の西海岸には海成段丘が発達する。特に連続性のよいM1面(約12万年前に形成?)の旧汀線高度は、B付近で約20m、C付近で約60mで、北に向かって高度を増しており、SARや生物痕により示された今回の地震に伴う隆起パターンと整合することから、今回の地震と同様の地殻変動が累積していると考えられる。一方、断層の東方延長を挟んだ両側の山地の高度には差が見られず、変位を累積させる断層が東方の陸上部へ延長していることは考えにくい。

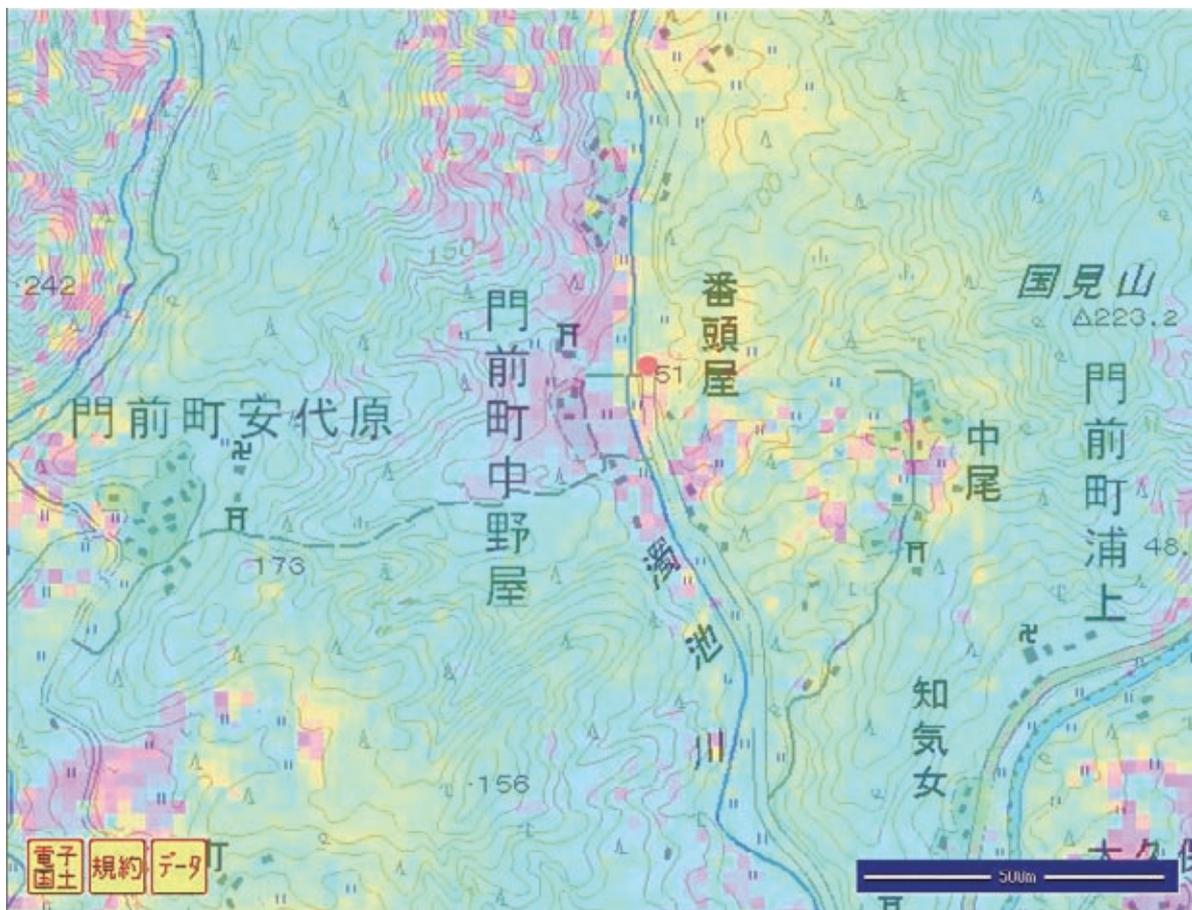
第 34 図 海成段丘の旧汀線高度と接峰面図

Fig.34 Height of former shoreline of marine terraces and summit level map

干渉SAR画像にみる輪島市門前町中野屋の「地震断層」



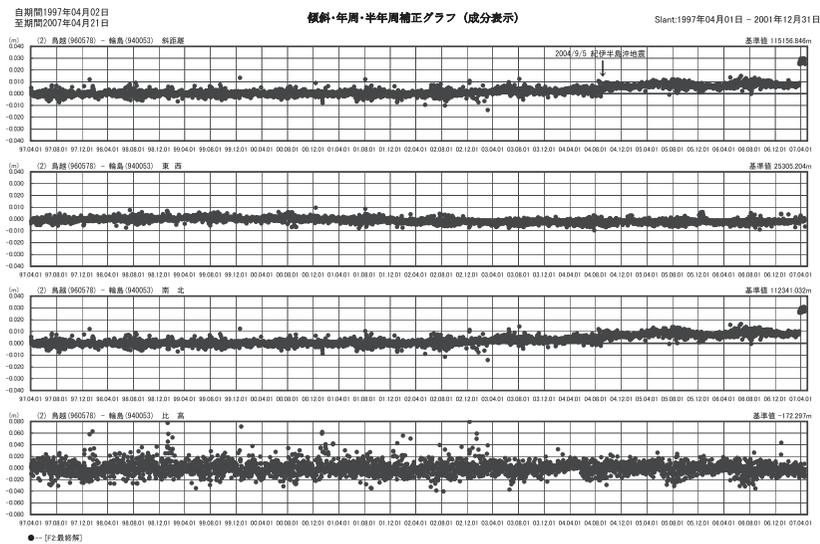
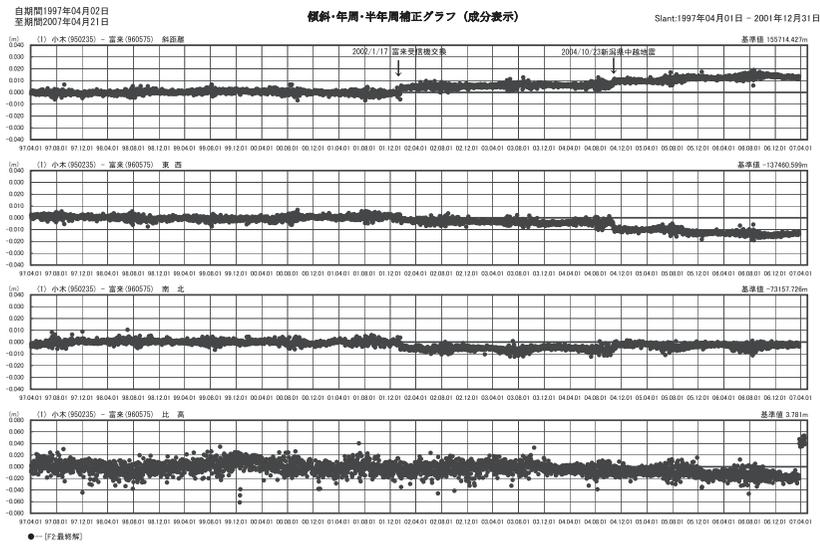
(金沢大学理学部地球学科 能登半島地震関連ページより)



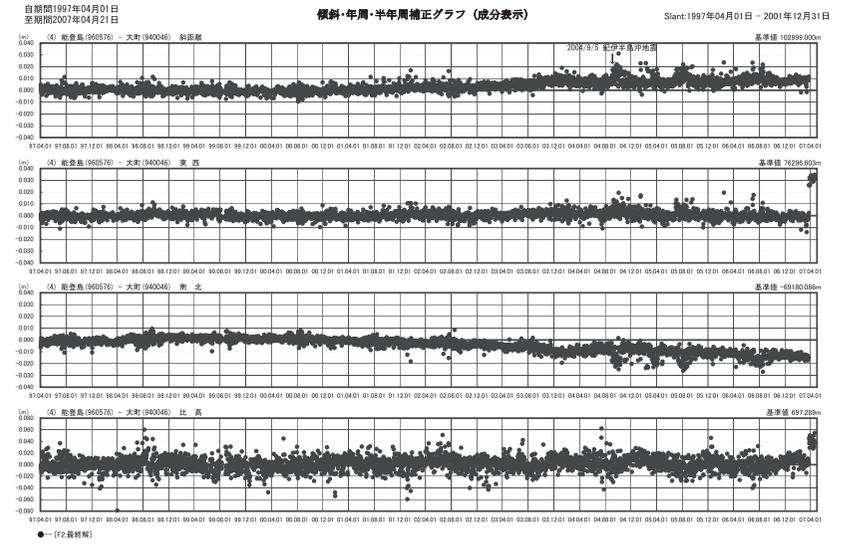
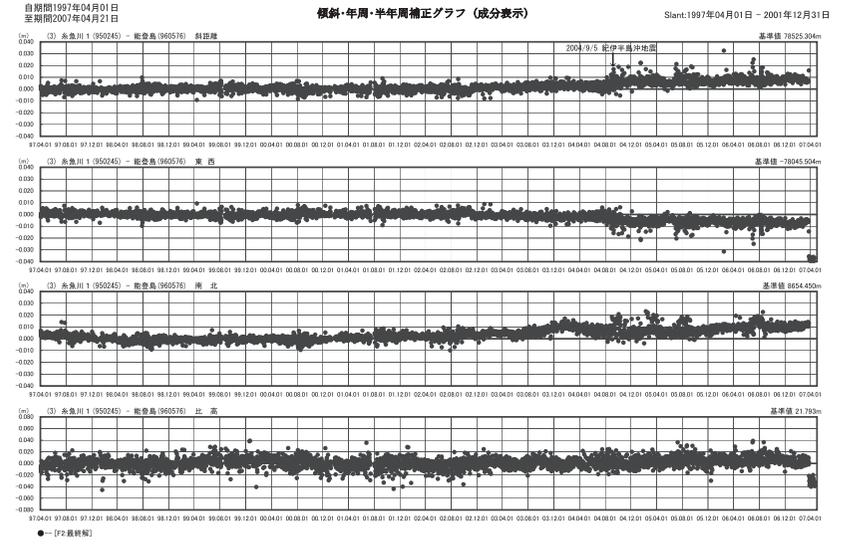
干渉SARによる残差画像では、地表地震断層を示唆するシャープな地表の変位は観察されず、「地表地震断層」とされた地点の東側の斜面が西向きに移動したことを示唆するパターンが見られる。

第 35 図 SAR 干渉残差画像にみる輪島市門前町中野屋の「地震断層」

Fig.35 "Earthquake fault" at Nakanoya, Monzen-machi, Wajima-shi in residual SAR interferogram (= observed interferogram - model interferogram)



第 37 図 能登半島地区G P S 連続観測点観測結果
Fig.37 Results of continuous GPS measurements around Noto Peninsula.(1/2)



第 38 図 能登半島地区G P S 連続観測点観測結果
Fig.38 Results of continuous GPS measurements around Noto Peninsula.(2/2)