

第2章 この 10 年の全国の地殻変動状況

1. この 10 年の全国の地殻変動状況（陸域について）

国土地理院

1. はじめに

2009～2018 年度（平成 21 年 4 月～平成 31 年 3 月）の 10 年間に於いて GEONET（GNSS 連続観測網）によって地殻変動が観測された地震とその最大変動量を表 1 にまとめた。この期間には、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0）（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）や平成 28 年（2016 年）熊本地震（M6.5、M7.3）（以下「熊本地震」という。）のような甚大な被害を伴う地震が発生し、GEONET、干渉 SAR 等によって顕著な地震時地殻変動や余効変動が観測されたほか、房

総半島沖や南海トラフ沿いのプレート境界などの様々な地域で多くの長期的スロースリップが検出されるなど、プレート境界の固着状態に関する重要なデータが蓄積された。

本稿では、GEONET による観測結果に基づき、地殻活動概要を記述する。2. には全国の地殻変動に見られる主な特徴を中心に記載し、個々の地震に伴う地殻変動については、3. に地域ごとに概要する。なお、長期的スロースリップに係る地殻変動については、3 章の詳細な説明に譲り、本章では割愛する。

表 1 日本とその周辺海域で発生した地震に伴う地殻変動（2009 年 4 月～2019 年 3 月）

| 発生年月日      | 発生時分  | Mj  | 震央地名等       | 水平変動          |       | 上下変動          |       |
|------------|-------|-----|-------------|---------------|-------|---------------|-------|
|            |       |     |             | 最大変動量<br>(cm) | 観測点   | 最大変動量<br>(cm) | 観測点   |
| 2009/06/05 | 12:30 | 6.4 | 十勝沖         | 1.0           | えりも 1 | --            |       |
| 2009/08/11 | 05:07 | 6.5 | 駿河湾         | 1.3           | 焼津 A  | 1.6           | 焼津 A  |
| 2009/10/30 | 16:03 | 6.8 | 奄美大島北東沖     | 1.4           | 十島    | --            |       |
| 2010/02/27 | 05:31 | 7.2 | 沖縄本島近海      | 1.2           | 宜野座   | --            |       |
| 2010/03/14 | 17:08 | 6.7 | 福島県沖        | 0.8           | P 相馬  | --            |       |
| 2010/09/29 | 16:59 | 5.7 | 福島県中通り      | 0.5           | 下郷    | --            |       |
| 2010/12/22 | 02:19 | 7.8 | 父島近海        | 1.6           | 母島    | --            |       |
| 2011/03/09 | 11:45 | 7.3 | 三陸沖         | 3.0           | 大船渡   | --            |       |
| 2011/03/11 | 14:46 | 9.0 | 三陸沖※ 1      | 539.5         | M 牡鹿  | -107.1        | M 牡鹿  |
| 2011/03/12 | 03:59 | 6.7 | 長野県・新潟県県境付近 | 38.8          | 松之山   | 21.5          | 松之山   |
| 2011/03/15 | 22:31 | 6.4 | 静岡県東部       | 2.8           | 裾野 1  | --            |       |
| 2011/03/19 | 18:56 | 6.1 | 茨城県北部       | 2.4           | 里見    | --            |       |
| 2011/03/23 | 07:12 | 6.0 | 福島県浜通り      | 5.7           | いわき 2 | 2.3           | いわき 2 |
| 2011/04/07 | 23:32 | 7.2 | 宮城県沖        | 2.8           | M 牡鹿  | 5.1           | M 牡鹿  |
| 2011/04/11 | 17:16 | 7.0 | 福島県浜通り      | 29.0          | いわき 2 | 5.7           | いわき 2 |
| 2011/04/12 | 07:26 | 5.6 | 長野県北部       | 2.6           | 長野栄   | --            |       |
| 2011/04/12 | 08:08 | 6.4 | 千葉県東方沖      | 1.1           | 銚子    | --            |       |
| 2011/06/23 | 06:50 | 6.9 | 岩手県沖        | 1.5           | 岩泉 2  | --            |       |
| 2011/06/30 | 08:16 | 5.4 | 長野県中部       | 1.3           | 松本    | --            |       |
| 2011/07/10 | 09:57 | 7.3 | 三陸沖         | 0.7           | S 石巻  | --            |       |
| 2011/09/17 | 04:26 | 6.6 | 岩手県沖        | 0.6           | S 普代  | --            |       |
| 2011/09/29 | 19:05 | 5.4 | 福島県浜通り      | 1.4           | いわき   | --            |       |

| 発生年月日      | 発生時分  | Mj  | 震央地名等      | 水平変動          |         | 上下変動          |       |
|------------|-------|-----|------------|---------------|---------|---------------|-------|
|            |       |     |            | 最大変動量<br>(cm) | 観測点     | 最大変動量<br>(cm) | 観測点   |
| 2011/10/05 | 18:59 | 5.4 | 富山県東部      | 1.7           | 立山 A    | 0.6           | 立山 A  |
| 2012/03/14 | 21:05 | 6.1 | 千葉県東方沖     | 1.0           | 銚子      | -1.1          | 銚子    |
| 2013/02/02 | 23:17 | 6.5 | 十勝地方南部     | 0.6           | えりも     | 2             | --    |
| 2013/02/25 | 16:23 | 6.3 | 栃木県北部      | 3.0           | 栗山      | --            |       |
| 2013/04/13 | 05:33 | 6.3 | 淡路島付近      | 1.2           | 洲本      | --            |       |
| 2013/04/17 | 17:57 | 6.2 | 三宅島近海      | 2.1           | 三宅 4    | --            |       |
| 2013/04/17 | --:-- | --  | 与那国島近海     | 4.7           | 与那国     | --            |       |
| 2014/07/08 | 18:05 | 5.6 | 胆振地方中東部    | 1.8           | M樽前山 A  | --            |       |
| 2014/11/22 | 22:08 | 6.7 | 長野県北部      | 29.2          | 白馬      | -13.0         | 白馬    |
| 2015/02/17 | 08:06 | 6.9 | 三陸沖        | 0.7           | 岩泉 1    | --            |       |
| 2015/04/20 | 10:42 | 6.8 | 与那国島近海     | 0.5           | 波照間島    | --            |       |
| 2015/05/13 | 06:12 | 6.8 | 宮城県沖       | 2.0           | 大船渡     | -1.6          | 大船渡   |
| 2015/11/14 | 05:51 | 7.1 | 薩摩半島西方沖    | 0.5           | 鹿児島鹿島   | --            |       |
| 2016/01/14 | 12:25 | 6.7 | 浦河沖        | 1.3           | えりも 1   | 1.3           | えりも 1 |
| 2016/04/14 | 21:26 | 6.5 | 熊本県熊本地方※ 2 | 20            | 城南 4    | 4             | 熊本    |
| 2016/04/16 | 01:25 | 7.3 | 熊本県熊本地方※ 2 | 98            | 長陽      | 24            | 長陽    |
| 2016/04/18 | 20:41 | 5.8 | 熊本県阿蘇地方    | 1.5           | 久住      | --            |       |
| 2016/04/29 | 15:09 | 4.5 | 大分県中部      | 1.6           | 湯布院     | --            |       |
| 2016/10/21 | 14:07 | 6.6 | 鳥取県中部      | 7.1           | 羽合      | 2.2           | 羽合    |
| 2016/11/22 | 05:59 | 7.4 | 福島県沖       | 4.1           | 小高      | --            |       |
| 2016/12/28 | 21:38 | 6.3 | 茨城県北部      | 2.5           | 里美      | --            |       |
| 2017/06/25 | 07:02 | 5.6 | 長野県南部      | 1.4           | 三岳      | --            |       |
| 2018/04/09 | 01:32 | 6.1 | 島根県西部      | 1.0           | 大田      | -2.0          | 大田    |
| 2018/06/18 | 07:58 | 6.1 | 大阪府北部      | 0.5           | 箕面 - 宇治 | --            |       |
| 2018/09/06 | 03:07 | 6.7 | 胆振地方中東部※ 3 | 5.4           | 門別      | -3.4          | 門別    |
| 2019/01/08 | 21:39 | 6.0 | 種子島近海      | 1.7           | 西之表     | --            |       |

・ Mj は、気象庁マグニチュード。

・ 最大変動量は、電子基準点で観測された変動量。

・ 上下変動の最大変動量の -- は、有意な変動が観測されなかったことを示す。

※ 1 「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」

※ 2 「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の一連の活動

※ 3 「平成 30 年北海道胆振東部地震」（以下「北海道胆振東部地震」という。）の一連の活動

## 2. 全国の地殻活動の概況

2009～2018 年度の 10 年間に観測された地殻変動については、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震に伴う地震時変動が際だって大きなものであるが、これらについては 3. に記載し、ここではそれ以外の地殻変動をこれらの地震を境に期間を分けて概説する。

### 2.1 2009 年から 2011 年 2 月まで

東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間について、GEONET による観測結果から推定した全国の水平地殻変動を図 1 に、上下地殻変動を図 2 に、地殻水平ひずみ変化を図 3 に示す。この期間には、地殻変動が観測された地震がいくつか発生したが、いずれも地震時変動は 1 cm 程度と小さい（表 1）。北海道から東北地方にかけての太平洋岸を中心に太平洋プレートの沈み込みに伴う北西－南東から東西方向の短縮、道東地方の沈降、三陸から関東にかけての太平洋岸の沈降、東北地方日本海側の隆起が見られる。十勝付近の隆起は 2004 年十勝沖地震の余効変動によるものである。南海トラフ沿いには、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西－南東方向の短縮と御前崎の沈降が見える。また、潮岬と室戸岬は僅かに沈降しており、その

内陸側は隆起となっている。足摺岬付近の隆起は 2009 年から 2011 年にかけて発生した長期的スロースリップの影響である。新潟から神戸に至る帯状の地域に見られる西北西－東南東方向の短縮は、Sagiya et al. (2000)1) が「新潟－神戸ひずみ集中帯」として指摘したものである。九州では南北方向の伸長が見られる。

基準期間：2009/03/01～2009/03/15 [F3：最終解]  
比較期間：2011/02/14～2011/02/28 [F3：最終解]

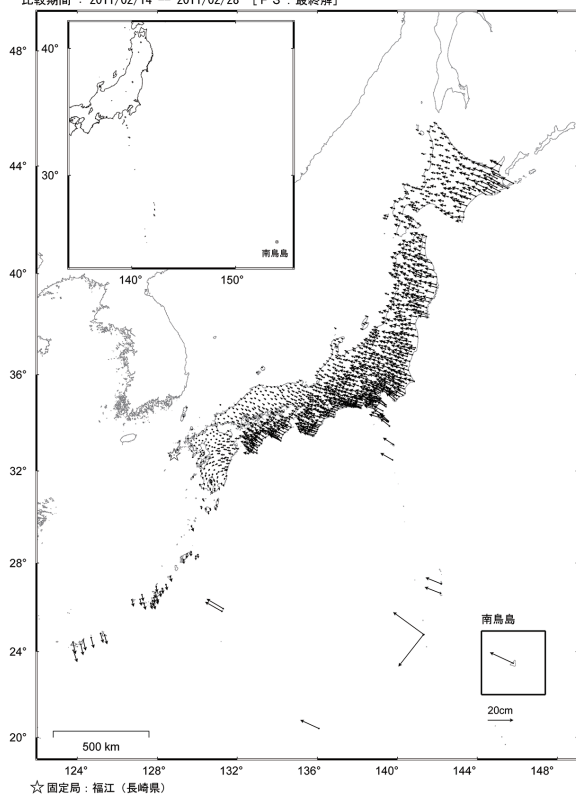


図 1 東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の水平変動ベクトル図

基準期間：2009/03/01～2009/03/15 [F3：最終解]  
比較期間：2011/02/14～2011/02/28 [F3：最終解]

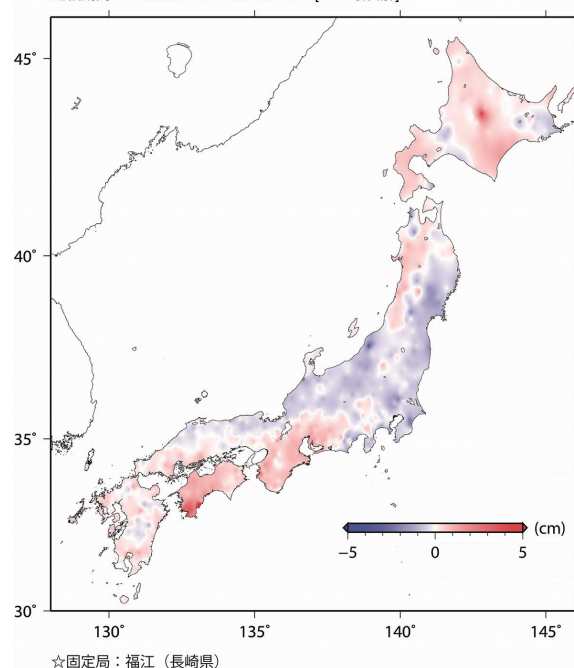


図 2 東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の上下変動図

基準期間：2009/03/01～2009/03/15 [F3：最終解]  
比較期間：2011/02/14～2011/02/28 [F3：最終解]

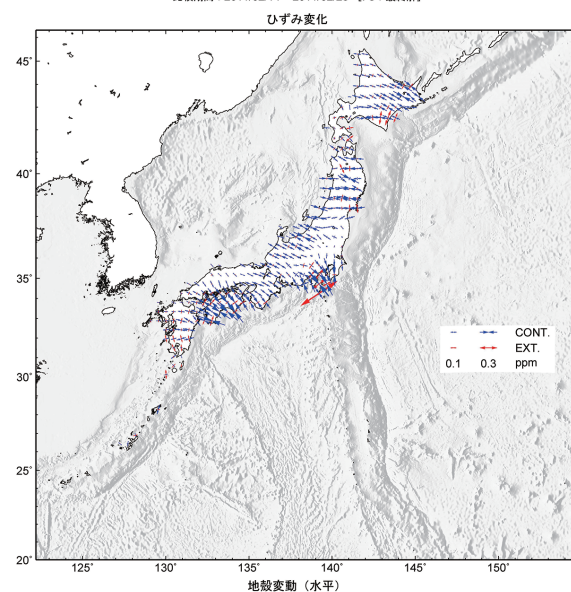


図 3 東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の水平ひずみ変化

## 2.2 2011 年 4 月から 2016 年 4 月まで

東北地方太平洋沖地震によって、広域で大きな地殻変動が観測されたが、これについては 3.2 に記し、ここでは、その後の変動について記載する。

2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの約 5 年間について、全国の水平地殻変動を図 4 に、上下地殻変動を図 5 に、地殻水平ひずみ変化を図 6 に示す。ベクトル等の変動量を示すスケールが、図 1～3 とは異なることに注意されたい。この期間には 2011 年 3 月 12 日の長野県・新潟県県境付近の地震（松之山観測点で水平成分 38.8cm）や、2014 年 11 月 22 日の長野県北部の地震（白馬観測点で水平成分 29.2cm）など、顕著な地殻変動を示した地震が多く発生している（表 1）。

東北地方太平洋沖地震の余効変動によって、広域的な地殻変動の様相が地震前とは大きく変わったことが読み取れる。まず、東日本は地震前の概ね東西方向の短縮から、震源方向に引き伸ばされるような変動場となった。余効変動が顕著にみられる範囲は北海道から近畿地方までの広域に及び、地震の翌日から 2016 年 4 月までの累積変動の最大値は、水平変動で 120cm、上下変動で 40cm を超えた。上下変動については、三陸地方の南部から関東地方にかけての太平洋岸で地震直後から隆起が続き、当初は沈降していた三陸地方北部も約 1 年後に

は隆起に転じた。一方、奥羽山脈より日本海側の地域は、地震前とは逆に沈降している。また、震源域から少し離れた津軽海峡付近や関東甲信越地方に見られる隆起も、この余効変動の特徴である。

東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を大きく受けた地域以外の変動の傾向については、地震前の地殻変動と概ね同様である。

基準期間：2011/04/01 - 2011/04/15 [F3：最終解]  
比較期間：2016/03/30 - 2016/04/13 [F3：最終解]

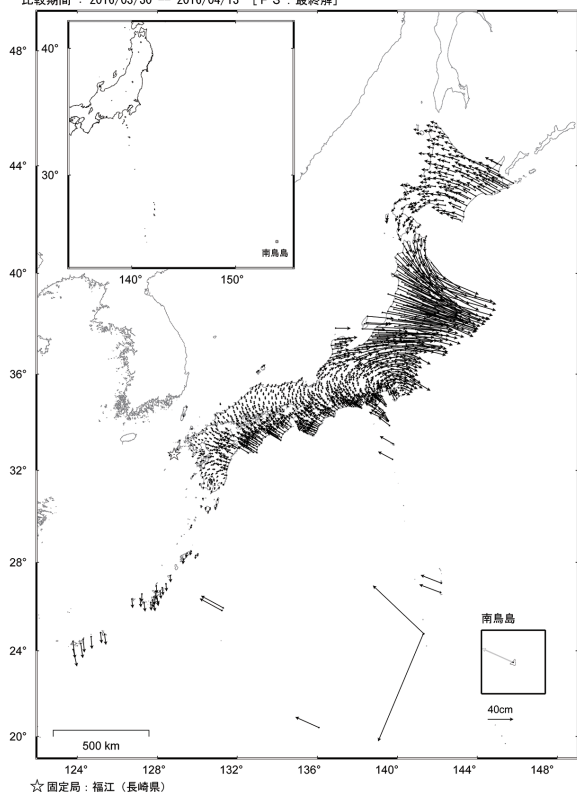


図 4 2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の水平変動ベクトル図

基準期間：2011/04/01 - 2011/04/15 [F3：最終解]  
比較期間：2016/03/30 - 2016/04/13 [F3：最終解]

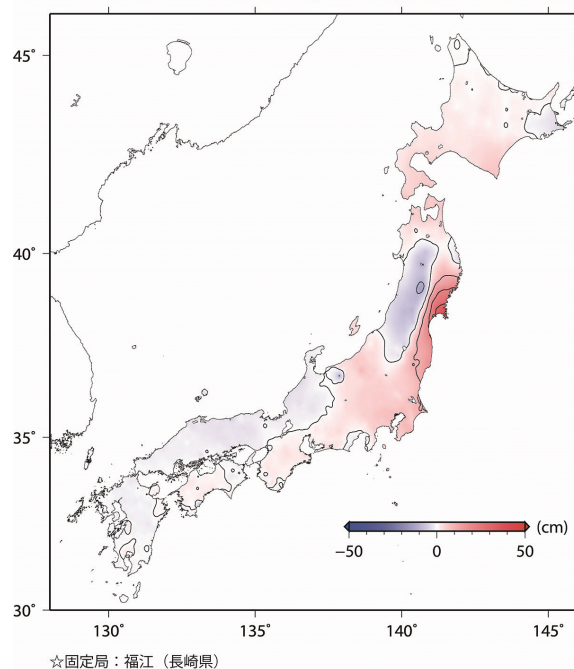


図 5 2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の上下変動図

基準期間：2011/04/01 - 2011/04/15 [F3：最終解]  
比較期間：2016/03/30 - 2016/04/13 [F3：最終解]

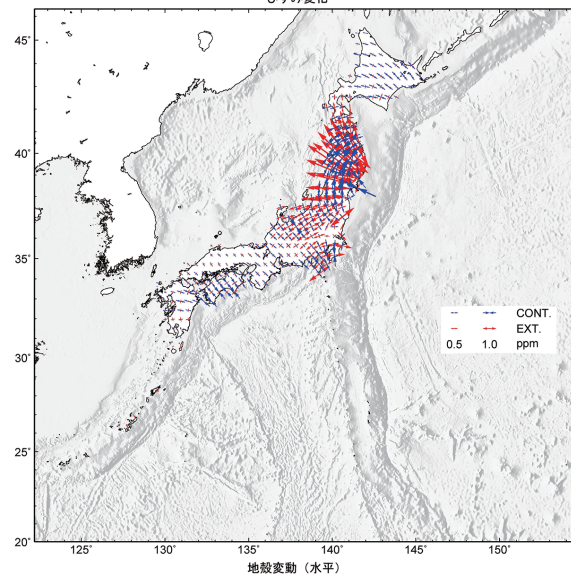


図 6 2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の水平ひずみ変化



### 2.3 2016 年 4 月から 2019 年 3 月まで

熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの約 3 年間について、全国の水平地殻変動を図 7 に、上下地殻変動を図 8 に、地殻水平ひずみ変化を図 9 に示す。この期間で顕著な地殻変動を伴った地震には、北海道胆振東部地震（門別観測点で水平成分 5.4cm）のほか、2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震（羽合観測点で水平成分 7.1cm）がある（表 1）。

東北地方太平洋沖地震の大きな余効変動は、その速度が地震直後に比べると小さくなっているものの、引き続き広域的に見られ、水平変動及び上下変動の空間的なパターンも 2016 年 3 月までとほぼ同様であり、地震前の変動とは異なる状況が続いた。地震の翌日から 2019 年 3 月までの累積変動の最大値は、水平変動で 140cm を超え、上下変動も 60cm 近くに達した。

九州地方の地殻水平ひずみがそれ以前の期間と異なるのは、主に、2016 年 4 月に発生した熊本地震（M6.5, M7.3）後に長期間続いた余効変動の影響である。

北海道胆振地方の地殻水平ひずみに普段とは異なる南北方向の伸びの成分が見られるのは、北海道胆振東部地震に伴う地殻変動の影響である。

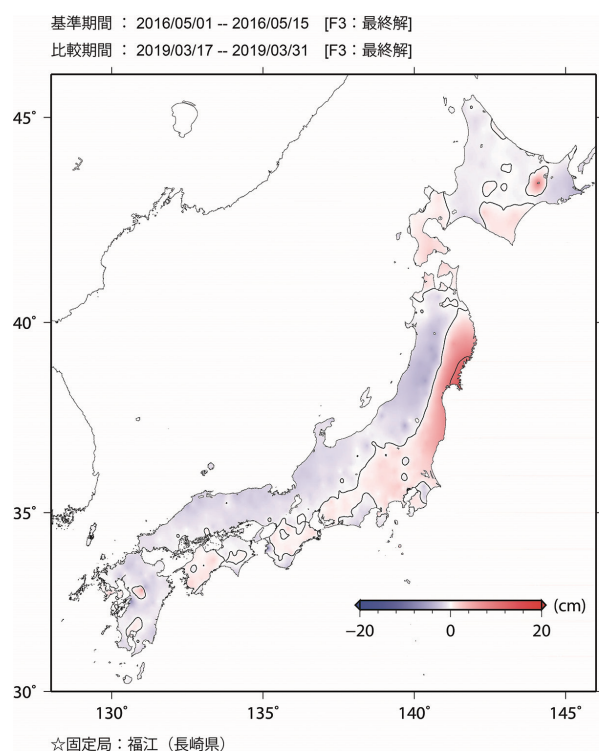


図 8 熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の上下変動図

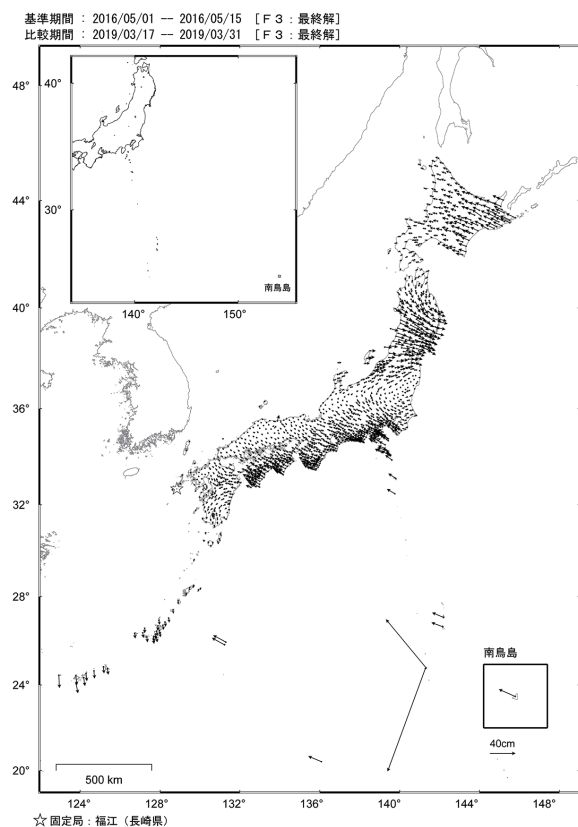


図 7 熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の水平変動ベクトル図

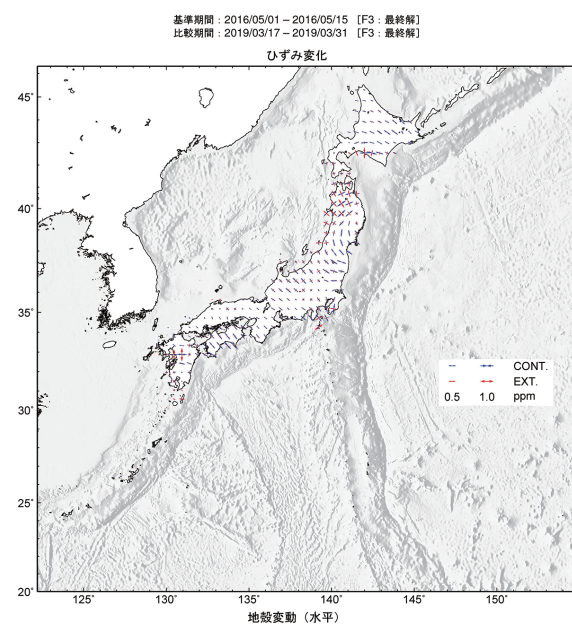


図 9 熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の水平ひずみ変化

### 3. 地域ごとの地殻活動の状況

#### 3.1 北海道とその周辺

2009 年 4 月以降に北海道地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 5 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

##### a) 浦河沖の地震

2016 年 1 月 14 日 12 時 25 分頃に浦河沖で発生した地震 (M6.7, 深さ 52km, 最大震度 5 弱) に伴う小さな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「えりも 1」(北海道えりも町) で東方向へ約 1.3cm と約 1.3cm の隆起など、北海道太平洋沿岸の複数の電子基準点で地殻変動が観測された。

##### b) 平成 30 年北海道胆振東部地震

2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分頃に発生した北海道胆振東部地震 (M6.7, 深さ 37km, 最大震度 7) に伴う地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「門別」(北海道日高町) で南方向に約 5.4cm と約 3.4cm の沈降など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された (図 10)。地震後の余効変動はほとんど見られなかった。だいち 2 号の SAR 干渉解析によると、震央周辺で最大約 7 cm の隆起及び、隆起域の東側で最大約 4 cm の東向き地殻変動が観測された (図 11)。

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、ほぼ南北走向で傾斜角が 74 度と高角の断層面での逆断層運動が推定された。長さ約 14km, 幅約 16km の断層ですべり量は約 1.3m と推定され、計算されたモーメントマグニチュードは約 6.6 であった。断層面の上端の深さは約 16 km と推定され、陸域で発生した地震としてはやや深いという点が特徴的であった。

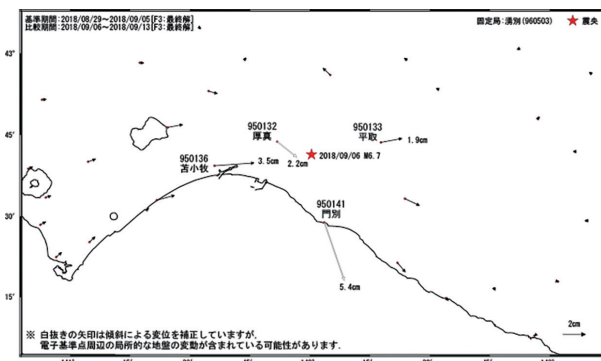


図 10 北海道胆振東部地震に伴う水平変動ベクトル図

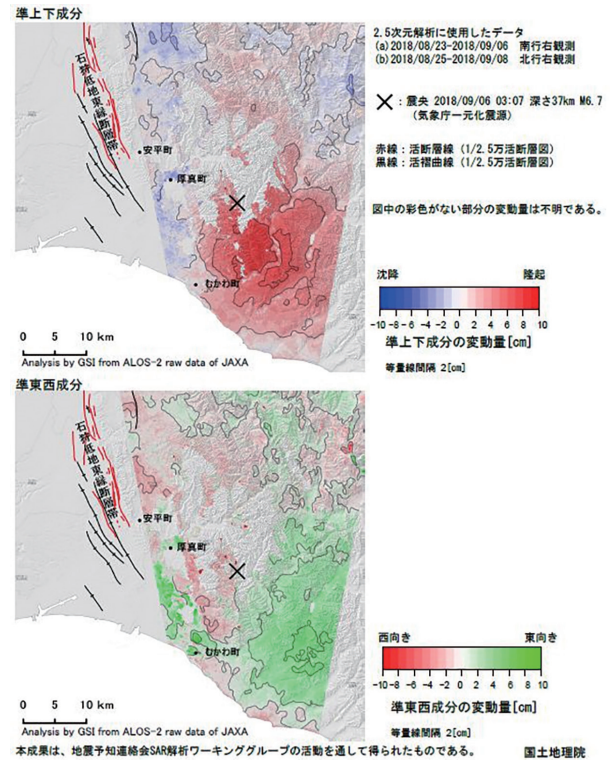


図 11 SAR 干渉解析による地殻変動分布図 (2.5 次元解析)

#### 3.2 東北地方とその周辺

2009 年 4 月以降に東北地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 14 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

##### a) 三陸沖を震源とする地震

2011 年 3 月 9 日 11 時 45 分頃に発生した三陸沖の地震 (M 7.3, 深さ 8km, 最大震度 5 弱) に伴う地殻変動が、東北地方の太平洋岸の地域の電子基準点で観測された。電子基準点「大船渡」(岩手県大船渡市) で東南東方向へ約 3 cm など、多くの電子基準点で 2 cm 前後の地殻変動が観測された。電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、余震分布の位置に約 1.5m の逆断層すべりが推定された。

##### b) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に発生した東北地方太平洋沖地震 (M 9.0, 深さ 24km, 最大震度 7) に伴う記録的な地殻変動が、全国の広い範囲の電子基準点で観測された。電子基準点「M 牡鹿」(宮城県南三陸町) で東南東方向へ約 5.4 m と約 1.1m の沈降など、北海道から近畿地方にかけての広い範囲で地殻変動が観測された (図 12)。

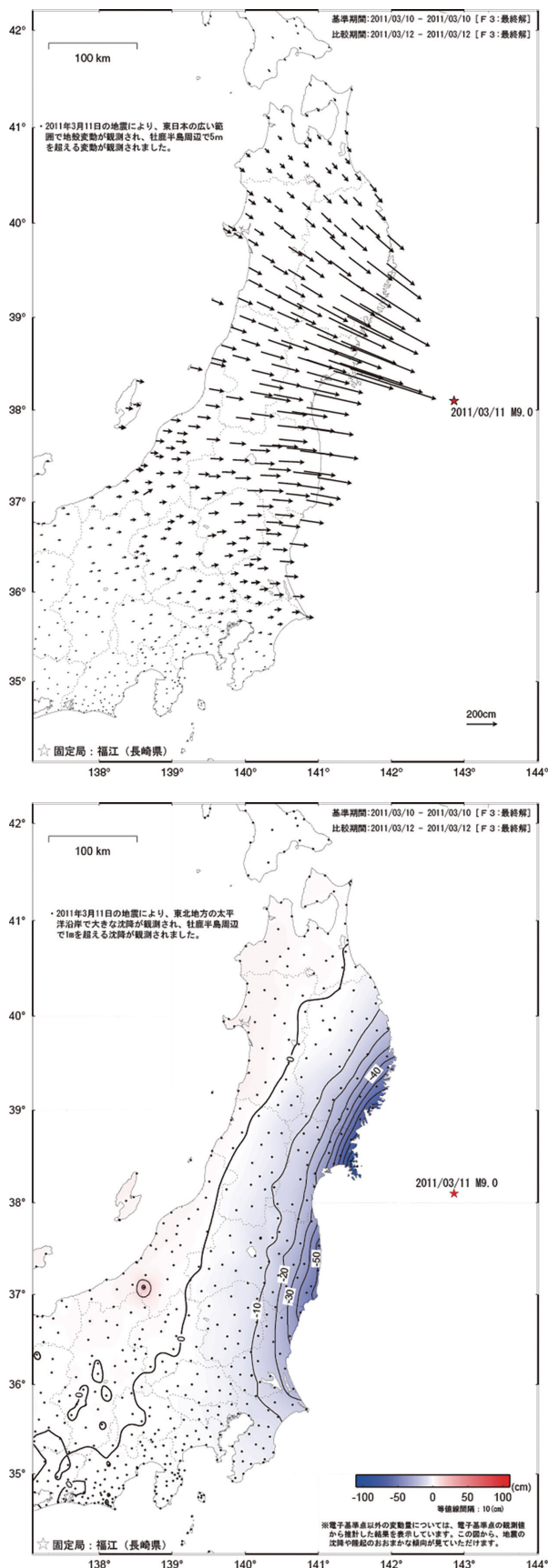


図 12 東北地方太平洋沖地震に伴う水平変動ベクトル図 (上) と上下変動コンター図 (下)。いずれの図も本震後十数時間分の余効変動による変動量を含んでいる。

だいち 2 号の SAR 干渉解析によると、広い範囲で大きな地殻変動が見られ、牡鹿半島先端で最大約 4 m の衛星 - 地表間の距離伸長が見られた。

電子基準点で観測された地殻変動を基に 2 枚の矩形断層を仮定して震源断層モデルを推定した結果、逆断層で、すべり量は北側の断層で約 25m、南側の断層で約 6 m、断層の総延長は約 380km と推定された。

### 3.3 関東・中部地方

2009 年 4 月以降に関東・中部地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 15 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

#### a) 駿河湾を震源とする地震

2009 年 8 月 11 日 5 時 7 分頃に発生した駿河湾を震源とする地震 (M6.5、深さ 23km、最大震度 6 弱) に伴う小さな地殻変動が、静岡県焼津市及びその周辺の電子基準点と水準測量で観測された。電子基準点「焼津 A」(静岡県焼津市)で西方向へ約 1.3cm と約 1.6cm の隆起など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。水準測量では、静岡県牧之原市北部から静岡市で、最大 1 cm 超の隆起が見られた。

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、東西走向で南に傾き下がる断層面が左横ずれ成分を伴って逆断層的に動き (すべり量約 39cm)、北西 - 南東走向で北東に傾き下がる断層面が右横ずれ成分を伴って逆断層的に動いた (すべり量約 62cm) と推定された (図 13)。

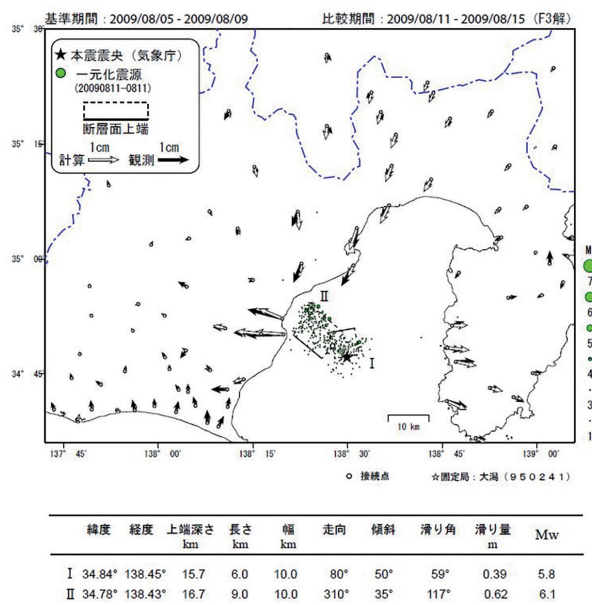


図 13 震源断層モデルと地殻変動



## b) 父島近海を震源とする地震

2010 年 12 月 22 日 2 時 19 分頃に発生した父島近海の地震 (M7.4, 深さ 8 km, 最大震度 4) に伴う小さな地殻変動が, 父島及び母島に設置されている電子基準点で観測された。電子基準点「母島」(東京都小笠原村) で西方向へ約 1.6 cm など, 周辺の電子基準点「父島 A」「P 父島 A」(東京都小笠原村) で地殻変動が観測された。

## c) 長野県・新潟県県境付近の地震

2011 年 3 月 12 日 3 時 59 分頃に発生した長野県・新潟県県境付近の地震 (M 6.7, 深さ 8 km, 最大震度 6 強) に伴う大きな地殻変動が, 震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「松之山」(新潟県十日町市) で北東方向へ約 38.8 cm と約 21.5 cm の隆起など, 周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

## d) 静岡県東部の地震

2011 年 3 月 15 日 22 時 31 分頃に発生した静岡県東部の地震 (M 6.4, 深さ 14 km, 最大震度 6 強) に伴う小さな地殻変動が, 震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「裾野 1」(静岡県裾野市) で東方向へ約 2.8 cm など, 周辺の電子基準点で 1 ~ 3 cm の地殻変動が観測された。

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果, 北北東 - 南南西走向の逆断層成分を含む左横ずれのすべりが推定された。

## e) 千葉県東方沖の地震

2012 年 3 月 14 日 21 時 5 分頃に発生した千葉県東方沖の地震 (M6.1, 深さ 15 km, 最大震度 5 強) に伴う小さな地殻変動が, 電子基準点で観測された。電子基準点「銚子」(千葉県銚子市) で東方向へ約 1.0 cm と約 1.1 cm の沈降の地殻変動が観測された。

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルの推定を行った。断層面が東傾斜の場合と西傾斜の場合の二種類について推定した結果, いずれの場合にも, 正断層型の断層運動により観測値をよく説明できることが分かった。

## f) 栃木県北部の地震

2013 年 2 月 25 日 16 時 23 分頃に発生した栃木県北部の地震 (M6.3, 深さ 3 km, 最大震度 5 強) に伴う小さな地殻変動が, 震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「栗山」(栃木県日光市) で北西方向へ約 3.0 cm の地殻変動が観測された。

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果, 断層の深さはごく浅く推定され,

三次元構造を用いて推定された余震分布(気象庁による)に近い位置に決まった。

## g) 三宅島近海の地震

2013 年 4 月 17 日 17 時 57 分頃に発生した三宅島近海の地震 (M6.2, 深さ 9 km, 最大震度 5 強) に伴う小さな地殻変動が, 震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「三宅 4」(東京都三宅村) で北東方向へ約 2.1 cm など, 三宅島及び御蔵島の電子基準点で地殻変動が観測された。

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果, 断層面が南北走向の場合, 縦ずれ成分を伴う横ずれ型の断層運動で, モーメントマグニチュードは 5.9 と推定された。また, 気象庁の一元化震源に東西方向に伸びる余震分布も見られたことから, 断層面が東西方向の場合についても推定した結果, 東西方向の断層モデルでも観測値を説明できることが分かった。

## h) 長野県北部の地震

2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分頃に発生した長野県北部の地震 (M6.7, 深さ 5 km, 最大震度 6 弱) に伴う大きな地殻変動が, 震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「白馬」(長野県白馬村) で南東方向へ約 29.2 cm と約 13.0 cm の沈降の地殻変動が観測された。その後の観測では, 余効変動が見られた。

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも, 地震に伴う地殻変動が明らかになった。地震前後に観測したデータから, 白馬村を中心とする東西約 30 km, 南北約 30 km の地域に地殻変動の面的な広がりが見られた (図 14)。また, 震央

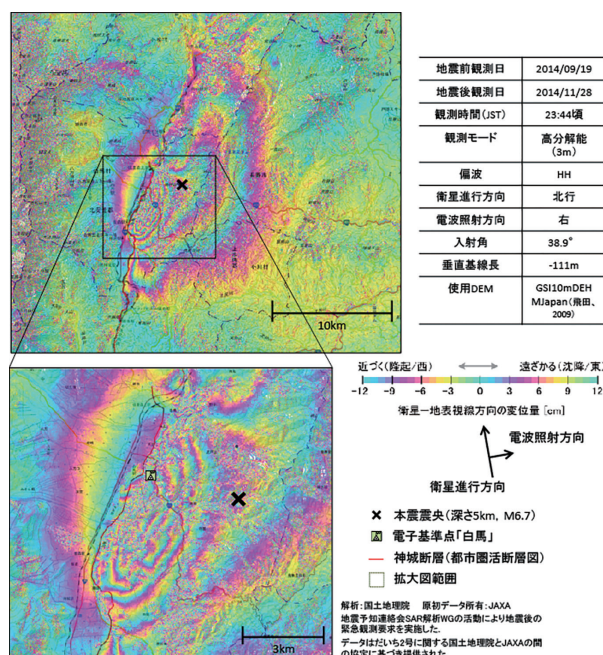


図 14 SAR 干渉解析による地殻変動分布図



西側の神城断層に隣接する領域で特に大きな地殻変動が見られ、西向・上方に最大 1 m 程度の変位が観測された。

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、単一の傾斜角を持つ断層面でのすべりを説明することは困難であることが分かった。深さ 2 km を境として、深部では高角 (60°)、浅部でやや低角 (40°) の断層面を仮定し、この断層面上でのすべり分布を推定した結果、全体としては左横ずれ成分を含む逆断層性のすべりが推定され、震源断層の長さは約 20 km と推定された。

### 3.4 近畿・中国・四国地方

2009 年 4 月以降に近畿・中国・四国地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 4 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

#### a) 淡路島付近の地震

2013 年 4 月 13 日 5 時 33 分頃に発生した淡路島付近の地震 (M6.3, 深さ 15 km, 最大震度 6 弱) に伴う小さな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「洲本」(兵庫県洲本市) で南方向へ約 1.2 cm など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

#### b) 鳥取県中部の地震

2016 年 10 月 21 日 14 時 7 分頃に発生した鳥取県中部の地震 (M6.6, 深さ 11 km, 最大震度 6 弱) に伴う地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電

子基準点「羽合」(鳥取県湯梨浜町) で北北東方向へ約 7.1 cm と約 2.2 cm の隆起など、鳥取県内の複数の電子基準点で地殻変動が観測された。

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも、地震に伴う地殻変動が明らかになった。地震前後に観測したデータから、北北西 - 南南東走向でほぼ鉛直の断層での左横ずれ断層運動と調和的な地殻変動が捉えられた (図 15)。

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、北北西 - 南南東走向のほぼ鉛直の断層が左横ずれ運動し、長さ約 8 km, 幅約 7 km で北北西 - 南南東走向のほぼ鉛直の断層が約 1.3 m 左横ずれ運動したと推定された。

#### c) 島根県西部の地震

2018 年 4 月 9 日 1 時 32 分頃に発生した島根県西部の地震 (M6.1, 深さ 12 km, 最大震度 5 強) に伴う小さな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「大田」(島根県大田市) で南東方向へ約 1.0 cm と約 2.0 cm の沈降など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

#### d) 大阪府北部の地震

2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分頃に発生した大阪府北部の地震 (M6.1, 深さ 13 km, 最大震度 6 弱) に伴うごく僅かな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。震央を東西に挟む電子基準点「箕面」(大阪府箕面市) - 「宇治」(京都府宇治市) の基線で約 0.5 cm の短縮、南北に挟む電子基準点「交野」(大阪府交野市) - 「亀岡」(京都府亀岡市) の基線で約 0.4 cm の伸長があった。だいち 2 号の SAR 干渉解析では、震央付近で僅かに衛星に近づく向きの位相変化が見られたが、ノイズレベルを超える変動は見られなかった。

### 3.5 九州地方

2009 年 4 月以降に九州地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 7 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

#### a) 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震 (M6.5, 深さ 11 km, 最大震度 6 弱) 及び 2016 年 4 月 15 日 0 時 3 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震 (M6.4, 深さ 7 km, 最大震度 6 強) に伴う大きな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「城南」(熊本県熊本市) で北東方向へ約 20 cm, 「熊本」(熊本県熊本市) で約 4 cm の隆起など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

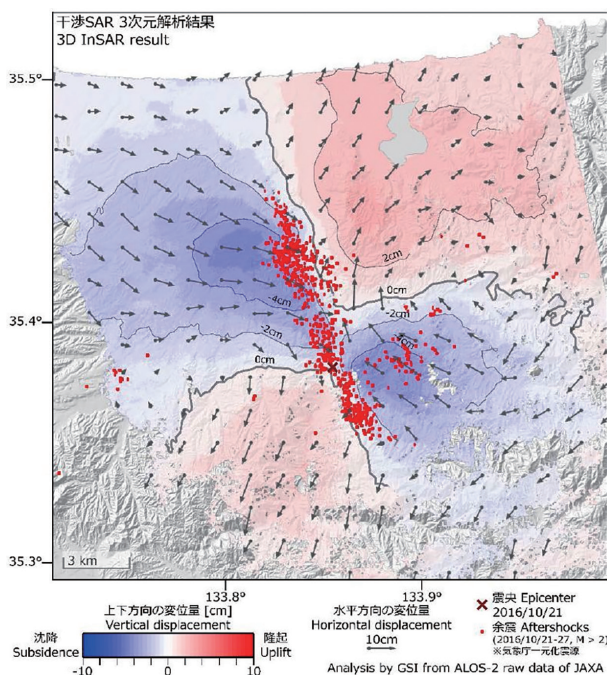


図 15 SAR 干渉解析による地殻変動分布図 (3 次元解析)

また、2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震（M7.3、深さ 12km、最大震度 7）に伴う大きな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「長陽」（熊本県南阿蘇村）で南西方向へ約 98cm と約 24cm の隆起など、熊本県を中心とした地域で地殻変動が観測された。その後の観測では、明瞭な余効変動が見られており、時間経過と共に減衰しつつあるものの、2019 年 3 月時点においても、余効変動が僅かながら継続している。

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも、地震に伴う地殻変動が明らかになった。熊本県熊本地方から阿蘇地方にかけて地殻変動の面的な広がりが見られ、布田川断層帯の布田川区間沿い及び日奈久断層帯の高野－白旗区間沿いに大きな変動がみられた。

このほか、地殻変動の全体像を把握するため、緊急 GNSS 観測を実施し、最大で約 2.1m の沈降が確認された。

電子基準点、SAR 干渉解析等で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果、4/14 及び 4/15 に発生した地震では、北東－南西走向のやや西に傾き下がる高角の断層が右横ずれ運動したと推定された。4/16 に発生した地震では、3 枚の矩形断層を仮定して、布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面、日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で、それぞれ右横ずれ運動が生じたと推定された（図 16）。

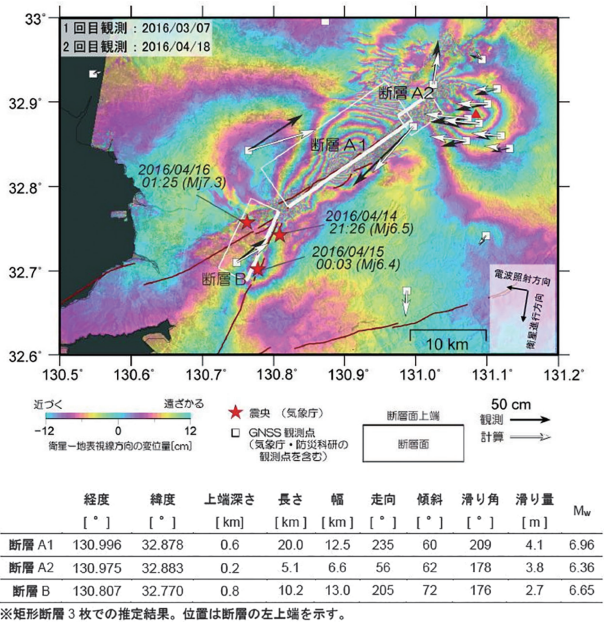


図 16 GNSS 観測及び SAR 干渉解析による震源断層モデル

#### b) 種子島近海の地震

2019 年 1 月 8 日 21 時 39 分頃に発生した種子島近海の地震（M6.0、深さ 30km、最大震度 4）に伴う小さな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電

基準点「西之表」（鹿児島県西之表市）で南東方向へ約 1.7cm など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。その後の観測では、余効変動が見られた。その変動量は地震後の約 3 か月間で地震時変動の半分程度であり、向きは地震時変動と同様に南東方向であった。

#### 3.6 沖縄地方

2009 年 4 月以降に沖縄地方において、地震に伴う地殻変動を観測した回数は 3 回であった。ここでは、この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する。

##### a) 沖縄本島近海を震源とする地震

2010 年 2 月 27 日 5 時 31 分頃に発生した沖縄本島近海を震源とする地震（M7.2、深さ 37km、最大震度 5 弱）に伴う小さな地殻変動が、沖縄本島及びその周辺に設置されている電子基準点で観測された。電子基準点「宜野座」（沖縄県宜野座村）で北西方向へ約 1.2cm など、沖縄本島及びその周辺に設置した電子基準点で地殻変動が観測された。

##### b) 与那国島近海・石垣島北西沖の地震

与那国島近海・石垣島北西沖において、2013 年 4 月 18 日 23 時 08 分頃の地震（M 6.1、深さごく浅い、最大震度 1）をはじめとして、4 月 17 日から 18 日を中心に地震活動があった。この地震活動に伴う地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「与那国」（沖縄県与那国町）で南南西方向へ約 4.7cm など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

電子基準点で観測された地殻変動を基に、東西走向の正断層を仮定した場合とダイクの貫入を仮定した場合の二種類のモデルを推定した。いずれの場合でも、観測値を説明することはできた。なお、正断層として推定した場合、モーメントマグニチュードは 6.9 と推定され、最大地震（M6.1）よりも大きな値となった。

##### c) 与那国島近海の地震

2015 年 4 月 20 日 10 時 42 分頃に発生した与那国島近海の地震（M6.8、深さ 22km、最大震度 4）に伴う僅かな地殻変動が、震源域周辺の電子基準点で観測された。電子基準点「波照間島」（沖縄県竹富町）で南島方向へ約 0.5cm など、周辺の電子基準点で地殻変動が観測された。

#### 参考文献

1) Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000). Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pur. Appl. Geophys.*, **157**(81), 2302-2322. doi:10.1007/PL00022507.