

12-7 熊本地震の余効変動

Postseismic deformation of the 2016 Kumamoto Earthquake

小林 知勝 (国土地理院)

Tomokazu Kobayashi (Geospatial Information Authority of Japan)

1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) に発生した熊本地震では, SAR 衛星データによる高い空間分解能の地殻変動データにより, 前震や本震の地震時変動を広域から局所まで網羅的に把握することが出来た^{1),2)}. 地震後, GEONET 観測により九州全体で余効変動が進行していることが明らかにされているが³⁾, SAR 観測からも, 特に震源域周辺における余効変動の空間分布が詳細に捉えられている. 高い空間分解能を持つ SAR データは, GNSS 観測では捉え切れない変動の空間的広がりを示しており, 熊本地震の余効変動の理解を深化させる重要な情報を含んでいると考えられる. このような背景の下, SAR 観測により捉えられた熊本地震の余効変動の特徴及びその発生機構についてここに報告する.

2. SAR で捉えられた余効変動の特徴

本解析では, ALOS-2 衛星を用いた InSAR 解析により余効変動を抽出した. 解析には, 2016 年 4 月 26 日と 2017 年 3 月 14 日に撮像された北行右観測データのペアと 2016 年 4 月 18 日と 2017 年 3 月 6 日に撮像された南行右観測データのペアを用いた. すなわち地震後約 1 年の余効変動を抽出した. InSAR 解析では, 大気起因の誤差を数値気象モデルを用いた処理により, 電離層起因の誤差を Range Split-Spectrum 法により, それぞれ低減させた. さらに, 発生機構の理解を促進させるために, これら InSAR 解析で得られた衛星-地表間距離変化の 2 成分を, 準上下及び準東西方向の変位に変換した.

解析の結果, 布田川断層帯及び日奈久断層帯周辺で進行する余効変動の詳細な空間分布が捉えられた (第 1 図, 第 2 図). 広域の変動に着目すると, 地震時に大きく滑った布田川断層帯の布田川区間近傍域では西向き及び隆起が, その周囲では東向き及び沈降の変位が見られる. 注目すべきは, 地震時に見られた布田川断層帯を境にした変位の食い違いは見られないことである. もし, 余効滑りにより変位が生ずれば, 布田川断層の上盤側 (北側) 及び下盤側 (南側) では, 地震時と同じように, 上下成分では沈降及び隆起が, 東西成分では東向き及び西向きの変位が, それぞれ上盤・下盤側で見られるはずである. しかし, 両側とも地盤が隆起及び西向きに変位している. これらの観測事実は, 余効変動における布田川断層帯の余効滑りの寄与がほとんどないことを示唆している.

一方, 日奈久断層帯およびその周辺では, 余効滑りを示唆する変動が見られる (第 2 図). 日奈久断層帯の高野-白旗区間及び布田川断層帯の布田川区間西側において, 変位の不連続・急変帯が明瞭に確認できる. この変位不連続は, 地震時にも確認できたものであり, 地震後も継続して変位が続いたことを示している. これに加えて, 地震時には有意な断層面上のすべりが見られなかった日奈久断層帯の日奈久区間の南部においても, わずかではあるが, 断層に沿って有意とみられる変位の急変が観測された. これら観測された変位の不連続は, 既知の断層の位置と概ね整合的である. こうした変位の不連続は浅部において余効滑りが生じたことを強く示唆している.

こうした広域の余効変動に加えて, InSAR 画像は局所的な変動も捉えている. その 1 つが出ノ口断層周辺の変動である. 出ノ口断層と布田川断層に挟まれる領域では, 10cm を超える沈降が観測さ

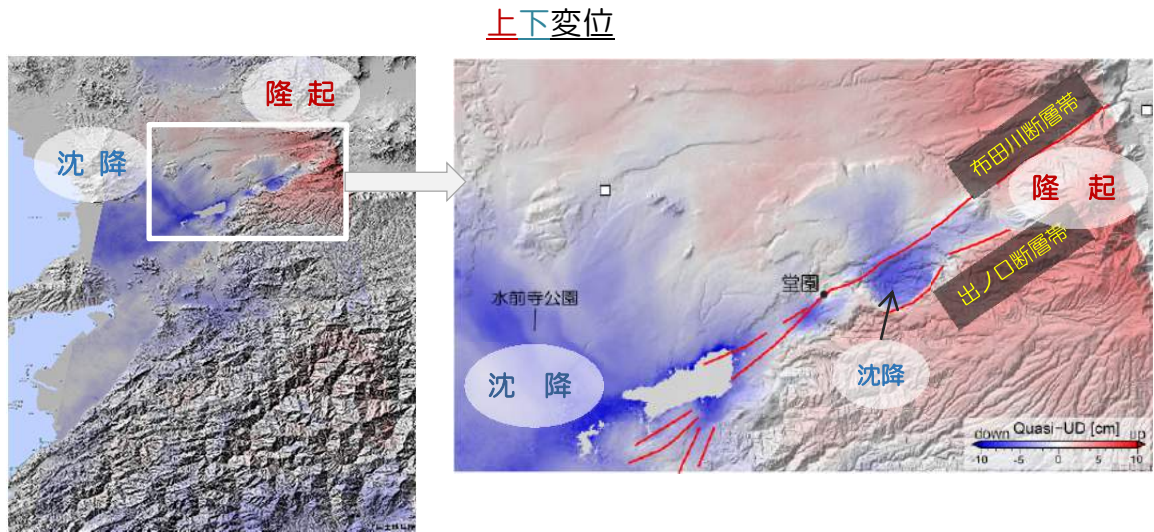
れた(第1図). 沈降域の南端は出ノ口断層のトレースとほぼ一致する. ここでは, 地震時にも出ノ口断層の上盤が大きく局所的に沈降しており, 地震後も沈降し続けていることが分かる. さらに, 水前寺公園付近でも有意な沈降が観測されている. これらは, 地震時にも見られた沈降域とほぼ一致しており⁴⁾, 地震後も継続して地盤が沈降し続けたことを示している.

3. 余効変動の発生機構に関する考察

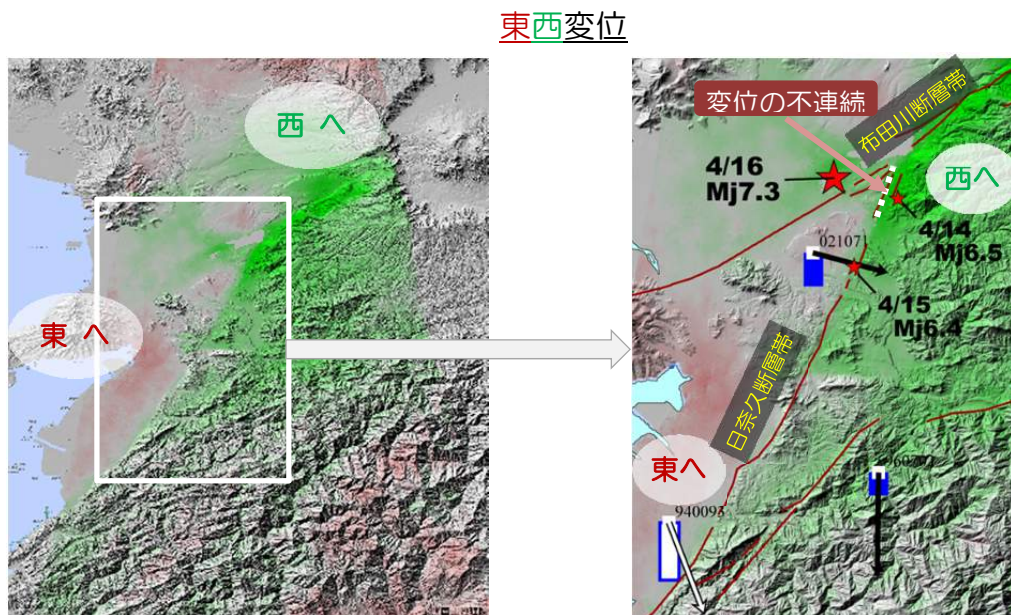
余効変動の主な発生機構としては主に, 間隙弾性緩和, 余効滑り, 粘弾性緩和の3つが一般的に考えられる(第3図). このうち, 広域の余効変動は粘弾性緩和が強く関与していると考えられる. 第4図は, 熊本地震の余効変動の粘弾性緩和モデル⁵⁾により予想される震源域周辺の変位分布である. モデル計算から, 布田川断層帯の布田川区間近傍域では西向き・隆起の変位が, その周囲では東向き・沈降が求まり, SAR解析により得られた変位分布の特徴を良く説明することがわかる. このことから, 熊本地震においては, 粘弾性緩和が重要な余効変動の駆動力として働いていることが示唆される. 一方, 観測結果と比較すると局所的に計算結果とは異なる領域も見られ, これらは日奈久断層帯で進行する余効滑りが関与していると考えられる. 今後, これらSARにより得られた諸特徴を統合的に説明するモデルの構築が, 熊本地震の余効変動の理解をさらに進めるために必要であろう.

参 考 文 献

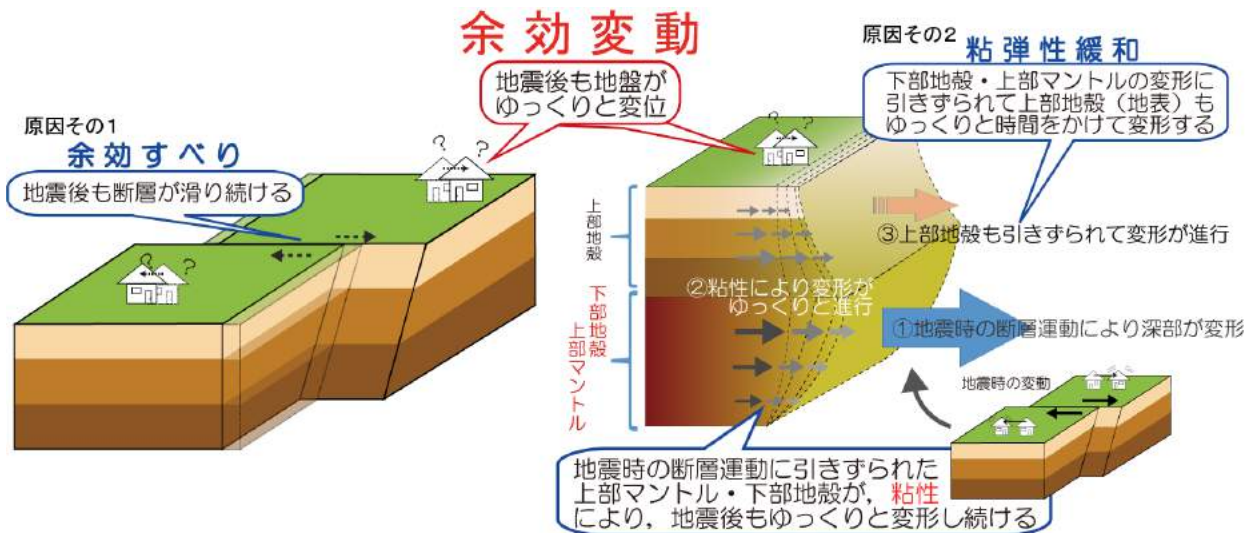
- 1) Kobayashi, T. (2017) Earthquake rupture properties of the 2016 Kumamoto earthquake foreshocks (M_j 6.5 and M_j 6.4) revealed by conventional and multiple-aperture InSAR, *Earth Planets Space*, **69**: 7, doi:10.1186/s40623-016-0594-y.
- 2) Kobayashi, T., H. Yurai, S. Kawamoto, Y. Morishita, S. Fujiwara, and Yohei Hiyama (2018) Crustal deformation and fault models of the 2016 Kumamoto earthquake sequence: Foreshocks and main shock, *International Association of Geodesy Symposia*, doi.org/10.1007/1345_2018_37.
- 3) 国土地理院 (2018) 九州・沖縄地方の地殻変動, 予知連会報, 99, 10-5.
- 4) Fujiwara, S., H. Yurai, T. Kobayashi, Y. Morishita, T. Nakano, B. Miyahara, H. Nakai, Y. Miura, H. Ueshiba, Y. Kakiage, and H. Une (2016) Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, *Earth Planets Space*, **68**:160, doi:10.1186/s40623-016-0534-x.
- 5) Pollitz, F. F., T. Kobayashi, H. Yurai, B. Shibasaki, and T. Matsumoto (2017) Viscoelastic lower crust and mantle relaxation following the 14-16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake sequence, *Geophys. Res. Lett.*, **44**, doi:10.1002/2017GL074783.



第1図 SAR 干渉画像から得られた余効変動の準上下成分. 赤が隆起, 青が沈降を示す.
 Fig. 1 InSAR-derived postseismic deformation in quasi-up-down component. Red and blue represent upheaval and subsidence, respectively.

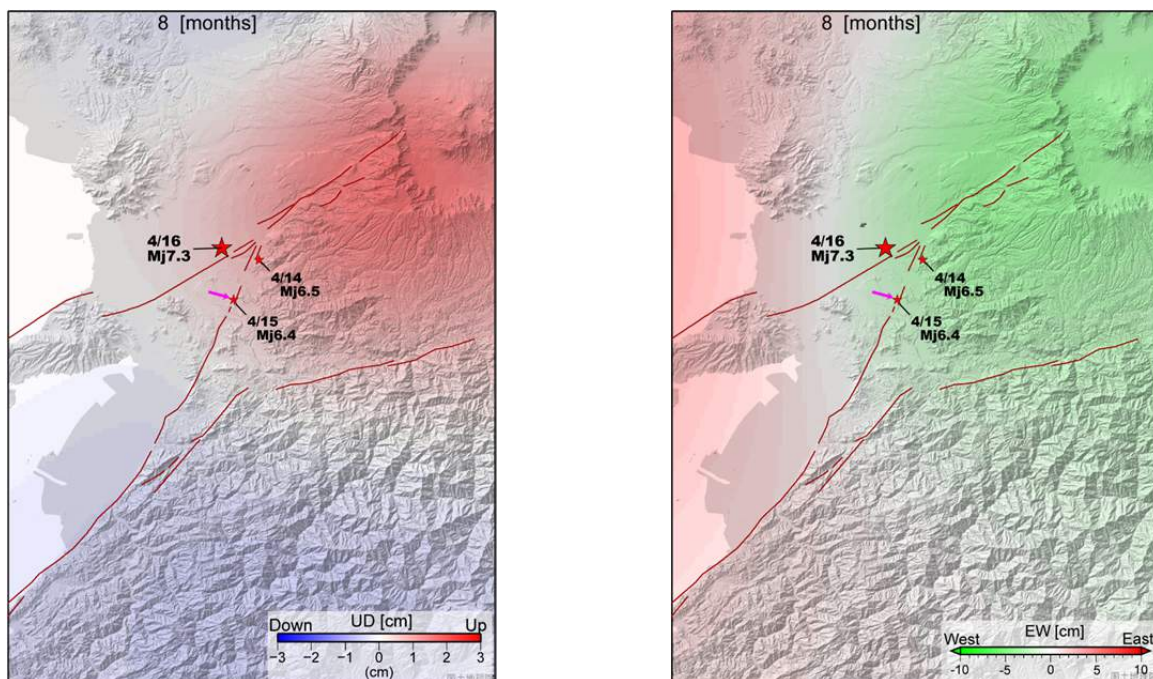


第2図 SAR 干渉画像から得られた余効変動の準東西成分. 緑が西向き, 赤が東向きの変位を示す.
 Fig. 2 InSAR-derived postseismic deformation in quasi-east-west component. Green and red represent westward and eastward displacement, respectively.



第3図 余効変動の発生機構に関する概念図. 熊本地震では, 粘弾性緩和と余効滑りを原因とする変動が進行したと考えられる.

Fig. 3 Conceptual figure regarding mechanisms of postseismic deformation. Postseismic deformation for the Kumamoto earthquake can be attributed to both afterslip and viscoelastic relaxation.



第4図 Pollitz et al. (2017)の粘弾性緩和モデルから予想される余効変動. 変動は地震から8ヵ月後の変位を示す. (a) 上下成分. 赤が隆起, 青が沈降を示す. (b) 東西成分. 緑が西向き, 赤が東向きの変位を示す.

Fig. 4 Postseismic deformation predicted from the viscoelastic relaxation model proposed by Pollitz et al. (2017). The deformation corresponds to displacement eight months after the earthquake. (a) Vertical component. Red and blue represent upheaval and subsidence, respectively. (b) EW component. Green and red represent westward and eastward displacement, respectively.