

SAR 観測が捉えた 2005 年パキスタン北部地震の地殻変動(1):概要と干渉 SAR

Crustal Deformation of 2005 Northern Pakistan Earthquake Detected by SAR (1) Outline and SAR Interferometry

藤原 智 [1]; 仲井 博之 [1]; 藤原 みどり [1]; 飛田 幹男 [1]; 矢来 博司 [1]

Satoshi Fujiwara[1]; Hiroyuki Nakai[1]; Midori Fujiwara[1]; Mikio Tobita[1]; Hiroshi Yarai[1]

[1] 国土地理院

[1] GSI

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/pakistan/pakistan_happyo1111.html

1. はじめに

2005年10月8日パキスタン北部で M7.6 (USGS) の地震が発生した。報道によれば死者数は9万人、被災者数は400万人という甚大な被害を及ぼした。この地震はヒマラヤ山脈の最西端に近い場所で発生し、インド亜大陸がユーラシア大陸にぶつかるという造山地帯での活動の一環であると推測され、長期にわたって地殻変動の大きな地帯で地震発生の危険度も高い地域である。しかしながら、当該地域には GPS をはじめとする現代的な地殻変動観測が行われておらず、地震波以外の地上の観測では地震の全体像を把握することができていない。また、山岳地域で地すべり等が多数発生したことから、被害の全体像すらなかなか把握できない状況が続き、救助・救援活動も困難を極めることとなった。この地震がどこでどのように断層が動いて発生したのかを知ることは、理学的な観点のもとより、地震発生直後においては地震の被害地域を把握するために防災の観点から極めて重要である。

国土地理院では、人工衛星の SAR データを用いて、パキスタン北部地震の地殻変動を面的に求めた。本講演では、それらの概要と干渉 SAR を用いた地殻変動検出の部分について述べる。

2. SAR による地殻変動検出の概要

人工衛星搭載の SAR (合成開口レーダー) は地殻変動を面的にリモートセンシングによって測定できることから、1990年代以降、強力な地殻変動検出ツールとして使われるようになった。我々は、ESA (ヨーロッパ宇宙機関) の ENVISAT 衛星の SAR データを用いてパキスタン北部地震の地殻変動を面的に求めた。

SAR 衛星は飛翔方向の斜め右下方向を観測しており、南行軌道では地上から見て東南東方向からの観測、北行軌道では地上から見て西南西からの観測となり、両方向からの観測を組み合わせることによって地殻変動を立体的にとらえることができる。

SAR を使用して地殻変動を求めるには干渉 SAR と呼ばれる手法がよく用いられる。本研究においては後述するように干渉 SAR だけでは当該地域全体の地殻変動を求めることができなかった。したがって、SAR 画像のマッチング技術を用いることで地殻変動の全体像を明らかにすることができた。

使用したデータは、南行軌道で 2005年9月17日~10月22日、北行軌道で 2005年9月19日~10月24日及び 2005年9月3日~11月12日の組み合わせである。地殻変動は全長約 90km の帯状に北西 - 南東方向つながっており、既存の活断層に沿っていることなどがわかった。

3. 干渉 SAR

干渉 SAR は数 cm の精度で地表変位を求めることができ、その水平方向空間分解能は 100m 程度である。ENVISAT は C バンド (波長 5.6cm) と呼ばれる波長の短いレーダー波を用いているために、干渉 SAR を用いた地殻変動検出には制約が生じる。制約とは第一に、干渉 SAR は衛星 - 地表間の衛星視線方向に沿った往復経路長の変化の位相を測定しており、地表変位が半波長 (2.8cm) ごとで 2π 変化し元に戻る。したがって、地表変位の水平方向の gradient が大きくなり、隣同士の地表画素 (ピクセル) 間の変位量の差が 2π を超えてしまうと計測できなくなる。つまり、断層近傍のように変動量の gradient が非常に大きくなる地域では計測できない。第二に、C バンドのレーダー波は植生を透過できないため、植生が密な地域では干渉が得られなくなり、結果として変動が得られない。パキスタン北部地震の震源地域周辺では、断層の上板側での変位が非常に大きかったために、断層上板側周辺では変位の gradient が大きすぎて地表変位の計測がほとんどできなかった。また、当該地域では植生は日本ほど密ではないため、植生の影響は小さかったものの、松の密生している地域等では干渉が得られていない。

南行軌道と北行軌道の二方向からの干渉 SAR データを合成し、上下方向と東西方向の二方向の地殻変動成分を分離・検出した (図参照)。変動の大きい断層上板側では干渉が得られなかったが、断層下板側では、既存の活断層に沿い、平行する形で地殻変動が存在することがわかった。上下成分の変位量は最大約 30cm 沈降、東向き成分の変位量は最大約 1m である。地殻変動の大きい地域は北西 - 南東方向に約 90km 延びており、既存の活断層の位置に今回の地震断層の浅い側の上端近くがあるとすれば説明ができる。

なお、JAXA が 1月24日に打ち上げた陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) は波長の長い L バンド (波長 23.5cm) を用いており、変動量の点でも植生への透過性の点でも C バンドをしのいでおり、干渉 SAR での地表変位検出に大いに活用できるであろう。

