

SARによる地殻変動解析で明らかにされた2023年トルコの地震の断層破壊の詳細 Detailed fault ruptures for the 2023 Turkey earthquake revealed by SAR-based crustal deformation analysis

#小林 知勝, 宗包 浩志, 桑原 將旗, 古居 晴菜, 石本 正芳 (国土地理院)

キーワード : SAR, ALOS-2, 地殻変動, 断層モデル

はじめに

2023年2月6日01時17分(UTC), トルコでMw7.7の地震が発生した. その約9時間後には, 本震の北で, Mw7.6の地震が発生した. 本発表では, ALOS-2衛星の緊急観測データによるSAR干渉解析で得られた両地震の地殻変動の詳細とそれらから推定した断層モデルについて報告する.

データ・解析方法

本研究では, Lバンド合成開口レーダー衛星であるALOS-2のデータを用いた. ALOS-2はScanSARと呼ばれる350km幅を一度に観測できるモードを搭載している. 本解析では, 軌道番号path77(南行軌道・右観測)及びpath184(北向軌道・右観測)のScanSARモード観測によるデータの干渉処理により, 広域の地殻変動を包括的に調べた. 地殻変動の計測には, 標準的なSAR干渉処理に加えて, 南北方向の変動を検出するために, MAI法も適用した. 最終的には, これら解析により得られた変動を用いて, 3方向成分(東西, 南北, 上下)の変動を算出した.

さらに, 得られた変動データを用いて, 断層面上の滑り分布も推定した. 後述するように, 得られた変動場からは, 断層破壊に相当するとみられる変位の不連続や急変帯が検出された. これらの情報を基にして, 走向方向に4km, 深さ方向に2kmのサイズの小断層で構成される断層面を設定し, 最小二乗法により滑り方向及び滑り量を推定した. 本解析では, 上下動成分に大きな地殻変動が見られなかったことや地震波解析によるメカニズムの結果を考慮して, 垂直の断層面を仮定した. 各断層の滑りは空間上で滑らかに分布すると仮定して, Laplacian Operatorによるスムージング処理の拘束をかけた. 滑らかさを制御する超パラメータはABICにより決定した.

地殻変動と断層モデルの特徴

東アナトリア断層の西部は, 南側及び北側に断層帯が分岐している. 解析の結果, Mw7.7及びMw7.6の地震に伴う地殻変動はそれぞれ, 南側及び北側の分岐断層帯に沿って分布している. 南側の分岐断層沿いには, 断層運動に相当するとみられる変位の不連続が300km弱の長さにわたり確認できる. 不連続は, 震源付近から東では走向約N60°Eの方向に伸びる一方, 西側ではTürkoğlu付近でその走向を南西方向に変えてAntakya付近で終了している. この分岐断層帯は幾つかの断層セグメントで構成されていることが知られているが, 変位不連続の位置から, Erkenekセグメント, Pazarcıkセグメント, Amanosセグメントが破壊されたと推察される. これらセグメントの全てで水平変位が卓越しており, 左横ずれ運動と整合的である. 最大約4mの変位が確認された. なお, 本震付近では, Erkenekセグメントから南に派生してNarlıセグメントに向かう変位の急変帯が認められる. 一方, Mw7.6の地震を引き起こしたと推定される北側の分岐断層帯では東西約100kmにわたり変位の不連続が確認でき, それらも水平成分が卓越し, 左横ずれ運動と整合的である. 最大約5mの変位が確認された. この変位不連続は, 主にÇardakセグメントに沿ってほぼ一直線に見られるが, 東端及び西端でその走向を変えている. Çardakセグメントの東延長部にはSürgüセグメントがPazarcıkセグメントまで伸びていることが知られているが, 変位の不連続は走向を北東に向きを変えSürgüセグメントの西端の一部と重なるも, それ以降はSürgüセグメント上には進まずそのまま北東方向にほぼ一直線に伸びる. 今回の地震でSürgüセグメント上での破壊の進展を示唆する地殻変動は特段認められない. 近傍には北東方向に伸びるMalatya断層があるがこの断層上には不連続は認められない. 西端では, 走向が南西に変わるがその延長上にあるSavrunセグメントにまでは明瞭な不連続は認められない. なお, 上記両断層帯から距離が離れたKarataşセグメントにおいても約70kmにわたり数cm程度の変位の不連続が認められる.

滑り分布の結果では, 全ての断層面上でほぼ純粋な左横ずれの断層運動が推定された. 断層面上の滑りは, 両地震の断層とも概ね5km以浅に集中している. 東アナトリア断層本体では10m前後の滑り量が推定されている一方, Çardakセグメントでは10mを超える滑りが推定されている. 本発表では, さらに解析を進めた最新のすべり分布を報告する予定である.

謝辞：これらのデータは、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ（地震WG）を通じて、（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）から提供を受けました。ここで使用しただいち2号の原初データの所有権は、JAXAにあります。

Detailed fault ruptures for the 2023 Turkey earthquake revealed by SAR-based crustal deformation analysis

Tomokazu Kobayashi, Hiroshi Munekane, Masaki Kuwahara, Haruna Furui, Masayoshi Ishimoto

Keywords: SAR, ALOS-2, crustal deformation, fault model,

Introduction

On February 6, 2023 at 01:17 UTC, a Mw7.7 earthquake occurred in Turkey. About 9 hours later, a Mw7.6 earthquake occurred in the north of the main shock. In this presentation, we will report the details of the crustal deformation of both earthquakes obtained by SAR interferometry (InSAR) using emergency observation data from the ALOS-2 satellite, and the fault model inferred from the crustal deformation data.

Data and method

Here we used ALOS-2 satellite data. In this analysis, crustal deformation over a wide area was comprehensively investigated by InSAR using ScanSAR mode that can observe a 350 km wide area at a time. In addition to a standard InSAR method, a MAI method was also applied to detect displacement of north-south component. Finally, 3D displacements were estimated using these data.

We further estimated slip distribution on fault planes. As described below, we found displacement discontinuities across which the orientation of ground motion is opposite. Based on the discontinuities, we set fault planes consisting of small patches, and estimated the slip by a least squares method. We incorporated a spatial smoothing processing using a Laplacian operator. The hyperparameters controlling the smoothing were determined by ABIC.

SAR-derived crustal deformation and fault model

We successfully detected large crustal deformation for both the events. The crustal deformations associated with the Mw7.7 and Mw7.6 events were distributed around the southern and northern strands of the western part of the East Anatolian Fault (EAF), respectively. Displacement discontinuities can be observed with a length of approximately 300 km along the southern branch fault zone. The discontinuity extends from the epicentral area to the east with about N60°E in strike, while on the western side it changes its strike near Türkoğlu and extends southwestward, terminating near Antakya. The locations of the displacement discontinuities suggest that the Erkenek, Pazarcık, and Amanos fault segments which are comprised of the EAF were ruptured. Horizontal displacement is predominant in all of these segments, consistent with left lateral fault motion. Displacements of up to approximately 4 m were observed. A significant displacement boundary that branches southward from the Erkenek segment to the Narlı segment was recognized near the epicenter of the Mw7.7 event.

On the other hand, along the northern strand, a displacement discontinuity was observed over a distance of about 100 km from east to west. Horizontal component is dominant and consistent with a left lateral motion. Displacements of up to approximately 5 m were observed. The displacement discontinuities are located just along the Çardak segment. At the eastern end, the strike changes to the northeast. The displacement discontinuity overlaps a portion of the western end of the Sürgü segment which is in the eastern extension of the Çardak segment, but does not continue on the Sürgü segment thereafter, extending in a northeast direction. At the western end of the Çardak segment, the strike changes to the southwest, but there is no clear discontinuity up to the Savrun segment that is the western extension of the Çardak segment. It is further noted that a displacement discontinuity of a few centimeters with a length of about 70 km is also observed in the Karataş segment, which is distant from the above two fault zones.

The obtained slip distribution indicates almost pure left lateral displacement on all fault planes. Slips on the fault planes are generally concentrated at depths shallower than 5 km. Slip of about 10 m is estimated for the southern strand, while slip of more than 10 m is estimated for the northern strand. In this presentation, we will report the latest model based on more elaborated analysis.

Acknowledgements: ALOS-2 data were provided from the Earthquake Working Group under a

cooperative research contract with JAXA. The ownership of ALOS-2 data belongs to JAXA.