

2011年3月24日の地震(マグニチュード6.8)を起こした ミャンマーからラオス, 中国に延びる「国際活断層」

大久保泰邦¹⁾・高橋 浩²⁾・Myint Soe³⁾・藤田 勝¹⁾・広瀬和世¹⁾・
Surinkum Adichat⁴⁾・Wongsomsak Sompob⁵⁾・二宮芳樹²⁾・大野哲二⁶⁾

1. はじめに

2011年3月24日, 東北地方太平洋沖地震が起きた2週間後, ミャンマー, タイ, ラオスの国境が接する, いわゆるゴールデン・トライアングル地域のミャンマーの町ターレイ(Tarlay)北部でマグニチュード6.8の地震が起きた。震源はミャンマーからラオス, 中国にかけて200km以上の長さに及ぶNam Ma断層の西縁部にあたる。Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) カタログ(<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> 2016/11/18 確認)によれば, 震源の深度は13kmであった(Tun *et al.*, 2014)。

この地震によってターレイの町の中や周辺の村のいくつかの建物は倒壊し, 数名の死者もでた。しかしこの地震のことを知っている日本人はほとんどいない。ミャンマー国内には地震災害を担当する政府機関はなく, ヤンゴン大学の先生やシンガポール地球観測研究所(Earth Observation of Singapore)などの研究者が地震災害の研究を行っている程度である。整理した形で世界に情報が伝わるのは科学論文によることとなり, そのため, 世界がミャンマーの地震災害について詳しい情報を知るのは極めて遅くなる。

著者らは国際協力機構(JICA)の課題別研修として実施されているASEAN 鉱物資源データベース構築に関わる研修プロジェクト(大久保ほか, 2014)の一環で行っているASEAN Harmonized 地質図作成(大久保ほか, 2016)のために, 2016年6月と8月にゴールデン・トライアングル地域を訪れ, Nam Ma断層周辺の地質巡見を行った。

ここでは今回の調査で得た情報と, 2014年にヤンゴン大学とシンガポール地球観測研究所の研究者が公表した論文などを基に, ターレイ地震について紹介するとともに, ASTER 全球三次元地形データ(ASTER GDEM)と活断層や

鉱物資源分布との関係について議論する。さらに国際地質科学連合(International Union of Geological Sciences; IUGS)において新設されたジオハザード・タスク・グループについて紹介する。

2. テクトニクス

第1図(b)はNam Ma断層をカバーするASTER 全球三次元地形データを用いて作成した陰影図に, 確認されている断層と推定断層の位置, ターレイ地震の震源, メコン川, 国境, ラオス-ミャンマー友好橋をプロットしたものである。

Nam Ma断層は連続した谷地形として描き出されている。Wang *et al.* (2014a)は, Nam Ma断層の西縁部で主断層の南側に北東-南西に延びる推定断層を描いている(第1図(b)の白点線)。ASTER 全球三次元地形データの陰影図ではこれも連続した谷地形として描き出されている。

インド大陸が北進し, アジア大陸に衝突すると, インドシナ半島の広域応力場は東西圧縮場から東西張力場に変った(Leloup *et al.*, 1995)。これに伴って左横ずれであった紅河(Red River)断層は右横ずれに変わった(Leloup *et al.*, 1993)。

北西-南東に延びる紅河断層と, その西に南北に延びる右横ずれのサガイン(Sagaing)断層に画された地域に位置するシャン地塊には多くの横ずれ断層が存在する。これらは北東-南西の走行で, 弧状を示している。Nam Ma断層はその一つで, ミャンマーからラオスを通り, 中国の南西部にまで伸びている。ミャンマーでは横ずれ断層であるが, 中国に入ると正断層系となる(Tun *et al.*, 2014)。

メコン川はゴールデン・トライアングル地域ではほぼ

1) 宇宙システム開発利用推進機構

2) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

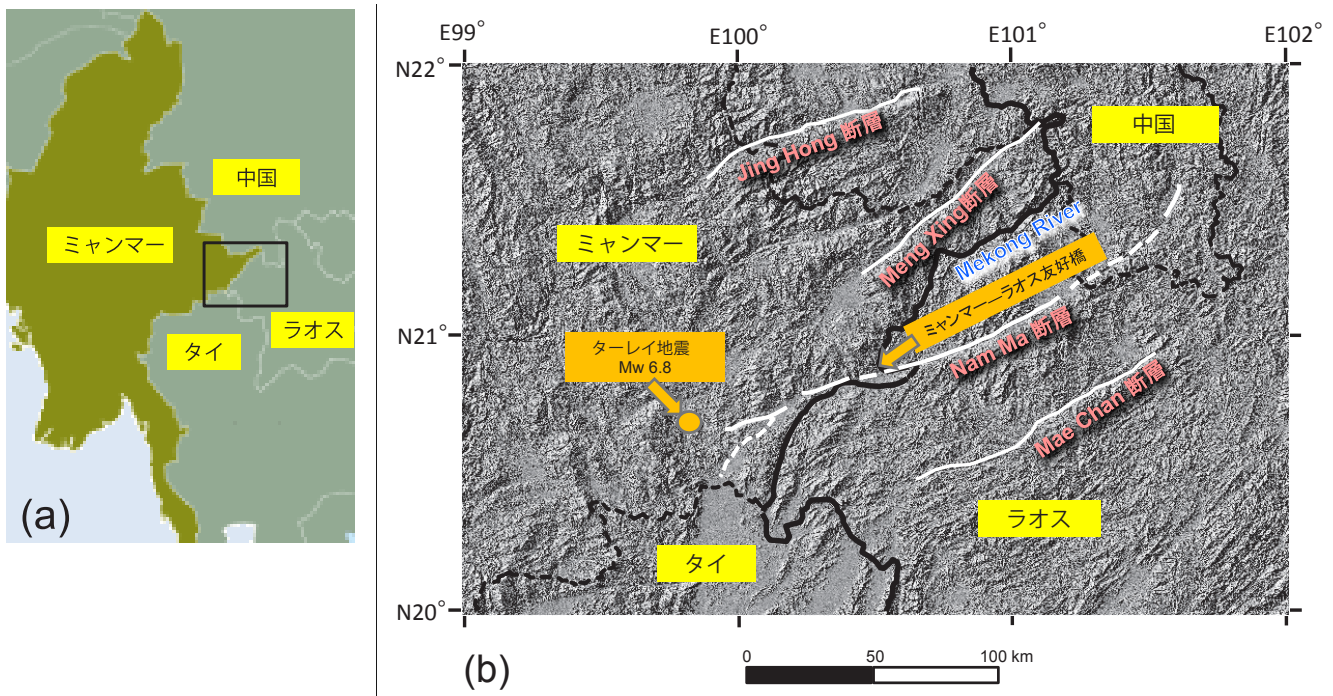
3) Department of Geological Survey and Mineral Exploration, ミャンマー

4) CCOP 事務局

5) Department Mineral Resources, タイ

6) 産総研 地質調査総合センター地質資源環境研究部門

キーワード: ASEAN, 東南アジア諸国連合, 地震, ミャンマー, ラオス, 活断層, GDEM, 人工衛星画像, ASTER, IUGS, ジオハザード



第1図 対象地域の位置図 (a) と ASTER 全球三次元地形データを用いて作成した陰影図 (b)。
 黄丸：ターレイ地震の震源，白線：確認断層，白点線：推定断層，黒線：メコン川，黒点線：国境。

南北に流れ、ミャンマーとラオスの国境となっている。Nam Ma 断層はこのメコン川を横切っている。北から流れ込むメコン川はラオス—ミャンマー友好橋のところで Nam Ma 断層に当たると断層に沿って大きく東に振れる。そして 12 km 東に進んだ後、ヘアピンカーブを描いて西向きになり、30 km ほど西進すると再び南へと向かう (第1図 (b))。

Lacassin *et al.* (1998) は、このメコン川の蛇行の様子から、遅くとも 500 万年前まではメコン川を 30 km ずらした右横ずれの時代があり、その後紅河断層が左横ずれから右横ずれへの変化に伴って、左横ずれに変わり、現在までに 12 km 変位したと推定した。500 万年前から左横ずれが開始したとすると変位速度は 2.4 mm / 年となる。

第2図は ASEAN Harmonized 地質図作成プロジェクトで最新の 100 万分の 1 の地質図を基にして作成したゴールデン・トライアングル地域の Harmonized 地質図である。これによれば、メコン川がヘアピンカーブを描く地域では、メコン川を境としてミャンマー側に中生代以前の花崗岩が、ラオス側は中生代以前の堆積岩が分布する。花崗岩は Nam Ma 断層によって 12 km 変位したように見える。

しかしミャンマー地質調査局の新しい地質図 (第3図) によると、Nam Ma 断層の北側は、メコン川の西にも中生代以前の堆積岩が約 10 km 以上の幅で分布する。中生代以前の花崗岩は断層の左横ずれによって 20 km 以上の

変位があることが分かる。それを 500 万年前からの変位と考えれば、変位速度は倍の約 5 mm / 年となる。

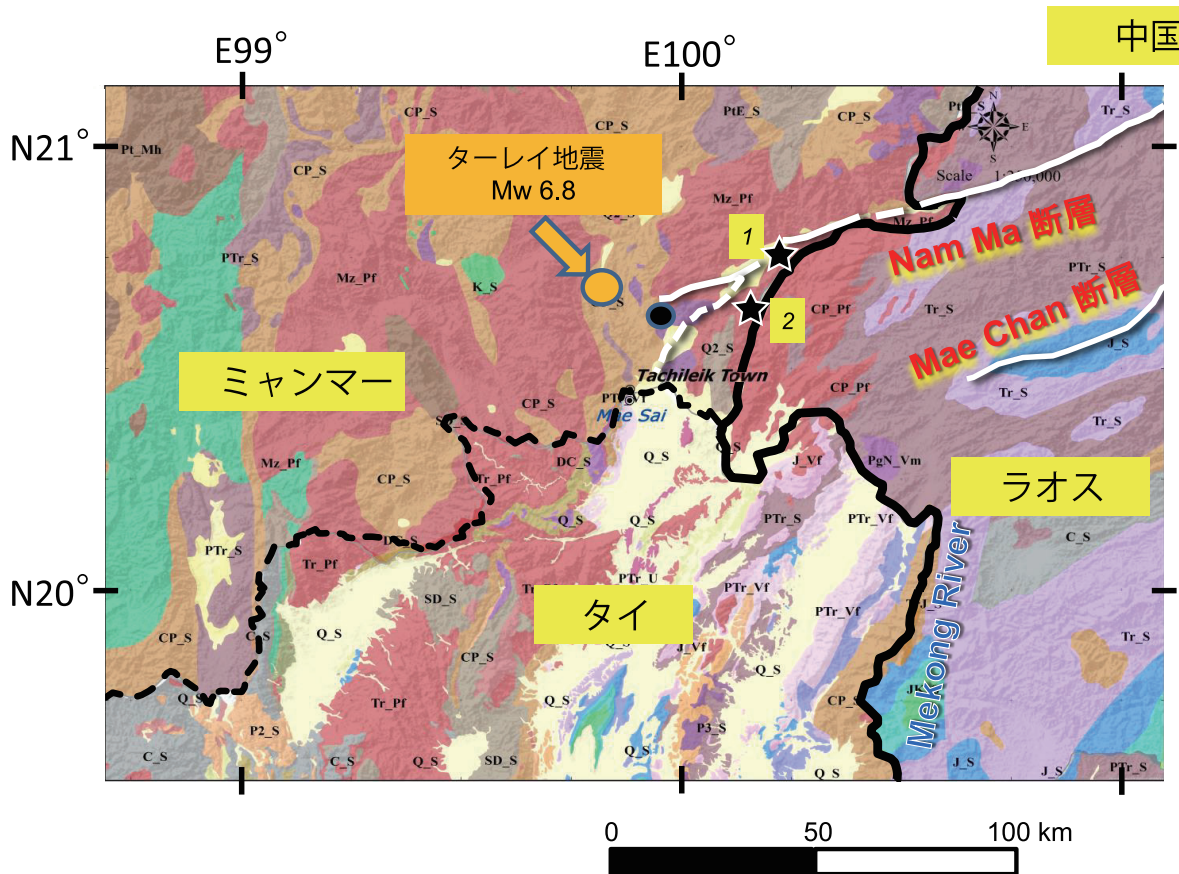
3. 鉱物資源分布とネオテクトニクス

ミャンマーは鉱物資源が豊富である。しかし第2次世界大戦以降、機械化が遅れ、地質調査や物理探査が行われず、地域住民や中国人による小規模鉱山が乱立した。

ミャンマーの鉱物資源は、古生代から前期中生代におけるシブマス (Sibumasu) 地塊のスコタイ (Sukhothai) 島弧への衝突による古テチスの消滅 (Sone and Metcalfe, 2008, 第4図)、新世代におけるインド大陸の衝突によるメソテチスの消滅と深く関係している。調査地域として選んだゴールデン・トライアングル地域は前者に位置する。一方、ミャンマー中央部を南北に延びる、鉱物資源を多く産するモゴク (Mogok) 変成帯は後者のテクトニクスによって成立した (Gardiner *et al.*, 2016a)。

Sone and Metcalfe (2008) によれば、スコタイ島弧には火成岩の溶融・固化によってできた I タイプ花崗岩が卓越し、古テチスの衝突による付加体には泥質岩の溶融・固化によってできた S タイプ花崗岩が卓越する。

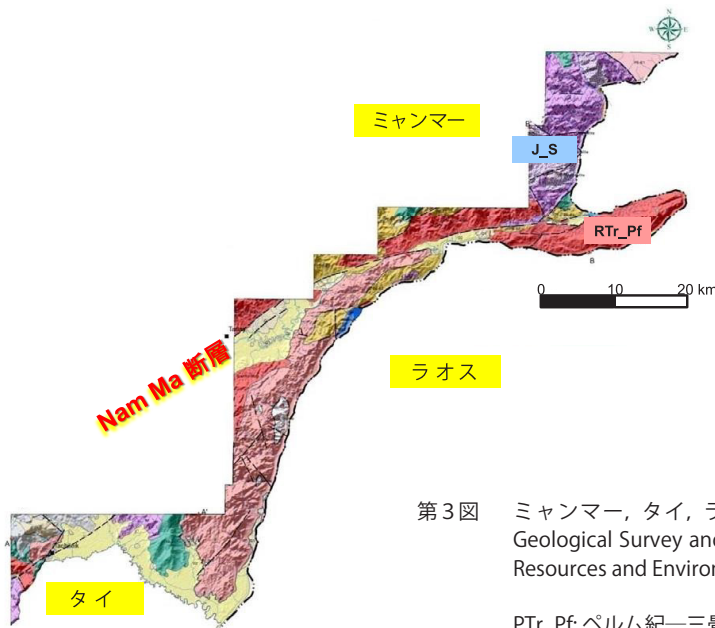
著者らは 2016 年 6 月と 8 月の調査で、2つの金鉱山と 1つのマンガン鉱山を訪れた (写真 1, 2, 3)。マンガン鉱山のマンガン鉱は団塊状であり、マンガン団塊が起源と



第2図 ミャンマー、タイとラオスの100万分の1の地質図を基にして接続した Harmonized 地質図 (Department of Mineral Resources, 1999; Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Mines, 2008; Japan International Cooperation Agency, 2010).

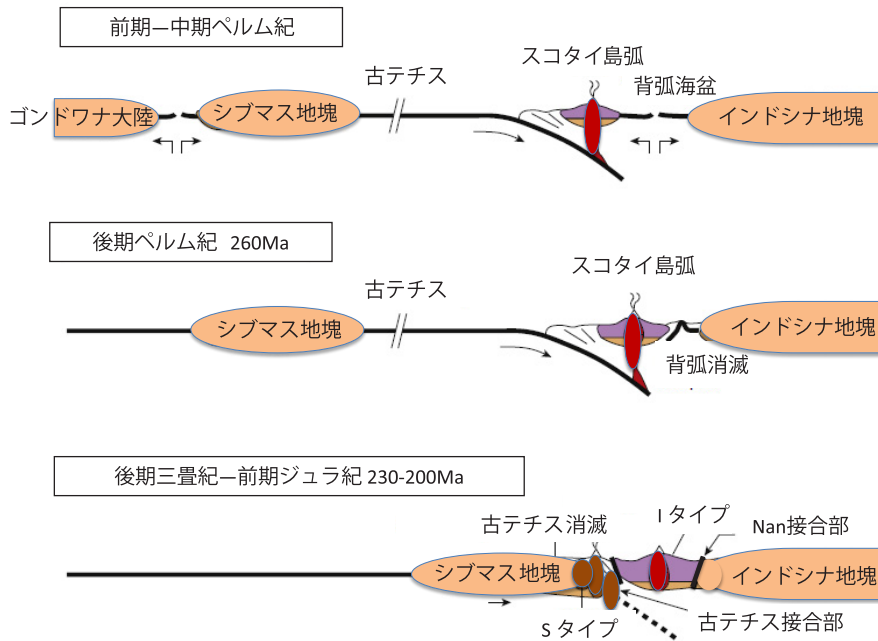
星印：金鉱山，黒丸：マンガン鉱山，黄丸：ターレイ地震の震源，白線：確認断層，白点線：推定断層，黒線：メコン川，黒点線：国境。

Pt_Mh：原生代高度変成岩，PtE_S：原生代—カンブリア紀堆積岩，O_S：オルドビス紀堆積岩，SD_S：シルル紀—デボン紀堆積岩，DC_S：デボン紀—石炭紀堆積岩，C_S：石炭紀堆積岩，CP_S：石炭紀—ペルム紀堆積岩，CP_Pf：石炭紀—ペルム紀珪長質深成岩，PTr_U：ペルム紀—三畳紀超塩基性岩，PTr_S：ペルム紀—三畳紀堆積岩，PTr_Vf：ペルム紀—三畳紀珪長質火山岩，Mz_Pf：中生代珪長質深成岩，Tr_S：三畳紀—ジュラ紀堆積岩，Tr_Pf：三畳紀珪長質深成岩，P2_S：中期ペルム紀堆積岩，P3_S：後期ペルム紀堆積岩，J_S：ジュラ紀堆積岩，J_Vf：ジュラ紀珪長質火山岩，JK_S：ジュラ紀—白亜紀堆積岩，Q_S：第四紀堆積岩，Q2_S：完新世堆積岩。



第3図 ミャンマー、タイ、ラオス国境付近の地質図 (Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Natural Resources and Environmental Conservation, 2010).

PTr_Pf: ペルム紀—三畳紀珪長質深成岩，J_S: ジュラ紀堆積岩。



第4図 前期ペルム紀～前期ジュラ紀のインドシナ半島のプレートテクトニクスの模式図 (Sone and Metcalfe, 2008)。



写真1 金鉱山のオープンピット。
ピット内の液体の成分は不明。位置は第2図の星印1。
2016年8月22日撮影。



写真2 金鉱山の現場での浸出液を使った選鉱の様子。
位置は第2図の星印2。2016年6月16日撮影。

思われる。これらの鉱山を Harmonized 地質図の上にプロットすると、金鉱山は古生代～中生代の I タイプの花崗岩卓越域に位置し、スコタイ島弧内の花崗岩に関係していると考えられる。またマンガン鉱山は古生代堆積岩類及び火山岩類分布域に位置し、古テチスの付加体と関係したマンガン団塊と考えられる。このマンガン鉱山についてはまだ世界にほとんど知られていない。

金鉱山とマンガン鉱山は共に Nam Ma 主断層の南側に位置し、北東～南西に延びる推定断層によって画されている。Gardiner *et al.* (2016b) は、花崗岩は広く分布してい

るが、そのほとんどが S タイプの花崗岩であり、金を胚胎する可能性の高い I タイプの花崗岩の分布域は限られていることを示した。これらの分布域はネオテクトニクスと深く関係しており、ネオテクトニクスを解明することは、鉱物資源の分布域の推定にも繋がる事が分かる。

4. ターレイ地震の調査

インドシナ半島においては、マグニチュード 6-7 クラスの地震が度々起きている。例えば 1976 年に起きたマグニ



写真3 マンガン鉱山。
位置は第2図の黒丸。2016年6月16日撮影。

チュード6.7と6.6のLongling地震(Tun *et al.*, 2014), 1988年に起きたマグニチュード7のLancang-Gengma地震(Wang *et al.*, 1991)であり, 1995年に起きたマグニチュード6.8のMenglian地震(Wang *et al.*, 2014b)である。しかしこれらの地震の調査はほとんど行われておらず, 地震の発生間隔, 震源の深度, 地震域の時間的変動についてはよく分かっていない。また本震についてはアメリカ地質調査所の観測データがあるが, 余震については観測データがなく, 詳細な地震活動域は不明である。

ターレイ地震の調査は, 地震発生後の2011年4月6-10日に, シンガポール地球観測研究所が支援して, ミャンマー地震委員会(Myanmar Earthquake Committee)とミャンマー気象水理局(Department of Meteorology and Hydrology of Myanmar)からの研究者によって, タイとミャンマー国境付近について行われた。

Nam Ma 断層はミャンマーとラオスを跨いでいる。しかしここでは国境を越えた調査ではなく, ミャンマー国内だけの調査に留まっている。調査機材はメジャーとコンパスという極めて簡単なものであったが, 地表に現れた地震断層の変位を観測することができた(Tun *et al.*, 2014)。

断層の変位量は, 田んぼの畦道, 道路, 水路, もぐら通路状地変, 地割れなどのずれから測定した。結果は左横ずれで, 最大125 cmの変位であった。地表に現れている変位を見ているので, 実際の変位量はこの数値より大きいものと予測している。

日本の人工衛星画像であるALOS PALSAR Lバンドセンサーの2007年から2011年までのデータを使って合成開口レーダ干渉画像を作成し, 断層モデルを求めている(Wang *et al.*, 2014a)。それによれば, 断層面の東西方向

の長さは約30 km, 断層面の深さは約10 km, 変位のピークは深度2.5-6 km, 変位量は最大150 cmという結果であった。これは観測データとよく一致した。

ミャンマーにおいて地震観測システムはなかった。しかし人工衛星画像は地震による地盤の変動を着実に捉えていた。また第1図(b)のASTER全球三次元地形データは, ミャンマーからラオスに東西に延びる連続した谷地形を描き, それがNam Ma 断層であることを示している。災害は国境を越えて起こる。国境付近はデータが不足するが人工衛星データは国境付近をもカバーする。データが不足する地域をカバーし, さらに時間変動をも捉えることができる人工衛星画像の威力は大きい。

今回の地震では, 長さ200 km以上に及ぶNam Ma 断層の西の一部が動いたことになる。Tun *et al.* (2014)は, 15-83 kmの長さの断層が部分的に活動するのであれば, その時間間隔は80-325年に1回の割合で, マグニチュード6.5-7.3の地震が起きるだろうと予測した。またもし200 km以上の断層が一気に活動する場合は, 1,200年から5,000年に一度, マグニチュード7.8クラスの地震が起きるとした。しかし, どちらが起きるのかは歴史地震学による分析が必要であると結論している。

花崗岩の分布から推定した変位量5 mm / 年を採用すると, マグニチュード6-7クラスの地震の間隔は200年に1回以上の割合で起きていることが推定できる。

ターレイの町にある家の作りは, 高床式で, 柱の基礎に石を置いている(写真4)。これは石場建てと呼ばれ, 日本も神社やお寺で使われている工法である。現在の日本の家屋の多くは基礎にコンクリートを使っている。耐用年数を考えると, コンクリートが50-60年程度であるのに対し, 石は100年以上保つ。また石場建てだと, 足元が滑るか



写真4 ターレイの町の石場建ての家。
2016年8月23日撮影。

ら免震効果があると言われている。おそらく何度も地震を経験したターレイの人々は経験的に耐震構造である石場建てを発見したのであろう。また2011年の地震で災害が起きた理由は、コンクリートの橋など、新しい建築様式の建築物が建つようになり、その建物が倒壊し、被害が出たとも考えられる。

5. ラオス—ミャンマー友好橋

この橋の位置を第1図(b)に示した。ちょうどNam Na 断層がメコン川を横切る場所に、ラオスとミャンマーが建設費用を折半して建設された。橋はすでに2015年5月に完成されていたが、著者らが訪れた2016年8月は出入国管理の方法について両国で検討中とのことで、通行はできなかった。

この橋は活断層であるNam Ma 断層の上に建設されている。活断層は、古い山地形を切り裂き、真っ直ぐな谷地形を作るので、活断層上が道路建設の容易な場所となるのである。この活断層がミャンマーからラオスに伸びていることから、両国を結ぶ道路建設の場となり、そのため両国を結ぶ橋も活断層上となったのである。

6. IUGS におけるジオハザード・タスク・グループの新設

ミャンマーは地震が多く、災害も受けるが、地震災害に関する専門家も少なく、その専門家が担当の政府機関も無い。そのためミャンマー政府からの地震に関する情報発信は無い。活断層はミャンマー国内に留まらず、ラオスや中国などの周辺国まで延びる、地震の被害は国境を越えて起こっており、ミャンマーだけの問題ではない。情報不足は今後の対策を難しくしている。

ケープタウンで開催された2016年の万国地質学会議(International Geological Congress ; IGC)において、8月31日 - 9月1日、国際地質科学連合(International Union of Geological Sciences ; IUGS) 総会が開催され、その席で日本が中心となって提案した「地質災害タスクグループ(Task Group on Geohazards)」の設立が承認された。IUGSは、1961年に設立されて以来、地質学分野における国際協力を推進してきた国際組織である。現在、117か国の団体により組織され、その分担金で運営されている。

地質災害タスクグループは、各国に情報のまとめ役を設け、そのまとめ役のネットワークを世界規模で構築し、集まった情報をインターネットを通して全世界に発信することを目指している。情報ネットワークの中心は東北大学

災害科学国際研究所(International Research Institute of Disaster Science ; IRIDeS)に置かれている。これによって、世界の地質災害を担当する行政官、教師、一般市民に情報を伝達し、さらには地質災害を理解する人材の育成を行うことを計画している。この活動は、ミャンマーのような、地質災害に関する人材や観測システムが不足している地域に役立つことが期待される。

7. むすび

2回目の調査中の2016年8月24日午後4時4分(日本時間午後6時34分)にミャンマー中部のチャウ(Chauk)付近で、マグニチュード6.8の地震が発生した。この地震によって震源に近い、歴史の町であり、2,500以上のパゴダがあるバガンでは、数名が死亡し、200基近いパゴダが損壊したとのことである。地震発生の時間、著者らはちょうどゴールデン・トライアングル地域からヤンゴンに移動する飛行機の中であった。この地震発生の世界への知らせもミャンマー国内の機関ではなく、やはり米国地質調査所であった。

国と国が接する地域では、国際紛争や国内の民族間の紛争、深いジャングルなどでアクセスができない場合が多い。そのため国境域はデータが不足する。それを補うことができるのは、宇宙から観測を行う人工衛星データだけである。現在、高分解能の人工衛星データが利用可能であり、断層地形の抽出が容易になり、また干渉合成開口レーダなどの時間変動の抽出も可能になっている。

また国と国が接する地域において起こる地質災害は、国境を跨いで災害が起きるため国際的な情報共有が必要となる。しかし場所によっては、観測機器もなく、地質災害に関する人材も不足している場合がある。地質災害はグローバルな観測による被害規模の把握と災害情報の迅速な伝達が、救援・復旧活動を促進し、災害を軽減し、今後の災害を予測し、防災計画を策定する上で重要である。IUGSのグローバルネットワークを活用し、これらの課題も解決できるようにしたいと考えている。

謝辞: 山本将史様(国際協力機構(JICA)産業開発・公共政策部資源・エネルギーグループ)、細井義孝様(国際協力機構国際協力専門員、産業開発・公共政策部)、JICA 筑波、JICA ミャンマーにはJICA 課題別研修「ASEAN 鉱物資源データベース運用能力向上」のプロジェクト推進にご尽力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Mines (2008) Digital geological map of the Union of Myanmar.
- Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Natural Resources and Environmental Conservation (2010) Regional geological map of Myanmar, Thailand and Laos boundary, Tachileik Township, Shan State.
- Department of Mineral Resources (1999) Geological map of Thailand, scale 1:1,000,000.
- Gardiner, N. J., Robb, L. J., Morley, C. K., Searle, M. P., Cawood, P. A., Whitehouse, M. J., Kirkland, C. L., Roberts, N. M. W. and Myint, T. A. (2016a) The tectonic and metallogenic framework of Myanmar: A Tethyan mineral system. *Ore Geology Reviews*, **79**, 26–45.
- Gardiner, N. J., Searle, M. P., Morley, C. K., Whitehouse, M. J., Spencer, C. J. and Robb, L. J. (2016b) The closure of Palaeo-Tethys in Eastern Myanmar and Northern Thailand: New insights from zircon U-Pb and Hf isotope data. *Gondwana Research*, **39**, 401–422.
- Japan International Cooperation Agency (2010) Digital geological map of Lao People's Democratic Republic, scale 1:1,000,000.
- Lacassin, R., Replumaz, A. and Herve Leloup, P. (1998) Hairpin river loops and slip-sense inversion on southeast Asian strike-slip faults. *Geology*, **26**, 703–706.
- Leloup, P. H., Harrison, T. M., Ryerson, F. J., Chen Wenji, Qi, L., Tapponnier, P. and Lacassin, R. (1993) Structural, petrological and thermal evolution of a Tertiary ductile strike-slip shear zone, Diancang Shan, Yunnan: *Journal of Geophysical Research*, **98**, 6715–6743.
- Leloup, P. H., Lacassin, R., Tapponnier, P., Zhong Dalai, Liu Xiaohan, Zhang Lianshang, Ji Shaocheng and Phan Trong Trinh (1995) The Ailao Shan–Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, **251**, 3–84.
- 大久保泰邦・大野哲二・Joel Bandibas・大木優利 (2014) ASEAN 鉱物資源データベース, GSJ 地質ニュース, **3**, 276–280.
- 大久保泰邦・高橋 浩・大野哲二・Wongsomsak Sompob・Sieng Sotham・Surinkum Adichat・藤田 勝・脇田浩二 (2016) ASEAN における Harmonized 地質図作成プロジェクト. GSJ 地質ニュース, **5**, 267–273.
- Sone, M. and Metcalfe, J. (2008) Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Paleotethys closure and implications for the Indosinian Orogeny. *C.R. Geoscience*, **340**, 166–179.
- Tun, S. T., Wang, Y., Khaing, S. N., Thant, M., Htay, N., Htwe, Y. M. M., Myint, T. and Sieh, K. (2014) Surface Ruptures of the Mw 6.8 March 2011 Tarlay Earthquake, Eastern Myanmar. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **104**, 2915–2932.
- Wang, H., Qiang, Z., Yuan, Z., Wang, Y., Zhang, H., Zhao, X. and Gu, Y. (1991) Distribution of seismic intensities of the November 6, 1988, Lancang-Gengma earthquakes and their surface ruptures in Yunnan Province, China. *Acta Seismologica Sinica*, **5**, 343–354.
- Wang, Y., Lin, Y. N., Simons, M. and Tun, S. T. (2014a) Shallow Rupture of the 2011 Tarlay Earthquake (Mw 6.8), Eastern Myanmar. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **104**, 2904–2914.
- Wang, Y., Sieh, K., Tun, S. T., Lai, K. Y. and Myint, T. (2014b) Active tectonics and earthquake potential of the Myanmar region. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **119**, 3767–3822.



大久保泰邦 (おおくぼ やすくに)

地質調査所, NEDO, CCOP, 経済産業省, GEO, 産総研を経て, 現在宇宙システム開発利用推進機構に勤務。もったいない学会会長。日本学術会議連携会員。日本工学アカデミー理事。IUGS 地質災害タスクグループ座長。ASEAN 鉱物資源DBプロジェクトは, ASEAN+3 会合においても高く評価されている。JICA の支援を受け, 人材育成を行い, 地質, 人工衛星画像, webGIS を融合させたプロダクトを生み出し, 若いネットワークが誕生しつつある。

OKUBO Yasukuni, TAKAHASHI Yutaka, MYINT Soe, FUJITA Masaru, HIROSE Kazuyo, SURINKUM Adichat, WONGSOMSAK Sompob, NINOMIYA Yoshiki and OHNO Tetsuji (2017) Earthquake (Mw 6.8) on 24th March 2011 caused by “international active fault” extending in Myanmar, Laos and China.

(受付:2016年11月18日)