

令和 2 年 4 月 28 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02032

研究課題名(和文) アフガニスタンの活断層分布図の作成と首都カブールの地震危険度評価

研究課題名(英文) Preparation of active fault map of Afghanistan and seismic hazard estimation of Kabul

研究代表者

堤 浩之 (Tsutsumi, Hiroyuki)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60284428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,400,000円

研究成果の概要(和文)：実体視可能な衛星画像や地形陰影図の判読により、ヒマラヤ衝突帯西縁に位置するアフガニスタンの活断層分布図とカタログを作成した。それと既存の地質・地球物理データを組み合わせて、アフガニスタンの地体構造区を提案した。さらに、断層変位した河成段丘面の宇宙線生成核種年代測定から、長大な左横ずれ断層であるチャマン断層のカブール盆地西縁での変位速度を4-5mm/yrと算出した。また最後の大地震から500年以上が経過しているカブール近傍の活断層が、M7以上の大地震を発生させる可能性が高いことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、アフガニスタンの活断層や地震テクトニクスに関する国際的にみても初めての実証的な研究である。本研究で地形の実体視に基づく活断層図を初めて作成し、今後の地球科学研究の基礎資料を提供できた。またチャマン断層の変位速度が北端へ向かって小さくなることが判明した。またカブール周辺の活断層が大地震を発生させる可能性のある活断層であることが明らかとなり、今後の地震災害軽減の基礎資料を提供した。また本研究を通して、アフガニスタンの若手研究者に我が国の活断層研究の技術移転を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：Based on the interpretation of 3D satellite images and shaded relief maps, we prepared a map and catalog of active faults of Afghanistan located west of the Himalayan collision zone. We then proposed active tectonic divisions of the country by integrating data on active faults, geology, and geophysics. We estimated a left-lateral slip rate of the Chaman fault near Kabul as 4-5 mm/yr based on the ages of offset fluvial terraces by cosmogenic nuclide dating. We propose that the faults surrounding the Kabul basin are capable of producing earthquakes higher than M7.

研究分野：変動地形学

キーワード：アフガニスタン カブール盆地 活断層 チャマン断層 衛星画像 変位速度 宇宙線生成核種年代測定 地震災害

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インドプレートのユーラシアプレートへの衝突に伴い、ヒマラヤ山脈とその周辺では激しい地殻変動が起こっている。ヒマラヤ山脈とその南縁地域は、大陸プレート同士の衝突帯の模式地として多くの研究が行われてきた。それに対して、衝突帯の東西両縁のトランスフォーム型プレート境界についての研究は格段に少ない。トランスフォーム型境界をなすのは、長さが約 1000km に達するミャンマーのザガイン断層 (東縁) やパキスタン・アフガニスタンのチャマン断層 (西縁) であり、地殻変動や地震活動はヒマラヤ前縁と同様に非常に活発である。しかしながら、研究対象地域の治安や政治が不安定であったため、これまでに十分な研究が行われてこなかった。

アフガニスタンはヒマラヤ衝突帯の西部に位置し、活断層が密に発達する。その中でも、延長距離が長く活動度が高いのは、左ずれのチャマン断層と右ずれのハリラッド断層である。チャマン断層は、長さが 850km の地球上で最大規模の横ずれ断層のひとつである。この断層については、その南部の約 300km の区間が位置するパキスタン領内でいくつかの調査が行われてきた。Nakata et al. (1991) や Lawrence et al. (1992) により、チャマン断層の地表トレースの位置や変位地形の概略が明らかとなっている。Ul-Hadi et al. (2013) は、パキスタン領内で宇宙線生成核種を用いた年代測定により扇状地の形成年代を見積もり、チャマン断層の左ずれ変位速度を $33\pm 3\text{mm/yr}$ と見積もった。この変位速度は、サンアンドレアス断層の変位速度に匹敵し、チャマン断層が地球上で最も活動的な断層であることを示している。

アフガニスタンでは、地球科学の基礎的研究が極めて少ない。活断層や地震に関しても同様であり、アフガニスタン領内を約 500km にわたって延びるチャマン断層についてもほとんど研究されていない。アフガニスタンの活断層については、USGS (アメリカ合衆国地質調査所) が USAID (アメリカ合衆国国際開発庁) の資金で全土の活断層図を作成している (Ruleman et al., 2007)。ただしこの図は、Landsat 画像やデジタル標高データから作成された陰影図の解析によるものであり、通常行われる空中写真や衛星画像の実体視によるものではない。組織地形と変動地形の判別や微細な変動地形の認定には、実体視が必須である。チャマン断層に沿っては、1892 年に Ms6.5 の地震がパキスタンとアフガニスタンの国境付近で発生し、長さ約 60km の地震断層が確認されている (Lawrence and Yeats, 1979)。1505 年にはカブール盆地の西縁で Ms7.3 の地震が発生し、チャマン断層に沿って長さ 40km 以上の地震断層が出現したとされている。チャマン断層の変位速度を仮に 20mm/yr と見積もると、1505 年以降にカブール地域のチャマン断層に沿って約 10m の左横ずれに匹敵する歪みが既に蓄積されていることになる。その歪みが単独の地震で解放されるならば、発生する地震の規模は M8 クラスになる可能性がある。乾燥地域の建物は日干しレンガを積み上げただけの簡単なものが多く、中～大規模地震のたびに多くの犠牲者が出てきた (例えば、1990 年イラン Rubbar-Tarom 地震 (M7.7) で 4 万人、2003 年イラン Bam 地震 (Mw6.6) で 4.3 万人)。アフガニスタンの政治経済の中心である首都カブール (人口約 400 万人) 周辺で大地震が再来する可能性は高いが、長引く内戦と政治の混乱のために地震災害への脆弱性は非常に高く、早急な調査と対策が必要である。本研究は、アフガニスタンの活断層や地震テクトニクスに関する国際的にみても初めての実証的な研究である。

本研究は、変動地形学や活断層研究における最後の未調査地域のひとつであるアフガニスタンを研究対象とする。本研究で明らかとなる活断層の分布や変位速度に関するデータは国際的にも先駆的なものであり、ヒマラヤ衝突帯西縁のテクトニクスの定量的な理解を大きく進めることにつながる。またアフガニスタンは、長引く内戦のために教育・研究環境が著しく悪化し、国の復興に資する人的資源が著しく不足している。地震国であるアフガニスタンに対し、我が国の活断層研究の技術移転を行うことは重要な国際貢献になる。

2. 研究の目的

本研究では、これまで調査がほとんど行われていないアフガニスタンの活断層の分布・変位速度を地形学的手法で明らかにする。その上で、ヒマラヤ衝突帯西縁のテクトニクスを定量的に議論し、首都カブールの地震災害軽減の基礎資料を提供する。具体的には、実体視可能な衛星画像や地形陰影図の判読により、アフガニスタン全土の活断層分布図とカタログを作成する。さらに、チャマン断層について、変位基準となる地形の形成年代を宇宙線生成核種を用いた年代測定で明らかにし、横ずれ変位速度を算出する。また最後の大地震から 500 年以上が経過している首都カブール近傍の活断層や地形・地質の情報を総合的に解析して、カブールの地震災害を議論する。

3. 研究の方法

日本人地形学者 4 名とアフガニスタンからの留学生からなる以下のような研究チームを組織し、室内解析・現地調査・試料分析・論文作成を行った。

研究代表者：堤 浩之 (同志社大学理工学部・教授)

研究分担者：松四雄騎 (京都大学防災研究所・准教授)

連携研究者：中田 高 (広島大学名誉教授)

連携研究者：熊原康博 (広島大学大学院人間社会科学研究科・准教授)

研究協力者：Zakeria SHNIZAI (同志社大学大学院理工学研究科・博士後期課程)

まず実体視可能な衛星画像や地形陰影図の判読により、アフガニスタン全土の活断層分布図とカタログを作成した。カブール盆地西縁のチャマン断層については、ALOS (Advanced Land Observing Satellite) の PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) の前方

視と後方視の画像からアナグリフ画像を作成して判読した。アフガニスタン全域については、SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) の1秒メッシュの標高データから作成した実体視可能な地形陰影図を判読した。国土地理院から刊行されている活断層図の判読基準に従い、「活断層」と「推定活断層」を認定した(図1)。

次に、チャマン断層について、変位基準となる地形の形成年代を宇宙線生成核種年代測定で明らかにし、変位速度を算出した。当初は、堤とShnizaiが渡航し、現地調査や岩石試料のサンプリングを行う予定であった。しかしアフガニスタンの治安が悪化し、外国人の渡航は困難となった。そのため、2017年度と2018年度にShnizaiのみが渡航し、治安が比較的安定しているカブール盆地西縁のチャマン断層の地形調査と岩石試料のサンプリングを行った。岩石試料の系統的なサンプリングは、2地点の多段化した扇状地について行った。当初はアフガニスタン南東部でも調査を行う予定であったが、治安の悪化により現地調査を断念した。得られた岩石試料の前処理や分析は、松四の指導の下でShnizaiが行った。試料の前処理は主に京都大学防災研究所で、測定は東京大学タンデム加速器研究施設にて行った。

これらの作業と並行して、アフガニスタンの地形・地質・地殻構造・地震活動などに関する既存の研究成果を網羅的に収集し、作成した活断層図をこれらのデータと絡めて解析した。カブール盆地については、詳細な地形分類図・活断層分布図を作成した。

4. 研究成果

研究成果は以下の3つに大別でき、それぞれに対して英文論文を作成した。それらは、(1)アフガニスタン全土の活断層図の作成と地質構造や地震活動を考慮した地体構造区分の検討、(2)横ずれ変位した河成段丘崖の横ずれ変位量と段丘面の宇宙線生成核種(^{10}Be)年代測定によるチャマン断層北部の横ずれ変位速度の算出、(3)カブール盆地周辺の活断層・地形・歴史地震データに基づく地震災害に関する検討。

(1)に関しては、ALOS画像やSRTMデジタル標高データから立体視可能なアナグリフ画像をアフガニスタン全域について整備し、その判読によりGIS上で断層分布図を作成した。活断層の分布や変位様式を記述し、地質構造・地震活動・歴史地震データを組み合わせてアフガニスタンの地震テクトニクスを解析した論文を作成し、国際誌に投稿中である。

(2)2017年度と2018年度に、複数の河岸段丘面が左横ずれしているカブール南方の2地点において段丘礫層の採取を行った。2019年度には、これらの試料の宇宙線生成核種(^{10}Be)年代測定を完了した。得られた年代と現地での地形調査の結果を組み合わせるとチャマン断層北部の左横ずれ変位速度を見積もったところ、4-5mm/yrの第四紀後期の変位速度が得られた。この値は、パキスタン領内で得られた値よりも有意に小さい。この原因として、チャマン断層の変位速度が北端に向かって小さくなることや北に向かって分岐する断層に右横ずれ変位が分配されているなどの原因が考えられる。研究成果をまとめ、国際誌に投稿中である。

(3)首都カブールを含むカブール盆地は、アフガニスタンの政治経済の中心である。しかしながら、この地域の地震災害に関する情報はほとんどなく、地震災害への脆弱性は非常に高い。盆地の東西両縁を限る活断層や歴史地震、地形・地質の情報をまとめ、この地域の地震災害について総合的に論じた論文を作成した。この論文は「同志社大学ハリス理化学研究報告」誌にすでに受理され、2020年度中に掲載予定である。

論文の投稿に先立ち、日本地球惑星科学連合や日本活断層学会などの国内学会、およびAOGSやHokudan International Symposium on Active Faultingなどの国際学会で成果を公表し、多くの研究者と議論する機会を持った。

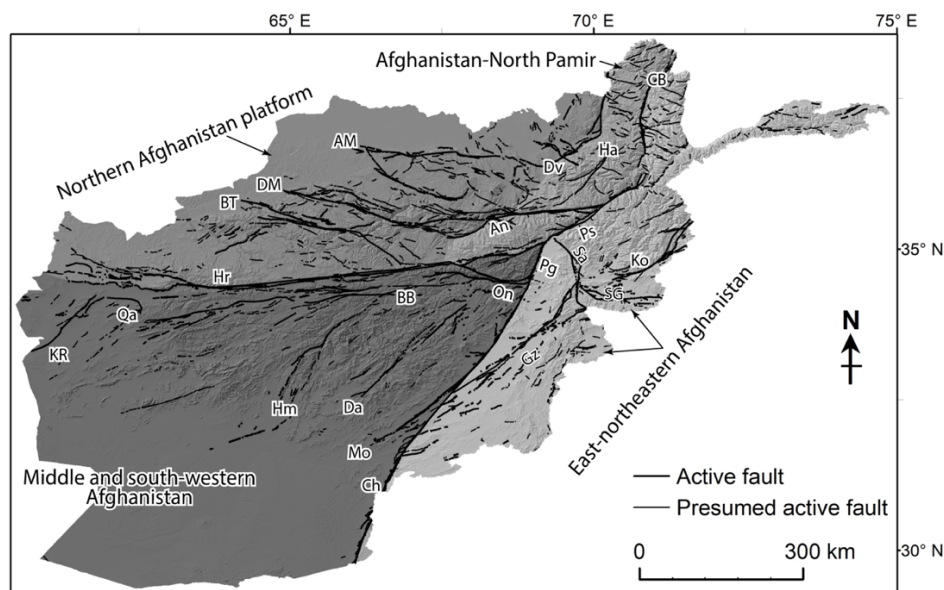


図1 アフガニスタンの活断層分布図と活構造区

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Zakeria Shnizai ands Hiroyuki Tsutsumi	4. 巻 61
2. 論文標題 Active faults and seismic hazard in the Kabul basin, Afghanistan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Harris Science Review of Doshisha University	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shnizai, Z., Matsushi, Y., and Tsutsumi, H.
2. 発表標題 Slip rate of the Chaman fault: estimates based on 10Be exposure dating for offset geomorphic surfaces in Afghanistan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shnizai, Z., Tsutsumi, H., and Nakata, T.
2. 発表標題 Active faults mapping in Afghanistan using stereo images based on SRTM data
3. 学会等名 16th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shnizai, Z., Tsutsumi, H., and Matsushi, Y.
2. 発表標題 Slip rate of the Chaman fault based on 10Be exposure dating of offset geomorphic surfaces south of Kabul, Afghanistan
3. 学会等名 HOKUDAN International Symposium on Active Faulting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shnizai, Z., Tsutsumi, H., and Soeda, Y.
2. 発表標題 Detailed mapping of the Chaman fault near Kabul, Afghanistan, using ALOS Images
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shnizai, Z., Matsushi, Y., Soeda, Y., and Tsutsumi, H.
2. 発表標題 Mapping of the Chaman fault in Afghanistan using CORONA and ALOS satellites imageries
3. 学会等名 日本活断層学会2017年度秋季学術大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松四 雄騎 (Matsushi Yuki) (90596438)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	
研究協力者	シュニザイ ザケリア (Shnizai Zakeria)		
連携研究者	中田 高 (Nakata Takashi) (60089779)	広島大学・文学研究科・名誉教授 (15401)	

