

合成開口レーダー画像マッチングによるパキスタン北部地震の地殻変動図

Deformation map of Pakistan earthquake generated by SAR image matching

国土交通省 国土地理院 飛田幹男・藤原智・加藤敏・仲井博之・藤原みどり・矢来博司・林文

M. Tobita, S. Fujiwara, M. Kato, H. Nakai, M. Fujiwara, H. Yarai, F. Hayashi

Geographical Survey Institute

E-mail: tobita@gsi.go.jp, fujiwara@gsi.go.jp

要旨

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見積るため、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画像を精密に比較したところ、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、ムザファラバード (Muzaffarabad) 断層、及び、タンダ (Tanda) 断層が活動したものであることが判明した。被害の大きかった地域は、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。

1. はじめに

2005年10月8日にパキスタンでマグニチュード7.6の地震が発生した。11月2日における死者の数は7万人を超えている。

この地震を引き起こした震源断層の位置は、主に地震波の解析によって求められていた。また、中田・熊原 (2005) は、過去に地震を起こした活断層、ムザファラバード (Muzaffarabad) 断層及びタンダ (Tanda) 断層が、今回の地震の震源断層となった可能性を指摘していた。しかし、地震後1ヶ月を経過しても、震源断層が地表まで姿を現した地表地震断層は確認されていない。

既知の活断層と震源断層の関係を包含する地震のメカニズムを解明する上で、断層の位置、広がり、地殻変動の分布を知ることは重要である。私達は、人工衛星に搭載された合成開口レーダー (SAR) によって取得された画像を分析し、地震による地殻変動の把握を試みた。

2. 分析方法

SAR 画像を干渉させる技術“干渉 SAR (InSAR)”を適用すると、わずか1cmの地殻変動でもその動きをとらえ、地図のように表示することができる。今回もこの方法を適用し、部分的に良好な干渉画像が得た。しかし、大きな地殻変動の場合には干渉が得られないため、地殻変動が大きな震源断層付近への適用は困難であった。

そこで、飛田他 (1999) が開発し、有珠山噴火 (Tobita et al., 2001; 飛田他, 2001) で成果のあった画像マッチング技術を採用した。画像マッチング技術は、InSAR と同様、地上と衛星を結ぶ視線方向 (Line-of-sight: LOS 方向) の地殻変動を計測する技術ではある。感度が低く、約30cm以上の変位でないと計測できないが、大きな地殻変動には有効であり、断層付近の地殻変動をマッピングすることができた。

使用した SAR データは、ENVISAT が 2005 年 9 月 17 日と 10 月 22 日に取得した SAR の raw データである。

3. 地殻変動

図-1 は、衛星の視線方向の変位量である。衛星は、方位角 103.5 度、高度角 67.22 度の上空から SAR 画像撮影を行ったことから、赤い部分は主に隆起を示していると判断できる。

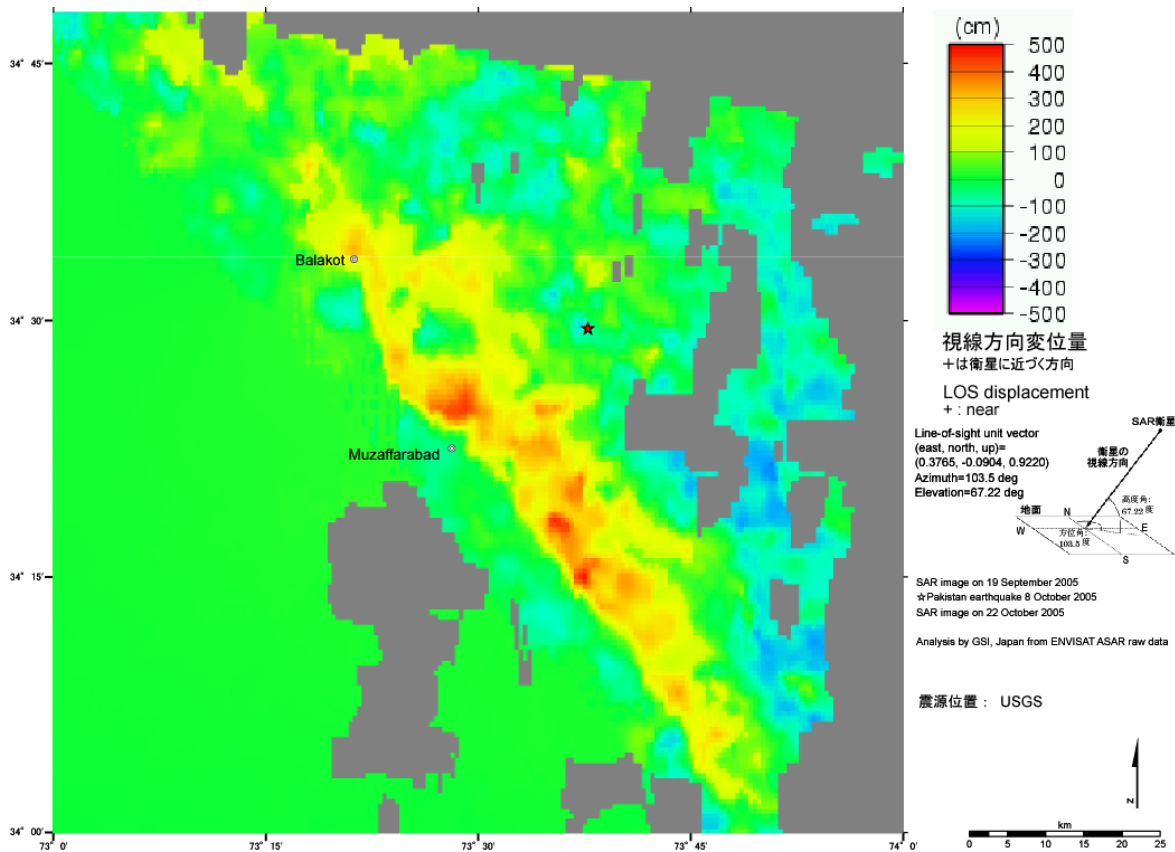


図-1 ENVISAT SAR 画像分析による地殻変動量。衛星視線方向の変位量を表している。

Figure 1. Line-of-sight displacement derived by subpixel offset estimation of ENVISAT SAR images before and after the Pakistan earthquake.

4. 考察

4. 1 震源断層の位置・長さ・走向

八木 (2005, http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/2005Pakistan/)、西村 (2005, Private communication) による北東側に傾き下がる逆断層面を仮定して図-1を見ると、上盤の隆起及びその北東側の沈降を良く表している。

1 m を超える変動のあった領域は、北西から南東へ約 90 km の長さの矩形と見ることができる。その走向は、324 度と計測される。

4. 2 地殻変動量

SAR 画像のマッチングによる地殻変動推定では、約 1 km 四方の平均的な変動量が計測されるた

め、最大変動量は小さく見積もられる性質がある。

この前提で計測した視線方向の変位量は、ムザファラバードの北 5 km の地点で約 4.7m、バラコットの北部（中心部から北 1 km）では 3.4m の衛星に近づく向きである。

西村（2005）による断層モデルの三次元変動ベクトル方向を拘束して、SAR の視線方向変位量から三次元変動ベクトルを推定すると、ムザファラバードで（西、南、上）=（3.8, 6.3, 6.0m）、バラコットで（西、南、上）=（2.7, 4.6, 4.4m）が得られる。このように震源断層の上盤側では、数m の隆起がみられる。

4. 3 活断層との関係

図-2 は、中田・熊原（2005）が 1971 年に撮影されたコロナ衛星写真を再判読して引き直した断層線を図-1 に重ねたものである。

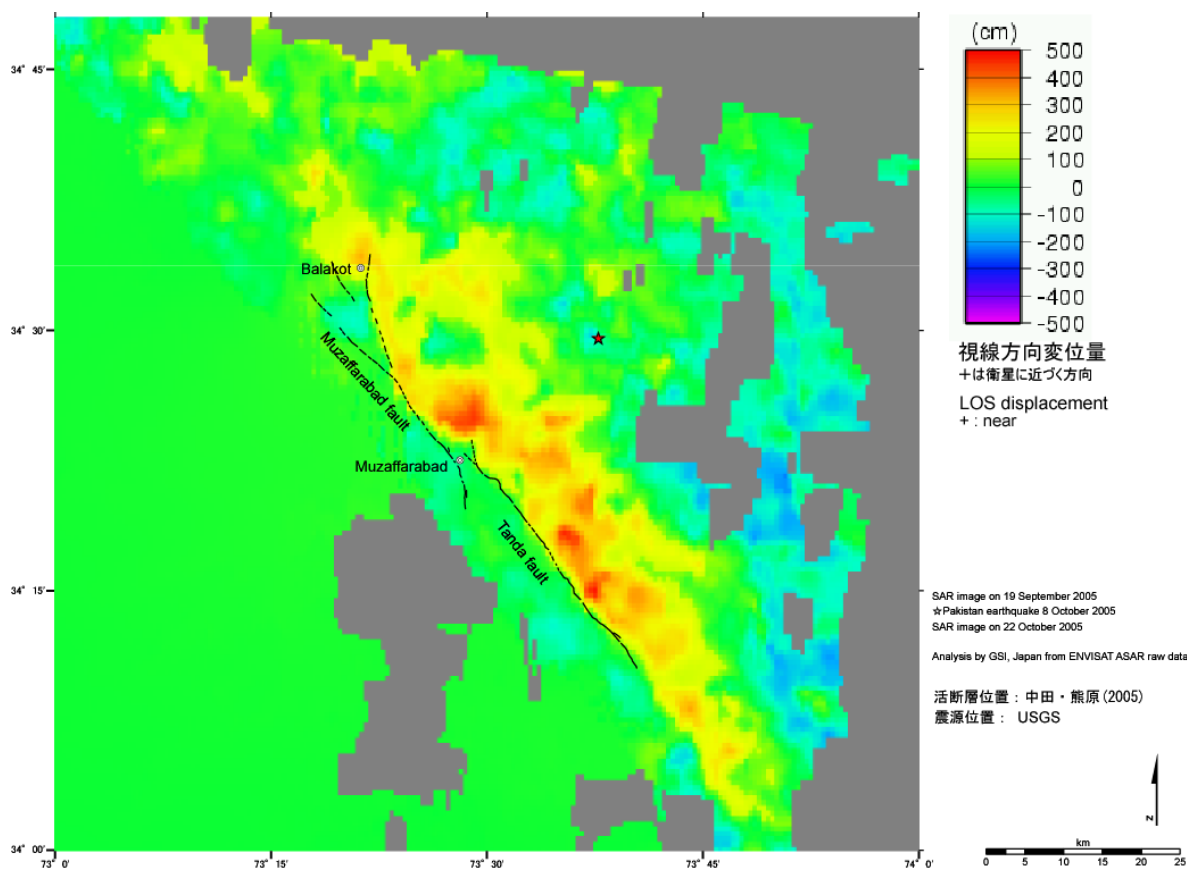


図-2 SAR 画像分析による地殻変動量と中田・熊原（2005）による活断層

Figure 2. SAR Line-of-sight displacement (color) and active fault (black line) from aerial photo interpretation by Nakata and Kumahara (2005)

活断層線の位置は、SAR 画像分析から推定される震源断層の上端の位置と非常に良く一致している。2つの活断層線は、どちらも、その北端付近で Y 字型の分岐を見せているが、今回の地震では、西側の分岐ではなく、東側の分岐が活動したことがわかる。また、Tanda 断層は、南東側に約 22km 延長している可能性が高い。

4. 4 地形との関連

今回の地殻変動は、プレート衝突帯における造山運動の一過程とも考えられ、今回のような地震が繰り返し起こることで、断層の北東側の山地形が形成されてきたと解釈できる。

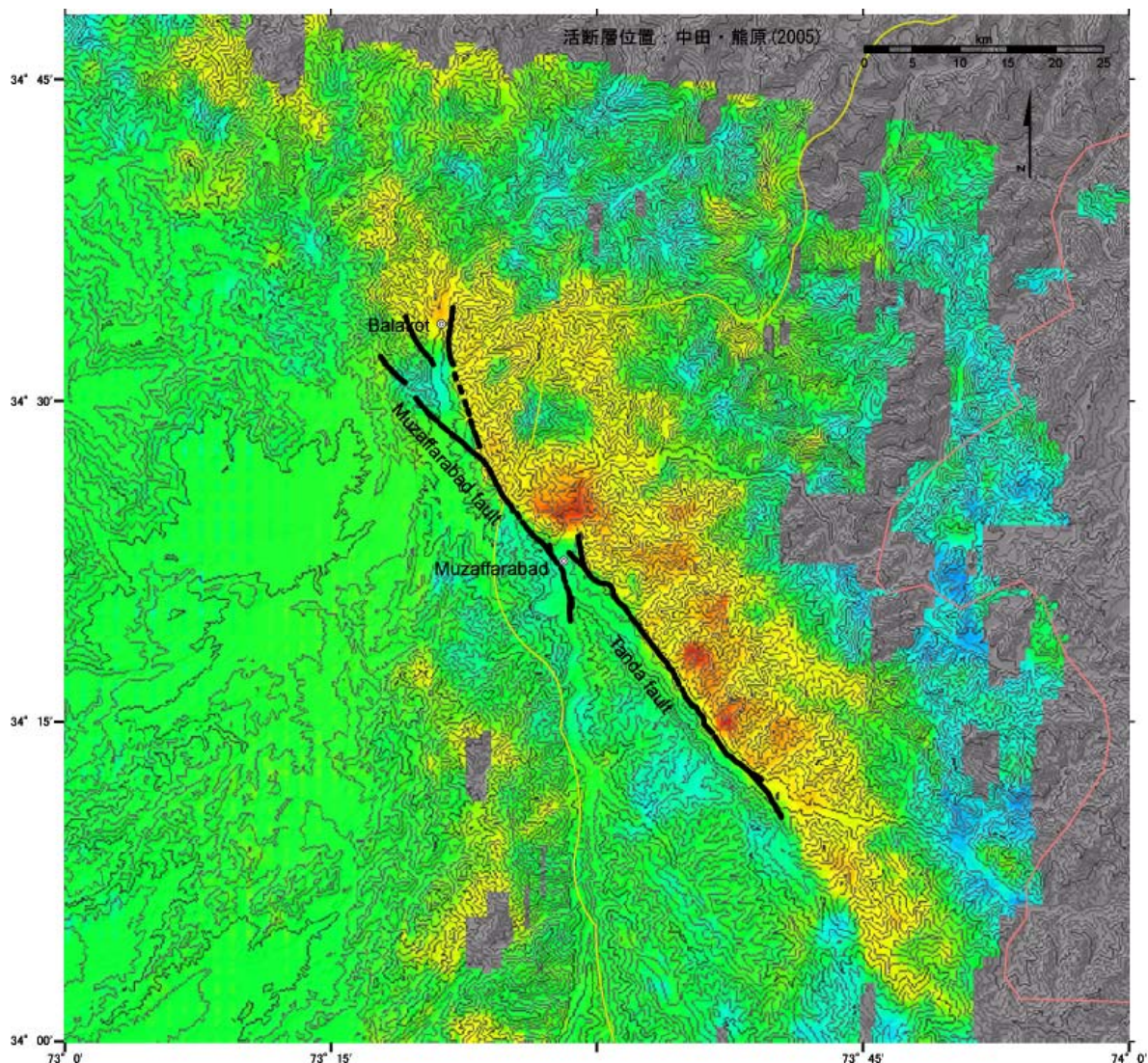


図-3 SAR 画像分析による地殻変動量と SRTM-3 による地形の等高線

Figure 3. SAR Line-of-sight displacement (color) and topography (black contour line) of SRTM-3

4. 5 地震被害との関連

被害の大きく地震動が大きかったと考えられる地域は、断層線上や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。

参考文献

中田 高・熊原康博, 2005, パキスタン北部地震震源地域の活断層 (予察), 日本地理学会「災害対応のページ」 http://www.fal.co.jp/geog_disaster/20051018_pakistan.html (accessed 20 October

2005).

Nakata, T., Tsutsumi, H., Khan, S.H., and Lawrence, R.D., 1991, Active Faults of Pakistan Map Sheets and Inventories. Research Center for Regional Geography, Hiroshima University.

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.

Tobita, M., Murakami Mak, Nakagawa H., Yurai H., Fujiwara S., Rosen P. A. (2001), 3-D surface deformation of the 2000 Usu eruption measured by matching of SAR images, Geophys. Res. Lett. Vol. 28 , No. 22 , 4291-4294.

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.

[→ <http://cais.gsi.go.jp/Research/space/jiho95tb.pdf> PDF ファイル/4279KB]

United States Geological Survey (USGS), 2005, Earthquake hazard program, <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2005/usdyae/> .