

干渉SARで見えてきた新たな地震像

宇根 寛 (国土地理院)

1. 活断層の活動と地表の変動

活断層が活動し地震が引き起こされると、地下の断層のずれにより地表にさまざまな変化が現れます。最も顕著なものは断層のずれが地表に現れた「地表地震断層」です。

地表がどのように変動したのかを把握することは、地下でどのような現象が発生したのかを知るための重要な情報です。しかし、地表の変動を正確に把握するためには、地表を丹念に踏査したり、三角測量や水準測量を行う必要があり、手間と時間のかかる作業でした。

近年、国土地理院の電子基準点が整備され、全国1300ヶ所の電子基準点で地震後直ちに正確な地表の変動を計測することができるようになりましたが、電子基準点は約20km間隔で設置されていることから、断層の近傍の変動を詳細に把握することはできません。

2. 干渉SARによる地表変動の観測

1990年代後半から、人工衛星に搭載された合成開口レーダー(SAR)というセンサーを用いて地表を面的に観測する方法が開発されました。SARは、センサーから地表に向けて電磁波(マイクロ波)を放射し、地表で反射して戻ってきた電磁波の強度や位相を観測する技術です。特に、同じ軌道上の2回の観測の位相を干渉させることにより、2回の観測の間の人工衛星と地表の距離の変化を面的に捉えることができます。このような観測方法を干渉SARといい、その結果として得られた縞模様の画像をSAR干渉画像といいます。現在、日本では、2014年に宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げた人工衛星「だいち2号」に搭載されたSARが用いられており、この場合は縞模様一周分(青→黄→赤→紫→青、もしくはその逆)が約12cmの距離の変化を表しています。

干渉SARでは、天候や昼夜に関係なく観測することができ、地上に特別な装置を設置する必要がなく、地表の変化を面的に把握することができます。

3. 干渉SARによって明らかになった地表変動

1) 2016年熊本地震(M7.3)

地表変動の大部分は震源断層である布田川・日奈久断層帯の断層運動で説明できますが、震源断層から離れた場所で断層運動を示す地表変動の線状の不連続が多数発見されました。現地調査を行ったところ、多くの不連続線上で地表の変動が確認されました。これらは地震を引き起こした断層のずれが地表に現れた変動とは考えられず、地震に伴う応力の変化や地震動により誘発された受動的な地震断層と考えられます。

2) 2018年大阪府北部の地震(M6.1)

震源断層のずれが地表に現れた地表地震断層は確認されていませんが、有馬-高槻断層帯の真上断層と一致する場所でわずかに地表変動が認められました。真上断層は1596年慶長伏見地震(M7.5)での変位が確認されており(寒川ほか1996)、繰り返し地震を引き起こしてきた活動的な活断層においても地震を伴わない受動的な変位が起こりうる可能性を示しています。

3) 2018年北海道胆振東部地震(M6.7)

震源が深く、地表までずれが到達したとは考えられませんが、震源の近くに線状の地表変動が現れました。活断層とは認定されていない何らかの地下の構造が受動的に動いた可能性があります。

4. 干渉SARで見えてきた新たな地震像

1) 地表変動の多様性

地震時に地表にさまざまな変動が生じることは従来から知られていましたが、主なものは地下の断層のずれが地表まで到達した地表地震断層と、地下のずれに伴い周辺の地表がゴムのように変形する弾性変形で説明できると考えられてきました。しかし、干渉SARにより地表の変形が面的に詳細に把握できるようになったことで、上記のような受動的な断層の活動が地震時に多数起こっていることが明らかになりつつあります。このような「お付き合い地震断層」は、それ自身が大きな地震動を発生させることはありませんが、地表のずれによる被害や、地震動の増幅などをもたらす可能性もあり、その性質について今後調査研究を進める必要があります。

2) 活断層の活動性の評価

受動的な変動そのものは、一度に大きなずれを生じることはありませんが、このような変動が累積して地形を変形させたり、地層に大きなずれが生じさせることがあることが、阿蘇北西部の調査などで明らかになりつつあります(宇根ほか2018)。活断層の活動に多様性があり、同じ活断層に能動的な活動といわばお付き合いの受動的な活動のどちらも起こりうるすれば、活断層が一定の間隔で一定の規模の活動を繰り返すことを前提として、トレンチから得た活動履歴から活動性を評価することは適切でない可能性があります。新たな評価手法について今後調査研究を進める必要があります。

謝辞

だいち2号の観測データは、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループを通してJAXAから提供されたものです。解析: 国土地理院 原初データ所有: JAXA

地表地震断層

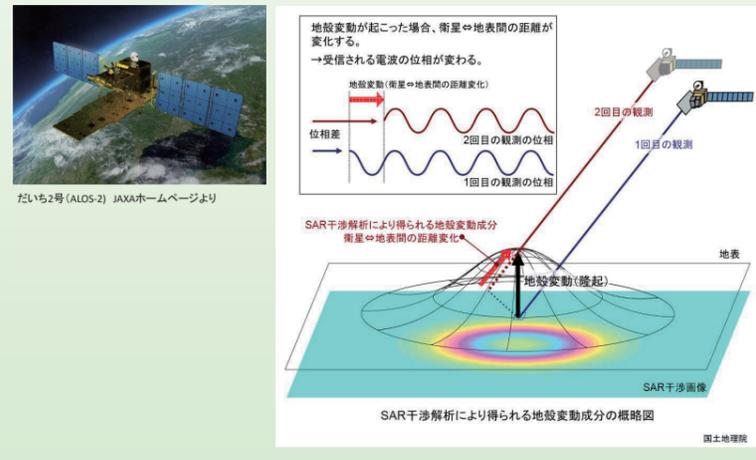


1891年濃尾地震(M8.0)に伴い発生した地表地震断層 Koto, Bunjiro., 1893. On the cause of the great earthquake in central Japan, J. Coll. of Sci. Imp. Univ. Tokyo, 5: 295-353. - Popular Science Monthly Volume 47



2016年熊本地震に伴う地表地震断層。南阿蘇村。国土地理院撮影

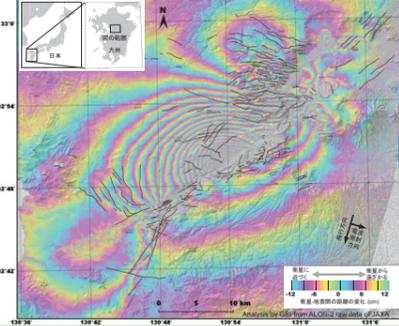
干渉SAR



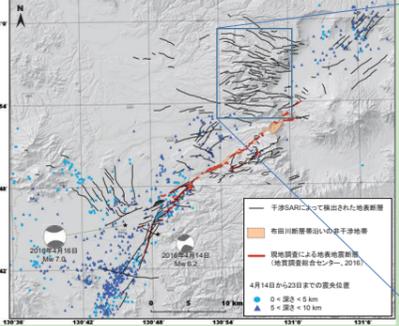
だいち2号(ALOS-2) JAXAホームページより

SAR干渉解析により得られる地表変動成分の概略図 国土地理院

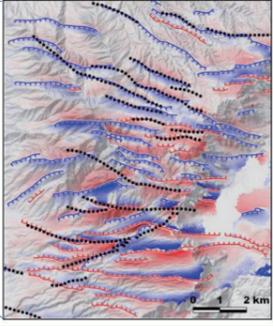
2016年熊本地震



干渉SARで捉えた2016年熊本地震に伴う地表変動。黒実線は変動の不連続線(藤原ほか2016)。



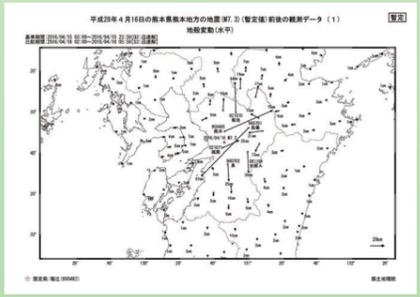
2016年熊本地震における地表変動の不連続線と震源分布(藤原ほか2016)。(左)地表変動の不連続線を抽出(黒実線)。(右)干渉SARから把握した上下変位と従来の手法による活断層の位置。



上下変位
深さ 0m 断層
南落ち地表断層
北落ち地表断層
ハイパスフィルター適用 活断層(鈴木2017)



現地調査で確認された地表変動(宇根ほか2017)。



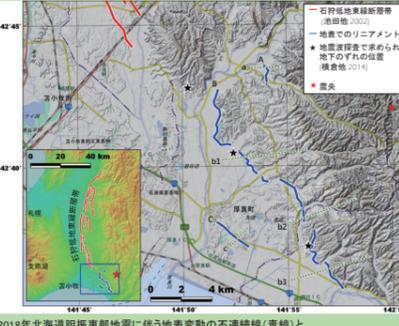
電子基準点により観測された2016年熊本地震に伴う地表変動。国土地理HPより。

2018年大阪府北部の地震

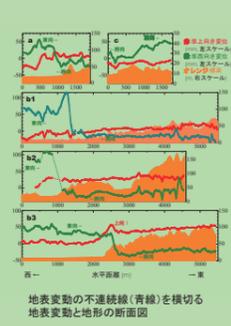


2018年大阪府北部の地震に伴う地表変動の不連続線(赤線)と従来の手法による活断層の位置(藤原ほか2018)。

2018年北海道胆振東部地震



2018年北海道胆振東部地震に伴う地表変動の不連続線(青線)と従来の手法による活断層の位置(藤原ほか2019)。



地表変動の不連続線(青線)を横切る地表変動と地形の断面図