

ASEAN における Harmonized 地質図 作成プロジェクト

大久保泰邦¹・高橋 浩²・大野哲二¹・Wongsomsak Sompob³・Sieng Sotham⁴・
Surinkum Adichat⁵・藤田 勝⁶・脇田浩二⁷

1. カンボジアとタイの地質図の繋ぎ合せ

日本の場合、一つの地質図を描く時の範囲は決まっている。例えば20万分の1の地質図の場合、東西方向は1度、南北方向は40分の四角の範囲である。その範囲内では地質図は連続している。しかし隣の地質図と合わせてみると境界で不連続になっているのが分かる。これは地質の凡例に割り当てられている色の違いや、地質図は露頭で調査した点のデータを使って解釈を行って面データにするのであるがその解釈が異なるなどさまざまな理由によって起こるのである。

ではそれを連続にするためには、凡例の統一や解釈の統一を行うこととなる。これは一人の地質学者が行うのであればそれほど難しいことではないが、複数の地質学者が行おうとすると、データにまで遡った議論が必要になり、時には論争になってしまうこともある。

ASEAN の場合、多くの国が陸続きで接している。そのためそれぞれの国は国境内の自分の領土の中の地質図の編集を行うことになる。それぞれの国の地質図を繋ぎ合えると、当然のことながら国境で不連続になる。

第1図は凡例を統一してカンボジアの地質図とタイの地質図を繋げたものである。国境が地質の境界になっているが、これはそれぞれの国で取得し分析したデータの違いや解釈の違いが原因である。

日本においては、このつなぎ目(シーム)を繋ぎ合わせることを「シームレス化」と呼んでいる(脇田, 2011)。ここでは「シームレス化」のことを「Harmonization」、シームレス化によってできた地質図を「Harmonized 地質図」と呼ぶ。

2. アジアにおける Harmonized 地質図

アジアにおいて最初の多国間の Harmonized 地質図は、CCOP で作成した200万分の1の数値地質図である(CCOP and GSJ, 1997)。この作成プロジェクトは地質図の数値化が盛んに行われるようになった時期にあたる1993年に始まった。CCOPの加盟国から国を代表する地質学者が200万分の1の地質図を持ち寄り、室内作業によって統一凡例を作り、Harmonizationを行い、できたアナログ Harmonized 地質図をGIS(Geographic Information System: 地理情報システム)を使って数値化するものであった。

その後ASEAN諸国では大縮尺の地質図が編集され、そのHarmonizationがASEANの中で試みられ、共同調査も行われてきた。ASEANのこの活動に日本が参加したのは、日本が2011年から開始した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)の中にHarmonized地質図を取り込んだことに始まる。2014年からはこの研修プロジェクトは国際協力機構(JICA)の課題別研修として実施されている。研修プロジェクトであるので、現地での地質調査は、日本とASEAN各国からの講師とASEAN各国からの研修員によって行われている。

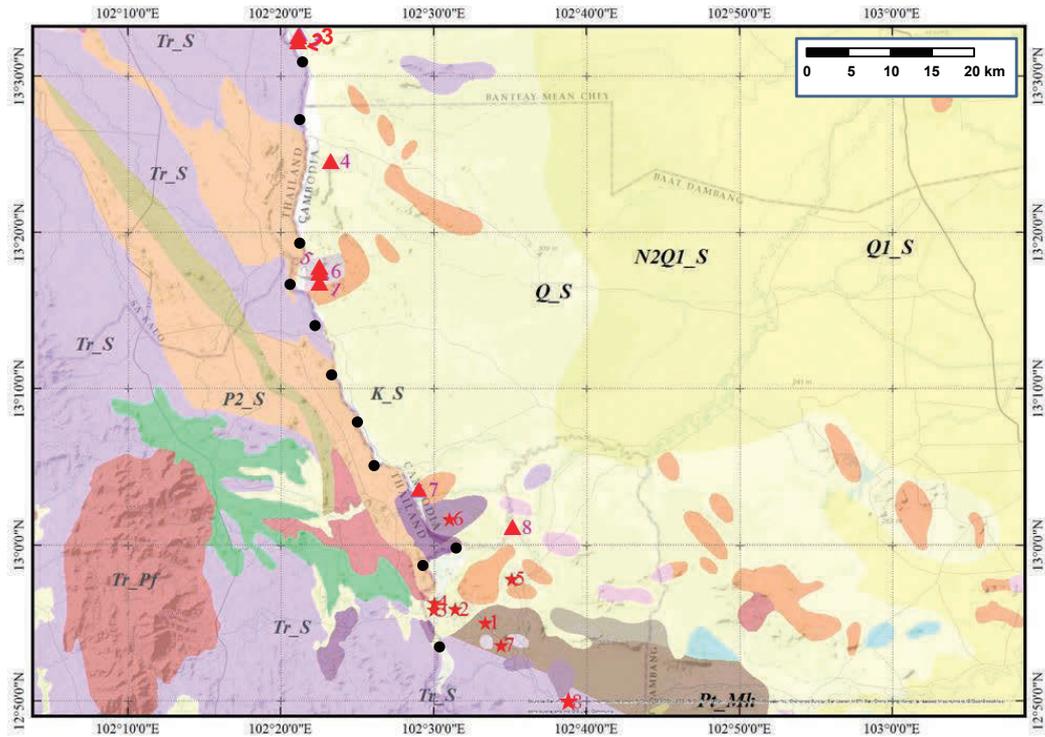
3. カンボジア西部、タイ国境付近での地質調査

3.1 プノンペンからパイリンへ

2015年11月7日~10日、カンボジア、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、ベトナム、ラオス、タイ、日本から総勢21名が集まり、カンボジア西部のタイ国境付近

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門
3) Department Mineral Resources, タイ
4) Department of Geology, Ministry of Mines and Energy, カンボジア
5) CCOP 事務局
6) 宇宙システム開発利用推進機構
7) 山口大学

キーワード: ASEAN, 東南アジア諸国連合, CCOP, Harmonized地質, 統一凡例, GIS, カンボジア, GDEM, 人工衛星画像



第1図 カンボジアとタイの100万分の1の地質図を基にして接続した地質図。
 Tr_S: 三畳紀堆積岩, Tr_Pf: 三畳紀珪長質深成岩, P2_S: 中期ベルム紀堆積岩, Q_S: 第四紀堆積岩, N2Q1_S: 中期中新世—前期第四紀堆積岩, Q1_S: 前期第四紀堆積岩
 ★1-8, ▲1-8は露頭調査の場所。●はタイとカンボジアの国境の位置を示す。
 データソース: Bureau of Geological Survey, Department of Mineral Resources (2003), CCOP (2008), Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Mines (2013), Geological Survey of Vietnam (1991), Japan International Cooperation Agency (2010), Vietnam Institute Geosciences and Mineral Resources (2009).

で地質調査を行った。

11月7日、7台の4輪駆動車を連ねてカンボジアの首都、プノンペンを出発した。経路は東南アジア最大の淡水湖であるトンレサップ湖の南側を通る国道5号線に沿って、コンポンチュナン、プルサットを通り、バツタンバンまで行き、そこから国道を外れてパイリンへと向かう道りである(第2図)。

カンボジアの首都プノンペンは、メコン川とその南のトンレサップ湖から流れ出るトンレサップ川の合流点に位置する。雨季になればメコン川は増水し、川沿いは洪水になる。しかしプノンペンはトンレサップ湖が自然の貯水池となって洪水を防いでいる。

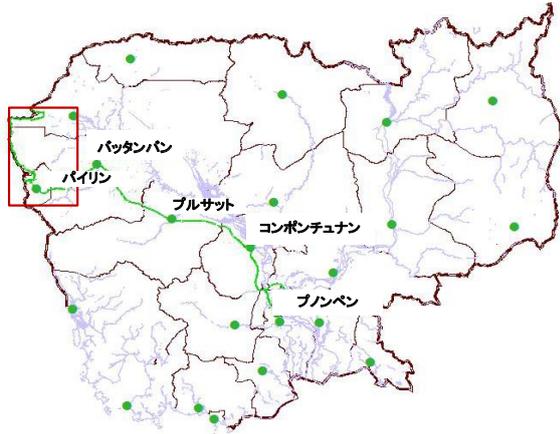
トンレサップ湖は、乾季の間、水深は1m程度に留まり、面積は2,500平方km(琵琶湖の4倍程度)である。しかし5月半ばから11月半ばの雨期にはメコン川の水量が多くなり、その水がプノンペンの合流地点からトンレサップ川に逆流する。その水はさらに川上のトンレサップ湖へと向かい、周囲の土地と森を水浸しにしながら水嵩

が増加する。トンレサップ湖の面積は拡大し約6倍、1万6,000平方km、深度も9mに達する。

バツタンバン、パイリンが位置するカンボジア西部は、かつてポル・ポトが逃げ込んだ場所であった。この地はトンレサップ湖の豊富な水産物に恵まれ、肥沃な農地が広がる地域である。今ではキャッサバ畑(写真1)とトウモロコシ畑が広がっている。

ここは以前ジャングルが広がり、ポル・ポトが率いるクメール・ルージュ軍の拠点だったことから1990年代後半まで激しい戦闘が繰り広げられ、多くの地雷が埋められていた。しかし日本をはじめとする多くの国々が地雷除去支援活動を行った努力下、次第に農地へと変貌した。

タイ国境で活動するタイ人実業家はこの地に目をつけ、キャッサバとトウモロコシの栽培を始め、タイに飼料用として輸出をするようになった。特にタピオカでん粉原料となるキャッサバの生産量が急増した。近年は中国からのエタノール原料としての需要も増加しており、2012年から中国への輸出も行われており、さらなるキャッサバの生産



第2図 カンボジアの地図。枠は調査地域を示す。

あった。我々が露頭調査をしていると車に乗ってオーナーが心配そうに現れた。言語はタイ語である。つまりオーナーはタイ人であった。そこでタイ人である Adichat CCOP 事務局長がこのオーナーと対応してくれた。キャッサバ畑や採石場などの国境付近での開発に関わる実業家はほとんどがタイ人とのことである。

調査地域の地層はこのペルム紀の石灰岩層（写真3）と三畳紀の堆積岩層（写真4）を基盤とし、第四紀の堆積岩が覆うというものであった。ペルム紀の石灰岩層は主に調査地域の南部に、三畳紀の堆積岩層は主に北部に分布していた。

写真5はカンボジア側の高台からタイ側を撮影した風景である。遠方に見える丘はタイ側に位置する基盤の山と予



写真1 カンボジア西部に広がるキャッサバ畑（2015年11月8日撮影）。



写真2 ペルム紀石灰岩の採石場（2015年11月8日撮影）。場所は第1図の★5。後姿の人物は著者の一人 Sotham.

拡大が見込まれている。

3.2 露頭調査

パイリンの町からさらにタイとの国境付近に行くと、国境沿いに走る完成したばかりの2車線の舗装道路に突き当たる。その道を北上すると、ところどころにパスポート無しでもタイ側へ渡ることができるチェックポイントがある。そこにはホテル、カジノ、商店が立ち並び、大勢の人々が賑わっている。

チェックポイントでは新しい建物や道路が建設されている。その建設用骨材は近くの採石場から採りだしている。そのため地質調査のための露頭には事欠かない。3日間で約20か所の露頭を調査することができた。

写真2は採石場の例である。石はペルム紀の石灰岩で



写真3 ペルム紀の石灰岩層（2015年11月9日撮影）。場所は第1図の▲1。



写真4 三畳紀の堆積岩層 (2015年11月9日撮影)。
場所は第1図の▲3。著者の一人高橋がサンプルを採っている。

想される。木が生い茂る平地は第四紀の地層である。

第1図の地質図では、タイ側は中期ペルム紀と三畳紀の基盤だけが描かれており、カンボジア側は基盤とそれを覆う第四紀堆積層が描かれている。そこで国境が完全な不連続になっていることが分かる。

4. 全球3次元地形データ(GDEM)を利用した Harmonization

全球3次元地形データ(Global Digital Elevation Map : GDEM)は、ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)で得られたステレオ画像のデータを解析して作られた、全地球を覆う水平分解

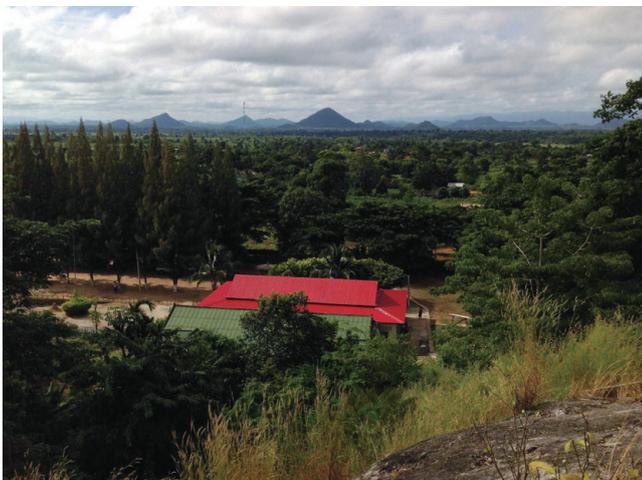


写真5 ペルム紀の石灰岩の丘(場所は第1図の▲1)からタイ側を見た様子(2015年11月9日撮影)。
いくつかの山は基盤の山と予想される。

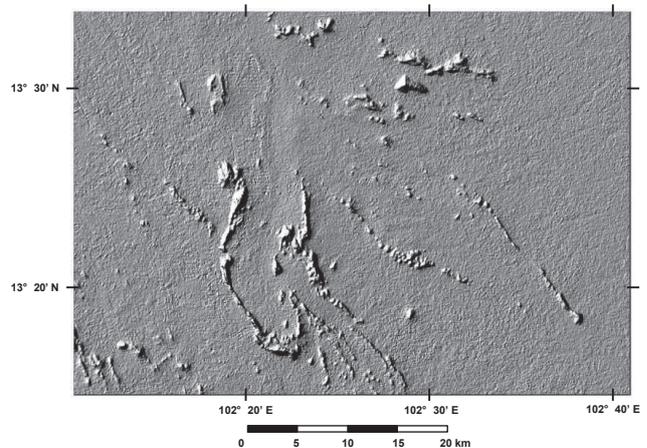
能が約30メートルの数値地形モデルである。第3図はこのGDEMを使って地形解析を行って作成した地形の陰影図である。

第3図の南側には南北もしくは南南東—北北西方向に走る長い山が連なっているのが分かる。また第3図の北側には東西方向に伸びる山が見える。露頭調査で分かったことは、前者は中期ペルム紀の石灰岩の山であり、後者は三畳紀の堆積岩の山である。その他の滑らかに見える部分は主に第四紀の堆積層に相当する。

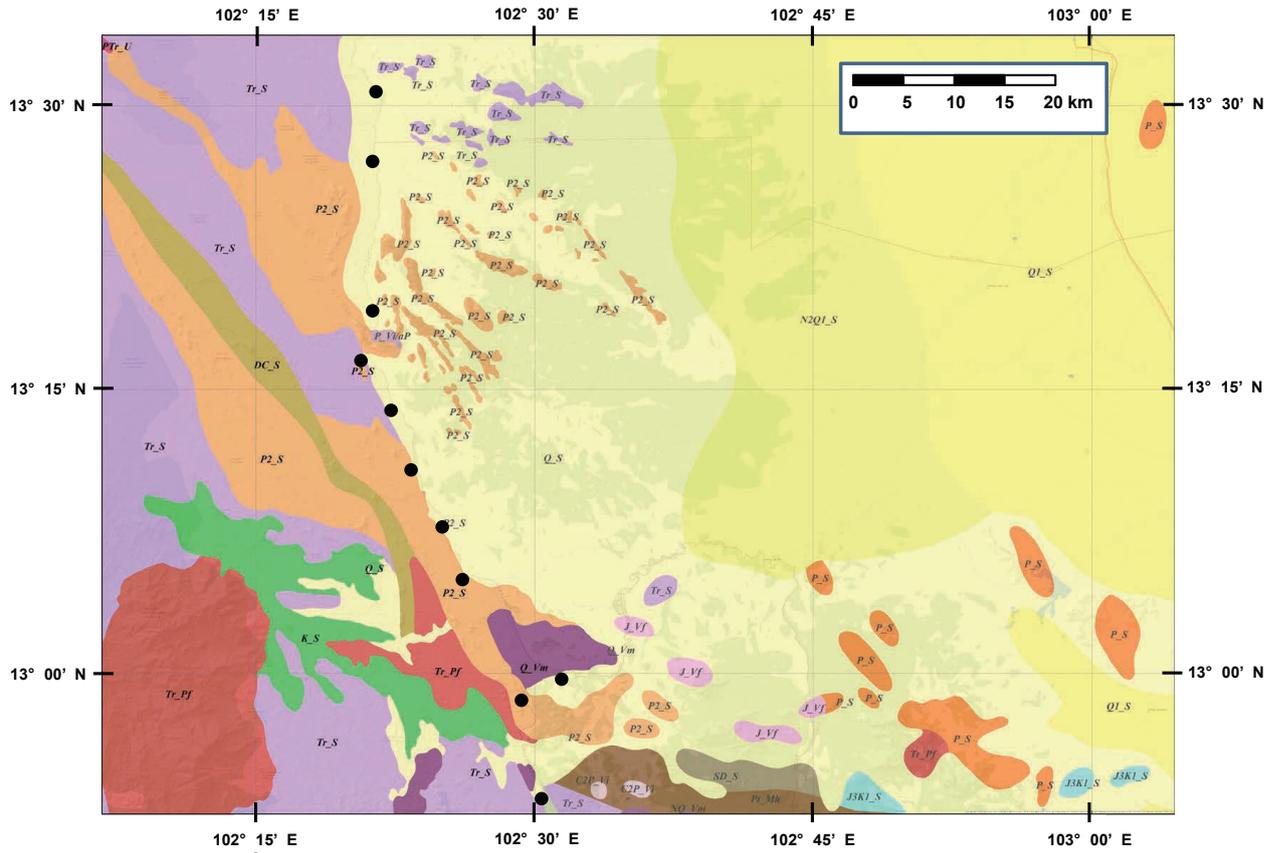
GDEMやランドサット4、ランドサット5、ランドサット7などの人工衛星画像を使って第1図の地質図を描き直したものが第4図の地質図である。第1図のオリジナルの地質図とどこが違ったかといえば、まずGDEMで確認できる山が位置する場所は基盤が露出している所と判読し、中期ペルム系と三畳系基盤の分布がより詳細になった点である。またカンボジア側の第四紀堆積層は、カンボジアとタイの国境で止まっていたが、それを国境を越えてタイ側まで分布を広げた。これは国境沿いに小川が走っており、そこは河川堆積物であることが地質調査で分かっており、GDEMの陰影図でも滑らかなテクスチャーを示していることによる。これによって北側の国境線が地質の不連続線ではなくなった。

第5図は第3図のGDEMの陰影図の上に第4図の地質図を半透明にして重ねた図である。対比すると明らかであるが、地形の高まりがペルム紀、あるいは三畳紀の基盤岩の分布域となっている。タイ側においては依然として基盤岩の分布域を過大に評価している。

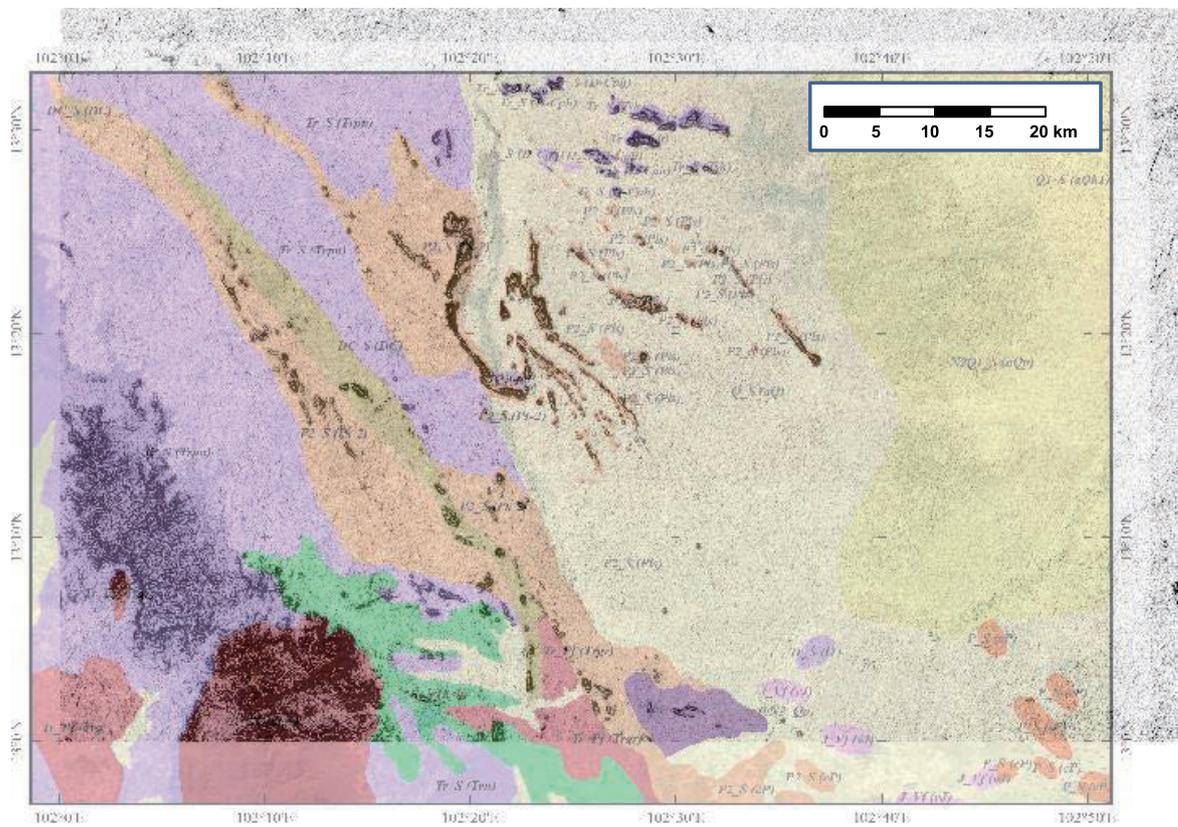
この修正案について、2016年3月に開催されたCCOP



第3図 ASTER GDEMを使って作成した地形の陰影図。
光の入射角は北から60度西、水平から10度上方。



第 4 図 編集した Harmonized 地質図案。●はタイとカンボジアの国境の位置を示す。



第 5 図 編集した Harmonized 地質図案と ASTER GDEM の陰影図の重ね合せ。

管理理事会でのサイドミーティングで議論をした。そこでは、国境線が地質の不連続線ではなくなったものの、やはり基盤を覆う堆積層の表現がタイ側とカンボジア側で大きく異なることに対して違和感を覚えるとの意見が相次いだ。

この議論は二国間の地質図の描き方の考えの違いであり、国際的な Harmonization を行うに際しての本質的な課題である。

5. 「国境を繋ぐ Harmonization」の考え方

第1図に示されたカンボジアとタイの地質図を Harmonization しようとするれば、基盤を薄く覆う第四紀堆積層をどのように表現するのか両国で合意する必要がある。その合意が成立すれば、今度は国内の全域に対して修正が必要か否かを検証しなければならない。この作業は地質学者の同意を必要とし、さらに修正版の作成を行うことになる。この作業を完了するのにどれだけの労力と時間を費やさなければならないか、見当もつかない。つまりほとんど現実不可能な作業である。そこでより簡便な方法を考えざるを得ない。それが「国境を繋ぐ Harmonization」である。

著者らが提案する「国境を繋ぐ Harmonization」とは、まず国境周辺だけに着目し、その部分だけを連続にする作業である。地質図を修正する場合は、それぞれの国の凡例は極力生かす。そうすることによって国境周辺以外の地質分布の変更をしないですませることができる。出来上がった統一凡例はそれぞれの国の凡例を生かすことになるので、分類は多くなる。

しかしそれでも国境付近の修正のため、両国間の地質学者が集まって不連続の確認と、解決法の検討を行う必要がある。必要であれば共同の現地調査を行い、両国間で共通の認識を持つ必要がある。

今回、人工衛星画像によってカンボジアとタイの国境付近では、基盤が国境を越えて連続していることが明らかになった。さらに共同調査によって、基盤の時代も判明した。これによって国境付近の地質の Harmonization の案が提出された。しかしこれはまだ案で、タイとカンボジアの国家レベルの合意には至っていない。また国境付近だけを修正したのであって、さらに国内の地質をどの程度まで修正するかはこれからの議論である。

6. 平和になったインドシナ半島

インドシナ半島はかつて紛争が絶えない地域であった。古くは中国南部からやってきたタイ族、ラーオ族、ビルマ族とインドシナ半島を支配していたクメール族との争いが続いた。9～15世紀に建立されたアンコール遺跡群にもタイ族とクメール族との戦いなどの紛争の歴史が刻まれている。19世紀になると欧米の植民地支配を受け、カンボジア、ラオス、ベトナムはフランスの、ミャンマーは英国の植民地となった。

さらに20世紀になるとベトナム戦争が勃発した。空爆によって爆弾が投下され、大量の不発弾がベトナム、ラオス、カンボジアに埋没して残った。さらにボル・ポト率いるクメール・ルージュの支配、敗走した中国国民党が樹立したゴールデン・トライアングルと呼ばれる武装地域の出現、ミャンマーにおけるシャン族、カレン族などの少数民族と中央政府の内紛などによって、ミャンマーの山岳地域、カンボジア西部には大量の地雷が埋められた。インドシナ半島の国境付近は、少数民族との内紛や埋没している地雷・不発弾のため、調査団が入り込むことができず、地質調査ができない地域であった。

しかしカンボジアに平和が戻り、ゴールデン・トライアングルも消滅し、ミャンマーにおける少数民族と中央政府との和解が進み、インドシナ半島はやっと平和を取り戻しつつある。今まで人が入れなかった地域も開墾が進み、地雷もかなり撤去された。

しかし地雷はまだ残っている。畑となって開墾された土地は安全であるが、畑の一步外に出れば地雷が埋まっている可能性があり、危険である。パイリンからバツタンバンの途中の開墾地で、後期ジュラ紀の堆積岩中にたくさんの恐竜の足跡化石を見つけた(写真6)。参加者は全員で化石のサンプル集めをした。だれかが開墾地の外に出ようとした時、「外に出てはダメ」との声が轟いた。地雷がある可能性があるからであった。

2016年には次のターゲットであるミャンマーとタイの国境で地質調査を行うことを計画している。ミャンマーの山岳地域は鉱物資源が豊富である。鉱物資源探査のためには地質調査が必要であるが、山岳地域は内紛で地質調査が思うようにできなかった。そのため山岳地域の地質図作成は人工衛星画像を使って行われてきた。

計画では、安全が確認された地域において、日本が保有する最新の人工衛星画像を用意、解析し、現地での地質調査はそのグランドトゥールースと位置付けて行うことを予定している。

Harmonized 地質図は鉱物資源探査に必要な基盤情報であり、国益と深く関わっている。そのため国家間で競合するかもしれないのであるが、ASEAN は一致団結して協力しあい、情報を整理しようとしている。その意味でも Harmonized 地質図の作成は国際的な協議の場を提供し、平和的な繁栄に寄与するものとなるはずである。

今回の地質調査は日本と ASEAN の 7 か国と 1 国際機関の共同調査となった(写真 7)。ASEAN においてこれほど多くの国が参加する Harmonized 地質図作成のための調査は初めてと思われる。ASEAN の協力と発展に貢献できる意義深いプロジェクトと感じるのである。

謝辞: 山本将史様(国際協力機構 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



写真 6 後期ジュラ紀の堆積岩中の恐竜の足跡化石(2015 年 11 月 10 日撮影)。
場所はバットンバンとパイリンの途中の道沿い。



写真 7 カンボジアにおける鉱物資源データベース構築研修の参加者たち(2015 年 11 月 8 日撮影)。
場所は第 1 図の★8。

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

Bureau of Geological Survey, Department of Mineral Resources (2003) Digital geological map of Thailand, scale 1:1,000,000.

CCOP (2008) Digital geological map of East and Southeast Asia, scale 1:2,000,000, OneGeology Project.

CCOP and Geological Survey of Japan (1997) Digital Geological Map of East and Southeast Asia 1:2,000,000, Geological Survey of Japan, Digital Geoscience Map G-2.

Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Mines (2013) Digital geological map of Myanmar, scale 1:1,000,000.

Geological Survey of Vietnam (1991) Geological map of Cambodia, Laos and Vietnam, 2nd edition, scale 1:1,000,000.

Japan International Cooperation Agency (2010) Geological and mineral resources map of Lao People's Democratic Republic, scale 1:1,000,000, Geological mapping and mineral information service project for promotion of mining industry in the Lao P.D.R. (2006-2008).

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.

Vietnam Institute Geosciences and Mineral Resources (2009) Geological map of Cambodia, Laos and Vietnam, scale 1:1,500,000.

脇田浩二(2011) 5 万分の 1 シームレス地質図 日本とフランスの場合。地質ニュース, no. 678, 36-49.

OKUBO Yasukuni, TAKAHASI Yutaka, OHNO Tetsuji, WONGSOMSAK Sompob, SIENG Sotham, SURINKUM Adichat, FUJITA Masaru and WAKITA Koji (2016) Harmonized geology mapping project in ASEAN.

(受付:2016 年 4 月 19 日)