

6-4 北陸・中部地方の地殻変動

Crustal Deformations in the Hokuriku and Chubu Districts

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

[石川県能登地方の地震 (5月5日) M6.5 GNSS]

第1～3図は、2023年5月5日に発生した能登地方の地震の地殻変動に関する資料である。

第1図上段は、GNSS連続観測結果による水平変動ベクトル図、下段は上下変動ベクトル図である。固定局は白鳥観測点(岐阜県)である。2022年7月下旬に臨時に設置した2点の可搬型GNSS連続観測装置(REGMOS)で特に顕著な地殻変動が観測され、M珠洲笹波観測点で南西方向に9cm程度の水平変位、震央の東側のM珠洲狼煙で13cm程度の隆起など、能登半島北東部で地殻変動が観測された。

第2～3図は、第1図のベクトル図に示された震央周辺の7観測点の3成分時系列グラフである。地震に伴い、各成分で変位が見られる。

[石川県能登地方の地震 SAR]

第4～6図は、「だいち2号」(ALOS-2) PALSAR-2データの干渉解析結果に関する資料である。解析に用いたデータの諸元は、第4図右表に示すとおりである。北行軌道及び南行軌道から高分解能モードでの観測が実施された。

第4図は、北行軌道と南行軌道のSAR干渉解析結果を用いて、2.5次元解析(Fujiwara et al., 2000)を行い、得られた準上下変動成分(上段)と準東西方向成分(下段)である。準上下成分では、震央のやや西側で20cm程度の隆起が検出された。準東西成分では、隆起のピークよりも西側で、最大10cm程度の西向きの成分が検出された。

第5図は準東西成分の拡大図である。山地で局所的な変動が多数見られる。

第6図は、第4図の2.5次元解析結果の元となった、北行軌道及び南行軌道からの観測データを用いたSAR干渉解析結果である。データの諸元は右下の表に示すとおりである。左上が北行軌道、右上が南行軌道のSAR干渉解析結果であり、それぞれ震央付近で衛星に近づく地殻変動が検出された。

[能登地方の地震 震源断層モデル]

第7～12図は、電子基準点及びSAR干渉解析で得られた地殻変動に基づき、半無限均質弾性体中の矩形断層一様すべりを仮定し、MCMC法を用いて推定した震源断層モデルに関する資料である。推定においては、モーメントマグニチュードと断層面積がスケーリング則(Thingbaijam et al., 2017)に近づくよう拘束した。

第7～9図は、断層の各パラメータをフリーにして推定した結果である。計算の結果、東北東-西南西走向で南南東に傾斜する断層面でやや走向方向のすべりを含む逆断層運動が推定された。推定された断層面の水平位置は震源分布と概ね整合している。断層面の上端は深さ約0.2km、傾斜角は約74度と推定され、中段のA-B断面図に示されるように、震源分布よりもかなり浅く、高角となった。モーメントマグニチュードは6.25(剛性率30GPaと仮定)となり、地震波形からの推定結果と

整合している。

第 9 図は、コーナープロットと呼ばれる、モデルの 2 つのパラメータ間の相関関係を示す 2 次元ヒストグラムである。ほとんどの組において、同心円状のガウス分布に近い分布を示し、パラメータはほぼ独立に推定されていることを示す。一部の組では相関が見られ、特に走向及び傾斜が深さと逆相関を示している。

第 10～12 図は、震源分布を参考に、断層上端の深さを 5km に固定して推定した結果である。計算の結果、北東－南西走向で南東に傾斜する断層面での逆断層運動が推定された。推定された断層面の水平位置は震源分布と概ね整合している。断層の傾斜角は約 39 度と推定され、中段の A-B 断面図に示されるように、震源分布とも概ね整合している。モーメントマグニチュードは 6.26（剛性率 30GPa と仮定）となり、地震波形からの推定結果と整合している。

第 12 図のコーナープロットは、深さを除き、ほとんどの組において同心円状のガウス分布に近い分布を示しており、パラメータはほぼ独立に推定されていることを示す。一部の組では相関が見られるが、与えられた拘束条件のもとで、各パラメータがよく推定されている。

[石川県能登地方の地震活動 GNSS]

第 13～18 図は、石川県能登地方で 2020 年 12 月頃から見られている地殻変動に関する資料である。2020 年 12 月から能登地方で地震活動が活発になっており、この地震活動とほぼ同期して能登半島北部で地殻変動が観測されている。

第 13 図は、一次トレンド・年周・半年周成分除去後の非定常地殻変動ベクトル図である。2017 年 9 月 1 日～2020 年 9 月 1 日の期間を定常変動とし、一次トレンド、年周、半年周成分を推定した。固定局は舳倉島観測点である。2020 年 11 月 1 日～11 月 7 日に対する 2023 年 4 月 16 日～4 月 22 日の約 2 年 6 か月の期間での非定常的な地殻変動を表し、上段が水平成分、下段が上下成分を示す。能都観測点で南南西方向に 1 cm を超える移動、珠洲観測点で南南東に 1 cm を超える移動及び 4cm 程度の隆起等、能登半島北部で変動が見られる。

第 14 図は、第 15 図の図中に示した 4 観測点の非定常地殻変動 3 成分の時系列グラフである。同様に一次トレンド・年周・半年周成分を除去している。2020 年 12 月頃から変動がゆっくりと進行している。なお、珠洲観測点で 2022 年 6 月 19 日の M5.4 の地震時に北向きにごくわずかな変位が見られるが、珠洲観測点が局所的に変位した可能性がある。

第 15 図下段は、上段図中の 6 基線の斜距離の非定常変動成分を示す。非定常地殻変動は 2020 年 12 月以降一様ではなく、基線によっても異なる傾向をもって続いている。

この地殻変動をより詳細に把握するため、震源域付近に 2 点の可搬型 GNSS 連続観測装置 (REGMOS) を 2022 年 7 月下旬に設置し、観測を開始している。第 16～18 図は、その観測結果を示す資料である。

第 16 図下段は、上段に示した 2 点の REGMOS の 3 成分時系列である。2 点共に設置後からわずかな隆起が継続している。また、震源域東側の M 珠洲狼煙では東方向、震源域中央の M 珠洲笹波では北方向のわずかな変動が見られる。

第 17 図の基線長変化グラフでは、(2) M 珠洲笹波－珠洲の基線でわずかな伸びが継続している。

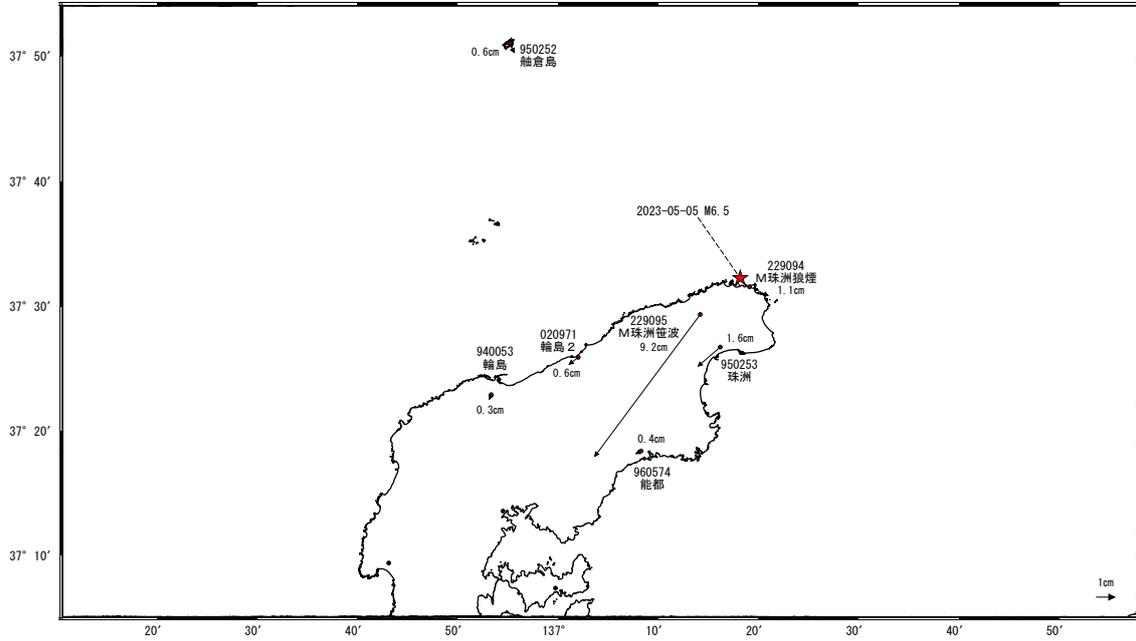
第 18 図は 2022 年 9 月上旬から 2023 年 4 月下旬までの約 8 ヶ月間の地殻変動を示すベクトル図で、上段が水平変動、下段が上下変動である。水平変動ではごくわずかではあるが震源域から広がるような変動が、上下変動では震源域付近で 2cm 程度の隆起が観測されている。

石川県能登地方の地震(5月5日 M6.5)前後の観測データ(暫定)

この地震に伴い地殻変動が観測された。

地殻変動(水平)

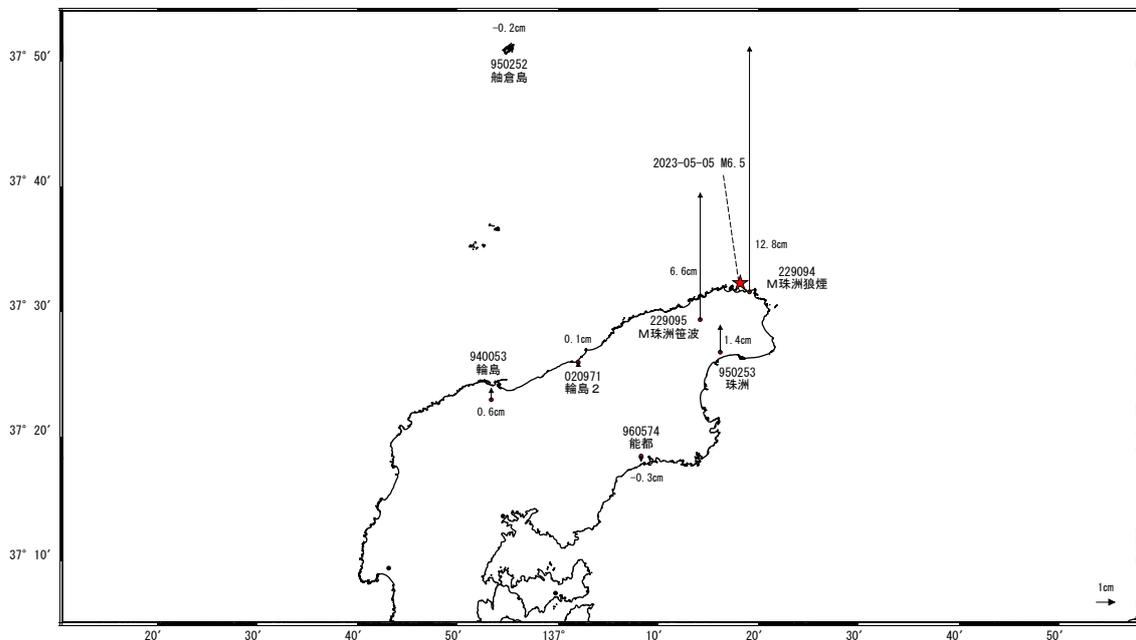
基準期間: 2023-04-26~2023-05-03[R5:速報解]
比較期間: 2023-05-06~2023-05-08[R5:速報解]



☆ 固定局: 白鳥 (950282) ★ 震央

地殻変動(上下)

基準期間: 2023-04-26~2023-05-03[R5:速報解]
比較期間: 2023-05-06~2023-05-08[R5:速報解]



☆ 固定局: 白鳥 (950282) ★ 震央

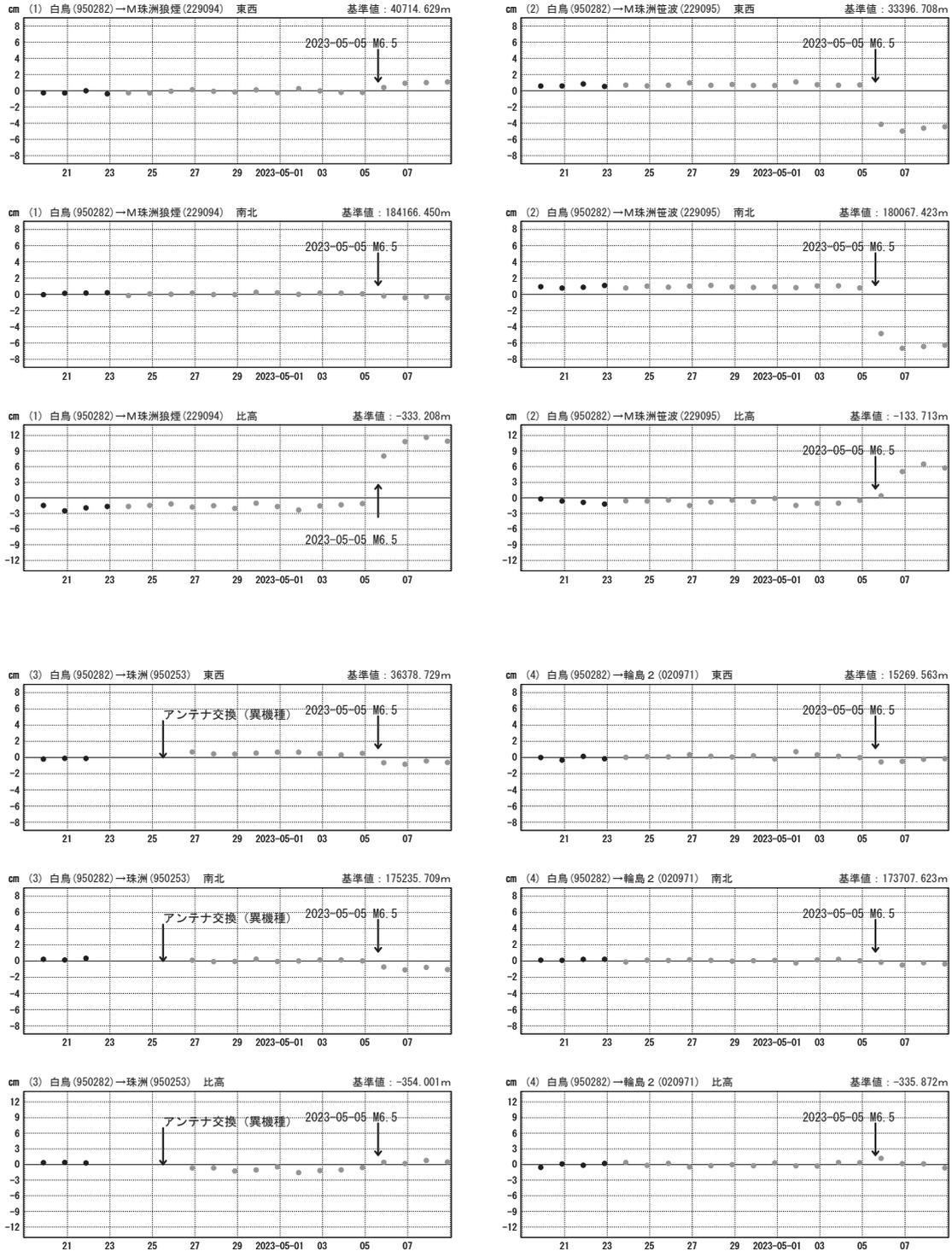
第 1 図 石川県能登地方の地震(2023年5月5日, M6.5)前後の観測データ: 水平(上図)及び上下(下図)変動
Fig. 1 Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement.

石川県能登地方の地震 (5月5日 M6.5) 前後の観測データ (暫定)

成分変化グラフ

期間: 2023-04-19~2023-05-08 JST

期間: 2023-04-19~2023-05-08 JST



●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

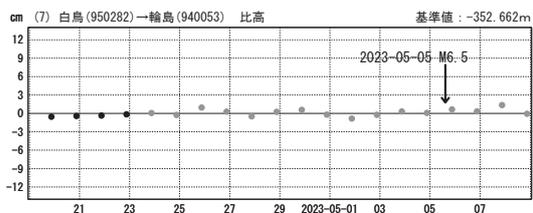
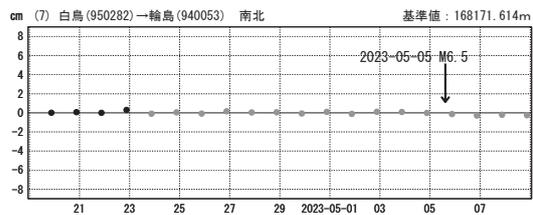
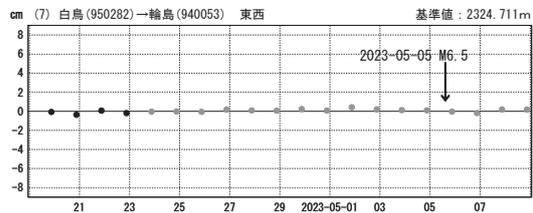
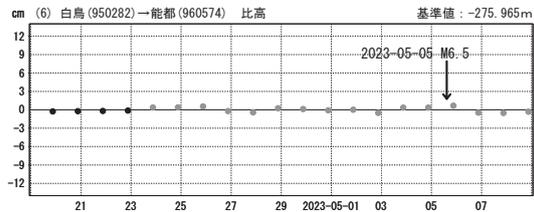
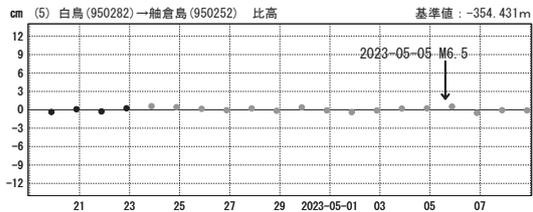
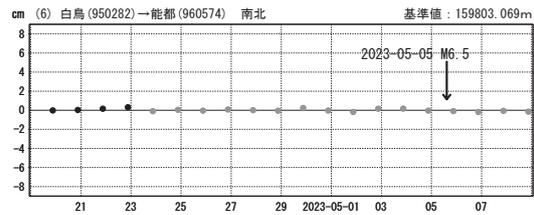
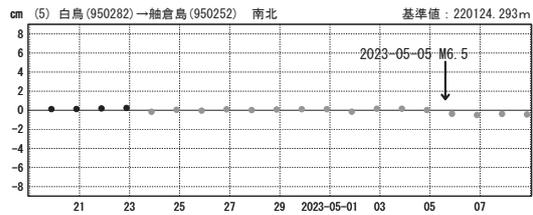
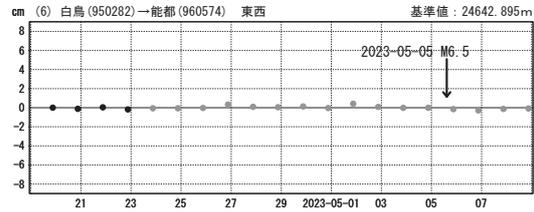
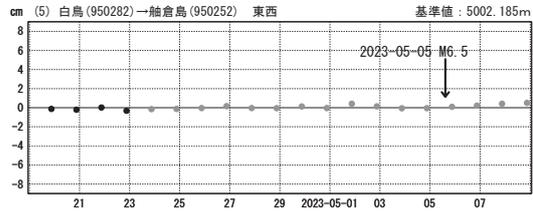
第 2 図 石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日, M6.5) : 3 成分時系列グラフ
 Fig. 2 Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: 3 components time series (1/2).

石川県能登地方の地震(5月5日 M6.5)前後の観測データ (暫定)

成分変化グラフ

期間: 2023-04-19~2023-05-08 JST

期間: 2023-04-19~2023-05-08 JST



●—[F5:最終解] ●—[R5:速報解]

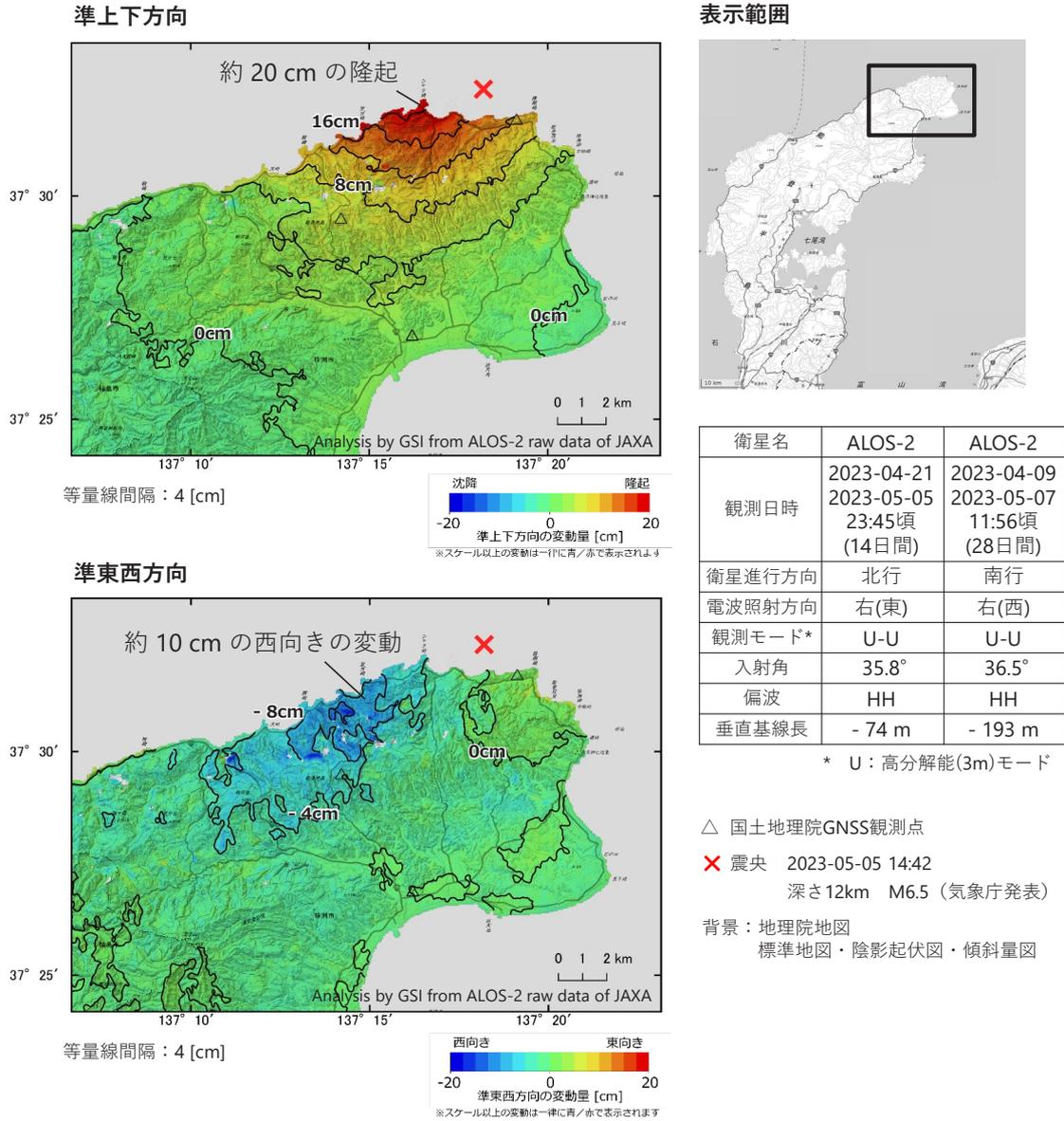
第 3 図 石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日, M6.5) : 3 成分時系列グラフ

Fig. 3 Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: 3 components time series (2/2).

令和5年5月8日

「だいち2号」観測データの干渉解析による
石川県能登地方の地震（2023年5月5日）に伴う地殻変動（2.5次元解析）

珠洲市北部で最大約20cmの隆起、最大約10cmの西向きの変動（暫定値）が見られます。山地等では局所的な変動も見られます。



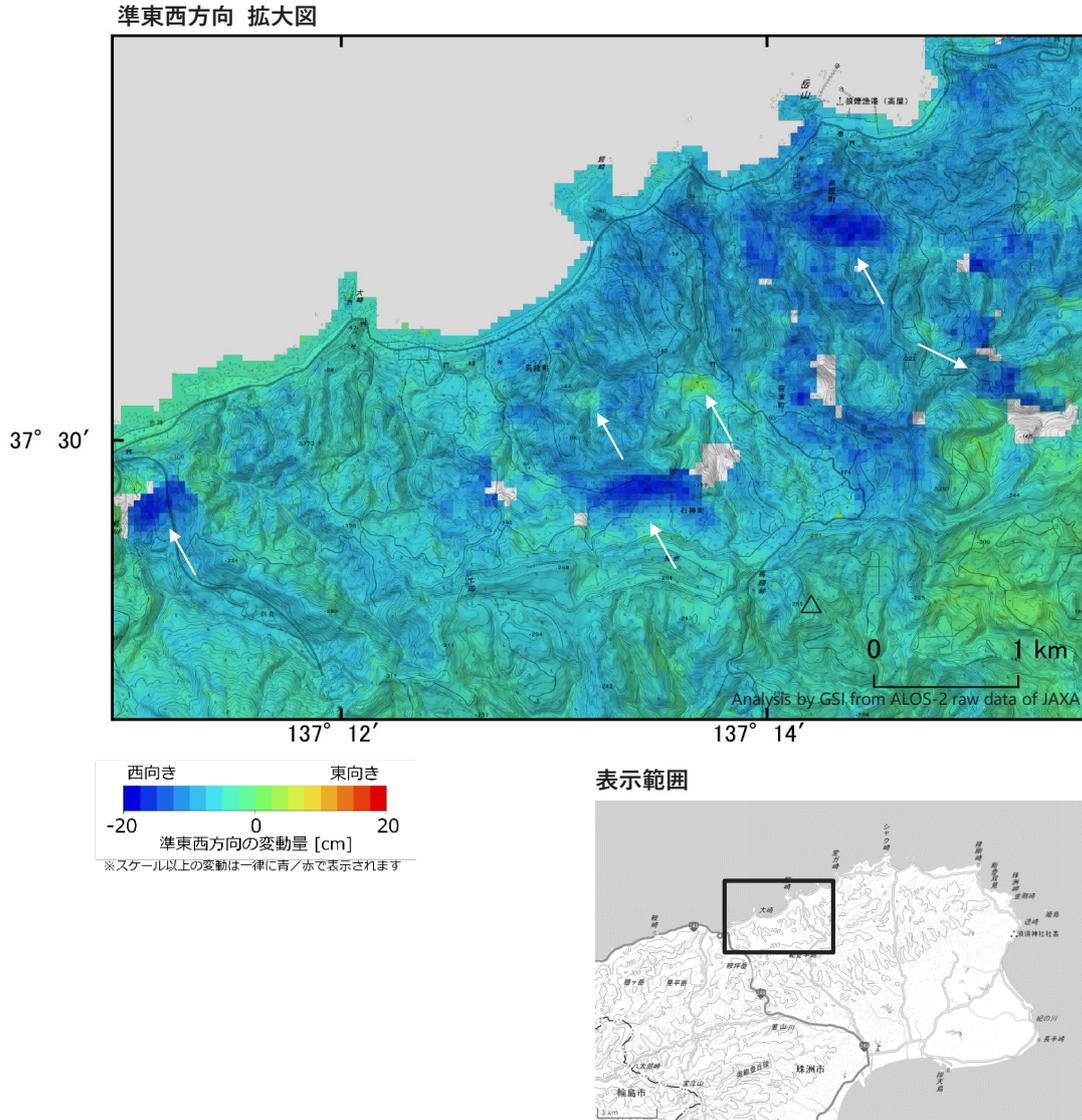
本解析で使用したデータの一部は、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

第 4 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（SAR 干渉解析結果）
Fig. 4 Result of Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data.

令和5年5月8日

「だいち 2 号」観測データの干渉解析による
石川県能登地方の地震（2023年5月5日）に伴う地殻変動（2.5次元解析）

珠洲市内の山地等では局所的な変動が多数見られます（白矢印）。



本解析で使用したデータの一部は、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。
対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

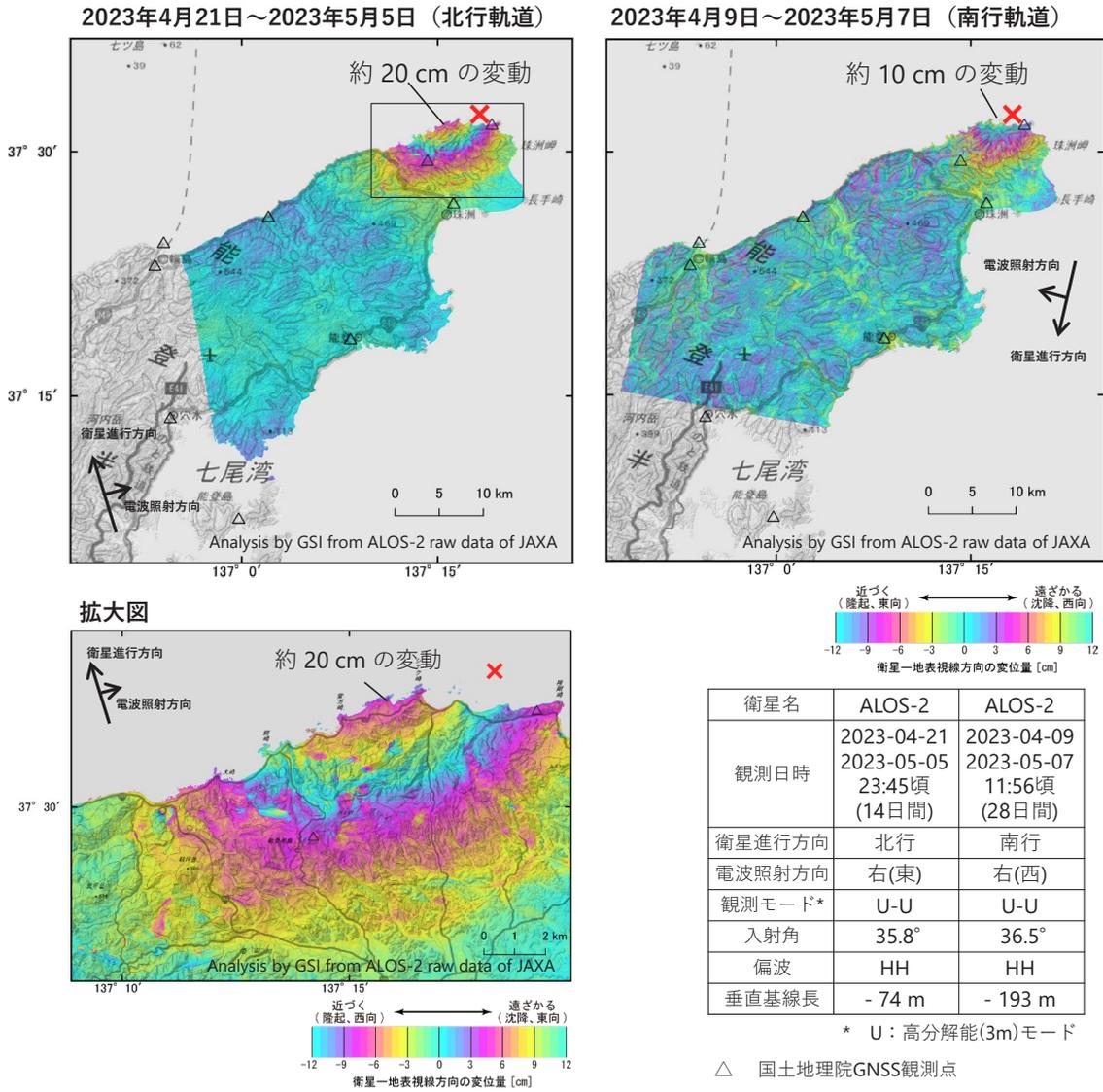
第 5 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（SAR 干渉解析結果）
Fig. 5 Result of Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data.

参考資料

令和5年5月8日

「だいち 2 号」観測データの干渉解析による
石川県能登地方の地震（2023年5月5日）に伴う地殻変動

珠洲市北部において、北行軌道の観測では最大約20cm、南行軌道の観測では最大10cm（暫定値）の衛星に近づく変動が見られます。
珠洲市内の山地等では数cm程度の局所的な変動が多数見られます。



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。
対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

第 6 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（SAR 干渉解析結果）（参考資料）
Fig. 6 Result of Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data (reference data).

2023 年 5 月 5 日能登半島の地震活動の震源断層モデル (暫定)

基準期間: 2023/04/28 09:00:00~2023/05/05 08:59:59[R5:速報解]ST
 比較期間: 2023/05/06 09:00:00~2023/05/10 08:59:59[R5:速報解]ST
 固定局:小松(950255)

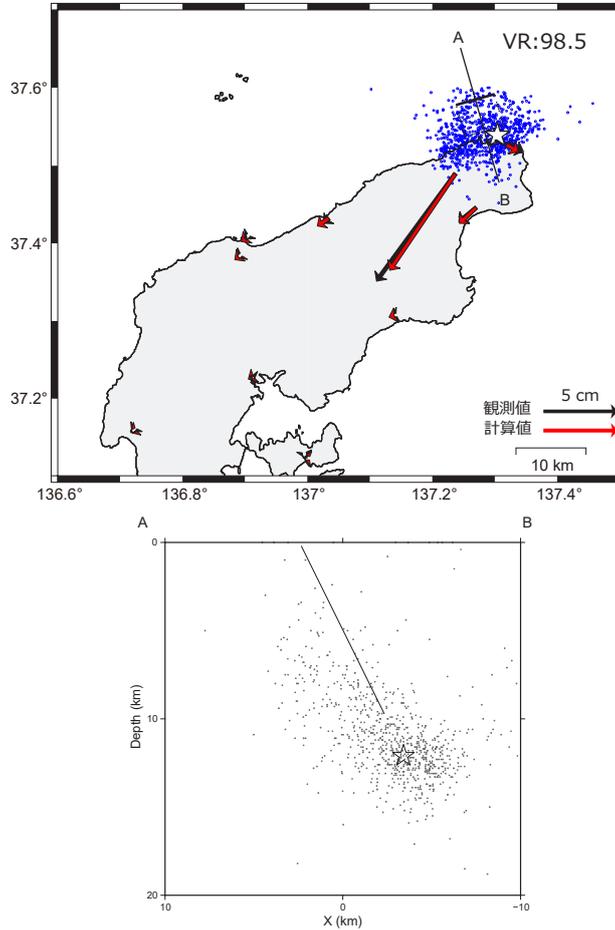


図 推定された震源断層モデル

(上) 矩形実線は震源断層モデルを地表に投影した位置で、太い実線が断層上端。矢印は観測値 (黒) 及び計算値 (赤) の水平成分。
 (下) 傾斜方向(A-B)に射影した断層面 (太線) 及び震源分布 (点)。横軸は傾き下がる方向を正にとっている。

☆印は震央、点は震源分布 (気象庁一元化震源)、2023 年 5 月 05 日 14 時 42 分~5 月 5 日 23 時 59 分。

表 推定された震源断層モデルパラメータ

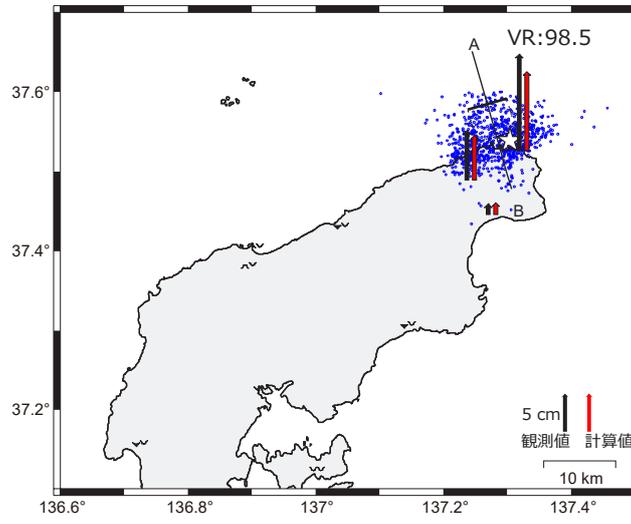
経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	すべり角 [°]	すべり量 [m]	M_w
137.238 (0.003)	37.578 (0.002)	0.2 (0.2)	5.6 (0.4)	10.6 (0.2)	74.2 (2.5)	63.9 (1.4)	110.3 (1.1)	1.7 (0.2)	6.25

- ・ マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を用いてモデルパラメータを推定した。
- ・ 位置は断層の左上端を示す。括弧内は誤差 (1σ) を示す。
- ・ M_w と断層面積がスケールリング則 (Thingbaijam et al., 2017) に近づくように拘束した。
- ・ M_w の計算においては、剛性率を 30 GPa と仮定

第 7 図 石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日, $M_{6.5}$) の震源断層モデル

Fig. 7 Rectangular fault model of the $M_{6.5}$ earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023.

【参考】鉛直成分

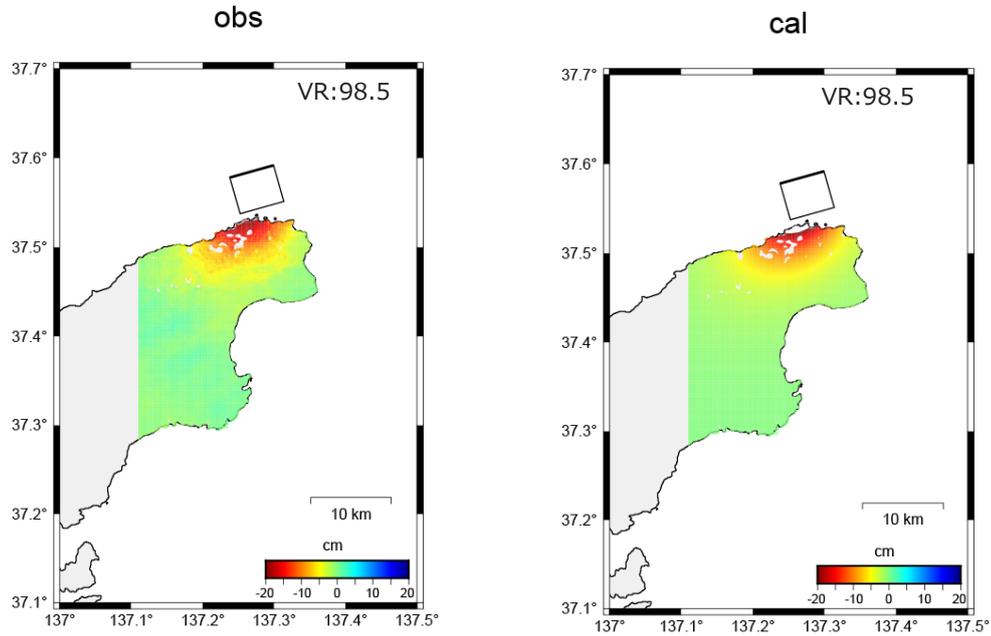


矢印は観測値（黒）及び計算値（赤）の鉛直成分。

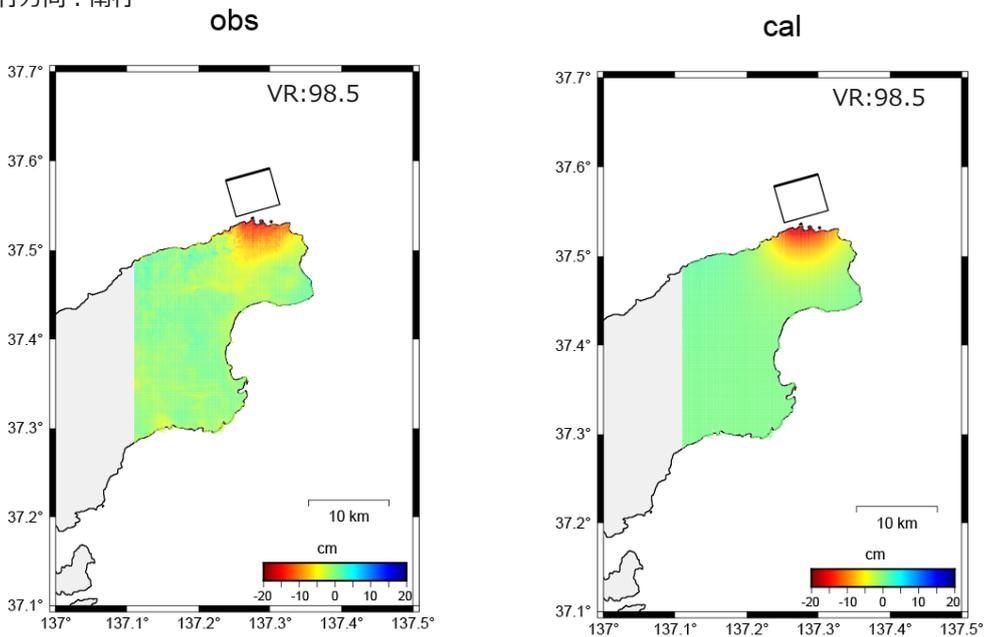
第 7 図 つづき
Fig. 7 Continued.

【参考】 干渉 SAR

第一回観測日: 2023/04/21
 第二回観測日: 2023/05/05
 衛星進行方向: 北行

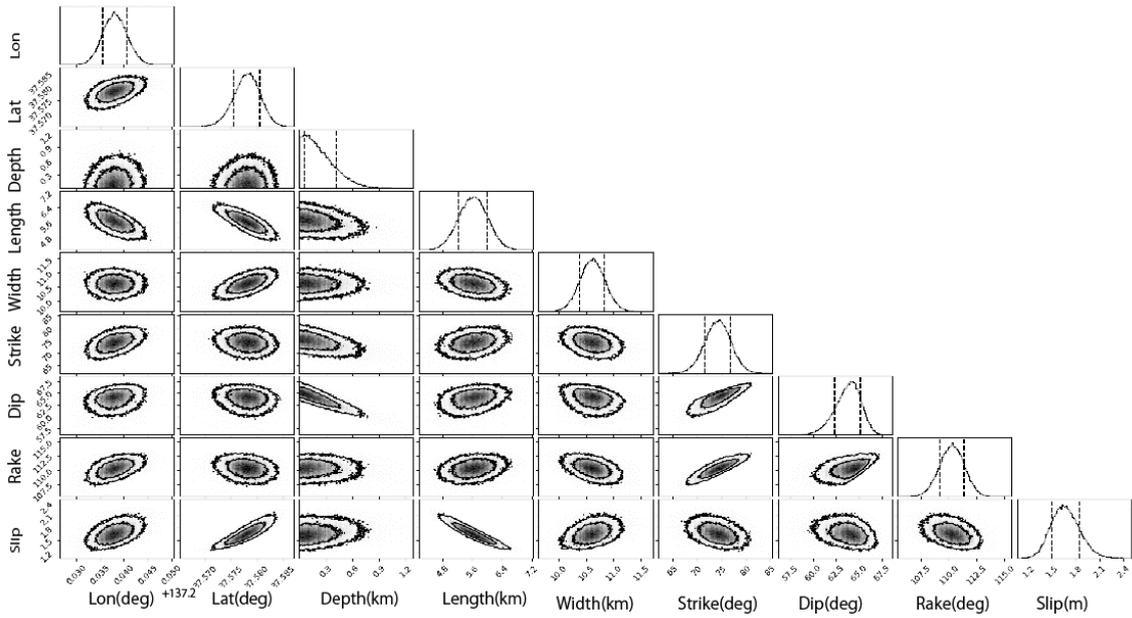


第一回観測日: 2023/04/09
 第二回観測日: 2023/05/07
 衛星進行方向: 南行



第 8 図 石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日, M6.5) の震源断層モデル
 Fig. 8 Rectangular fault model of the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023.

【参考】コーナープロット



第 9 図 石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）の震源断層モデル モデルパラメータのコーナープロット
 Fig. 9 Corner plot of estimated parameters for the MCMC rectangular fault modeling in Fig.7.

【参考】2023 年 5 月 5 日能登半島の地震活動の震源断層モデル（暫定）

基準期間: 2023/04/28 09:00:00~2023/05/05 08:59:59[R5:速報解]JST
 比較期間: 2023/05/06 09:00:00~2023/05/10 08:59:59[R5:速報解]JST
 固定局:小松(950255)

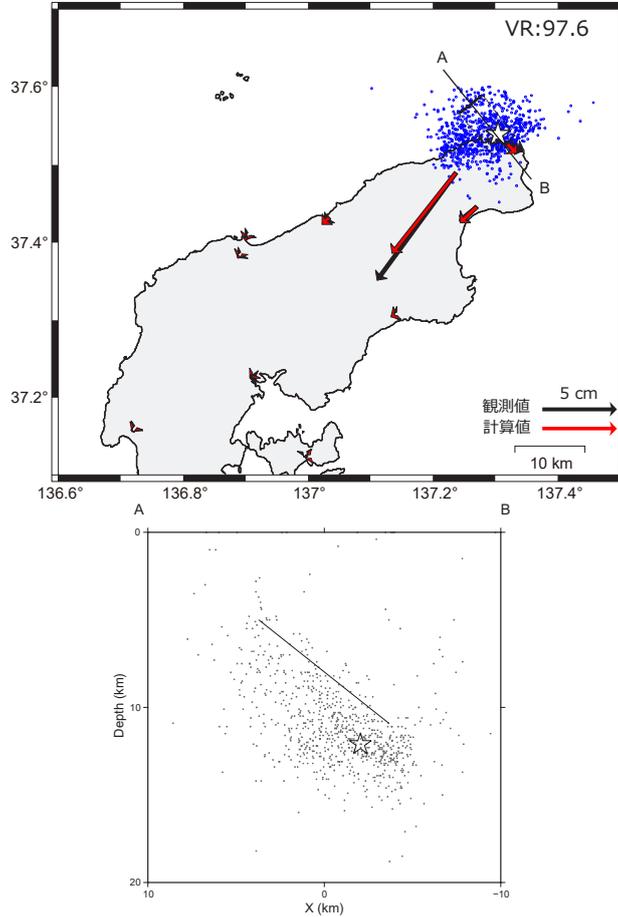


図 推定された震源断層モデル

(上) 矩形実線は震源断層モデルを地表に投影した位置で、太い実線が断層上端。矢印は観測値（黒）及び計算値（赤）の水平成分。
 (下) 傾斜方向(A-B)に射影した断層面（太線）及び震源分布（点）。横軸は傾き下がる方向を正にとっている。

☆印は震央、点は震源分布（気象庁一元化震源）、2023 年 5 月 05 日 14 時 42 分～5 月 5 日 23 時 59 分。

表 推定された震源断層モデルパラメータ

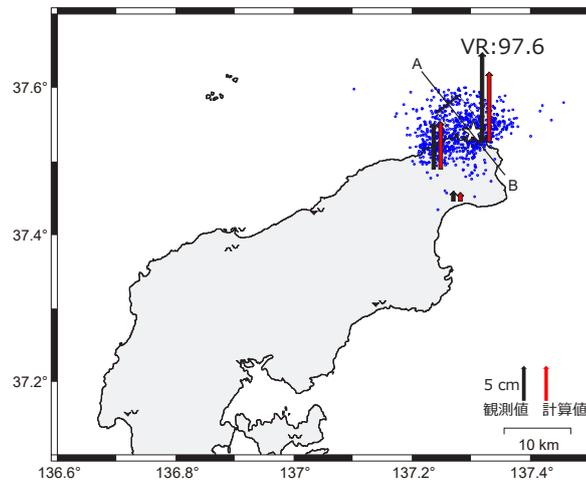
経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	すべり角 [°]	すべり量 [m]	M_w
137.242 (0.002)	37.566 (0.002)	5.0	4.2 (0.3)	9.5 (0.2)	51.4 (1.9)	38.7 (0.4)	103.2 (1.6)	2.6 (0.2)	6.26

- ・ マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法を用いてモデルパラメータを推定した。
- ・ 位置は断層の左上端を示す。括弧内は誤差（ 1σ ）を示す。上端深さは 5km に固定。
- ・ M_w と断層面積がスケール則(Thingbaijam et al., 2017)に近づくように拘束した。
- ・ M_w の計算においては、剛性率を 30 GPa と仮定

第 10 図 石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日、 $M_{6.5}$ ）の震源断層モデル（参考資料）

Fig. 10 Rectangular fault model of the $M_{6.5}$ earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023 (reference data).

【参考】鉛直成分

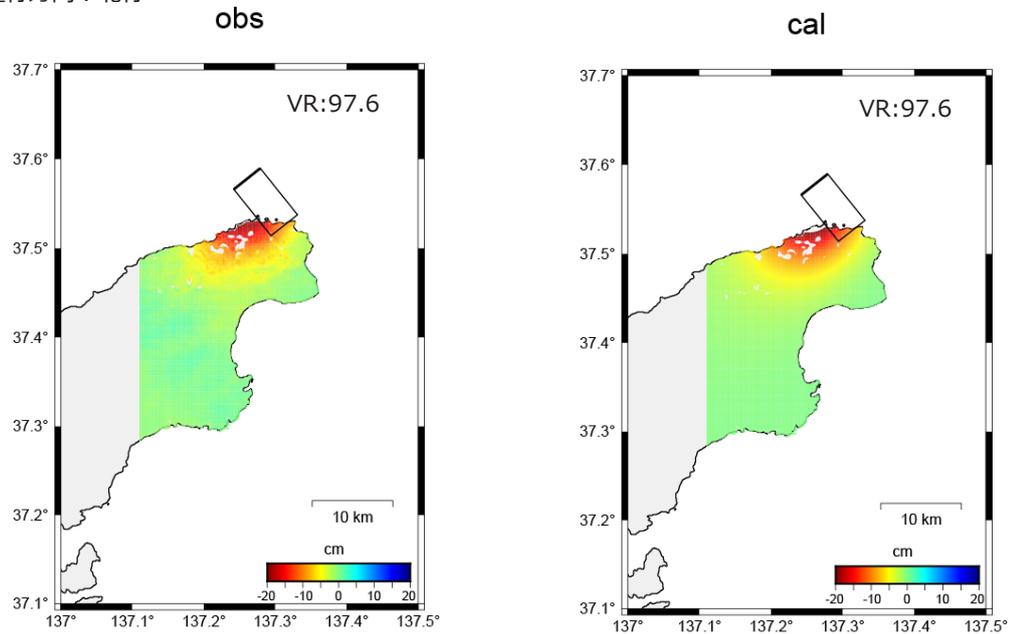


矢印は観測値（黒）及び計算値（赤）の鉛直成分。

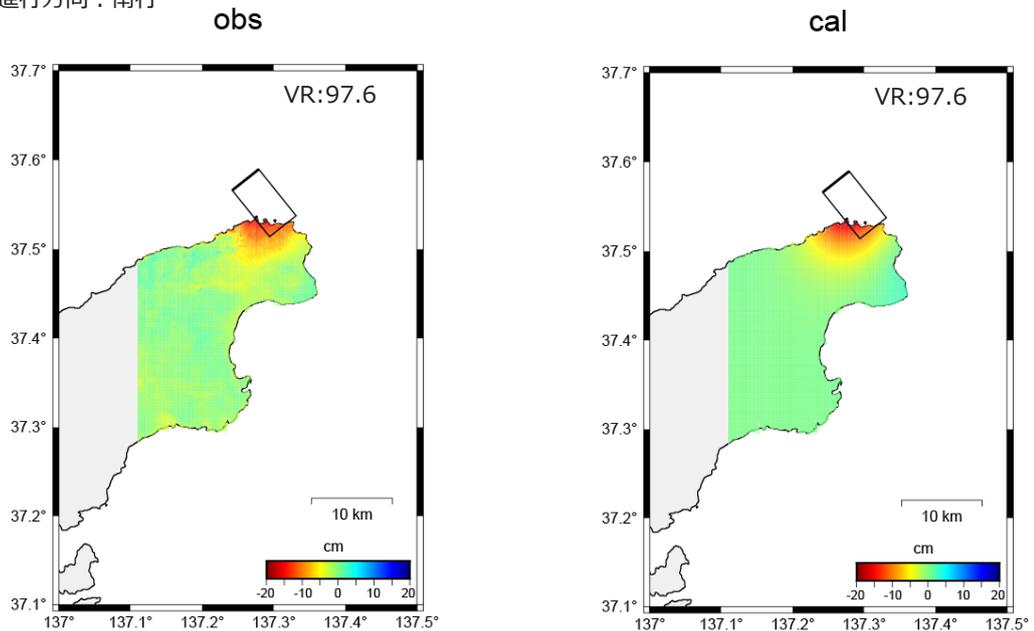
第 10 図 つづき
Fig. 10 Continued.

【参考】干渉 SAR

第一回観測日: 2023/04/21
 第二回観測日: 2023/05/05
 衛星進行方向: 北行



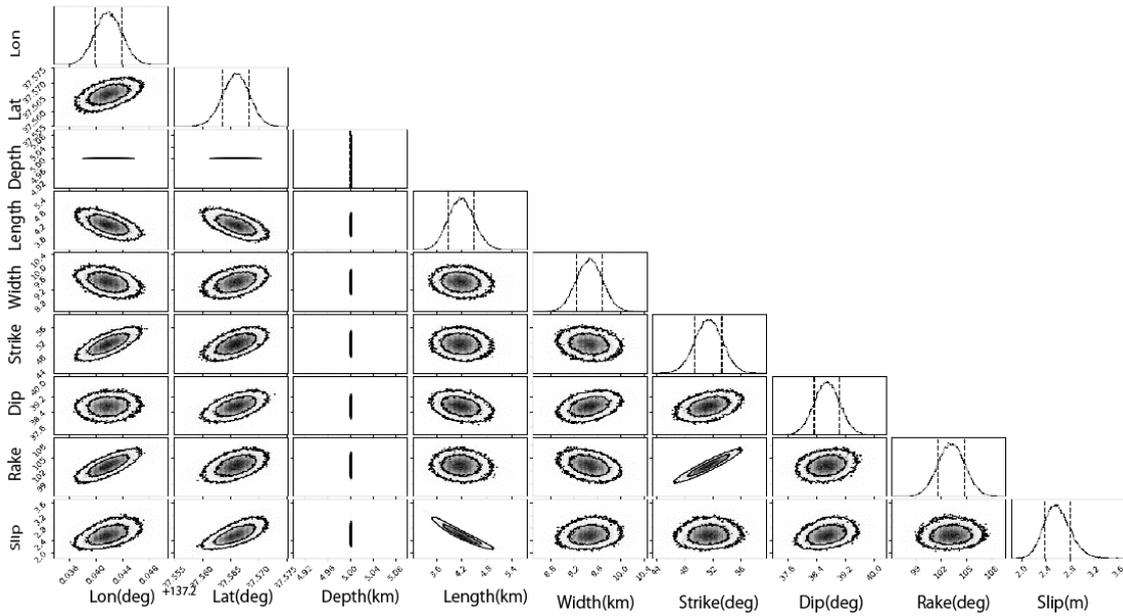
第一回観測日: 2023/04/09
 第二回観測日: 2023/05/07
 衛星進行方向: 南行



第 11 図 石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）の震源断層モデル（参考資料）

Fig. 11 Rectangular fault model of the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023 (reference data).

【参考】コーナープロット



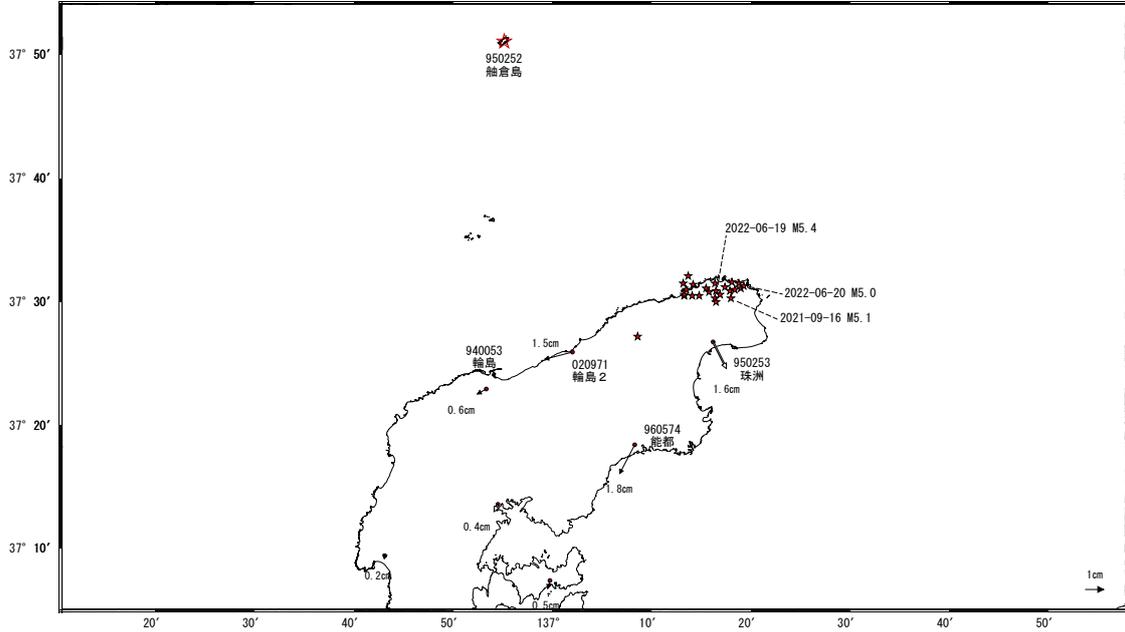
第 12 図 石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日, M6.5) の震源断層モデル モデルパラメータのコーナープロット
 Fig. 12 Corner plot of estimated parameters for the MCMC rectangular fault modeling in Fig.10 (reference data).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

ベクトル図（水平）
（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

基準期間：2020-11-01～2020-11-07 [F5:最終解]
比較期間：2023-04-16～2023-04-22 [R5:速報解]

計算期間：2017-09-01～2020-09-01

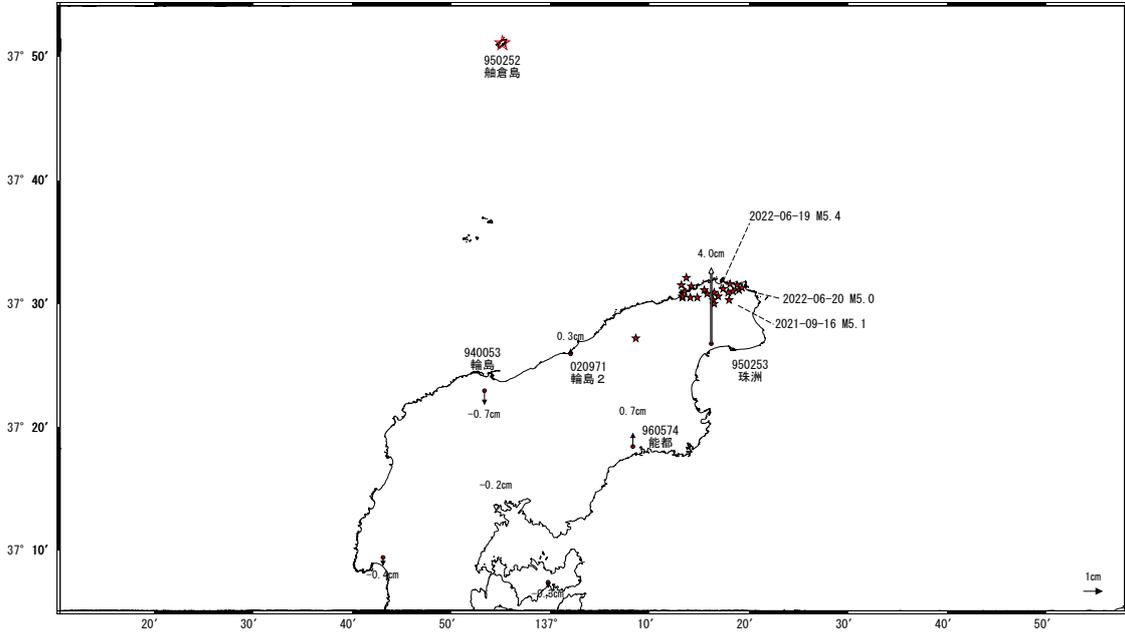


☆ 固定局：輪倉島 (950252)

ベクトル図（上下）
（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

基準期間：2020-11-01～2020-11-07 [F5:最終解]
比較期間：2023-04-16～2023-04-22 [R5:速報解]

計算期間：2017-09-01～2020-09-01



☆ 固定局：輪倉島 (950252)

★ 震央（2020年11月以降 M>4.0）

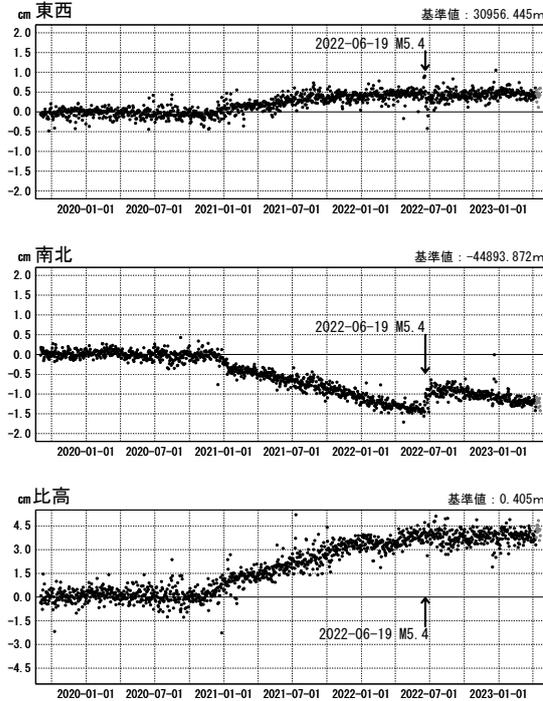
※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022-06-19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

第 13 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（水平及び上下変動）（暫定）

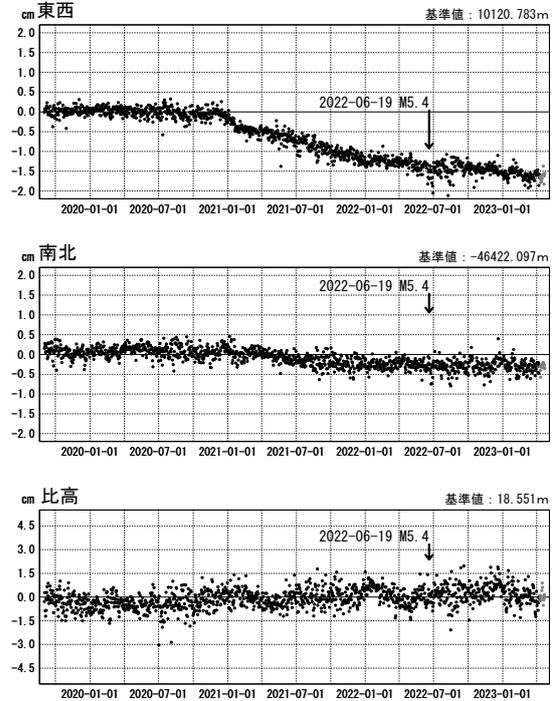
Fig. 13 Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）
成分変化グラフ（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）
期間：2019-09-01～2023-04-22 JST 計算期間：2017-09-01～2020-09-01

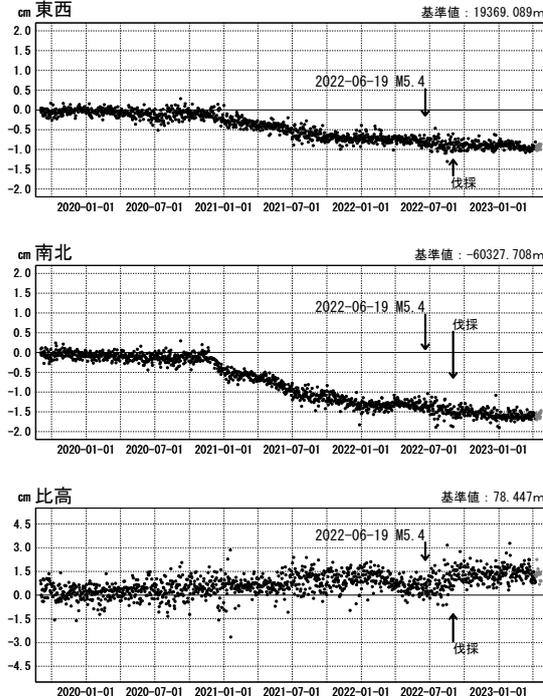
(1) 舢倉島 (950252) → 珠洲 (950253)



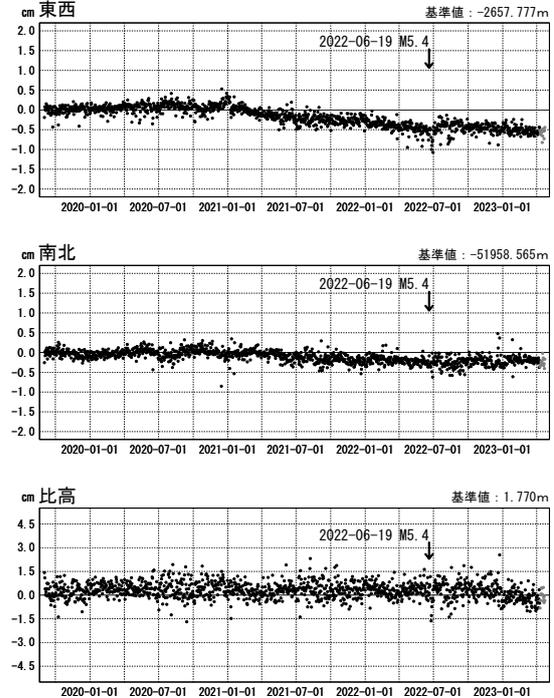
(2) 舢倉島 (950252) → 輪島 2 (020971)



(3) 舢倉島 (950252) → 能都 (960574)



(4) 舢倉島 (950252) → 輪島 (940053)



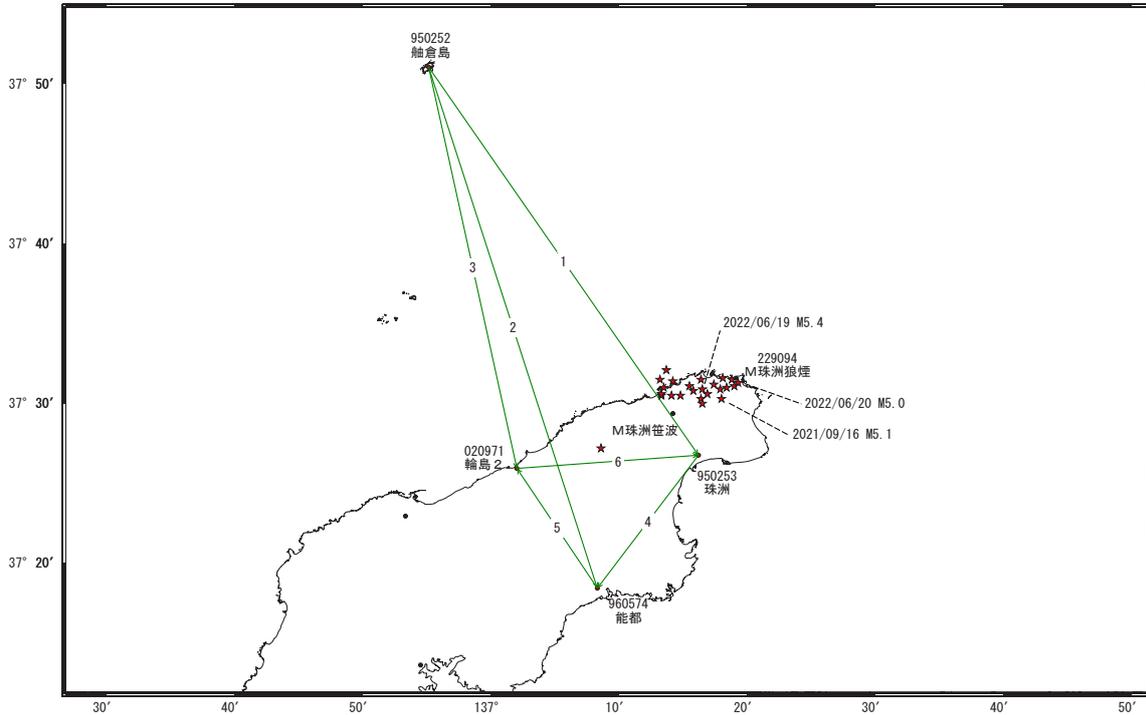
●—[F5:最終解] ●—[R5:速報解]

※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022-06-19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

第 14 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（3 成分時系列）（暫定）
Fig. 14 Time series of transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

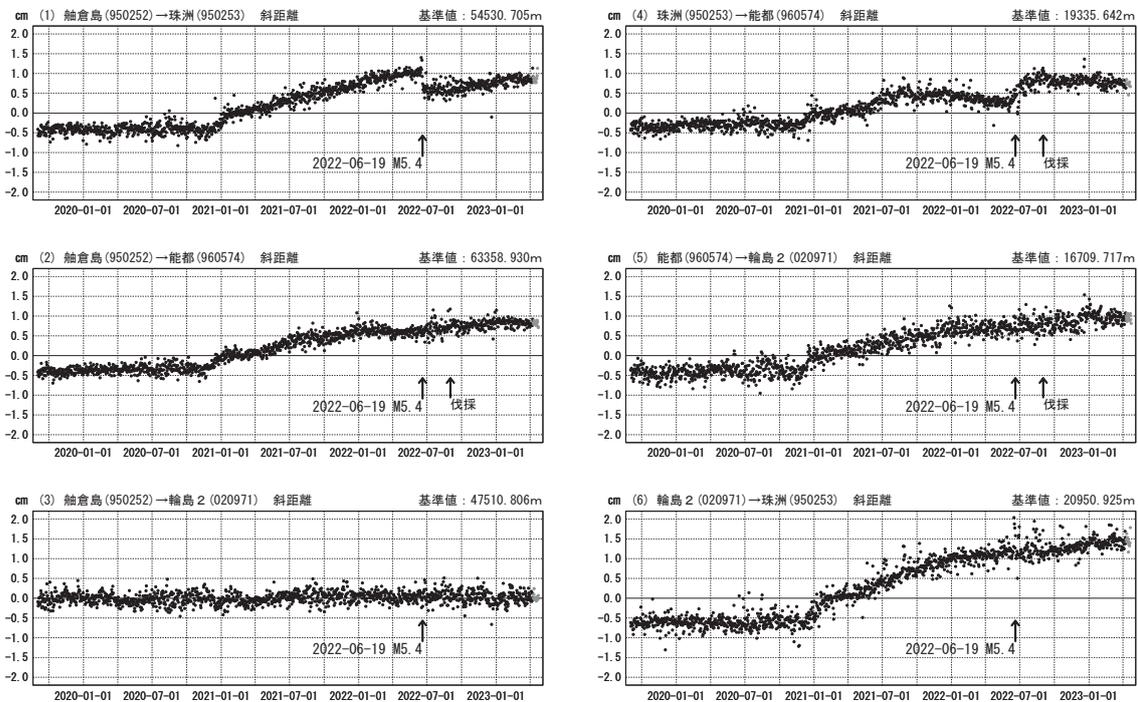
基線図



★ 震央（2020年11月以降 M>4.0）

基線変化グラフ（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

期間：2019-09-01~2023-04-22 JST 計算期間：2017-09-01~2020-09-01



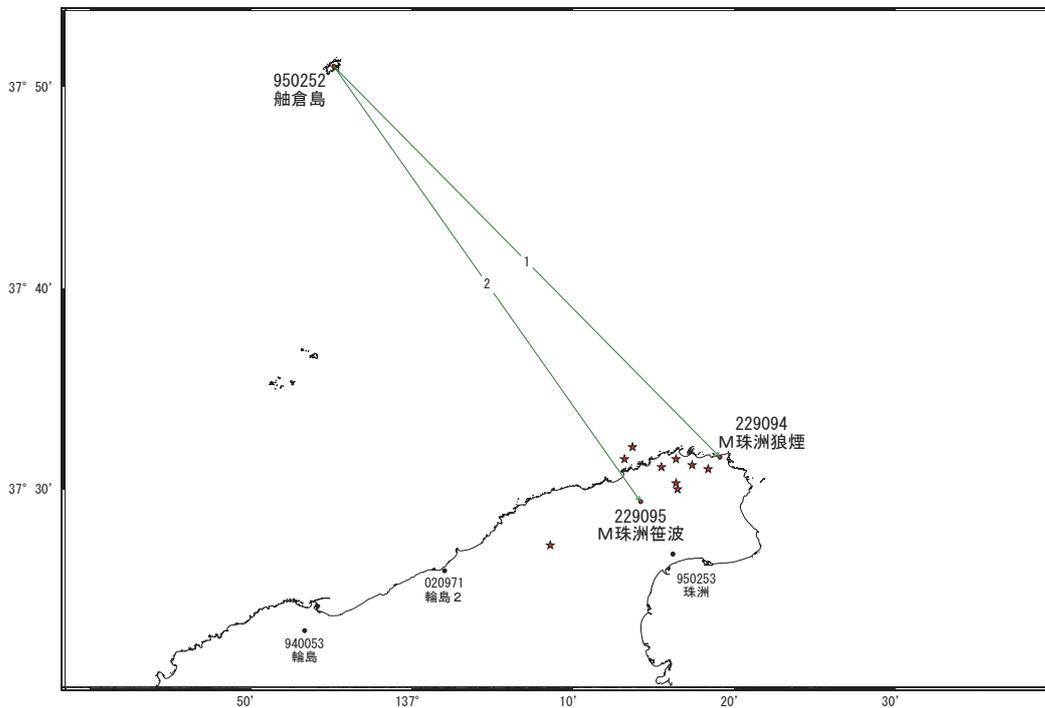
●—[F5:最終解] ●—[R5:速報解]

※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022-06-19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

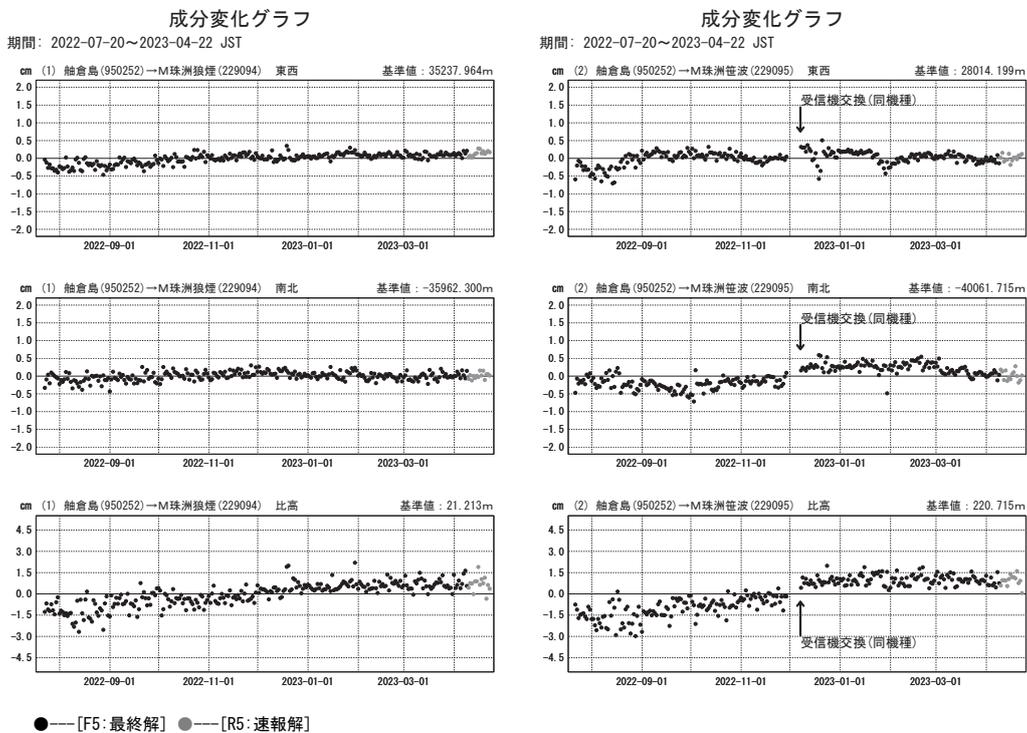
第 15 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動（基線図及び斜距離）（暫定）

Fig. 15 Transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture: baseline map (upper) and baseline length time series (lower) (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）
 — 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測結果 —
 基線図



★ 震央 (2022年8月以降 M>4.0)



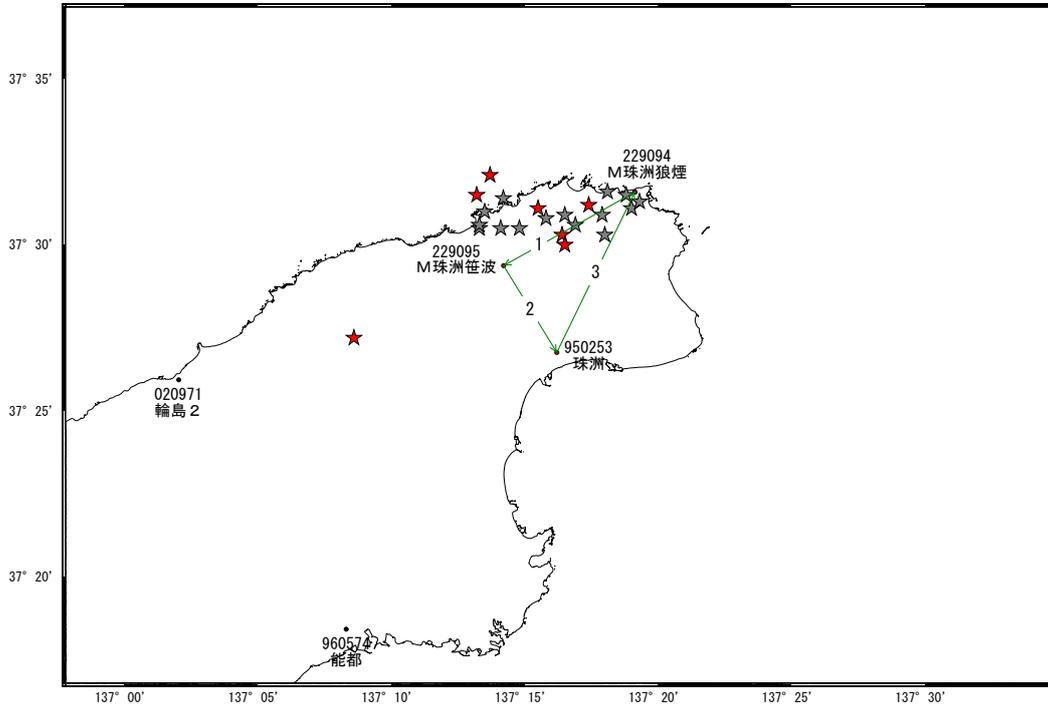
第 16 図 石川県能登地方の非定常的な地殻変動：可搬型 GNSS 連続観測装置（REGMOS）による観測結果（基線図及び 3 成分時系列）（暫定）

Fig. 16 Transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture observed by Removable GNSS Monitoring System (REGMOS): baseline map (upper) and 3 components time series (lower) (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

— 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測結果 —

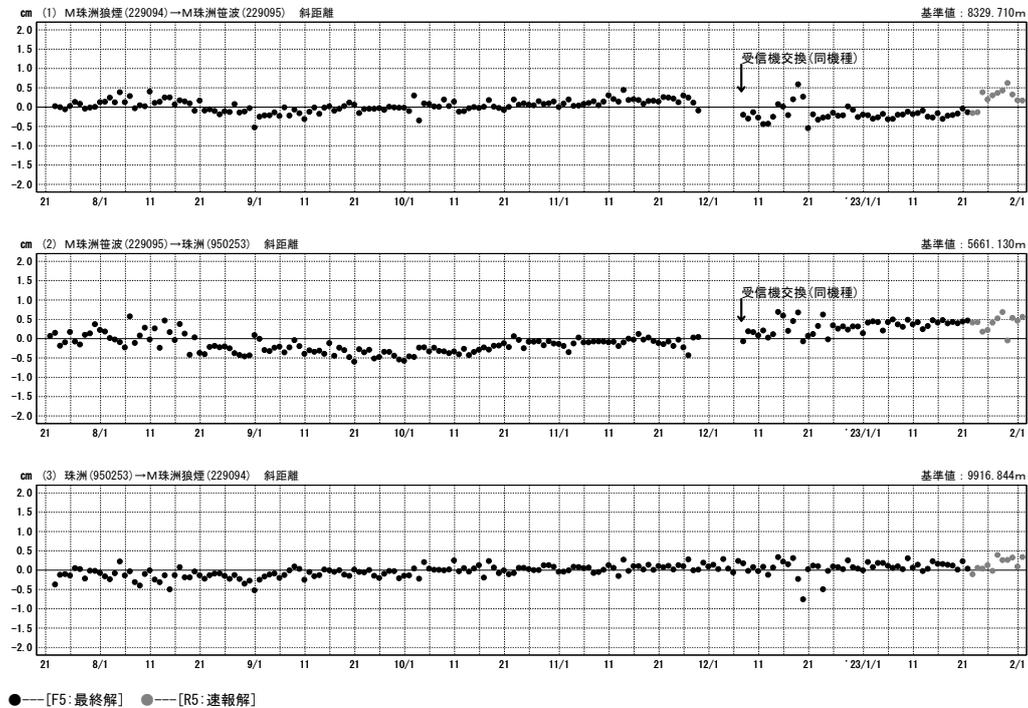
基線図



★ 震央 M>4.0 (灰色：2020年11月～2022年7月 赤：2022年8月以降)

基線変化グラフ

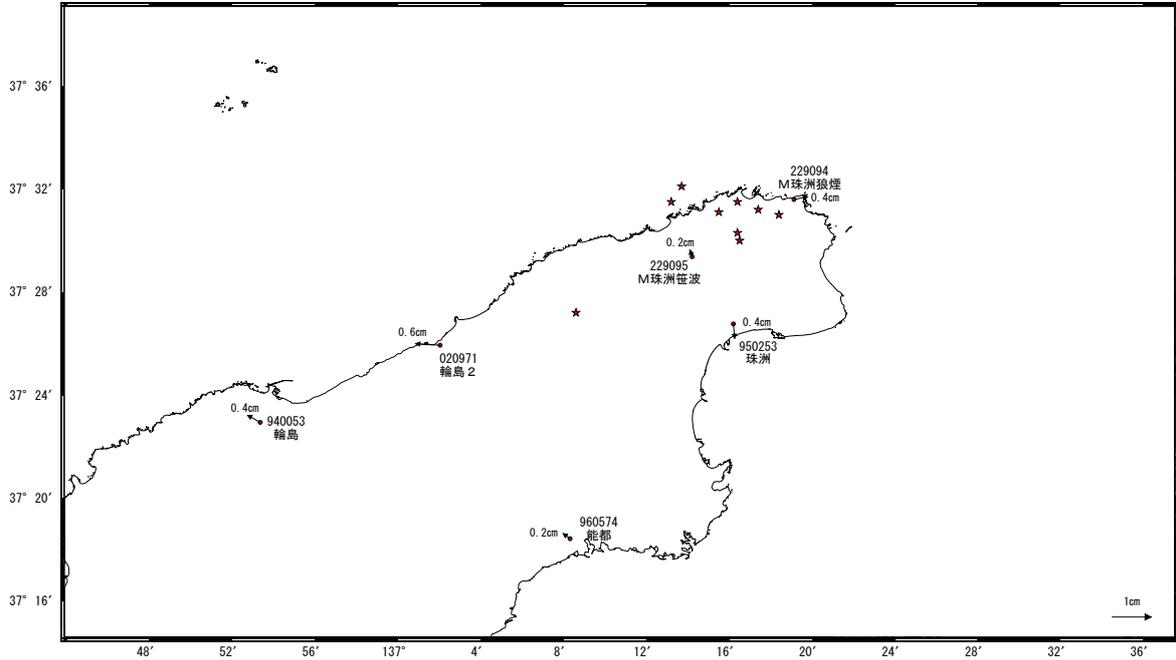
期間：2022/07/20～2023/02/01 JST



第 17 図 石川県能登地方の非定期的な地殻変動：REGMOS による観測結果（基線図及び斜距離）（暫定）
 Fig. 17 Transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture observed by REGMOS: baseline map (upper) and baseline length time series (lower) (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）
 — 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）設置後の地殻変動 —
 ベクトル図（水平）

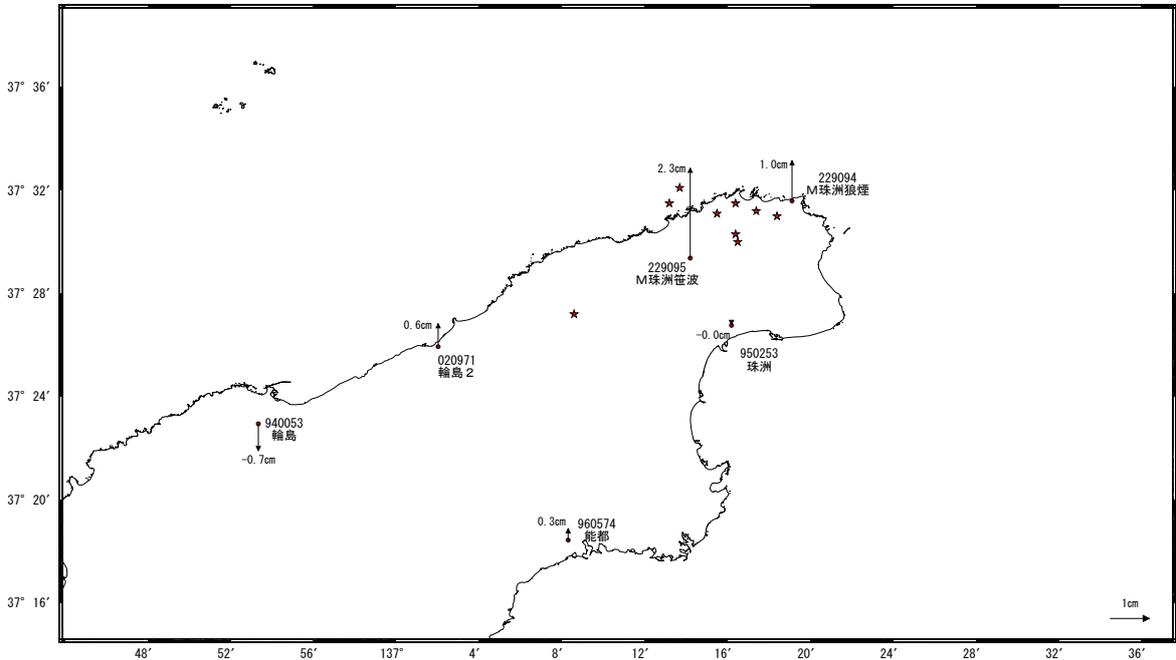
基準期間：2022-09-01～2022-09-07[F5:最終解]
 比較期間：2023-04-16～2023-04-22[R5:速報解]



★ 固定局：舩倉島 (950252)

ベクトル図（上下）

基準期間：2022-09-01～2022-09-07[F5:最終解]
 比較期間：2023-04-16～2023-04-22[R5:速報解]



★ 固定局：舩倉島 (950252)

★ 震央（2022年8月以降 M>4.0）

※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022/06/19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

第 18 図 REGMOS 設置後の石川県能登地方の非定常的な地殻変動：（水平及び上下変動）（暫定）

Fig. 18 Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture after installation of REGMOS (preliminary results).