

SAR観測が捉えた2005年パキスタン北部地震の地殻変動(2):SAR画像マッチングと三次元変動マップ

Crustal Deformation of 2005 Northern Pakistan Earthquake Detected by SAR (2) SAR Image Matching and 3D Deformation Map

飛田 幹男 [1]; 西村 卓也 [1]; 小沢 慎三郎 [1]; 藤原 智 [1]

Mikio Tobita[1]; Takuya Nishimura[1]; Shinzaburo Ozawa[1]; Satoshi Fujiwara[1]

[1] 国土地理院

[1] GSI

<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/pakistan/index.html>

1. 概要

2005年10月8日にパキスタンでマグニチュード7.6 (USGS発表)の地震を引き起こした震源断層の位置と広がりを推定するため、欧州宇宙機関のENVISAT衛星が取得した地震前後の合成開口レーダー (ASAR) 画像のピクセル位置を精密に比較し、さらに三次元変動ベクトルを推定したところ、地殻変動の様子が地図上に浮かび上がった。震源断層は、既知の活断層が活動したものであること、及び被害の大きかった地域の多くは地殻変動の大きな場所付近に位置していたことがわかった。ここでは、その結果の概要とともに、技術的背景を紹介する。

2. 地殻変動計測に使用された技術 : SAR強度画像の画像マッチング法

2つの画像の位置合わせ (マッチング) をして残った位置ずれが地殻変動である。もし、位置ずれ量が整数ピクセル (画素) 単位でしか計測できないなら、ピクセル間隔である約5m単位でしか、地殻変動計測ができない。しかし、私達は、二次元の32倍FFTオーバーサンプリングを行うことにより、32分の1ピクセル分解能での画像マッチングを行う。これにより、約10数センチ~数10センチ分解能で、地殻変動計測が可能としている。分解能は、干渉SARより劣るが、大きな地殻変動の計測に適している。

3. SARの画素の並び、視線方向、地殻変動の計測原理

SAR画像の画素の並び方は、角度の違いで画素を配置する写真とは異なる。SAR画像の縦方向 (衛星飛行方向でアジマス方向という) はこれと同様だが、横方向 (レンジ方向または視線方向という) は、衛星から地表までの距離 (レンジ) の長さの順番に画素が配置される。

SAR衛星は上空から斜めに地表までの長さを測って画像化する。画像マッチングによって計測される地殻変動の成分は、衛星視線方向成分と衛星飛行方向の直交2成分である。当初は、南行軌道から計測した視線方向 (LOS方向ともいう) のみの地殻変動情報を提供したが、2006年1月に新たに3成分の計測を行い、次節に示す三次元化を行った。

4. 三次元変動ベクトルマップと考察

北行軌道の西側上空から撮影した地震前後の画像ペア (2005/09/19-10/24, 2005/09/03-11/12) と南行軌道の東側上空から撮影した画像ペア (2005/09/17-10/22) を用いた。各地点で計測した変動4成分を最小二乗法によって合成し、地殻変動3成分 (東、北、上) を推定した。図(a)に三次元変動ベクトルマップを示した。色が上下成分を、赤の矢印が水平成分を表す。黒の太線で示した活断層線は、中田・熊原, 2005, パキスタン北部地震震源地域の活断層 (予察), http://www.fal.co.jp/geog_disaster/20051018_pakistan.html によるものである。赤い星印はUSGSによる2006年1月現在の震源位置である。

地殻変動域は、既知の活断層の北東側で大きく、震源断層は若干の右横ずれ成分を伴った逆断層であることが推察され、図(a)中央から南東に延びるタンダ断層では地震断層上端と活断層の線が非常に良く一致している。

一方、北西側のムザファラバード断層では、変動域が0~3km活断層より西側にはみ出している。図(b)は中活断層に直交する直線 (図(a)の黒線) における上下変動で、0km位置はムザファラバード断層東側分岐に一致させた。この位置での断層の位置は1.5km西側である。当初発表した1成分のみの変動情報では、変動域と活断層が一致していたが、このような違いが生じた背景は図(c)と(d)で説明できる。当初の計測では入射角22.8°の東側から観測した視線方向変動成分のみを用いたが、活断層位置でちょうど変動方向がこれと直交する方向となり変動ゼロと計測され、盲点となっていた。今回、三次元化したことで、このような盲点がなくなり、断層位置がより正確に決まるようになった。

また、地殻変動三次元ベクトル成分が分離されたことで、断層の右横ずれ成分が可視化された。さらに、北側では隆起量より水平成分が卓越していることも判明した。当初報告した「ムザファラバードの北で約6m、バラコット北部で約4mの隆起」、「震源断層が既知の活断層より南東方向へ20km以上の延長している」という分析結果は再確認された。

地表の動きの要因として、地殻変動の他に斜面崩壊があるが、今回の分析では前者だけを計測している。

5. 関連する過去の論文

飛田幹男, 藤原智, 村上亮, 中川弘之, P. A. Rosen (1999): 干渉SARのための高精度画像マッチング, 日本測地学会誌, 第45巻, 297-314.

飛田幹男, 村上亮, 中川弘之, 矢来博司, 藤原智 (2001): SAR 画像マッチングによる有珠山周辺の面的な三次元地殻変動, 変動速度, 体積変化, 国土地理院時報, 第 95 集, 37-48.

