

2015 年
12 月号

IEVG ニュースレター
Vol.2 No.5

NEWS LETTER



[研究現場紹介]

構造物と家具の地震応答解析 ―力学に基づくシミュレーションの一事例―

竿本英貴（地震災害予測研究グループ）

1. はじめに

2011 年 4 月に入所して、5 年近くになろうとしています。入所以来、力学に基づく数値シミュレーションを利用した研究・業務を行っています [1]-[8]。

今回は、活断層・火山研究部門が所属する第 7 事業所の構造物の地震応答シミュレーションと、これに付随する家具の地震応答シミュレーションについての事例 [2] を紹介します。

この研究は、2011 年 4 月に着任した際、東北地方太平洋沖地震の影響で、自室の天井のパネルが滑落していたことや、机や椅子が大きく滑動していたこと、他の部屋の本棚が倒れていたことを目の当たりにして、被害を事前に予測できていれば、と思ったことに端を発しています。地震前のシミュレーションによって構造物と家具の地震時挙動が把握できていれば、構造物の耐震補強、家具の転倒防止

対策、避難時の動線策定等に有用な情報が提供できるのではないかと考えています。

まずはシミュレーションの妥当性を検証する必要があるため、第 7 事業所の構造物を例として、シミュレーション結果と実際の被害を比較した結果を報告し、シミュレーション結果が一定以上の精度で地震応答挙動を再現していることを示します。

2. 第 7 事業所での被害の様子と構造物の特徴

東北地方太平洋沖地震時後の第 7 事業所内の被災状況についての写真を図 1(a) から図 1(c) に示します。各写真の撮影場所 (A, B, C 地点) の構造物内における位置関係は、図 1(d) のとおりです。これら以外にも多くの被害が確認されましたが、紙面の都合上、割愛させていただきます。図 1(a) と図 1(b) には、地震時に滑動した机が床に傷をつけて

Contents

- 01 研究現場紹介 構造物と家具の地震応答解析 ―力学に基づくシミュレーションの一事例― …… 竿本英貴
- 06 新人研究紹介 海底火山の発達史とマグマ進化過程に関する研究 …… 草野有紀
- 10 新規採用職員紹介 …… 野口里奈
- 10 外部委員会活動報告 2015 年 10 月～11 月

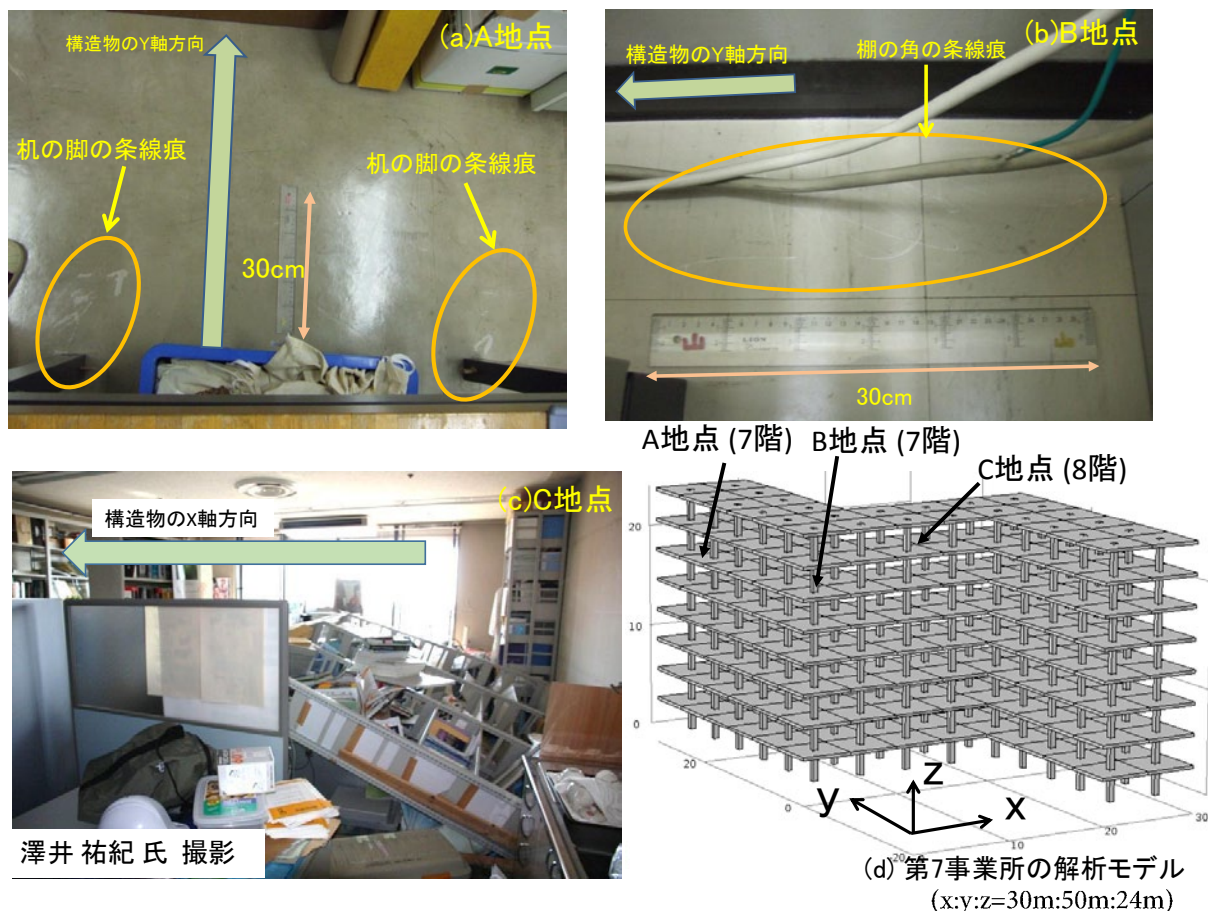


図1 東北地方太平洋沖地震後の第7事業所内部の様子。

おり、長さにして 30cm 程度の条線が確認できます。これらの条線は、家具の地震応答解析結果の検証に利用します。

第7事業所の構造物は、「L」の字の右下を原点として点対称に「L」を配置した形状となっています。また、第1から第3の固有周期が近接しており、構造物が揺られる第1モード（周期 0.680 秒）、X 方向に揺れる第2モード（周期 0.679 秒）、Y 方向に揺れる第3モード（周期 0.633 秒）の3つのモードが合成されやすい形状であることが特徴です [2]。

3. 数値シミュレーションの手続と結果

実施するシミュレーションの一連の手続について簡単に述べます。手続は2段階あり、(1) つくば市で観測された地震加速度を構造物モデルに入力し、構造物の地震応答を求める手続（有限要素

法を利用）、(2) 手続 (1) で得られた構造物内の A, B 両地点の地震応答加速度を別途用意した部屋モデルに入力し、家具の地震応答を求める手続（剛体シミュレーションを利用）、という流れになります（用いた手法の詳細は、文献 [2] を参照ください）。なお、構造物へ入力した地震加速度は、主要動開始後の約 10 秒間です。また、部屋モデルは、A 地点と B 地点で同一のものをを用いており（入力加速度は異なる）、全ての家具の摩擦係数を 0.4 と設定しました。以下、各手続に対応する結果を示します。

3.1. 構造物の地震応答解析結果

図 2(a) と図 2(b) は、構造物が地震加速度を受けて変形している際のスナップショット（変位を 60 倍強調）と、A, B 各地点での構造物の長手方向（Y 方向）加速度をそれぞれ示しています。構造物の X

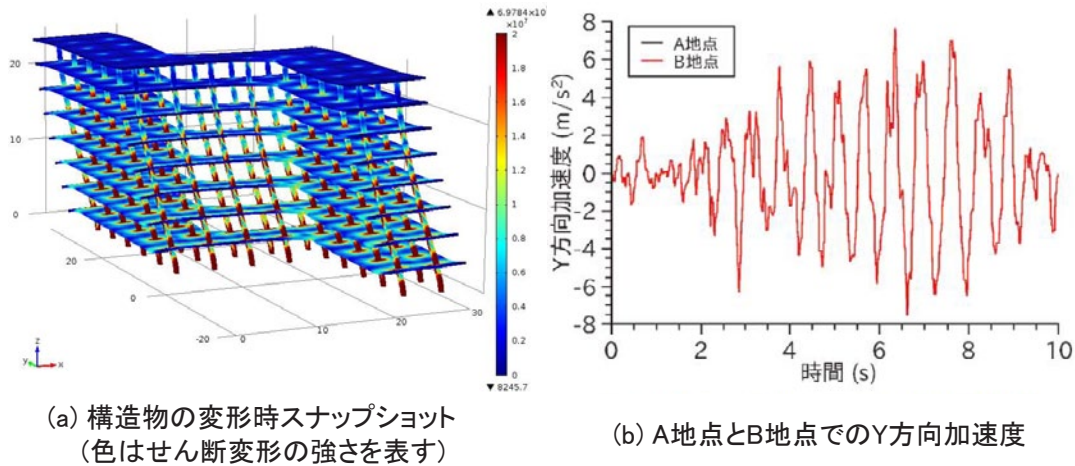


図2 構造物の地震時スナップショット（左図）とA, B両地点でのY方向加速度（右図）。

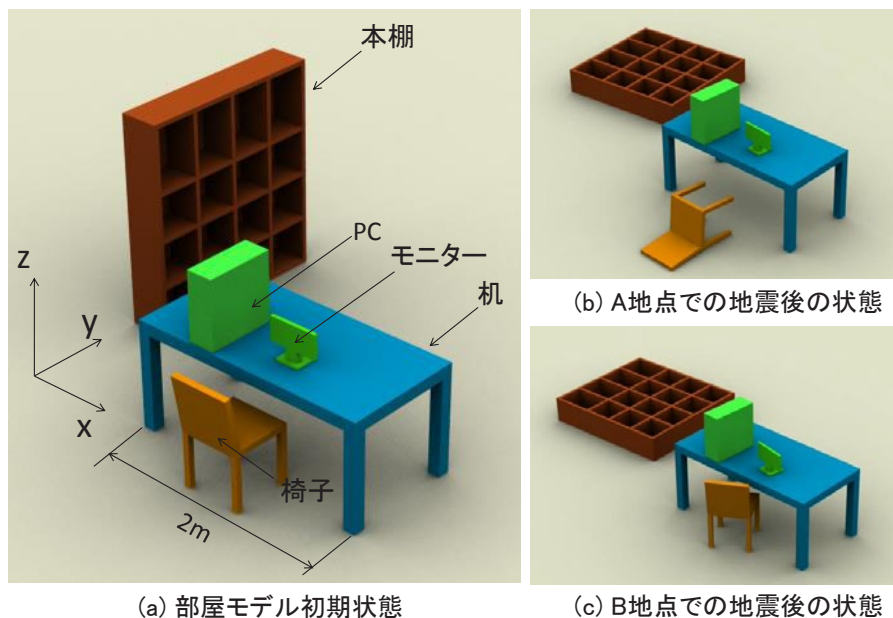


図3 地震前の部屋モデルの状態（左図）と地震後のA, B両地点の状態（右上, 右下）。

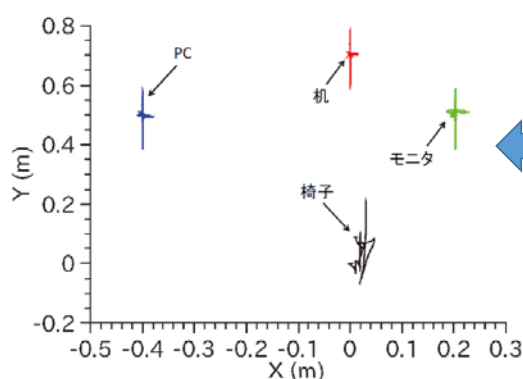
方向、Z方向に比べ、Y方向の加速度が卓越する結果となりました。弾性体で構造物をモデル化しているため、地点が異なってもほとんど差は出ていません。また、最大加速度については、約800galとなっています。

3.2. 家具の地震応答解析結果

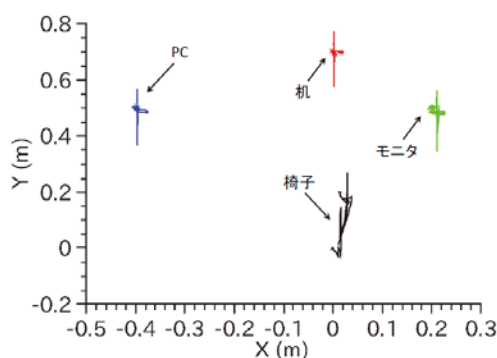
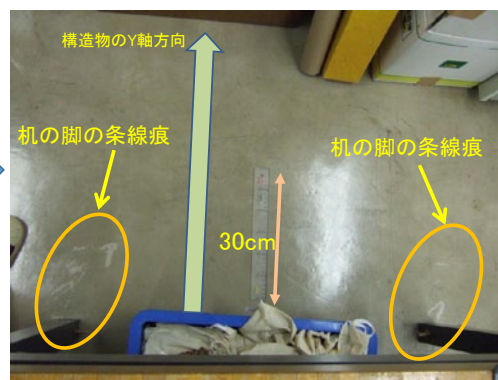
構造物のシミュレーション結果で得られたA, B両地点の加速度を、別途用意した部屋モデル（図3(a)）にそれぞれ入力します。各部屋に入力する加速

度は、地面の加速度に加えて構造物の加速度の影響が加味されていることに注意が必要です。ここで、机や本棚などの家具は剛体と仮定しています。家具のシミュレーションを実施するためには、各家具の質量と慣性モーメントテンソル、そして接触領域での摩擦係数等が必要です。これらの詳細については、文献[2]に示しています。

地震後のA地点の部屋の様子を図3(b)に、地震後のB地点の様子を図3(c)にそれぞれ示します。入力する加速度に大きな差がないため、両者の結果



(a) A地点での家具の条線痕(シミュレーション)



(b) B地点での家具の条線痕(シミュレーション)

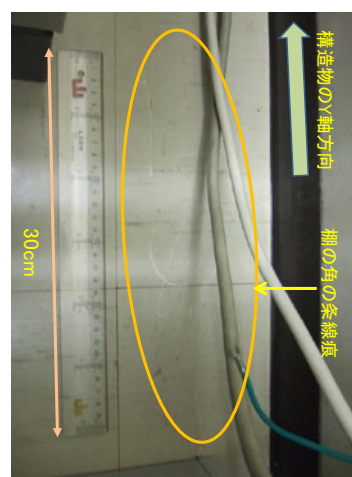


図4 A、B両地点における各家具の条線(左図)と実測結果(右図)の比較。

は概ね近い状態になっています。ただし、A地点では椅子が倒れているのに対し、B地点では回転する程度でとどまっているなどの違いが確認できます。

図4は、地震動を受けている最中の家具の重心位置の挙動をプロットしたもので、図4左上がA地点に、図4左下がB地点にそれぞれ対応します。これらの重心位置の滑動記録が、実測によって得られている条線と比較すべき量です。シミュレーションから得られた滑動距離は、20cmから30cmであり、実測値と良い一致を示しました。さらに、大局的な滑動方向も実測した条線の方角（構造物のY方向に対応）と整合しています。以上の比較・検討から、数値シミュレーションは一定以上の精度で実際の状態を模擬していると判断しました。なお、家具の摩擦係数は、家具が絨毯上に設置されている場合や塩化ビニルシート上に設置されている場合でバラ

つくことが報告されていますが、金子の実験結果[9]によれば、今回用いた0.4という値は、平均的であると考えられます。

4. まとめと今後の課題

今回の検討を経て、構造物に入力される地震波と構造物の諸元が既知であれば、一定以上の精度で家具の挙動が予測できることがわかりました。また、一連の解析のうち、各家具モデルの作成および部屋の初期状態の作成が、予想以上に手間のかかる作業であることがわかりました。

一連のシミュレーションを円滑に実施するためには、地震を受ける前の実際の部屋の状態を、なるべく自動的に計算機上に再現するための技術開発が課題として挙げられます。当然ながら、構造物に入力する地震波についても推定しておく必要があ

りますが、この課題については、所属している地震災害予測研究グループで実施している強震動解析に基づいて設定する等の方法で対処可能と考えます。

謝辞

構造物に入力した地震加速度として、防災科学技術研究所の強震動観測データを使用しました。ここに記して感謝します。

参考文献

- [1] 竿本ほか：不規則形状粒子からなる多孔質体内の間隙流体の流動様式 ―可視化実験結果と格子ボルツマンシミュレーション結果の比較―，土木学会論文集 A2（応用力学），Vol. 68, No.2 pp.I_433-I_442, 2012.
- [2] 竿本，吉見：構造物の形状の影響を考慮した家具の地震応答シミュレーション，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69., No.4, pp.I_642-I_649, 2013.
- [3] Saomoto, H.: Optimization of Tree Layout for Tsunami Energy Dissipation, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), pp.400-403, 2014.
- [4] 竿本ほか：RBF 補間と GA を用いた LiDAR データからの地震時地表変位抽出手法の開発，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.70, No.4, pp.I_161-I_168, 2014.
- [5] 竿本ほか：微細構造を考慮した多孔質体モデルの比抵抗値の直接計算，土木学会論文集 A2（応用力学），Vol.70, No.2, pp.I_463-I_473, 2014.
- [6] Saomoto, H., Katagiri, J.: Particle shape effects on hydraulic and electric tortuosities: a novel empirical tortuosity model based on van Genuchten-type function, Transport in Porous Media, Vol.107, No.3, pp.781-798, 2015.
- [7] 竿本ほか：位相最適化に基づく断層形状推定手法の開発，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.71, No.4, pp.I_21-I_31, 2015.
- [8] Saomoto, H., Katagiri, J.: Direct comparison of hydraulic tortuosity and electric tortuosity based on finite element analysis, Theoretical & Applied Mechanics Letters, Vol.5, No.5, pp.177-180, 2015.
- [9] 金子：地震時における家具の転倒率推定方法，日本建築学会構造系論文集，No.551, pp.61-68, 2002.

新人研究紹介 海底火山の発達史とマグマ進化過程に関する研究

草野有紀（火山活動研究グループ）

はじめに

これまで私は、博士課程・博士研究員期間を通じて、海洋地殻の形成史について研究してきました。地球表層の7割を占める海洋地殻がどのように発達し、沈み込み帯を通じて地球内部へリサイクルされてきたのかを解明するために、1) 過去の海洋地殻である苦鉄質・超苦鉄質岩体内部の地質構造を観察し、海嶺や島弧におけるマグマ活動を明らかにする研究や、2) 海底探査や掘削を行い、現在も進化の過程にある海洋底火成活動や構造運動を明らかにする研究を行っており、1と2の研究は相互扶助的な関係にあります。本稿では、1について、これまでに明らかにした海洋地殻および初期島弧火山の発達史についてお話しします。

なぜいまオフィオライトの火山岩なのか

かんらん岩、斑れい岩、シート状岩脈群と玄武岩の成層構造を持つ苦鉄質・超苦鉄質岩体をオフィオライトと呼びます。世界各地のオフィオライト岩体は1970年代、地質時代の海洋地殻と上部マントルであると紹介されました。ところが、岩体を構成する火山岩類の全岩化学組成に島弧的な特徴があること、化学組成の比較に使用された海嶺玄武岩の化学組成も均一ではなく、海域により異なることなどが次第に明らかとなりました。それ以来、オフィオライトが海嶺起源なのか、背弧海盆や前弧拡大などの沈み込み帯起源なのかという議論が各地で行われてきました。2000年代後半には、西太平洋において、プレート沈み込みが誘発するマントル上昇流も海嶺のようなマグマ活動を起こし、このときオフィオライトと同様の地質構造を形成すると提案されました。この成果をもとに各地域のオフィ

オライト造構場が再検討され始めましたが、オフィオライトの火山岩類の露出は深成岩類に比べて限られ、火山学的な調査は進んでいません。

造構場が地球化学的に決まらない一方で、潜水船を用いた海底観察や深海掘削の結果、多くの研究者が海洋地殻断面とオフィオライトの地質構造の類似性を認めています。オフィオライトの火山岩類は、海底火山の地質構造を知るための重要な手掛かりといえるでしょう。オフィオライトを形成するような海底火山活動は、山体にかかる水圧が高いため、溶岩を噴出する穏やかな噴火と考えられてきました。しかし、1990年代以降、世界各地で海底火山噴火の映像が撮影されてみると、トンガ海溝北端では海面下1500m以深で爆発を伴う溶岩流出も起こしていました。ハワイ島の陸棚斜面では、一つの溶岩流でも斜面の傾斜角が5度以上のときは伸張した枕状溶岩を作り、それよりも緩傾斜の場合は水底パホイホイ溶岩やシート溶岩を作ることが観察されています。私は、これらの水底火山学の視点を持ってオフィオライトの火山噴出物を調査し、海底火山の発達過程を明らかにしてきました。

中東のオマーン国からアラブ首長国連邦にかけて分布するオフィオライトは、世界随一と言ってよいほど地表での火山岩の露出が優れているため、溶岩流の三次元観察に適しています。また、かんらん岩、斑れい岩、シート状岩脈群と玄武岩の成層構造が延長800km、幅100kmに渡って連続的に保存されているため、海嶺下のマントルメルト上昇からマグマが貫入・噴出して海洋地殻が形成されるまで、および、その後に発生した島弧火山活動のマグマ輸送過程を検討することが可能です（図1）。ここからは、二つの火成活動について研究成果を簡単にご紹介します。

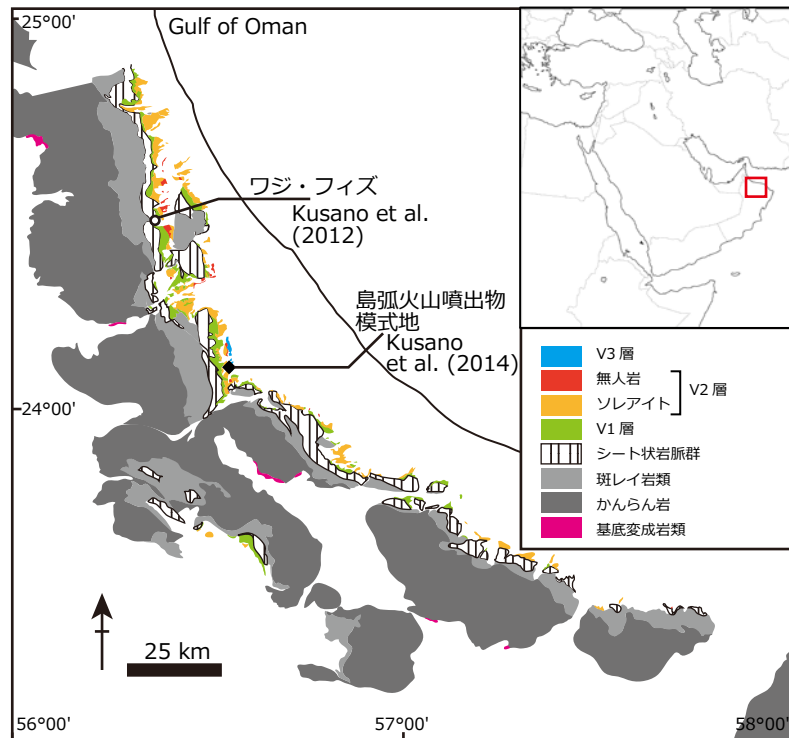


図1 オマーンオフィオライトの地質図。無人岩分布域は本調査結果に基づく。

高速拡大海洋地殻の地質断面

高速拡大海嶺の地形断面は広い裾野を持つ山形で、山頂に幅の狭い谷地形（海嶺軸）があります。音響探査や潜水船による観察に基づいて、海嶺軸部の噴火活動は、溶岩流がまず谷を埋め、谷からあふれ出た溶岩流が麓へ約 2-3 km 流れ下る穏やかな噴火と考えられています。一方、海嶺の麓（オフリッジ）には海嶺軸に並行する断層が発達し、周辺に軸部とは異なる化学組成の溶岩が分布することから、オフリッジでも噴火が起きた可能性が示唆されています。しかし、多くは新しい溶岩流や遠洋性堆積物に覆われているため、実際の層序関係はよくわかっていません。

オマーンオフィオライトのワジ・フィズ地域には、シート状岩脈群と溶岩層の遷移帯から連続的に、層厚約 900 m の海嶺玄武岩層（V1）が分布します。ここでは溶岩の産状を、チューブ状に伸張した枕状溶岩、鏡餅のように扁平な水底パホイホイ溶岩、上面がドーム状で柱状節理が発達したシート溶岩に区分しました（図2）。大局的には上位に向か

い、シート溶岩、伸張した枕状溶岩、パホイホイ溶岩とシート溶岩に変化します。海嶺噴火では新しい溶岩が表面を覆うだけでなく、海洋地殻自身も海底拡大によって移動しています。つまり、軸部だった地点は拡大に伴って山腹となり、オフリッジになります。そこで私は、溶岩の産状は、V1 の下位は山頂部の地形、上位ほどオフリッジの地形を反映していると発想しました。ワジ・フィズの層序変化を溶岩定置時の斜面角度で読み替えると、山頂部でシート溶岩、山腹斜面では伸張した枕状溶岩を形成し、オフリッジでパホイホイ溶岩やシート溶岩を形成したと推定することができました（図3）。

この見積りから、オフリッジで定置した溶岩層の厚さは全体の約 6 割となり、これは音響探査による海洋地殻構造の解釈とほぼ同じ結果です。さらに、オフリッジ溶岩に貫入する、複数の岩脈と火砕物・溶岩からなる「割れ目火口」があることも発見しました。この存在は、オフリッジで軸部とは異なる火口が開いたことを明示します。以上のように、V1 の層序は単なる時間変化ではなく空間変化も反

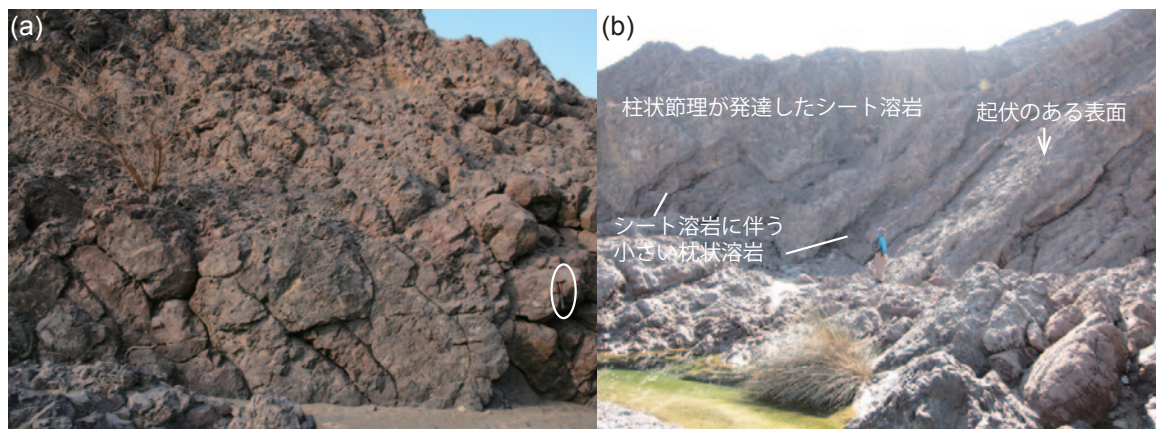


図2 a 向かって右下方向に伸張した枕状溶岩と、b シート溶岩の産状 (Kusano et al. 2012). シート溶岩の下部には内部でつながっている枕状溶岩を伴うことがある.

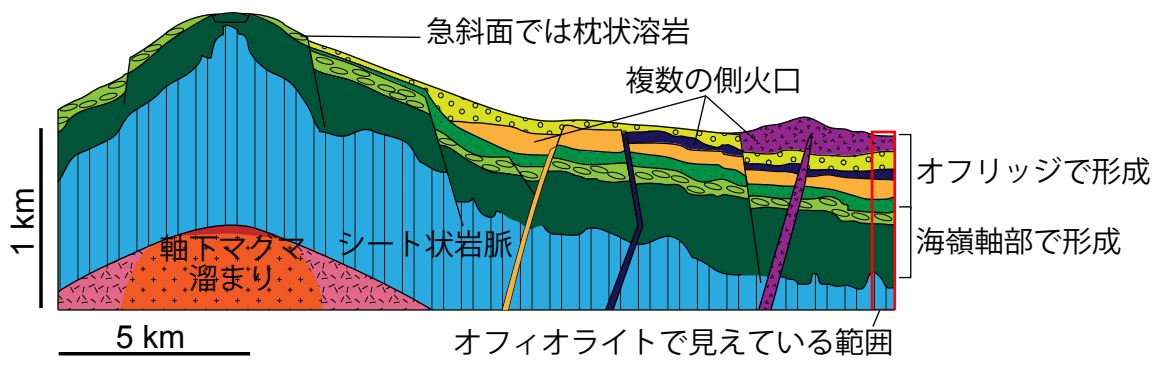


図3 海嶺近傍の溶岩定置モデル (Kusano et al., 2012). オフィオライトで得られるのは右端の柱状図.

映していることに着目して研究を進め、物理探査によって推定されていた海洋地殻溶岩層の形成過程を地質学的に証明しました (Kusano et al., 2012).

初期島弧火山とマグマ進化

オマーンオフィオライトには、海嶺玄武岩層 (V1) の上位に層厚約 1000 m の島弧火山岩層 (V2) が重なっています。両者の形成年代が近い (200 万年以内) ことから、V2 火山噴出物が初期島弧火山活動の産物であると考え、調査を行いました。ここでも水底火山噴出物の産状に着目して、下位はパホイホイ溶岩、上位ほどシート溶岩が分布することを明らかにしたほか、円筒状の火道が集中する場所を発見

しました。火道が集中する場所をかつての山体の中心付近と考え、南北約 30 km に分布するこの地域の初期島弧火山噴出物は、いくつかの火口を持つ複合火山あるいは火山群を形成していたと推定しました (Kusano et al., 2014)。V2 が古沈み込み軸に沿って配列した島弧火山の噴出物だったことを火山発達史から明らかにした例は他にありません。

島弧火山マグマの成因評価には、スラブ由来流体の寄与を議論することが不可欠です。しかし、議論に必要な微量成分は風化変質でも増減するため、中生代の火山岩で正確な組成を求めるのは困難でした。私は詳細な調査の中で、局所的に火砕物が分布することを記載し、これらの中に新鮮な火山ガラ

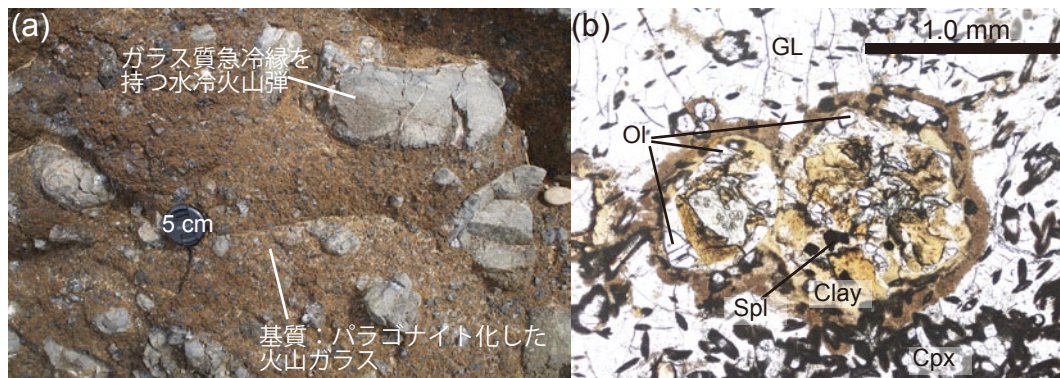


図4 島弧火山岩にみられる a 火山碎屑物の産状。水冷火山弾にはガラス質の急冷縁が発達している。b 新鮮な火山ガラスの顕微鏡写真。GL: 火山ガラス; Ol: かんらん石; Cpx: 単斜輝石; Spl: クロムスピネル; Clay: 粘土鉱物。

スを見出しました（図4）。オマーンオフィオライトの火砕物は一見、風化した崩落崖に見えるため、まったく注目されていなかったことが今日まで発見されなかった理由でしょう。複数の地点で発見した火山ガラスを分析した結果、火山岩の正確な微量元素組成が明らかとなりました。この組成変化を検討し、島弧火山活動の時間変化—沈み込んだスラブ由来の流体が付加することで始まり、次第に堆積物由来のメルトの寄与が増加したことを明らかにしました。

この島弧火山活動は短期間（300 万年以内）で終息したことから、5000 年以上かけて現在の沈み込み帯を発達させた西太平洋の初期島弧火成活動とは異なることが特徴です（Kusano et al., 2014）。オマーンオフィオライトと西太平洋との違いは、沈み込み開始と島弧の発達過程に多様性があることを表しており、陸上地質・海洋地質研究を組み合わせることにより、両方の研究が発展していくことがますます期待できます。

むすびに

4 月から取り組み始めた活火山の噴火史の研究では、1 回の噴火で地質に刻まれた情報、例えば噴火年代、噴出物の種類、噴火の規模とそれらの時間変遷などを、少しでも多く引き出し、すべての辻褄が合うように総合的に考えることが求められます。限られた試料から物言う地球化学情報を抽出し、地質情報と合わせて歴史資料に乏しい噴火史を明らかにしてまいります。

引用文献

- Kusano, Y., Adachi, Y., Miyashita, S., Umino, S., 2012. Lava accretion system around mid-ocean ridges: Volcanic stratigraphy in the Wadi Fizz area, northern Oman ophiolite. *Geochem. Geophys. Geosys.* **13**, Q05012, doi:10.1029/2011GC004006.
- Kusano, Y., Hayashi, M., Adachi, Y., Umino, S., Miyashita, S., 2014. Evolution of volcanism and magmatism during initial arc stage: Constraints for the tectonic setting of the Oman ophiolite. in: Rollinson, H. R., Searle, M. P., Abbasi, I. A., Al-Lazki, A., Al Kindi, M. H. (Eds), *Tectonic Evolution of the Oman Mountains*. Geol. Soc. London, Spec. Pub. **392**, pp. 177-193. <http://dx.doi.org/10.1144/SP392.9>.

新規採用職員紹介

産総研特別研究員 野口里奈

2015年11月1日より活断層・火山研究部門部門付の産総研特別研究員として配属になりました、野口里奈です。今年度の7月末に東京大学で学位を取得し、10月末まで相模原の宇宙航空研究開発機構で招聘研究職員として在籍しておりました。



ハワイで目の当たりにした溶岩地形に魅せられた、けれども宇宙もロマンがあって捨て難い…という欲張りな思いから、修士課程では「火星の火成活動」をテーマとしてNASAの取得した地形データ等の解析、地球上の類似地形との比較に取り組みました。修士課程の研究で発見した奇妙なルートレスコーン（溶岩と帯水層の接触で形成される火砕丘の一種）について、その成因を突き止めたくなり、博士課程では（火星には行けないので）研究フィールドを地球に移して、類似地形のあるアイスランド北部のミーヴァトン湖で調査を実施しました。高解像の地形データを得るためにGPSを背負って歩き、湖内の島の崖に出ている露頭を観察するためにボートに乗り、夜はコーンに寝そべってビール片手にオーロラ鑑賞をしました。その結果、当該ルートレスコーンは湖周辺にのみ分布し、その形成には湖成堆積物の透水性の悪さが関与していることが示唆されました。博士課程での研究を経た今、火山についてもっと勉強・研究して「太陽系火山学」という広い視野を獲得したいと思っています。

今後はこれまでと研究スタイルを変えて、細粒の火山噴出物の粒子形状を観察し、各形状パラメータと噴火現象あるいは噴煙の挙動に何か関係性が見られるのか、調べていく予定です。これまで火山噴出物の分析・解析を主としてきたわけではありませんが、必要になるたびに手法を導入する、ということを繰り返ししてきたので「新しいことをやる」

というのには慣れています。もちろんそれは周囲の方々のご理解・ご協力があって成り立つことです。皆様のご指導を頂きながらいろんなことにチャレンジしていきたいと思っておりますので、どうぞ宜しくお願い致します。

外部委員会等 活動報告（2015年10月～11月）

7-9月追加分

2015年7月10日

第6回千葉県地震被害想定調査検討会議（宍倉出席 / 千葉県庁）

議題：

- 1 地震被害想定調査の進捗状況
- 2 「大規模災害時の市町村の対応と県の支援」（県と市町村との連携の視点から）

2015年8月4日

地震本部第53回総合部会（桑原出席 / 文部科学省）
各機関の地震調査研究に関する来年度構想のヒアリング

2015年9月4日

火山防災対策推進検討会議（第1回）（桑原、伊藤順一出席 / 内閣府）

- 1 開会
- 2 火山防災対策推進検討会議の開催について
- 3 各機関の取組について
- 4 「御嶽山噴火を踏まえた今後の火山防災対策の推進（報告）」の取組状況
- 5 火山観測における関係機関の連携強化について
- 6 火山研究者の火山防災協議会への参画推進について

10-11月

2015年10月2日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第216回長期評価部会・第48回海溝型分科会（第二期）合同会（吉岡・宍倉出席 / 文部科学省）

2015 年 10 月 9 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文部科学省）

9 月の地震活動の評価ほか

2015 年 10 月 22 日

南海トラフ巨大地震及び首都直下地震モデル検討会（岡村出席 / 内閣府）

南海トラフ巨大地震による長周期地震動について

2015 年 10 月 23 日

第 7 回千葉県地震被害想定調査検討会議（穴倉出席 / 千葉県庁）

議題：

- 1 地震被害想定調査の進捗状況
- 2 「地震による火災被害と防災対策」

2015 年 11 月 11 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文部科学省）

10 月の地震活動の評価

2015 年 11 月 20 日

地震調査研究推進本部第 49 回海溝型分科会（第二期）（穴倉出席 / 文部科学省）

議題：

- (1) 千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について
- (2) その他

2015 年 11 月 24 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第 64 回地震動予測地図高度化ワーキンググループ（吉岡出席 / 文部科学省）

2015 年 11 月 27 日

地震調査研究推進本部 第 147 回強震動評価部会（栗田出席 / 東京）

地震動予測地図 2016 年版について、スラブ内地震の予測シビ案について、地下構造モデルについて、および地震動予測地図の今後に向けてについて、審議した。

2015 年 11 月 30 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第 217 回長期評価部会（吉岡出席 / 文部科学省）

IEVG ニュースレター Vol.2 No.5（通巻 11 号）

2015 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>