

## 10 - 3 九州・沖縄地方の地殻変動

## Crustal Deformations in the Kyushu and Okinawa Districts

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

## [トカラ列島近海の地震 (12 月 9 日) M6.1 GNSS]

第 1 図は, 2021 年 12 月 9 日に発生したトカラ列島近海の地震の地殻変動に関する資料である。

第 1 図上段は, GNSS 連続観測基線図である。固定局は与論観測点(鹿児島県)である。下段は, 震源近傍の 2 観測点の基線 3 成分時系列グラフである。この地震に伴う顕著な地殻変動は見られない。

## [日向灘の地震 (1 月 22 日) M6.6 GNSS]

第 2 ~ 7 図は, 2022 年 1 月 22 日に発生した日向灘の地震の地殻変動に関する資料である。

第 2 図上段は, GNSS 連続観測結果による水平変動ベクトル図である。2022 年 1 月 13 日 ~ 1 月 20 日に対する 1 月 22 日 ~ 1 月 29 日の期間の地殻変動を表す。固定局は三隅観測点(島根県)である。下段は震源近傍の 2 観測点の 3 成分時系列である。宇目観測点や米水津観測点で僅かな水平変動が観測された。

第 3 図上段は, GNSS 連続観測結果による上下変動ベクトル図である。下段は震源近傍の 2 観測点の 3 成分時系列である。北川観測点や大分佐伯観測点で 1 cm 程度の沈降など, 小さな地殻変動が観測された。

## [日向灘の地震 震源断層モデル]

第 4 ~ 7 図は, 電子基準点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, 地震規模と断層面積及び地震規模と断層幅に関する経験的スケーリング則<sup>1)</sup>に近づくよう拘束を加えた。

第 4 ~ 5 図は, 断層の走向を  $0^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  の範囲に制約する条件を付与した推定による結果である。

第 4 図は, 計算の結果, 北東 - 南西走向で南東に傾き下がる概ね鉛直な断層面上における逆断層運動として推定された震源断層モデルである。推定された断層面の水平位置は, 震源分布と整合しており, 断層面の先端は深さ約 31km に位置する。モーメントマグニチュードは 6.5 (剛性率 60GPa を仮定) となった。

第 5 図は, 左図に北西 - 南西走向の線分 1 ~ 7 で示す区間について, 右図に断層モデルと震央分布を鉛直断面図として示す。断層位置は震源分布と整合し, いずれも図中に黒破線で示すプレート境界面よりも下方にあることが分かる。

第 6 ~ 7 図は, 断層の走向を  $180^{\circ}$  から  $360^{\circ}$  の範囲に制約する条件を付与した推定による結果である。

第 6 図は, 計算の結果, 北西 - 南東走向で北東に傾き下がる断層面上における断層運動として推定された震源断層モデルである。推定された断層面の水平位置は, 震源分布と整合しており,

断層面の上端は深さ約 36km に位置する。モーメントマグニチュードは 6.5 (剛性率 60GPa を仮定) となった。

第 7 図は、左図に北西 - 南西走向の線分 1 ~ 7 で示す区間について、右図に断層モデルと震央分布を鉛直断面図として示す。断層位置は震源分布と整合し、いずれも図中に黒破線で示すプレート境界面よりも下方にあることが分かる。

観測された地殻変動量が小さいため、いずれのモデルにおいても、断層パラメータの推定誤差が大きいが、モデルによる計算値は観測値を同程度に説明している。

#### [九州地域の非定常水平地殻変動 (長期的 SSE)]

第 8 ~ 13 図は、2020 年夏頃から九州南部で見られている非定常的な地殻変動に関する資料である。

第 8 図は、一次トレンド除去後の非定常地殻変動ベクトル図である。2012 年 1 月 1 日 ~ 2013 年 3 月 1 日の期間を定常変動とし、一次トレンドを推定した。固定局は島根県の三隅観測点である。2020 年 1 月 1 日 ~ 1 月 7 日に対する 2022 年 4 月 5 日 ~ 11 日の約 2 年 3 か月の期間での非定常的な地殻変動を示している。九州南部の宮崎県南部で南東向きに最大 2cm 程度の変動が見られる。

第 9 図は、第 8 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を除去している。いずれの観測点でも南東向きの変動が見られており、2021 年春頃に鈍化し、2021 年 10 月頃から停滞しているように見える。

第 10 ~ 13 図は、非定常的な地殻変動を基に、時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果に関する資料である。同様に一次トレンドを除去している。すべりの推定では、すべり方向をプレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束している。

第 10 図 (a) は、2020 年 6 月 1 日 ~ 2022 年 4 月 5 日の期間で推定されたすべり分布を示している。同時期に発生している種子島周辺の短期的 SSE によるすべりとあわせ、日向灘の南部ですべりが推定された。推定されたすべりの最大値は 21cm、モーメントマグニチュードは 6.6 と求まった。

第 10 図 (b) は、観測値と計算値との比較である。観測値をよく説明できていることが分かる。

第 11 図は、九州南部の観測点における観測値と計算値の時間変化を示した図である。2020 年夏頃から見られる変動がよく説明できていることが分かる。

第 12 図は、日向灘南部に位置するグリッドのすべりの時間変化を示した図である。2020 年夏頃からすべりが見られており、2021 年春頃に鈍化し、2021 年 10 月頃から停滞しているように見える。

第 13 図は、図中の太い実線で囲まれた領域に位置するグリッドのすべりから求めたモーメントの時系列グラフである。2020 年夏頃からモーメントの増大が見られており、2021 年春頃に鈍化し、2021 年 10 月頃から停滞しているように見える。2022 年に入ってから若干増加しているようにも見える。

#### [先島諸島の非定常地殻変動 GNSS]

第 14 ~ 16 図は、GNSS 連続観測によって観測された先島諸島の非定常地殻変動についての水平変動ベクトル図及び基線変化グラフである。2021 年 10 月から 11 月にかけて、波照間島観

測点が南南東に約 1cm 変動したのをはじめ、石垣島と西表島でも南南東方向の僅かな変動が観測された。この地域では、今回と同様の非定常地殻変動が半年程度の間隔で発生しており、プレート境界でスロースリップが発生しているものと考えられている。

#### [沖縄本島北西沖の地震活動 GNSS]

第 17 図は、2022 年 1 月下旬から沖縄本島北西沖で発生している地震活動に伴う地殻変動に関する資料である。1 月 30 日頃から沖縄本島北西沖で活発な地震活動が見られており、最大の地震は 3 月 17 日の M5.9 の地震であった。この地震活動とほぼ同期して沖縄県久米島で地殻変動が観測されている。

第 17 図上段は、GNSS 連続観測結果による水平変動ベクトル図である。2022 年 1 月 22 日～1 月 28 日に対する 4 月 23 日～4 月 29 日の期間の地殻変動を表す。固定局は与論観測点である。久米島の具志川観測点で南東方向に約 1 cm の小さな地殻変動が観測されている。下段は震源近傍の 2 観測点の 3 成分時系列である。地殻変動がゆっくり進行していることが分かる。

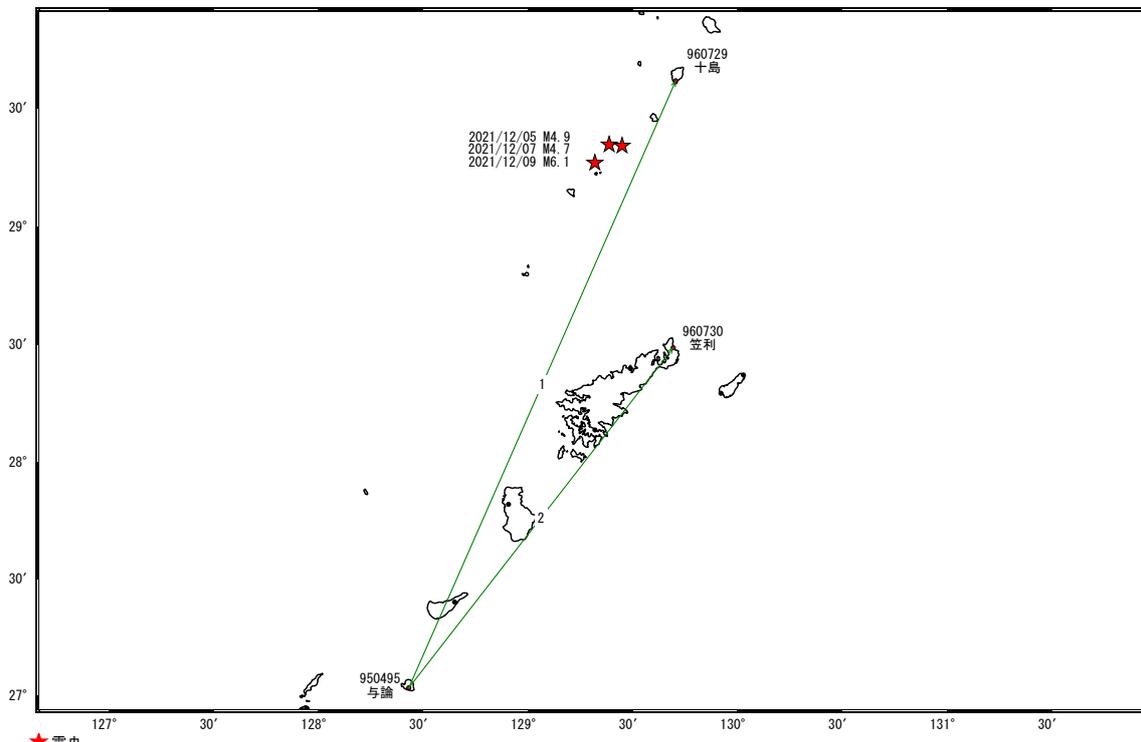
#### 参考文献

- 1) Strasser, F. O., M. C. Arango, and J. J. Bommer (2010), Scaling of the source dimensions of interface and intraslab subduction-zone earthquakes with moment magnitude, *Seismol. Res. Lett.*, **81**, 941–950.

## トカラ列島近海の地震活動(最大地震 12月9日 M6.1)前後の観測データ

この地震に伴う顕著な地殻変動は見られない。

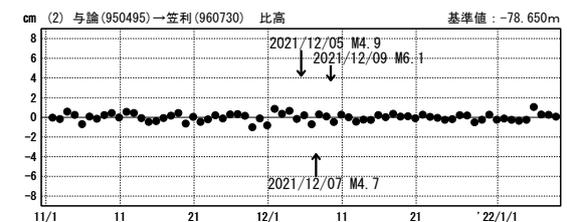
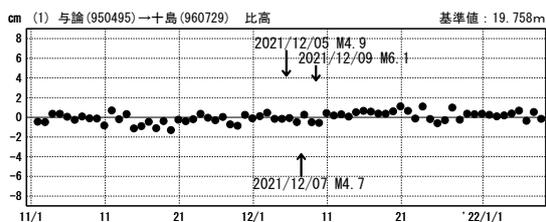
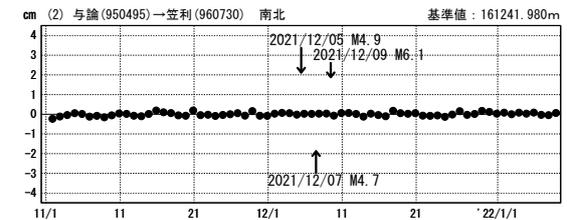
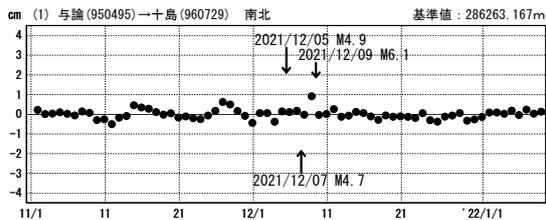
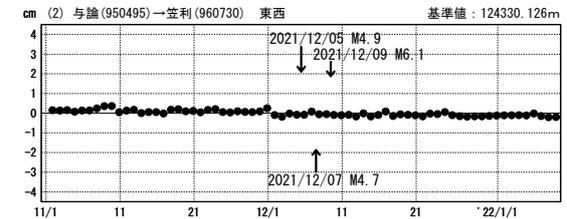
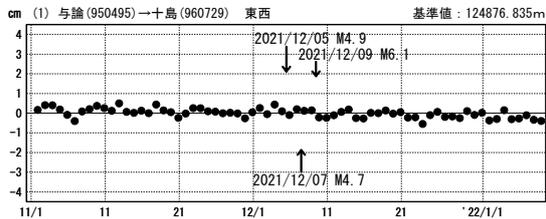
基線図



成分変化グラフ

期間: 2021/11/01~2022/01/08 JST

期間: 2021/11/01~2022/01/08 JST



●— [F5:最終解]

第 1 図 トカラ列島近海の地震 (2021 年 12 月 9 日, M6.1) 前後の観測データ: (上図) 基線図, (下図) 3 成分時系列グラフ。

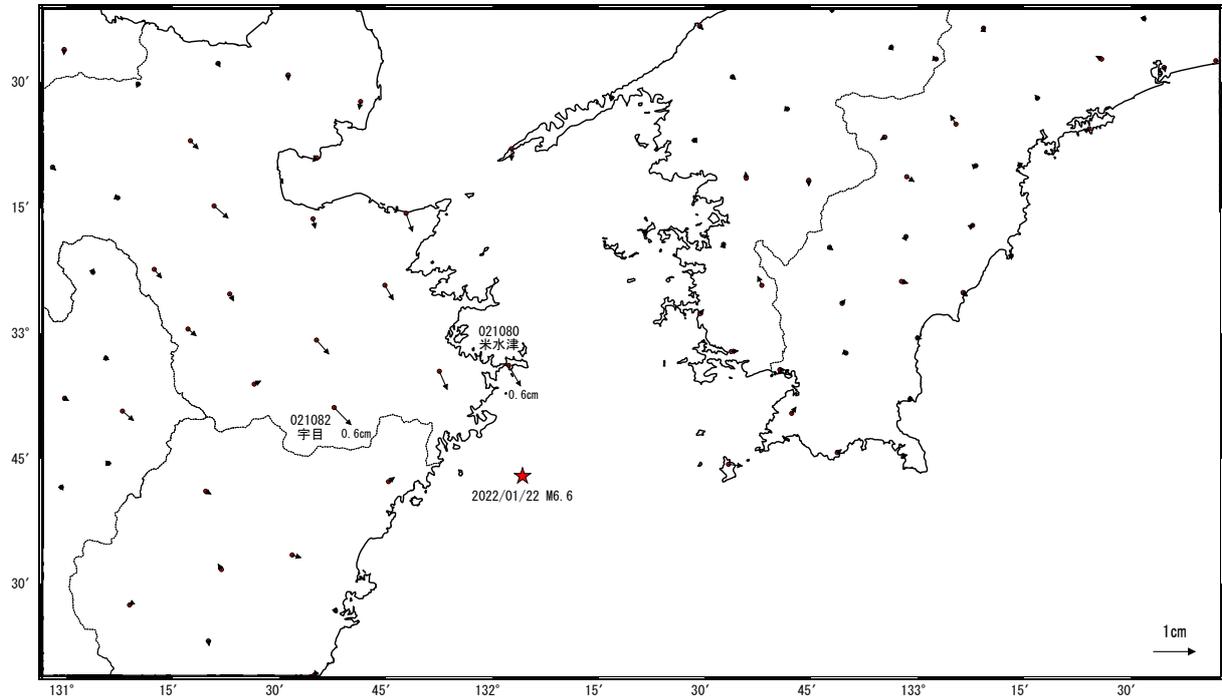
Fig. 1 Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.1 earthquake around the Tokara Islands on December 9, 2021: baseline map (upper) and 3 components time series (lower).

## 日向灘の地震(1月22日 M6.6)前後の観測データ (暫定)

この地震に伴い小さな地殻変動が観測された。

### 地殻変動 (水平)

基準期間: 2022/01/13~2022/01/20 [R5: 速報解]  
比較期間: 2022/01/22~2022/01/29 [R5: 速報解]

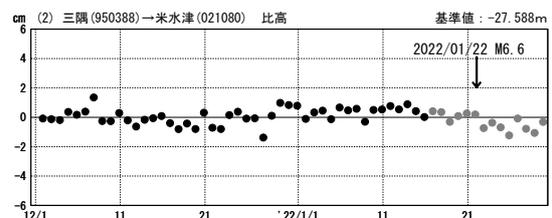
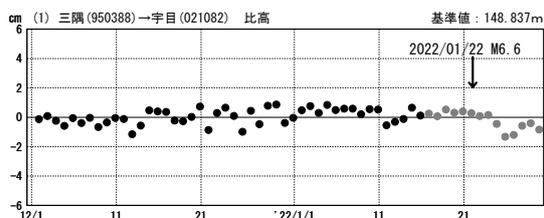
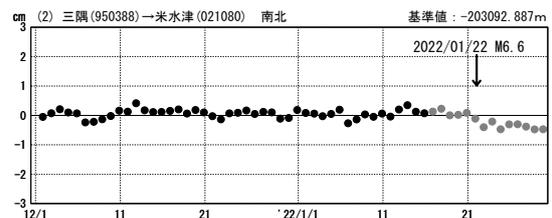
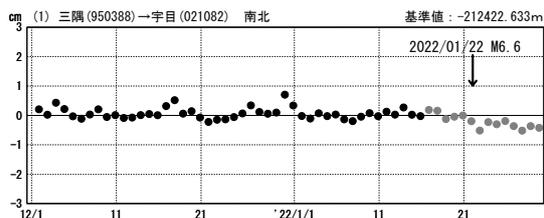
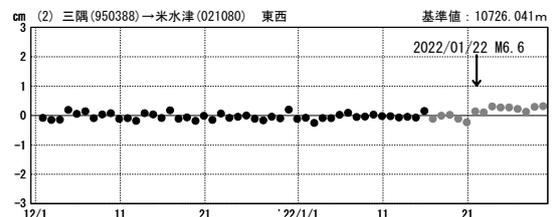
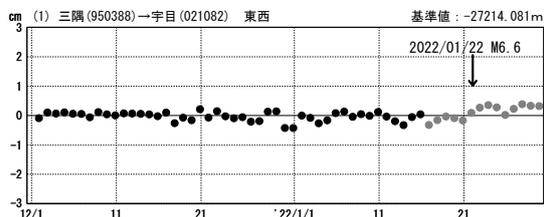


☆ 固定局: 三隅(950388) ☆ 震央

### 成分変化グラフ

期間: 2021/12/01~2022/01/29 JST

期間: 2021/12/01~2022/01/29 JST



●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

第 2 図 日向灘の地震(2022 年 1 月 22 日, M6.6)に伴う地殻変動: (上図) 水平変動, (下図) 3 成分時系列グラフ (暫定).

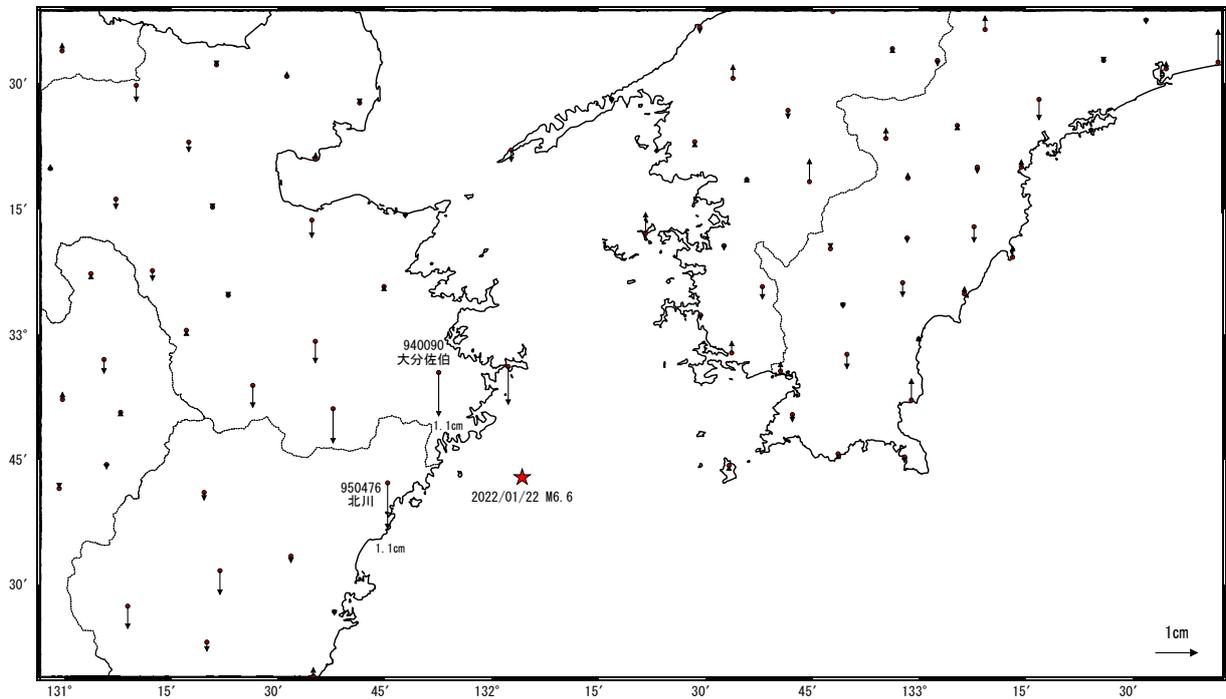
Fig. 2 Crustal deformation associated with the M6.6 earthquake Hyuga-nada on January 22, 2022: horizontal displacement (upper) and 3 components time series (lower) (preliminary results).

### 日向灘の地震(1月22日 M6.6)前後の観測データ (暫定)

この地震に伴い小さな地殻変動が観測された。

#### 地殻変動 (上下)

基準期間: 2022/01/13~2022/01/20 [R5: 速報解]  
比較期間: 2022/01/22~2022/01/29 [R5: 速報解]

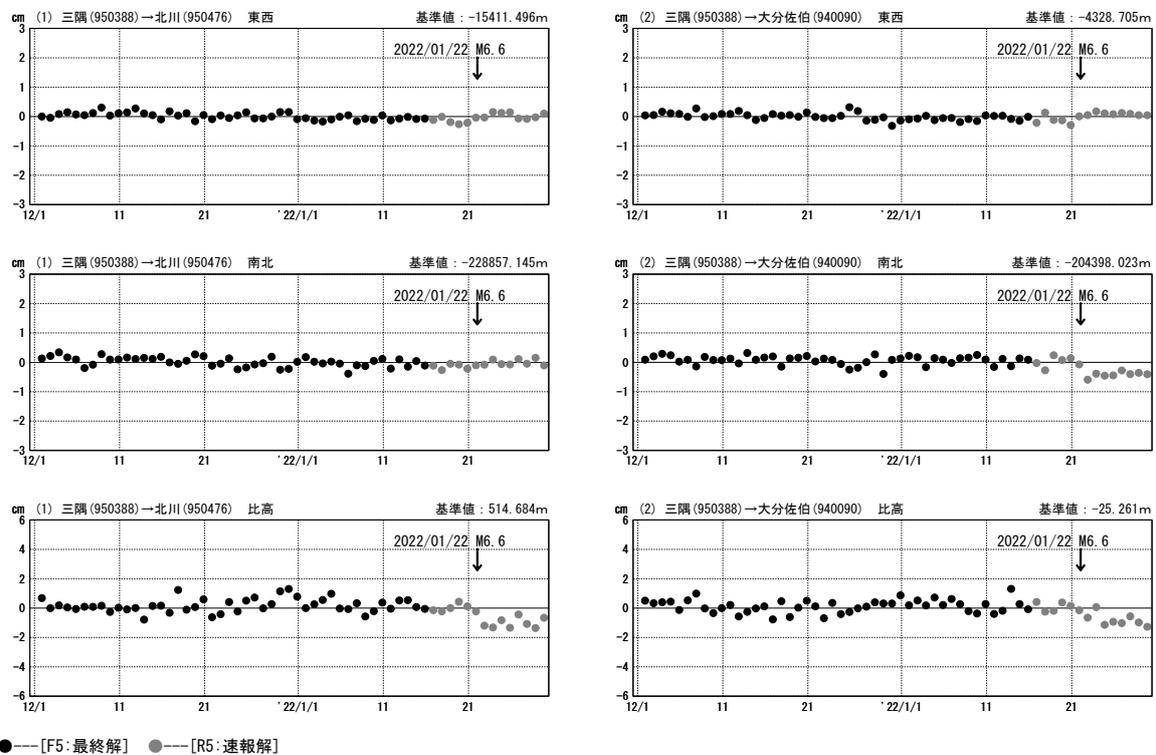


☆ 固定局: 三隅(950388) ☆ 震央

#### 成分変化グラフ

期間: 2021/12/01~2022/01/29 JST

期間: 2021/12/01~2022/01/29 JST



● [F5: 最終解] ● [R5: 速報解]

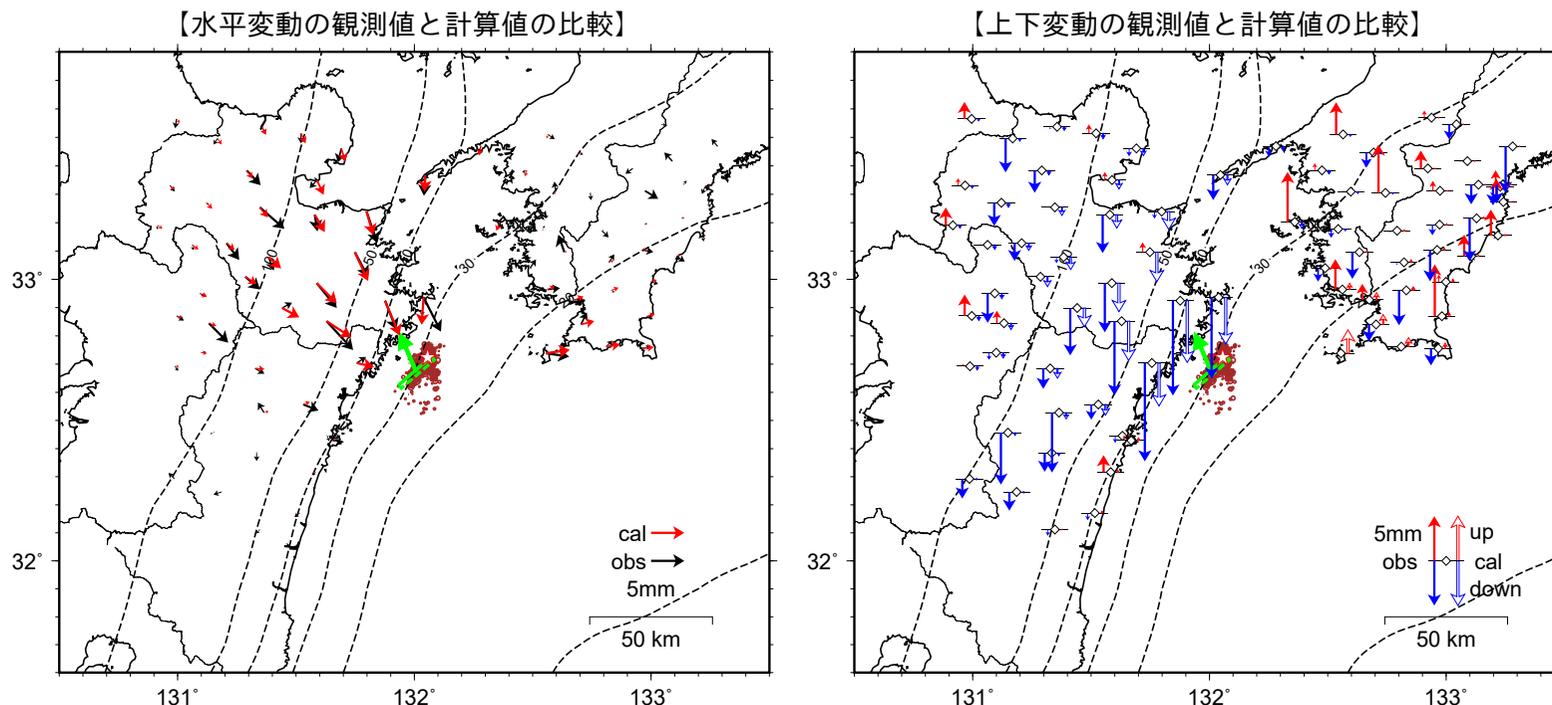
第 3 図 日向灘の地震(2022 年 1 月 22 日, M6.6)に伴う地殻変動: (上図) 上下変動, (下図) 3 成分時系列グラフ (暫定).

Fig. 3 Crustal deformation associated with the M6.6 earthquake Hyuga-nada on January 22, 2022: vertical displacement (upper) and 3 components time series (lower) (preliminary results).

## 2022年1月22日 日向灘の地震の震源断層モデル（南東傾斜）暫定

基準期間：2022年1月13日～2022年1月20日（R5解）JST

比較期間：2022年1月22日～2022年1月29日（R5解）JST



- ・白抜き星は01-22 M6.6の震源、茶色丸は震源分布（波形相関DD法による震源（気象庁）を使用）、2022年1月22日1時8分～1月24日23時59分。
- ・黒破線はフィリピン海プレート上面の等深線（Hirose et al., 2008）。
- ・黄緑色の矩形は震源断層モデルを地表面に投影した位置で、実線が断層上端。黄緑矢印は地表面に投影した断層のすべり方向。

### 【推定された震源断層パラメータ】

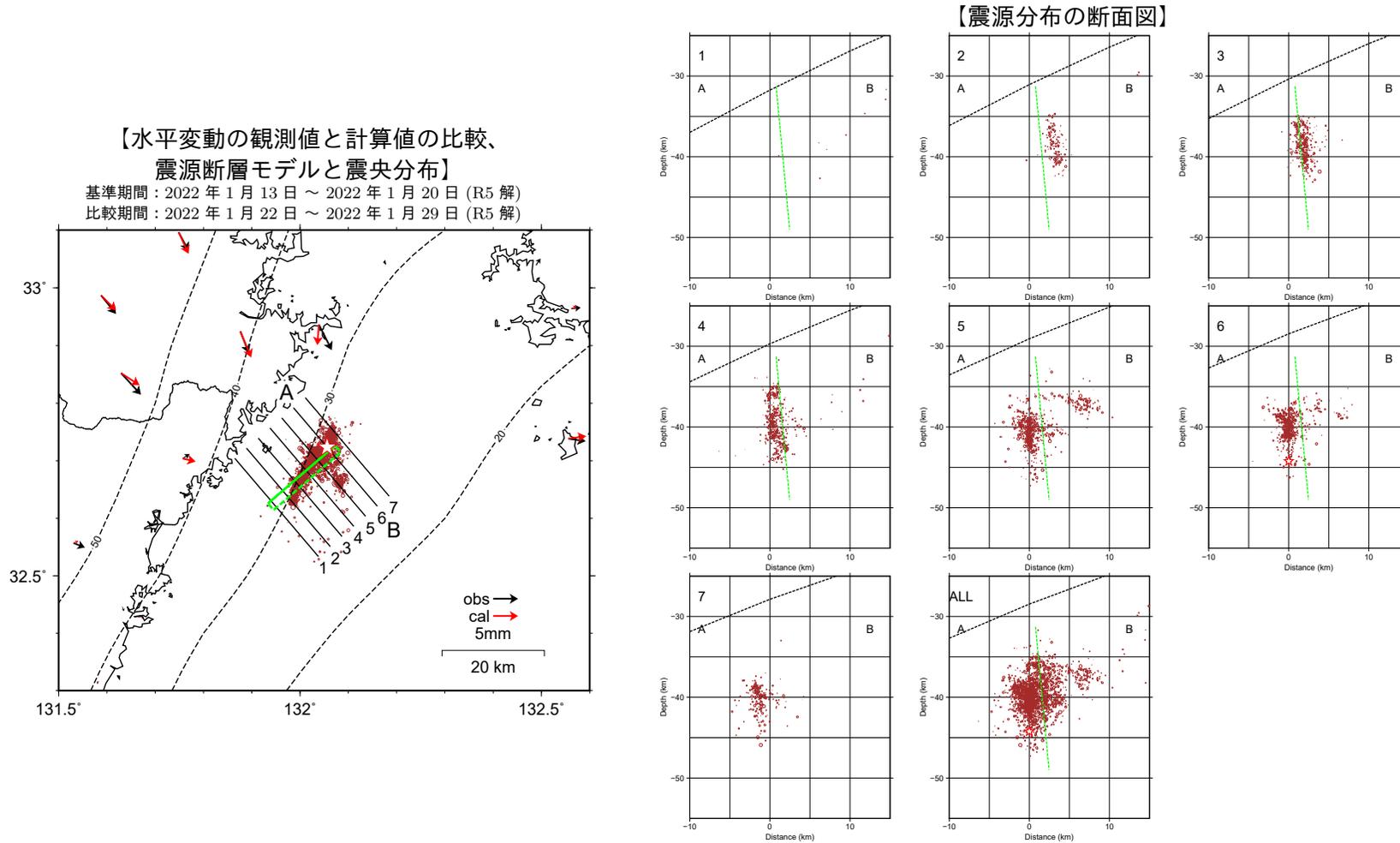
緯度	経度	上端深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	すべり角	すべり量 m	$M_w$
131.934	32.626	31.3	17.2	17.7	49.5	84.5	72.8	0.37	6.48
(0.037)	(0.033)	(4.2)	(3.0)	(0.5)	(3.0)	(5.4)	(6.1)	(0.06)	(0.03)

- ・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。括弧内は誤差（ $1\sigma$ ）を示す。
- ・ $M_w$  と断層面積および  $M_w$  と断層幅がスケーリング則（Strasser et al., 2010）に近づくよう拘束。
- ・ $M_w$  の計算においては、剛性率を60GPaと仮定。

第4図 日向灘の地震（2022年1月22日，M6.6）の震源断層モデル（南東傾斜）（暫定）。

Fig. 4 Rectangular fault model with southeast dipping of the M6.6 earthquake Hyuga-nada on January 22, 2022 (preliminary results).

2022年1月22日 日向灘の地震の震源断層モデル、震源分布の断面図（南東傾斜）暫定



- ・ 白抜きのは 01-22 M6.6 の震源、茶色丸は震源分布（波形相関 DD 法による震源（気象庁）を使用）、2022 年 1 月 22 日 1 時 8 分～1 月 24 日 23 時 59 分。
- ・ 黒破線はフィリピン海プレート上面の等深線及びプレート境界面（Hirose et al., 2008）。
- ・ 黄緑破線は断層面。
- ・ 断面図は各投影面（3km 間隔に配置）から ± 1.5km 以内の震源を表示。

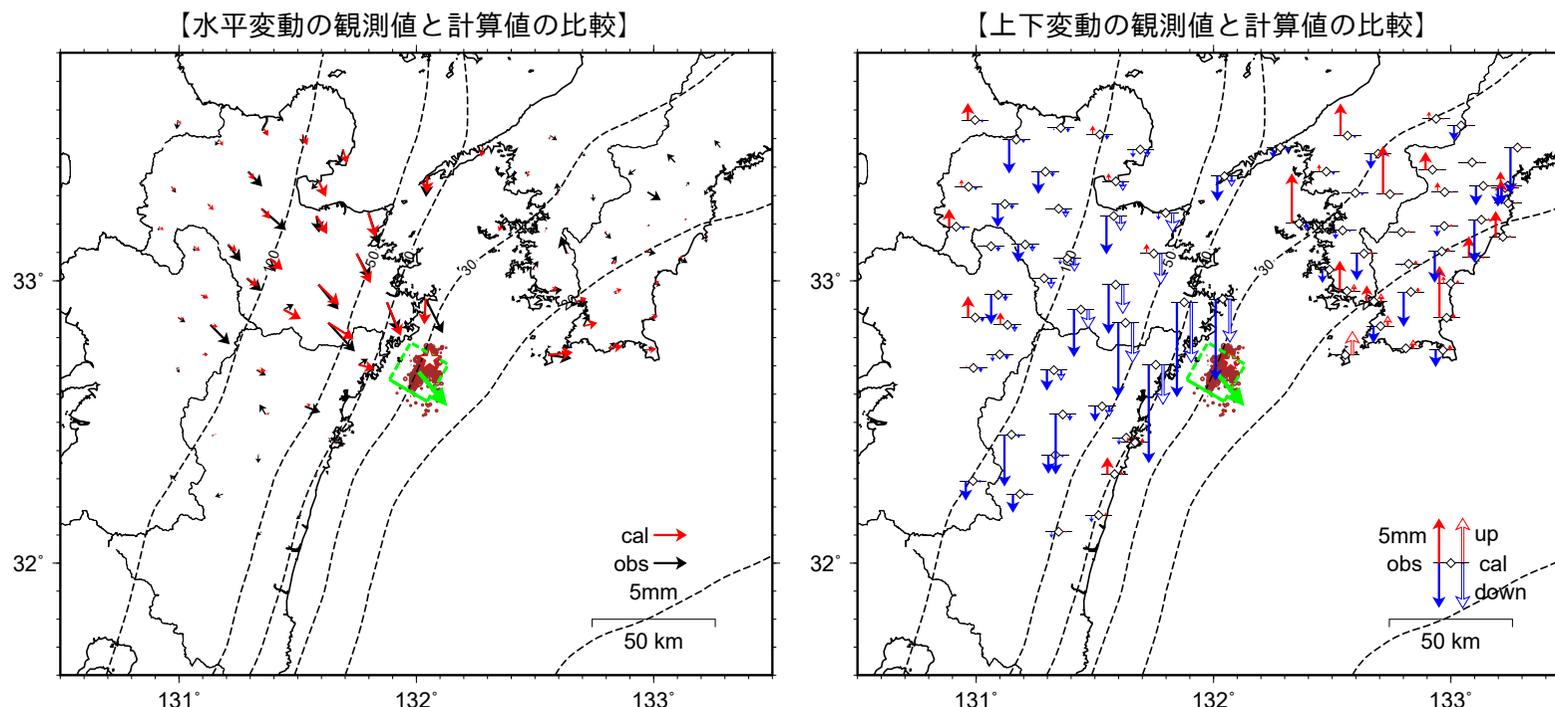
第 5 図 日向灘の地震（2022 年 1 月 22 日，M6.6）の震源断層モデル、震源分布の断面図（南東傾斜）（暫定）。

Fig. 5 Comparisons between the estimated SE dipping fault geometry and distribution of hypocenter determined by JMA using the Double-Difference method with waveform cross-correlation. Map view (left) and cross sections (right) (preliminary results).

## 2022年1月22日 日向灘の地震の震源断層モデル（北東傾斜）暫定

基準期間：2022年1月13日～2022年1月20日（R5解）JST

比較期間：2022年1月22日～2022年1月29日（R5解）JST



- ・白抜き星は01-22 M6.6の震源、茶色丸は震源分布（波形相関DD法による震源（気象庁）を使用）、2022年1月22日1時8分～1月24日23時59分。
- ・黒破線はフィリピン海プレート上面の等深線（Hirose et al., 2008）。
- ・黄緑色の矩形は震源断層モデルを地表面に投影した位置で、実線が断層上端。黄緑矢印は地表面に投影した断層のすべり方向。

### 【推定された震源断層パラメータ】

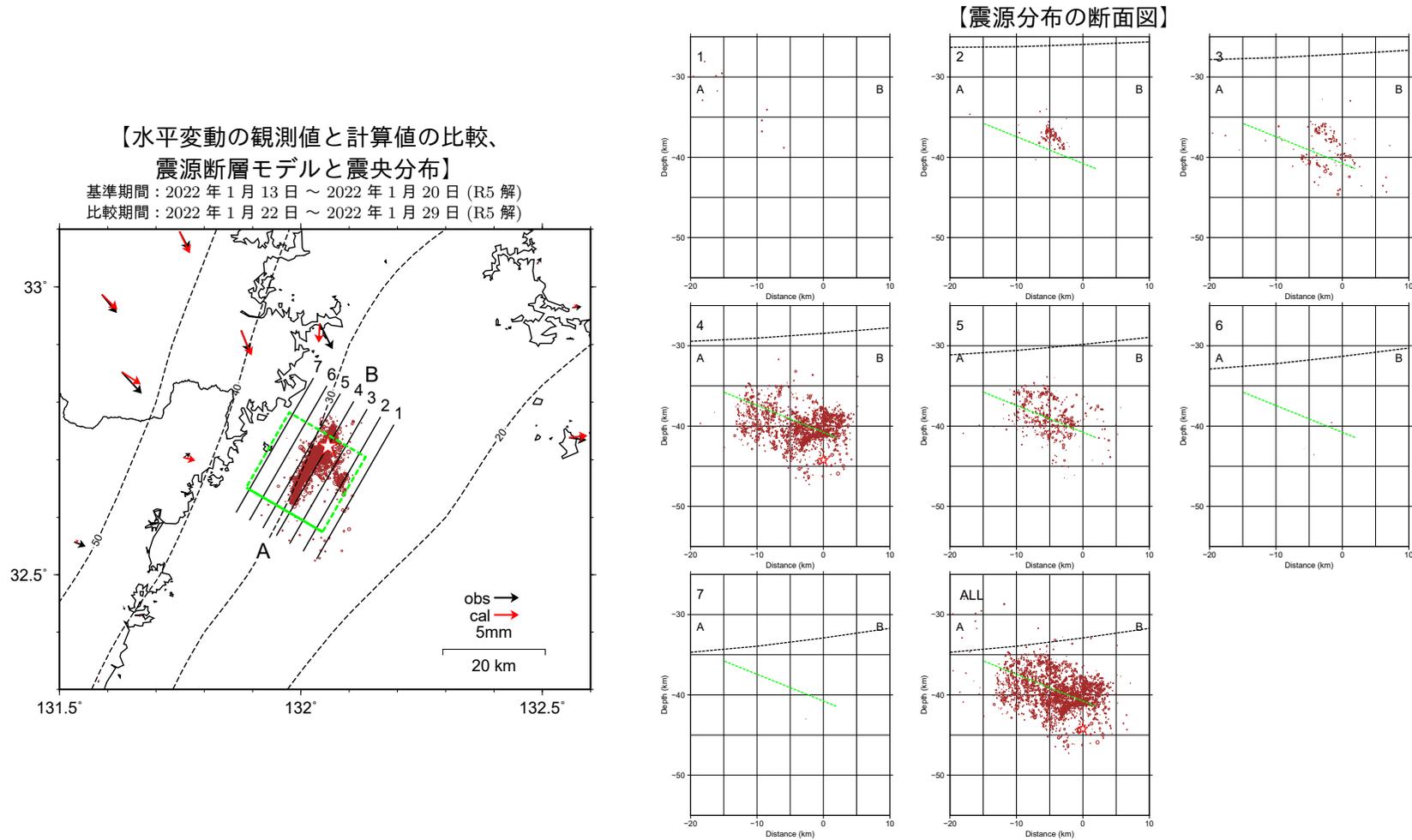
緯度	経度	上端深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	すべり角	すべり量 m	$M_w$
132.045	32.574	35.8	17.1	17.6	300.0	18.5	-200.2	0.37	6.47
(0.066)	(0.037)	(4.3)	(3.0)	(0.5)	(18.1)	(5.6)	(19.8)	(0.06)	(0.03)

- ・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。括弧内は誤差（ $1\sigma$ ）を示す。
- ・ $M_w$ と断層面積および $M_w$ と断層幅がスケーリング則（Strasser et al., 2010）に近づくよう拘束。
- ・ $M_w$ の計算においては、剛性率を60GPaと仮定。

第6図 日向灘の地震（2022年1月22日，M6.6）の震源断層モデル（北東傾斜）（暫定）。

Fig. 6 Rectangular fault model with northeast dipping of the M6.6 earthquake Hyuga-nada on January 22, 2022 (preliminary results).

2022年1月22日 日向灘の地震の震源断層モデル、震源分布の断面図（北東傾斜）暫定



- ・ 白抜き星は 01-22 M6.6 の震源、茶色丸は震源分布（波形相関 DD 法による震源（気象庁）を使用）、2022年1月22日1時8分～1月24日23時59分。
- ・ 黒破線はフィリピン海プレート上面の等深線及びプレート境界面（Hirose et al., 2008）。
- ・ 黄緑破線は断層面。
- ・ 断面図は各投影面（3km 間隔に配置）から ± 1.5km 以内の震源を表示。

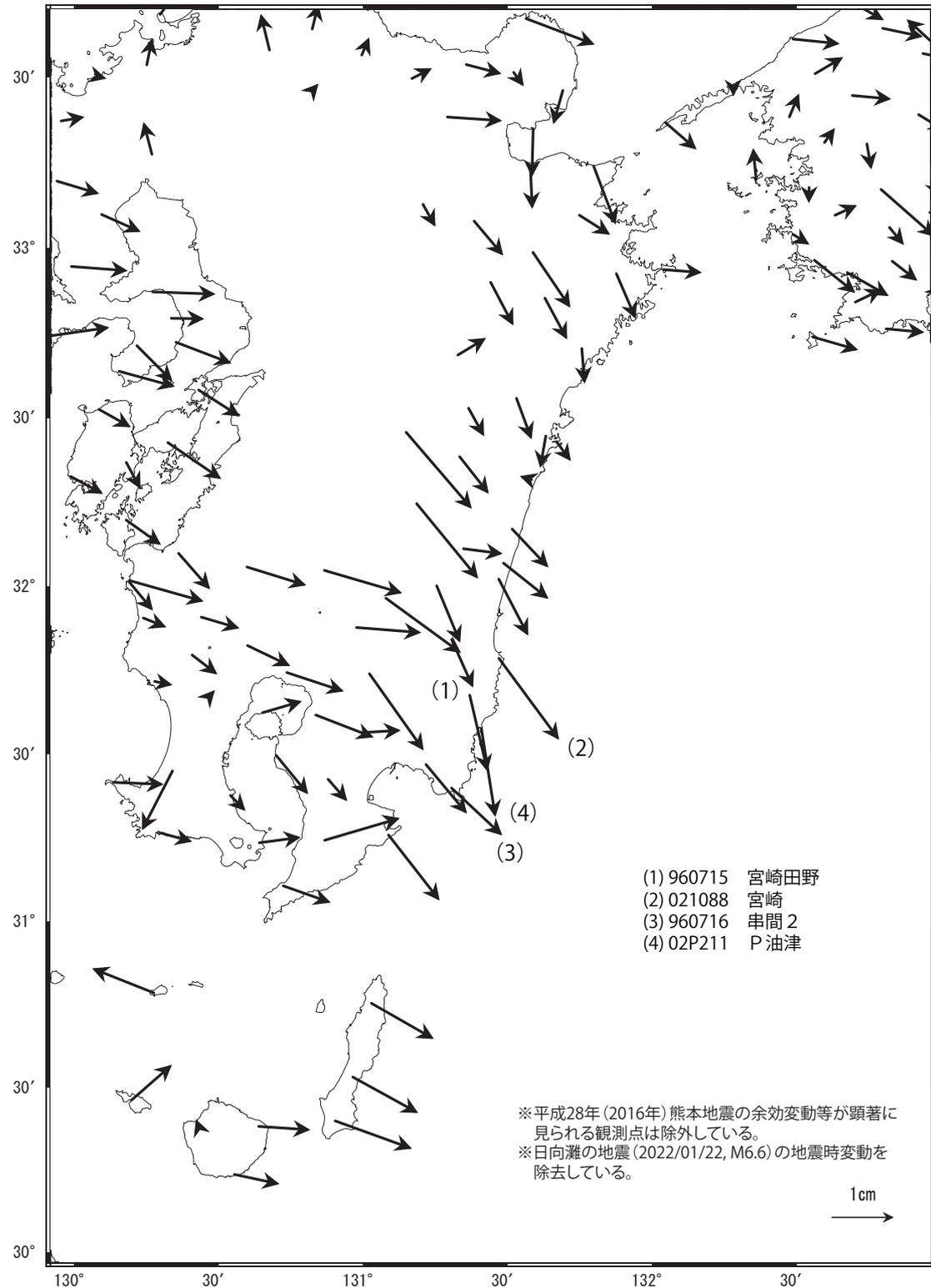
第7図 日向灘の地震（2022年1月22日，M6.6）の震源断層モデル、震源分布の断面図（北東傾斜）（暫定）。

Fig. 7 Comparisons between the estimated NE dipping fault geometry and distribution of hypocenter determined by JMA using the Double-Difference method with waveform cross-correlation. Map view (left) and cross sections (right) (preliminary results).

九州地域の非定常水平地殻変動(1次トレンド除去後)

基準期間: 2020/01/01~2020/01/07 [F5: 最終解]  
 比較期間: 2022/04/05~2022/04/11 [R5: 速報解]

計算期間: 2012/01/01~2013/03/01



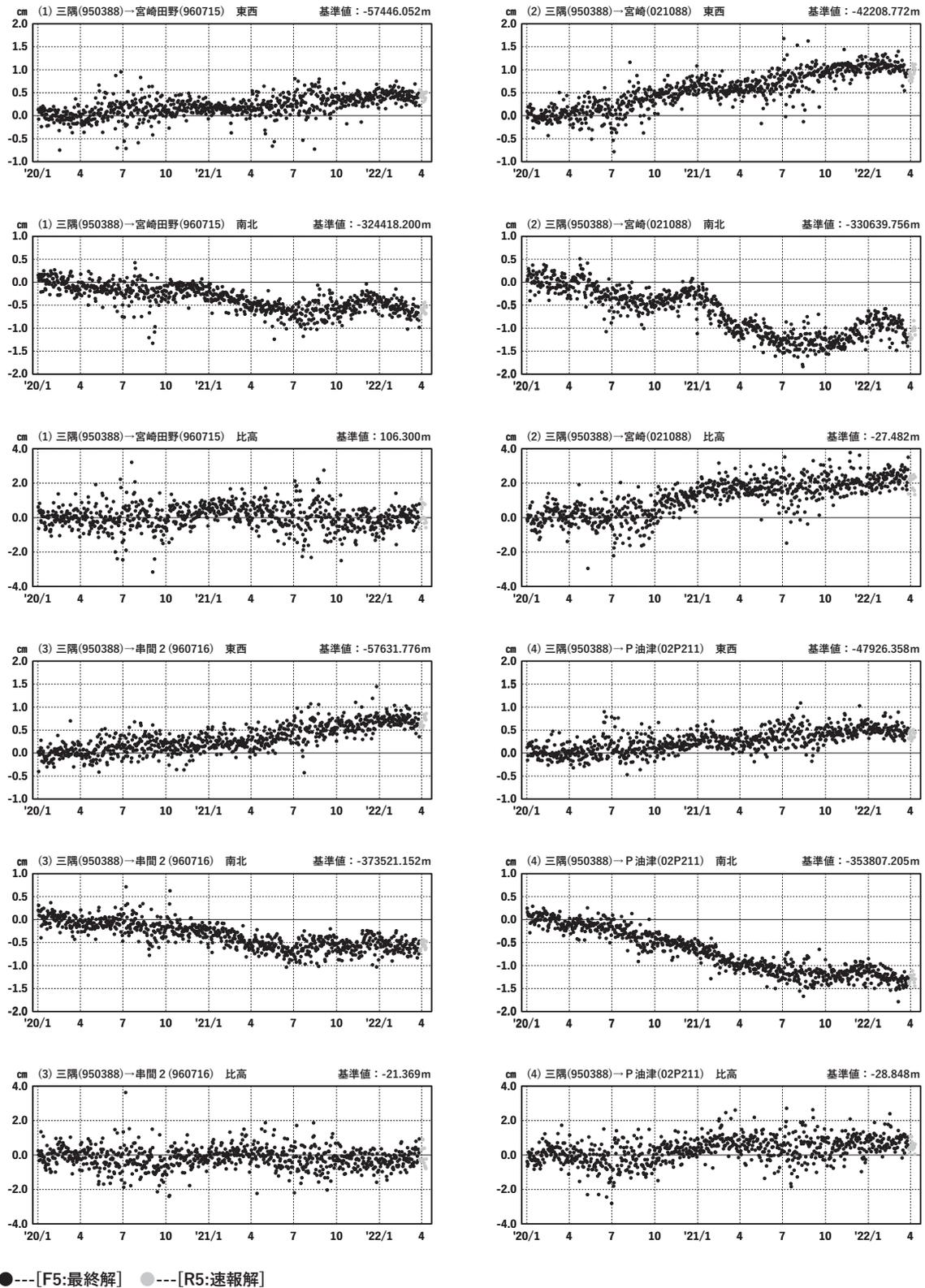
固定局: 三隅(950388)

第 8 図 九州地域の非定常水平地殻変動.  
 Fig. 8 Transient horizontal deformation in the Kyusyu district.

## 九州地域 GNSS 連続観測時系列 1 次トレンド除去後グラフ

期間: 2020/01/01~2022/04/11 JST

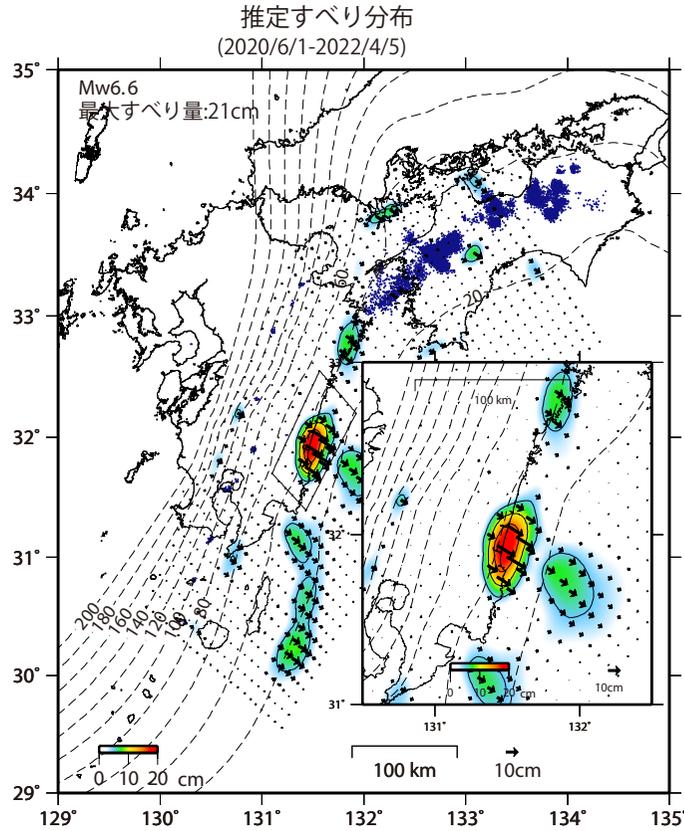
計算期間: 2012/01/01~2013/03/01



第 9 図 九州地域 GNSS 連続観測時系列.

Fig. 9 Results of continuous GNSS measurements in the Kyusyu district with respect to the Misumi station.

GNSSデータから推定された日向灘南部の長期的ゆっくりすべり（暫定）



Mw及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。  
すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。  
推定したすべり量が標準偏差( $\sigma$ )の3倍以上のグリッドを黒色で表示している。

使用データ:GEONETによる日々の座標値(F5解、R5解)

F5解(2020/1/1- 2022/03/19) +R5解(2022/03/20-2022/4/5)

トレンド期間:2012/1/1-2013/3/1 (年周・半年周成分は補正なし)

モーメント計算範囲:左図の黒枠内側

観測値:3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値

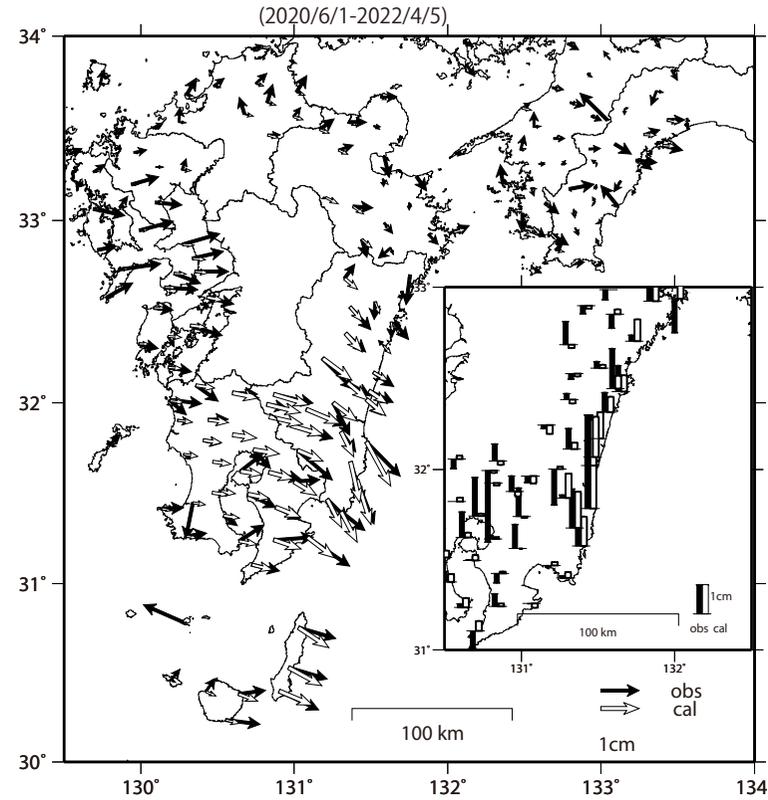
黒破線:フィリピン海プレート上面の等深線(Hirose et al.,2008)

すべり方向:プレートの沈み込み方向に拘束

青丸:低周波地震(気象庁一元化震源)(期間:2020/6/1- 2022/4/5)

固定局:三隅

観測値（黒）と計算値（白）の比較



\* 電子基準点の保守等による変動は補正済み

\* 日向灘の地震(2022/01/22,M6.6)の地震時変動を除去している。

\* 平成28年(2016年)熊本地震の余効変動が顕著に見られる観測点は除外している。

第 10 図 (a) 日向灘南部において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）。

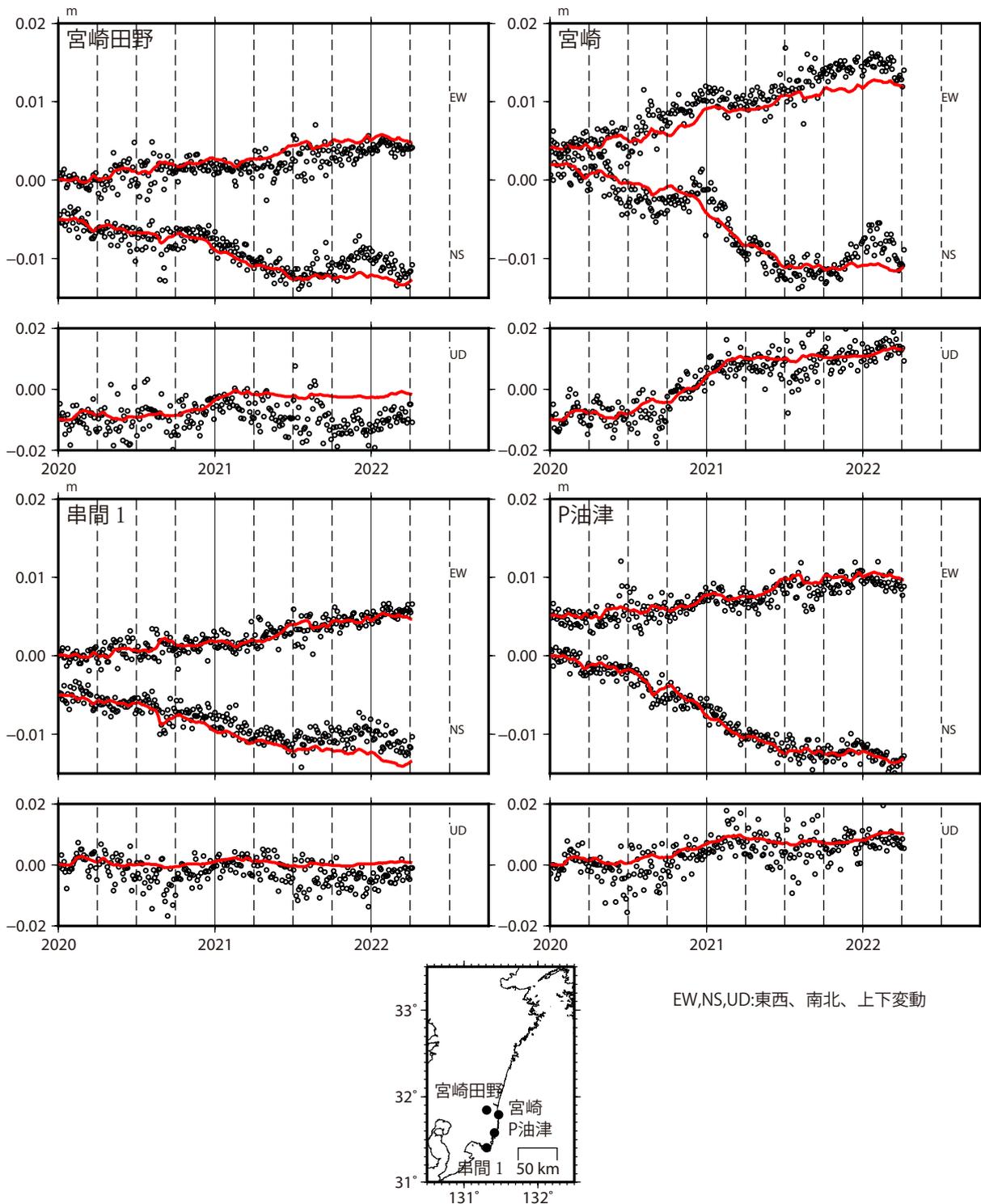
Fig. 10(a) Estimated slip distribution on the plate interface beneath the southern part of Hyuga-nada (preliminary results).

第 10 図 (b) 観測値（黒）と計算値（白）の比較。

Fig. 10(b) Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.

## 九州地域の観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)

### 時間依存のインバージョン



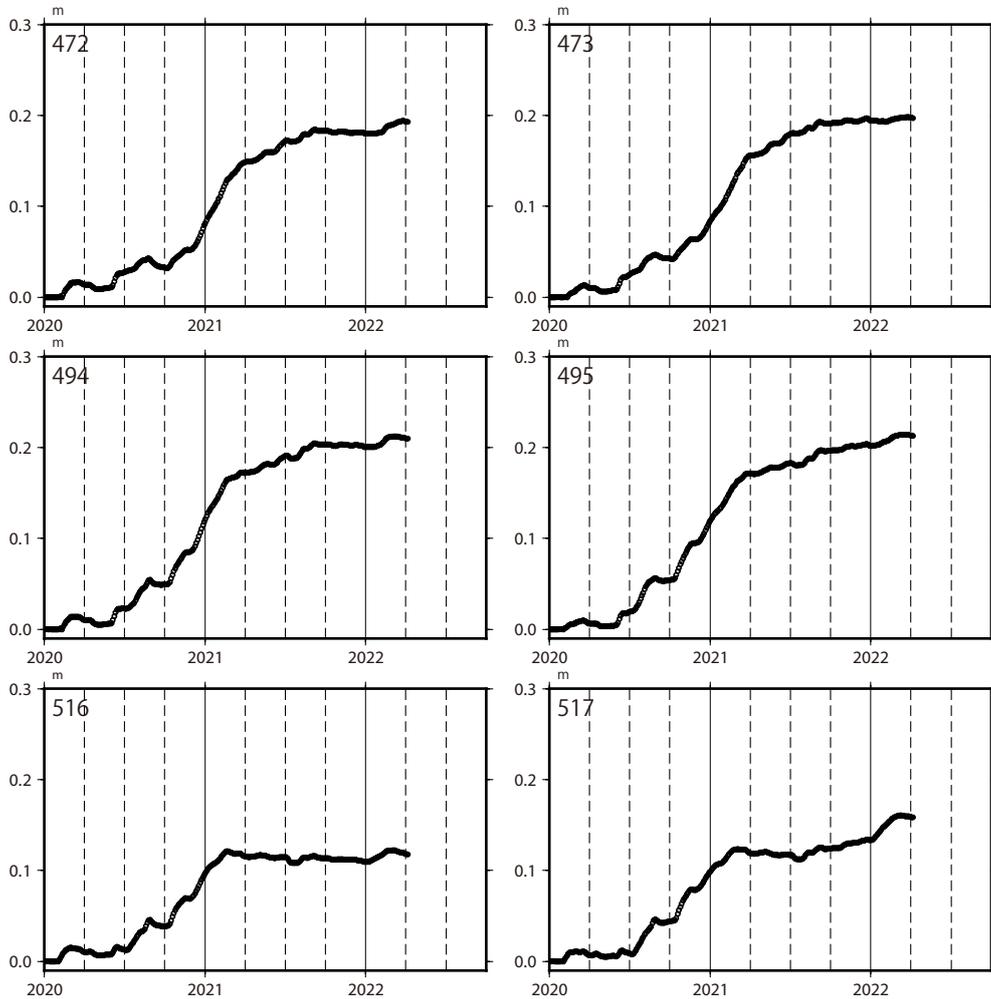
第 11 図 九州地域の観測点の座標時系列 (黒丸) と計算値 (赤線)。

Fig. 11 Observed (black dots) and calculated (red line) deformations at the GNSS stations in the Kyusyu district.

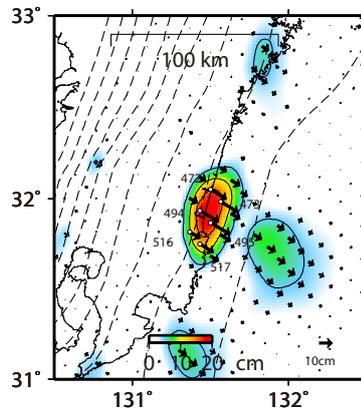
日向灘南部の長期的ゆっくりすべり

各グリッドにおけるすべりの時間変化

時間依存のインバージョン



\*プレートの沈み方向と平行な方向の変化を示している。



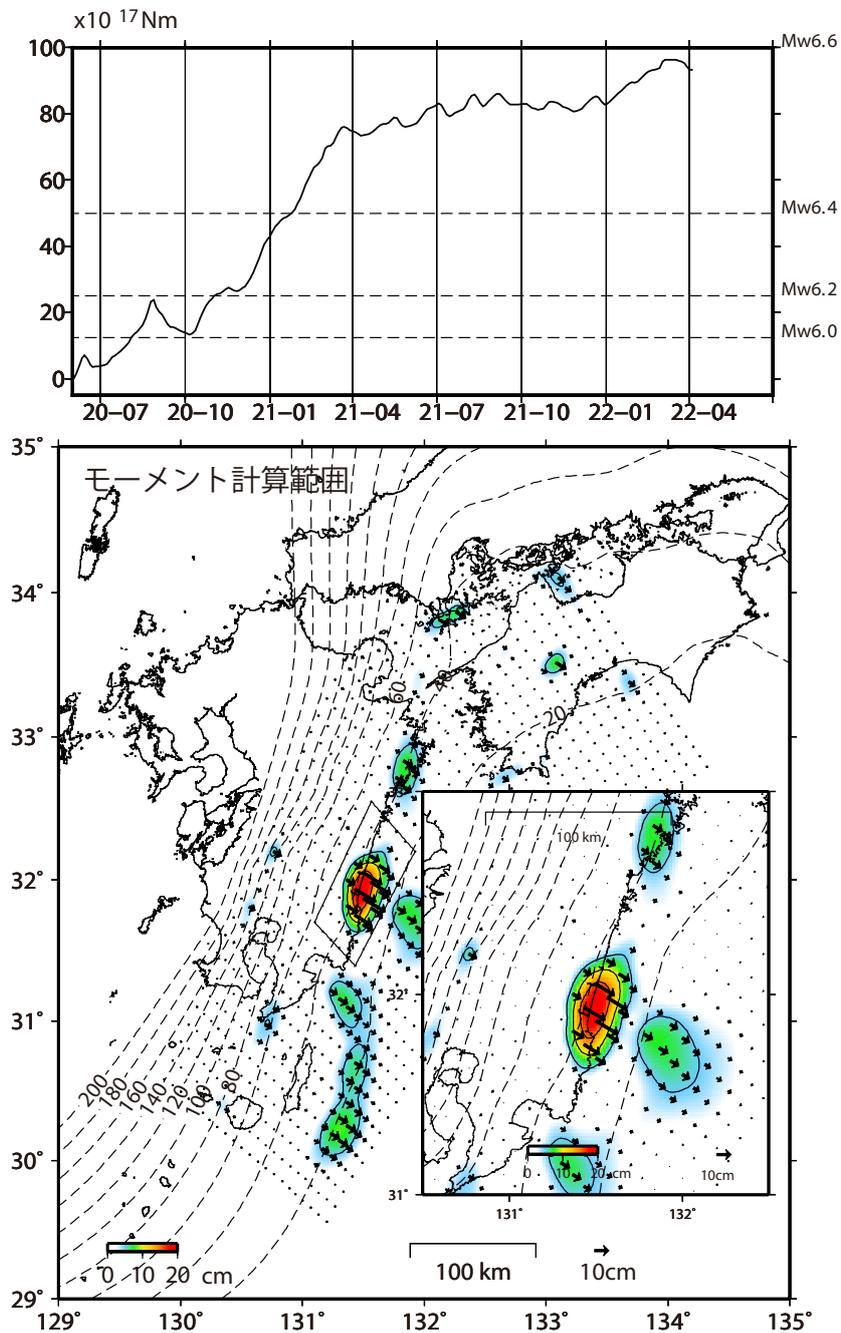
すべり量 (カラー) 及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。  
推定したすべり量が標準偏差( $\sigma$ )の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

第 12 図 時間依存インバージョンで推定された日向灘南部のプレート間滑りの時間変化。

Fig. 12 Time evolution of the estimated slip beneath the southern part of Hyuga-nada by the time dependent inversion method.

日向灘南部のSSEのモーメント\*時系列 (試算)

2020/6/1-2022/4/5



すべり量 (カラー) 及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。  
 推定したすべり量が標準偏差( $\sigma$ )の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

\*モーメント  
 断層運動のエネルギーの目安となる量。  
 地震の場合のMw (モーメントマグニチュード) に換算できる。  
 固定局:三隅

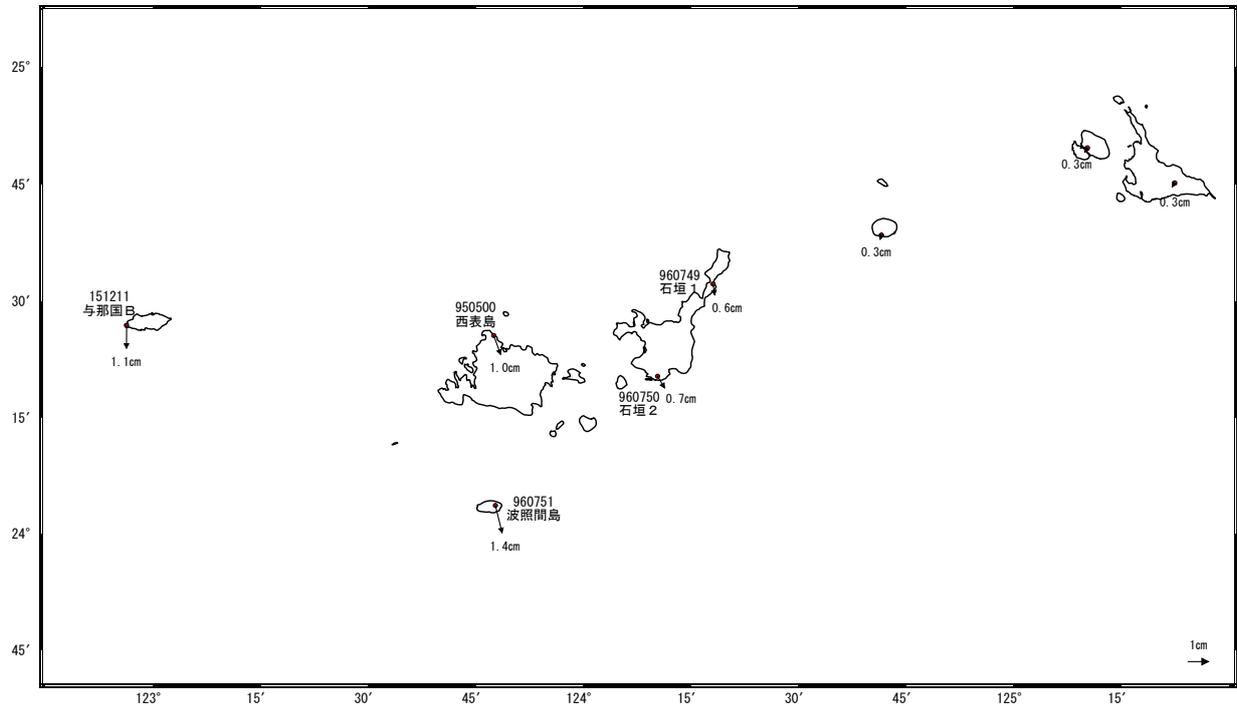
第 13 図 時間依存インバージョンで推定されたモーメントの時間変化.  
 Fig. 13 Time evolution of moment by the time dependent inversion method.

### 先島諸島の地殻変動（1）

先島諸島で2021年10月から11月にかけて、定常とは異なる地殻変動が観測された。

基準期間：2021/09/21～2021/09/30[F5：最終解]  
比較期間：2021/12/01～2021/12/10[F5：最終解]

#### 地殻変動（水平）

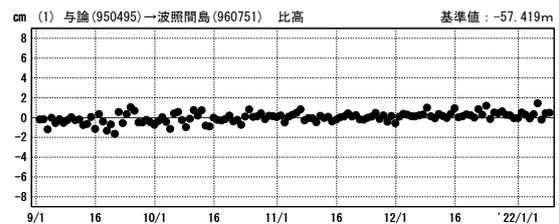
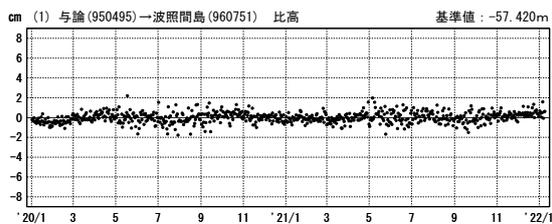
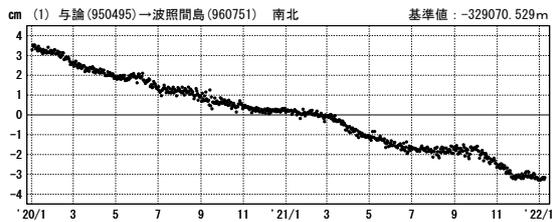
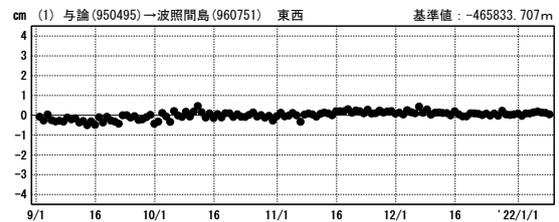
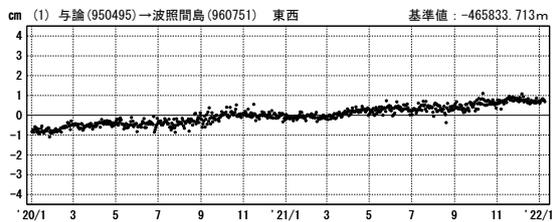


☆ 固定局：与論 (950495)    ★ 震央

#### 成分変化グラフ

期間：2020/01/01～2022/01/08 JST

期間：2021/09/01～2022/01/08 JST



●— [F5：最終解]

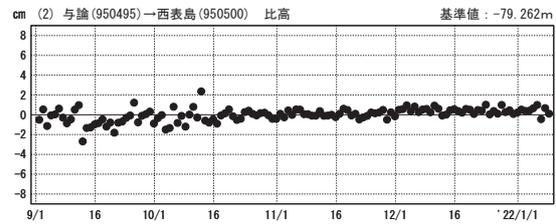
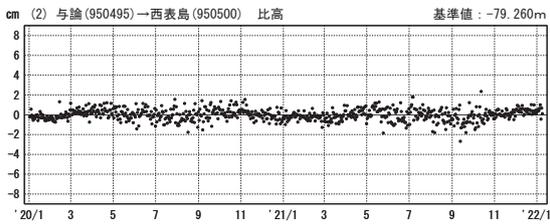
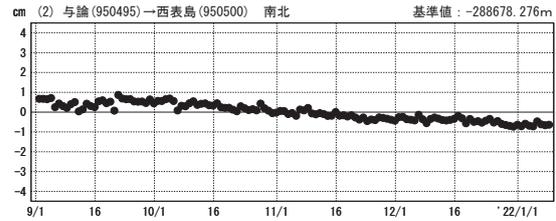
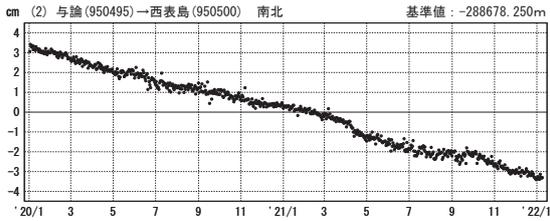
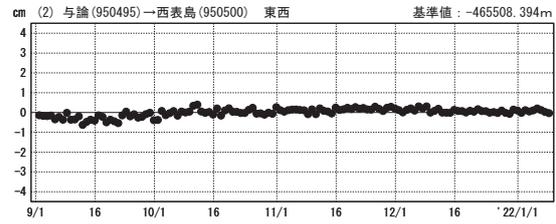
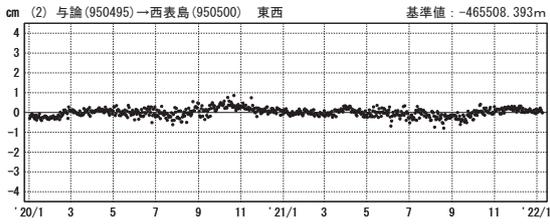
第 14 図 先島諸島の地殻変動：(上図) 水平変動，(下図) 3 成分時系列グラフ。

Fig. 14 Transient displacement on the Sakishima Islands: horizontal displacement (upper) and time series of transient displacement (lower).

## 先島諸島の地殻変動（2） 成分変化グラフ

期間：2020/01/01～2022/01/08 JST

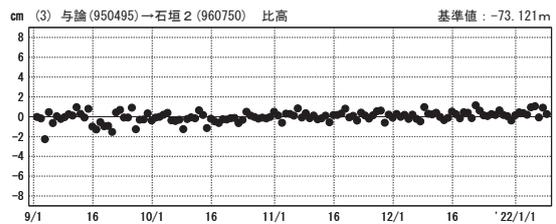
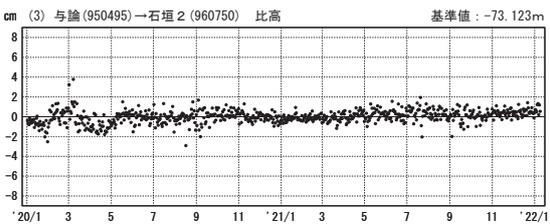
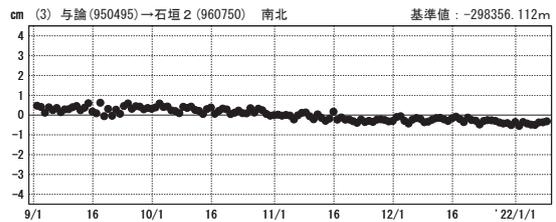
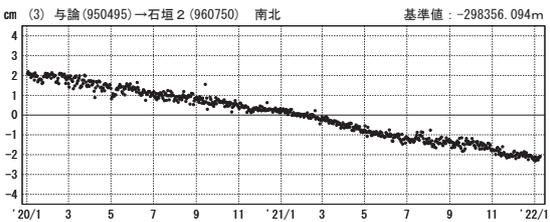
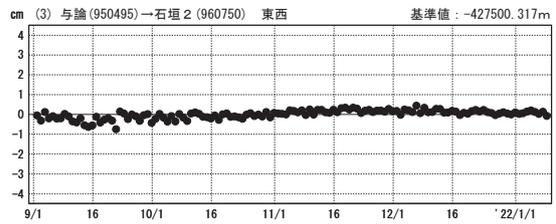
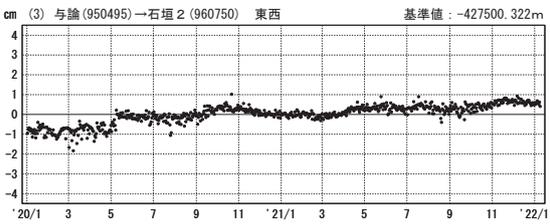
期間：2021/09/01～2022/01/08 JST



●— [F5:最終解]

期間：2020/01/01～2022/01/08 JST

期間：2021/09/01～2022/01/08 JST



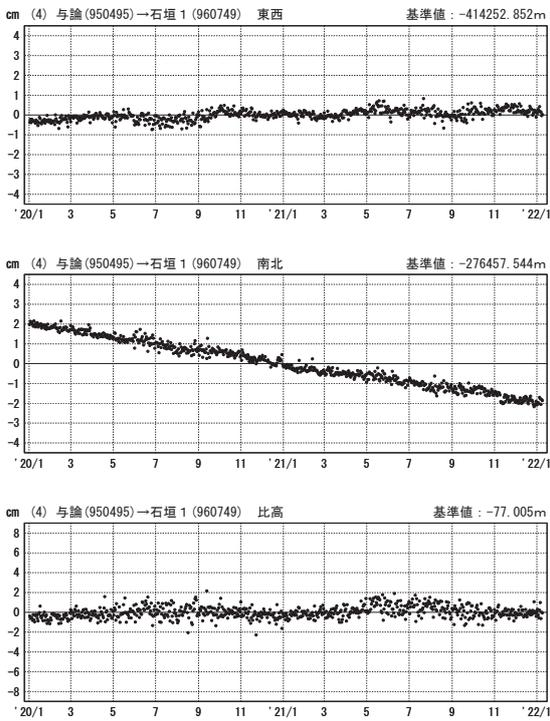
●— [F5:最終解]

第 15 図 先島諸島の地殻変動：3 成分時系列グラフ。

Fig. 15 Transient displacement on the Sakishima Islands: 3 components time series.

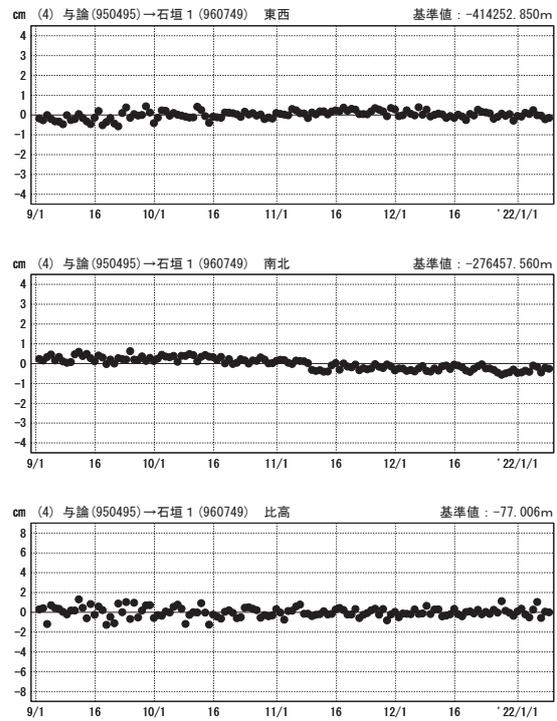
### 先島諸島の地殻変動（3） 成分変化グラフ

期間：2020/01/01～2022/01/08 JST

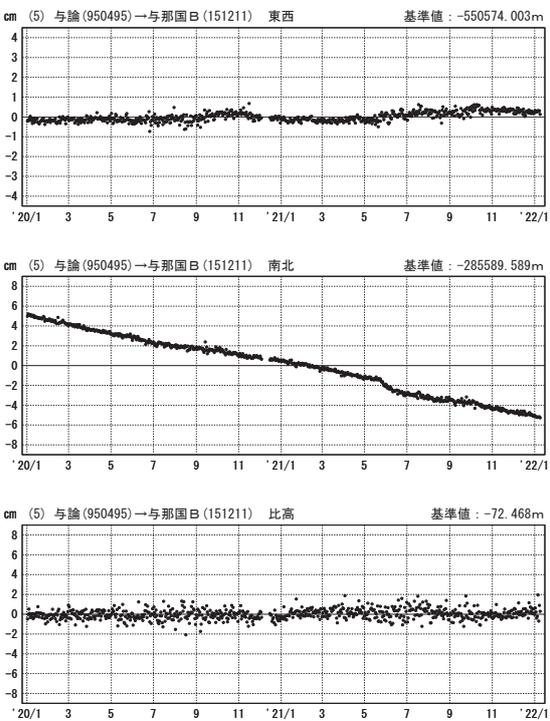


●—[F5:最終解]

期間：2021/09/01～2022/01/08 JST

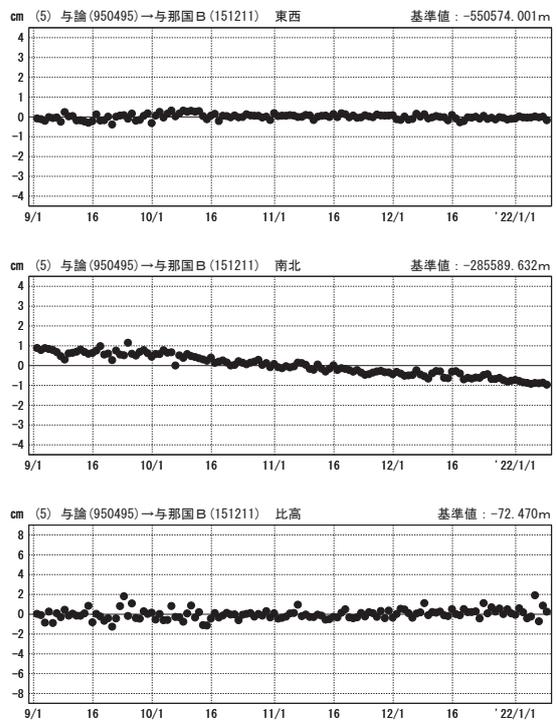


期間：2020/01/01～2022/01/08 JST



●—[F5:最終解]

期間：2021/09/01～2022/01/08 JST



第 16 図 先島諸島の地殻変動：3 成分時系列グラフ。

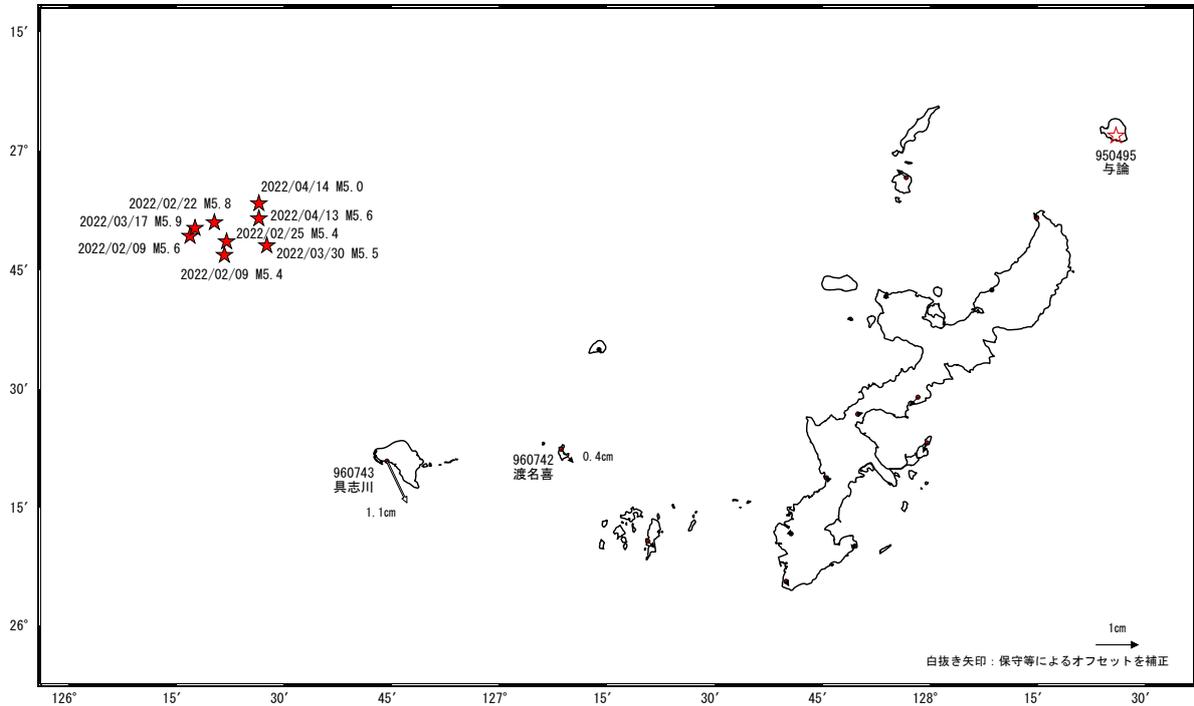
Fig. 16 Transient displacement on the Sakishima Islands: 3 components time series.

### 沖縄本島北西沖の地震活動(最大地震 3月17日 M5.9)時の観測データ (暫定)

この地震活動に伴い小さな地殻変動が観測された。  
地殻変動(水平)(一次トレンド除去後)

基準期間: 2022/01/22~2022/01/28 [F5:最終解]  
比較期間: 2022/04/23~2022/04/29 [R5:速報解]

計算期間: 2021/01/01~2021/12/31

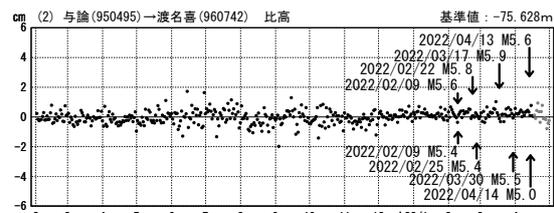
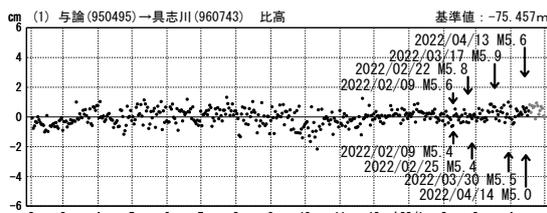
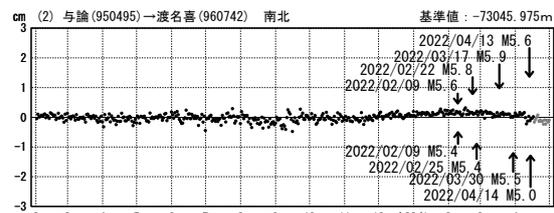
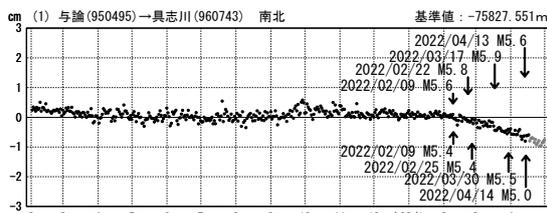
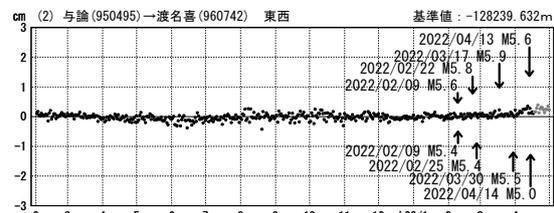
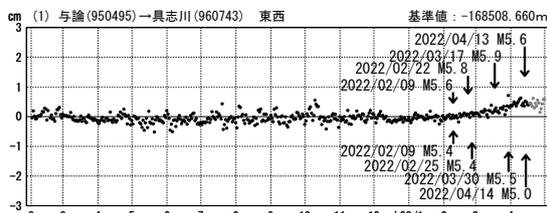


☆ 固定局: 与論 (950495)    ★ 震央

#### 1 次トレンド除去後グラフ

期間: 2021/02/01~2022/04/30 JST

期間: 2021/02/01~2022/04/30 JST    計算期間: 2021/01/01~2022/01/01



●— [F5:最終解]    ●— [R5:速報解]

第 17 図 沖縄本島北西沖の地震活動 (2022 年 1 月から) に伴う地殻変動: (上図) 水平変動, (下図) 3 成分時系列グラフ (暫定).

Fig. 17 Transient displacement associated with seismic activity off the northwest Okinawajima island since January 2022: horizontal displacement (upper) and 3 components time series graph (lower) (preliminary results).