

## 9-1 中国・四国地方の地殻変動

## Crustal Deformations in the Chugoku and Shikoku Districts

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

[四国中部の深部低周波微動と同期したスロースリップ（短期的 SSE）]

第 1～2 図は、2021 年 12 月に四国中部で発生した深部低周波地震（微動）に同期して発生した短期的 SSE に関する資料である。

第 1 図上段は、2021 年 12 月 4 日～12 月 18 日の GNSS データから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である。一次トレンドを 2017 年 1 月 1 日～2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定し、推定された一次トレンドを除去して得られた非定常的な地殻変動を用いた。四国中部の低周波地震の発生領域ですべりが推定されている。すべり量の最大は約 7mm と推定され、モーメントマグニチュードは 5.8 と求まった。図に示された黒色のグリッドは、推定されたすべり量が標準偏差の 3 倍を超えており、推定すべりが有意と判断されるグリッドである。中段の 2 枚の図は、左が基準期間と比較期間の間のオフセットをランプ関数で推定し、有意と判断された観測点だけを取り出した非定常的な地殻変動、右が推定すべりから計算した地殻変動を示している。

第 2 図は、四国中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。12 月上旬頃から 12 月中旬にかけてすべりが見られる。

第 1 図中段左図では、地殻変動量が小さいこともあり、有意な地殻変動として検出された観測点が少なく、観測値のばらつきが相対的に大きい。これらのことから、推定すべりは短期的 SSE を検出した可能性を示すと考えるが、参考情報として提示する。

[四国西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ（短期的 SSE）]

第 3 図は、2022 年 3 月～4 月に四国中部から西部で発生した深部低周波地震（微動）に同期して発生した短期的 SSE に関する資料である。

第 3 図上段は、2022 年 3 月 10 日～4 月 11 日の GNSS データから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である。年周・半年周成分を 2017 年 1 月～2022 年 4 月で推定、一次トレンドは 2017 年 1 月 1 日～2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定し、推定された一次トレンド・年周・半年周成分を除去して得られた非定常的な地殻変動を用いた。四国西部の低周波地震の発生領域ですべりが推定されている。すべり量の最大は約 16mm と推定され、モーメントマグニチュードは 6.1 と求まった。図に示された黒色のグリッドは、推定されたすべり量が標準偏差の 3 倍を超えており、推定すべりが有意と判断されるグリッドである。上段右の図は、左図中の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。4 月に入ってからモーメントが増大し、4 月上旬～中旬で増加が収まったように見える。中段の 2 枚の図は、左が基準期間と比較期間の間のオフセットをランプ関数で推定し、有意と判断された観測点だけを取り出した非定常的な地殻変動、右が推定すべりから計算した地殻変動を示している。地殻変動量が小さいため、ばらつきが相対的に大きい、観測値をよく説明できていることが分かる。

## [四国中部の非定常水平地殻変動（長期的 SSE）]

第 4 ～ 10 図は、2019 年春頃から四国中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 4 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 1 月 1 日～2018 年 1 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。固定局は京都府の網野観測点である。2017 年 12 月 29 日～2018 年 1 月 4 日に対する 2022 年 4 月 5 日～11 日の約 4 年 3 か月の期間での非定常的な地殻変動を示している。四国中部に南東向きに最大 2cm 程度の変動が見られる。

第 5 ～ 6 図は、第 4 図の図中に示した 8 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。(1) ～ (8) のいずれの観測点でも 2019 年春頃から南東向きの変動が見られる。2021 年 12 月初旬～中旬に四国中部で短期的 SSE が発生しており、その影響と考えられる変化が第 5 図右上の香北観測点などいくつかの観測点で見えている。

第 7 ～ 10 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。この解析では、年周・半年周成分を 2017 年 1 月～2022 年 4 月で推定、一次トレンドは 2017 年 1 月 1 日～2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定している。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 7 図 (a) は、2019 年 1 月 1 日～2022 年 4 月 13 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紀伊水道の長期的 SSE、豊後水道の長期的 SSE、四国西部の短期的 SSE によるすべりとあわせ、四国中部にすべりが推定された。推定されたすべりの最大値は 22cm、モーメントマグニチュードは 6.3 と求まった。

第 7 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 8 図は、四国中部地域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。2019 年春頃から見られる東向きの変動がよく説明できていることが分かる。

第 9 図は、四国中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。2019 年春頃からすべりが見られる。

第 10 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。2019 年春頃からモーメントの増大が見られる。

第 11 図は、2021 年 12 月上旬に発生した四国中部の短期的 SSE の影響を補正した観測値を用いて時間依存インバージョンを行った結果を示している。補正には、ひずみ変化の観測から推定された矩形断層一様すべりの断層パラメータ<sup>1)</sup>から計算される地殻変動を用いた。上段に、図中の太い実線で囲まれた領域に位置するグリッドについて、補正後のインバージョンによるすべりから求めたモーメントの時系列を赤色破線で示している。補正しないインバージョン結果には、短期的 SSE に伴う地殻変動の影響が長期的 SSE の推定の一部に含まれているとみられるが、その影響を除去しても、モーメントの増大が継続していることが分かる。

## [室戸岬周辺 電子基準点の上下変動]

第 12 ～ 13 図は、室戸岬周辺の電子基準点間の比高変化について、水準測量の結果と GNSS

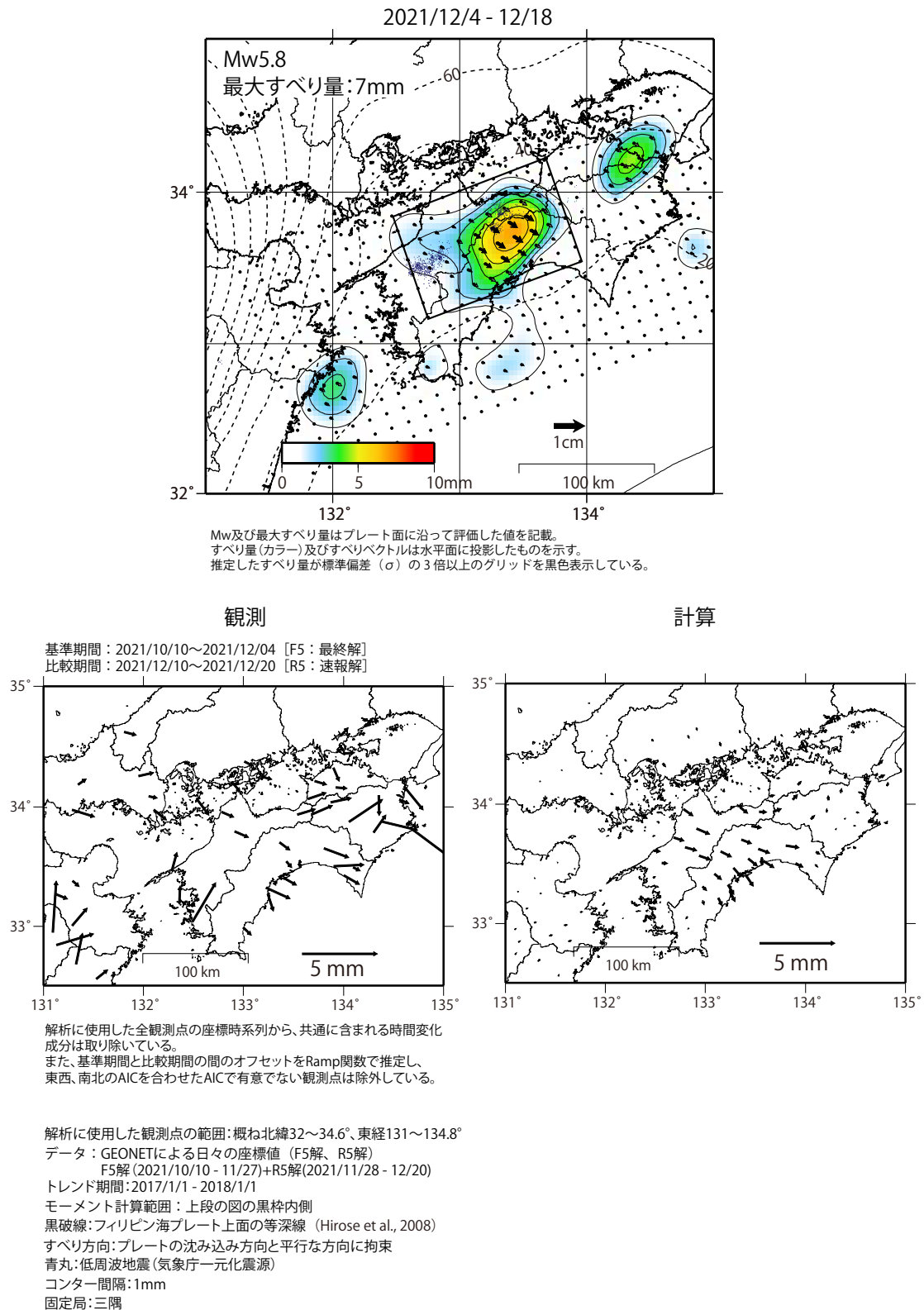
連続観測結果とを比較したものである。両者はほぼ同様の傾向を示しており、最新のデータは室戸岬周辺が沈降する長期的な傾向に沿っている。各図の左下に長期間の変動グラフを示す。室戸岬先端側の沈降が長期的に継続しており、灰色でプロットした GNSS 連続観測の最近の結果も整合している。

#### 参考文献

- 1) 気象庁 (2022), 四国東部から四国中部で観測した短期的ゆっくりすべり (11 月 27 日～12 月 10 日), 第 51 回南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会 気象庁資料, p21.

参考資料

GNSSデータから推定された  
四国中部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)



第 1 図 四国中部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)。

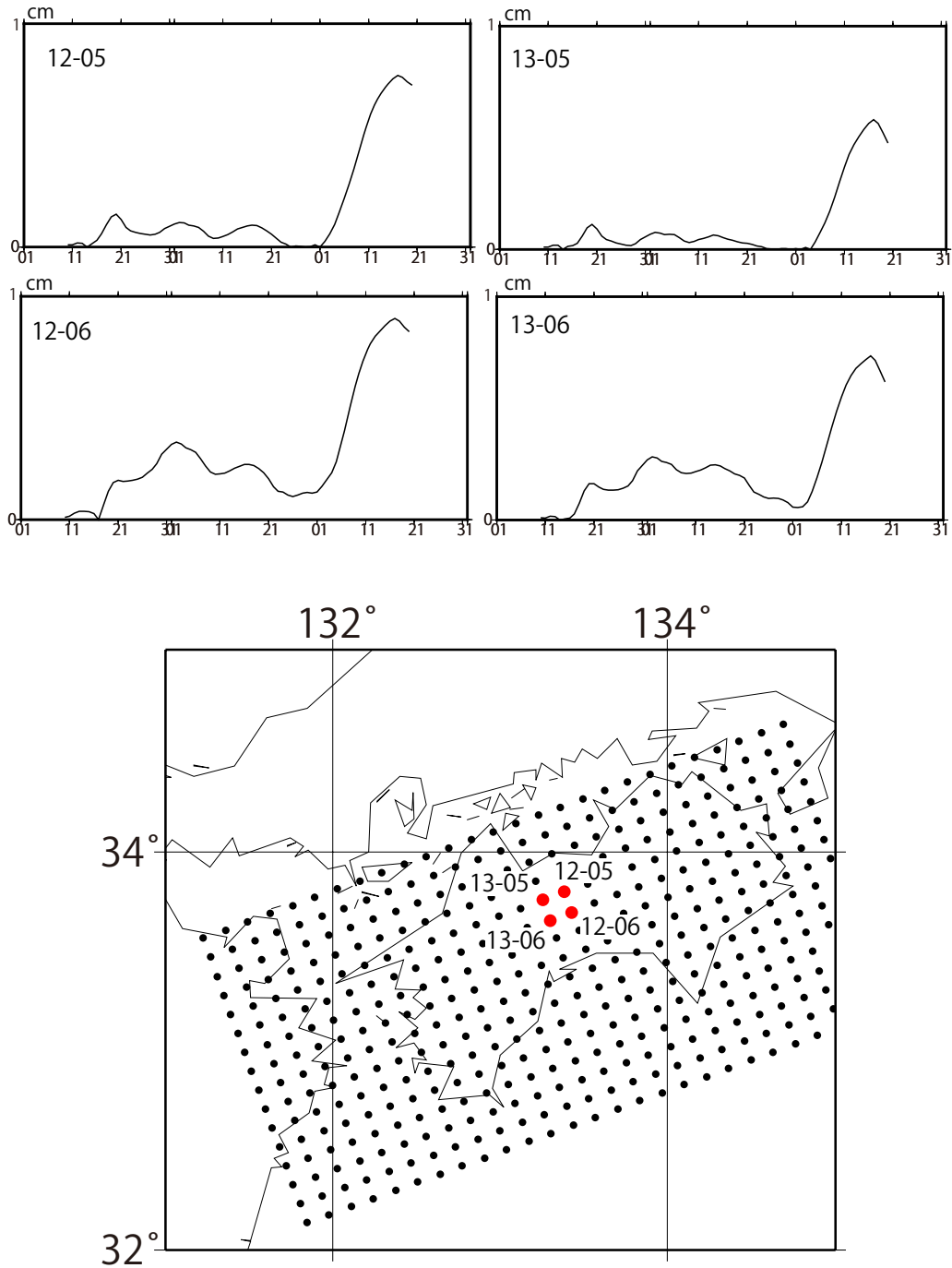
Fig. 1 Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central part of Shikoku (preliminary results).

四国中部の短期的SSE

参考資料

# すべり履歴

2021/10/1 - 2021/12/20

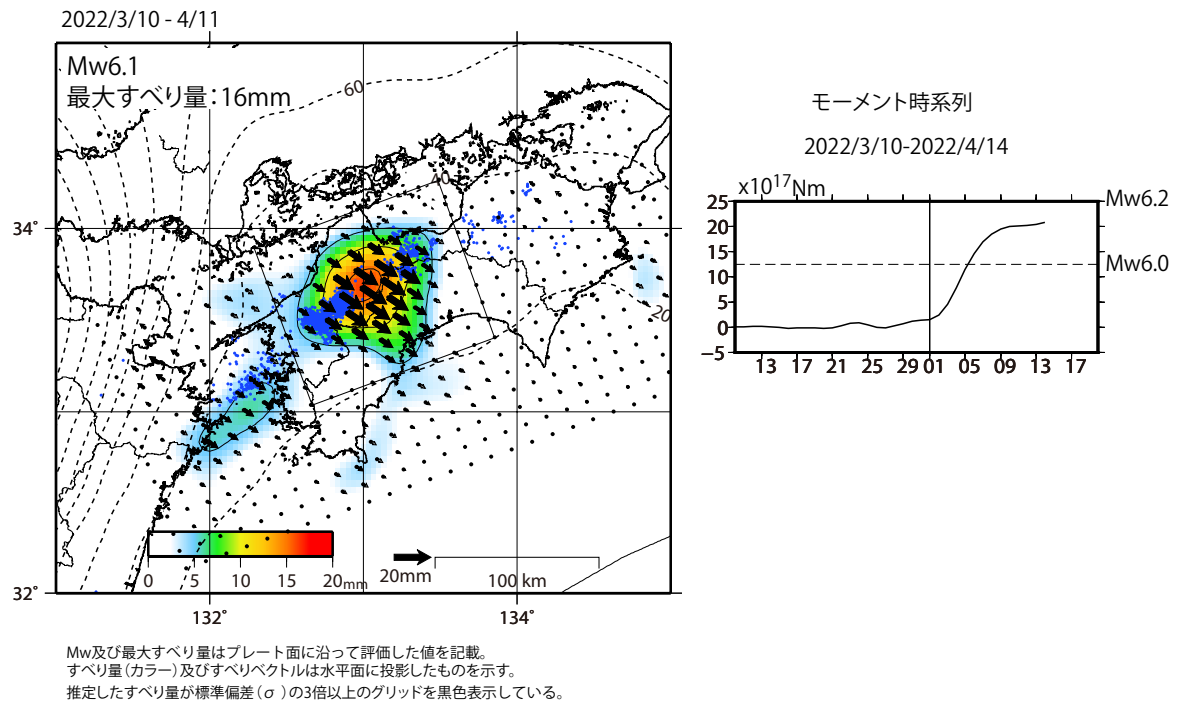


第 2 図 時間依存インバージョンで推定されたプレート間滑りの時間変化.

Fig. 2 Time evolution of the estimated slip by the time dependent inversion method.

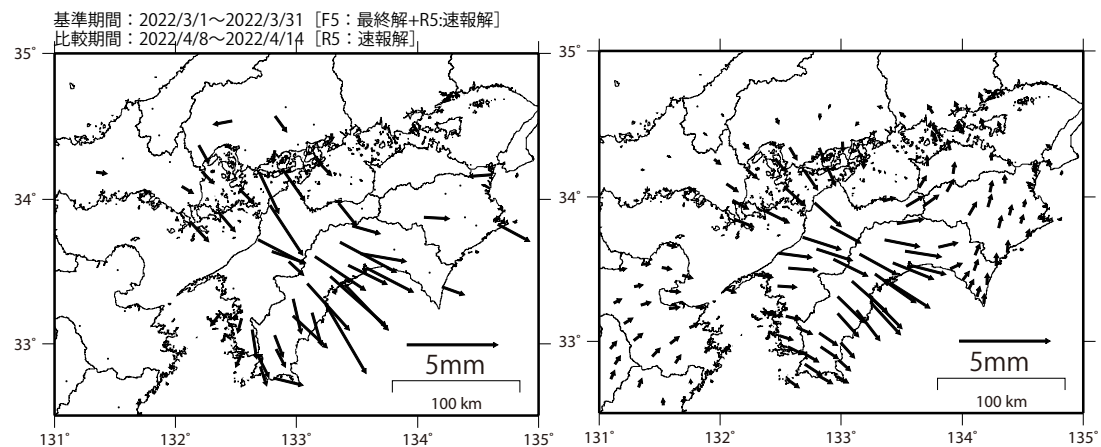
GNSSデータから推定された

四国中部から西部の深部低周波地震(微動)と同期したスロースリップ(暫定)



観測

計算



解析に使用した全観測点の座標時系列から、共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。  
また、基準期間と比較期間の間のオフセットをRamp関数で推定し、東西、南北のAICを合わせたAICで有意でない観測点及び北向き成分を含む観測点は除外している。

解析に使用した観測点の範囲: 概ね北緯32~34.6°、東経131~134.8°

使用データ: GEONETによる日々の座標値(F5解、R5解)

F5解(2022/2/1 - 2022/3/26) + R5解(2022/3/27 - 2022/4/14) \* 電子基準点の保守等による変動は補正済み

トレンド期間: 2017/1/1 - 2018/1/1 (年周・半年周は 2017/1/1 - 2022/4/14 のデータで補正)

モーメント計算範囲: 図の黒枠内側

黒破線: フィリピン海プレートの上面の等深線(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: 2022/3/10 - 4/11)

コンター間隔: 5mm

固定局: 三隅

第 3 図 四国中部から西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)。

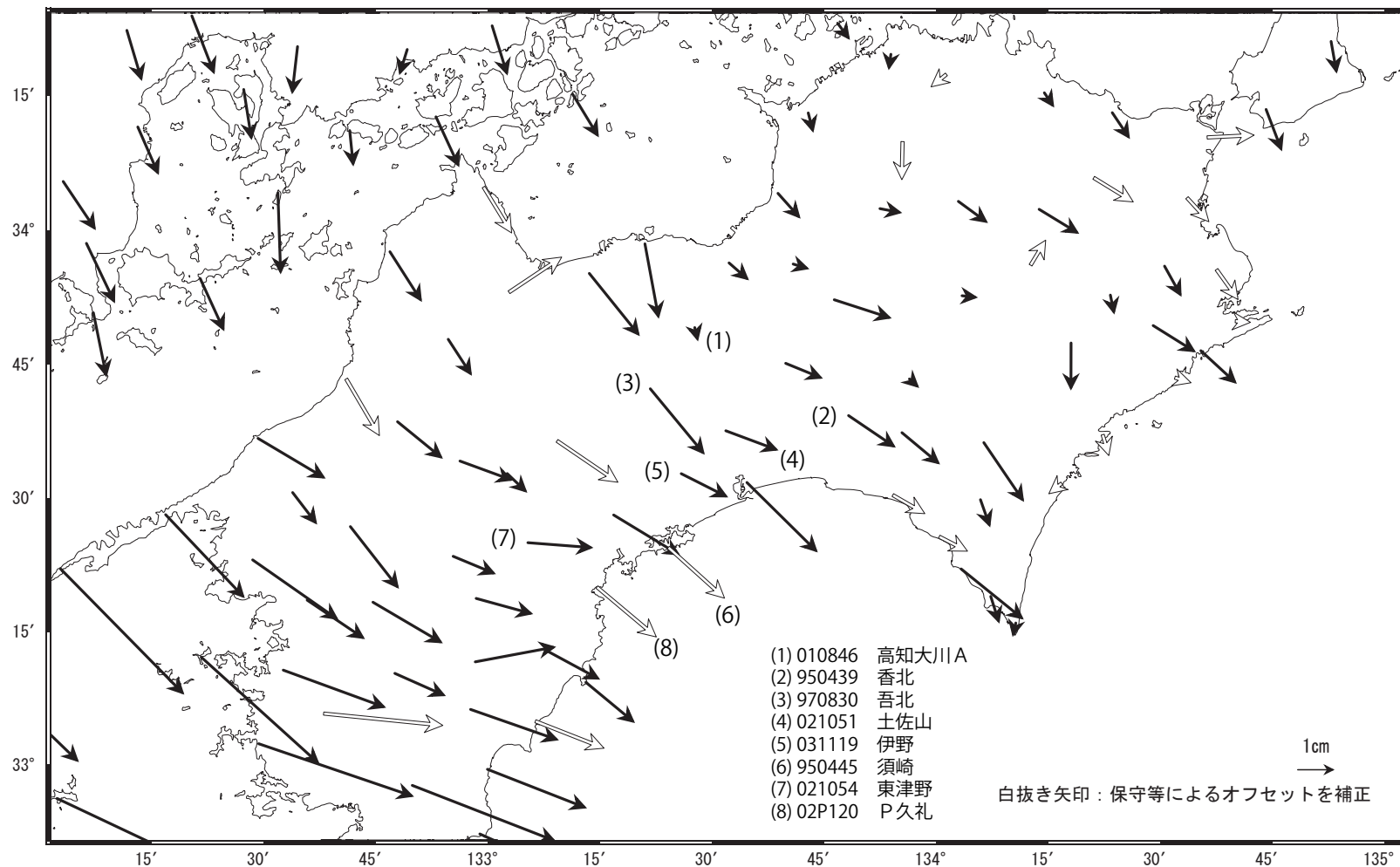
Fig. 3 Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central to western part of Shikoku (preliminary results).

# 四国中部の非定常水平地殻変動(1次トレンド・年周期・半年周期除去後)

基準期間:2017/12/29~2018/01/04[F5:最終解]

比較期間:2022/04/05~2022/04/11[R5:速報解]

計算期間:2017/01/01~2018/01/01



固定局:網野(960640)

第 4 図 四国中部の非定常水平地殻変動.

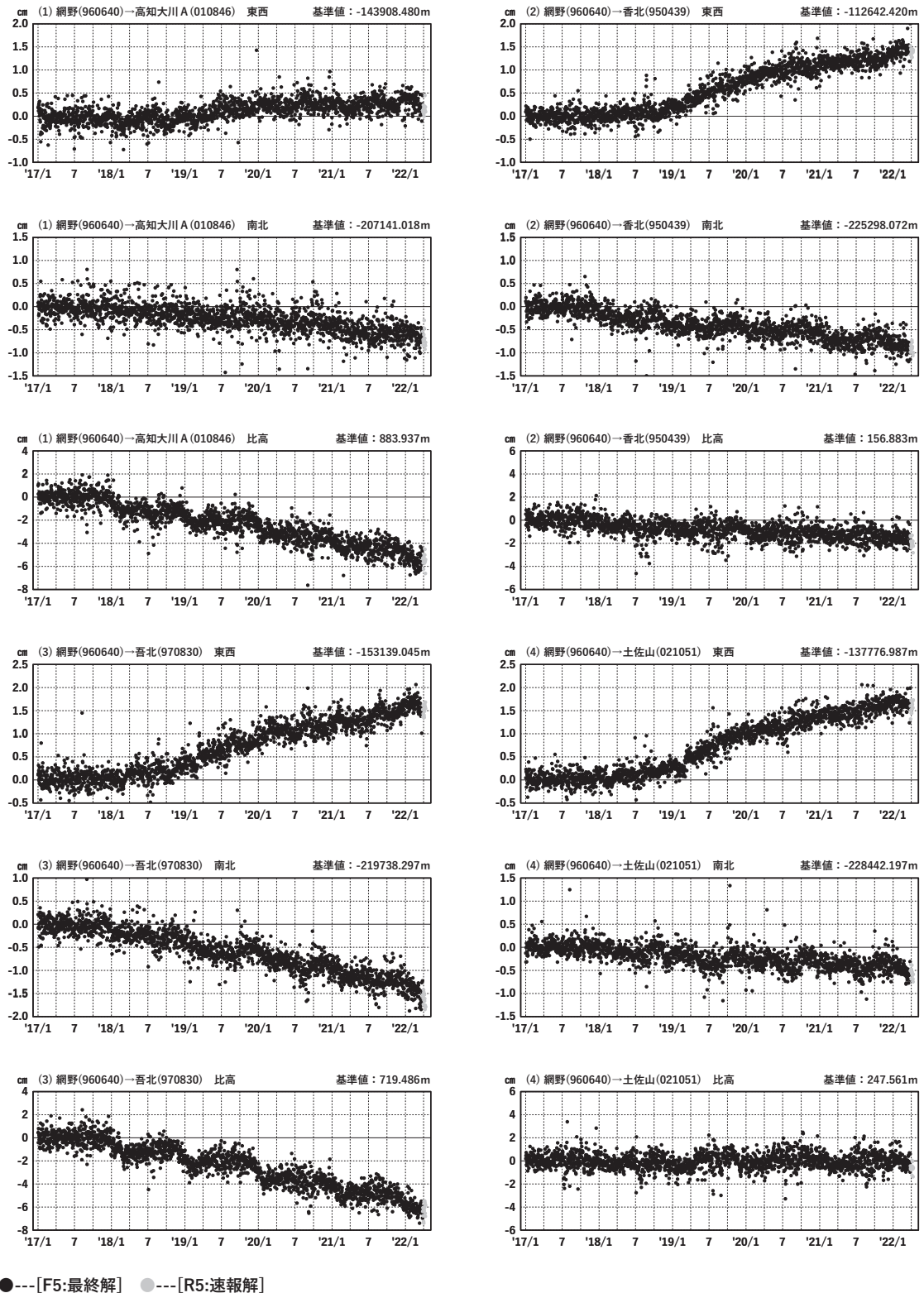
Fig. 4 Transient horizontal deformation in the central part of Shikoku.

# 四国中部 GNSS 連続観測時系列 (1)

1 次トレンド・年周成分・半年周成分除去後グラフ

期間: 2017/01/01~2022/04/11 JST

計算期間: 2017/01/01~2018/01/01



第 5 図 四国中部の GNSS 連続観測時系列.

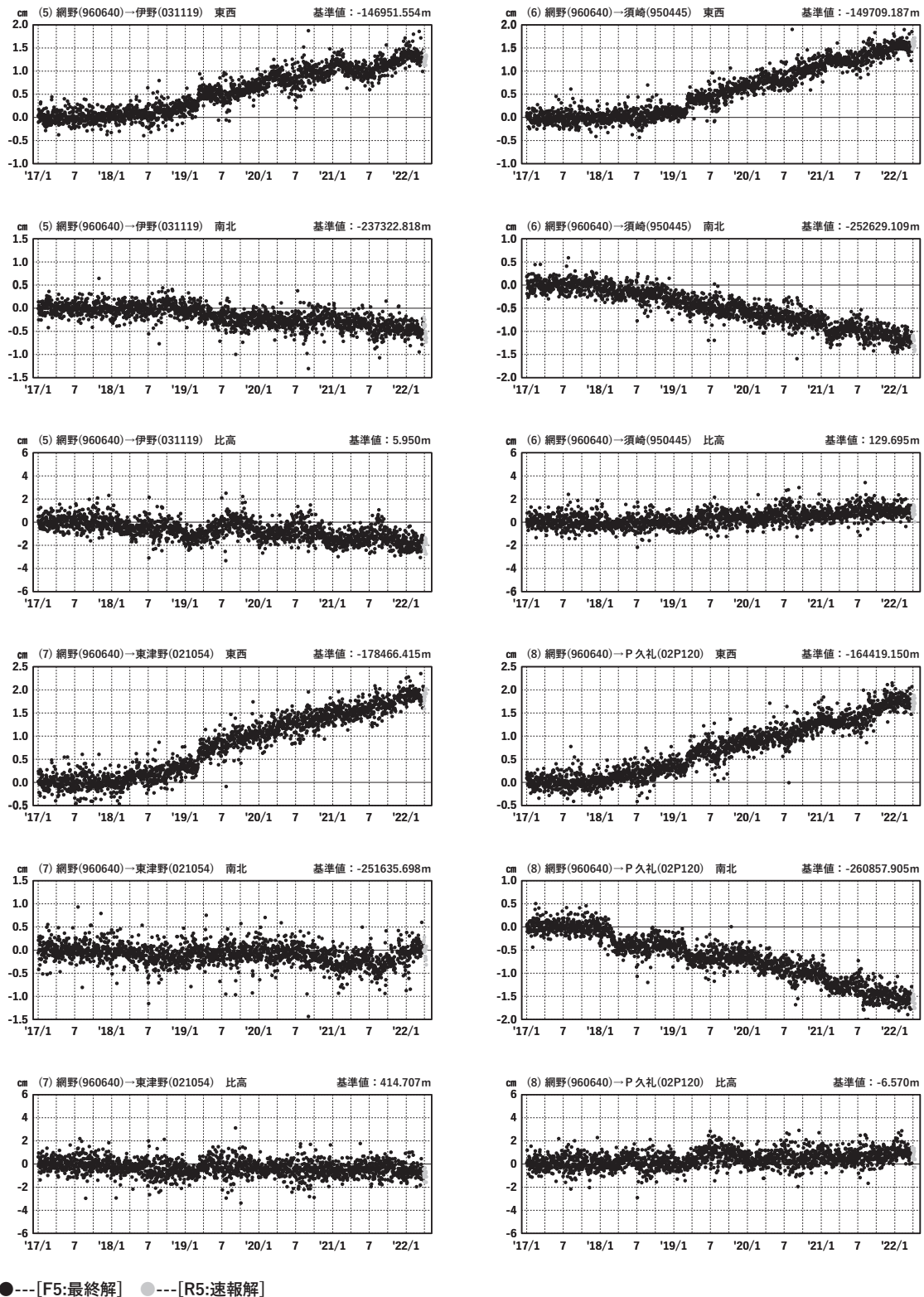
Fig. 5 Results of continuous GNSS measurements in the central part of Shikoku with respect to the Amino station (1/2).

## 四国中部 GNSS 連続観測時系列 (2)

1 次トレンド・年周成分・半年周成分除去後グラフ

期間: 2017/01/01~2022/04/11 JST

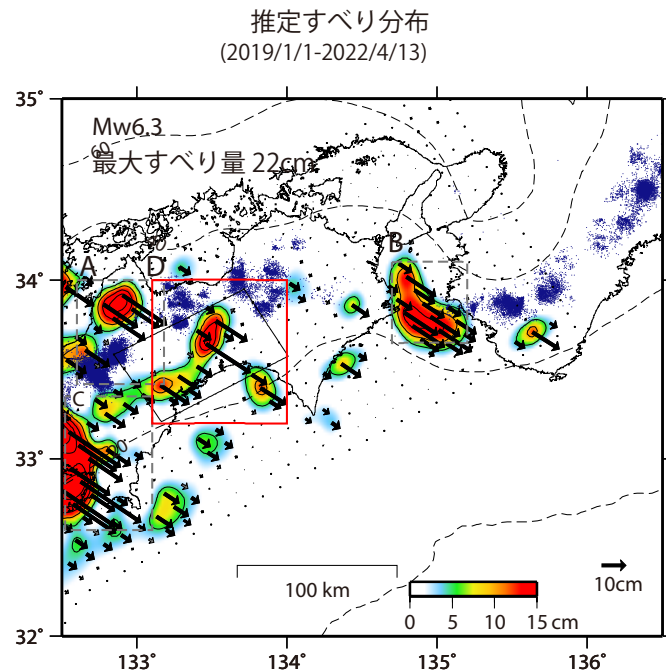
計算期間: 2017/01/01~2018/01/01



第 6 図 四国中部の GNSS 連続観測時系列.

Fig. 6 Results of continuous GNSS measurements in the central part of Shikoku with respect to the Amino station (2/2).

GNSSデータから推定された  
四国中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。

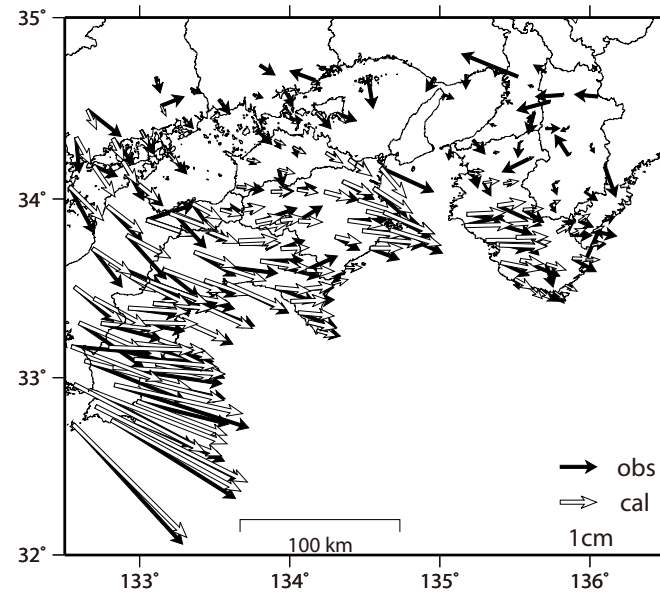
- A 四国西部の短期的ゆっくりすべり
- B 紀伊水道の長期的ゆっくりすべり
- C 豊後水道の長期的ゆっくりすべり
- D 四国中部の長期的ゆっくりすべり

使用データ: GEONETによる日々の座標値(F5解、R5解)  
F5解(2019/1/1- 2022/03/26) + R5解(2022/03/27-2022/4/13) \* 電子基準点の保守等による変動は補正済み  
トレンド期間: 2017/1/1-2018/1/1 (年周・半年周成分は2017/1/1- 2022/4/13のデータで補正)  
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: 2019/1/1- 2022/4/13)  
固定局: 網野

第7図(a) 四国中部において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）。

Fig. 7(a) Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central part of Shikoku (preliminary results).

観測値（黒）と計算値（白）の比較  
(2019/1/1-2022/4/13)

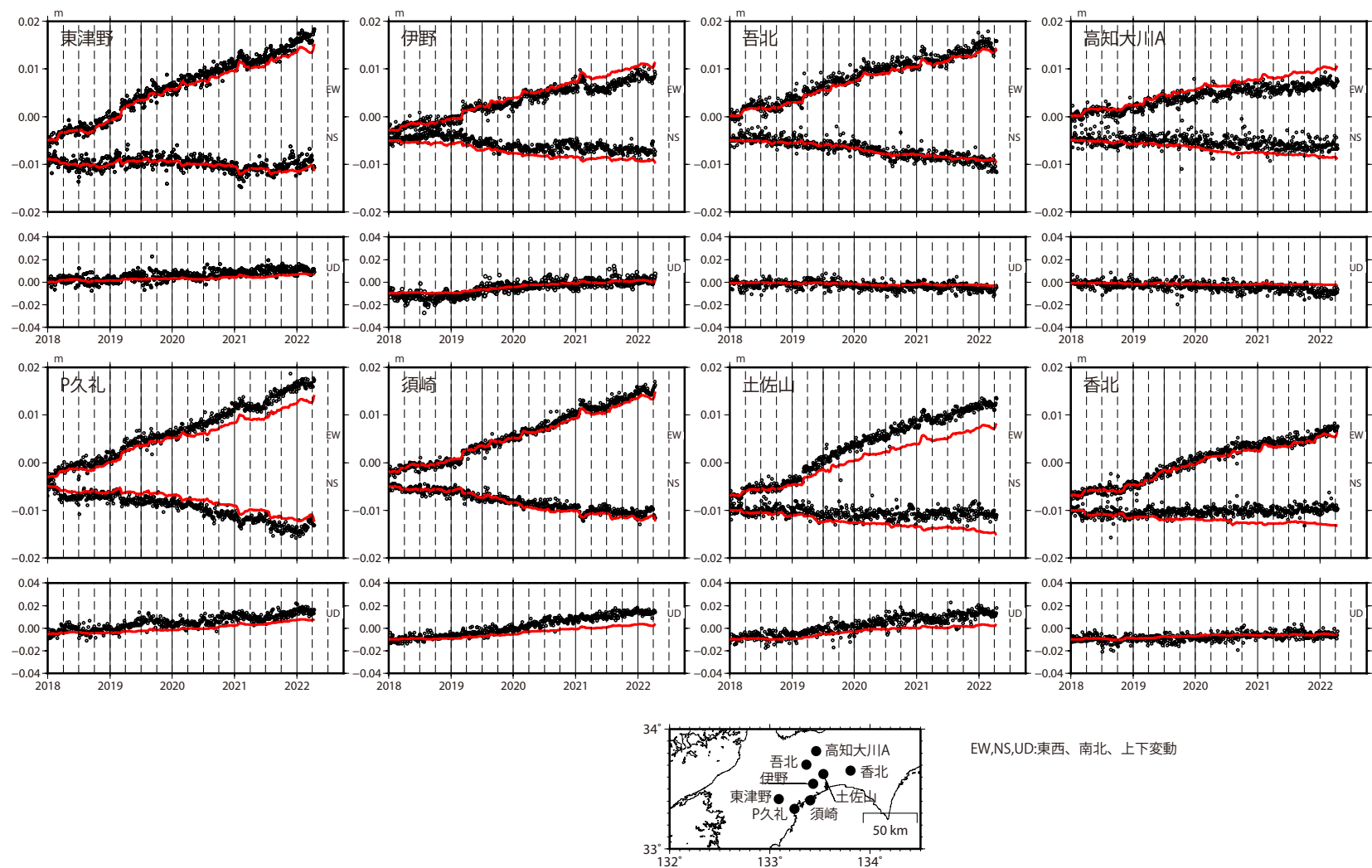


第7図(b) 観測値（黒）と計算値（白）の比較。

Fig. 7(b) Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.

# 四国中部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



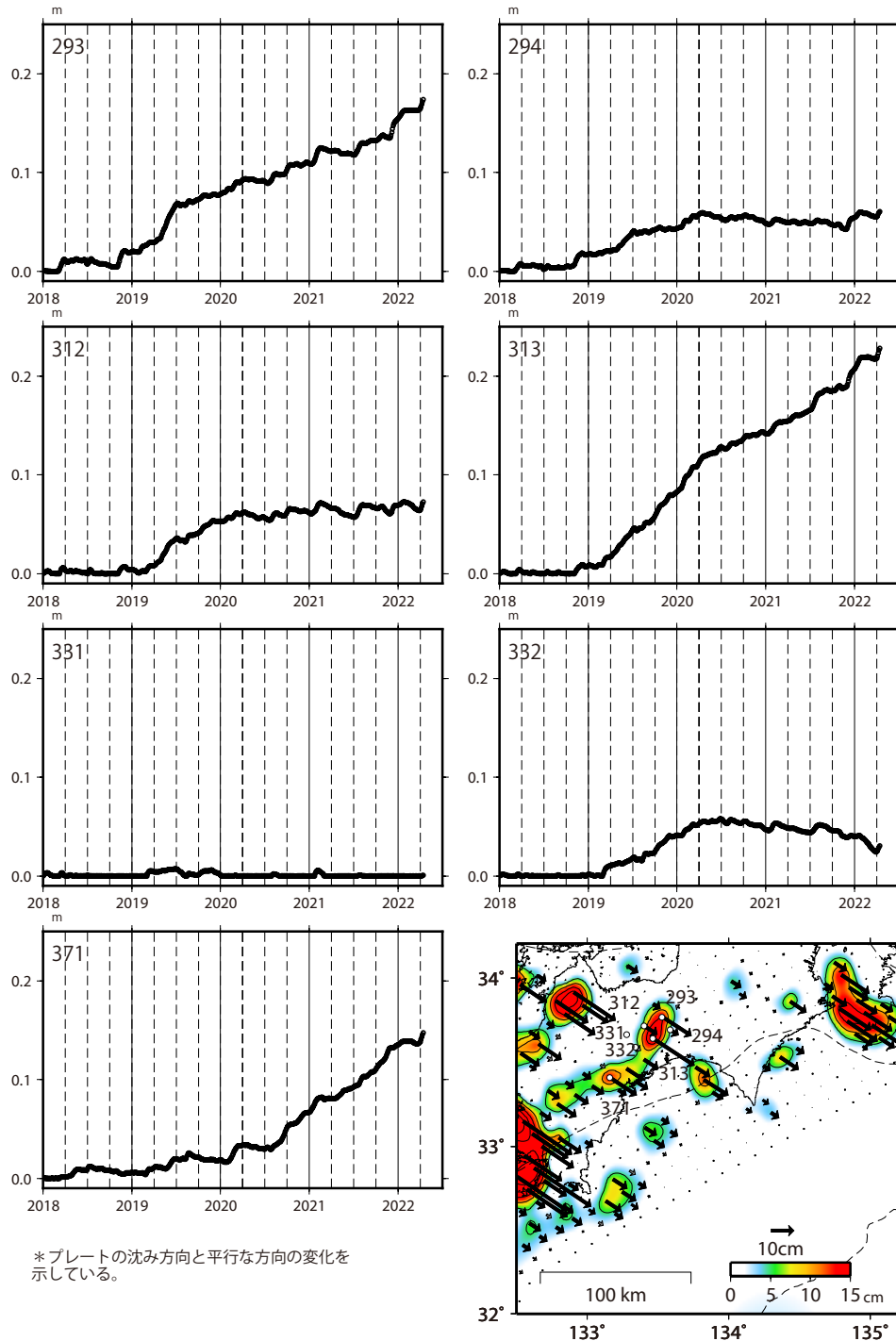
第 8 図 四国中部の観測点の座標時系列 (黒丸) と計算値 (赤線)。

Fig. 8 Observed (black dots) and calculated (red line) deformations at the GNSS stations in the central part of Shikoku.

# 四国中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

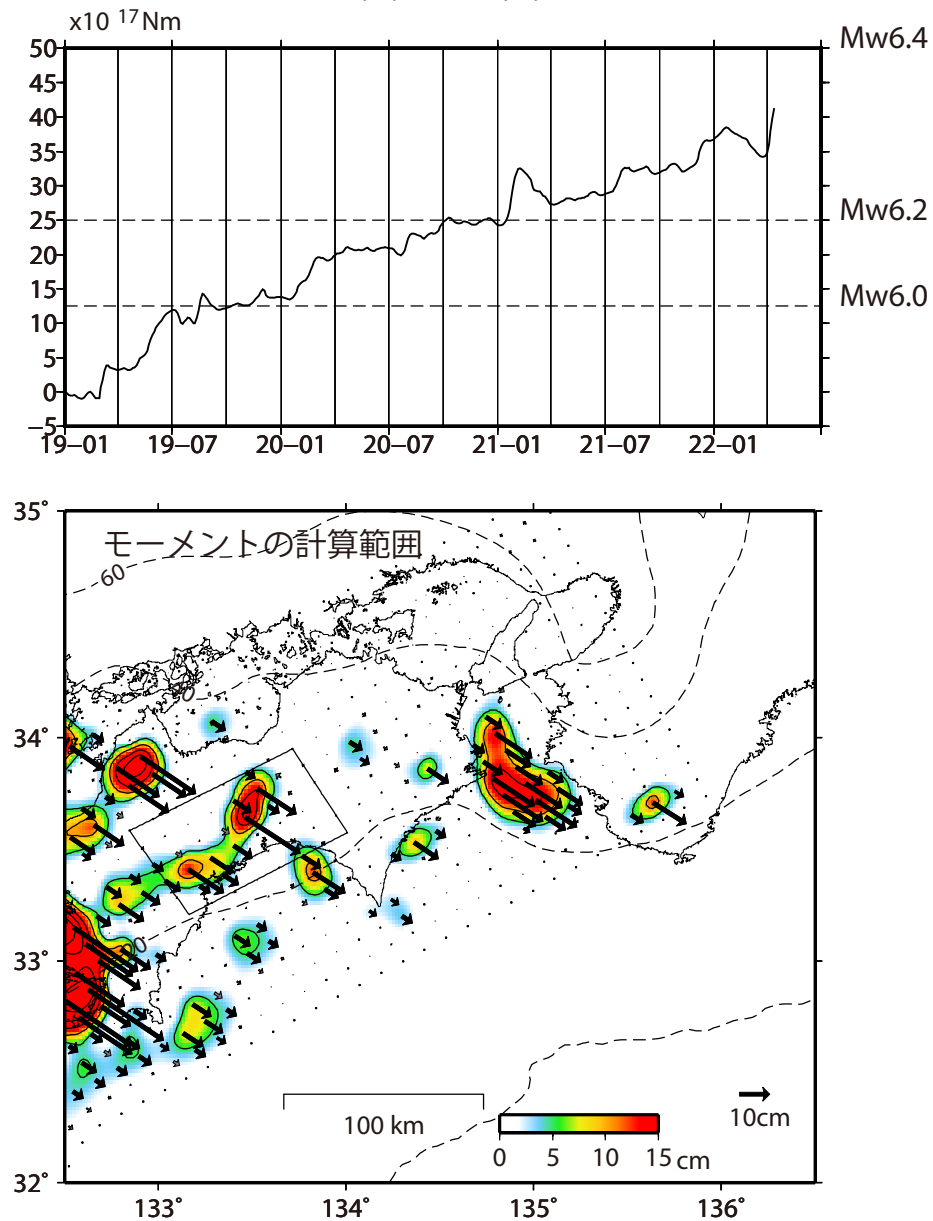


すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。  
推定したすべり量が標準偏差( $\sigma$ )の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

第 9 図 時間依存インバージョンで推定されたプレート間滑りの時間変化。  
Fig. 9 Time evolution of the estimated slip by the time dependent inversion method.

# 四国中部SSEのモーメント\* 時系列 (試算)

2019/1/1-2022/4/13



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。

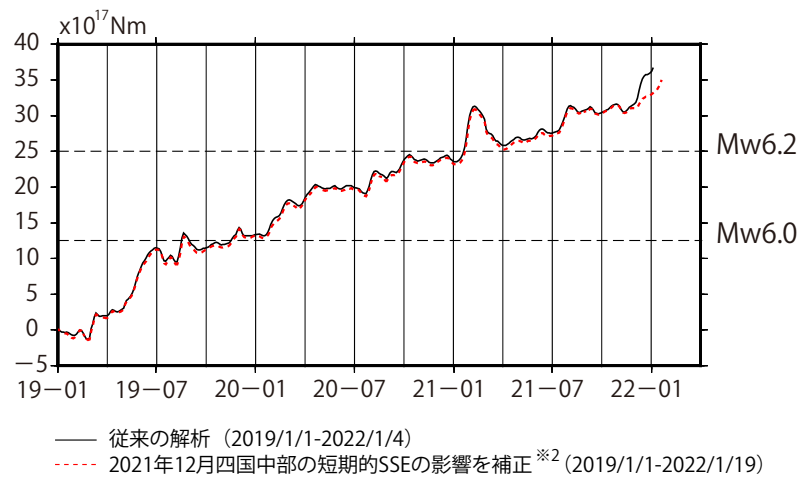
地震の場合のMw (モーメントマグニチュード) に換算できる。

固定局:網野

第 10 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。

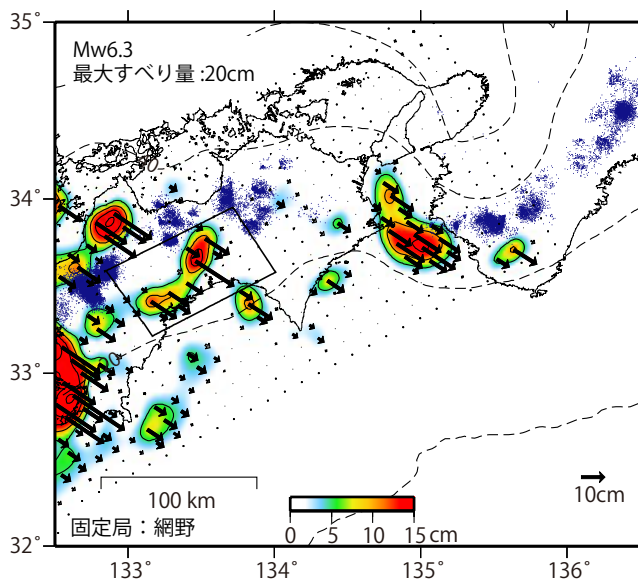
Fig. 10 Time evolution of moment by the time dependent inversion method.

参考資料

四国中部SSEのモーメント<sup>※1</sup>時系列(試算)

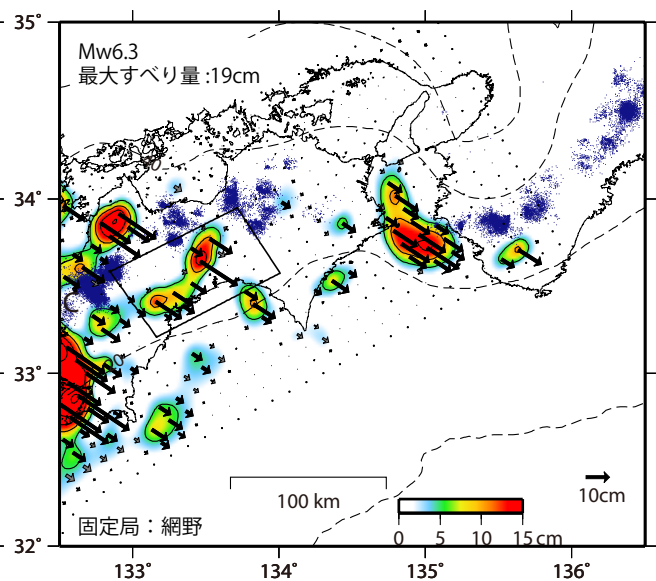
(従来の解析)

2019/1/1 - 2022/1/4



(2021年12月四国中部の短期的SSEの影響を補正)

2019/1/1 - 2022/1/4



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。

※1 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。

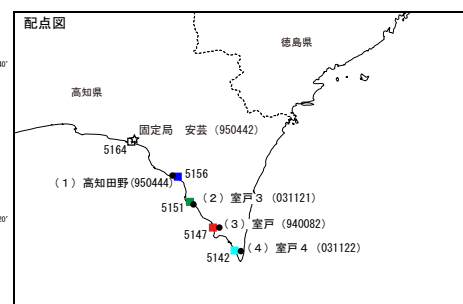
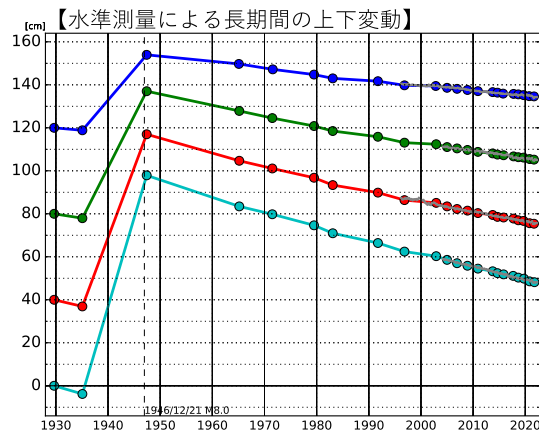
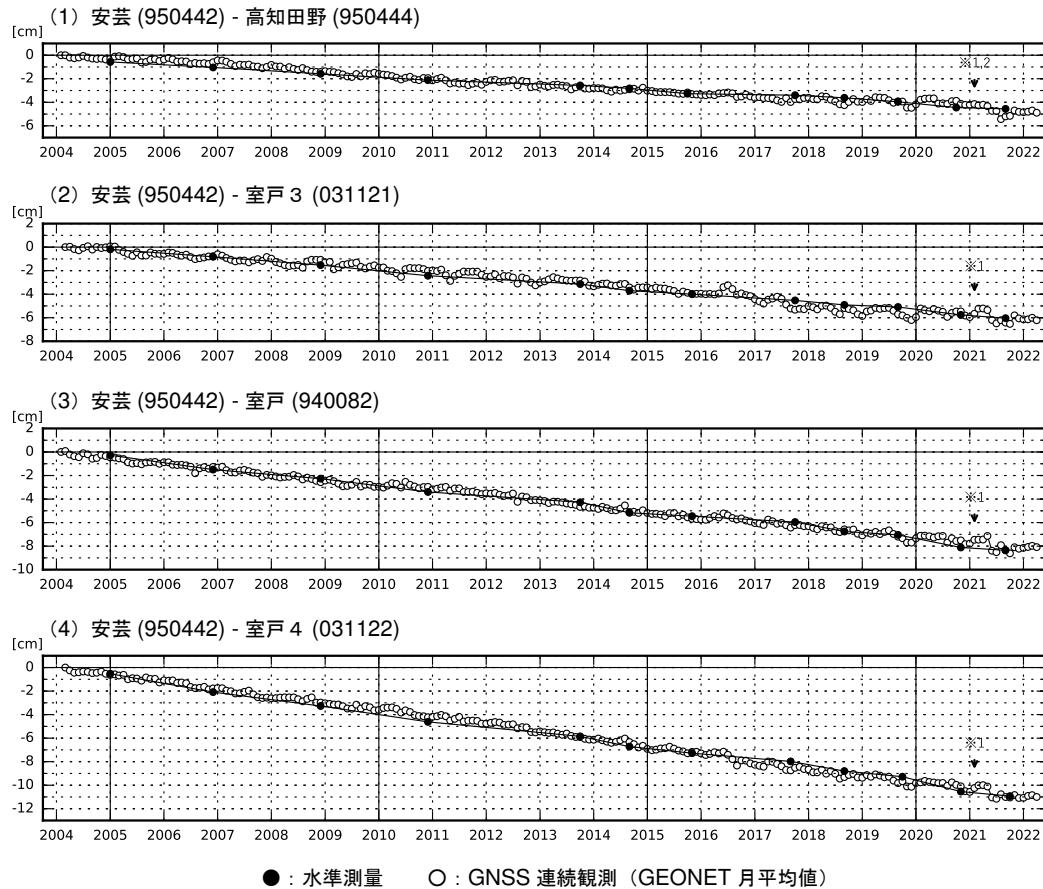
※2 四国中部の短期的SSE (2021/12/3~2021/12/5) 前後の地殻変動のオフセットを取り除いている。  
 (第51回南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会 気象庁資料 (21ページ) の断層パラメータを使用。)

第 11 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. 11 Time evolution of moment by the time dependent inversion method.

## 室戸岬周辺 電子基準点の上下変動 (1)

室戸岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない。



- ・ GNSS 連続観測のプロット点は、GEONET による日々の座標値 (F5: 最終解) から計算した値の月平均値である。(最新のプロット点: 4/1~4/9 の平均値)
- ・ 水準測量の結果は、最寄りの一等水準点の結果を表示しており、GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
- ・ 「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける、各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また、灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

※ 1 2021/2/2 に電子基準点「安芸」のアンテナ更新及びレドーム交換を実施した。

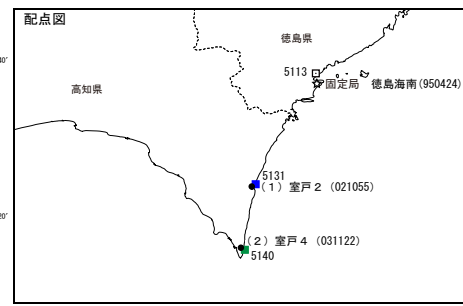
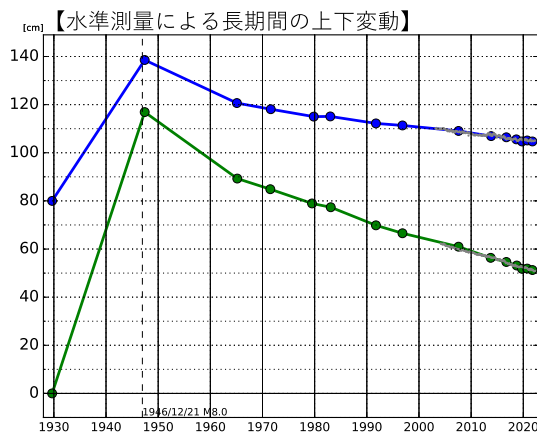
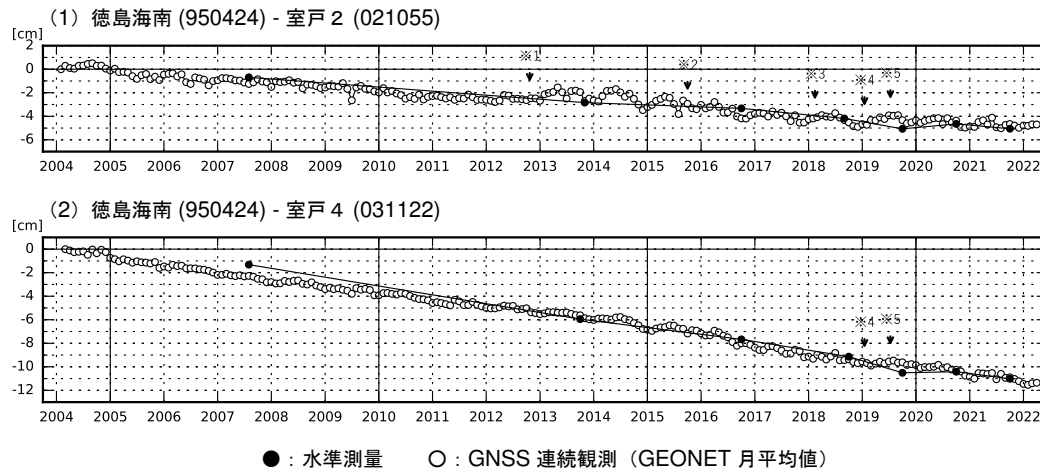
※ 2 2021/2/5 に電子基準点「高知田野」のアンテナ更新及びレドーム交換を実施した。

第 12 図 室戸岬周辺 電子基準点の上下変動 (水準測量と GNSS) (1).

Fig. 12 Vertical displacements of GEONET stations around Cape Muroto (leveling and GNSS measurements) (1).

## 室戸岬周辺 電子基準点の上下変動 (2)

室戸岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない。



- ・ GNSS 連続観測のプロット点は、GEONET による日々の座標値 (F5: 最終解) から計算した値の月平均値である。(最新のプロット点: 4/1~4/9 の平均値)
- ・ 水準測量の結果は、最寄りの一等水準点の結果を表示しており、GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
- ・ 「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける、各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また、灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

- ※ 1 2012/10/23 に電子基準点「室戸 2」のアンテナ及び受信機交換を実施した。
- ※ 2 2015/10/1 に電子基準点「室戸 2」の受信機交換を実施した。
- ※ 3 2018/2/13 に電子基準点「室戸 2」のアンテナ及び受信機交換を実施した。
- ※ 4 2019/1/16 に電子基準点「徳島海南」の受信機交換を実施した。
- ※ 5 2019/7/11 に電子基準点「徳島海南」のアンテナ交換を実施した。

第 13 図 室戸岬周辺 電子基準点の上下変動 (水準測量と GNSS) (2).

Fig. 13 Vertical displacements of GEONET stations around Cape Muroto (leveling and GNSS measurements) (2).