

2017年  
12月号

# NEWS LETTER



IEVG ニュースレター  
Vol.4 No.5

[ 研究現場紹介 ]

## 画像に基づく三次元形状計測技術の地質調査への応用

重松紀生（地震テクトニクス研究グループ）

### はじめに

地質学では、ナノメートルスケールの現象から数100 km に及ぶ現象までのマルチスケールの現象を取り扱います。通常の地質調査では、断片的に分布している数 m スケール露頭情報のつながりを推定することで、より大きなスケールの現象を推定します。このとき数10 から数100 m に及ぶような大きな露頭があると、異なるスケールの現象のつながりを直接観察することができます。例えば活断層評価でよく行われるトレンチ調査では、人為的に10 m ～数10 m スケールの露頭を作り、そこに見られる地層とその地層を切る断層の関係を詳細に観察します。

ところが、このような露頭の正確な記載には膨大な時間と労力が必要です。地質調査の過程で数100 m に及ぶような大規模露頭に出くわすと、多くの地質学者は記載に必要な膨大な作業量に途方に暮れてしまいます。一方、露頭状況は、降雨による浸食や植生により日々刻々と変化します。トレンチ調査の場合、より詳細な状況確認のために掘り増しをすることもあつ、調査終了後には露頭を埋め戻します。つまり、露頭状況の正確な把握という観点からは、ある瞬間における状況をデータとしてアーカイブすることが重要なのですが、膨大な時間と労力が必要な従来の記載方法では実現は困難だったのでつ。

### Contents

- 01 研究現場紹介 画像に基づく三次元形状計測技術の地質調査への応用 …… 重松紀生
- 06 新人研究紹介 高温高圧下における下部マントル物質の熔融関係 …… 大西里佳
- 10 海外滞在記 アメリカ地質調査所(USGS)での在外研究報告(その4): アメリカ地質学会2017年大会および巡検参加報告 …… 大坪 誠
- 15 海外滞在記 オレゴン州立大学での在外研究報告-在外研究の成果について- …… 山崎誠子
- 17 研究集会報告 第4回国際火山地質研究集会参加報告 …… 下司信夫・伊藤順一
- 21 共同研究 韓国地質資源研究院(KIGAM)地震研究センター訪問と2017年浦項地震との遭遇 …… 内出崇彦
- 23 受賞報告 宍倉正展グループ長が千葉大学 Science Lectureship Award を受賞
- 24 外部委員会活動報告 2017年10月～11月

以上のような状況に対し、最近では画像に基づく三次元形状計測技術と、この元データの画像撮影技術が大きく進歩し、ある瞬間における露頭状況の正確な把握は可能になりつつあります（例えば Bemis et al., 2014）。本記事では、従来不可能であった大規模露頭の状況を正確に短時間で記載することを可能にした、写真に基づく三次元形状計測技術と、写真撮影技術、撮影に用いる UAV（Unmanned Aerial Vehicles）、いわゆるドローン等の利用について紹介します。

### 画像に基づく三次元形状計測技術

画像に基づき撮影した物の三次元形状を推定するというと、いわゆるステレオ立体視を思い浮かべる方も多いと思います。異なる位置にある2つカメラから同じ被写体を撮影すると、それぞれの画像には被写体が異なる角度から撮影されます。するとカメラ同士の位置関係、カメラに対する被写体の方向から、カメラに対する被写体の三次元的な位置を知ることができるというものです。

一方、1990年代以降に移動するカメラから得られる画像をもとに、映った対象物の幾何学形状とカメラの動きを同時に復元する SfM（Structure from Motion）（例えば Tomasi and Kanade, 1992; Low, 2004）と呼ばれるアルゴリズムが開発されました。SfMは、一連の画像間のマッチングを行い（当初は動画を用いていた）、対応点（同じ場所が移っている点、一般にはタイポイントと呼ぶ）を抽出し、これらのタイポイントに対しバンドル調整<sup>\*1</sup>を行うことで、カメラの位置と姿勢（カメラモデル）、及びタイポイントの三次元座標を算出するものです。このようにして得られたタイポイントの三次元座標は、被写体の形状を表すスパースな点群となります。

SfM 処理を導入することで、被写体の三次元計測を行う上でカメラモデルを事前に知る必要がなくなります。また、カメラモデルが推定されているので、その推定に基づき、一連のタイポイントが得られた画像に対し、多視点からのステレオ立体視の考え（MVS: Multi-View Stereo）を適用すること

ができます。これにより、一連の画像に映るほぼ全ての点に対し三次元座標を算出できます（例えば Scharstein and Szeliski, 2002）。このようにして被写体の形状が密な三次元座標として、すなわち高密度点群として得られます。

以上の処理で元データとなるのは、互いにオーバーラップするように撮影した被写体の複数の画像ですが、SfM 処理により画像間のマッチングがうまくできないと三次元モデルを構築することができません。ステレオ立体視の考えに基づく、同じ被写体上の点を複数の写真で撮影する場合に、複数のカメラと被写体上の点の角度は大きい方が、より正確に位置を決定することができますが、この角度を大きくしすぎると、写真間の差異が大きくなりすぎるためマッチングができません。一般的に用いられる画像マッチングのアルゴリズムでは、画像間の角度の差が 25~30° を超えると画像マッチングがうまくいかないため、画像間の角度の違いは 10-20° の範囲に抑えることが推奨されています（例えば Moreels and Perona, 2007）。こうしたことから三次元モデルの構築にはある程度の量の画像が必要になります。

実際に露頭の三次元形状を捉える場合には、以上のことを踏まえた撮影計画が重要です。なお、三次元形状モデルを取得する手法としては他に LiDAR などの手法もありますが、画像に基づく三次元形状計測技術を用いる利点として、元のデータを市販のデジタルカメラ等で容易に取得でき、また得られた点群が RGB 情報を持っていることがあります。このことから、得られた三次元モデルは、実際の露頭を目で見たものにかかなり近く、露頭状況の正確な把握やアーカイブ化が可能になります。

### 画像データの取得

さて、上記の方法のみによる三次元モデルは任意の座標において構築していますので、位置やスケールの情報がありません。このため画像データの取得は地上基準点（GCP: Ground Controlling Point）を複数設置し、GCP の位置を GNSS（Global Navigation

Satellite System) 測量システムで正確に決定することから始まります (写真 1)。この地上基準点は、あとで述べる被写体を撮影した一連の画像に撮影されている必要があります。なお、最近のデジタルカメラには GNSS による簡易測位システムが付属し、画像のメタデータ (EXIF 情報) に含まれています。この情報を SfM 処理により決定したカメラモデルに当てはまることでも、モデルに対し位置やスケールの情報を与えることができます。しかし GNSS の簡易測位の位置決定精度は、GNSS 測量システムに比べると著しく劣ることから、GNSS 測量システムを利用した精度の高い位置決定を行うことが推奨されます。

次に露頭状況の三次元計測のための画像取得ですが、多翼型 UAV (マルチコプター) を利用することで多様なアングルで効率よく撮影することが可能になります (写真 2)。通常 UAV の飛行中には手元コントローラーで機体の操縦のほか、カメラアングルなどの操作を行います。なお、三次元計測に最適な飛行を自動で行わせるタブレット端末アプリもあります。例えば UAV の世界最大のメーカーである DJI が出す Ground Station Pro などです。これらのアプリを用いると三次元計測をする対象を

指定すると、撮影に最適な飛行ルート、飛行中の画像撮影位置、撮影アングルを自動生成し、アプリ上のボタンをタップすると、UAV は自動生成した飛行計画に従い、完全自動で元データの画像を取得します。ただし、障害物等の安全確認を UAV が持つ障害物自動回避機能のみに頼ることになり、周囲の障害物等の影響を考慮して使用するべきと思われます。特に山岳地帯での使用は推奨できません。

なお、UAV の操作にあたってはいくつかの注意が必要です。UAV の飛行は航空法や小型航空機規制法の規制の対象で、航空法では飛行禁止区域のほか、対地高度 150 m 以上の飛行などの飛行方法に関する規制があります。また UAV は様々なセンサーと、MPU (Micro Processing Unit) を搭載し、通常はこれらが常に周囲の状況を把握しながら飛行するため、比較的簡単に操作できます。しかし飛行ルートの周囲の障害物状況、気象状況には常に気を払う必要があります。このほか、機体の充電状況、電波干渉の原因となる携帯基地局などにも注意が必要です。

また、沢沿いは地質露頭の露出が良いことが多いことから、地質調査の過程では重要なデータを提供します。しかし沢沿いは樹木などの障害物が多いこ



写真 1 地上基準点 (GCP) の位置を決定するために用いた GNSS 測量機材。



写真 2 調査に用いた多翼型 UAV (DJI Phantom 4Pro)。



とが多く、このような場合は UAV を飛行させることができません。このような場合は高所撮影用ポールの先に、スマートフォン等で遠隔操作可能なデジタルカメラで三次元形状モデルを構築することが可能です (写真 3)。

### 三次元モデルの例

図 1 に三重県内の中央構造線の露頭を (Shigematsu et al., 2017) UAV で撮影し、これに基づき構築した三次元モデルの例を示しました。モデル構築に用いた画像は 78 枚ですが、この撮影に要した時間は約 10 分です。図 1(a) は撮影した写真に SfM 処理により決定したスパース点群の位置、図 1(b) は三次元モデルを斜め上から見た図、図 1(c) はオルソ画像<sup>\*2</sup>です。なおこの露頭は Shigematsu et al. (2017) により従来の手法により詳細な記載が行われています。このときの記載には 2 週間ほどの時間を要していることを考えれば、記載に要する時間が大幅に短縮できていることがわかります。ただし地質調査の過程では、岩相の状況など画像のみではわからない点も多く、写真により容易に三次元モデルを構築できるからと言って、従来の調査法の必要性がなくなったということではないことには留意が必要です。



写真 3 高所撮影用ポールと遠隔操作可能なデジタルカメラによる画像撮影。

また図 2 には、同じ露頭から年代測定用に試料採取した箇所を示した三次元モデルを示しました。露頭の状況は時々刻々と変わっており、Shigematsu et al. (2017) の記載時と、年代測定用の試料採取を行った時とで露頭状況は異なります。従って、Shigematsu et al. (2017) の露頭記載に、後日行った試料採取地点を示すことはできません。このようなときに正確な試料採取地点を示すことができることも三次元モデルを構築する意義です。

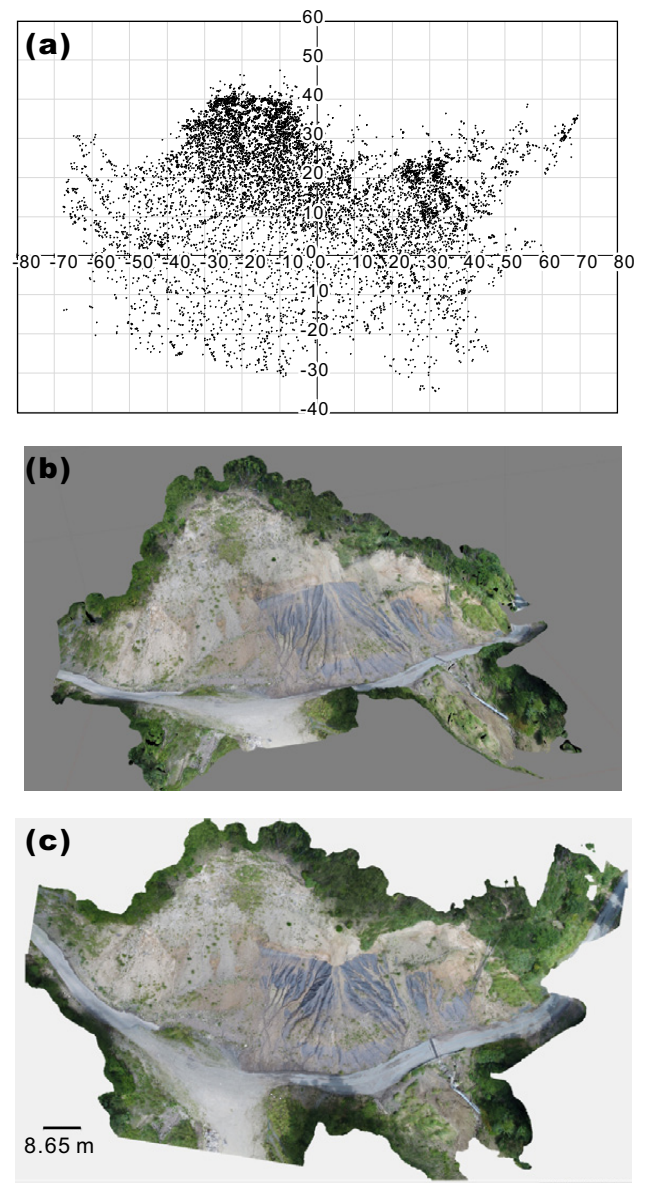


図 1 中央構造線の露頭 (Shigematsu et al., 2017) の三次元モデル。 (a) SfM 処理によるスパース点群の位置。位置の単位は m、点群は位置、標高のほか、RGB、法線ベクトルの情報を持つ。 (b) 露頭を斜め上から見た図。 (c) 露頭を真上から見たオルソ画像。



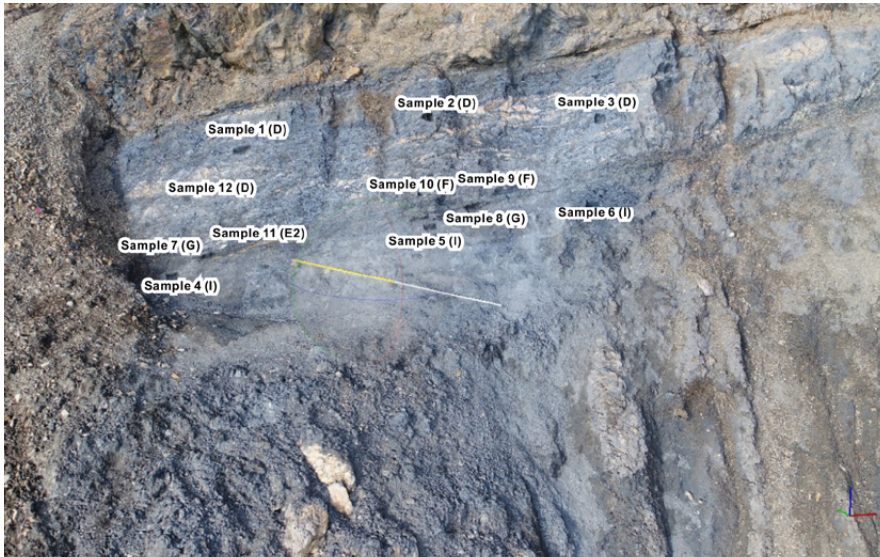


図2 図1の中央構造線露頭において年代測定用に試料採取した箇所。

本記事では、従来不可能であった大規模露頭の状況を正確に短時間で記載することを可能にした、写真に基づく三次元形状計測技術について紹介し、それに基づく露頭記載について紹介をしました。しかし地球科学における三次元形状計測技術の応用はそれにはとどまらなないと考えられます。例えば、トレンチ調査等で掘り増しにより現れた断層面を徐々につなげていけば、断層の形状を三次元的につなげることができます。異なる時期の山の同じ斜面のモデルを構築し、各時期の斜面について三次元CADソフト等によりTIN (Triangular Irregular Network) サーフェスを構築、異なる時期のサーフェスを比較することで削剥速度を直接見積もることも可能です。三次元モデルを国土地理院の公開している10 m DEMなどに組み込むことも可能です。画像に基づく三次元形状計測技術は1990年代頃からその開発が始まり、ここ数年で市販のソフトウェアパッケージとして出回るようになった新しい技術ですが、地球科学の様々な方面に応用可能な技術であり、数年後には当たり前のように皆さんが使う技術になるものと考えています。

※1 バンドル調整：SfM処理では多数の画像に基づくため、推定したタイポイントとカメラモデルには誤差を生ずる。この誤差が最小になるよう画像間で行う調整のこと。

※2 オルソ画像：カメラで上空から撮影した画像は、レンズの中心に光束が集まる中心投影のため、画像上の像の位置にずれを生じる。この位置のずれのない画像に変換(正射変換)した画像のこと。

## 文献

- Bemis, S. P., Micklethwaite, S., James, M. R., Akciz, S., Thiele, S.T., and Bangash, H.A. 2014. Ground-based and UAV-based photogrammetry, A multi-scale, high resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology, *J. Struct. Geol.*, 69, 163-178.
- Low, D. G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *Int. J. Comp. Vis.*, 60, 91-110.
- Moreels, A.E., and Perona, P., 2007. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D objects. *Int. J. Comp. Vis.*, 73, 263-284.
- Scharstein, D. and Szeliski, R., 2002. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms. *Int. J. Comp. Vis.*, 47, 7-42.
- Shigematsu, N., Kametaka, M., Inada, N., Miyawaki, M., Miyakawa, A., Kameda, J., Togo, T., and Fujimoto, K. 2017. Evolution of the Median Tectonic Line fault zone, SW Japan, during exhumation. *Tectonophysics*, 696-697, 52-69.
- Tomasi, C., and Kanade, T., 1992. Shape and motion from image stream under orthography: a factorization method. *Int. J. Comp. Vis.*, 9(2), 137-154.

## 新人研究紹介 高温高压下における下部マントル物質の溶融関係

大西里佳（マグマ活動研究グループ）

### はじめに

2017年4月1日より、活断層・火山研究部門のマグマ活動研究グループに特別研究員として配属になりましたイノベーションスクール第11期生の 大西里佳です。私はこれまで愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターで高温高压下における下部マントル物質の溶融関係に関する研究を行ってまいりました。この研究は愛媛大学の共同利用・共同研究拠点（PRIUS: Premier Research Institute for Ultrahigh-pressure Science）の2017年度課題として採択されており、現在も継続して愛媛大学教員3名、広島大学教員1名と共同研究を行っています。本稿では、これまでの研究で明らかとなった下部マントルの最も基本的な組成である MgO-MgSiO<sub>3</sub> 系の溶融関係についてご紹介します。

### 研究背景と目的

初期地球において月を形成した隕石衝突（ジャイアントインパクト）は、マントルの大部分を溶融させ、グローバルマグマオーシャンを形成したと考えられています[1]。このグローバルマグマオーシャンが冷えて固体のマントルを形成していく過程において、マントルの化学的分化が引き起こされた可能性があります。また、現在のマントルにおいても溶融が生じている可能性があります。マントル最下部における地震波超低速度領域（ULVZ: ultra-low velocity zones）は、マントルの部分溶融が原因であると考えられていますが、未だ原因解明には至っていません。したがって、マントル物質の溶融関係を明らかにすることは、地球進化の過程及び、現在の内部構造を理解する上で非常に重要です。

これまで、上部マントル圧力条件下（約 24 GPa 以下）の溶融実験が比較的広い組成範囲で行われてきました。一方、下部マントル圧力条件下において

はその温度・圧力を発生させることが実験的に困難なため、一部の限られたモデル組成でしか溶融関係が明らかになっていません。化学組成の違いは溶融関係に大きな影響を及ぼすため、組成を関数とした溶融関係を決定することは極めて重要です。

下部マントルの主要構成鉱物はマグネシオウスタイト [(Mg, Fe)O] とブリッジマナイト [(Mg, Fe)SiO<sub>3</sub>] であるため、その Mg 端成分である MgO-MgSiO<sub>3</sub> 系の溶融関係は最も基本的な情報です。これまで MgO-MgSiO<sub>3</sub> 系の溶融関係は、実験的に 26GPa の圧力範囲まで決定されています[2]。しかし、この圧力は下部マントルの最上部であるため、より高い圧力での溶融実験を行う必要があります。そこで本研究では、下部マントル圧力条件下での MgO-MgSiO<sub>3</sub> 系の溶融関係の解明を試みました。

### 実験手法

出発物質には組成が均質なガラスを用いました。ガラス作成の最も一般的な方法は、酸化物を容器の中で融点以上に加熱して完全に溶融させ、それを急冷するというものです。しかし、この方法では、本研究で用いるような MgO に富む高融点の物質を完全に溶融させることが難しく、また、急冷の際には容器と触れている部分で結晶が核形成しやすいため、結晶の混ざっていない均質なガラスを得ることが困難です。そこで、本研究では無容器浮遊法を用いました。この方法は試料をガスで浮遊させながら、レーザー加熱で溶融させ、試料が容器に触れることなく急冷できるため、ガラスを比較的容易に作成することが可能です。

一般的に広く用いられている高压発生装置（マルチアンビル型高压発生装置）では、高压下で 3000 度以上の高温を発生させることが困難です。そこで本研究では、レーザー加熱ダイヤモンドアンビルセ

ル (LHDAC: laser heated diamond anvil cell) を用いました。DAC とは図 1a のように 2 つの対向したダイヤモンドの間に試料 (室) を含む金属のガスケットを挟み、圧縮することで圧力を発生させる装置です。手のひらサイズの小さな装置 (図 1b) で、試料サイズが非常に小さく、分析では数  $\mu\text{m}$  の精度での調整が必要となりますが、ダイヤモンドの先端が小さいもの (直径  $\sim 300 \mu\text{m}$  以下) を用いれば、下部マントル圧力を発生させることが可能となります。ダイヤモンドは光の透過性が高いため、ダイヤモンドを通して試料にレーザーを照射することができます。このような DAC とレーザーを組み合わせることで、下部マントル圧力において 3000 度以上の超高温条件を発生させることが可能となります。LHDAC の加熱には YAG や YLF レーザーなど波長が約  $1 \mu\text{m}$  の近赤外レーザーが一般に用いられていますが、 $\text{MgO-MgSiO}_3$  系のような無色の酸化物・珪酸塩鉱物は吸収波長が長いため、これらのレーザーでは直接加熱することができません。そこで自ら立ち上げに携わった愛媛大学設置の長波長を持つ  $\text{CO}_2$  レーザー加熱装置 [3] を用いて加熱を行いました。加熱後の試料は dual beam 収束イオンビーム

を使って試料断面の研磨を行い、電解放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM: field emission scanning electron microscope) を用いて化学組成の定量測定及び元素マップの取得を行いました。

### 結果・考察

約 33 GPa, 約 3050 K で加熱を行なったところ、加熱中心部に  $\text{MgO}$  と  $\text{MgSiO}_3$  の結晶が成長する様子が見られましたが、熔融の痕跡は確認されませんでした。そこで、ほぼ同じ圧力 (約 35 GPa) で、約 4000 K の実験を行ったところ、加熱中心部に楕円形の熔融組織、その外側に  $\text{MgO}$  と  $\text{MgSiO}_3$  の結晶が観察されました (図 2a)。さらにこの組織に対して組成分析を行った結果、熔融部分に隣り合うように  $\text{MgSiO}_3$  相が形成され、その外側に  $\text{MgO}$  と  $\text{MgSiO}_3$  の結晶が観察されました。そのため、リキダス相 (溶液から最初に結晶化する相) が  $\text{MgSiO}_3$  であると判断されました。一方、ほぼ同じ温度圧力条件下で  $\text{Si/Mg}$  モル比がわずかに低い出発物質を用いた場合は、熔融部分の縁に沿うように  $\text{MgO}$  相が形成されていることが観察され、リキダス相が  $\text{MgO}$  であると判断されました (図 2b)。同様の実験を圧力・組成を変化させて行い、それぞれの条件でリキダス相及び一部の実験ではメルトの化学組成を明らかにしました。

共融組成は、①リキダス相が変化する組成、②メルトの組成の 2 点から制約することができます。そこで、これら 2 つの方法を合わせることで、正確な共融組成の制約を行いました。また、本研究で実験的に決定された共融組成について 2 成分混合の熱力学計算を行うことで、実験条件以上の圧力下における共融組成の制約を試みました。その結果、図 3 に示すように共融組成が制約されました。 $\text{MgO-MgSiO}_3$  系の共融組成は 80 GPa 以下では圧力増加と共に  $\text{MgO}$  に富みます。さらに 80 GPa 以上ではほぼ一定の値を示し、マントル最下部での共融組成は約 0.64  $\text{Si/Mg}$  モル比であることが明らかとなりました。

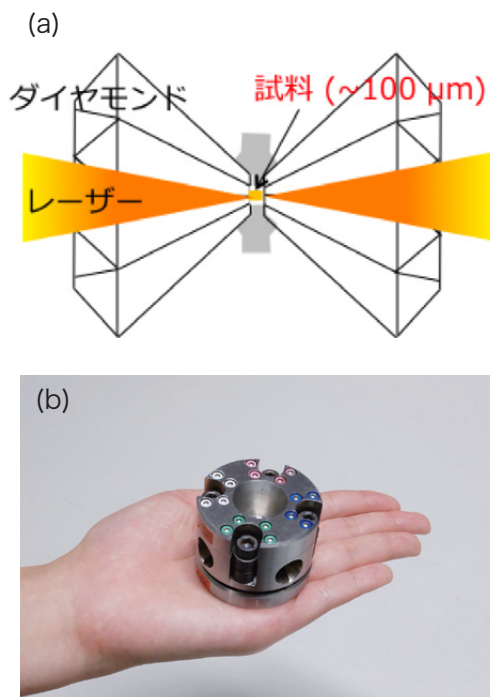


図 1 レーザー加熱ダイヤモンドアンビルセル(LHDAC)の模式図及び DAC の写真。



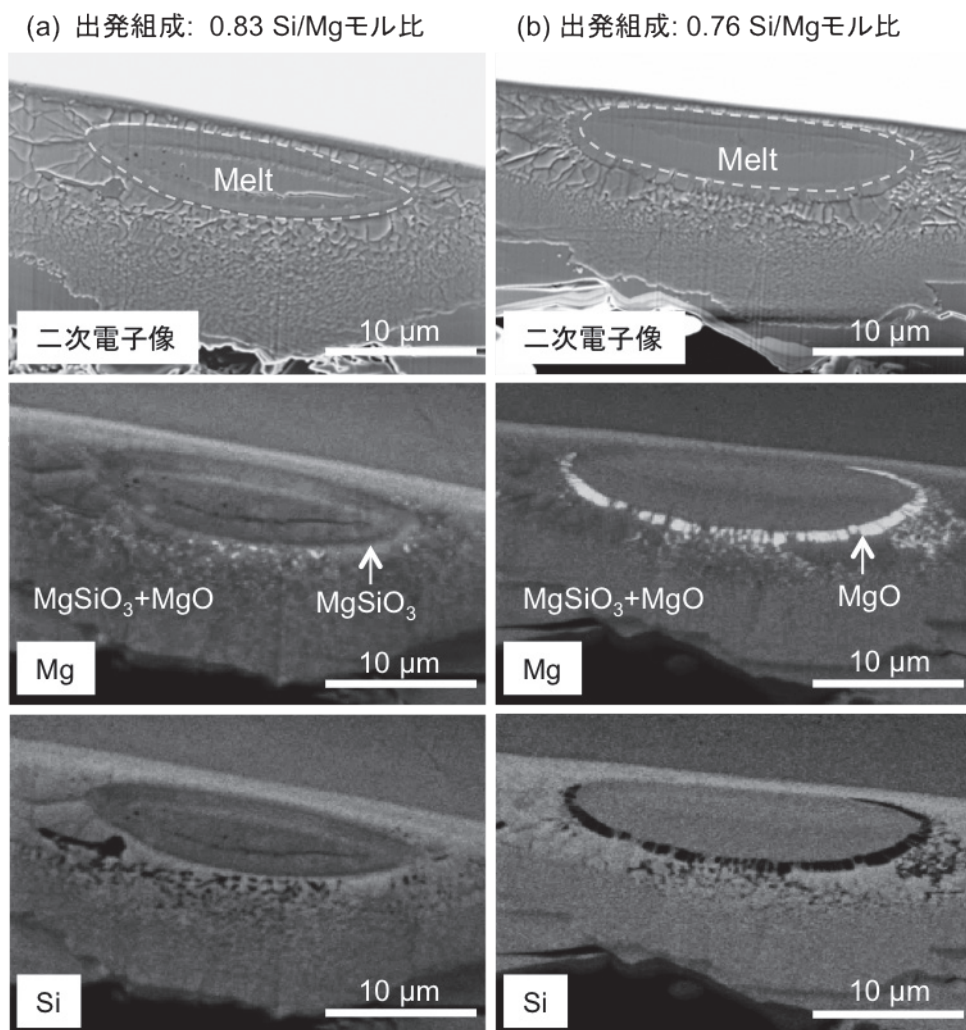


図2 約 35 GPa における回収試料断面の二次電子像及び Mg, Si の元素マッピング.

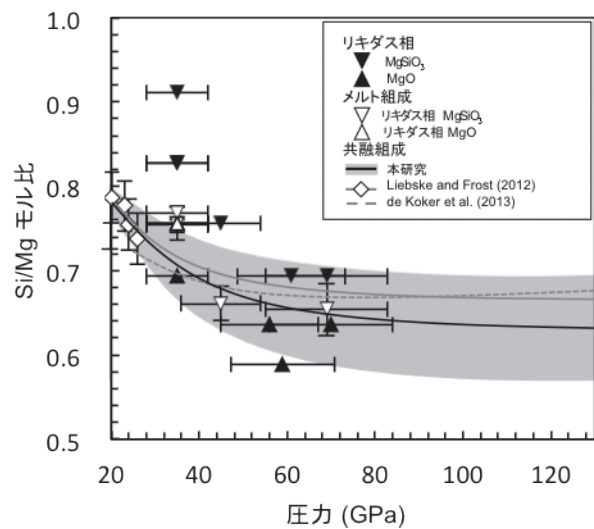


図3 共融組成の圧力依存性.

本研究の応用例として、グローバルマグマオーシャンの冷却に伴ってマントル組成がどのように進化するか推定してみます。地球の始原的な組成として考えられているコンドライトマントル組成(約 0.84 Si/Mg モル比)を持つグローバルマグマオーシャンの場合、最下部マントルから結晶化が始まり上方へ広がると報告されています [4]。本研究の結果から、コンドライトマントル組成の場合、リキダス相が全下部マントル領域でブリッジマナイトであると考えられるため、最下部マントルでブリッジマナイトが最初に結晶化し、結晶分別作用により残りのメルト組成は共融組成に近づきます。その結果、最下部マントルで最もブリッジマナイトに富み、上部になるにつれてマグネシオウスタイトに富むように変化します。更に最上部では共融組成が圧力減少に伴い  $\text{SiO}_2$  に富むように変化するため、マントル上部は約 0.7Si/Mg モル比であるパイロライト組成(上部マントルのモデル組成)に近づくと考えられます。このように、本研究で共融組成が決定されたことにより、下部マントル全域における任意の組成、及び圧力に関する熔融関係を議論することが可能となりました。

尚、本研究成果は下記の論文として公表されておりますので、興味のある方はご覧いただければ幸いです。

Ohnishi, S., Kuwayama, Y., Inoue, T. (2017) Melting relations in the MgO-MgSiO<sub>3</sub> system up to 70 GPa. *Phys. Chem. Minerals*, 44:445-453. doi:10.1007/s00269-017-0871-8.

#### 引用文献

- [1] Canup RM (2004) Simulation of a late lunar-forming impact. *Icarus* 168:433–456. doi:10.1016/j.icarus.2003.09.028
- [2] Liebske C, Frost DJ (2012) Melting phase relations in the MgO–MgSiO<sub>3</sub> system between 16 and 26 GPa: implications for melting in Earth’s deep interior. *Earth Planet Sci Lett* 345–348:159–170. doi:10.1016/j.epsl.2012.06.038
- [3] Kimura T, Kuwayama Y, Yagi T (2014) Melting temperatures of H<sub>2</sub>O up to 72 GPa measured in a diamond anvil cell using CO<sub>2</sub> laser heating technique. *J Chem Phys* 140:074501. doi:10.1063/1.4865252
- [4] Thomas CW, Liu Q, Agee CA, Asimow PD, Lange RA (2012) Multi-technique equation of state for Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> melt and the density of Fe-bearing silicate melts from 0 to 161 GPa. *J Geophys Res* 117:B10206. Doi: 10.1029/2012JB009403

## 海外滞在記 アメリカ地質調査所 (USGS) での在外研究報告 (その 4): アメリカ地質学会 2017 年大会および巡検参加報告

大坪 誠 (地質変動研究グループ)

### はじめに

2017 年 3 月から約 9 ヶ月の予定で、米国西海岸カリフォルニア州メンロパーク市にある「アメリカ地質調査所 (U.S. Geological Survey, 以下 USGS)」に滞在しています (大坪, 2017a)。12 月に入り、アメリカ西海岸ではシトシトと雨が降る日も増えてきました。時折心地よい暖かい日もあり、日本のような厚手のコートは必要ありません。私の USGS 滞在も残すところわずかとなりました。前は、USGS で私が取り組んでいる研究内容を紹介しました (大坪, 2017b)。今回は、10 月 23 日から 25 日までワシントン州シアトルで開催されたアメリカ地質学会 (Geological Society of America, 以下 GSA) 2017 年大会と Post-Meeting の Yakima Folds 巡検について紹介します。

### GSA2017 年大会

GSA は地質学の発展や普及を目指したアメリカの学会で、10 月に開催される大会の開催地が毎年変わります (2016 年はコロラド州デンバーで開催、2018 年はインディアナ州インディアナポリスで開催予定)。2017 年大会はアメリカ西海岸ワシントン州シアトルで開催されました (写真 1)。シアトルはカスケード沈み込み帯の上盤側プレートに位置しており、シアトル周辺は海溝型巨大地震、内陸活断層、プレート沈み込みに伴う第四紀の火山活動など、活動的な地域です。今回の GSA の大会中には、約 200 のセッションに分かれて約 3000 の口頭発表と約 2000 のポスター発表がありました。GSA では、アメリカ国内だけでなく、アジア、ヨーロッパ、南米、オセアニア、と様々な地域から参加があり、国内学会とはいえないスケールで活発な議論が行われていました。アメリカ地質学会に参加して一番に感じたことは地質学研究の中での地形

学 (Geomorphology) の取り扱いでした。地形発達プロセスを、地殻変動、気候変動、地下の水理特性、岩石の物質変化 (物性変化)、などの総合的な結果として捉えるという視点は大いに参考になりました。大会中、口頭発表を色々と聴きましたが、どの発表でも内容を詰め込んだことはなく、話す内容を 80% 程度に抑えているのが印象的でした。ポイントを上手く絞った発表が多く、話す方も聴く方もストレスが少ない研究交流の場という雰囲気でした。大会中は日本列島の第四紀テクトニクスを扱った研究発表もあり、その発表者と東北日本弧の第四紀テクトニクスについて議論できたことも大変有意義でした。

GSA では私は、「Spatiotemporal Variations and the Role of Fluids in Fault-Zone Hydromechanical Processes」のセッションで口頭発表を行いました。このセッションでは、私が USGS で研究を進めている、応力、クラック形成、流体移動の相互作用に関する研究発表もありました。また、私の発表後に個人的にコメントをくれる研究者もいました。アメリカの研究者に「地質学と地球物理学を融合させることはなかなか



写真 1 GSA2017 年大会会場のディスプレイ。GSA2017 年大会はシアトルの中心街にあるワシントンコンベンションセンターで開催されました。



か難しいから、あなたの研究スタンスは重要で面白い。」とコメントいただきました。

### Yakima Folds 巡検

GSA2017 年大会では、16 の Pre-Meeting 巡検、8 の Post-meeting 巡検が企画されました (巡検のことを英語で Field Trip と言います)。そのうち、私は 10 月 26 日から 28 日に実施された Yakima Folds 巡検「Structure, Neotectonics, Geophysics, and Geomorphology of the Yakima Folds: New Field Research on Fold Structure and Miocene-

Present Deformation within the Backarc of the Cascadia Subduction Zone」に参加しました (写真 2)。約 40 人の参加者 (写真 3) はシアトルの GSA 会場で 4 台の大型バンに乗り込み、東方に 2 時間半ほどで Yakima 地域に到着しました。ハンボルト州立大学 Kelsey 教授がこの巡検の案内者のリーダーで (写真 4)、Bennett 博士、Staisch 博士、Sherrod 博士をはじめとする USGS 研究者が中心となり、地質学、年代学、変動地形学、地震学、測地学、など学際的な案内チームでした。Yakima Folds 巡検は巡検初日に Yakima 地域の褶曲構造を概観し、その後、詳細

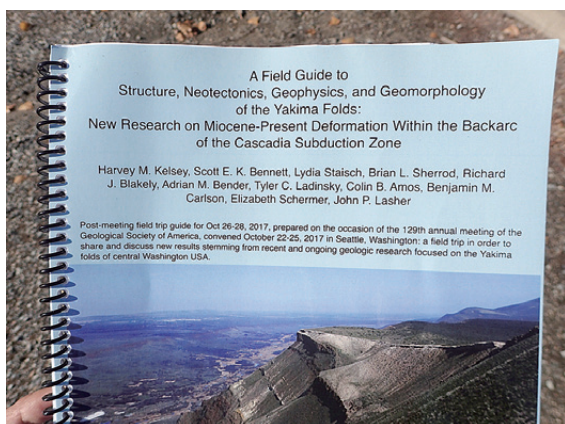


写真 2 筆者が参加した Yakima Folds 巡検の案内書。巡検案内書のことを英語で「Field Guide」と言います。Yakima の発音は「ヤキマ」というより「ヤッカ」に近いです。



写真 4 Yakima Folds 巡検リーダーの Kelsey 教授。Kelsey 教授の左は Yakima Folds 巡検の全体進行をマネジメントしていただいた USGS の Bennett 博士。



写真 3 Yakima 地域の褶曲と Yakima Folds 巡検参加者。



な地質構造，活断層トレンチ地点，地震により発生した地すべり地形，など見て廻り，シアトルに戻る日程でした。学会中は雨が降る日もありましたが，巡検当日は天候に恵まれ，とても充実した3日間でした。

Yakima 地域はカスケード沈み込み帯の背弧（火山フロントより陸側，Yakima 地域は火山フロントの東側）に位置しており，ファンデカプレート（北東方向への沈み込みに伴う上盤側プレート内の第四紀から始まった北西－南東方向から南北方向の短縮運動によって東西方向の褶曲構造が多く発達しています（図1）。Yakima 地域は，中新世に形成された正断層が第四紀になって逆断層として運動する「インバージョンテクトニクス」が特徴で（図2），これは東北日本弧の日本海沿岸地域，秋田地域や新潟地域での活褶曲帯と似たような地殻変動です。この第四紀に入ってから逆断層運動がマグニチュード7クラスの内陸地震を引き起こす可能性があるということでアメリカ社会からリスク評価が求められており，USGS を中心とした研究プロジェ

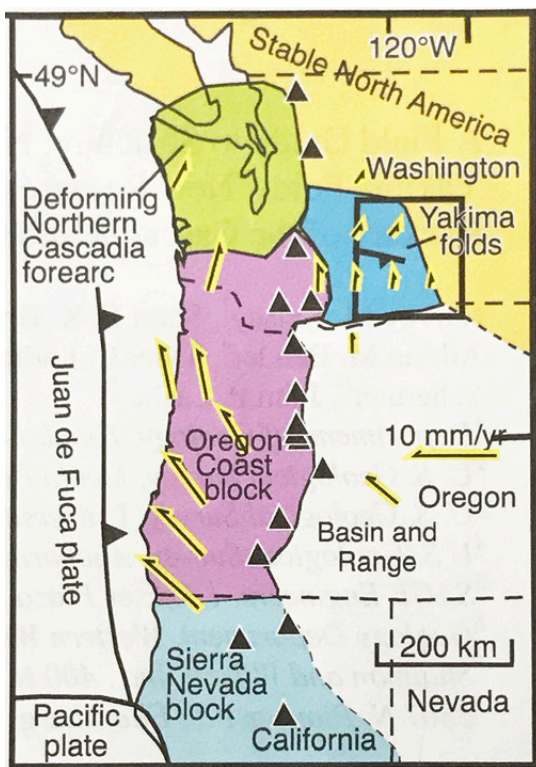


図1 カスケード沈み込み帯の概要図 (Wells et al., 1998 を一部改変)。周りを黄色で強調された黒矢印はGPSで観測されたカスケード沈み込み帯上盤側プレートの移動方向とその速度。

クトが実施されています。Yakima 地域には，東西に20～40 km，標高約600～800 mの丘陵（ただしYakima 地域全体が標高約300～400 mに位置している）がいくつもあり，一つの丘陵が一つの褶曲構造（背斜，上に凸の構造）に相当します（写真5）。このスケール感は秋田地域や新潟地域の活褶曲帯と似ています（若干Yakima 地域の方がスケールは大きいです）。

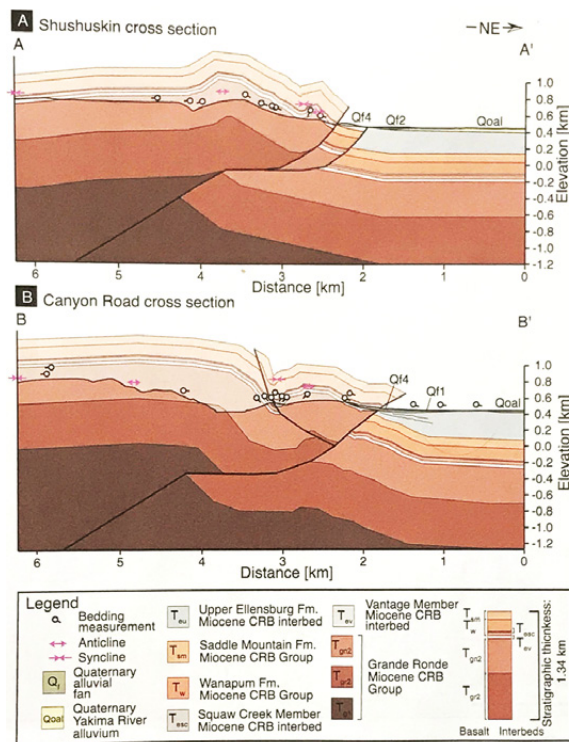


図2 Yakima 地域での褶曲の断面図 (Kelsey et al., 2017 を一部改変)。



写真5 Yakima 地域の褶曲形成による丘陵。第四紀の逆断層運動により，地表付近の堆積層が褶曲変形を起こして丘陵となっています。丘陵と平野の境界に褶曲形成の原因となる逆断層が存在します。

巡検初日の Yakima 地域の褶曲構造の概観では、この地域の侵食速度が非常に小さいため、褶曲構造が丘陵としてよく残っているのを見学できたことが印象的でした。この地域は全体的に丘陵には植生が少ないため地質構造やその構造のスケールが分かりやすかったです (写真 6, 7)。また、丘陵を切るように流れる河川沿いには段丘がところどころ発達し、段丘堆積物の年代測定結果などから Yakima 地域の褶曲形成時の隆起速度が求められています。案内者から、「この隆起速度を用いて地下の逆断層の一回の地震時の滑り量を地震リスク評価として明らかにしようと研究しています。」と説明がありました。私は日本で秋田地域や新潟地域の活褶曲帯



写真 6 Yakima 地域の丘陵を切るように流れる河川、河川沿いには段丘が発達し、段丘堆積物の年代測定結果などから Yakima 地域の褶曲形成時の隆起速度が求められています。



写真 7 二日目の Yakima 地域の丘陵を望みながらのランチの様子。植生が少ないために地質構造やその構造のスケールが分かりやすかったです。

の研究経験がありますので、案内者の褶曲構造に関する英語の説明をよく聞き取ることができました。この巡検では、案内者が各見学地点を説明するための大型のポスターを何枚も準備してあって、各見学地点で案内者から丁寧な解説をしていただきました (写真 8)。

巡検 2 日目は引き続き Yakima 地域で褶曲構造の詳細や褶曲発達史を理解する見学でした。ここでは、地磁気異常 (Magmatic anomaly) の情報を褶曲構造や地下の断層の把握に上手く活用している話が印象的でした。巡検中に、巡検リーダーの Kelsey 教授に「Yakima 地域では褶曲変形の際に形成される Flexural-slip (層理面すべり) は観察できるか？」と質問したところ、「地表に露出した部分では河川堆積物など非常に柔らかい地層が主だから残念ながら層理面すべりは認められない。」とコメントいただきました。私からは、「日本の活褶曲帯では砂岩泥岩互層で Flexural-slip が良く観察することができる。」ことを紹介しました。巡検中、巡検案内者とは日本とアメリカの第四紀の地殻変動の共通点などを議論しました。

巡検 3 日目の最終日は Yakima 地域の北に位置する Wenatchee 地域に移動し、第四紀の変動地形、1872 年 12 月に発生した地震による地すべり地形、および過去に実施したトレンチ現場を見学しました。「Earthquake Point」とよばれる、この地すべり



写真 8 大型ポスターを使って Yakima 地域の褶曲発達プロセスを説明する USGS の Staisch 博士。



露頭（写真9）を含む Wenatchee 地域では、マグニチュード7を超える内陸地震が発生する前でも Background seismicity（普段発生している小規模の地震活動）が高いという説明が USGS 研究者からありました。

巡検3日間どの見学地点でも、案内者と参加者で、あるいは、参加者同士で活発な議論が行われました。なかなか露頭や観察ポイントから離れようとしない参加者たちの様子は日本の国内学会の巡検と同じだなあと感じました（それを見てホッとしました）。

### おわりに

このニュースレター記事が公開される頃には、私はアメリカ地球物理学連合（American Geophysical Union, AGU）2017年大会（ルイジアナ州ニューオーリンズで開催）で今回の USGS 滞在の成果を発表



写真9 Wenatchee 地域（Yakima 地域の北）の1872年12月に発生した地震による地すべり地形を説明する USGS の Sherrod 博士。

しています。また、合わせて、その成果を論文としてまとめる作業を行っています。9ヶ月間のアメリカ滞在は私にこれまでにない多くの知識と経験を与えてくれました。あともう少し、ラストスパートで頑張りたいと思います。次回は私の USGS 在外研究報告の最終回として、USGS 滞在最後2ヶ月間の様子を報告したいと思います。See you next report!

### 参考文献

Kelsey, H. M., Ladinsky, T. C., Staisch, L. M., Sherrod, B. L., Blakely, R. J., Pratt, T. L., Stephenson, W. J., Odum, J. K., Wan, E. (2017) The story of a Yakima fold and how it informs late Neogene and Quaternary backarc deformation in the Cascadia subduction Zone, Manastash Anticline, Washington, USA, *Tectonics*, doi.10.1002/2017TC004558R.

大坪 誠 (2017a) アメリカ地質調査所 (USGS) での在外研究報告 (その1): 渡米から3ヶ月が過ぎて. *IEVG ニュースレター*, vol.4, No.2, 7-10.

大坪 誠 (2017b) アメリカ地質調査所 (USGS) での在外研究報告 (その3): USGS での応力, クラック形成, 流体移動の相互作用に関する議論. *IEVG ニュースレター*, vol.4, No.4, 15-18.

Wells, R. E., Weaver, C. S., Blakely, R. J. (1998) Forearc migration in Cascadia and its neotectonic significance. *Geology*, 26, 759-762.

## 海外滞在記

## オレゴン州立大学での在外研究報告

## ー在外研究の成果についてー

山崎誠子（火山活動研究グループ）

## はじめに

オレゴン州立大学（OSU）での在外研究も終わりを迎え、無事に帰国しました。1年間は長いようで振り返るとあっという間でした。貴重な機会を与えていただいたことに改めて感謝いたします。コーバリスの街を出る日はちょうどラボミーティングがある日でしたので、そこでお別れの挨拶をして、雨季の晴れ間の青空の下（写真1）、空港のあるポートランドに移動しました。今回で最後となる海外滞在記では、在外研究の成果について紹介します。

## 研究の成果

OSUでの研究の目的は、若い火山岩の Ar/Ar 年代測定と K-Ar 年代との比較研究でした。産総研で再構築してきた若い火山岩に対する K-Ar 年代システムを評価するために測定済みの蔵王、九重火山の試料や、K-Ar 法ではほぼ測定限界の若い白山火山の試料を持ち込み、Ar/Ar 年代測定を実施しました。世界的に K-Ar 法は古い手法で誤差も大きく、Ar/Ar 法は新しく開発された高精度の年代測定手法という認識があります。しかし、年代値を算出する上で満たすべき前提条件を検討すべきという認識は Ar/Ar 年代ラボの中でも必ずしも浸透しているわけではありません。産総研の K-Ar 年代ラボは若い試料を測定する際に効いてくる Ar 初期値の前提条件の検討とその補正にこだわって、精度は落ちても確度の高い（誤差は少々大きくても真値に近い）年代値を得ることを目指して進化してきました。2年前のアメリカ地球物理学連合大会（AGU）の際に、産総研で出された Matsumoto & Kobayashi (1995) のグラフが大画面に映され、この初期値の問題を Ar/Ar 年代業界でももっと検討すべきだという発表を聞いたときに、これから見直される時期に来る

と感じ、チャンスを狙っていました。実際にホストの Anthony さんもアメリカの Ar/Ar 年代コミュニティの中で重要な課題として取り上げられていると話され、私の滞在中にソフトウェア上に初期値補正を簡単に適用できるボタンを追加してくださいました。数万年、数千年前の若い試料に対しては OSU でも最近取り組み始めたところで、照射時間や他のデータ処理に関しても、一緒に試行錯誤した1年でした。測定結果は想像以上に面白いものでしたので、別途報告したいと思います。

## 在外研究の意義

今年は OSU の年代ラボとしても、原子炉での照射番号が2桁となった初めての年ということで大変賑わった年だったようです。いろいろな国の人と出会い、考え方が広がったことは言うまでもありませんが、世界がとても近くなったような感覚になりました。インターネットを用いて、海外に長期間滞在しなくても比較的簡単に世界とつながれる現代です。研究においても、論文や学会等で知り合いになりメールでやりとりしながら国際共同研究を進め



写真1 最終日の朝に立ち寄ったオレゴン名産のブルーベリー畑。紅葉したブルーベリーの木が綺麗でした。

ていくことが可能でしょう。しかし、1年間ほぼ毎日顔を合わせて世間話をし、一緒に実験をしたことで、より深く交流でき、強い関係性を築くことができたと思います（写真2）。今回持ち帰った技術と情報で産総研の測定システムの自動化と高精度化を進めますが、OSUで独自開発されたソフトウェアの導入にいつでも駆けつけてもらえると力強い言葉をもらいましたし、もう一年延長できないのか、またいつでも実験に戻って来ていいよと有難い言葉ももらいました。広がった人脈と築いた関係を活かして産総研や日本の年代学分野に還元するためには、これからが勝負です。

### おわりに

半年をすぎたころから、英語と日本語を別々に考えていた脳内の何かが変わるような不思議な感覚に陥りました。英語の会話の中で日本語で返事をし

てしまったり、日本人と会話しながら英語が混ざったりするのは。生活していくとなると脳も飽和して省エネになったのかもしれませんが。しかし、その頃から気負わずコミュニケーション自体を楽しめるようになった気がします。個人主義でパーソナルスペースを大事にしながらも、初対面でもHi! How are you? と話し始めて、Good! や Great! と日常を明るく回す挨拶は無意識の決まり文句です。表面的でも1日に何度も Good! Good! と言っていると不思議と元気になっていきます。日本に帰ってきて「おかえり」（と言ってもらえて大変嬉しかったです）の次に聞いた挨拶は「お疲れ様」でした。他人の心に寄り添う優しさの言葉ではありますが、英語の挨拶にはないネガティブなマインドにハッとしました。まだまだ疲れてはいられない、元気に頑張る楽しい課題が見つかりましたよ！と、しばらくアメリカ風を吹かせてみようと思います。



写真2 11月にセミナー発表した際のスライドの最終ページ。本当に多くの方にサポートしてもらいました。ありがとうございました！



## 研究会報告 第4回国際火山地質研究会参加報告

下司信夫・伊藤順一

IAVCEI（国際火山学及び地球内部化学協会）の分科会である Commission on Volcano Geology は、火山活動史の復元やそれに基づく火山活動の理解のための地質学的を目的として2015年に設置されました。特に、詳細な火山活動の復元やそれを駆動するマグマ活動の理解、あるいはそれらに基づくモデリングによる火山活動の将来予測のために、火山活動の野外調査方法や地質図作成の新たな手法や技術、コンセプトの開発を進めています。分科会ではその準備過程も含め、これまで3回の研究会を開催してきました。第1回の研究会は、分科会の設立準備として2014年7月には大西洋上のホットスポット火山島であるポルトガル領マデイラ島で開催し、火山活動推移の理解のための火山野外調査や火山地質図作成の新たなコンセプト、火山地質調査の新たな可能性について議論しました。第2

回の研究会は2015年のIUGG総会に伴いチェコのプラハで開催し、詳細な火山活動の復元やそれを駆動するマグマ活動の理解のための火山地質研究の将来的な方向性を議論し、分科会の設立に至りました。第3回は活動的火山における火山地質研究手法をテーマとして、2016年7月にイタリアのエトナ火山およびエオリア諸島（ブルカノ島、リパリ島、ストロンボリ島）で開催し、若い火山における野外調査に基づく火山活動のステージ区分の方法やそのための活動ユニットの認定方法について議論が行われました。

第4回となる今回の研究会は、2017年10月8日～14日にルーマニア東部のトランスシルバニア山地で開催されました。トランスシルバニア山地はルーマニア中央部を逆L字型に貫く山地で、構造的にはヨーロッパアルプス山脈から東に続くカル

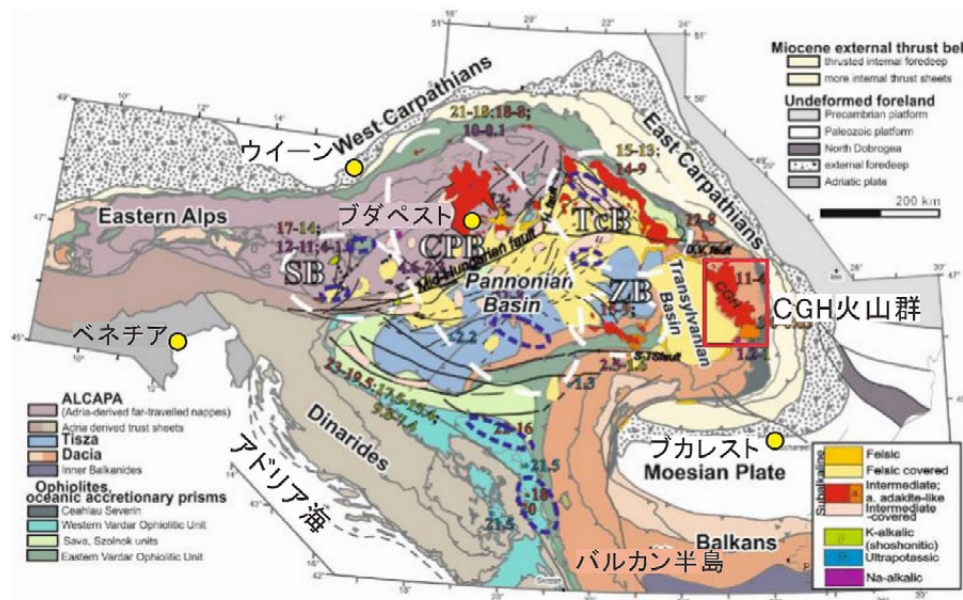


図1 ルーマニアを含むバルカン半島北部の地質概略図。ハンガリーからルーマニア西部にまたがる Pannonian Basin を取り囲むように屈曲しながら続く Carpathian 山地の中に、赤色で分布を示した新生代の火山岩類が分布しています。赤枠で囲った部分が今回の研究会で訪問した Călimani-Gurghiu-Harghita (CGH) 火山群。おもな都市の位置を黄丸で示しています。第4回火山地質研究会巡検案内書より一部改変。

パチアン山地の一部です。カルパチアン山地は、アフリカプレートの北進に伴いテーチス海が閉鎖してゆく過程でバルカン半島北半分を占めるアドリア地塊がユーラシアプレートに衝上して形成された山地です。そしてこれらのカルパチアン山地には約2000万年前から100万年前にかけての多量の火山岩が分布しています(図1)。これらの火山活動は、アドリア地塊の衝上にともなう下部地殻のデラミネーションとアセノスフェアの上昇によって駆動された火山活動と考えられており、ユーラシアプレートの沈み込みに影響を受けたカルクアルカリ岩系列～アルカリ岩系列のマグマ活動が知られています。これらルーマニアの火山活動はあまりなじみがないかもしれません。しかし、この地域に産する斜長石斑晶を含む珪長質火山岩が古代にこの地域に栄え2世紀初めにローマ帝国に征服された王国ダキア(Dacia)にちなんでdacite(デイサイト)と命名され、現在の火山岩の基礎的な区分のひとつとなっています。

今回訪れたトランスシルバニア山地はカルパチアン山地の火山活動の後期から末期の活動の場で、Călimani-Gurghiu-Harghita (CGH) 火山群と呼ばれる約1000万年前から100万年前に活動した火山群からなります。この地域は、火山活動が終了している古い火山地域で、かつ中緯度の湿潤環境下にあるため侵食や植生による被覆が多く、かつ地形もそれほど急峻でないために地層の露出が極めて限られています。そうした点で、活動的な火山で比較的乾燥した植生の乏しい地域である前回の研究集会(イタリア・エオリア諸島)とはきわめて対照的な環境にあります。今回の研究集会のテーマは、植生に覆われ露出の乏しい火山地域において断片的な露頭情報から火山活動をどのように復元するかというもので、我々日本の火山地質研究者にとっても極めて興味深い重要なテーマでした。

今回の研究集会は、ルーマニア Sapientia University の Alexandru Szakacs 教授と、Institute of Geodynamics of the Romanian Academy の Ioan Seghedi 博士、Cluj-Napoca University の Marinel Kovacs 教授が中心となって開催され、欧米を中心とする19か国から36名が

参加しました(図2, 3)ほとんどの国からは一人あるいは二人の参加となり、研究者だけでなく鉱山技術者も多く含まれており、きわめて国際色の豊かな集会となりました。研究集会は6泊7日の日程で行われ、参加者の大部分はルーマニアの首都ブカレストに集合し、そこからミニバス2台に分乗して移動しました。研究集会では延べ4日間を野外討論会に費やし、トランスシルバニア山脈を南から北に移動しながら新しい火山活動から時代をさかのぼって噴出物の構成の変化などを追跡しました。また、研究集会の途中1日は、関連する基調講演と参加者によるポスターセッションが行われました。



図2 今回のWSの案内者。ルーマニアの火山学者三羽鳥。左から Marinel Kovacs 教授, Ioan Seghedi 博士, Alexandru Szakacs 教授。長年にわたりルーマニアの火山岩地域の地質を研究している大家です。



図3 Varghis 火山(約5.4Ma)の山体崩壊以前の溶岩流(採石場)前で解説を聞く参加者。10月だというのに朝夕はかなり冷え込みます。木々の黄葉も見頃です。手前の袋に詰められているのが板状節理に沿ってはがした石材。



最初に訪れた観察地点は、CGH 火山群の南端にあたる Rupea にある中世の要塞遺跡で、その遺跡を載せている大規模な山体崩壊による流れ山とされる溶岩ブロックを観察しました（図4）。溶岩のブロックが異地性の流れ山なのか現地性の岩頸なのかを識別する観察ポイントなどについて議論がなされました。また CGH 火山群の活動末期に噴出したアルカリ玄武岩の溶岩流やマグマ水蒸気爆発の堆積物を観察しました。2 日目は、Harghita 火山群南部の Ciomadul 火山を訪れ、最も新しい火山活動で形成された火口地形やその周りのマグマ水蒸気爆発の堆積物を観察しました。3 日目は Harghita 火山群北部を訪れ、初日に観察した Rupea の山体崩壊堆積物をもたらした火山体の中心部の構成物や、火山周辺部の溶岩・土石流堆積物を観察しました（図3）。

4 日目は Reghin 市のホテルで基調講演とポスターセッションからなる研究集会を行い、露出の乏しい火山地域において火山活動のシーケンスをどのように認識するか、あるいは火山の基礎的な構造を堆積物からどのように区分すべきかといった議論が行われました。Alexandru Szakacs 教授の基調講演では、露出が限られる古い火山地域においては、活動の休止期を示す不整合面などの明確なユニット境界が存在していてもそれが露出する可能性が低く、境界を認識することが困難であることから、



図4 ルペア城（Cetatea Rupea）を載せる流れ山。サクソン人によって作られた中世の城郭がのるこの小丘は、約 6.8Ma の玄武岩質安山岩溶岩のブロックからできています。このブロックは北方約 50km にある Harghita 火山の大規模な山体崩壊によって運ばれた流れ山と考えられています。

広域に分布する降下テフラや山体崩壊堆積物を「マスターイベント」として、活動区分や対比の鍵とすることが提案され、具体的な事例に沿ってその有効性が議論されました。

5 日目以降は再び野外討論会に戻り、基調講演における議論を受けて、マスターイベントとして認識できるユニットが実際にどのように露出しているか、あるいはその認識方法について議論となりました。また、火山の中心部から縁辺部にかけての噴出物の岩相変化の認識とそれを用いた地質図の作成についても、実際の堆積物を前に具体的な議論が行われました。5 日目は Călimani 火山と Gurghiu 火山に挟まれた地域で、それぞれの火山から供給された堆積物の相互関係について観察しました。火山周縁部のラハール堆積物とその供給源、あるいはより火山に近い地域での火砕流・溶岩流の産状などが観察の焦点となりました。最終日の 6 日目には、今回訪問した CGH 火山群の中では最も古く、かつ開析の進んだ Călimani 火山を訪問し、火山中心部に分布する貫入岩体などの観察を行いました。

今回訪問したトランスシルバニア地域の火山地域は、すでに活動を終えた火山群で、限られた断片的な露出をつないでいかに火山活動とその推移を復元するかが大きな課題でした。また古い火山地域ではそれぞれのユニットの年代や対比の分解能も極めて悪くなるため、詳細な年代測定や岩石学的手法を用いた岩相対比などが重要になります。また、侵食されてももとの火山構造が失われている場合には、それぞれの露頭に露出する構成物が火山体のどのようなユニットに相当するのかなどを総合的に判断しなければ火山の復元が困難になります。こうした問題点は日本の植生に覆われた地域の火山でわれわれが直面しているものとほとんど同じです。

今回の研究集会は、首都ブカレストを出発し、6 泊 7 日の行程でトランスシルバニア地域を縦断し、最終日には約 500 km の行程をバスでブカレストまで戻るといふ大旅行でした。移動が長く大変ではありましたが、その分これまでほとんどなじみなかったルーマニアの地方をじっくりと見る貴重な



機会となりました。トランスシルバニア地域は、山裾に伝統的な建築が並ぶ小都市が点在している、いかにも東欧の素朴さを残したのどかな地域でした(図5)。また山に入ると本州の落葉広葉樹の森とよく似たカシやクヌギの森が広がっており、植生・山塊の起伏や露出の様子など、日本の山を歩いているような錯覚にとらわれます。ルーマニアは国自体としては経済的にも決して突出した豊かさはありませんが、町の建物や走っている自動車、歩く人々の様子などには貧しい感じはほとんどありませんでした、また、幹線道路などのインフラも極めてよく整備されています。また、今回訪れた地方では治安の悪そうなところもほとんどなく、訪れたどの街もたいへん清潔だったのは感心しました。食べ物などは肉料理が中心で焼き物や煮込み料理などの素朴なものが多いですが、味付けなどもあっさりしていてわれわれにはなじみやすいように思います。

また、WSの参加に先立ち、我々二人でブカレストの地質博物館を見学しました。この地質博物館はブカレストの中心街にほど近い公園地区にあり、創立1906年の地質研究所(Institutul Geologic)庁舎を博物館に再利用した格式のある建物です(図6)。展示物の解説部分は厚紙・絵の具等を用いた手作りのもので、展示の方法も決して洗練されていたものとはいえませんが、例えば鉱物結晶形、あるいは火山・火成活動などテーマ毎に地質・地球科学の学問体系を整理して提示しているという点でたいへん



図5 トランスシルバニア北部の伝統的な木造建物が並ぶ Bistrița の市街地。ちょうどワイン祭りが行われていましたが、巡検のスケジュールが押しているため素通り、手前を歩くは地元特産の洋ナシのケーキを入手してきた Marinel Kovacs 教授。

工夫されていると感じました。また、この地域の鉱工業を支えてきた地下資源、とくに金属資源となった鉱石鉱物のコレクションは素晴らしいものがあります。展示室がならぶ廊下の脇には、自然科学としての地質学に対するこの標本館の(あるいは展示物をコーディネートした人の)考え方を表明したポスターも展示されていました(図7)。

次回の国際火山地質研究集会は、ニュージーランド・Massey 大学の Karoly Nemeth 博士の企画で、2019年春ごろにニュージーランド北島で実施することになりました。ルアペフ火山などの活動的火山を主な舞台に、詳細な降下火砕物などの層序・岩相開析に基づく火山活動史の解析手法をおもなテーマとして開催する予定です。



図6 ルーマニア地質博物館。建物の正面玄関には地質研究所(Institutul Geologic)と刻まれています。ちょうど地元の学校の子供たちが見学に訪れていました。



図7 地質学：地球を研究する科学。究極の目標は、地下を知り、活用することで、社会を豊かにすること、と説いています。

## 共同研究 韓国地質資源研究院 (KIGAM) 地震研究センター訪問と 2017年浦項地震との遭遇

内出崇彦 (地震テクトニクス研究グループ)

2016年9月12日、韓国の地震観測史上最大規模の慶州(キョンジュ)地震( $M_L$  5.8)が慶州市の郊外で発生しました。韓国は地震活動が低調な地域ですが、M6級の地震が発生した歴史もあります(Lee & Yang, 2006)。慶州地震発生地域の近くには原発が立地しているほか、慶州市には歴史的建造物もあるということで、地震災害に敏感な地域で発生した地震です。この地震の発生を受けて、韓国内で活断層調査や地震研究に力を入れるようになっており、産総研はKIGAMに協力しているところです。

その関係もあって、私は2016年慶州地震の断層すべり分布を求め、その意味を検討するという共同研究を行っています。そして今回、これまでの成果のとりまとめと今後の共同研究の打ち合わせのため、2017年11月15日(火)・16日(水)とKIGAM地震研究センターにお招きにあずかりました(出張期間は14日~17日)。ホストはSeok Goo Song博士です。彼は米国スタンフォード大学で博士号を取得した後、米国やスイスで経験を積んでおり、国際的にもよく知られた研究者です。11年来の付き合いで気心が知れているおかげで、ここまでの共同研究もスムーズに進んでいます。



図1 韓国地質資源研究院(KIGAM)の正面入り口。大田広域市郊外のどかな場所にあった。

KIGAMは大田(テジョン)広域市にあります。仁川(インチョン)空港からソウルに出て、そこから高速鉄道KTXで1時間ほどかかりました。運が良ければ、仁川空港から直通のKTXがあるのですが、KIGAMはGSJ同様、地質と天然資源(鉱物資源)の研究所です(図1)。地震研究センターでは、核実験の監視業務もかなり重要であるそうです。

15日の午前中は、慶州地震の本震及び最大前震の断層すべりモデルに関する論文完成に向けた打ち合わせを行いました。昼食後にはGeological Museumも見学しました。入り口には恐竜の化石がそびえ立っていました。マルチメディアを利用した展示は印象的でした。

午後論文のとりまとめを行う予定でしたが、14時29分、状況が変わりました。揺れを感じたのです。体感では日本の震度2か3程度で、つくばではよく体験する程度のものでした。また、ほぼ同時に、日本から持参した私用のスマートフォンにメッセージが入ってきました(図2)。いわゆる「エリアメール」「緊急速報メール」のような仕組みで配信されていると思われます。こういったメッセージが入っ

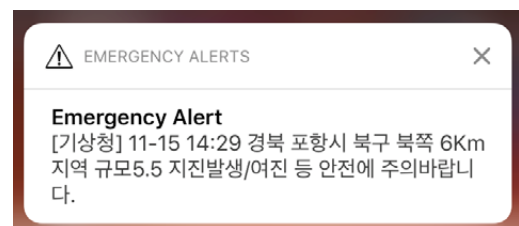


図2 滞在中に受け取った浦項地震発生を伝える緊急メッセージのスクリーンショット。「[気象庁] 11月15日14時29分 慶尚北道浦項市北区の北6kmの地域でマグニチュード5.5の地震が発生しました。余震などの安全に注意してください」という趣旨の内容です。なお、当然ながら、この「気象庁」は韓国気象庁のことです。また、「Emergency Alert」という英語で書かれている部分は、スマートフォンの言語設定が英語であることに起因すると思われます。

てくることを私は考えていなかったもので、揺れに対するメッセージ到達のタイミングに注目しそびれてしまいましたが、同じくらいのタイミングだったと思います。内容は、震央位置とマグニチュードの速報値を示すだけで、現在地における予測震度は書かれていませんでした。

その後、この地震が浦項付近で発生したローカルマグニチュード ( $M_L$ ) 5.4 の地震であり、今年の慶州地震に次ぐ観測史上 2 番目の規模であることがわかりました。日本の防災科学技術研究所が発表した発震機構解は横ずれと逆断層の間の斜め滑りを示しており、この情報を Song 博士に紹介しました。地震研究センターからは現地視察や臨時観測に出かける人が多く、夜にかけて慌ただしくなっていたようです。私は Song 博士の居室でおとなしく、情報収集や今後の研究についての検討を行っていました。夕刻には、 $M_L$  4.6 の地震の小さな揺れを感じ、やはり地震速報を受け取りました (図 3)。

Song 博士によると、慶州地震の際にもこのようなシステムはあったそうなのですが、メール配信に係る手続きが必要で、配信が遅れたとのことでした。今回は、そのような手続きの必要がなくなって、即時的に配信できるようになった第 1 号と第 2 号ということになります。

夜、宿に帰ってから、テレビのニュースを見ました。私は韓国語がまったくわからないのですが、それでも、時折、「浦項 (ポハン)」「慶州地震」(韓国語の「地震」が日本語の音に似ているので、「キョ

ンジュジシン」と言っているように聞こえます)「梁山 (ヤンサン)」といった語が聞かれました。なお、梁山断層は釜山から慶州を経由して浦項の方に延びている断層で、慶州地震は梁山断層の近くで、走向が地表断層と異なる 10 km 以深の断層で発生したものでした。日本の熊本地震や東北地方太平洋沖地震の際の映像が出てきた場面もありました。KBS では 30 分以上を割いて、浦項地震の特集をしていました。

16 日も浦項地震が話題になりました。今後の浦項地震の研究に向けて、想定される論点や必要なデータについて検討しました。どうやら、浦項地震の震央の近くで地熱発電に向けたプロジェクトが行われており、そこでの流体注入が地震発生に与えた影響が検討されているようで、テレビでも報道されていました。なお、午後に予定されていた私のセミナーは、皆さんがお忙しいということで、キャンセルになってしまいました。その日の夕食は、通常ならほかの皆さんがセミナー講演者を囲む形で開催されるようなのですが、このような非常事態でしたので、Song 博士と二人で焼肉を楽しみつつ大いに語り合いました。

浦項地震の影響で、KIGAM 地震研究センターのほかの研究者の方々にお会いすることができなかったのは残念ですが、慶州地震と浦項地震の研究についての打ち合わせができたのに加えて、浦項地震に対する社会の関心の高さを感じることができたのは収穫でした。

\*一部事実誤認があり、初出しの記述から一部訂正しました (2017 年 12 月 27 日)。

### 参考文献

Lee, K., & Yang, W.-S. (2006). Historical Seismicity of Korea. Bull. Seismol. Soc. Am., 96(3), 846-855. <https://doi.org/10.1785/0120050050>

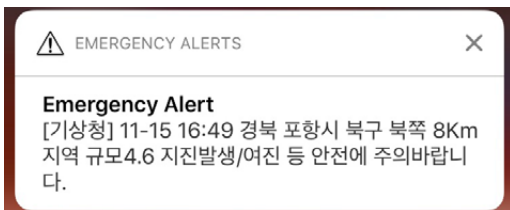


図 3 浦項地震の余震 ( $M_L$  4.6) 発生を伝える緊急メッセージのスクリーンショット。



## 受賞報告 宍倉正展グループ長が千葉大学 Science Lectureship Award を受賞

海溝型地震履歴研究グループの宍倉グループ長が、このたび千葉大学の2017年 Science Lectureship Award (SLA) 国際学術講演賞を受賞しました。SLAは千葉大学理学部が2005年に創設した賞で、毎年1名の研究者が選ばれ、今年で12回目になります。この賞は国際的な研究業績だけでなく、プレゼンテーション力や異文化・他業者へのコミュニケーションが優れている研究者を厳選しており、学生の前で講演していただくことで、世界最先端の研究に触れてもらう機会を設けることが大きな目的になっています。基本的には外国人研究者や海外の機関に所属する研究者を対象にしておりますが、最近是国内の研究者も対象となりました。理学に関わる数学、物理学、化学、生物学、地球科学の5分野で毎年順番に選出され、宍倉グループ長は地球科学分野で3人目の受賞となりました。なお、歴代のSLA受賞者にはノーベル賞受賞者も2名おり、昨年の受賞者はそのうちの1名である東京大学の梶田隆章教授でした。

表彰式および講演会は11月17日に千葉大学西千葉キャンパス内のけやき会館で行われました。当日は徳久剛志学長をはじめ、学生や教員のほか、大学OBなど多くの聴衆を集めた中で、宍倉氏は「巨大地震をほり起こす」と題する講演を行いました。内容は宍倉氏が行っている関東地震に関する研究や、国内外各地での古地震調査のことが紹介された



壇上で受賞コメントを述べる宍倉グループ長。

だけでなく、ご自身が地球科学に興味を持ったきっかけや、学生時代の話など、研究以外の話題も交えて話されました。講演の最後の方では震災を通じた理学と社会との関わりについて述べられる一方、学生に向けて、社会に付度することなく科学への純粋な興味で研究に邁進してほしいとメッセージを送りました。

講演後には柳澤章理学部長よりメダルと賞状が贈られ、さらにこの会を準備し、運営した理学部地球科学科の学生一同からも花束と記念品が贈られました。表彰式後は懇親会が開かれ、学生や大学院生と直接意見交換する機会を持ちましたが、それでも話し足りない学生・院生たちとは、2次会、3次会と会を重ね、交流を深めていったそうです。

## 外部委員会等 活動報告 (2017年10月～11月)

2017年10月6日

新基本施策レビュー委員会（岡村出席 / 文科省）  
活断層に関する調査研究，工学・社会科学との連携  
に関するレビュー

2017年10月11日

地震調査委員会（桑原，岡村出席 / 文科省）  
9月の地震活動の評価，千島海溝の長期評価，四国  
地方の地域評価など

2017年10月17日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会準備会  
（松本（則）出席 / 気象庁）  
南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会準備会  
に参加し，南海トラフ沿いの地震に関する評価検討  
会で報告する予定の産総研資料の案について報告  
した。

2017年10月19日

地震調査研究推進本部第75回活断層分科会（岡村・  
近藤出席 / 文科省）  
四国地方の長期評価について，ほか

2017年10月30日

地震防災対策強化地域判定会（松本（則）～出席 /  
気象庁）  
東海地方周辺の最近の1ヶ月のデータを持ち寄っ  
て検討し，東海地震の発生可能性について協議し  
た。

2017年10月30日

地震調査観測に関する基本的施策レビュー小委員  
会（岡村出席 / 文科省）  
横断的に取り組むべき重要事項などについて

2017年10月31日

地震調査委員会長期評価部会（岡村・宍倉出席 / 文  
科省）  
千島海溝及び四国地方の長期評価について

2017年11月21日

地震調査研究推進本部第76回活断層分科会（岡村・  
近藤出席 / 文科省）  
中日本地域の活断層の長期評価ほか

2017年11月22日

地震予知連絡会（松本（則）出席 / 国土地理院）  
全国の地殻活動モニタリングに関する検討を行  
なった。重点検討課題は「予測実験の試行04」で  
あった。

2017年11月27日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会・地震防  
災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / 気象庁）  
最近1か月の南海トラフ沿いの地震に関する地殻  
活動モニタリングの評価検討を行なった。

## IEVG ニュースレター Vol.4 No.5 (通巻23号)

2017年12月発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
活断層・火山研究部門  
編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>