

博士学位論文審査要旨

2020年7月14日

論文題目： Active Tectonics and Seismic Hazard Assessment of Afghanistan and Slip-rate Estimation of the Chaman Fault Based on Cosmogenic ^{10}Be Dating

(アフガニスタンの活構造と地震災害評価および宇宙線生成核種 ^{10}Be によるチャマン断層の変位速度の見積もり)

学位申請者： SHNIZAI ZAKERIA

審査委員：

主査： 理工学研究科

教授 堤 浩之

副査： 理工学研究科

教授 林田 明

副査： 京都大学防災研究所

准教授 松四 雄騎

要 旨：

アフガニスタンはユーラシアプレートとインドプレートの収束境界の西縁に位置し、地殻変動や地震活動が活発である。本研究では、アフガニスタンの活構造（活断層・活褶曲）の分布を明らかにし、最も大規模な活断層であるチャマン断層の横ずれ変位速度を宇宙線生成核種年代測定によって算出した。さらにこれらの情報を総合して、アフガニスタン全土及び首都カブールの地震災害を評価した。まず、種々の立体視可能な衛星画像や地形標高データから作成した地形陰影図に基づいて、アフガニスタン全土の活構造分布図とカタログを作成した。これを地質構造や地震活動データと合わせて解析し、アフガニスタンを4つの地震地体構造区に区分した。カブール盆地の南部でチャマン断層により左横ずれ変位している扇状地堆積物に対して宇宙線生成核種 ^{10}Be 年代測定を行い、後期更新世の横ずれ変位速度を約 4.6 mm/yr と見積もった。この変位速度は、パキスタン領内で同様な手法により得られた値よりも有意に小さく、断層の北端に向かって変位速度が小さくなっていることや並走する断層に変位が分配されていることが判明した。カブール盆地はその周囲を活断層に限られており、地震災害に対する脆弱性が高い。盆地西縁に位置するチャマン断層上の最後の大地震は1505年の地震 (M7.3) であり、その時に解放された地殻の歪みに匹敵する歪みを過去500年間で蓄積していることが明らかとなった。

以上のように、本論文は、アフガニスタンの活断層の分布・変位様式・変位速度に関する新たなデータを提示し、同国の地震災害やテクトニクスを理解を飛躍的に進めた研究であり、これらの成果はこの分野の発展に多大なる貢献をなすものである。よって本論文は、博士(理学)(同志社大学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2020年7月14日

論文題目： **Active Tectonics and Seismic Hazard Assessment of Afghanistan and Slip-rate Estimation of the Chaman Fault Based on Cosmogenic ^{10}Be Dating**

(アフガニスタンの活構造と地震災害評価および宇宙線生成核種 ^{10}Be によるチャマン断層の変位速度の見積もり)

学位申請者： SHNIZAI ZAKERIA

審査委員：

主査： 理工学研究科	教授 堤 浩之
副査： 理工学研究科	教授 林田 明
副査： 京都大学防災研究所	准教授 松四 雄騎

要 旨：

本論文提出者は、理工学研究科博士課程（後期）に在学中である。本論文の主たる内容は、*Journal of Seismology*, Vol. 24, <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09933-4> に掲載され、またハリス理化学研究報告, Vol. 61 に掲載予定であり、十分な評価を受けている。

2020年7月7日15時から約1時間半にわたり学術講演会が開催され、種々の質疑・討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。講演会終了後、審査委員により学位論文に関連した諸問題に関して口頭試問を実施した結果、十分な学力を確認できた。提出者は、英語による論文発表・口頭発表を行っており、十分な語学能力を有すると認められる。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： Active Tectonics and Seismic Hazard Assessment of Afghanistan and Slip-rate Estimation of the Chaman Fault Based on Cosmogenic ^{10}Be Dating
(アフガニスタンの活構造と地震災害評価および宇宙線生成核種 ^{10}Be によるチャマン断層の変位速度の見積もり)

氏名： SHNIZAI ZAKERIA

要旨：

This dissertation focuses on the active tectonics of Afghanistan, slip-rate estimation of the Chaman fault and assessing seismic hazard in the Kabul basin. Afghanistan is a tectonically complex zone developed as a result of the collision between the Eurasian plate and the Indian plate to the southeast and the Arabian plate to the south. For seismic hazard mitigation, there is no large-scale active fault map in Afghanistan. I, therefore, mapped active and presumed active faults mainly based on interpretation of 1-arcsecond SRTM anaglyph images. The map reveals that there are significant active faults across the country. Based on the available data and geomorphic criteria, twenty-two faults are considered seismically active. The result from the mapping represents that three dominant types of structures (left-lateral strike-slip, right-lateral strike-slip, and thrust faults) characterized the interior of Afghanistan. Then the map was combined with earthquake catalog to interpret the seismic hazard and define earthquake sources based on focal mechanisms and distribution of earthquakes. To better understand of seismic hazard, the dissertation outlines regions with similar neotectonic constraints and observations of type and age of faults that generate background seismicity. Four seismic source zones were delineated; 1) east-northeastern; 2) Afghanistan-North Pamir; 3) Northern Afghanistan platform; and 4) middle and south-western Afghanistan. The east-northeastern seismic zone is the most seismically active and has more crustal earthquakes. This zone is cut by large active faults, and Chaman fault is the most significant fault that produced five historical surface ruptures.

I report the first late Pleistocene slip rate of the northern Chaman fault in Afghanistan based on ^{10}Be dating of offset alluvial fans surfaces. Field mapping complemented with CORONA and ALOS satellite images, shaded relief and topographic data allows accurate observation of piercing points across the fault zones at two displaced alluvial fans (Ghat Bandakul and Azadkhail). ^{10}Be TCN dating of well-embedded sandstone boulders and cobbles are used to constrain the age of offset fans. At the Ghat Bandakul site 165 ± 15 m and 235 ± 24 m offset alluvial fan, for which ^{10}Be TCN model ages average 46.9 ± 3.5 kyr and 66.6 ± 4.9 kyr, respectively, yield a slip rate of 3.5 ± 0.01 mm/yr. At the Azadkhail site, the ^{10}Be TCN ages from offset terraces attest to the complex processes involved in sediment transport and deposition. There, two offsets terraces were identified. The 500 ± 50 m offset with the 111.2 ± 10.5 kyr age, a slip rate of 4.5 ± 0.01 mm/yr was obtained. Combining the 800 ± 70 m left-lateral offset matching with an average age of 176.8 ± 17.1 kyr for the fan yields a geomorphic slip-rate of 4.6 ± 0.1 mm/yr. These slip rates are inconsistent with the geologically, geomorphologically, and short-time defined slip rates along the southern Chaman fault. The obtained slip rate (4.6 mm/yr) is in close agreement with a post-seismic slip rate of ~ 8 mm/yr. The result shows a clear trend of decreasing fault slip rate with increasing distance from start to the northeastern end of the fault. The observations suggest that the southern portion of the fault accommodates the majority of the fault-parallel component of relative motion between the Indian and Eurasian plate. The lower slip rate of the fault in Afghanistan may be explained by the transfer of the left-lateral shear onto Gardez and Moku

faults that splay northward from the Chaman fault.

The northern extension of the Chaman fault is the Paghman fault located in the Kabul basin. The Kabul basin is the home of the economic and political centers of Afghanistan. The basin is bounded by large active faults, which have a high risk of destructive earthquakes. However, little is known for the location, length, and slip rate of these active faults that are essential for seismic hazard analyses. I mapped the active faults in and around the Kabul basin based on the interpretation of high-resolution stereo-paired satellite images and field observations. The left-lateral Paghman fault and northern Chaman fault on the western margin of the basin and the right-lateral Sarobi fault on the northeastern margin of the basin show geomorphic evidence for late Quaternary activity. Based on their lengths, these faults may be capable of producing earthquakes as large as M_w 7.8. Historical earthquake catalogs suggest that the northern Chaman fault last ruptured during the 1505 M 7.3 earthquake. The fault with a slip rate of ~ 4.6 mm/yr has accumulated enough elastic strain to produce a large inland earthquake close to the densely populated capital city of the country.