

12 - 9 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 The 2016 Kumamoto Earthquake

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

[熊本地震前の地殻変動 (水平)]

第 1 ~ 4 図は、熊本地震前の九州地方の水平地殻変動に関する資料である。

第 1 図は、GNSS 連続観測による熊本地震前の 5 年間の水平変動ベクトル図である。固定局は北対馬観測点 (長崎県) である。フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西方向の変動と、鹿児島県付近では南向きの変動が見られる。

第 2 図は、第 1 図と同期間の水平ひずみ分布である。九州の広い範囲で東西短縮が見られるが、特に別府湾から阿蘇山、熊本市付近にかけては南北伸張が見られる。

第 3 図は、東北地方太平洋沖地震以前の 5 年間の水平ひずみ分布である。第 2 図と同様な分布を示すが、阿蘇山付近での収縮が顕著に見られるなどの違いも見られる。

第 4 図は、明治以来の三角 (三辺) 測量の結果から求められた約 100 年間の水平ひずみ分布である。九州中部を中心として南北伸張が見られる。

[熊本地震前の地殻変動 GNSS]

第 5 ~ 10 図は、GNSS 連続観測による、熊本地震発生前の地殻変動に関する資料である。

第 5 ~ 8 図は、第 5 図上段の配点図に示した 7 点の観測点について、三隅観測点 (鳥根県) との基線の成分変化グラフである。左列は地震前の 2 年間 (2014 年 4 月 13 日 ~ 2016 年 4 月 13 日)、右列は地震前の 1 ヶ月間 (2016 年 3 月 13 日 ~ 4 月 13 日) の基線変化グラフである。(5) の矢部 A 観測点の東西成分に 2016 年 2 月頃から東向きの変化が見られるが、日向灘の長期的 SSE による影響の可能性はある。

第 9 図は、第 5 図上段の配点図のうち①~⑥の観測点について、30 秒毎のデータを用いて精密単独測位 (PPP) による解析を行って得られた各観測点の成分変化グラフである。示した期間は 4 月 8 日 9 時 1 分から 4 月 14 日 21 時 24 分までである。

第 10 図は、第 9 図と同じ 6 点の観測点について、1 秒毎のデータを用いたキネマティック解析により得られた成分変化グラフである。この解析では小松観測点を基準として解析を行っている。示した期間は 4 月 14 日 9 時 0 分から 21 時 24 分までである。

いずれのグラフにも、特段の変化は見られない。

[熊本地震 地震に伴う地殻変動 GNSS]

第 11 ~ 14 図は、GNSS 連続観測により得られた 4 月 14 日 M6.5 の地震、4 月 15 日 M6.4 の地震、及び 4 月 16 日 M7.3 の地震に伴う地殻変動に関する資料である。

第 11 図は、4 月 14 日 M6.5 及び 4 月 15 日 M6.4 の地震に伴う地殻変動を示すベクトル図で、上段に水平変動、下段に上下変動ベクトルが示されている。固定局は、三隅観測点 (鳥根県) である。これらの地震は発生時間が近接しているため、ルーチン的に実施される解析では、両者の変動を分離することができない。これらの地震に伴い、城南観測点で北北東方向へ約 20 cm の変位、熊本観

測点で北北西方向へ約 12 cm 変位し約 4 cm 隆起など、日奈久断層帯周辺の観測点で地殻変動が観測された。日奈久断層帯の西側の観測点では北向き、東側の観測点では南向きの地殻変動成分を含んでおり、日奈久断層帯で右横ずれの断層運動が生じたと考えられる。

第 12 図と第 13 図は、1 秒データのキネマティック解析で得られた、4 月 14 日 M6.5 (第 12 図) と 4 月 15 日 M6.4 (第 13 図) のそれぞれの地震による地殻変動を示したものである。4 月 14 日 M6.5 の地震では北側、15 日 M6.4 の地震では南側で地殻変動が大きく、震源分布とも整合している。

第 14 図は、4 月 16 日 M7.3 の地震に伴う地殻変動を示すベクトル図である。上段に水平変動、下段に上下変動ベクトルが示されている。固定局は、三隅観測点 (島根県) である。この地震に伴い、長陽観測点で南西方向へ約 98 cm 変位し 24 cm 隆起、熊本観測点で北東方向へ約 76 cm 変位し 19 cm 沈降など、主に布田川断層帯に沿って大きな地殻変動が観測された。熊本観測点の変動方向は、4 月 14 日 M6.5 や 4 月 15 日 M6.4 の地震による変動方向 (北北西) とは異なっており、4 月 16 日 M7.3 の地震が東西に近い走向の布田川断層帯での右横ずれの断層運動が主体であったと考えられる。一方で、城南観測点は布田川断層帯の南側に位置するが、変動方向は東北東であり、日奈久断層帯でも右横ずれの断層運動が生じたことを示唆している。

[熊本地震 地震間の地殻変動]

第 15 ~ 17 図は、4 月 15 日 M6.4 の地震後から 4 月 17 日 M7.3 の地震までの間の地殻変動に関する資料である。各観測点の成分変化グラフを第 5 図の配点図に示された①~⑥の 6 観測点について示している。

第 15 図は、4 月 14 日 M6.5 の地震発生後から 4 月 15 日 M6.4 の地震発生直前までの期間の、1 秒毎のデータを用いたキネマティック解析により得られた成分変化グラフである。

第 16 図は、4 月 15 日 M6.4 の地震発生後から 4 月 16 日 M7.3 の地震発生直前までの期間の、30 秒毎のデータを用いて精密単独測位 (PPP) による解析を行って得られた各観測点の成分変化グラフである。

第 17 図は、第 16 図と同じ期間で、1 秒毎のデータを用いたキネマティック解析により得られた成分変化グラフである。

いずれのグラフにも、特段の変化は見られない。

[熊本地震 地震に伴う地殻変動 時系列]

第 18 ~ 20 図は、4 月 16 日 M7.3 の地震に伴う地殻変動を示す資料である。

第 18 ~ 19 図は、震源域周辺の観測点の成分変化グラフである。第 5 図の配点図に示された①~⑥の 6 観測点を示している。地震時に明瞭な変位が見られる。

第 20 図は、この 6 観測点について、1 秒毎のデータを用いたキネマティック解析により得られた地震に伴う地殻変動の時間変化を示している。地震発生時に大きく変位している様子が見られる。

[熊本地震 余震に伴う地殻変動]

第 21 ~ 22 図は、4 月 16 日 M7.3 の地震の後に発生した余震に伴う地殻変動を示す資料である。

第 21 図は、4 月 18 日に熊本県阿蘇地方で発生した M5.8 の地震に伴う地殻変動に関する資料である。上段に地殻変動ベクトル図、下段に変動が大きい久住観測点、大分九重観測点の成分変化グラフが示されている。それぞれ 1 cm 程度の変位が観測された。なお、これらは 4 月 16 日以降の余

効変動を含んでいると推測される。

第 22 図は、4 月 29 日に大分県中部で発生した M4.5 の地震に伴う地殻変動に関する資料である。上段に地殻変動ベクトル図、下段に変動が見られた湯布院観測点の成分変化グラフが示されている。地震に伴い、1 cm を超える変位が観測された。

[熊本地震 地震に伴う地殻変動 SAR]

第 23～27 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。

第 23 図は、東南東上空を飛行する人工衛星から、地震前後の 2016 年 3 月 7 日と 4 月 18 日に飛行方向からみて右方向を観測した SAR データを干渉処理した結果である。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ている。布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って、顕著な地殻変動が検出されている。複雑な地殻変動分布を示しているが、概ね布田川断層帯の北側では衛星に近づく向き、南側では衛星から遠ざかる向きの変動が見られ、日奈久断層帯の西側でも衛星に近づく向きの変動が見られることから、これらの断層帯で右横ずれ断層運動が生じたと考えられる。なお、地震の断層運動による地殻変動だけでなく、多数のリニアメントで変位が発生したことが捉えられている。

第 24 図に、これ以外に解析を行った結果を示している。観測方向は図中に記入されている。また、観測条件等は右上の表にまとめてある。第 24 図の各図のうち、左上の (b) のみ 4 月 16 日 M7.3 の地震の前の観測結果であり、4 月 14 日 M6.5 と 4 月 15 日 M6.4 の地震による地殻変動を示している。(c)～(f) では、視線方向が異なるために地殻変動のパターンが異なるが、いずれも布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って顕著な地殻変動が見られる。

第 25 図は、第 23 図の (a) と第 24 図の (d) の結果を組み合わせて得られた 2.5 次元解析の結果に関する資料である。上段に準上下成分、下段左に準東西成分が示されている。なお、変動が大きい領域は干渉が得られていないため、断層近傍の変動は得られていない。準上下成分を見ると、布田川断層帯の北側で 1 m 以上の沈降、南側で 30 cm 以上の隆起となっている。また、準東西成分では、断層帯野北側で東向きに 1m 以上、南側で西向きに 50 cm 以上の変動となっている。得られた地殻変動の特徴は、やや正断層成分を含む右横ずれ運動が生じたことを示唆している。

第 26 図は、変動量が大きい可能性があるものの、干渉 SAR だけでは変動が十分確認できない領域を含めて地殻変動の全体像を把握するために、緊急で GNSS 観測を実施した結果に関する資料である。最大で約 2.1 m の沈降が確認された。なお、干渉 SAR で変動が得られている箇所では、GNSS と SAR で整合的な結果が得られている。

第 27 図は、だいち 2 号データに Multiple Aperture Interferometry (MAI) 法を適用した結果に関する資料である。MAI 法では、衛星の飛行方向に平行な変動成分を検出することが可能である。検出される変動は、干渉 SAR と比較して感度は低くなるものの、大きな変動まで検出が可能であり、今回の解析で断層近傍の変動が明らかになった。布田川断層帯を境に、北側では北向き、南側では南向きにそれぞれ最大 1 m 程度の変動が生じている。また、得られた変動の分布からは、断層の東部では布田川断層帯が阿蘇カルデラの内部へ直接延長しているのではなく、やや北にステップしていると思われる。

[熊本地震 震源断層モデル (矩形モデル)]

第 28～31 図は、GNSS 連続観測により得られた地殻変動と、だいち 2 号の SAR 干渉解析で得られた地殻変動に基づき、一様滑りの矩形断層を仮定して震源断層モデルを推定した結果である。

第 28 図は、4 月 14 日 M6.5 及び 4 月 15 日 M6.4 の地震の震源断層モデルである。2 つの地震を合わせて 1 枚の矩形断層を仮定して推定を行った。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。断層の走向は日奈久断層帯と平行であるが、上端位置は日奈久断層帯の地表トレースとは一致せず、やや西にずれた位置に推定された。

第 29～31 図は、4 月 16 日 M7.3 の地震の震源断層モデルである。なお、4 月 14 日 M6.5、4 月 15 日 M6.4 の地震による地殻変動も含まれている。GNSS データとして、電子基準点に加え、気象庁及び防災科学技術研究所が阿蘇山に設置している GNSS 観測点の観測結果も用いている。3 枚の矩形断層を仮定して推定を行った結果、布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。布田川断層帯では北西傾斜の断層面 (A1) とその東側延長に南東傾斜の断層面 (A2)、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。なお、布田川断層帯の北西傾斜の断層面 (A1) は、正断層成分も含んでいる。第 31 図は震源断層モデルの概念図である。

[熊本地震 震源断層モデル (滑り分布モデル)]

第 32～33 図は、矩形断層モデルで得られた知見を基に、断層面上の滑り分布を推定した結果である。SAR 解析で見られる変位の急変帯を参考にして、日奈久断層帯を走向の異なる北部と南部に分割し、4 枚の矩形断層を仮定して推定を行った。布田川断層帯の断層面 (A1) と日奈久断層帯の断層面 (B1 及び B2) は震源分布や矩形モデルを参考にして傾斜角をほぼ固定し、布田川断層帯の東側延長の断層面 (A2) は北西及び南東傾斜両方を考慮して傾斜角 30 度から 90 度の範囲で探索した。

計算の結果、布田川断層帯の断層面 (A1) では、布田川区間の中間付近の地表浅部から深さ数 km にかけての領域で最大約 5 m の大きな滑りが推定された。正断層成分を有意に含む右横ずれ運動である。一方、深部や日奈久断層帯との接合域より西には顕著な滑りは見られない。布田川断層帯の東側延長の断層面 (A2) は南東傾斜 (50 度) が推定され、阿蘇カルデラの西縁付近に右横ずれ運動が推定された。日奈久断層帯の断層面 (B1 及び B2) では、震源 (深さ 12 km) 近傍の深さ約 10 km の領域に、右横ずれ運動の大きな滑りが推定された。

なお、今回の資料は初期的な結果を示したものであり、今後、詳細な解析を進める予定である。

[航空写真判読による布田川断層帯周辺の亀裂分布図]

第 34 図は、航空写真判読により布田川断層帯周辺の地表に見られた亀裂の分布に関する資料である。判読された亀裂は、地震による断層のずれが地表に現れたもの、斜面の崩落等により生じたもの、地震動や液状化によって生じたもの等があるが、現地踏査をしていないため、区別されていない。

益城町や西原村付近では、布田川断層帯の断層線付近に断続的に亀裂が確認できる。また、益城町付近では、断層線から分岐して延びる亀裂も確認でき、都市圏活断層図には示されていない新たな活断層が存在している可能性がある。

[航空写真判読による土砂崩壊地分布図]

第 35 図は、航空写真判読により得られた土砂崩壊地の分布に関する資料である。第 34 図の資料と同様、判読のみで現地踏査はしていない。

[航空写真・UAV 動画判読による南阿蘇村河陽・黒川地区の断層]

第 36～39 図は、航空写真及び UAV 動画を用いて、南阿蘇村河陽地区と黒川地区において地表の亀裂を判読した資料である。河陽地区及び黒川地区では、地表に多数の亀裂が確認できた。第 37 図 a に示した赤色線は、平坦な農地や道路を横切って直線状に並び、右横ずれや右横ずれによる雁行状の配列も確認できることから、断層のずれと判断したものである。

[熊本地震の余効変動 GNSS]

第 40～42 図は、GNSS 連続観測により得られた熊本地震後の地殻変動に関する資料である。

第 40 図は、4 月 16 日に発生した M7.3 の地震の後の約 3 週間の余効変動を示すベクトル図で、上段は水平変動、下段は上下変動である。長陽観測点で南西方向に約 2 cm などの変動が見られる。これらには、16 日以降に発生した規模の大きな余震（4 月 18 日に阿蘇地方で発生した M5.8 の地震など）による地殻変動も含まれている。M7.3 の地震による地殻変動と類似した分布が見られるが、熊本観測点がほぼ北に動くなど、地震時とは異なる傾向も見られる。

第 41～42 図は、第 40 図のベクトル図に観測点名を示した 8 観測点について、三隅観測点を基準とした成分変化グラフを示したものである。いずれの観測点でも明瞭な余効変動が見られているが、時間経過と共に減衰しつつあることが分かる。

[熊本地震の余効変動 SAR]

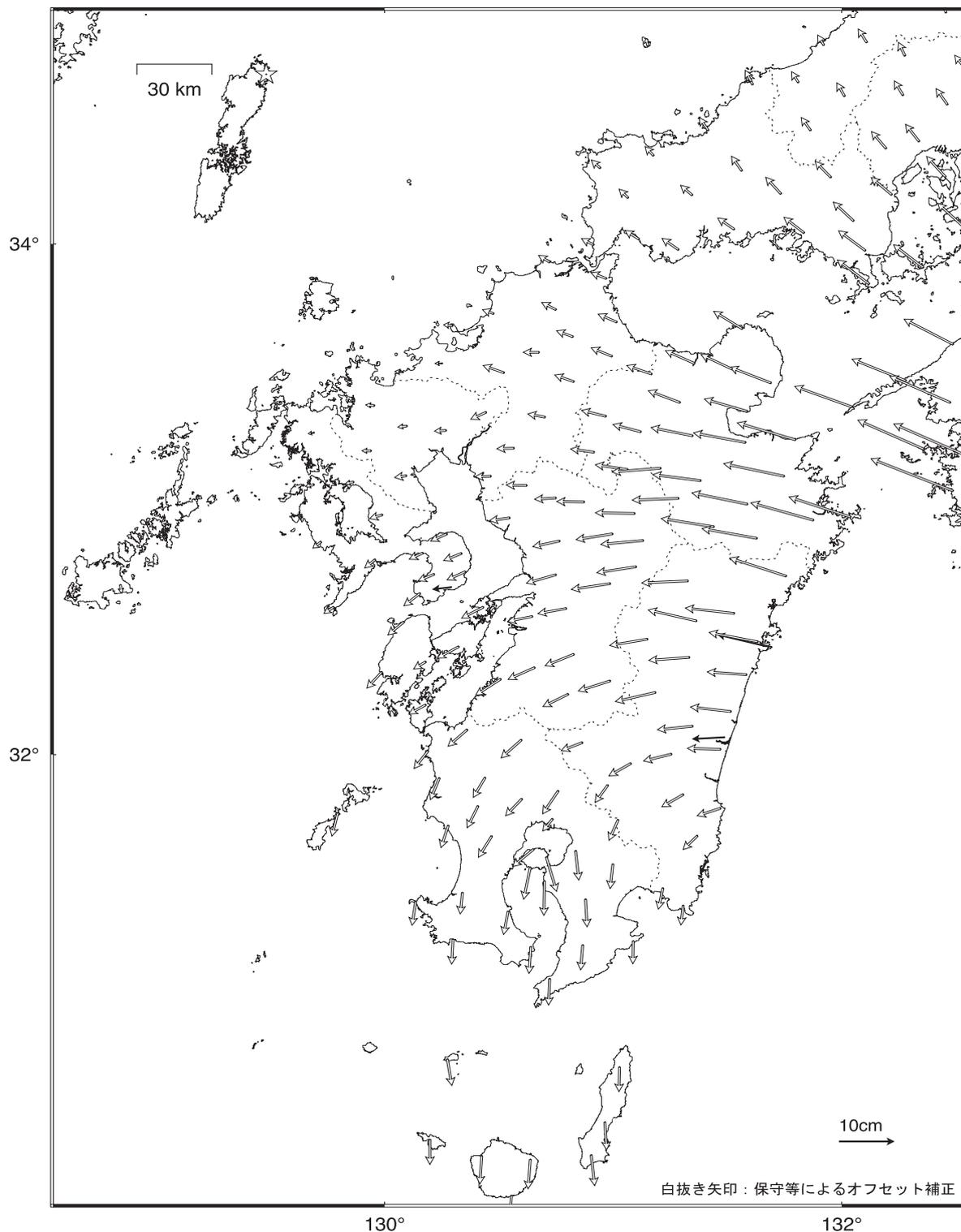
第 43 図は、「だいち 2 号」SAR データの干渉解析で得られた熊本地震の余効変動を示した資料である。上段の画像は M7.3 の地震発生からほぼ 1 日後、下段の画像は 2 日半後から、いずれも 2 週間での変動を示している。

布田川断層帯に沿って、局所的に衛星から遠ざかる向きの変動が見られる。変動は、西原村の布田川断層の南側で平行して走る活断層との間、益城町付近、阿蘇カルデラ内の北部などで見られ、その場所は 2 枚の画像で共通している。変動は衛星から遠ざかる向きで、上段の西南西からの観測、下段の東南東からの観測の両方向で同様に見られることから、沈降していると考えられる。

九州地方の地殻変動（水平）－熊本地震前5年間－

基準期間：2011/04/01 -- 2011/04/10 [F3：最終解]

比較期間：2016/04/01 -- 2016/04/10 [F3：最終解]

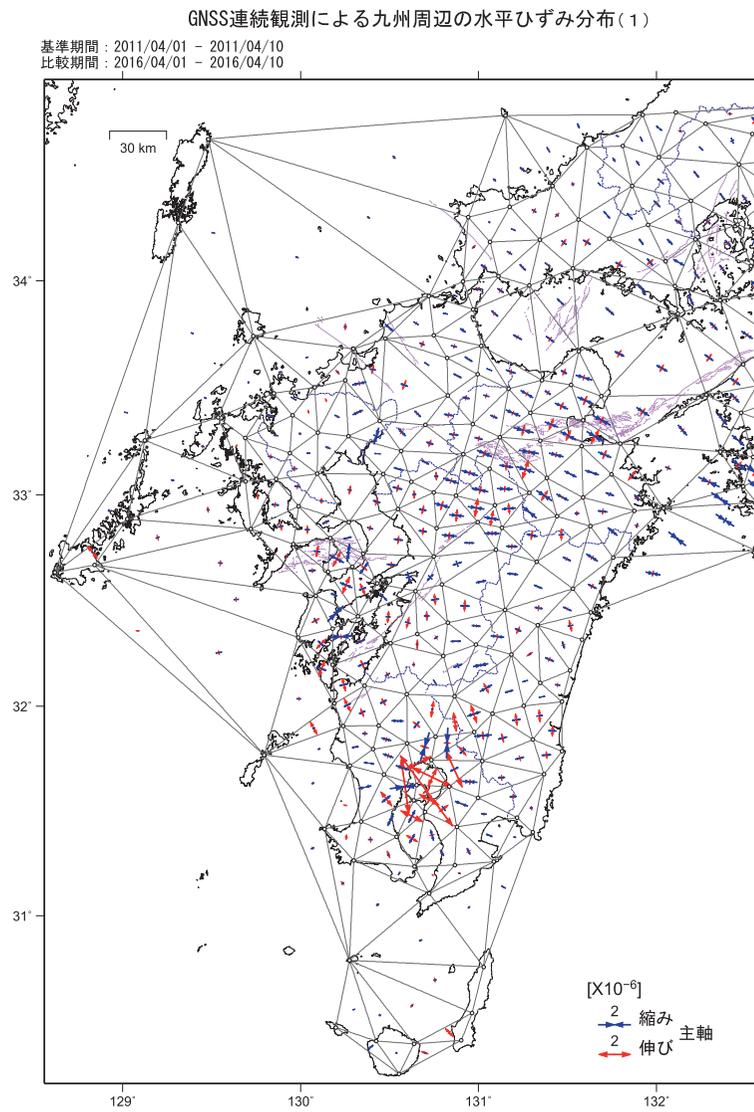


☆ 固定局：上対馬（長崎県）

・ 特段の変化は見られない。

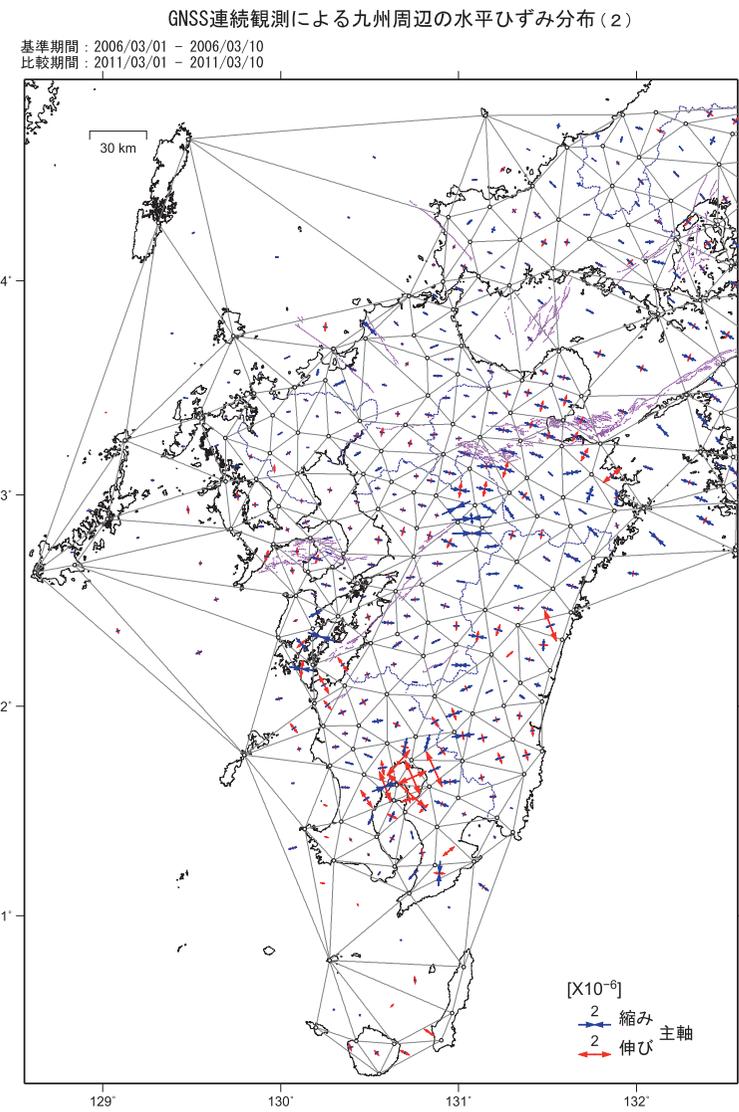
第1図 九州地方の地殻変動（水平）（熊本地震前5年間）

Fig. 1 Horizontal crustal deformation in Kyushu during five years before the 2016 Kumamoto earthquake.



・紫線は活断層（地震調査推進本部による）を示す。

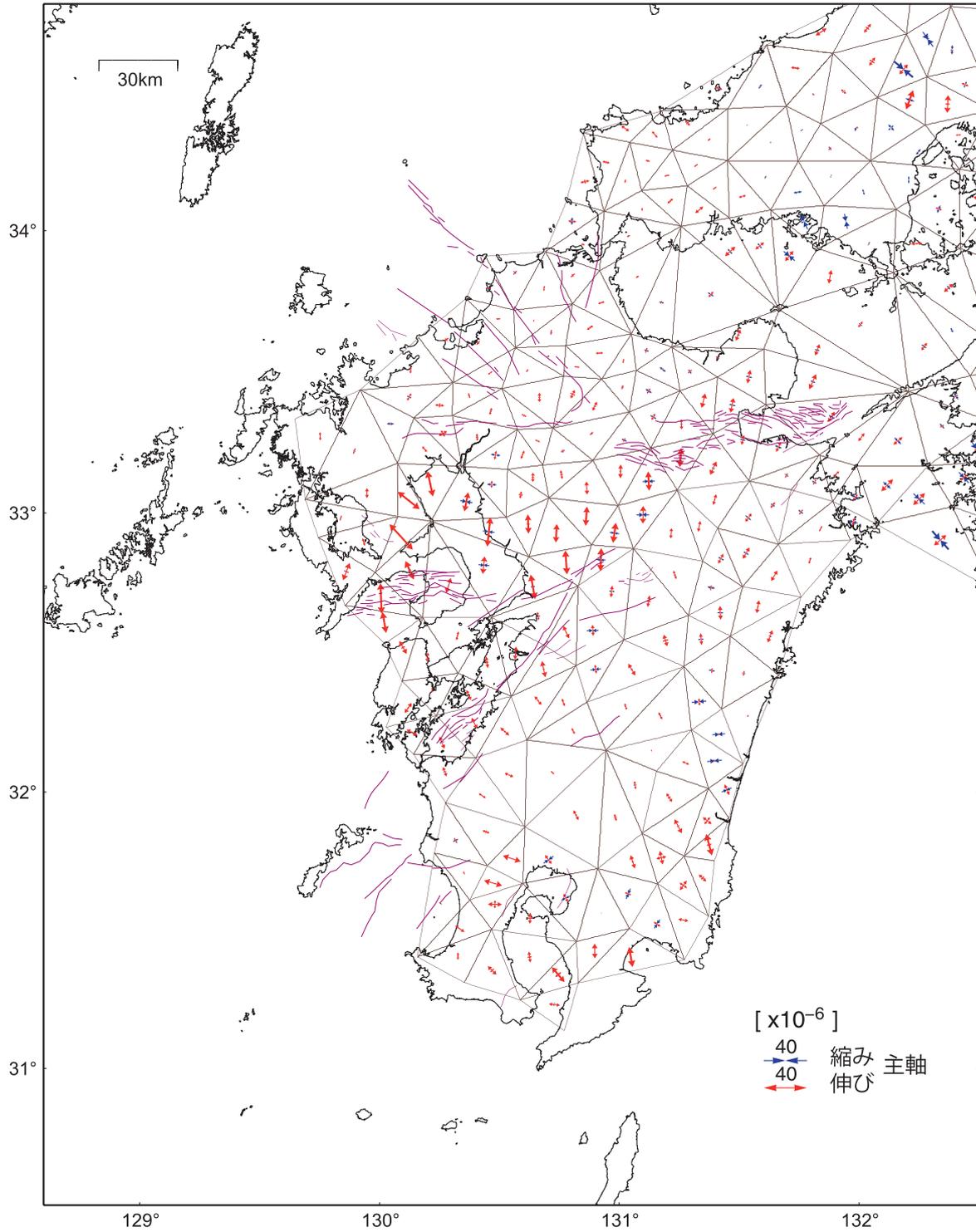
第2図 GNSS連続観測による九州周辺の水平ひずみ分布(1)
Fig. 2 Horizontal strain around Kyushu derived from continuous GNSS measurements (1).



・紫線は活断層（地震調査推進本部による）を示す。

第3図 GNSS連続観測による九州周辺の水平ひずみ分布(2)
Fig. 3 Horizontal strain around Kyushu derived from continuous GNSS measurements (2).

約100年間（1883年～1994年）の測地観測による
九州周辺の水平ひずみ分布

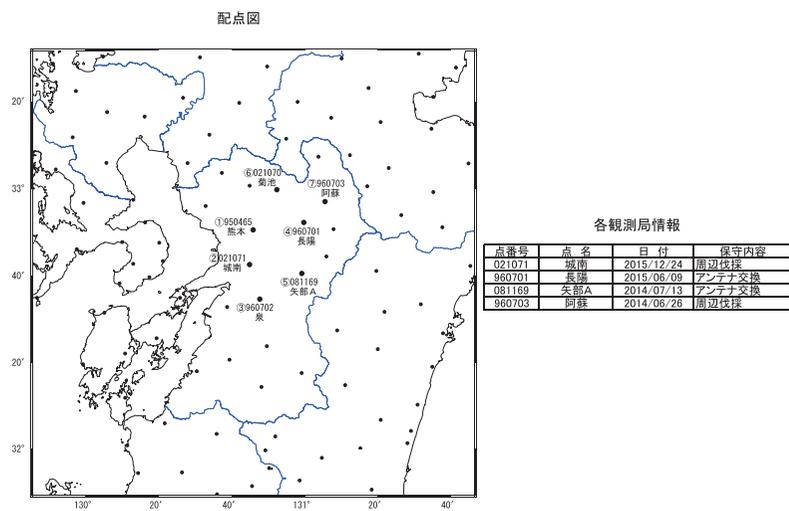


・紫線は活断層（地震調査推進本部による）を示す。

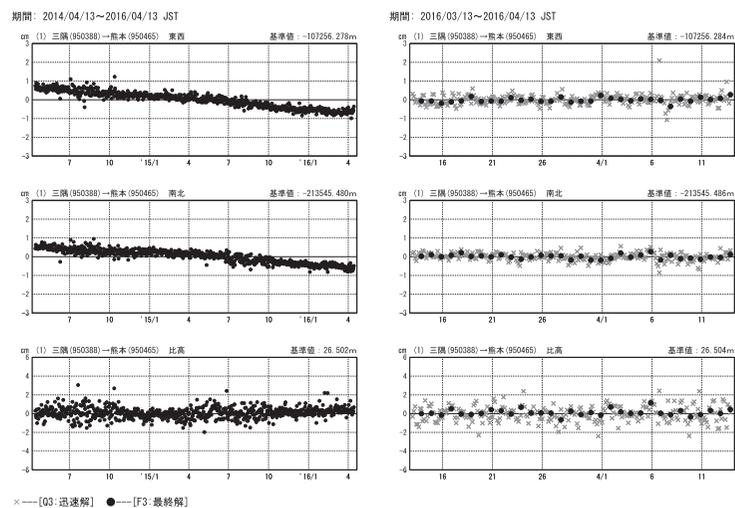
第4図 約100年間（1883年～1994年）の測地観測による九州周辺の水平ひずみ分布

Fig. 4 Horizontal strain around Kyushu derived from conventional geodetic observations for about 100 years (1883-1994).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（1）



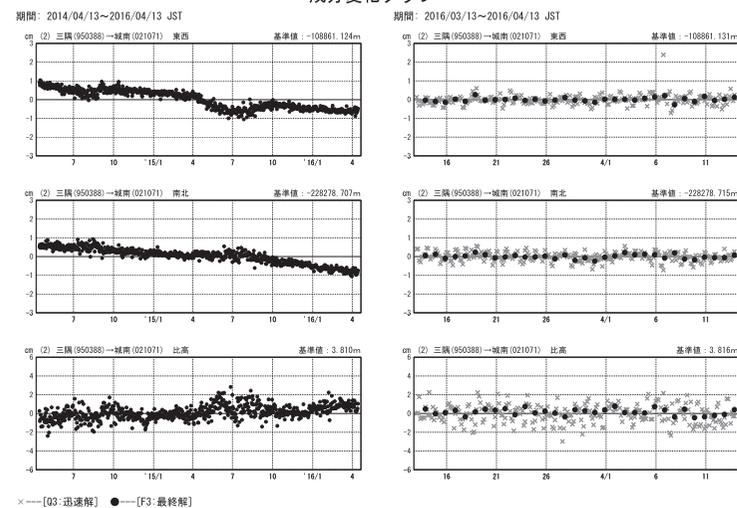
成分変化グラフ



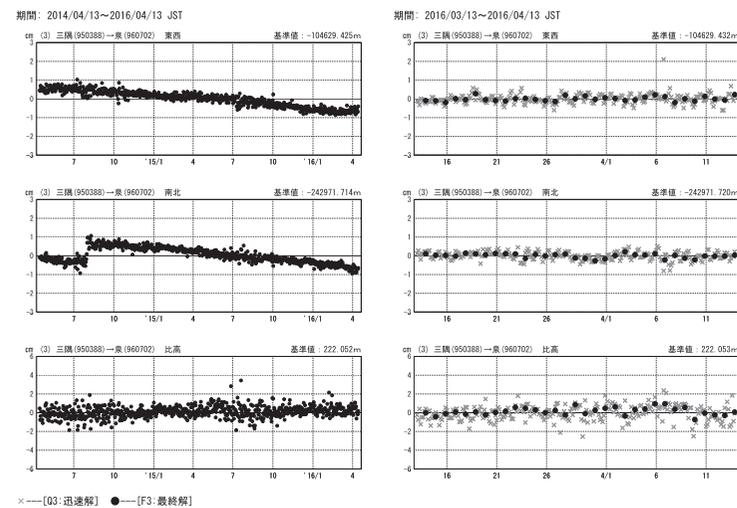
第5図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（1）
Fig. 5 Crustal deformation before the Kumamoto earthquake (1). Site location map (top), 3 components time series (bottom).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（2）

成分変化グラフ

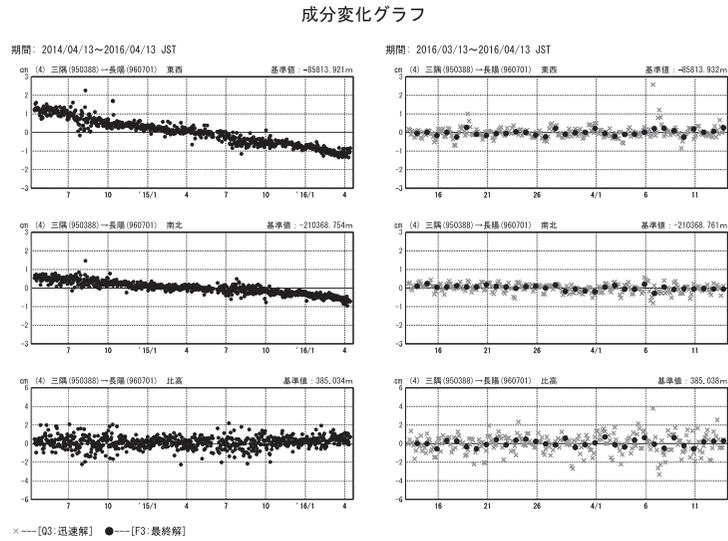


成分変化グラフ

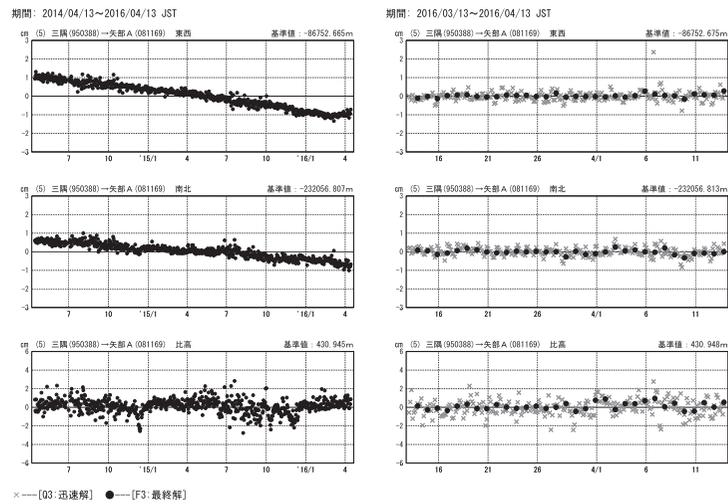


第6図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（2）
Fig. 6 Crustal deformation before the Kumamoto earthquake (2).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（3）

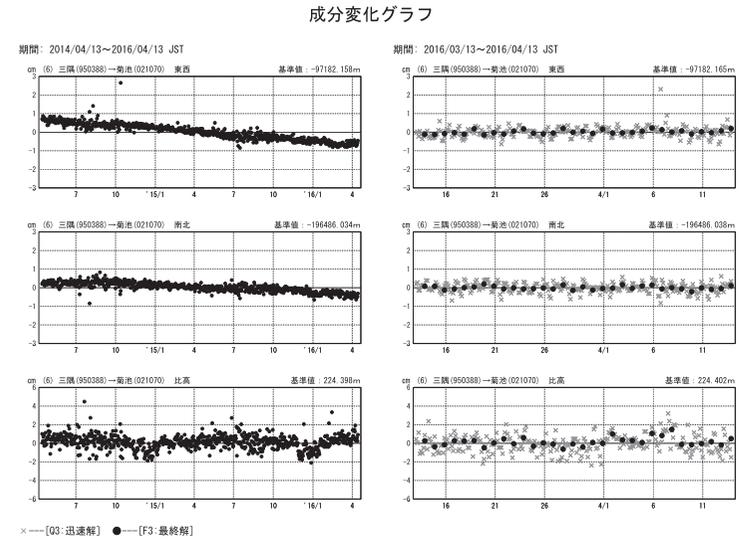


成分変化グラフ

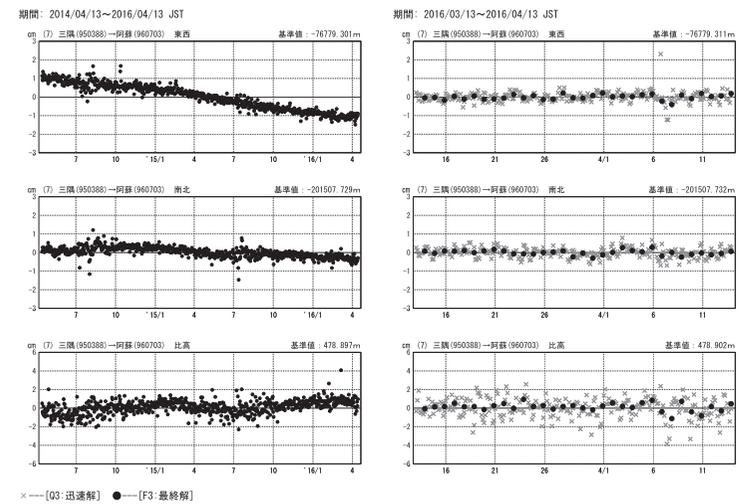


第7図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（3）
Fig. 7 Crustal deformation before the Kumamoto earthquake (3).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（4）



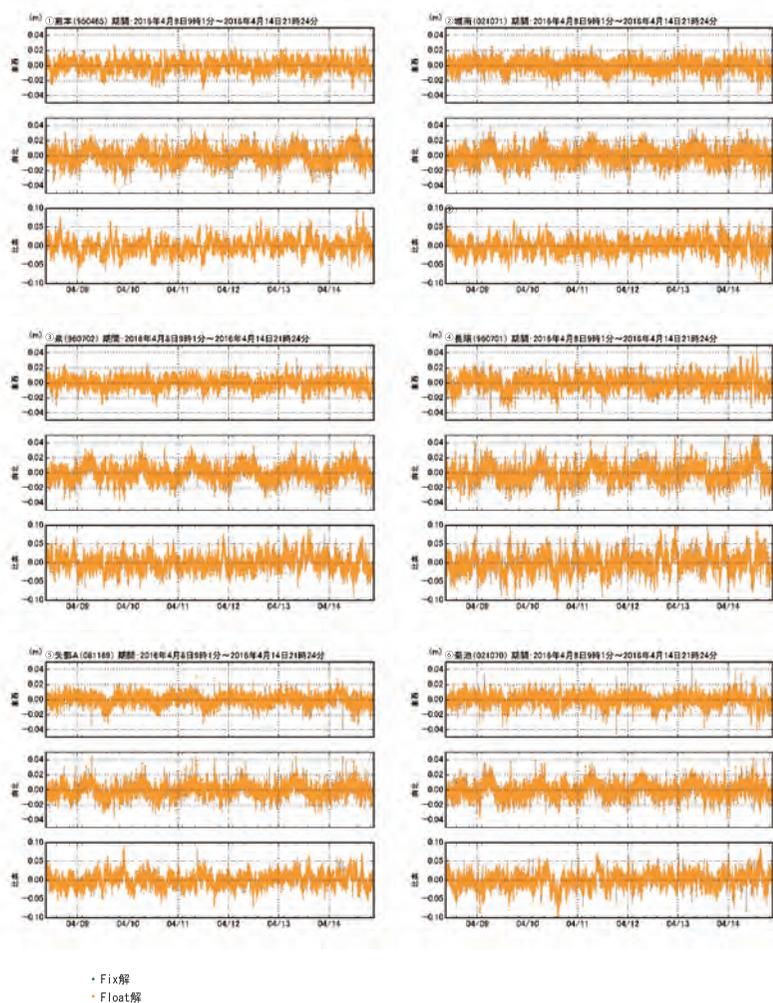
成分変化グラフ



第8図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（4）
Fig. 8 Crustal deformation before the Kumamoto earthquake (4).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（5）

PPPによる30秒毎の解析結果
成分変化グラフ

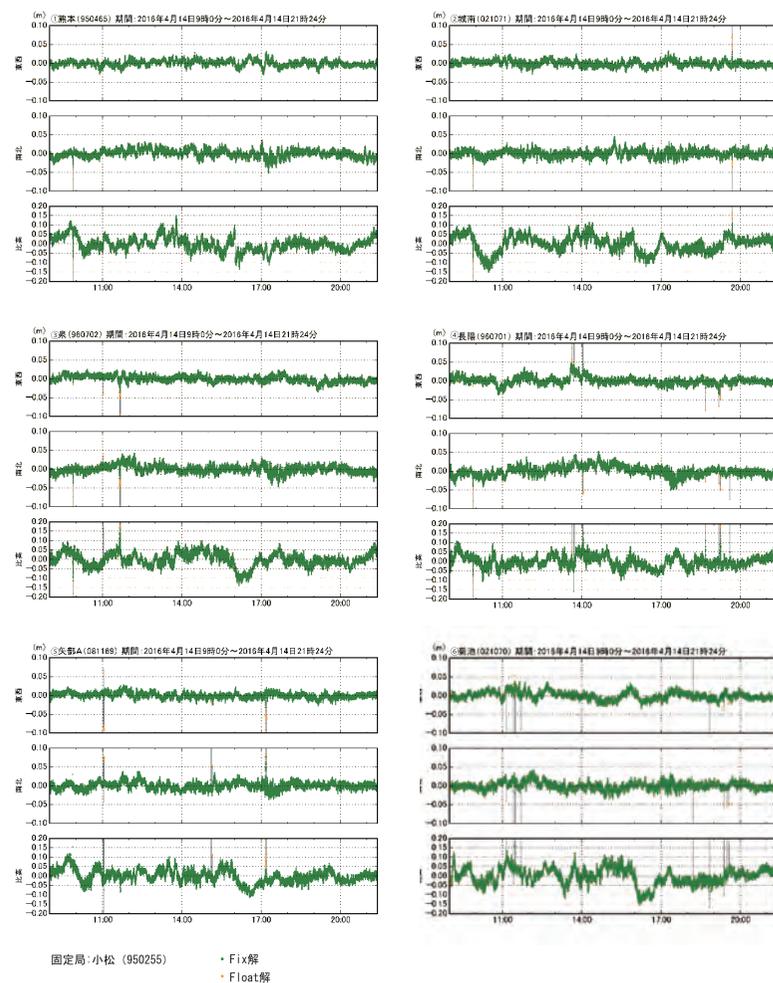


第9図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（5）：PPPによる30秒毎の解析結果

Fig. 9 Crustal deformation during a week before the Kumamoto earthquake as estimated by precise point positioning (PPP) method (30sec sampling).

平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（6）

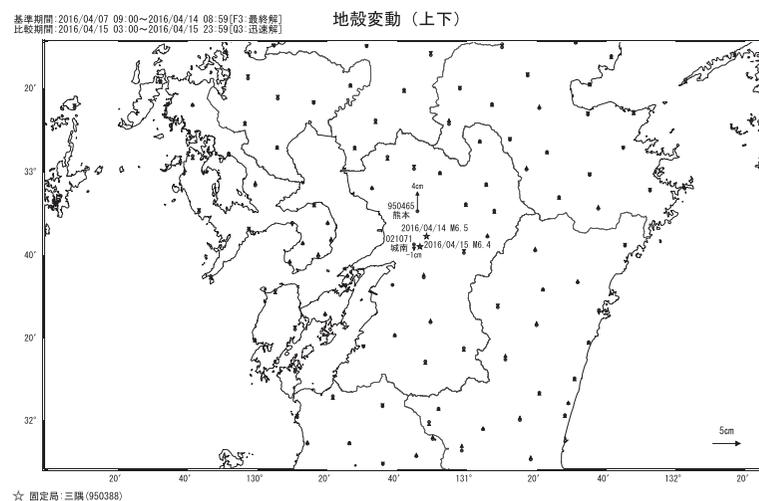
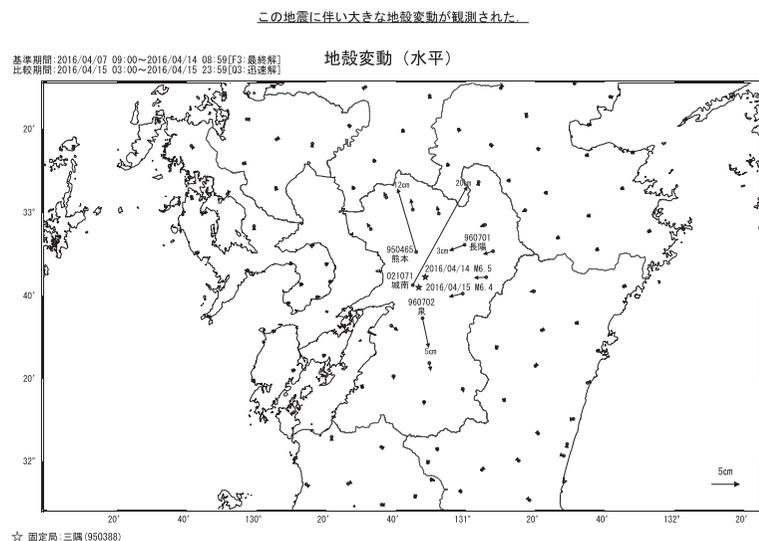
キネマティック解析による1秒毎の解析結果
成分変化グラフ



第10図 平成28年（2016年）熊本地震前の地殻変動（6）：キネマティック解析による1秒毎の解析結果

Fig. 10 Coseismic deformation during half a day before the Kumamoto earthquake estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

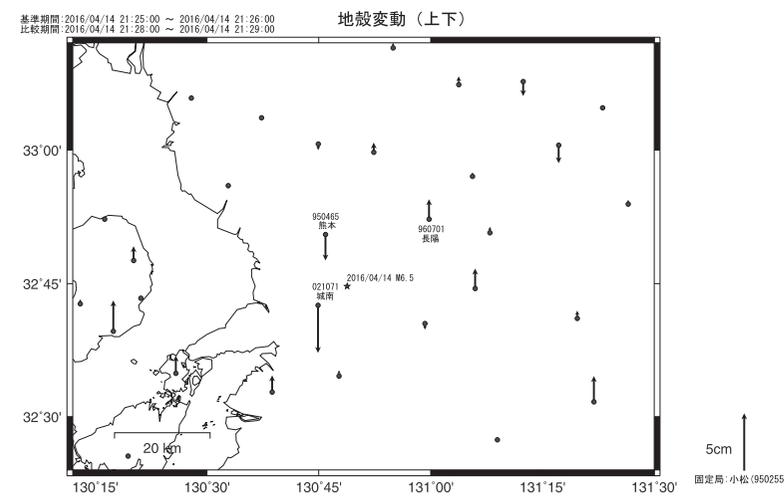
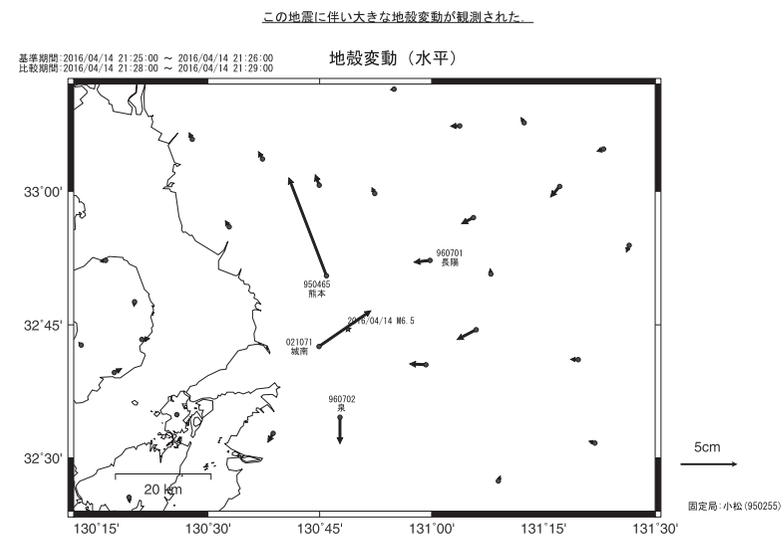
平成28年(2016年)熊本地震(4月14日 M6.5, 4月15日 M6.4)に伴う地殻変動



第11図 平成28年(2016年)熊本地震(4月14日 M6.5, 4月15日 M6.4)に伴う地殻変動: 水平・上下

Fig. 11 Crustal deformation associated with the April 14 event (M6.5) and the April 15 event (M6.4) of the Kumamoto earthquake (horizontal and vertical displacement).

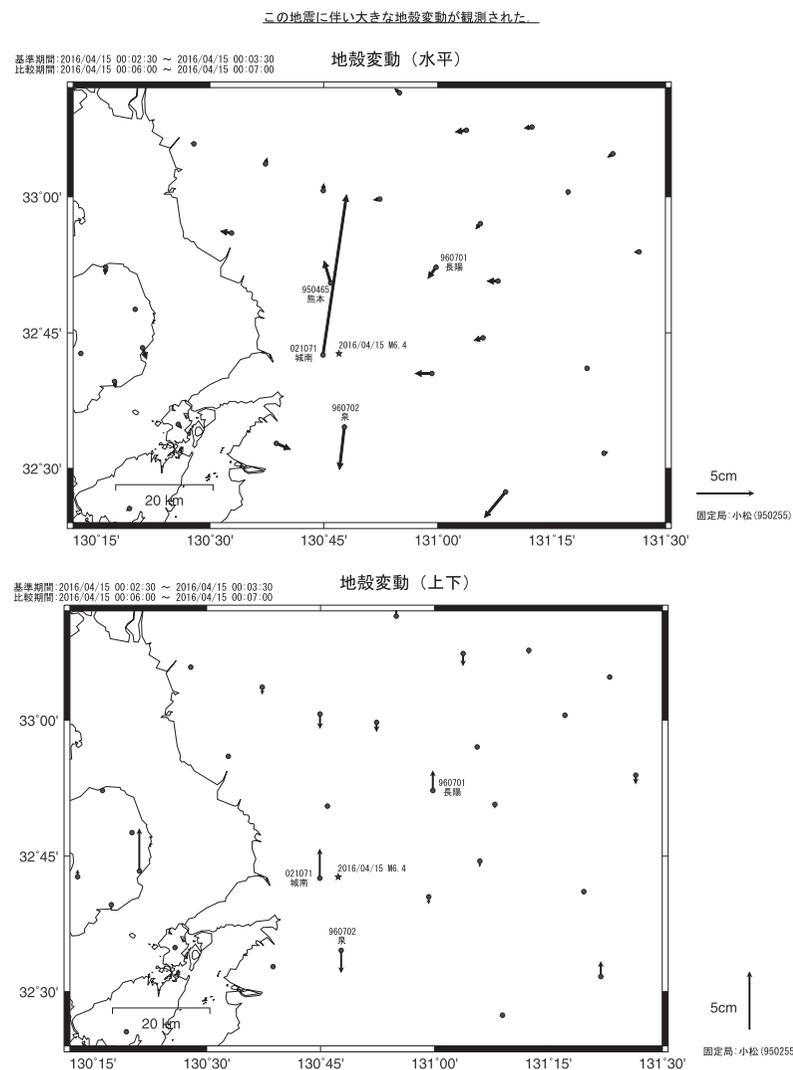
キネマティック解析による平成28年(2016年)熊本地震(4月14日 M6.5)に伴う地殻変動



第12図 キネマティック解析による平成28年(2016年)熊本地震(4月14日 M6.5)に伴う地殻変動: 水平・上下

Fig. 12 Coseismic deformation caused by the April 14 event (M6.5) estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

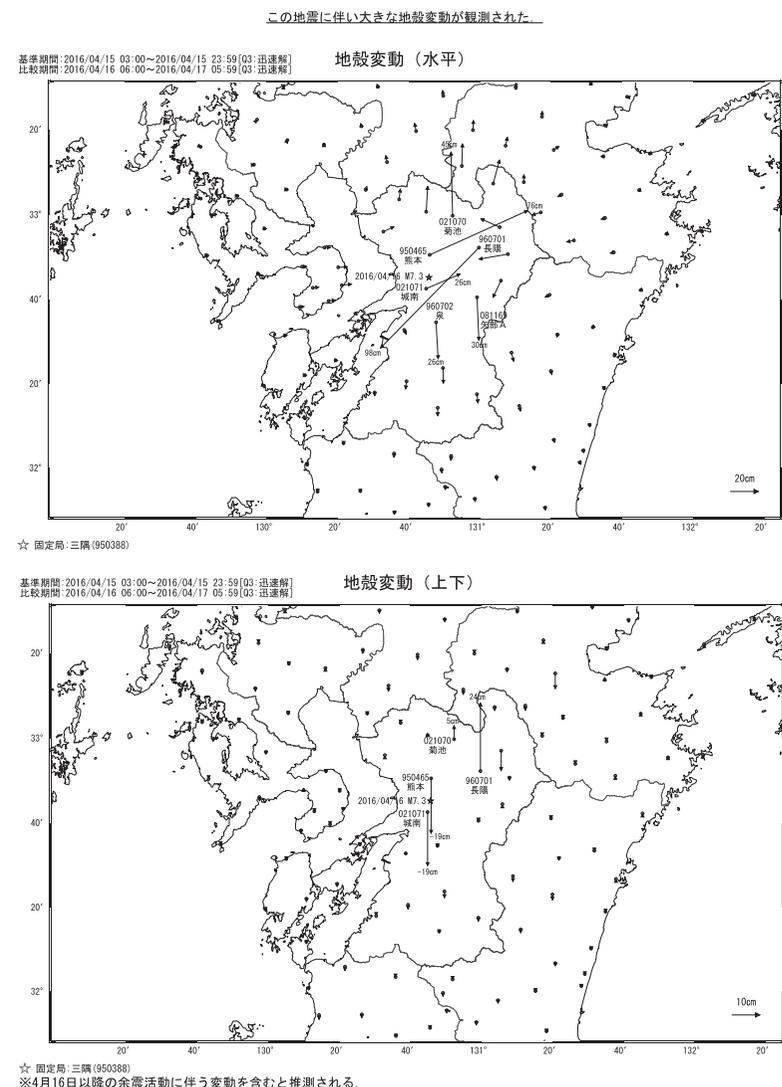
キネマティック解析による平成28年(2016年)熊本地震(4月15日 M6.4)に伴う地殻変動



第 13 図 キネマティック解析による平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 15 日 M6.4) に伴う地殻変動: 水平・上下

Fig. 13 Coseismic deformation caused by the April 15 event (M6.4) estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)に伴う地殻変動

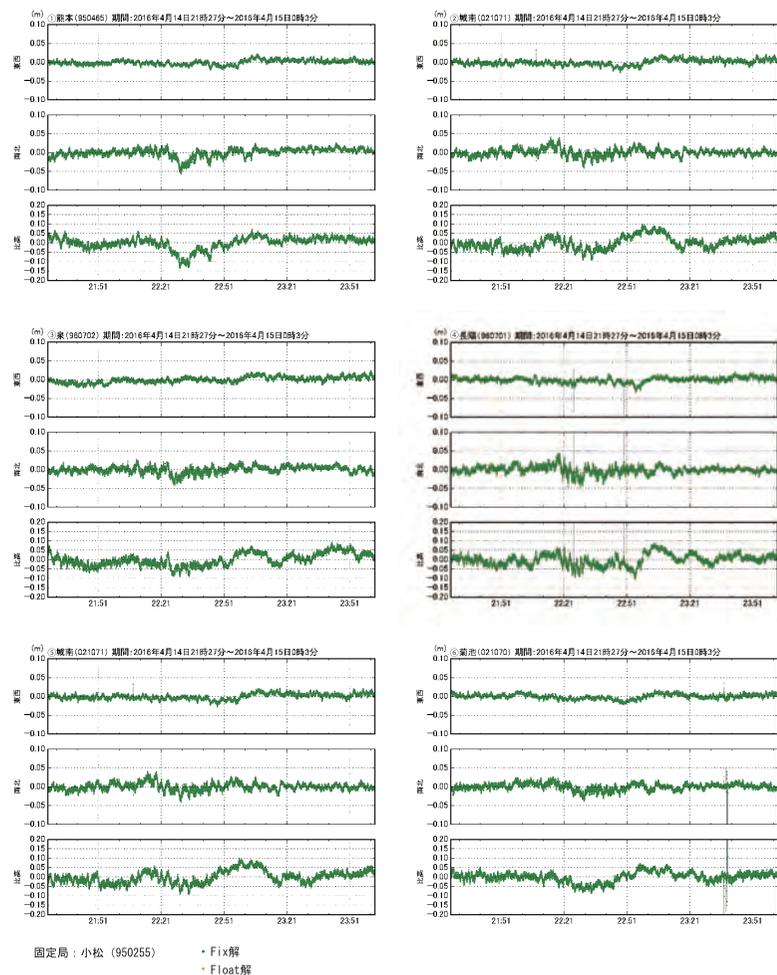


第 14 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 16 日 M7.3) に伴う地殻変動: 水平・上下

Fig. 14 Crustal deformation associated with the M7.3 mainshock (April 16) of the Kumamoto earthquake (horizontal and vertical).

平成28年（2016年）熊本地震（4月15日 M6.4）前 GNSS連続観測時系列

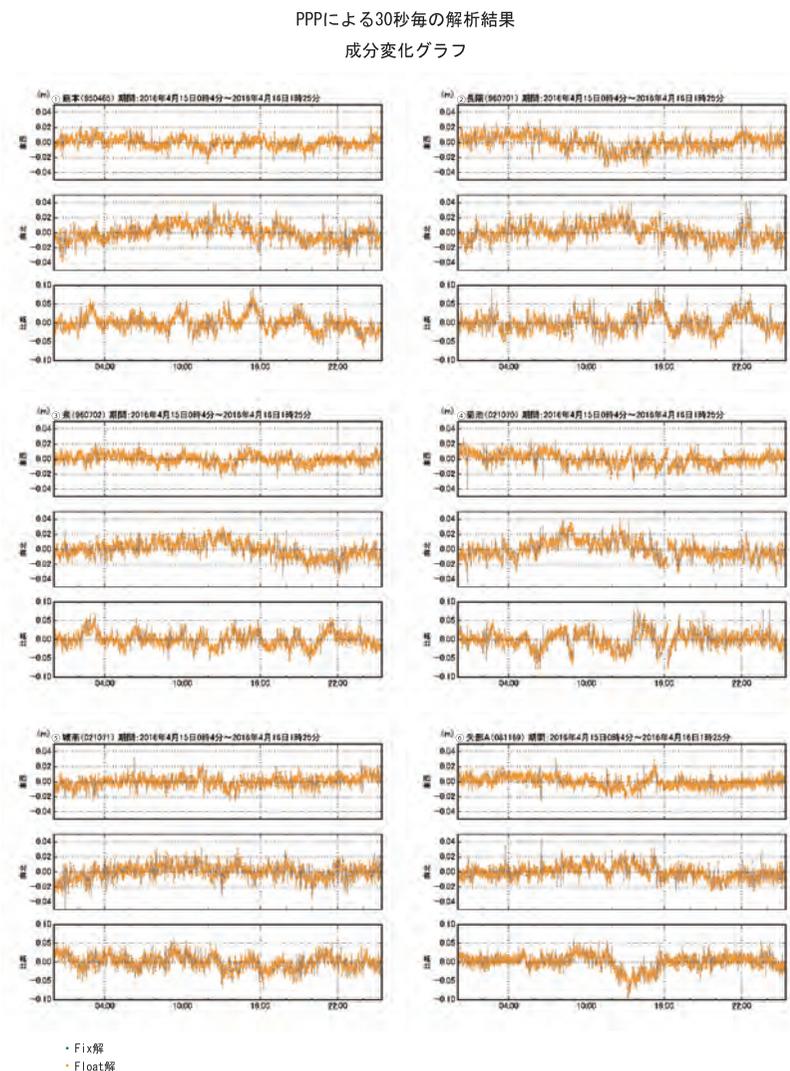
キネマティック解析による1秒毎の解析結果
成分変化グラフ



第 15 図 平成 28 年（2016 年）熊本地震（4 月 15 日 M6.4）前 GNSS 連続観測時系列：
キネマティック解析による 1 秒毎の解析結果

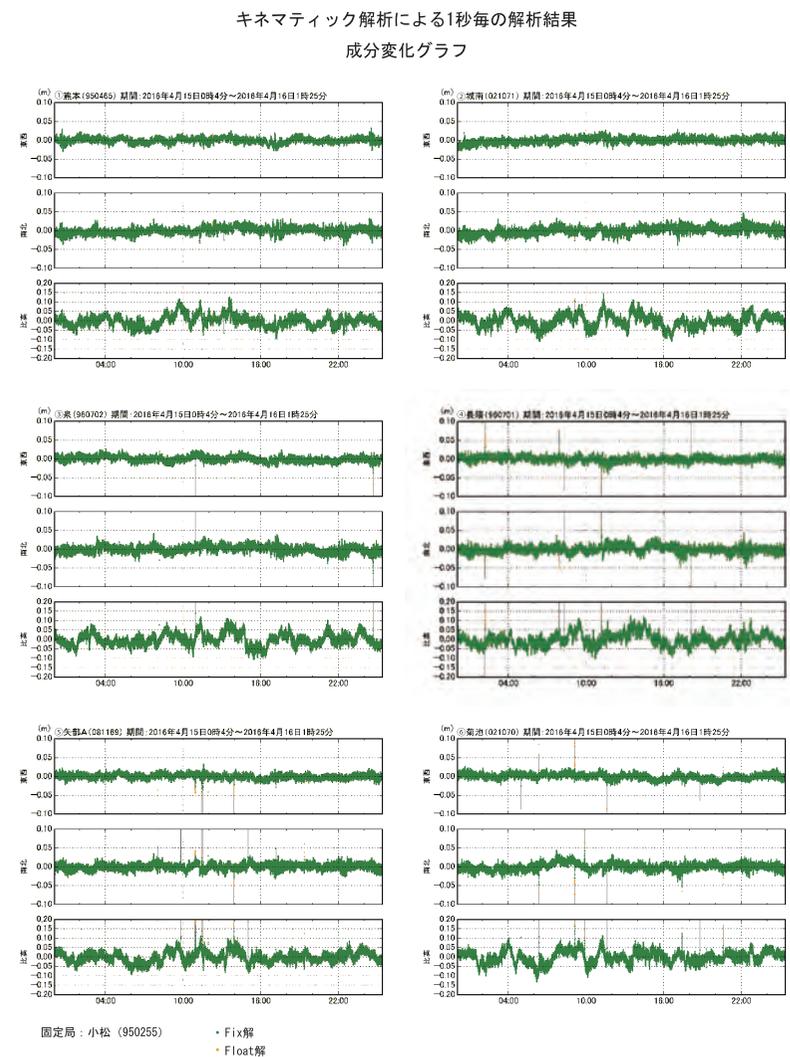
Fig. 15 Crustal deformation during three hours before the April 15 event (M6.4) estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

平成28年（2016年）熊本地震（4月16日 M7.3）前 GNSS連続観測時系列（1）



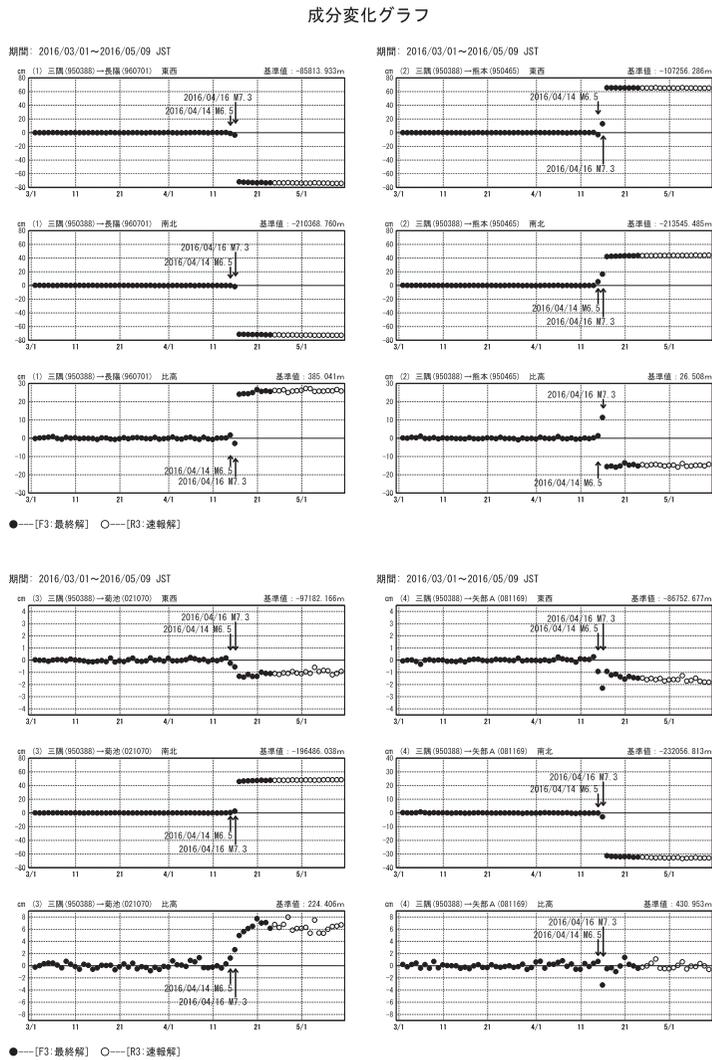
第16図 平成28年（2016年）熊本地震（4月16日 M7.3）前 GNSS連続観測時系列（1）：PPPによる30秒毎の解析結果
 Fig. 16 Crustal deformation during a day before the M7.3 mainshock (April 16) of the Kumamoto earthquake as estimated by precise point positioning method (30sec sampling).

平成28年（2016年）熊本地震（4月16日 M7.3）前 GNSS連続観測時系列（2）



第17図 平成28年（2016年）熊本地震（4月16日 M7.3）前 GNSS連続観測時系列（2）：キネマティック解析による1秒毎の解析結果
 Fig. 17 Crustal deformation during a day before the M7.3 mainshock (April 16) of the Kumamoto earthquake estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

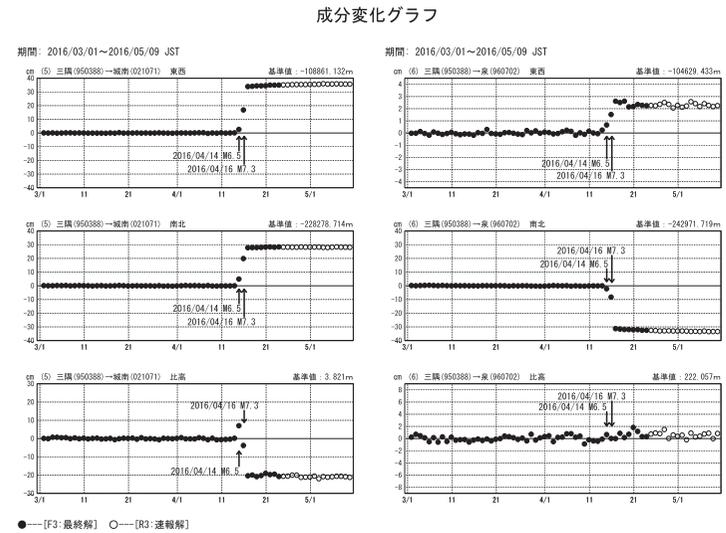
平成28年(2016年)熊本地震 GNSS連続観測時系列 (1)



第 18 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 GNSS 連続観測時系列 (1)

Fig. 18 Time series of crustal deformation before and after the Kumamoto earthquake estimated by continuous GNSS measurements (1).

平成28年(2016年)熊本地震 GNSS連続観測時系列 (2)

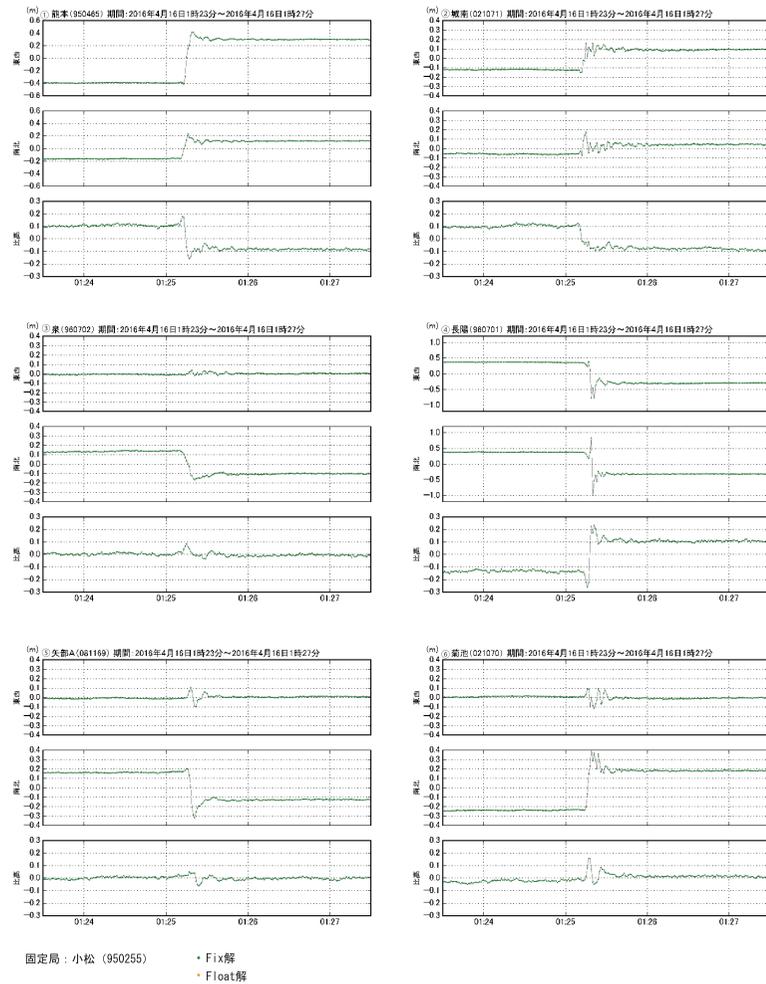


第 19 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 GNSS 連続観測時系列 (2)

Fig. 19 Continuous GNSS measurements on Kumamoto earthquake in 2016 (2).

平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3) GNSS連続観測時系列(3)

キネマティック解析による1秒毎の解析結果
成分変化グラフ

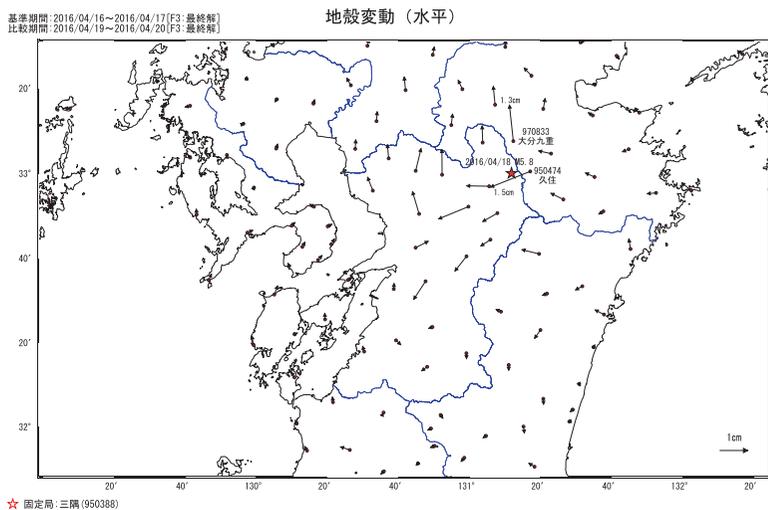


第20図 平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3) GNSS連続観測時系列(3): キネマティック解析による1秒毎の解析結果

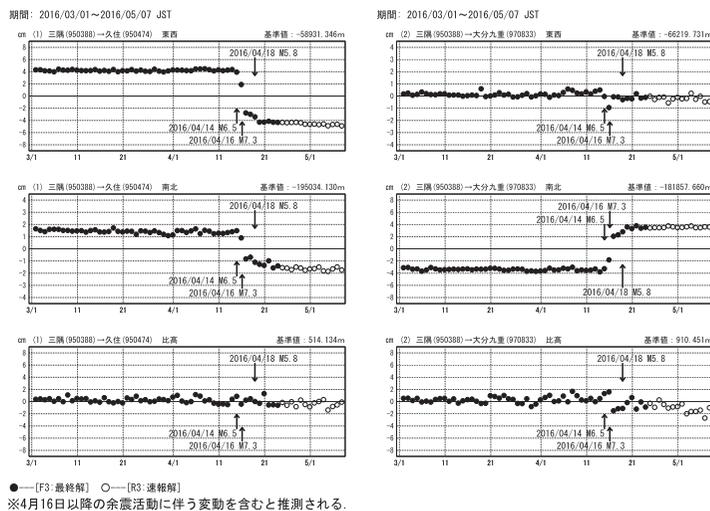
Fig. 20 Coseismic deformation caused by the M7.3 mainshock (April 16) of the Kumamoto earthquake estimated by GPS kinematic positioning method (1sec sampling).

平成28年(2016年)熊本地震(4月18日 M5.8)に伴う地殻変動

この地震に伴い小さな地殻変動が観測された。



成分変化グラフ

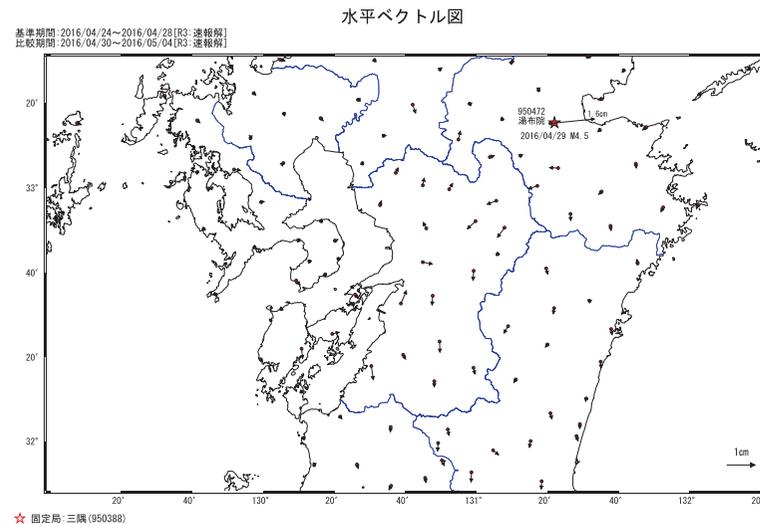


第 21 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 18 日 M5.8) に伴う地殻変動: 水平・3 成分時系列グラフ

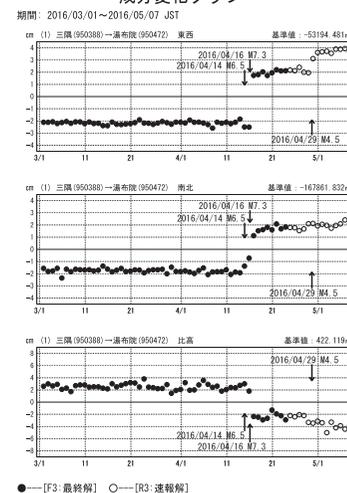
Fig. 21 Crustal deformation associated with the M5.8 aftershock (April 18) of the Kumamoto earthquake (horizontal displacement and 3 components time series).

平成28年(2016年)熊本地震(4月29日 M4.5)に伴う地殻変動

この地震に伴い小さな地殻変動が観測された。



成分変化グラフ



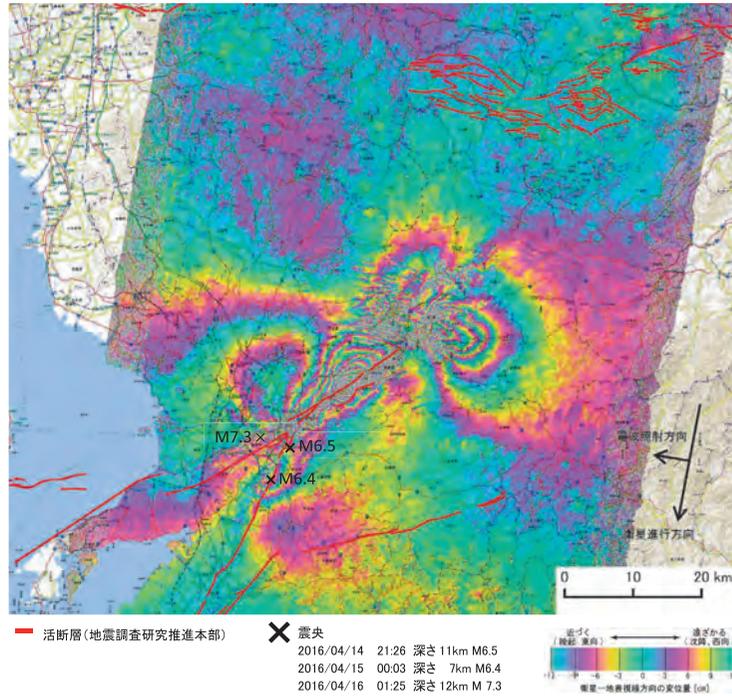
第 22 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 29 日 M4.5) に伴う地殻変動: 水平・3 成分時系列グラフ

Fig. 22 Crustal deformation associated with the M4.5 aftershock (April 29) of the Kumamoto earthquake (horizontal displacement and 3 components time series).

平成28年熊本地震
「だいち2号」による地殻変動分布図(1)

だいち2号のデータを用いた SAR 干渉解析により、地殻変動が面的に明らかとなった。前震では日奈久断層帯沿い、本震では布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って、顕著な地殻変動が検出された。得られた地殻変動の特徴から、布田川断層帯及び日奈久断層帯において右横ずれ断層運動が生じたものと考えられる。前震、本震以外にも、余震に伴う地殻変動も検出されている。

(a)2016/03/07-2016/04/18

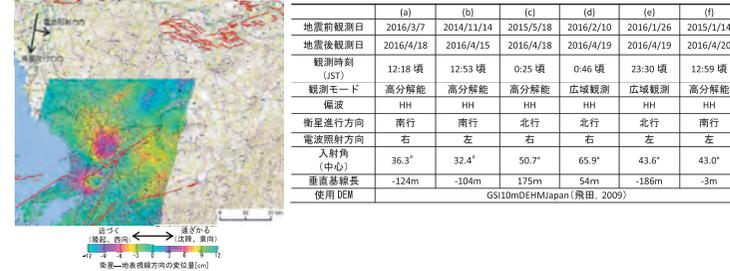


解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA
 地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動により地震後の緊急観測要求を実施した。
 データはだいち2号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供された。

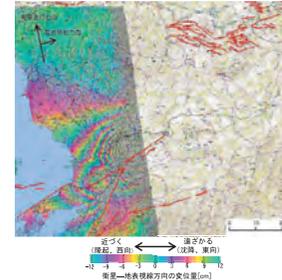
第 23 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 合成開口レーダーによる地殻変動分布図 (1)
 Fig. 23 Coseismic displacement of the Kumamoto earthquake captured by Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data (1).

平成28年熊本地震
「だいち2号」による地殻変動分布図(2)

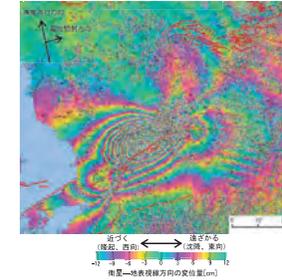
(b)2014/11/14-2016/04/15



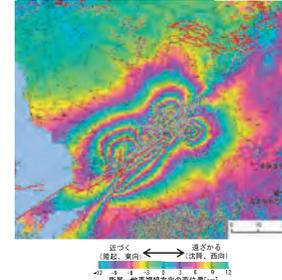
(c)2015/05/18-2016/04/18



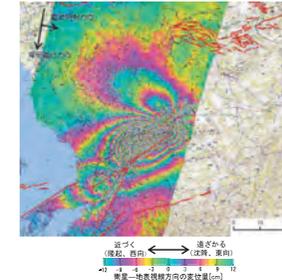
(d)2016/02/10-2016/04/19



(e)2016/01/26-2016/04/19



(f)2015/01/14-2016/04/20



解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA
 地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動により地震後の緊急観測要求を実施した。
 データはだいち2号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供された。

第 24 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 合成開口レーダーによる地殻変動分布図 (2)
 Fig. 24 Coseismic displacement of the Kumamoto earthquake captured by Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data (2).

平成28年熊本地震 「だいち2号」による地殻変動分布図(3)

2.5次元解析結果

(a)と(d)の解析結果を用いて2.5次元解析を行い地殻変動の準上下及び準東西成分を算出した。

- ・準上下成分(図1)は、布田川断層帯の北側で1m以上の沈降、南側では30cm以上の隆起となっている。
- ・準東西成分(図2)は、布田川断層帯の北側で東向きに1m以上、南側では西向きに50cm以上の変動となっている。
- ・やや正断層成分を含む右横ずれ断層運動であったことを示唆している。

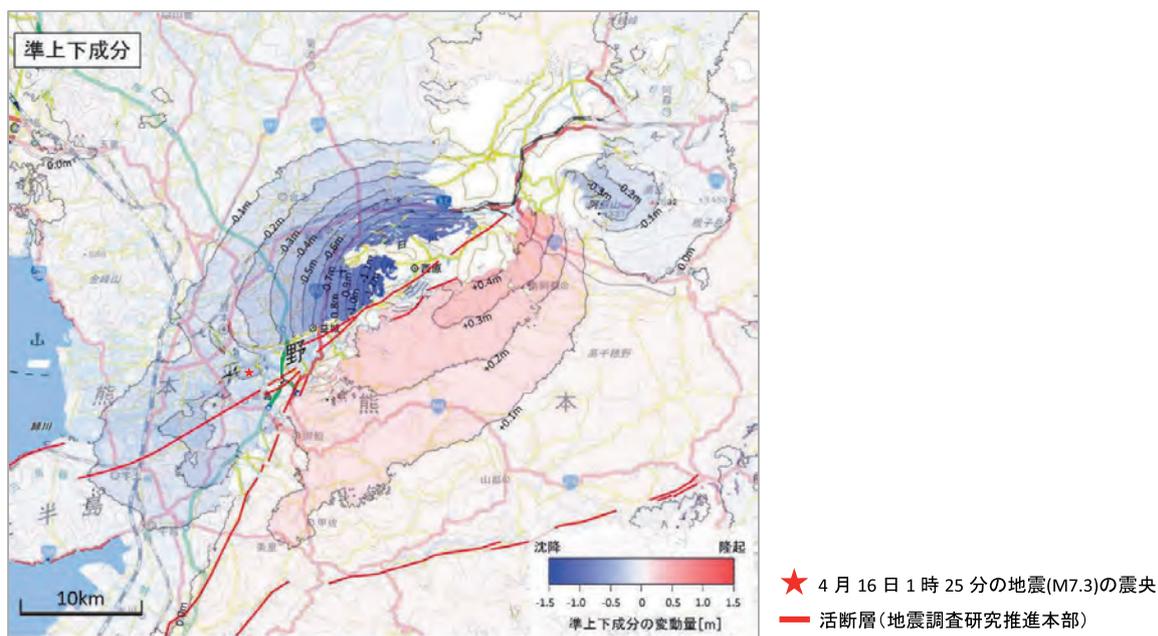


図1 地殻変動の準上下成分

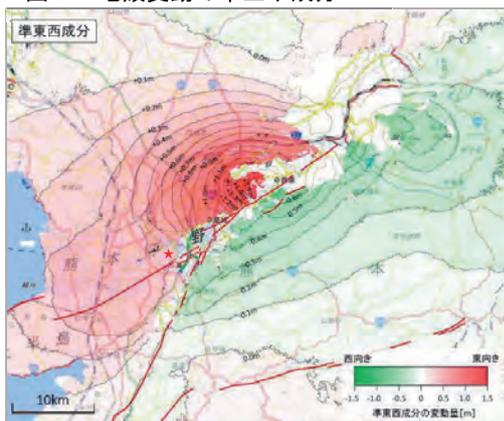
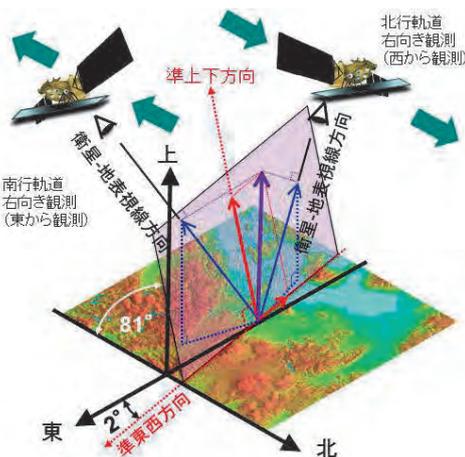


図2 地殻変動の準東西成分



解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA

地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動により地震後の緊急観測要求を実施した。

データはだいち2号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供された。

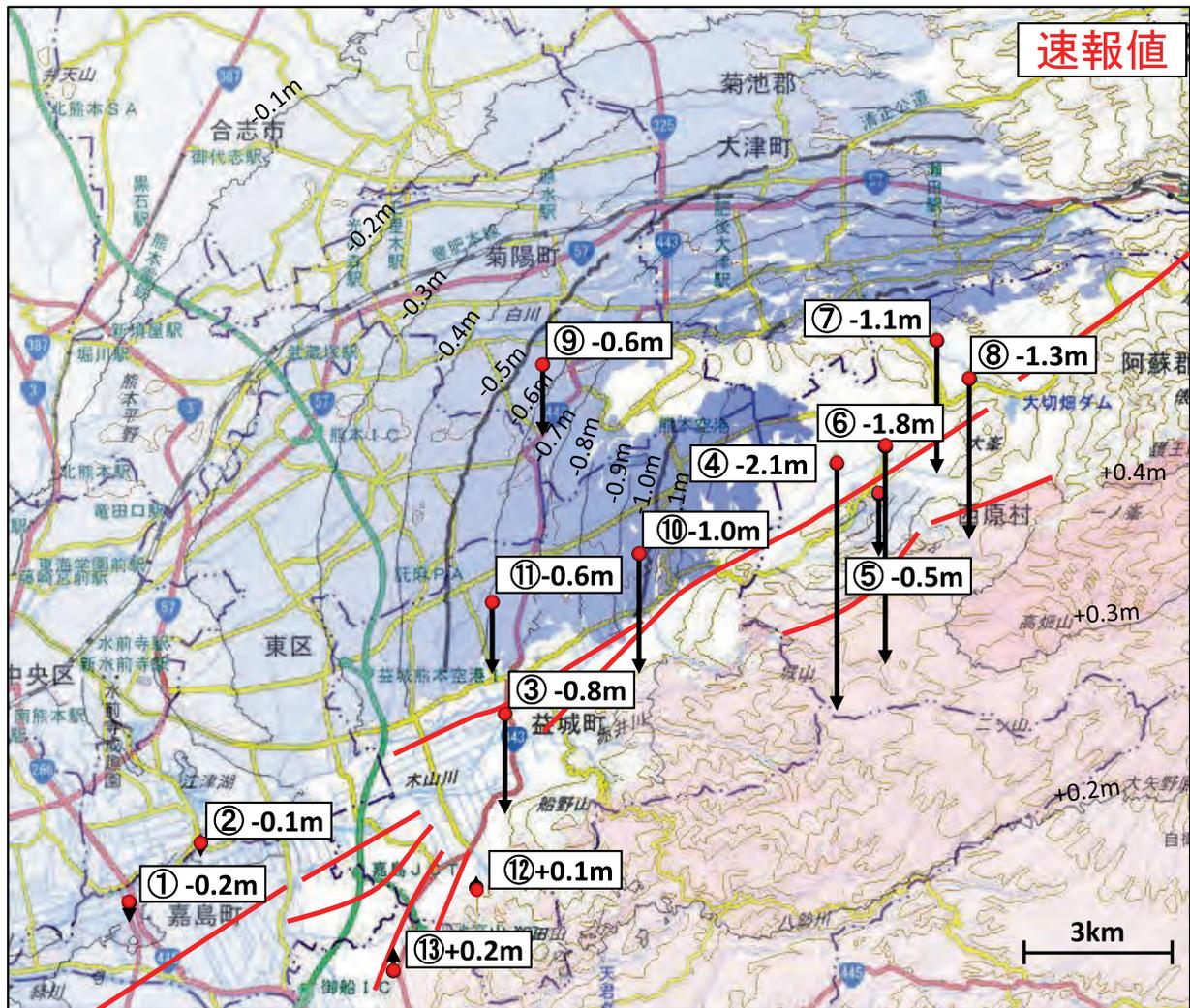
第25図 平成28年(2016年)熊本地震 合成開口レーダーによる地殻変動分布図(3):2.5次元解析

Fig. 25 Coseismic displacement of the Kumamoto earthquake captured by Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data (3): results of 2.5-D analysis. Quasi-UD (top) and quasi-EW (bottom left).

平成28年熊本地震緊急GNSS観測による変動量

変動量大きい可能性がある布田川断層に沿って、干渉SARだけでは変動が充分確認できない地殻変動の全体像を把握するため緊急GNSS観測（4/21, 22 5/3, 4, 5）を実施した結果、最大で2.1mの沈降が確認された。

干渉SARで上下変動量が得られている観測点①②⑤⑨⑩⑪では、GNSSと干渉SARで整合的な結果が得られていることから、干渉SARでは明瞭な干渉が得られなかった西原村西部も含め、布田川断層の北西側では周辺地盤全体が緩やかな傾斜で最大2m程度の沈降が生じたものとみられる。



— 活断層(地震調査研究推進本部)

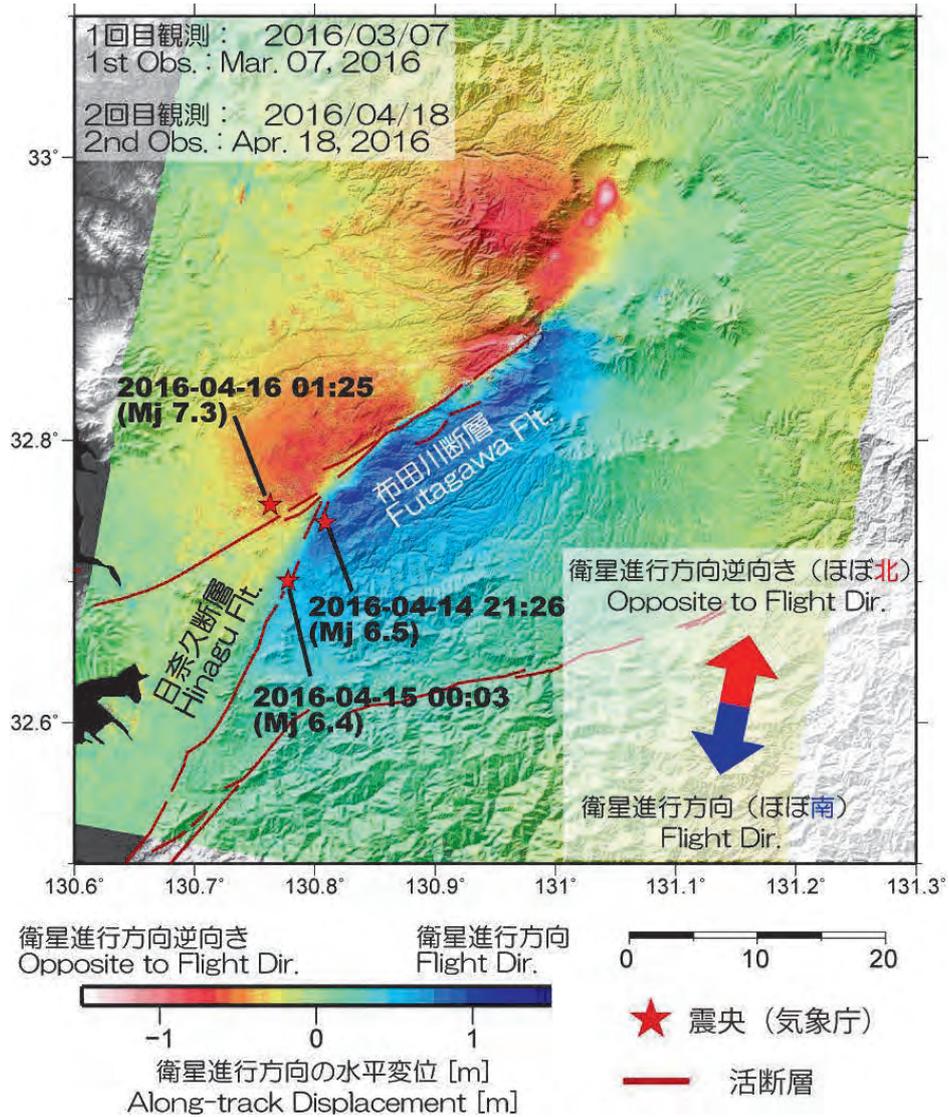
※ 背景は地理院地図に干渉SARで得られた地殻変動の準上下変動成分を重ねたもの。

第26図 平成28年(2016年)熊本地震緊急GNSS連続観測による変動量

Fig. 26 Preliminary results of urgent GNSS observations on the Kumamoto earthquake.

平成28年熊本地震 MAI 法による解析結果

だいち2号により観測された SAR データに対し、MAI (Multiple Aperture Interferometry) 法を適用した結果、標準的な SAR 干渉解析では捉えられなかった断層近傍の地面の動きが明らかになった。布田川断層を境に、北側では北向き、南側では南向きに、それぞれ最大約 1m の変動が生じたことがわかった。



解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA
地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動により地震後の緊急観測要求を実施した。
データはだいち2号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供された。

第 27 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 MAI 法による解析結果

Fig. 27 Coseismic displacement of the Kumamoto earthquake captured by multiple aperture radar interferometry (MAI) using ALOS-2 data.

平成28年熊本地震（4月14日 Mj6.5, 4月15日 Mj6.4）の震源断層モデル

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動から、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的に動いたと推定される。

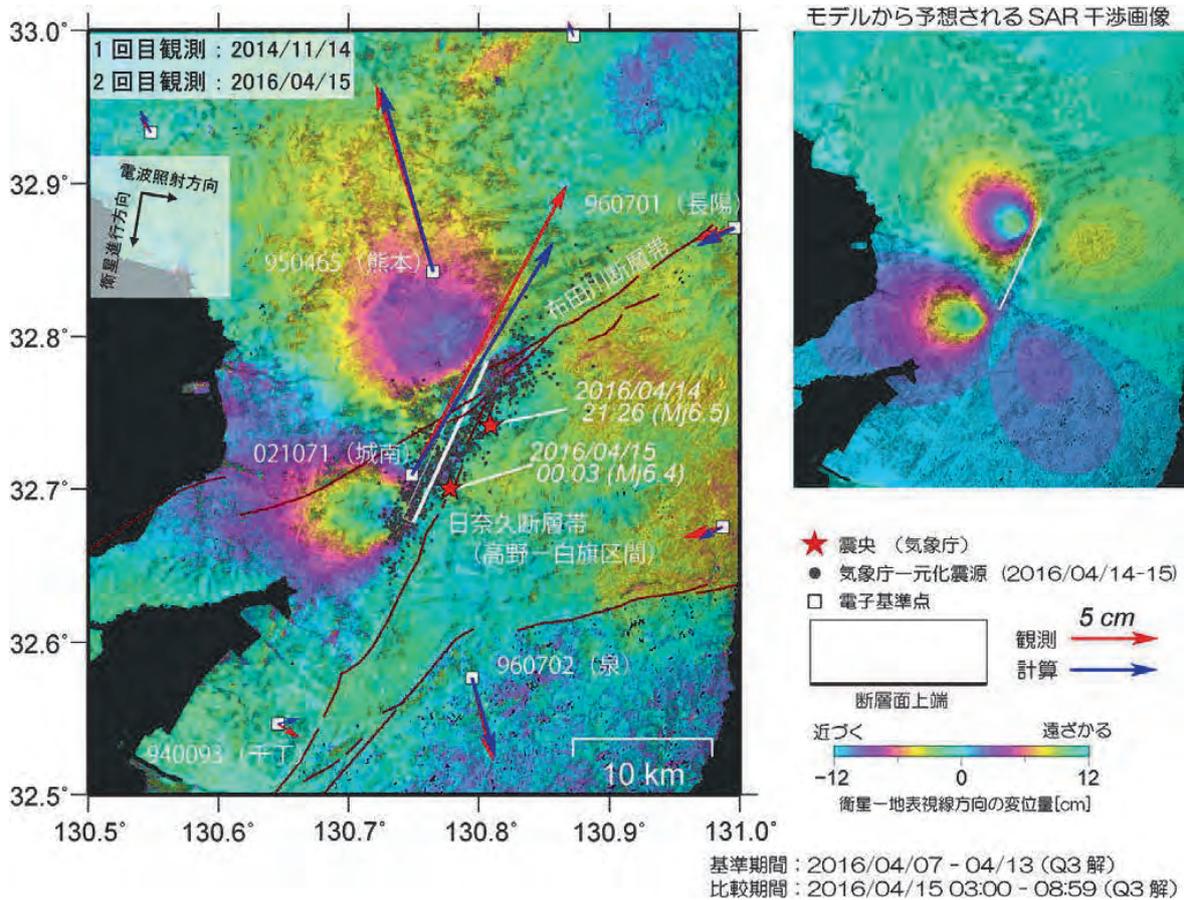


図1 震源断層モデル (左) SAR 干渉画像と GNSS 変位ベクトル (右) 震源断層モデルから予想される SAR 干渉画像

経度	緯度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜	滑り角	滑り量	M_w
[$^{\circ}$]	[$^{\circ}$]	[km]	[km]	[km]	[$^{\circ}$]	[$^{\circ}$]	[$^{\circ}$]	[m]	
130.806	32.784	1.4	12.8	6.4	205	83	173	1.1	6.23

※矩形断層1枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。

第28図 平成28年（2016年）熊本地震（4月14日 M6.5, 4月15日 M6.4）の震源断層モデル

Fig. 28 Earthquake source fault model of the foreshock (M6.5 on April 14, M6.4 on April 15) of the Kumamoto earthquake.

平成28年熊本地震の震源断層モデル（1）（暫定）

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動から、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。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、それぞれ右横ずれの動きが生じたと推定される。

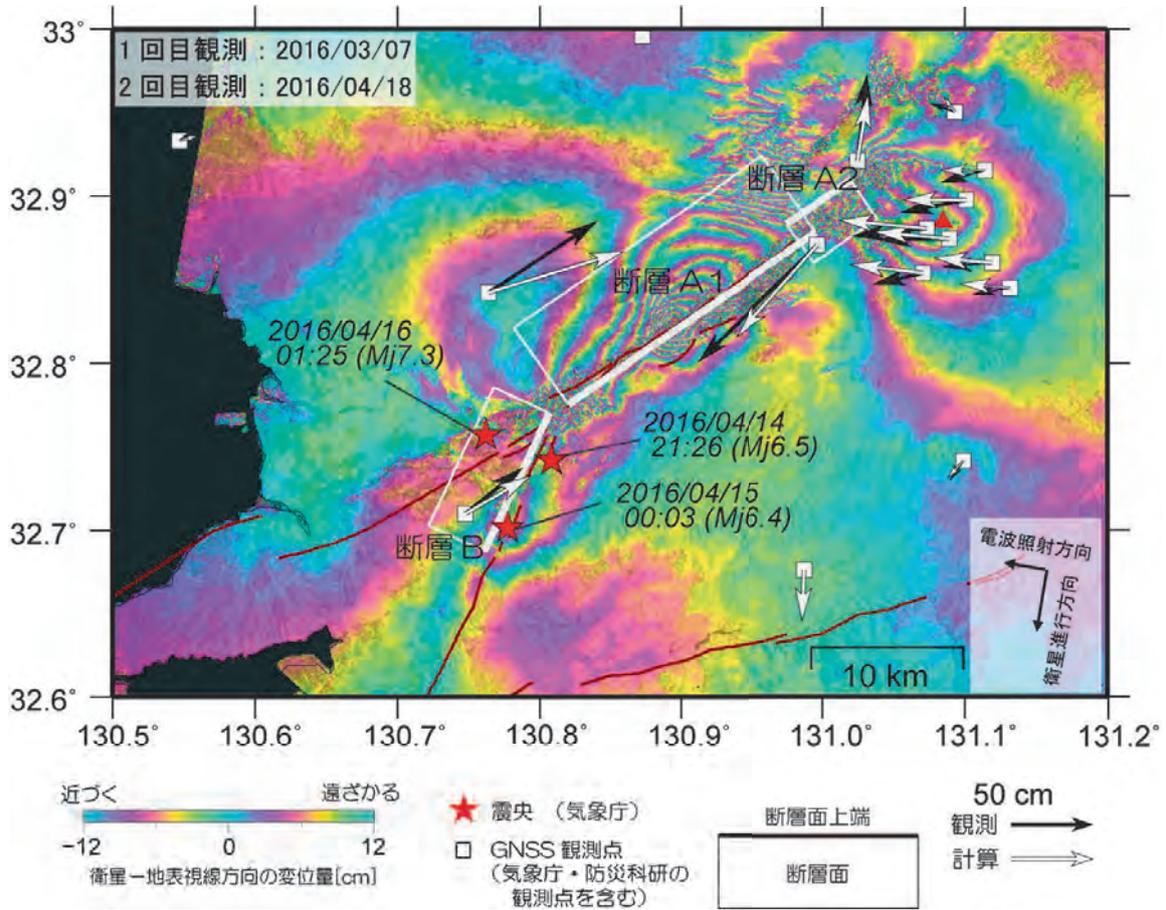


図1 干渉 SAR（観測値）と GNSS(観測値・計算値)

	経度	緯度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜	滑り角	滑り量	M_w
	[°]	[°]	[km]	[km]	[km]	[°]	[°]	[°]	[m]	
断層 A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
断層 A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
断層 B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

※矩形断層 3 枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。

第 29 図 平成 28 年（2016 年）熊本地震の震源断層モデル（1）（暫定）

Fig. 29 Earthquake source fault model of the Kumamoto earthquake (1) (preliminary result).

平成28年熊本地震の震源断層モデル(2)(暫定)

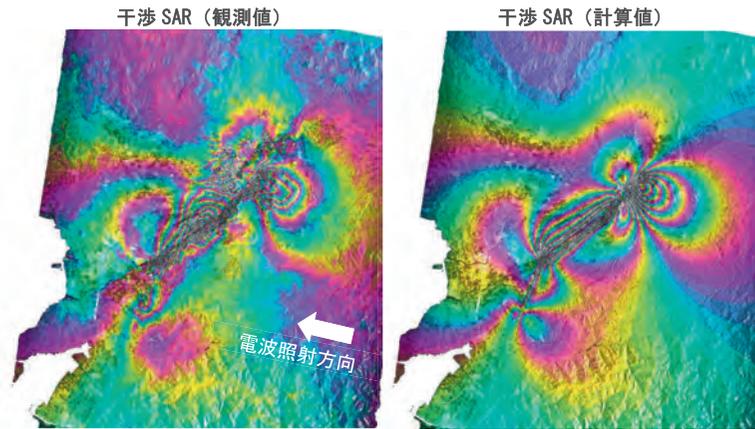


図2 (左) 干渉 SAR 画像. 1 回目観測: 2016/03/07 2 回目観測: 2016/04/18 (右) 震源断層モデルから予想される干渉画像

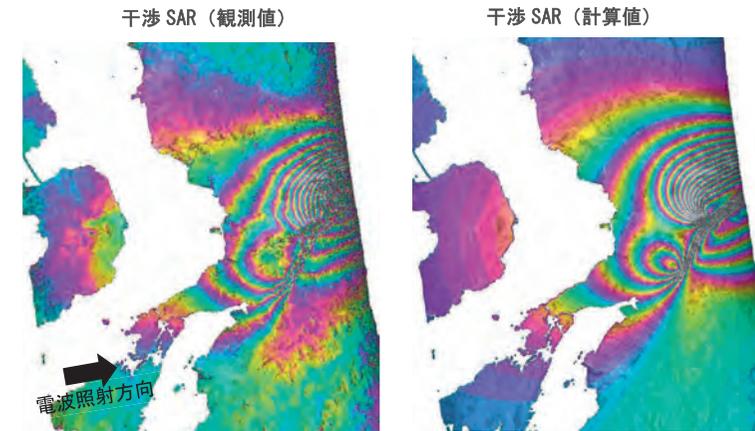
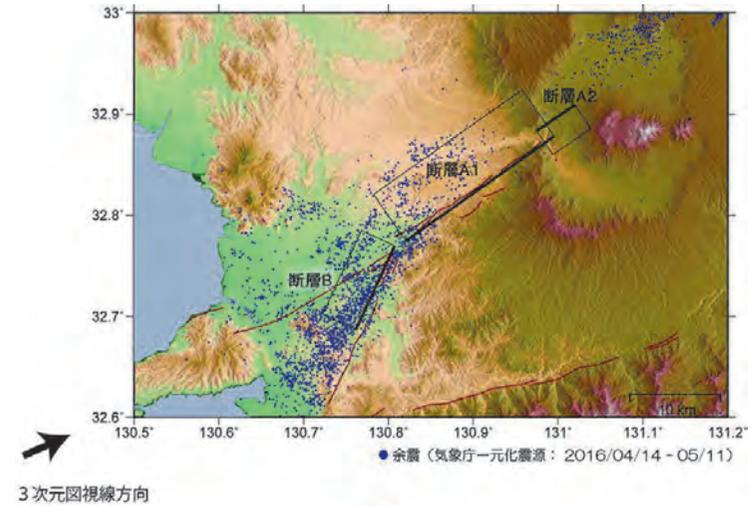


図3 (左) 干渉 SAR 画像. 1 回目観測: 2015/05/18 2 回目観測: 2016/04/18 (右) 震源断層モデルから予想される干渉画像

第30図 平成28年(2016年)熊本地震の震源断層モデル(2)(暫定)
Fig. 30 Earthquake source fault model of the Kumamoto earthquake (2) (preliminary result), observed interferograms (left) and estimated interferograms (right).

熊本地震の震源断層モデル(暫定) 模式図



第31図 平成28年(2016年)熊本地震の震源断層モデル(暫定)(模式図)
Fig. 31 Schematic diagram of the earthquake source fault model of the Kumamoto earthquake (preliminary result).

平成28年熊本地震の滑り分布モデル（暫定）

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動から、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。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、それぞれ右横ずれ的な動きが生じたと推定される。

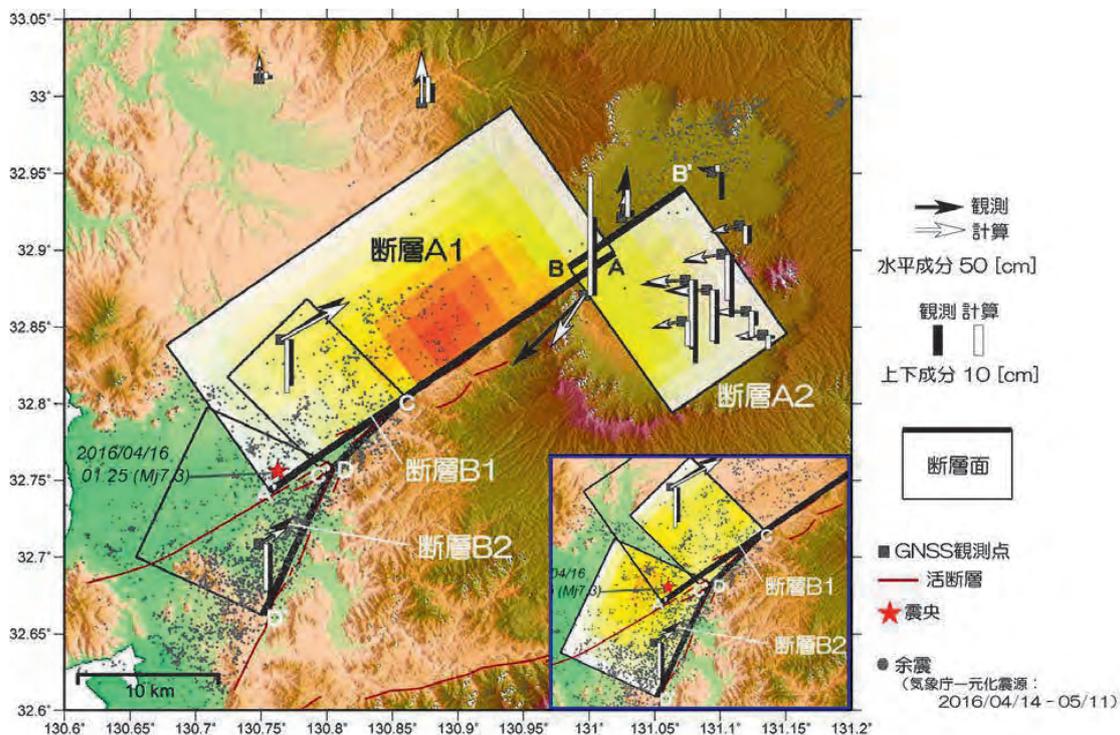


図1 断層モデルの位置とGNSSデータ(観測値・計算値)

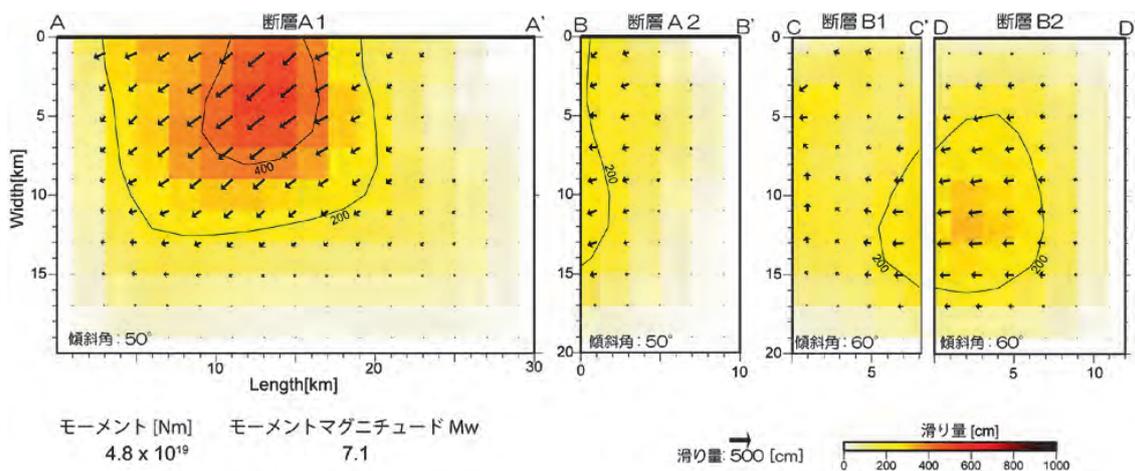


図2 推定された断層面上の滑り分布

第32図 平成28年（2016年）熊本地震の滑り分布モデル（暫定）

Fig. 32 Slip distribution model of the Kumamoto earthquake (preliminary result).

干渉 SAR 画像（観測）と滑り分布モデルから予想される干渉画像

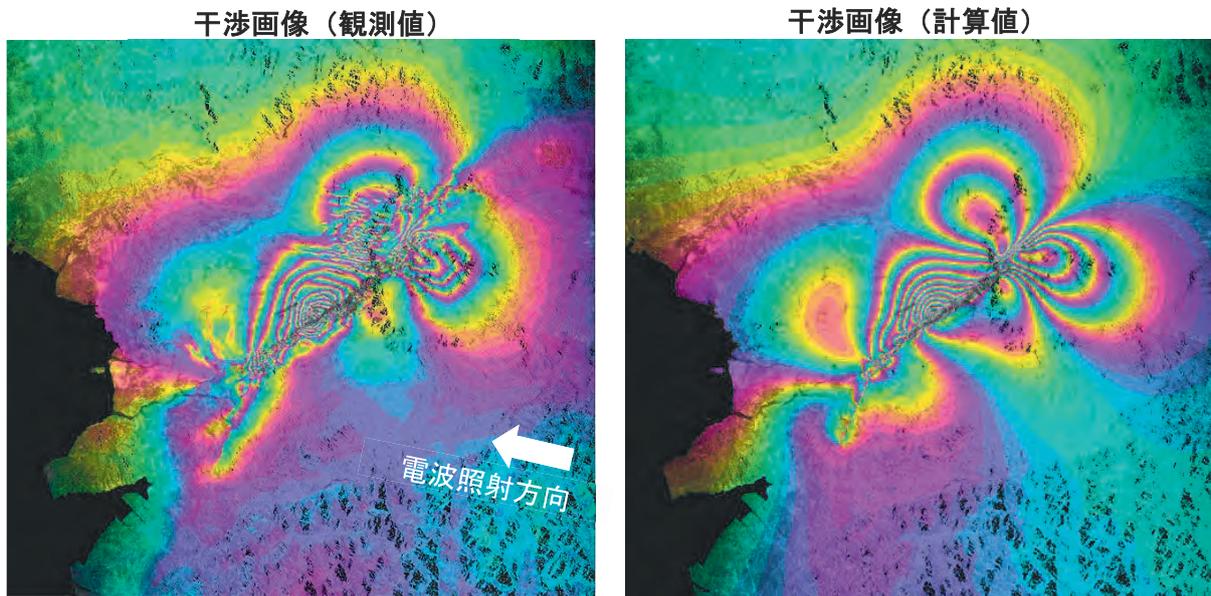


図3 （左）干渉 SAR 画像. 1 回目観測：2016/04/15 2 回目観測：2016/04/29 （右）震源断層モデルから予想される干渉画像

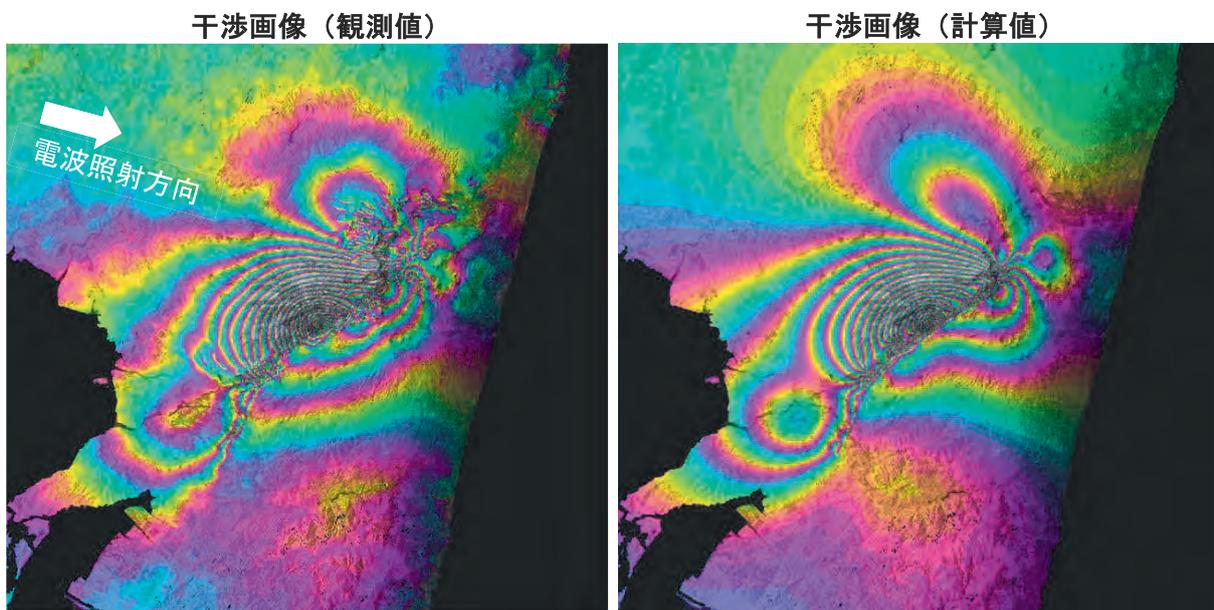
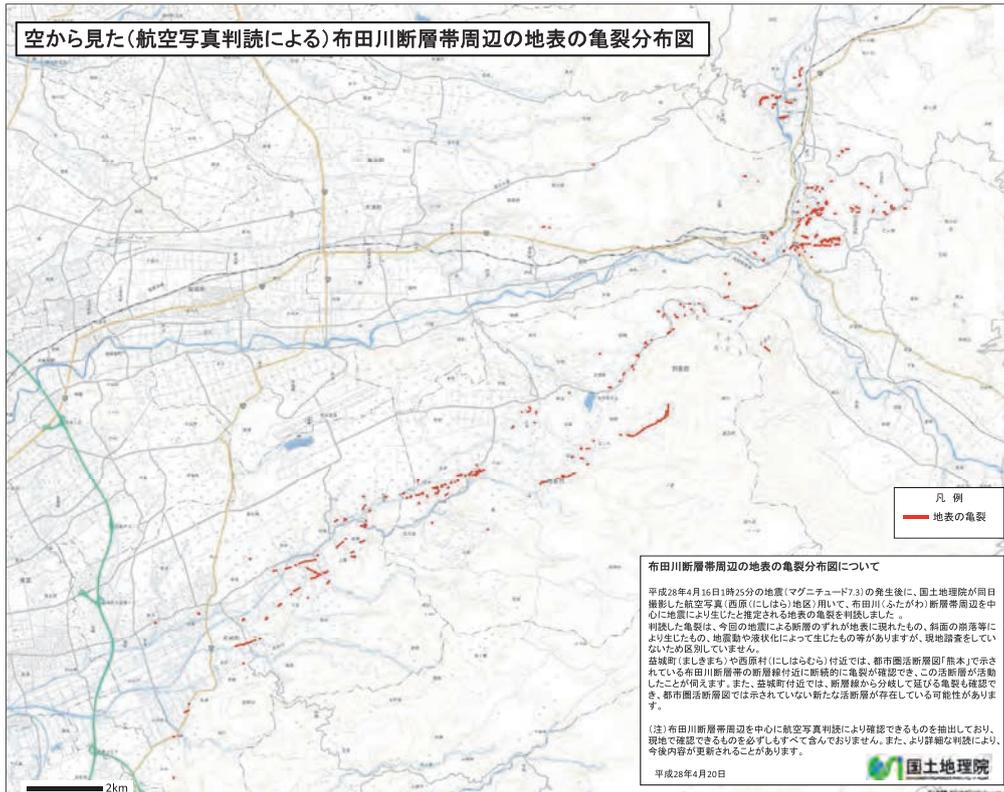


図4 （左）干渉 SAR 画像. 1 回目観測：2016/04/15 2 回目観測：2016/04/29 （右）震源断層モデルから予想される干渉画像

第33図 干渉 SAR 画像（観測）と滑り分布モデルから予想される干渉画像

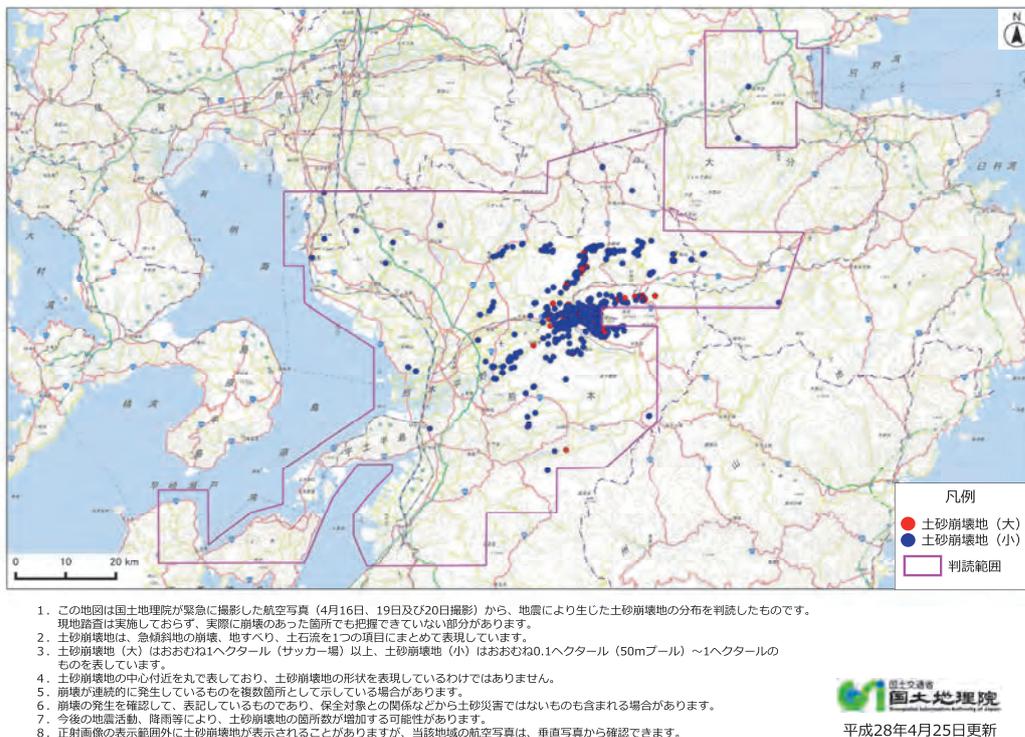
Fig. 33 Observed SAR interferograms and estimated interferograms from slip distribution model, observation (left) and calculation (right).



第 34 図 空から見た(航空写真判読による)布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図

Fig. 34 Distribution map of surface cracks caused by the Kumamoto earthquake around the Futagawa fault zone interpreted from airplane photos.

平成28年熊本地震・空から見た(航空写真判読による)土砂崩壊地分布図



第 35 図 平成 28 年(2016 年)熊本地震・空から見た(航空写真判読による)土砂崩壊地分布図

Fig. 35 Distribution map of landslides caused by the Kumamoto earthquake interpreted from airplane photos.

航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について

- 平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分の地震（マグニチュード 7.3）の発生後に国土地理院が撮影した航空写真（2016 年 4 月 16 日撮影）と UAV により撮影した動画（2016 年 4 月 18 日撮影）を用いて、地表に現れた断層のずれの北東端付近と推定される南阿蘇村河陽地区および黒川地区において（図-36）、地震により生じたと推定される断層のずれとそれ以外の地表の亀裂を詳細に判読した（図-37a）。
- 河陽地区および黒川地区では、地表の亀裂が多数確認できた。それらのうち、図-2 において赤色線で示した亀裂は、平坦な農地や道路を横切って直線状に並んでおり、また、道路や土手などの右横ずれや右横ずれによる雁行状の配列（図-37b、図-38a、図-38b、図-39）も確認できることから、斜面の崩落によっては生じえないと判断でき、これらの亀裂は地表に現れた断層のずれと判断できる。
- 図-37 において黒色線で示した亀裂は、急な斜面や土手等の崩落により生じたものなどを示している。

（注）今回の判読結果は速報であり、現地調査等の詳細な調査により、今後内容が更新されることがある。



図-36 南阿蘇村河陽地区・黒川地区の位置図。活断層線は地震調査研究推進本部による。

第 36 図 航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年（2016 年）熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について

Fig. 36 Earthquake faults associated with the 2016 Kumamoto Earthquake interpreted from aerial photos taken by airplane and videos taken by UAV around Kawayo and Kurokawa area, Minamiaso Village.

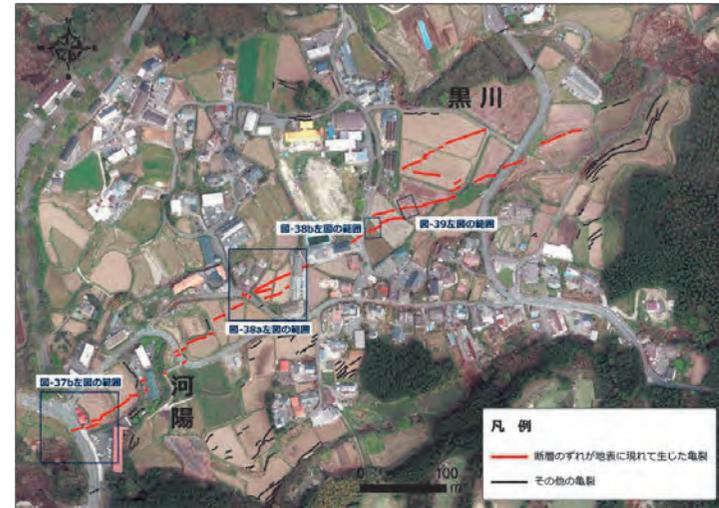


図-37a 平成 28 年熊本地震に伴う南阿蘇村河陽地区・黒川地区における地表の亀裂分布図。赤色線で示した亀裂が断層のずれが地表に現れて生じたもの、黒色線で示した亀裂はその他の亀裂。

第 37 図 a 平成 28 年（2016 年）熊本地震に伴う南阿蘇村河陽地区・黒川地区における地表の亀裂分布図

Fig. 37a Distribution map of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto Earthquake around Kawayo and Kurokawa area, Minamiaso Village.



図-37b 航空写真で確認できる右横ずれの亀裂（左）と同地点の現地写真（右：2016 年 4 月 18 日撮影）。右の現地写真では、道路のセンターラインが約 1.2m 右横ずれしている（赤白ボールの 1 目盛は 20cm）。

第 37 図 b 航空写真で確認できる右横ずれの亀裂（左）と同地点の現地写真
Fig. 37b Right-lateral ruptures interpreted from aerial photo (left figure) and field photo at the same site (right figure).



図-38a 航空写真で確認できる右横ずれによる雁行状に配列した亀裂（左）と同地点の現地写真（右：2016年4月18日撮影）。右の現地写真では、白破線で示したように、右横ずれにより、亀裂が「杉」の字のつくり部分の形に雁行配列している様子が確認できる。

第 38 図 a 航空写真で確認できる右横ずれによる雁行状に配列した亀裂（左）と同地点の現地写真（右）

Fig. 38a Right-lateral ruptures with echelon structure interpreted from aerial photo (left figure) and field photo at the same site (right figure).



図-39 UAVで捉えた右横ずれにより雁行状に配列した亀裂（動画のキャプチャ画像）。右横ずれにより、亀裂が「杉」の字のつくり部分の形に雁行配列している様子が確認できる。

第 39 図 UAVで捉えた右横ずれにより雁行状に配列した亀裂

Fig. 39 Right-lateral ruptures with echelon structure taken by UAV.

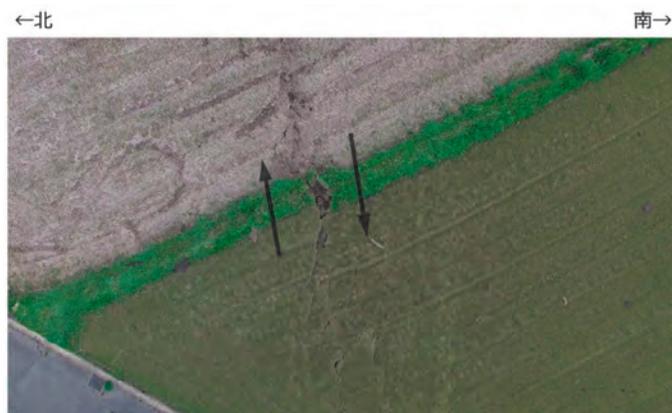


図-38b UAVで捉えた土手の右横ずれ（動画のキャプチャ画像）。土手が約50cm右横ずれしている。また、雁行状に配列している様子も確認できる。

第 38 図 b UAVで捉えた土手の右横ずれ

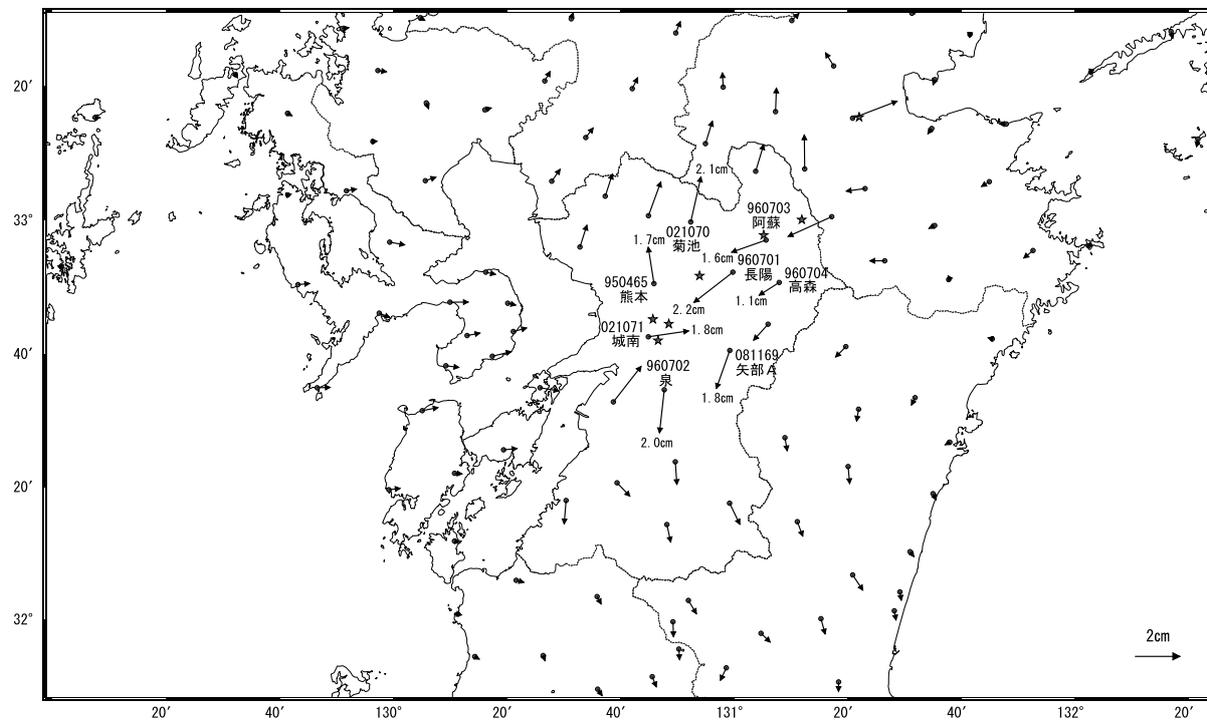
Fig. 38b Right-lateral slip of ridgeway taken by UAV.

平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(1)

この地震後に地殻変動が観測されている。

基準期間: 2016/04/16~2016/04/16 [F3: 最終解]
 比較期間: 2016/05/02~2016/05/04 [R3: 速報解]

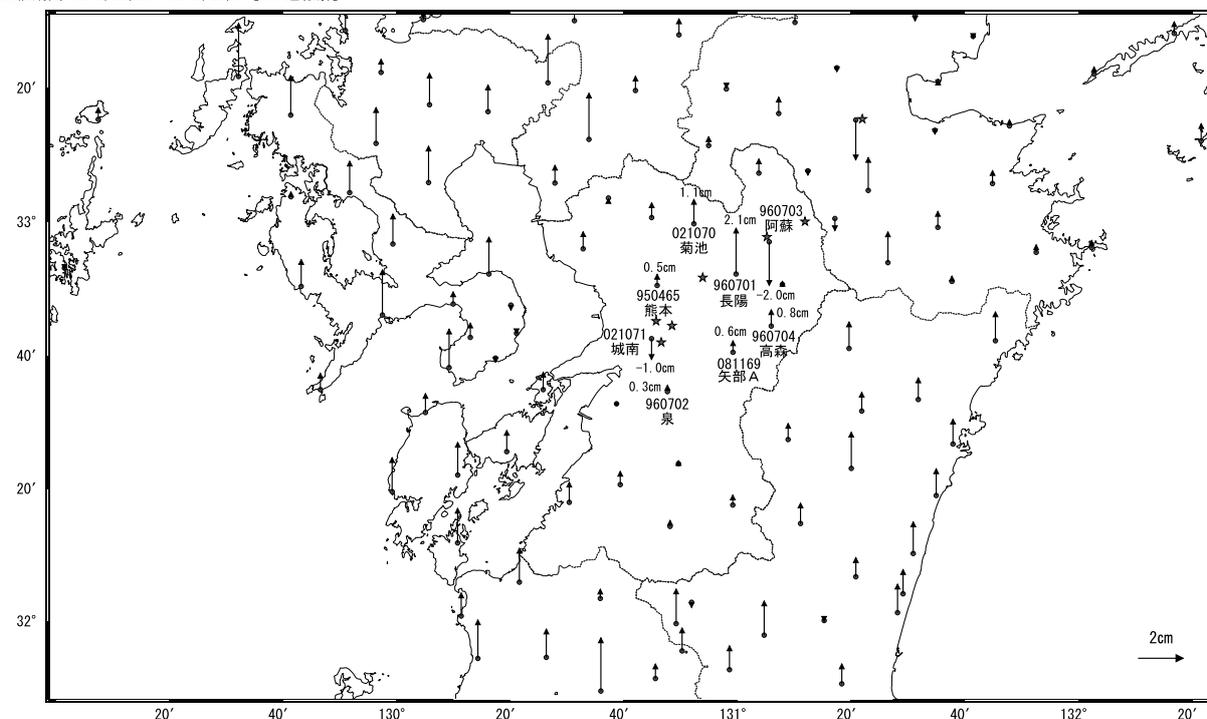
地殻変動(水平)



固定局: 三隅(950388)

基準期間: 2016/04/16~2016/04/16 [F3: 最終解]
 比較期間: 2016/05/02~2016/05/04 [R3: 速報解]

地殻変動(上下)

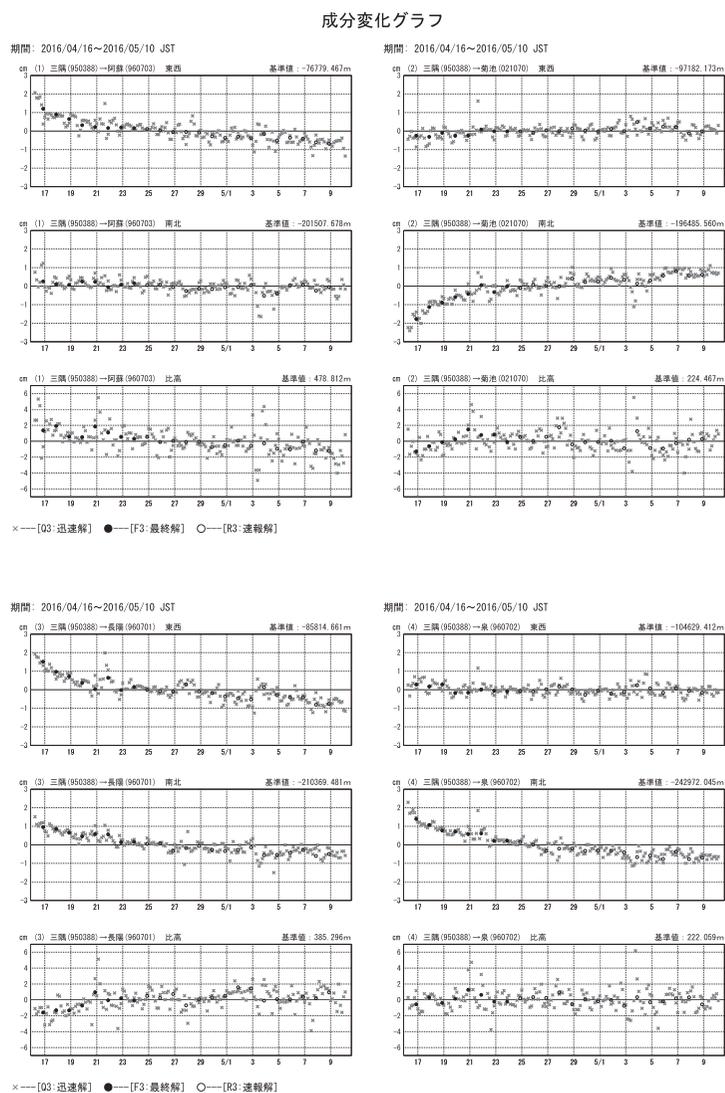


固定局: 三隅(950388)

第40図 平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(1): 水平・上下

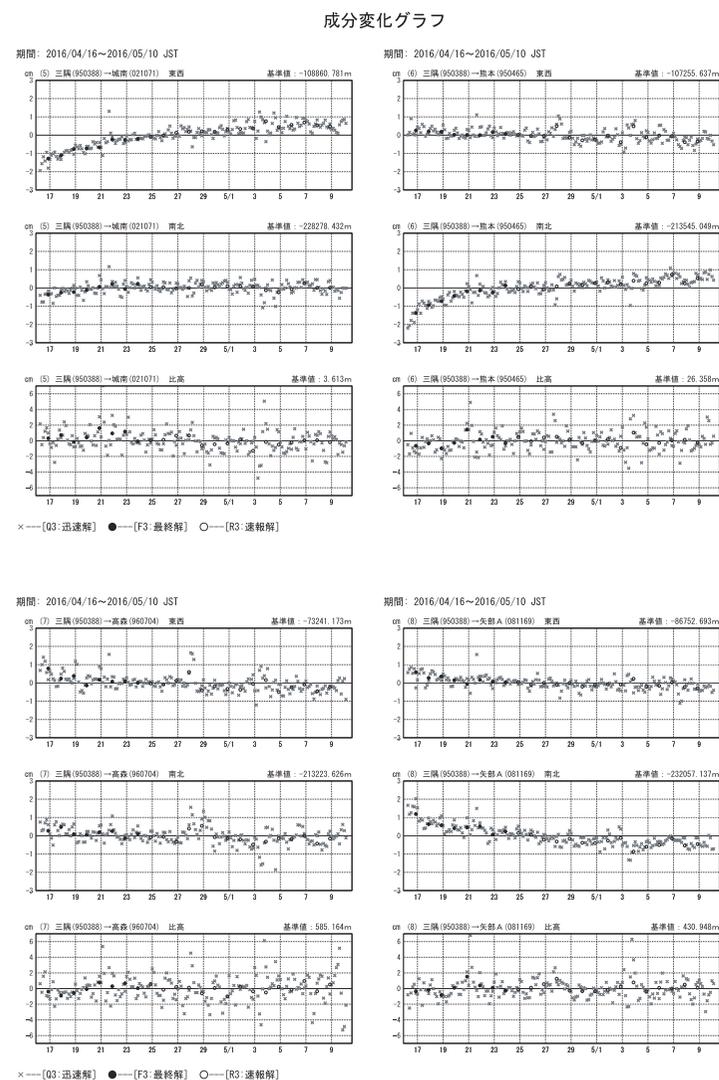
Fig. 40 Postseismic deformation of the Kumamoto earthquake (1) (horizontal and vertical displacement).

平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(2)



第41図 平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(2)
Fig. 41 Postseismic deformation of the Kumamoto earthquake (2) (3 components time series).

平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(3)

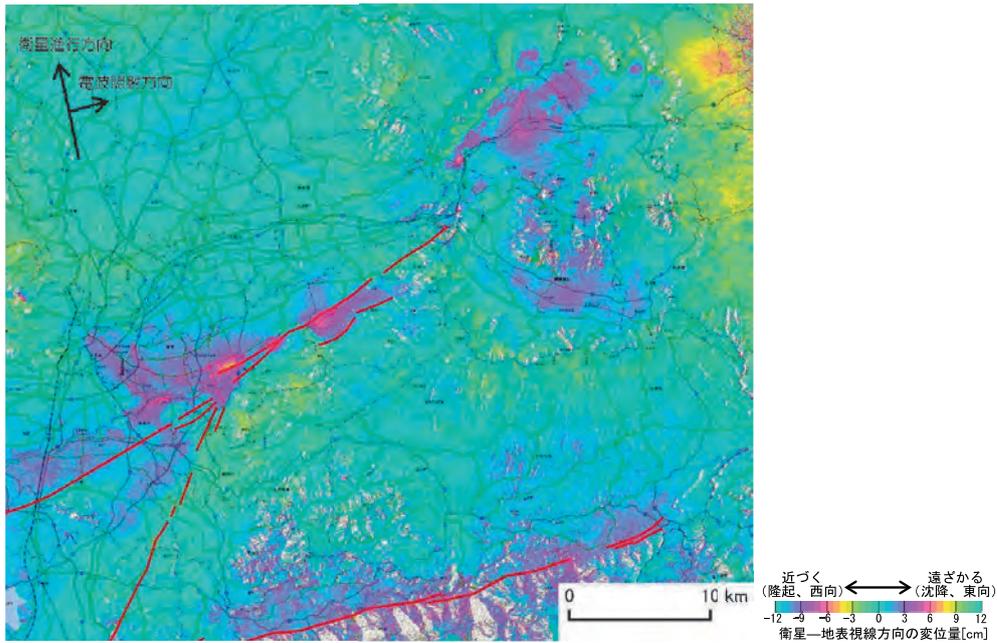


第42図 平成28年(2016年)熊本地震(4月16日 M7.3)の余効変動(3)
Fig. 42 Postseismic deformation of the Kumamoto earthquake (3) (3 components time series).

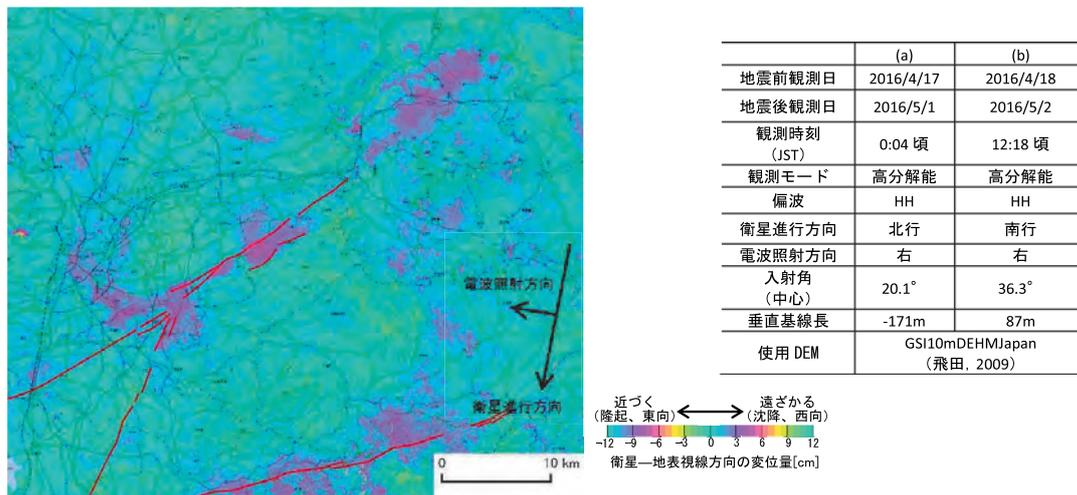
平成 28 年熊本地震後 「だいち 2 号」による地殻変動分布図

4 月 16 日の本震 (M7.3) 以降は、広域では顕著な変動は見られないが、布田川断層帯に沿って局所的にわずかな変動が見られる。

(a)2016/04/17-2016/05/01



(b)2016/04/18-2016/05/02



解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA
 地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動により地震後の緊急観測要求を実施した。
 データはだいち 2 号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供された。

第 43 図 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 合成開口レーダーによる地殻変動分布図

Fig. 43 Postseismic deformation of the Kumamoto earthquake captured by SAR interferometry using ALOS-2 data.