

2025

7

Vol.14 No.7

GSJ 地質ニュース

地球をよく知り、地球と共生する



7月号

-
- | | | |
|-----|-----------------------------|------|
| 163 | 廣川研究助成事業の概要とその成果について | 中尾信典 |
|-----|-----------------------------|------|
-
- | | | |
|-----|--|------|
| 165 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
熱環境攪乱が地圏環境に及ぼす影響評価に関する国際共同研究
打ち合わせ | 斎藤健志 |
|-----|--|------|
-
- | | | |
|-----|---|-------|
| 170 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
地下深部における断層帯の亀裂形成と力学・水理学的特性の
理解に向けたヨーロッパ岩石力学シンポジウム参加報告 | 細野日向子 |
|-----|---|-------|
-
- | | | |
|-----|--|------|
| 173 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
海底下生命圏における重金属動態解明のための国際共同研究に
向けたロサンゼルス南カリフォルニア大学での予備実験と事前
協議 | 宮嶋佑典 |
|-----|--|------|
-
- | | | |
|-----|---|------|
| 176 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
地下水・土壌汚染の微生物による浄化メカニズム解明に関する
国際共同研究へ向けた事前協議 | 吉川美穂 |
|-----|---|------|
-
- | | | |
|-----|---|------|
| 180 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
国際学会（The 9th Asian Particle Technology Symposium）
での成果発表及び研究動向の情報収集 | 網澤有輝 |
|-----|---|------|
-
- | | | |
|-----|--|------|
| 183 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
5th SerpentineDays 2024 への参加と国際共同研究に向けた
沈み込み帯における水流体の移動・分離過程に関する情報交換 | 中谷貴之 |
|-----|--|------|
-
- | | | |
|-----|--|------|
| 189 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
石炭紀からジュラ紀の超海洋パンサラッサ遠洋域における生物
源シリカ堆積プロセスの解明に向けた国際共同研究の事前協議
及び研究活動調査 | 武藤 俊 |
|-----|--|------|
-
- | | | |
|-----|--|------|
| 197 | 令和 6 年度廣川研究助成事業報告：
地殻構造の描像と地震発生過程の解明に向けた最先端研究の
情報収集 | 椎名高裕 |
|-----|--|------|
-

廣川研究助成事業の概要とその成果について

中尾 信典¹

平成 23 (2011) 年 1 月にご逝去された元地質調査所職員・廣川 治氏のご遺族(ご令嬢)である廣川はるみ様から、地質調査総合センター (GSJ) に対して 1000 万円もの高額のご寄付のお申し出があり、GSJ は平成 23 (2011) 年 9 月に深く謝意をお伝えし、これを受領いたしました。廣川治氏は、地質調査所で長年にわたって地質学の研究と調査に貢献された方で、ご経歴・ご功績については、GSJ 地質ニュースに「廣川 治さんの生涯と業績」と題して紹介されています(山田, 2012)。また、本寄付金の経緯も GSJ 地質ニュース(佃, 2012)で報告されています。廣川はるみ様からの寄付金申込書には、『旧地質調査所 OB である廣川治の精神を活かすため、委員会を設置して、用途を特定して適切に運用すること。活動報告をホームページ等で公表すること。』と記されるとともに、『旧地質調査所設立の年を 1 年目とすると今年は 130 年目となる。この長い歴史を大切にしながら新しい時代の GSJ としてあるべき姿、為すべきことを考え、国の内外から信頼される研究機関となってほしい。人間として正しい行いをし、なすべきことに対しては真摯な姿勢で臨むという廣川 治の精神を引き継いでいってほしい。すでに実践されているのであれば今後も続けてほしい。若手研究者の発言・発表の場や機会を多く設けてほしい。』と GSJ への期待が述べられていました(佃, 2012)。

このご遺志に沿って、GSJ では当該寄付金を管理・運用する「廣川寄付金運用委員会」を平成 24 (2012) 年に設置し、GSJ に所属する若手研究者の育成に資する研究助成を目的とした「廣川研究助成事業」を開始しました。若手研究者を海外に短期派遣することで国際的に活躍できる人材を育成するという事業です。具体的には、毎年、調査・研究、学会発表・情報収集、大学・研究機関等との共同研究やその事前打ち合わせ等に係る外国旅費等を対象として、GSJ 常勤研究職員(原則として応募当時 40 歳未満)からの提案を公募し、運用委員会が厳正に審査し海外派遣を決定するというものです。当初は 10 年程度の期間で運用することとし、毎年、総額 100 万円を目安として 2～3 名程度の若手研究者を海外に派遣してきました。平成 27 (2015) 年度

分まで、派遣された若手研究者の報告という形で活動内容を GSJ 地質ニュースに掲載するとともに、助成事業報告を廣川はるみ様にご報告してきました。

平成 29 (2017) 年には、廣川はるみ様ご逝去の報を受けました。ここに、はるみ様のご冥福を心よりお祈りする次第です。なお、廣川はるみ様のご遺志により GSJ は再度 300 万円ものご寄付を頂きました。廣川 治様、廣川はるみ様のご遺志をお受けし、深甚な感謝の念に堪えません。GSJ では、これらのご寄付を合わせて計画期間を 13 年に延長して廣川研究助成事業の運用を図りました。活動内容は平成 28 年 (2016) 年度以降、令和 5 年度分まで GSJ 地質ニュースに掲載しています。途中コロナ禍による中断などもありましたが、令和 6 (2024) 年度に滞りなく事業を完了いたしました。本事業により海外派遣された若手研究者は 35 名に及びます。それらの概要を第 1 表に示します。このうち現時点で、11 名の若手研究者が、助成事業での短期派遣をきっかけにして海外の研究機関や大学との人的ネットワークを構築し、半年以上の長期在外研究に結び付けています。なお、事業最終年度である令和 6 (2024) 年度に本事業により海外派遣された研究者の活動詳細は、この後に続く特集記事をご覧くださいと幸いです。

廣川はるみ様からご寄付を平成 23 (2011) 年にお受けする際、上述のように、GSJ への熱い思いと期待を頂きました。廣川研究助成事業完了の報告にあたり、我々はその期待に応えられているか、常に自問自答しながら、一層の努力をしていく必要があると考えております。

廣川 治様、廣川はるみ様のご遺志並びにご厚情に、心より感謝申し上げます。

文 献

- 佃 栄吉 (2012) 廣川 治氏ご遺族からの寄付金について。GSJ 地質ニュース, 1, 18.
- 山田直利 (2012) 廣川 治さんの生涯と業績。GSJ 地質ニュース, 1, 19-21.

¹ 産総研 執行役員・地質調査総合センター長

キーワード：廣川 治、廣川はるみ、寄付金、廣川研究助成事業、若手研究者、海外派遣

第 1 表 廣川研究助成事業の実績.

	西暦年度	派遣者氏名	派遣時の所属	派遣先機関名	派遣先国名	派遣目的	GSJ地質ニュース掲載号
1	2012	野田 篤	地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ	アメリカ地質学会年会	アメリカ	断層活動に伴う堆積盆の形成と埋積過程に関する国際共同研究に向けた情報収集と事前協議	Vol.2 No.4 (2013年4月)
2	2012	吉岡 真弓	地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ	チューリヒ工科大学	スイス	スイスにおける地中熱利用技術に関する動向調査	Vol.2 No.9 (2013年9月)
3	2013	北島 弘子	活断層・地震研究センター 地震素過程研究チーム	メリーランド大学	アメリカ	比抵抗測定装置開発のための情報収集－南海トラフ玄武岩および赤色粘土の比抵抗測定－	Vol.3 No.9 (2014年9月)
4	2013	後藤 孝介	地質情報研究部門 マグマ熱水鉱床研究グループ	アリゾナ州立大学, AGU	アメリカ	ガーナ・エンスタマンガン鉱床の成因解明に向けた研究打合せ	Vol.3 No.9 (2014年9月)
5	2014	眞弓 大介	地圏資源環境研究部門 地圏微生物研究グループ	Goldschmidt Conference, カルガリー大学	アメリカ, カナダ	油層微生物の原油分解メカニズムの解明に関する国際共同研究に向けた情報収集と事前協議	Vol.4 No.8 (2015年8月)
6	2014	風早 竜之介	地質情報研究部門 マグマ活動研究グループ	IAVCEIガスワークショップ	チリ	火山噴煙観測研究の動向調査－チリの火山・地熱地帯における国際的な火山ガス合同観測－	Vol.4 No.8 (2015年8月)
7	2015	朝比奈 大輔	活断層・火山研究部門 水文地質研究グループ	US Rock Mechanics /Geomechanics Symposium	アメリカ	放射性廃棄物地層処分技術・研究の動向調査と国際共同研究に向けた情報収集	Vol.5 No.9 (2016年9月)
8	2015	森本 和也	地圏資源環境研究部門 地質変動研究グループ	フィリピン大学, 九州大学, 金沢大学	フィリピン, 日本	機能的粘土鉱物の成因調査と利用に関する国際共同研究に向けた事前協議	Vol.5 No.9 (2016年9月)
9	2015	山崎 誠子	活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ	フィレンツェ大学	イタリア	若い火山岩試料に対するK-Ar年代法の高度化に向けた国際共同研究－打合せと試験的試料採取	Vol.5 No.9 (2016年9月)
10	2016	大坪 誠	活断層・火山研究部門 地質変動研究グループ	アメリカ地質調査所	アメリカ	深部地質環境の長期安定性評価のための断層活動と水理地質特性との相互作用の解明に向けた国際共同研究打ち合わせ	Vol.6 No.9 (2017年9月)
11	2016	小野 昌彦	地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ	AGU, USGS, スクリップス海洋研究所	アメリカ	沿岸域における地下水情報の整備, 地下水環境の評価に係る調査・研究手法の動向調査および情報収集	Vol.6 No.9 (2017年9月)
12	2016	最首 花恵	再生可能エネルギー研究センター 地熱チーム	コロラド鉱山大学, オレゴン大学	アメリカ	持続的な地熱資源利用のための双方向システム; 地化学的地熱資源評価手法と住民参加型地熱調査活動の可能性を探る	Vol.6 No.9 (2017年9月)
13	2016	シュレスタ・ガウラブ	再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム	アジア地熱シンポジウム	タイ	タイ・ベトナムにおける地中熱ポテンシャル評価事前調査	Vol.6 No.9 (2017年9月)
14	2017	宇都宮 正志	地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ	International Nannoplankton Association Meeting	ギリシャ	新生界微化石層序の年代分解能向上に向けた国際共同研究の事前協議及び研究動向調査	Vol.7 No.9 (2018年9月)
15	2017	小森 省吾	地圏資源環境研究部門 物理探査研究グループ	国際学会Near Surface Geoscience Conference & Exhibition 2017	スウェーデン	電磁探査における最新の研究動向調査及び国際共同研究のための打ち合わせ	Vol.7 No.9 (2018年9月)
16	2017	戸崎 裕貴	活断層・火山研究部門 水文地質研究グループ	Flinders大学	オーストラリア	沿岸域における超長期の塩水－淡水混合過程に関する国際共同研究打ち合わせ	Vol.7 No.9 (2018年9月)
17	2018	伊藤 剛	地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ	国際古生物学会, 巡検, 打合せ	フランス	古生界ベルム系微化石層序の高精度化に向けた国際共同研究の事前協議及び研究活動調査	Vol.8 No.7 (2019年7月)
18	2018	岡本 京祐	再生可能エネルギー研究センター 地熱チーム	ローレンスパークレー, スタンフォード大学	アメリカ	地熱貯留層の高精度微小地震モニタリング開発に向けた情報収集	Vol.8 No.7 (2019年7月)
19	2018	持丸 華子	地圏資源環境研究部門 地圏微生物研究グループ	ハワイ大学	アメリカ	油ガストに生育する新規微生物群の生態解明に関する国際共同研究に向けた事前協議	Vol.8 No.7 (2019年7月)
20	2019	松本 親樹	地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ	The 23rd International Conference on Environment and Mineral Processing (EaMP2019) & WS, 打合せ	チェコ	鉱山開発跡地における酸性鉱山廃水の対策に係る水文調査技術の動向調査および情報収集	Vol.9 No.6 (2020年6月)
21	2019	遠山 知亜紀	地質情報研究部門 資源テクニクス研究グループ	Goldschmidt Conference, 打合せ	スペイン, イギリス	地球内部のハロゲン元素と塩素同位体に関する分析技術・研究の動向調査	Vol.9 No.3 (2020年3月)
22	2019	南 裕介	活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ	IUGG 27th General Assembly	カナダ	噴出物の組織解析に基づく水蒸気噴火研究の動向調査と国際共同研究に向けた情報収集	Vol.9 No.7 (2020年7月)
23	2022	朝比奈 健太	地圏資源環境研究部門 燃料資源地質研究グループ	アーヘン工科大学	ドイツ	機械的エネルギーを駆動力とする石炭の低分石化技術の開発	Vol.13 No.7 (2024年7月)
24	2023	岩橋くるみ	活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ	チューリッヒ工科大学	スイス	火山噴出物による噴火駆動メカニズムの解明に向けた国際共同研究の事前協議	Vol.13 No.4 (2024年4月)
25	2023	佐藤 善輝	地質情報研究部門 平野地質研究グループ	XXI INQUA 2023 (国際第四紀学会)	イタリア	沿岸域におけるジオアーケオロジに関する動向調査と国際共同研究に向けた情報収集	Vol.13 No.4 (2024年4月)
26	2023	児玉 匡史	地圏資源環境研究部門 物理探査研究グループ	International Geomechanics Symposium (IGS) 2023	サウジアラビア	International Geomechanics Symposium (IGS) 2023での成果発表および情報収集	Vol.13 No.4 (2024年4月)
27	2023	志村 侑亮	地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ	オルレアン大学	フランス	国際共同研究の事前協議と研究活動調査: 沈み込み帯に拡大型海嶺が接近・沈み込むことで生じる大規模地殻変変	Vol.13 No.4 (2024年4月)
28	2024	中谷 貴之	活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ	5th SerpentineDaysへの参加	スペイン	沈み込み帯における水流体の移動・分離過程に関する研究: 国際研究集会への参加と国際共同研究に向けた情報交換	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
29	2024	細野 日向子	活断層・火山研究部門 地質変動研究グループ	国際学会EUROCK 2024への参加	スペイン	地下深部での断層帯の亀裂形成と力学・水理学的特性の解明に向けた国際共同研究事前協議	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
30	2024	綱澤 有輝	地圏資源環境研究部門 鉱物資源研究グループ	国際学会 (APT2024; the 9th Asian Particle Technology Symposium) への参加	オーストラリア	国際学会 (The 9th Asian Particle Technology Symposium) での成果発表および研究動向の情報収集	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
31	2024	宮崎 佑典	地圏資源環境研究部門 地圏微生物研究グループ	南カリフォルニア大学, 事前協議と実験	アメリカ	海底下生命圏における重金属動態解明のための国際共同研究に向けた情報収集と事前協議	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
32	2024	吉川 美穂	地圏資源環境研究部門 地圏環境リスク研究グループ	パウル・シェラー研究所 (PSI), 国際共同研究の事前打ち合わせ	スイス	地下水・土壌汚染の微生物による浄化メカニズム解明に向けた国際共同研究の事前協議	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
33	2024	斎藤 健志	地圏資源環境研究部門 地圏環境リスク研究グループ	オールボー大学, Prof. Per Moldrup, 国際共同研究申請等に関わる事前打ち合わせ	デンマーク	熱環境擾乱が地圏環境に及ぼす影響評価に関する国際共同研究打ち合わせ	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
34	2024	椎名 高裕	活断層・火山研究部門 地震テクニクス研究グループ	EGU General Assembly 2024	オーストリア	地殻構造の描像と地震発生過程の関係解明に向けた最先端研究の情報収集	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)
35	2024	武藤 俊	地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ	バドヴァ大学, 国際共同研究打ち合わせ	イタリア	石炭紀からジュラ紀の超海洋パンサラッサ遠洋域における生物源シリカ堆積プロセスの解明に向けた国際共同研究の事前協議及び研究活動調査	本号, Vol.14 No.7 (2025年7月)

NAKAO Shinsuke (2025) Overview of the Hirokawa Research Fund and its achievements.

(受付: 2025 年 5 月 1 日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 熱環境攪乱が地圏環境に及ぼす影響評価に関する 国際共同研究打ち合わせ

齋藤 健志¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業のご支援により、2024 年 6 月 28 日(金)～7 月 8 日(月)までの 11 日間、デンマーク北部に位置する第 4 の都市オールボーにある、オールボー大学に滞在した。本訪問の目的は、オールボー大学の Per Moldrup 教授(The Faculty of Engineering and Science, Department of the Built Environment, Division of Civil and Environmental Engineering, Soil Technology Research Group, Head of Research Group)を訪問し、熱環境攪乱が地圏環境に及ぼす影響評価に関する共同研究打ち合わせを行うことであった。本稿では、その概要について報告するとともに、Moldrup 教授の同僚である Urban Pollution Research Group の Alvis Vianello 准教授、Fan Liu 准教授らとマイクロプラスチックの環境動態研究に関する情報交換や実験室見学等の機会を頂けたため、その概要についても報告する。

2. 訪問の背景・目的

近年、世界各地において、地下の温度が上昇する、地下温暖化現象が観測されている(例えば、Harris and Chapman, 1997; Pollack *et al.*, 1998; Perrier *et al.*, 2005)。この現象は、東京や大阪でも観測されており(Taniguchi *et al.*, 2007)、具体的に、オランダにおいては、過去 30 年間で 0.8 °C 程度の温度上昇が確認されている(Kooi, 2008)。その原因として、地球温暖化や都市化など、地表面温度の上昇が示唆されている(例えば、Huang *et al.*, 2000; Taniguchi *et al.*, 2003)。例えば、特に東京や大阪周辺を始めとする世界各地のメガシティでは、地下鉄や地下街、下水道などといった地下のインフラ構造物が高密度に発展しており、すでに深刻な熱環境攪乱が生じている可能性、もしくは、将来的な熱環境攪乱深刻化の可能性が想定される。

一般的に、地下の温度上昇は、地下の物理的・化学的・生物的なプロセスに、変化・影響を及ぼす(例えば、Bonte *et al.*, 2011; Banks, 2012; Hähnlein *et al.*, 2013; 齋藤・小松, 2014)。例えば、化学的なプロセスに着目すると、Bonte *et al.* (2013a) では、カラムに充填した堆積物を異なる温度条件(5 °C, 11 °C, 25 °C, 60 °C)において、嫌気条件下での通水試験を行い、流出水への温度影響を実験的に評価している。ここでは、原位置の温度 11 °C に対し、14 °C 高い 25 °C の温度条件において、As (ヒ素) の有意な溶出が確認されている。また、60 °C では、pH, DOC (Dissolved Organic Carbon: 溶存有機炭素), P (リン), K (カリウム), Si (ケイ素), As, Mo (モリブデン), V (バナジウム), B (ホウ素), F (フッ素) 濃度に、有意な上昇傾向が認められている。これらは、温度上昇に伴い、ケイ酸塩鉱物の溶解、鉄酸化物からの脱離やその還元溶解、有機物の無機化に起因する可能性が示唆されている。一方、生物的なプロセスに着目すると、例えば、Bonte *et al.* (2013b) では、上述した Bonte *et al.* (2013a) と同様の試験システムを用い、5 °C～80 °C までの温度条件において、微生物活動に伴う酸化還元環境の変化を実験的に評価している。原位置の温度である 11 °C から 25 °C への温度上昇により、酸化還元環境の変化が認められ、すなわち、鉄還元環境から硫酸還元並びにメタン発酵環境への変化が確認されている。さらに、45 °C より高い温度条件では、硫酸還元や発酵に特化した高熱性細菌が出現している。酸化還元環境の変化により、例えば、金属酸化物などの還元が生じ、場合によっては、そこに含有または吸着などされている有害な重金属類が同時に溶出する可能性も十分に考えられる(Bonte *et al.*, 2013a)。加えて、硫酸還元では硫化水素が、メタン発酵ではメタンがそれぞれ生成され、有害な気体成分や温室効果ガスを生じる可能性も想定される。

以上の背景を踏まえ、筆者らは以前より、原位置で地下に強制的な熱負荷、自然放冷を繰り返し与え、その際の地下水質等に及ぼす影響を評価してきた。成果物の一例と

¹ 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、熱環境攪乱、温度上昇、地圏環境、影響評価

しては、今回訪問する Moldrup 教授との共著論文である、Saito *et al.* (2016) がある。本成果では、約 40 °C の温水を 13 か月間、地下 50 m までに埋設した閉鎖系の地中熱交換器内に循環し、周辺地下に間接的な熱攪乱を与え、地下水質を継続的に観測してきた。この強制的な熱負荷試験後、地下を 14 か月間の自然放冷条件におき、モニタリングを継続した。本試験の熱源となる地中熱交換器より水平距離で 1 m の地点において、7 °C 程度の温度上昇が確認され、B, Si, Li (リチウム), DOC, Na (ナトリウム), K に、9 ~ 31 % の濃度上昇傾向が確認された。一方、Mg (マグネシウム) については、その濃度に減少傾向が認められ、それは 4 % 程度であった。これらは、試験現場における深度 17 m 付近の被圧帯水層における結果であるが、その後の継続的な観測により、深度 39 m 付近の被圧帯水層では、10 数°C 程度の上昇に伴う、As 濃度の上昇傾向も確認されている (斎藤ほか, 2019)。

特に、温度上昇に伴う化学的なインパクトに関しては、その程度は絶対的な温度や自然の温度に対する温度上昇幅などに依存すると考えられる。具体的には、絶対的な温度が 25 °C 以上もしくは温度上昇幅が 20 °C 以上ではない場合、その化学的なリスクはマイナーであるという報告もある (Possemiers *et al.*, 2014)。また、絶対的な温度が 40 °C 以上でなければ地下水質に有意な影響を及ぼさないと報告も見受けられるが (Riedel, 2019)、上述した Bonte *et*

al. (2013a) における 25 °C での有意な As の溶出 (室内カラム通水試験による)、斎藤ほか (2019) による 10 数°C 程度の上昇に伴う As 濃度の上昇傾向 (原位置試験による) が認められており、比較的低い温度条件や温度上昇幅においても、具体的な影響が生じる可能性が否定できない。したがって、これまでの Moldrup 教授との共同研究体制を継続・強化し、蓄積されている貴重な観測データ類の解析、成果物創出に向けた作業、また、今後の新たな展開等について議論した。コロナ禍によって、実質的な共同研究体制が希薄になりつつあった中、本訪問を契機に、再度の活発化を図る目的もあった。

3. 訪問の内容

デンマークのオールボーは、首都であるコペンハーゲンから 230 km 前後あり、鉄道では 4 時間程度を要する。一方、フライトでは、1 時間以内にオールボー空港に到着できる。筆者は以前、鉄道でオールボーを訪問した経験もあることから、今回は利便性も考慮してフライトを利用した。オールボー空港からオールボー市内へは、バスで 20 分程度であり、利便性も良く移動が容易である。加えて、オールボー市内からオールボー大学へは、バスが非常に便利であり、30 分程度で大学まで移動が可能である。ここで、一つ驚いたことに、バスは全て、電気自動車であった (写真 1)。



写真 1 オールボー大学構内を走るバス (電気自動車)。

加えて、余談とはなるが、大学へのバスは片道 24DKK（デンマーククローネ）であり、日本円で 550 円程度といったところである。よく北欧諸国は物価が高いと言われる。例えば、マクドナルドのセットメニューも 2,000 円以上するケースも見受けられた。宿泊費については、アメリカなどと比較した場合には、非常に安価に感じた。

オールボー大学には、毎日バスで移動し、バス停のすぐ近くある Department of the Built Environment の建物(AAU BUILD)を訪問した(写真 2)。道路を挟み、この建物の反対側には AAU ENERGY があり(写真 3)、発電量に占める再生可能エネルギーの割合が極めて高いデンマークを象徴するように、そのような研究開発等を精力的にされているであろう様子も窺い知れた。Moldrup 教授との打ち合わせでは、基本的に Saito *et al.* (2016) の後継論文に関わる内容確定のため、そのデータ解析等に取り組んだ。筆者らは、2011 年から継続的に、上述の原位置熱負荷・自然放冷試験を進めており、地下水質を含む複数の項目に対する地下環境影響を評価してきている。2020 年頃からは、多少、原位置試験内容を修正・変更しているものの、現在でも継続して試験を進めており、10 数年間の膨大な観測データが蓄積されている。今回は、特に Saito *et al.* (2016) で扱った、約 40 °C の温水循環に伴う 13 か月間の熱負荷、その後の 14 か月間における自然放冷、そして、斎藤ほか(2019)で一部利用した約 60 °C の温水循環に伴う 9 か月間の熱負荷、その後の 18 か月間の自然放冷について、それぞれのデータを詳細に比較検討し、非常に興味深い解析結果が得られた。その詳細については、成果物が出版された後に、機会が頂ければ詳述したいと考えている。また、今後の展

望としては、将来的な熱環境攪乱が特に地下水質に及ぼす影響の理解・予測に向けて、このような観測データ類を活用し、熱・水・溶質移動および化学反応等を考慮した数値シミュレーションにも取り組んでいく予定である。その基礎として、原位置試験で得られたデータに基づき、地下の温度と地下水質等に関わる関係性などを詳細に検討もしてきた。これにより、今後のスムーズな研究展開に繋がることが期待でき、想定していた以上の良い成果を得ることができた。

加えて、上述したように、Moldrup 教授の同僚である Urban Pollution Research Group の Vianello 准教授、Liu 准教授、また、ポスドク研究員の方々や学生さんなどとも情報交換、交流をさせていただく貴重な機会に恵まれ、実験室も見学させてもらった(写真 4)。筆者は、マイクロプラスチックの環境動態研究に関連して、例えば、水試料中におけるマイクロプラスチックの測定に関する手法を検討してきた経験がある。その際、外部からのコンタミネーション防止策、また、測定に際する前処理における各ステップの細かなテクニックなど、判断に迷うことも多々あった。今回、各ステップなどを詳細に見せていただき、有機物分解プロセスでは、効率的にバブリングできるように自作の器具を作成されており、また、前処理に利用しているステンレスフィルターも自作されるなど、多数の細かい工夫を見ることができた。Vianello 准教授や Liu 准教授とは、帰国してからもやり取りを続け、今後、機会を見つけて、双方に有益な共同研究を立ち上げ、推進したいとも考えている。訪問前は、マイクロプラスチックに関わる研究開発を進めているグループがあることを知らなかったため、偶然



写真 2 訪問先である Department of the Built Environment の建物 (AAU BUILD)。



写真 3 AAU ENERGY の建物の一部 (AAU BUILD 側から撮影)。



写真4 マイクロプラスチック分析ラボの一室(顕微 FT-IR やラマン顕微鏡などが並ぶ)。

にも貴重な機会に恵まれ、大変得るものが多い 11 日間となった。

4. おわりに

本訪問では、以前より共同研究を進めさせていただいた Moldrup 教授のご厚意・ご尽力により、当初の目的を上回る収穫に繋がった。研究活動に関わると指導だけではなく、別の総合大学であるオーフス大学への訪問にも同行させていただき、また、マイクロプラスチック関係の研究課題に関しても、貴重な人脈となる方々をご紹介いただいた。コロナ禍により、海外との渡航などを含む実質的な共同研究が希薄になりつつあった中、対面での研究交流という貴重性・重要性を再認識する良い機会となった。今後、双方にとって有益なものとなるよう、研究活動を進めていきたいと考えている。

謝辞：本渡航は、廣川研究助成にご支援を賜り、実現したのになります。ここに記して、廣川 治氏とそのご親族の方々、また、本事業に関わる関係者の皆様方に深く謝意を表します。

文 献

- Banks, D. (2012) *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*. 2nd ed., Wiley-Blackwell, Oxford, 526p.
- Bonte, M., Stuyfzand, P. J., Hulsmann, A. and van Beelen, P. (2011) Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union. *Ecology and Society*, **16**, 22.
- Bonte, M., van Breukelen, B. M. and Stuyfzand, P. J. (2013a) Temperature-induced impacts on groundwater quality and arsenic mobility in anoxic aquifer sediments used for both drinking water and shallow geothermal energy production. *Water Research*, **47**, 5088–5100.
- Bonte, M., Roling, W. F. M., Zaura, E., van der Wielen, P. W. J. J., Stuyfzand, P. J. and van Breukelen, B. M. (2013b) Impacts of shallow geothermal energy production on redox processes and microbial communities. *Environmental Science & Technology*, **47**, 14476–14484.
- Hähnlein, S., Bayer, P., Ferguson, G. and Blum, P. (2013) Sustainability and policy for the thermal use of

- shallow geothermal energy. *Energy Policy*, **59**, 914–925.
- Harris, R. N. and Chapman, D. S. (1997) Borehole temperatures and a baseline for 20th-century global warming estimates. *Science*, **275**, 1618–1621.
- Huang, S., Pollack, H. N. and Shen, P.-Y. (2000) Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature*, **403**, 756–758.
- Kooi, H. (2008) Spatial variability in subsurface warming over the last three decades; insight from repeated borehole temperature measurements in The Netherlands. *Earth and Planetary Science Letters*, **270**, 86–94.
- Perrier, F., Le Mouél, J.-L., Poirier, J.-P. and Shnirman, M. G. (2005) Long-term climate change and surface versus underground temperature measurement in Paris. *International Journal of Climatology*, **25**, 1619–1631.
- Pollack, H. N., Huang, S. and Shen, P.-Y. (1998) Climate change record in subsurface temperatures: a global perspective. *Science*, **282**, 279–281.
- Possemiers, M., Huysmans, M. and Batelaan, O. (2014) Influence of aquifer thermal energy storage on groundwater quality: a review illustrated by seven case studies from Belgium. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **2**, 20–34.
- Riedel, T. (2019) Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, **572**, 206–212.
- 斎藤健志・小松登志子 (2014) 地中熱ヒートポンプが地下環境に与える影響—持続的利用に向けて—. 地下水学会誌. **56**, 15–25.
- Saito, T., Hamamoto, S., Ueki, T., Ohkubo, S., Moldrup, P., Kawamoto, K. and Komatsu, T. (2016) Temperature change affected groundwater quality in a confined marine aquifer during long-term heating and cooling. *Water Research*, **94**, 120–127.
- 斎藤健志・濱本昌一郎・竹村貴人・小松登志子 (2019) 地下熱環境攪乱が地下水質に及ぼす影響評価に向けた原位置長期熱負荷試験. 第13回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 29–32.
- Taniguchi, M., Shimada, J. and Uemura, T. (2003) Transient effects of surface temperature and groundwater flow on subsurface temperature in Kumamoto Plain, Japan. *Physics and Chemistry of the Earth A/B/C*, **28**, 477–486.
- Taniguchi, M., Uemura, T. and Jagoon, K. (2007) Combined effects of urbanization and global warming on subsurface temperature in four Asian cities. *Vadose Zone Journal*, **6**, 591–596.
-
- SAITO Takeshi (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: A meeting for international collaboration on the assessment of the effect of temperature disturbance on the subsurface environment.

(受付：2025 年 1 月 14 日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 地下深部における断層帯の亀裂形成と 力学・水理学的特性の理解に向けた ヨーロッパ岩石力学シンポジウム参加報告

細野 日向子¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業の一環として、地下深部における断層帯の亀裂形成と力学・水理学的特性に関する情報収集を目的に、2024 年 7 月 14 日から 7 月 18 日までスペインのアリカンテで開催されたヨーロッパ岩石力学シンポジウム (EUROCK: ISRM European Rock Mechanics Symposium) に参加しました。本稿ではその活動内容、および得られた知見について報告します。

2. アリカンテ

アリカンテ県はスペインのバレンシア州に位置し、地中海に面するアリカンテ市を県都としています(写真 1)。アリカンテ大学は、アリカンテ市の北側に隣接するサン・ビセンテ・デル・ラスパイグ市に所在し、中心地から大学までは約 6 km ほどの距離があります。周辺はバスなどの公共交通機関が発達しており、クレジットカードを利用して

乗車できるため、移動は非常に便利でした。

市の中心には断層運動によって形成された小高いベナカンティル山という山があります。ベナカンティル山の山頂からは周辺の湾と土地を一望できることから、9 世紀に要塞が築かれました。この要塞は現在、サンタバルバラ城として知られ、自由に見学をすることができる街の名所となっています(写真 2)。今回の EUROCK 2024 でもサンタバルバラ城周辺の巡検がありました。ベナカンティル山のふもとには、細い路地や階段、坂道が入り組み、カラフルな家が立ち並ぶ旧市街となっています。滞在した 7 月のアリカンテは晴天のために気温の高い日が続きましたが、湿度は低く、地中海性気候の心地よさを感じました。

3. EUROCK 2024

EUROCK 2024 は 2024 年 7 月 15 日から 19 日の 5 日間でスペインのアリカンテ大学で開催されました(写真 3)。EUROCK とは国際岩の力学会 (ISRM) が主催するヨーロッ



写真 1 地中海に面するアリカンテ市の街並み。7 月は観光シーズンのため、ビーチには多くの観光客が見られた。



写真 2 ベナカンティル山の山頂に立つサンタバルバラ城。

¹ 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、亀裂、断層、水理特性



写真3 EUROCK 2024 の会場となったアリカンテ大学のキャンパス。

パで最大の岩石力学の学会で、年に一回ヨーロッパ各地で開催されます。今年は岩石力学および岩石工学の観点から、鉱山工学・土木工学・地質学を扱ったトピックが発表されました。学会期間中は、ワークショップ、カンファレンス、エキスカレーションなどが行われました。口頭発表は4つの教室で並行して開催され(写真4)、ポスター発表は吹き抜けのある広々とした廊下で開催されました。どちらも活発な議論が交わされ、活気のある雰囲気でした。

今回、私は主にシンポジウムを中心に参加しました。シンポジウムでは以下のような内容の研究発表を聴講しました。まず、ブラジリアン試験の歪の精密な制御に関する研究では、AUSBIT (Advanced Universal Snap-Back Indirect Tensile) をブラジリアン試験に適用することで、従来と比べて高精度な実験結果を得られることが分かりました。また、亀裂の伸展における間隙流体の化学的反応の影響に関する研究では、花崗岩を対象に、溶液を変化させながら亀裂伸展を観察することで超純水、HCl 溶液、NaOH 溶液の3種類を間隙水とする際の亀裂伸展の違いを知ることができました。これは、地下での長期的な亀裂の形成に大きく関係するため、非常に重要であると感じました。さらに、浅い場所でのトンネル掘削時に有効な補強方法に関する研究では、実際に vertical pre-reinforcement bolt 法のシミュレーションを行い、他の一般的な手法に比べて、応力分布が安定することが示されました。補強方法によって周囲の応力状態が安定した状態で掘削をすることができるようになると、掘削時の亀裂を最小限に抑えることができます。さらに、異なる周波数(54 kHz と 250 kHz)の弾性波トモグラフィーを用いたサンプル内の弱面検出に関する研究では、数 10 cm 大の花崗岩を対象とした際、54 Hz よりも



写真4 EUROCK 2024 での口頭発表会場の様子。

250 kHz の周波数の方がより鮮明に弱面を検出可能であるという結果が示されました。改めて、スケール依存性の重要性を再認識することができました。

また、学会中には、ブラジリアン試験における亀裂の伸展や、三軸試験時の端面効果における各試験機の影響について意見交換を行う機会がありました。さらに、鉱山工学分野の方とは、掘削時の応力値変化と応力方向の回転の重要性について議論を深めました。その他にも、弾性波速度測定時に使用する測定機器の適性など、各国で使用される機器について、テクニカルな意見交換をする貴重な場となりました。

さらに、7月17日にはサンタバルバラ城を見学する学会のイベントが開催されました。サンタバルバラ城の一部には、ベナカンティル山の石灰岩の露頭が残っており、小さな断層などの地質構造が見られました。また、山頂からは断層運動によって形成されたアリカンテ市街の様子(写真5)を見ることができ、地域の歴史と地形地質の関わりを実感する機会となりました。

4. まとめ

EUROCK 2024 への参加を通じて、主にヨーロッパで活躍する岩石力学および岩石工学分野の研究者と意見交換を



写真5 サンタバルバラ城から見下ろした断層地形で作られたアリカ
ンテの市中。写真中央のセラグロッサ山は、海岸線とほぼ平
行にのびる2つの断層に挟まれて隆起した地形。

することができました。また、これまでに触れたことのな
いヨーロッパの地形地質についても知ることができまし
た。これらの経験を今後の研究に活かしたいと思います。

最後になりますが、今回のシンポジウム参加にあたり、
廣川研究助成金を使用させていただきました。旧地質調査
所OBである故・廣川 治氏のご遺族、および関係各位に
心より御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

HOSONO Hinako (2025) Report of the Hirokawa Research
Fund in the 2024 fiscal year: Report on participation
in the ISRM European Rock Mechanics Symposium to
understand fracture formation and mechanical and
hydraulic properties of fault zones in deep underground.

(受付：2025年2月4日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 海底下生命圏における重金属動態解明のための国際共同研究に向けたロサンゼルス南カリフォルニア大学での予備実験と事前協議

宮嶋 佑典¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業の支援を受けて、2024 年 12 月 2 日～13 日にかけてアメリカのロサンゼルス南カリフォルニア大学に滞在し、海底下深部間隙水の重金属同位体比分析のための予備実験と、共同研究に向けた事前協議を行った。

2. 滞在の目的と滞在先

今回筆者が滞在したのは、南カリフォルニア大学の Seth John 教授の研究室である。John 研究室は、海洋における微量元素、特に鉄やニッケル、銅をはじめとした生体必須金属の生物地球化学的循環過程の解明において世界をリードしてきた (Conway and John, 2014; John *et al.*, 2022; Bian *et al.*, 2024a など)。海水に溶存する重金属は、ナトリウムやカルシウムのような主要元素に対して非常に微量であり、その精確な分析のためには多量の海水試料の中から主要元素を除去しつつ目的金属を抽出・濃縮する技術が必要不可欠である。John 研究室は、海水や堆積物間隙水に含まれる微量金属の濃度と同位体組成の高精度分析、そしてコンピューターによる物質循環モデル計算を主力としている。

筆者は、海底下深部環境(海底下生命圏)における微生物活動の制御因子の 1 つとして、生体必須金属、特にメタン生成菌などの活動に必要なニッケルの動態に興味を持っている。海底下生命圏における金属動態を知るためには、海底下深部を掘削して採取されたコア堆積物の間隙水に含まれる微量金属の濃度や同位体比を調べるのが有用である。筆者はこの目的を達成するうえで、John 研究室の持つ技術を応用できると考え、今回の助成事業を利用して共同研究のための事前協議の機会を設けた。また、すでに筆者らが

産総研で保有する海底下堆積物間隙水試料を用いて、実際に予備実験を行うことも John 教授に快諾していただいた。

南カリフォルニア大学は、ロサンゼルス国際空港から車でおよそ 30 分(高速道路経由)とアクセスしやすい立地にある。近隣にはカリフォルニア・サイエンスセンターやロサンゼルス自然史博物館があり、大学からは遠方にハリウッドサインを望むことができる。同大学は映画学科が世界的に有名な名門私立大学であり、あのスター・ウォーズシリーズのジョージ・ルーカス監督らを輩出した。カリフォルニアらしい開放的な敷地の中にレンガ外壁の古風な建築物が並ぶ景観が印象的だった(第 1 図)。滞在期間中に筆者が宿泊した USC Hotel は、大学の目と鼻の先にある大学経営のホテルで、今回のような学術目的の短期間滞在には非常に便利かつ快適であった。大学にはアジア圏からの留学生も多く、研究室には日本の演劇が好きな学生や、日本人の親を持つ学生もおり親しみやすい雰囲気があった。

3. 予備実験

筆者は調査航海で採取された堆積物間隙水試料を持参し、John 研究室の手法を用いてニッケルの抽出・濃縮と分析までの一連の実験を経験させていただいた。具体的な実験手順は、①間隙水試料の酸処理による有機物除去、②キレート樹脂を用いた金属元素の抽出および濃縮、③陰イオン交換樹脂を用いたニッケルイオンの分離、④キレート樹脂による最終精製、そして⑤ ICP 質量分析計による安定同位体比分析であった (Bian *et al.*, 2024b)。実験は同研究室が所有するクリーンルーム内で行った。微量元素を取り扱うクリーンルーム内の作業には、防塵服の着用や実験器具の酸洗浄方法など、コンタミネーションを防ぐための細かなルールが研究室ごとに存在する。John 研究室のモットーは“Make everything as simple as possible”とのこと

¹ 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、生体金属、ニッケル安定同位体、ロサンゼルス、アメリカ



第1図 南カリフォルニア大学キャンパス内の建物の1つ(図書館)。

で、クリーンな作業スペースを確保したうえで酸洗浄は必要最低限にし、実験手順もシンプルにするなど、失敗しにくく実験をスムーズに進めるための工夫がなされているのが印象的で、非常に参考になった。研究室では同様な実験をルーチン的に行っており、ポスドク研究員の Xiaopeng Bian 博士や Shun-Chung Yang 博士、ラボテクニシンの Adam Ross 氏の協力でスムーズに実験が進み、一週間のうちに分析結果を出すことができた。滞在を通して実際の実験手順や作業時間、必要な器具類や試薬を目で見て確認できたことで、今後産総研でも実験系を確立するうえで有益な情報が多く得られた。

4. 研究発表および事前協議

予備実験の後、研究室の定例ミーティングの場で筆者の研究発表の場を設けていただくことができた。筆者が現在科研費を取得して実施している、メタン生成菌のニッケル同位体分別に関する研究の内容と、今回の予備実験の結果を踏まえた今後の研究展望について発表した。筆者の発表内容や John 研究室での最新の研究成果を踏まえ、生体内や間隙水中での金属元素の同位体分別過程について有益な議論を行うことができた。また、引き続き間隙水試料を用いた共同研究を進めることについても快諾いただいた。

5. 業務外のこと

John 研究室はつい最近引っ越しを終えたばかりらしく、筆者も参加して研究室メンバー全員でミーティングスペー

スの整備(ホワイトボードやプロジェクターの設置など)を行った。また、滞在中に毎年恒例の地球科学科内クッキーコンテストが開催された。これは有志メンバーが持ち寄った手作りのクッキーを食べ比べ、味とデザイン性の観点から審査し、投票でランク付けするものだった。

業務時間外に、大学近隣のカリフォルニア・サイエンスセンターやロサンゼルス自然史博物館を見学する機会があった(第2図)。カリフォルニア・サイエンスセンターでは、目玉であるスペースシャトル(ディスカバリー号)が工事中につき観覧できなかったが、実際に宇宙ステーションへ物資を運搬していた宇宙船やロケット、宇宙のトイレ事情などに関する展示、地球の様々な生態系に関する展示がすべて無料で開放されていた。自然史博物館は、恐竜の展示に特に注力しており、実際に古生物学者がどのような視点で化石に注目し、研究を進めているのかがわかる解説がたいへん興味深かった。先述の研究発表の夜には、研究室メンバーがハリウッド観光へ連れ出してくれるという思わぬご褒美があり、有名な映画俳優や監督、ミュージシャンの名や手形・足形が刻まれた歩道と広場を見て回ることができた。

6. 滞在後の展望

今回筆者が持参した間隙水試料は、海底下数十メートルないしそれ以深で採取されたものである。滞在先研究室のメンバーもそのような海底下深部の試料は扱ったことがなく、同様な試料の生体金属同位体比に関する論文もこれまで出版されていないことから、今回の予備実験ではおそら



第2図 ロサンゼルス自然史博物館の外観。

く世界初のデータを得ることができたと考えている。詳細は、今後さらに間隙水試料を用いて共同研究を進め、論文の形で発表したい。今後の実験にあたっては、今回滞在した John 研究室での実験手法を参考に、産総研でも間隙水試料からの金属抽出と濃縮、精製を行う体制を整備し、同研究室の力を借りながら同位体比の分析を進めていく予定である。

謝辞：今回の滞在を通して、実際に教授をはじめ研究室メンバーと直接顔合わせができたことは、今後国際共同研究を進めるうえでとても意義のあるものでした。また海外の実験室で実験することには、細かいノウハウや作法、設備をはじめ、多くの刺激的な学びと発見がありました。このような滞在の機会を与えてくださった地質調査総合センターの廣川研究助成事業および関係者の皆様に深く感謝いたします。また、研究室訪問と予備実験を受け入れてくださった南カリフォルニア大学の Seth John 教授および研究室メンバーには、研究面や生活・観光面でたいへんお世話になりました。筆者が帰国した直後の 2025 年 1 月、ロサンゼルスでは大規模な山火事が発生し、ハリウッドのような主要都市でも家屋が焼失するなどの被害が報道されました。研究室メンバーからは、山火事の直接の被害はないものの、煤による大気汚染に困っていると聞きしています。研究室メンバーの無事と、被害を受けた方々が少しでも早く支援を受け、通常の生活に復帰できることを心よりお祈り申し上げます。

文 献

- Bian, X., Yang, S.-C., Raad, R. J., Hawco, N. J., Sakowski, J., Huang, K.-F., Kong, K. P., Conway, T. M. and John, S. G. (2024a) A rapid procedure for isotopic purification of copper and nickel from seawater using an automated chromatography system. *Analytica Chimica Acta*, **1312**, 342753.
- Bian, X., Yang, S.-C., Raad, R. J., Lunstrum, A. M., Dong, S., Meng, H., Kemnitz, N., Rollins, N. E., Cetiner, J. E. P., Pavia, F. J., Hammond, D. E., Adkins, J. F., Berelson, W. M. and John, S. G. (2024b) A benthic source of isotopically heavy Ni from continental margins and implications for global ocean Ni isotope mass balance. *Earth and Planetary Science Letters*, **645**, 118951.
- Conway, T. M. and John, S. G. (2014) Quantification of dissolved iron sources to the North Atlantic Ocean. *Nature*, **511**, 212–215.
- John, S. G., Kelly, R. L., Bian, X., Fu, F., Smith, M. I., Lanning, N. T., Liang, H., Pasquier, B., Seelen, E. A., Holzer, M., Wasylenki, L., Conway, T. M., Fitzsimmons, J. N., Hutchins, D. A. and Yang, S.-C. (2022) The biogeochemical balance of oceanic nickel cycling. *Nature Geoscience*, **15**, 906–912.

MIYAJIMA Yusuke (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: Preliminary experiments and discussions for collaborative research on the heavy metal behavior in the deep subseafloor biosphere at the University of Southern California, Los Angeles.

(受付：2025 年 2 月 17 日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 地下水・土壌汚染の微生物による浄化メカニズム 解明に関する国際共同研究へ向けた事前協議

吉川 美穂¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業により、2024 年 12 月 9 日から 14 日までスイス連邦、パウル・シェラー研究所 (PSI: Paul Scherrer Institut) を訪問致しました。PSI では鉱物の酸化還元を専門とし Laboratory for Waste Management を率いている Anke Neumann Jenal グループ長の元を訪問し、国際共同研究の打ち合わせを行いました。また、筆者の研究内容への理解を深めてもらうことを目的にグループが主催するセミナーで研究発表を行い、参加者との意見交換を行いました。将来的な在外研究を見据え滞在中にはスイスで在外研究を行っている研究者とも懇談し、現地での情報収集を行いました。本稿ではその内容について報告致します。

2. 研究内容と訪問の背景

揮発性有機化合物であるテトラクロロエチレン、トリクロロエチレン等のクロロエチレン類は非常に多くの地下水・土壌汚染サイトで確認される汚染物質であり、国内外で広く問題視されています(環境省, 2024; US EPA, 2020)。これらの汚染は人為的な産業活動で発生し、汚染土壌から揮発したガスの吸引や汚染が移行した地下水の摂取によるガンや肝機能障害等の健康被害が懸念されています。持続的な産業活動を行うためには、低環境負荷、低コスト、及び事業の操業や浄化コストに影響が出ないよう短期間での土壌汚染の浄化を実現する技術が求められていますが、これら全てを満たす技術は現時点では確立されていません。微生物を用いたクロロエチレン類の浄化は、低環境負荷、低コストであるという利点があるものの、完全浄化に時間がかかる点が課題です (Zhang and Yoshikawa, 2016)。

筆者はこれまで、微生物による揮発性有機化合物の浄化の研究を微生物の単離、微生物叢解析、安定同位体による微生物解析等の微生物側からのアプローチを中心として進

めてきました(例えば Yoshikawa *et al.*, 2017, 2021)。この分野の研究では実験室内で液体培地を用いて浄化実験を行うケースがほとんどですが、筆者はより実環境に近い条件として培地中に二価鉄や土壌粒子が存在する複雑な条件で研究を進めており、この点にオリジナリティーを見出しています。近年には二価鉄とメタン生成菌が共存することにより揮発性有機化合物の浄化速度が大幅に短縮されることを発見し (Yoshikawa *et al.*, 2021)、また、実用化へ向けた最適化条件の解明にも取り組んでいます。しかしこのような複雑な条件で研究するにあたり、これまで行ってきた微生物側からのアプローチだけでは微生物による浄化速度短縮のメカニズムを十分に解明することができず、難しさを感じていました。

そこで今回、メカニズム解明へ向けて微生物側からのアプローチだけではなく二価鉄という地球化学側からのアプローチにも取り組むために、鉄の形態分析を得意とし鉄による揮発性有機化合物の分解に長年取り組んでいる PSI の Anke Neumann Jenal グループ長(例えば Rothwell *et al.*, 2023) を訪問致しました。今回の訪問は、筆者が 2019 年に広島で開催された IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference で前述の研究内容を発表した際、Neumann グループ長の元同僚であるイギリスのニューカッスル大学の Thomas Curtis 教授が「鉄の分析に詳しい同僚がいるから一緒にやってみたら?」と声をかけて下さったのがきっかけでした。Curtis 教授による紹介後に連絡を取っていたものの、コロナ禍となり直接お会いしたことがないまま研究相談をするという状況でした。状況を進展させ共同研究を実現させるためには一度対面でお話する必要性を強く感じ、今回の渡航を計画致しました。

PSI はスイス連邦工科大学チューリッヒ校 (ETH Zürich) の傘下にあるスイス最大の自然科学及び工学の研究機関で、スイスの大都市チューリッヒから電車とバスを乗り継ぎ 1 時間ほど行ったスイス北部に位置します。大都市からの距離や交通の便、研究所から少し離れると田舎が広がっ

¹ 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、地下水・土壌汚染、微生物、鉄、揮発性有機化合物

ているところ等、つくばにある産総研とよく似ています。原子核物理学を専門とする物理学者パウル・シェラーの名を冠した PSI は設立当初は素粒子物理が研究の中心でしたが、現在では保有する放射光施設等を利用した自然科学や工学の研究を広く行っています。環境分野に関しては、原子力発電が盛んなスイスらしく放射性廃棄物の地層処分の長期安定性評価等が行われています。

3. 研究室訪問

研究室訪問ではまず、グループ主催のセミナーで発表の機会を頂き 1 時間のプレゼンテーションを行いました(写真 1)。その際、自己紹介とともに今後の共同研究に繋げることを念頭に置いた研究紹介を行いました。産総研や地圏環境リスク研究グループについて紹介した後、これまで公表してきた論文をベースに研究内容を発表致しました。微生物ではなく地球化学をベースとする研究者が多かったためどこまで伝わるか手探りでの発表でしたが、20 名程のメンバーが興味を持って聞いてくれました。発表後も微生物が生息するための環境やバイオレメディエーションの実態などについて活発な質疑があり、有意義な意見交換を行うことができました。

その後、Neumann グループ長に研究所をご案内いただきました(写真 2)。Neumann グループ長は着任後間もないため、研究室では従来の放射性廃棄物の地層処分の安全性評価を行うための研究が主に行われていましたが、数年のうちに非放射性的の地球化学研究や微生物研究も立ち上げ

るとのことでした。研究室では地層処分が実施されるような嫌気環境下での元素や化合物の形態を調査しているため、大型分析装置を除きほぼ全ての実験は嫌気チャンバー内で行われていました。各実験室に 10 個程の堅牢なチャンバーが並ぶ姿は圧巻そのものでした。コアのカット器具や拡散試験装置など筆者のこれまでの研究でなじみのあるものも嫌気チャンバー内に入っていました。一般的に嫌気チャンバー内での作業は煩雑ですが、少しでも操作性が良くなるようオペレーションが工夫されており興味深かったです。なお、放射性物質を多く扱うため入退室の管理は厳格で、滞在期間中は常に放射線測定器であるサーベイメータを身に着けて行動しました。また、扱う放射性物質のレベルに応じて実験室の使い分けをしたり、実験室からの退室時には contamination monitor で手足に放射線汚染が無いか確認をしたりと、一般の生物・化学実験室とは大きく異なる安全管理の違いに気を引き締められました。

また、PSI が運営する放射光施設 Swiss Light Source (SLS) も見学させていただきました(写真 3)。筆者は以前、産総研の研修の一環で九州シンクロトロン光研究センターの放射光施設を見学させていただきましたが、比較すると SLS は 16 本のビームラインが稼働している大規模な施設、また国内外の研究者に加え Roche 等の世界的な製薬会社もタンパク質構造解析に使用している国際的な施設でした。Neumann グループ長のグループでもマイクロスケールの高い空間分解能を持つ microXAS ビームラインを使用して元素の化学形態や酸化状態を解析していました(写真 4)。

滞在中には共同研究について打ち合わせる時間も設けて



写真 1 筆者によるプレゼンテーションの様子。



写真2 Neumann グループ長(左)と筆者(右).



写真3 放射光施設 Swiss Light Source (SLS) の外観.

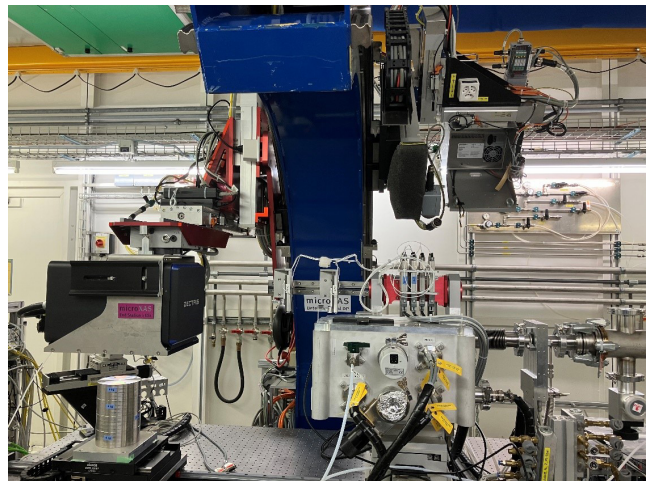


写真4 高い空間分解能を持つ microXAS.

いただきました。Neumann グループ長と筆者の専門分野は異なりますが「鉄」をキーワードに学際的な研究をすることの意義を共通認識として持っており、共同研究を進めることについて改めて確認しました。技術を持ち帰って日本でも発展させられるような研究をしたらよいと、世界各国の研究機関を渡り歩いてこられた Neumann グループ長ならではのご意見を頂き、鉄の分析についていくつか分析装置を挙げて検討することができました。今後、共同研究を進めるための申請書を作成することでも一致し、全面的にバックアップすると心強いお言葉を頂くことができました。渡航前は単身で乗り込んで初対面の研究者と打ち合わせをすることに不安しかありませんでしたが、今回の渡

航の目的を達成することができ非常にほっとした瞬間でした。

滞在期間を通して研究グループのメンバーと交流する機会も作っていただきました。研究グループにはドイツ、デンマーク、オーストラリアなど世界各国から集まった研究員やポスドクが在籍しています。コーヒープレークや昼食時に活発に情報交換をしており、複数の国での研究経験がある彼らがスイスの研究環境の素晴らしさを口々に語っていたのが非常に印象的でした。研究設備に限って言えば、産総研を含む日本国内の研究機関でも同等のものが揃っていると思います。しかし、短期間の訪問で筆者が感じた範囲ではありますが、国際色豊かな研究者が集い、スキルの

高い技術職員が在籍するという人的面、居室にドアがなくコミュニケーションをとりやすいオープンな環境面、電子キーでの来訪者の入退室管理やスマホでの会議室予約等のITシステム面等でPSIは充実しており、高い生産性とワークライフバランスの実現を可能にしているようでした。

4. 現地での情報収集

スイス滞在中にはPSI研究所への訪問に加え、現在ETH Zürichで在外研究をされている活断層・火山研究部門の岩橋くるみ博士とも懇談致しました。スイスへ移住し在外研究を行う上での各種手続きや物価が日本の約3倍のスイスで生活するコツなど、現在進行形で現地に暮らしていらっしゃる方だからこそ知り得る貴重な情報を教えていただきました。また、海外の研究者とのコミュニケーションの取り方の違いを乗り越えて真摯に研究を進めようとしている岩橋博士の姿を垣間見て、私自身在外研究、国際共同研究への決意を新たに致しました。

5. 終わりに

今回の渡航は、今後の共同研究に向けた予算獲得や研究内容の具体的な打ち合わせができ、非常に有意義なものとなりました。また、対面で打ち合わせをさせていただく中でNeumannグループ長の研究に対する考え方と筆者の考え方は多くの点で一致しており、改めて一緒に研究を進めたいと強く感じたことも大きな収穫でした。この経験が無駄にしないよう、コンタクトを絶やさず、日々目の前の研究を進めて予算獲得に繋がりたいと思います。

謝辞：今回の訪問は廣川研究助成事業の支援を受けて実施致しました。筆者は育休明けだったため小さな子供を日本に残して渡航することへの罪悪感や逆にそれを研究が進まない理由としてしまうことへの葛藤がありましたが、本支援を受け予算面のハードルが下がることで自分の気持ちを整理し大きな一歩を踏み出すことができました。このような機会を与えて下さいました旧地質調査所OBである廣川治氏とそのご遺族、並びに関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

また、お忙しい中事前調整から当日のアテンドまで終始大変ご親切にいただいたAnke Neumann Jenalグループ長、そしてこのようなネットワーク構築のきっかけとなったニューカッスル大学のThomas Curtis教授にこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

文 献

- 環境省 (2024) 令和4年度土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果。
<https://www.env.go.jp/content/000216011.pdf> (閲覧日：2025年2月25日)
- Rothwell, K.A., Pentrak, M.P., Pentrak, L.A., Stucki, J.W. and Neumann, A. (2023) Reduction pathway-dependent formation of reactive Fe(II) sites in clay minerals. *Environmental Science & Technology*, **57**, 10231–10241. doi:10.1021/acs.est.3c01655.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2020) Superfund remedy report, 16th ed. EPA 542-R-20-001, United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/100002509.pdf> (閲覧日：2025年2月25日)
- Yoshikawa, M., Zhang, M., Kurisu, F. and Toyota, K. (2017) Bacterial degraders of coexisting dichloromethane, benzene and toluene, identified by stable-isotope probing. *Water, Air, & Soil Pollution*, **228**, 418.
- Yoshikawa, M., Zhang, M., Kawabe, Y. and Katayama, T. (2021) Effects of ferrous iron supplementation on reductive dechlorination of tetrachloroethene and on methanogenic microbial community. *FEMS Microbiology Ecology*, **97**, fiab069. doi:10.1093/femsec/fiab069.
- Zhang, M. and Yoshikawa, M. (2016) An overview of remediation technologies for sites contaminated with volatile organic compounds. *Proceedings of Geo-Chicago 2016*, 295–301.

YOSHIKAWA Miho (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: Preliminary discussions on joint international research to elucidate the mechanisms of bioremediation of soil and groundwater pollutant.

(受付：2025年2月25日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 国際学会(The 9th Asian Particle Technology Symposium) での成果発表及び研究動向の情報収集

綱澤 有輝¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業により、2024 年 11 月 30 日から同年 12 月 5 日の期間において、オーストラリア・シドニーで開催された国際学会(The 9th Asian Particle Technology Symposium, 以下 APT2024)に参加し、自身の研究成果の発表及び粉体プロセスや粉体シミュレーションに関連する最新の研究動向に関する情報収集を行いました。本稿では、これらの内容について報告します。

2. 背景

粉体を取り扱う操作は、粉碎、混合、造粒、搬送や貯蔵など数多く存在します。これらの粉体操作は、鉱物資源開発だけでなく、食品、セラミック、製薬、原子力やリサイクルなど多種多様な産業において欠かせないプロセスとして利用されています。粉体操作は最終製品の品質やプロセス全体の効率に直接的に影響を与えるため、高効率な粉体プロセスを達成するためには、その高度な操作設計が求められています。しかしながら、粉体操作には凝集性や付着性などの粉体固有の特性がプロセスに影響するため、プロセス設計におけるノウハウが蓄積されている流体とは異なり、最適設計が困難です。混合プロセスを例にすると、流体では拡散による混合が時間と共に生じるのに対して、粉体では放置しているだけでは拡散による混合は生じません。また、粉体を構成する粒子の成分、粒子径や粒子形状の違いによって、その振る舞いが大きく異なることがしばしば起こります。このような背景から、高効率な粉体プロセスの確立という社会課題を解決するために、世界各国で精力的に研究がなされています。

Asian Particle Technology Symposium は、アジア地域における粉体研究に関わる国際学会であり、アジア地域を中心に世界各国から様々なバックグラウンドを有する研究者が一堂に会し、理論、実験及び数値シミュレーションを用

いた粉体プロセスの研究発表が行われます。自身の粉体シミュレーションを用いた研究を発表する上で適した場であると考え、参加することになりました。また、粉体工学分野において自身の研究の立ち位置や最新動向を調査することも今回の目的の 1 つでした。

2000 年にタイのバンコクで初めて開催された Asian Particle Technology Symposium は、以降 3～4 年ごとに、タイ、マレーシア、中国、インド、シンガポール、韓国、台湾、日本で開催されてきました。前回(The 8th Asian Particle Technology Symposium, APT2021)は、コロナ禍であったため、オンサイト(大阪)とオンラインのハイブリッド開催でしたが、今回の APT2024 は WHO 新型コロナ緊急事態宣言終了の発表後ということもあり、オンサイトでのみの開催となりました。Asian Particle Technology Symposium は、国際諮問委員会(International Advisory Committee)、国際組織委員会(International Organizing Committee)及び現地組織委員会(Local Organizing Committee)の 3 者が連携しながら運営されるため特定の国に依存していないことが特徴です。

3. APT2024 参加報告

初めてオセアニア地域での開催となった APT2024 は、オーストラリアのシドニーの Amora Hotel Jamison Sydney で開催されました。会場は、シドニーのビジネス中心区域に位置しており、シドニー-キングスフォード・スミス国際空港からもアクセスしやすいロケーションでした。また、南半球に位置するオーストラリアは、日本と季節が逆になりますので、訪れた 12 月は、日中の平均気温が 25℃前後であり、日差しの強さを感じる季節でした。

Opening セレモニーでは、Conference chairs である Prof. Yansong Shen(University of New South Wales, Australia)及び Prof. Alex Yip(University of Canterbury, New Zealand)から、開会の挨拶や開催までのエピソードトークが紹介さ

¹ 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、粉体シミュレーション、ピーズミル、粗視化モデル



写真 1 APT2024 の集合写真 (写真は APT2024 Organizing Committee からの提供)。



写真 2 Plenary Lecture を行った Prof. Jinghai Li と Conference chair の Prof. Yangson Shen (写真は APT2024 Organizing Committee からの提供)。

第 1 表 APT2024 の Technical session 一覧。

1. Modeling and simulation
2. Modeling and simulation of multiphase flow
3. Gas-solid flow: microscopic to macroscopic
4. Characterization & evaluation and control of particle dispersions
5. Powder handling: flow, mixing, and compaction
6. Particle synthesis and functionalization
7. Particle technology in low carbon metallurgy & recycling industries
8. Aerosol & interfacial science of particle
9. Particle technology for medical and pharma
10. Particle technology for energy and power sources
11. Recycling and waste management
12. Frontiers in powder technology
13. Special session of ARC hub for SPDC

れるとともに、参加者が総勢 276 名であることが示されました。また、その場で参加者の集合写真を撮影しました(写真 1)。Plenary lecture として、粉体シミュレーションの分野で世界的に認知されている Prof. Jinghai Li (Chinese Academy of Science, China) (写真 2) や Prof. Aibing Yu (Monash University, Australia) らを含む 8 件の講演があり、Technical session は、粉体シミュレーションや粉体操作(搬送, 混合, 圧縮)に加え、エアロゾルやリサイクル, 廃棄物処理などの粉体の関わる産業に関するトピックなど計 13 個のトピック(第 1 表)に分かれて口頭発表とポスター発表のセッションがそれぞれ開催されました。その他に、Special workshops として「Female in Particle Technology」「Grant Writing」及び「Early Career Researcher in Particle

Technology」に関するパネルセッションも開催されました。

筆者は Topic 2. Modeling and simulation of multiphase flow の Technical session にて、粗視化モデルを導入した離散要素法の湿式ビーズミルへの適用に関して口頭発表を行いました(写真 3)。粉体シミュレーション手法の 1 つである離散要素法 (Discrete element method) は、個々の粒子の運動方程式を逐次解析することで粒子群全体の挙動を解析する手法です。離散要素法において、1 粒子あたりの計算負荷は小さいものの、粒子数が増加するにつれて計算負荷が莫大になるため、現状の計算機性能で解析できる粒子数と産業スケールで要求される粒子数には大きな乖離があります。その粒子数の乖離を埋めるため、解析対象とな



写真3 筆者の口頭発表（写真は APT2024 Organizing Committee からの提供）。

る粒子よりも大きな粒子径のモデル粒子を用いて、少ない粒子数で解析するための粗視化モデルを湿式ビーズミルの体系に適用した結果を中心に発表しました。発表後の質疑応答では、Session chair の Prof. Hiroshi Nogami (Tohoku University) から、粗視化モデルを用いたシミュレーションとオリジナル粒子を用いたシミュレーションにおいて、マクロな挙動は整合しているものの、湿式ビーズミル内での衝突頻度に関して整合性が取れているのか質問を受けました。現状のモデルでは、系内の粒子のエネルギーの整合性は取れているものの、衝突頻度に関しては若干の違いが生じてしまっているため、今後、湿式ビーズミルの粉碎過程の予測などに研究を展開していく上で、解決しなければならない課題であることを強く感じることができました。

筆者は、自身の発表以外の時間帯で、自身の専門である数値シミュレーションに関する Technical session を中心に聴講しました。粉体に関わる様々な研究が発表されている中で、粉体シミュレーションに関するセッションでの口頭発表やポスター発表の件数は、他の研究課題と比較して多く、複雑な粉体プロセスの現象理解のために粉体シミュレーションが有用なツールであり、様々な研究者が精力的に取り組んでいる様子が伺えました。また、粉体プロセスにおけるデジタルツインの実現を目的として、粉体シミュレーションの代わりに機械学習を活用して現象を予測するサロゲートモデルの開発に関する研究発表も多くありました。前回の APT2021 では、機械学習を活用した研究発表

はほとんど無かったので、機械学習を用いた研究開発が、粉体工学の分野においても 1 つの研究テーマとして確立してきたことを今回の APT2024 で特に実感しました。

また、2 日目の夜には、Prof. Aibing Yu が主催する ARC research hub for computational particle technology の Technical session を聴講するとともに、その後に開催された ARC research hub の懇親会にも参加させていただきました。そこでは、APT2024 に参加していた粉体シミュレーションの分野で世界的に活躍されている多くの研究者らと交流し、研究のディスカッションができ、非常に興味深く勉強になりました。また、各国の研究者に自身の存在をアピールすることができ、国際的なネットワークを少なからず構築することができたと感じられました。APT2024 を通して、自身の研究成果を発信アピールするだけでなく、国際共同研究をするための研究者ネットワーク構築ができた非常に貴重な機会であったと感じています。

4. おわりに

今回、APT2024 に参加することで、アジアを中心とした世界各国の粉体工学分野に関係する研究者と様々なテーマに関して議論する機会を得ることができ、非常に貴重な経験をさせていただきました。また、粉体シミュレーションの分野において世界的な研究者である Prof. Aibing Yu が主催する ARC research hub for computational particle technology の会合にも参加させていただく機会が得られ、自身の研究意欲の向上のみならず、国際共同研究するための研究者ネットワークの構築をすることができ、大変有意義な機会となりました。

謝辞：廣川研究助成事業により今回の国際学会への参加を実現することができました。助成事業を通じて大変貴重な機会を頂きました関係者の皆さまに心より感謝申し上げます。

TSUNAZAWA Yuki (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: Oral presentation and information gathering at the 9th Asian Particle Technology Symposium.

(受付：2025 年 2 月 26 日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告：

5th SerpentineDays 2024 への参加と 国際共同研究に向けた沈み込み帯における 水流体の移動・分離過程に関する情報交換

中谷 貴之¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業による支援を受け、2024 年 9 月 23 日～27 日にかけてスペインのグラナダにて開催された 5th SerpentineDays 2024 会議および、シエラネバダ山脈のアルミレス山への地質巡検に参加した。これらの概要について報告する。

2. 背景

プレート沈み込み帯では、海水との反応で岩石中に水酸基として固定された水が、プレートの沈み込みに伴い地下で脱水し、水流体となって上盤側のプレートに浸透する。浸透した水流体は、高温のマントルにおいてマグマの生成を促進するとともに、地殻において内陸地震を誘発することもあると考えられている。こうした水流体の分離・移動過程を解明することは、火山現象の理解や地下深部の地質環境の長期的な変化の予測に重要な知見を与える。

筆者はこれまで、原子力規制庁からの受託研究を通じて、内熱式ガス圧装置を用いた珪長質マグマの相平衡実験を行い、カルデラ噴火を起こした珪長質マグマの蓄積深度の推定などを行ってきた。2023 年にパーマネント型研究員として採用されてからは、より広い視点からマグマの発生や流体を通じた物質循環を理解することを目的に、内熱式ガス圧装置を用いて、蛇紋岩の脱水組織に注目した実験的研究を実施している。蛇紋岩とは、蛇紋石と呼ばれる含水鉱物から主に構成される岩石である。マントル岩石中のカンラン石や輝石が海水と反応して加水することで、蛇紋石が生じる。蛇紋石は、重量にして 12-13 % もの水を水酸基として結晶構造中に保持するため、沈み込みプレートにおける水の輸送の重要な担い手として認識されている。これまでに、蛇紋石の脱水が生じる温度圧力条件が実験的

に明らかにされ、沈み込み帯にて水流体が生じる深度が詳細に検討されてきた(例えば Ulmer and Trommsdorff, 1995)。一方、脱水に伴う岩石からの水流体の分離過程は、沈み込みプレートからの流体の供給を規制する重要な要素であるが、脱水反応と岩石の変形、流体の移動が密接に関係し合う複雑な現象であるため、まだ理解が十分に進んでいない。天然の岩石に記録された情報に基づき地下で実際何が起こっていたのかを理解することが、重要なアプローチの一つとなる。スペインの Cerro del Almirez (アルミレス山) は、沈み込み帯深部に相当する高压下での蛇紋岩の脱水過程が地質露頭として完璧に保存されている世界的にみても稀有な場所であり、これまでに重要な研究成果が数多く発表されてきた。特に、蛇紋岩が脱水する際に生じるカンラン石が顕著に伸長する場合があることが古くから報告されており、超苦鉄質マグマにおける冷却組織(スピニフェックス組織)に酷似していることから、スピニフェックス“様”組織などと呼ばれている。その起源について、組織があまりにもマグマの急冷組織に似ているため、脱水時に形成された断層で摩擦溶融が生じたのち急冷した組織であるとする解釈等もあったが(Evans and Cowan, 2012)、現在は脱水時の割れ目形成等に伴う流体圧の急減少によってそのような組織が生じるのではないかと考えられている(Dilissen *et al.*, 2021)。しかし、伸長方向とかんらん石の結晶軸方向の特殊な関係性など未解明な点もあり、本当に流体圧の減少に伴って同様の組織が生じうるのか、十分に理解されていなかった。このような問題にアプローチするために、圧力を精密に制御可能な内熱式ガス圧装置を用いて、流体圧(実験においては全圧に等しい)を様々に変えた蛇紋岩の脱水実験を行った。地質情報研究部門の針金由美子上級主任研究員にご協力いただき、実験生成物中のかんらん石の伸長度合いや伸長方向と結晶軸の関係を調べた結果、流体圧が低い場合、天然のスピニフェックス

¹ 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、沈み込み帯、水流体、蛇紋岩、かんらん石、スピニフェックス様組織、内熱式ガス圧装置、グラナダ

様組織と非常によく似た組織が生じることが分かった。5th SerpentineDays 2024 会議では、国際共同研究に向けて上記の結果についてポスター発表を行い、関連情報を収集するとともにアルミレス山での地質巡検に参加し、スピニフェックス様組織の成因と沈み込み帯における水流体の移動分離過程について現地で議論を行った。

3. 5th SerpentineDays 会議

SerpentineDays 会議は、前身となるフランスの研究共同体が、蛇紋石および蛇紋岩の鉱物学的・地球化学的研究を対象とした研究会議の成功を受けて、研究分野を環境科学や惑星科学にまで広げ、国際会議に発展させたものである。前身の会議を含めて第5回目となる今回は、スペイ

ンのグラナダで開催され、75名の参加者が世界各国から集まった。

9/23の初日から会議に参加するために、イスタンブール経由でグラナダに前日入りする予定であったが、イスタンブール着が予定より遅れたため、イスタンブールで1泊することになった。航空会社の手配されたホテルは空港から1時間も離れた場所にあり、なぜこんな遠くまで連れてこられるのか不思議であった。空き時間に周囲を散策すると、近所に石灰岩や大理石で作られた帝国時代の Yedikule (イエディ・クレ) 要塞があり、塔の上から数多くの貨物船がマルマラ海に浮かぶ様子を一望することができた(写真1a)。交通の要所であることが一目でわかる印象的な景色であり、これを見せたかったのかとマルマラ海を感じながら勝手に納得した。翌日、1日遅れでグラナダに



写真1 イスタンブールとグラナダの様子。(a) イスタンブールのイエディ・クレ要塞から見たマルマラ海の眺め。(b) 5th SerpentineDays の会場となったグラナダの Carmen de la Victoria の庭園。(c) 会議参加者の集合写真。アルハンブラ宮殿が背景に見える。

到着し、夕方のポスター発表から SerpentineDays 会議に参加した。会場はグラナダ大学が保有する Carmen de la Victoria という美しい庭園付きの宿泊施設であり、アルハンプラ宮殿が目と鼻の先に見える絶好のロケーションであった(写真 1b および 1c)。ポスター発表では、アルミレス岩体等における蛇紋岩の脱水過程を詳細に研究しておられる Padrón-Navarta 博士や、スピニフェックス様組織を持つ岩石の CT 分析をしておられた Wolf-Achim 博士らと議論することができた。実験で見られたカンラン石の双晶が天然の岩石にも存在することや、実験産物の CT 分析の可能性等について話し合う等、今後研究を発展させる上で非常に有益な意見交換を行うことができた。口頭発表では、蛇紋岩を通じた水循環のトレーサーとなるホウ素やマグネシウムの同位体の分析や、蛇紋岩の脱水に伴う酸化的な水流体の発生、蛇紋岩の炭酸塩化に伴う変形様式の変化等、蛇紋岩に関するホットな研究トピックを概観することができた。また、東北大学の岡本 敦教授が現地で招待講演をされ、天然岩石の分析や室内実験、シミュレーションを組み合わせた蛇紋岩化における物質移動と破碎に関する研究内容について聴くことができた。一貫して本質的な問題に多様なアプローチで取り組まれており、世界の第一線に立つ研究者とはこういうものかと唸らされた。上記の岩石・鉱物学的な研究に加え、蛇紋岩化および蛇紋岩の炭酸塩化をアナロジーとした工業的な水素の発生や二酸化炭素固定の研究についても触れることができた。SerpentineDays という(かなり?)マニアックな研究会議を存続させる上で、このように社会的な要請をうまく取り込むことが大切なのだろうと感じた。

4. アルミレス山への地質巡検

SerpentineDays 会議の終了後、地元大学所属の 5 名の案内者と希望者 25 名が 1 泊 2 日のアルミレス山への地質巡検に参加した。会議の約 1 年前、フランスのリヨンで開催された Goldschmidt 国際会議に参加した際、蛇紋岩関係のセッションが行われていた部屋で SerpentineDays 会議のフライヤーを見つけて、運命めいたものを感じたことを覚えている。たまたま筆者が興味を持って始めていた実験の典型的で完璧な天然の例が、この目で見られる機会があると知ったからだ。巡検の参加希望者は、朝早くにグラナダ駅前に集合し、案内者と一緒にレンタカーに分かれて乗り込んで、東のシエラネバダ山脈に向かった。高速道路を過ぎて、土煙を上げながら乾燥した山道を進むことおよそ 2 時間後、アルミレス山手前の最初の地点に到着した。巡検

案内書が事前に配られていなかったもので、そういうものかと思っていたら、後からやってきた案内者から昼食のサンドイッチや果物と一緒に案内書が配られた。聞くと、できるだけ正確な資料とするため作成に時間がかかり、手渡すのが遅れてしまったとのことだった。これまでの研究成果が案内順に従って分かりやすく図と共にまとめられていた。

晴天の下、案内書片手に眼下に広がる眺望に目を奪われながら、アルミレス山周辺の地質史について案内者から説明を受けた(写真 2)。海洋底に露出したマントル岩石と海水の反応により生成した蛇紋岩が、地下深くに沈み込む過程でアニールされて均質化した後、脱水しつつある状態を保存したまま地表まで上昇したとのことだった。岩体上位の脱水前の蛇紋岩から、岩体下位のほぼ完全に脱水した岩石(主にカンラン石と直方輝石から構成されるハルツバージャイト)までその推移を細かに追うことができるように巡検スケジュールが組まれており、最終的に脱水の「カタルシス」に至ると案内者が表現していたのが印象的であった。蛇紋岩に加え、ロジン石と呼ばれる蛇紋岩化に伴って生成する変質岩の変成履歴を一緒に追うことで、脱水時の



写真 2 巡検開始時に岩体の地質史について説明をする Padrón-Navarta 博士。背後に見える山がアルミレス山である。

温度圧力経路や各種物質の出入りを比較検証できるような構成になっていた。

アルミレス山の山腹まで行き、車を降りて息を切らしながら急な山道を登ると、片理の発達した蛇紋岩が見えてきた(写真 3a および 3b)。脱水前の蛇紋岩は良くアニールされ組織が均質であることが特徴で、それゆえにその後の脱水過程が容易かつ詳細に把握できる利点がある。山を下り

始めるとカンラン石などからなる脈が見える等、脱水の兆候が現れ始めた(写真 3c)。さらに下ると、遷移的な蛇紋岩の脱水前線が克明に保存された露頭が見れ、脱水が本格的に生じていることが分かった(写真 3d)。ここで生じているカンラン石は等方的な形状をしている。

一方、少し離れた場所では、伸長したカンラン石を有する見事なスピニフェックス様組織が見られ、参加者から感

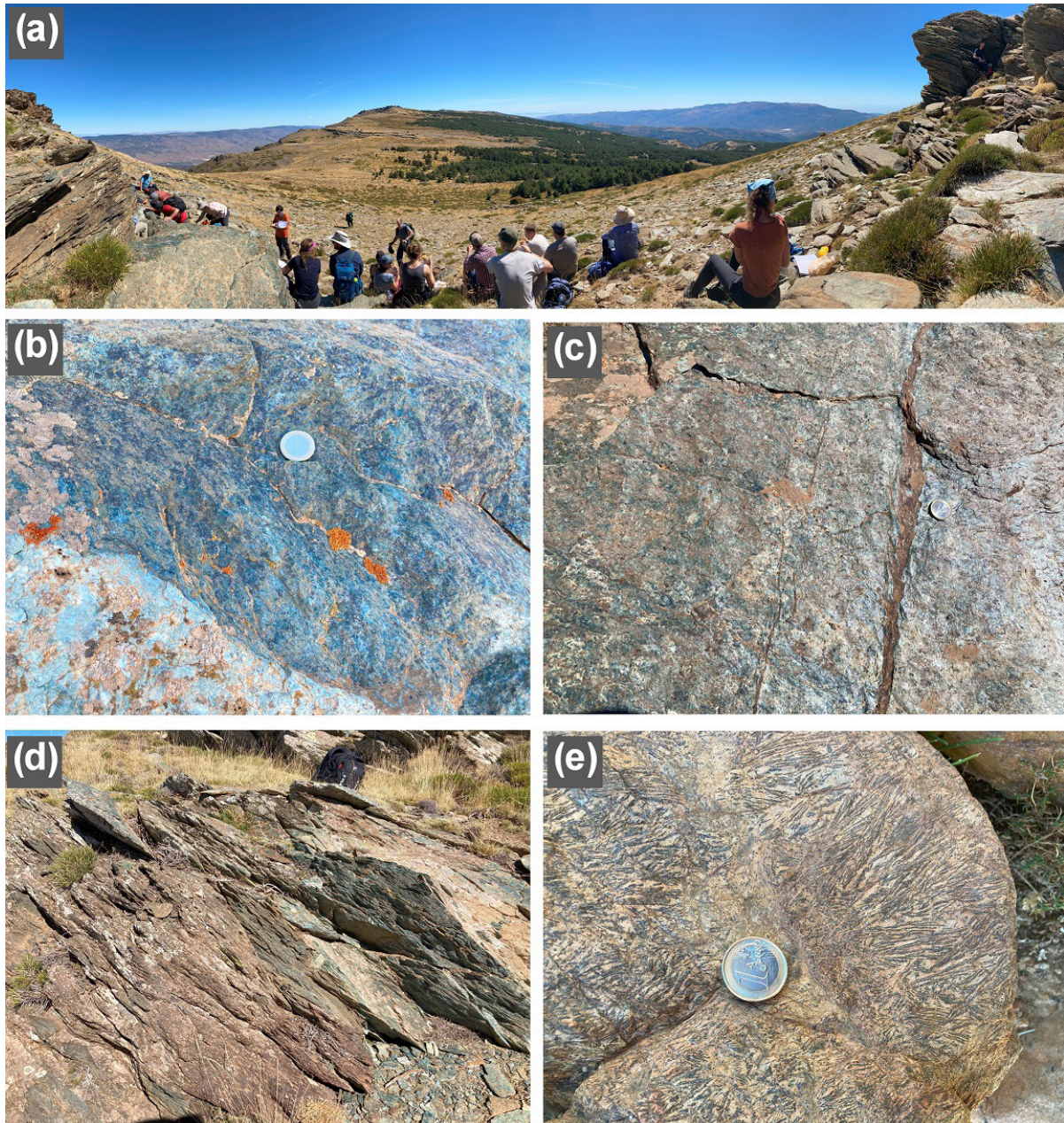


写真 3 アルミレス山における蛇紋岩の脱水の様子。(a) 山頂付近にて、片理の発達した蛇紋岩を背に昼食を取った。(b) 脱水前の蛇紋岩。主に蛇紋石と磁鉄鉱から構成される。(c) 脱水の兆候が表れ始めた蛇紋岩。主にカンラン石や含チタン斜ヒューム石から構成される厚みの異なる 2 種類の褐色脈が、片理と交わる方向に発達している。(d) 遷移的な脱水前線が確認できる露頭。右手の緑色の蛇紋岩が左手の赤褐色のハルツパージャイトへと脱水する間に緑泥石や直方輝石が順に結晶化し、遷移的な岩相を生み出している。(e) 蛇紋岩が脱水してできたと考えられるスピニフェックス様組織を持った岩石(ハルツパージャイト)。伸長した黒っぽい粒子がカンラン石であり、その周りを主に白色の直方輝石(多くの場合滑石に変質)が埋めている。

嘆の声が上がった(写真 3e)。メルトの急冷組織であると解釈するのも、もはや仕様がなと思う程の見た目であり、長軸の長さが最大約 30 cm にもなると説明を受けた。周囲の露頭で実際に石を手にとってみると、かんらん石の伸長の具合や方向のパターンにバリエーションがあることがすぐに分かり、非常に興味深かった。Garrido 博士からスピニフェックス様組織を切る特殊な粉碎脈の存在 (Padrón-Navarta *et al.*, 2010) も教えてもらい、水圧の変動と破壊と脱水反応が、水流体の分離過程において密接に関わっていることがうかがわれた。また、この脱水の「カタルシス」の説明の場で、案内者である Padrón-Navarta 博士から筆者の研究を取り上げてもらったことが、単純に嬉しかった。

1 日目の巡検を終えた後は、地元研究者らがいつも利用しているという宿に泊まった(写真 4)。夕食の前に飲み物片手に歓談する場があり、そこで案内者の一人であるハエン大学の Sánchez-Vizcaíno 教授と話す機会を得た。1995 年に、Ulmer and Trommsdorff (1995) という蛇紋石の安定条件を圧力 8 GPa まで高压実験により制約した論文が Science 誌に掲載され、当時の教授はそれを受けてアルミレス山の研究を始めたとのことだった。Trommsdorff 氏と Sánchez-Vizcaíno 教授らは、アルミレス山の岩体が 1.6 GPa 以上の高压下での蛇紋岩の脱水が観察できる稀有な例であることを示し (Trommsdorff *et al.*, 1998)、それ以降アルミレス山は世界的な注目を浴びるようになった。その後、Sánchez-Vizcaíno 教授は、断片的であったアルミレス山の研究を総合的に推し進め、約 30 年にわたって本岩体の地質学的・鉱物学的研究に従事されてきた。今なお、重要な

成果がこの岩体の研究から生み出されているのは、この岩体の希少性もさることながら、彼ら先人の先駆的で緻密な研究があってこそだということを改めて感じた。その後、夕食は 24 時前まで続き、最後は地ワインで酔いが回って半分寝ていたが、楽しい時間を過ごすことができた。

翌日は、若手の Menzel 博士の案内で炭酸塩を伴った蛇紋岩を見て回った。海洋底で生成した炭酸塩(主に石灰石)を含む蛇紋岩(蛇灰岩)が沈み込む際、周囲の炭酸塩を含まない蛇紋岩の脱水に伴って炭酸塩も溶けだしてしまうことが直感的に予想されたが、実際には多くの炭酸塩が生き残っており、より深部のマントルまで運ばれるのだと説明された。近年整備が進んだ高压下における水流体中の溶存種の熱力学モデルに基づき、相当の水岩石比(時間積分した流体フラックス)がないと、炭酸塩が十分溶けださないことが一つの要因であると議論されており、参考になった (Menzel *et al.*, 2019, 2020)。

今回の巡検全体を通じて、参加者の一人である Timm 教授が、折に触れて鋭い質問を投げかけることで議論が盛り上がる事が多く、こういった場での議論の仕方について学びを得た。そして、巡検の締めくくりに際しては、参加者の一人から、アルミレス山は素晴らしい天然の「博物館」であり、キュレーターとして博物館を維持し、今回その魅力を伝えてくれた地元研究者の方々にお礼を言いたい旨の挨拶があり、筆者もひどく共感した。巡検の間、参加者らと場の雰囲気共有しながら、研究について議論することで思考のヒントを得る等、オンラインでは得難い体験をすることができた。

5. おわりに

今回の渡航に際して旧地質調査所 OB である廣川 治氏のご遺族から地質調査総合センターへご寄付いただいた資金(廣川研究助成金)の一部を使用させていただいた。関係者の方々へ深く感謝申し上げる。

文 献

- Dilissen, N., Hidas, K., Garrido, C. J., Sánchez-Vizcaíno, V. L. and Kahl, W. A. (2021) Morphological transition during prograde olivine growth formed by high-pressure dehydration of antigorite-serpentinite to chlorite-harzburgite in a subduction setting. *Lithos*, **382**, 105949.
- Evans, B. W. and Cowan, D. S. (2012) A melt origin for



写真 4 巡検の 1 日目が終了した後に宿泊した宿のバルコニーからの眺め。

- spinifex-textured metaperidotite in the Cerro del Almirez Massif, southern Spain. *American Journal of Science*, **312**, 967–993.
- Menzel, M. D., Garrido, C. J., López Sánchez-Vizcaíno, V., Hidas, K. and Marchesi, C. (2019) Subduction metamorphism of serpentinite - hosted carbonates beyond antigorite - serpentinite dehydration (Nevado - Filábride Complex, Spain). *Journal of Metamorphic Geology*, **37**, 681–715.
- Menzel, M. D., Garrido, C. J. and Sánchez-Vizcaíno, V. L. (2020) Fluid-mediated carbon release from serpentinite-hosted carbonates during dehydration of antigorite-serpentinite in subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, **531**, 115964.
- Padrón-Navarta, J. A., Tommasi, A., Garrido, C. J., Sánchez-Vizcaíno, V. L., Gómez-Pugnaire, M. T., Jabaloy, A. and Vauchez, A. (2010) Fluid transfer into the wedge controlled by high-pressure hydrofracturing in the cold top-slab mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, **297**, 271–286.
- Trommsdorff, V., Sánchez-Vizcaíno, V. L., Gómez-Pugnaire, M. T. and Müntener, O. (1998) High pressure breakdown of antigorite to spinifex-textured olivine and orthopyroxene, SE Spain. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **132**, 139–148.
- Ulmer, P. and Trommsdorff, V. (1995) Serpentine stability to mantle depths and subduction-related magmatism. *Science*, **268**, 858–861.
-
- NAKATANI Takayuki (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: The participation in 5th SerpentineDays 2024 and sharing ideas about fluid migration and liberation in subduction zones for potential international collaborative research.
-
- (受付：2025 年 2 月 28 日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 石炭紀からジュラ紀の超海洋パンサラッサ遠洋域 における生物源シリカ堆積プロセスの解明に向けた 国際共同研究の事前協議及び研究活動調査

武藤 俊¹

1. はじめに

示準化石は地層の年代決定のために用いられる、古典的だが代表的な手段である。地質調査総合センターにも多くの分野の微化石の専門家がいる。筆者は、日本では研究者の数が少なく、国内の微化石研究の中では主流ではないコノドント動物の化石を研究している。コノドント動物とは、古生代カンブリア紀から中生代三畳紀まで存在した脊椎を持たない原始的な特徴の脊索動物である。咽頭部に歯のような形状の硬骨格を持っており、僅かな例外を除きその硬骨格のみが化石として産出する。コノドント化石は世界中の様々な海成地層で示準化石として用いられるが、特に遠洋域深海で堆積した珪質岩類ではその重要性が高い。それは、遠洋深海珪質岩類からは大型化石、炭酸塩微化石、さらには火山灰などのその他年代決定を行いうる物質が基本的には産出しないためである。筆者は古生代後期から中生代前期に存在した超海洋パンサラッサ（古太平洋）の遠洋深海珪質岩を対象とすることで、その海洋区における生物源シリカの堆積プロセスを明らかにしようとしている。そのためには幅広い年代の遠洋深海堆積岩に精密な年代軸を与えることが必要であり、コノドント化石層序の研究を行っている。化石層序学は古典的な手法ではあるものの、新たな地層断面の観察地や標本群の研究によって、層序、古地理及び分類に関する情報の更新が行われている。古生代と中生代に関しては、年代層序の高精度化や分類学の研究成果の多くは、地層の多くが変形を受けている日本のような変動帯ではなく、主に海外の大陸に見られる長期間にわたり安定した堆積場であった地層から発信されている。そのような最新の研究成果を持つ外国の機関を訪問することは、アップデートされた情報をなるべく正確かつ詳細に入手する上で重要である。

筆者は、令和 6 年度廣川研究助成事業により 2024 年 10

月 9 日～17 日の日程でイタリアへ渡航した。滞在中の 10 月 11 日～15 日の 5 日間でパドヴァ大学を訪問し、公表済みの成果についての詳しい情報交換を行うとともに、共同研究のための事前打ち合わせを行った。本稿ではその内容について報告する。

2. 経緯

筆者が本研究助成事業を受けるにあたっては、2020 年～2021 年頃までに国内外の様々な機関で実施されていた新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) への対応のために、特殊な経緯があったため、ここに紹介する。筆者は、初め 2020 年度の本助成事業に応募し、採択していただいた。この際には、2020 年にスロベニアの首都リュブリャナで開催が予定されていた放散虫及び関連分野の研究者が集う国際学会、16th International Conference on Fossil and Living Radiolaria (以下、略称である InterRad XVI と呼称する) に参加し、研究発表と国際的な研究動向調査を行う目的であった。しかし、2020 年に入り世界規模で新型コロナウイルス感染症が拡大し、InterRad XVI も開催が見送られることとなった。廣川研究助成事業の側では、渡航時期の延期も含め、研究計画を変更して再申請することを認めるなどの対応がとられていた。その後 COVID-19 の状況が一時的に改善したため、2021 年 9 月に InterRad XVI がリスケジュールされる方針が示されたが、COVID-19 の再拡大や他学会との時期の調整から断念された。翌 2022 年には、ワクチンの普及もあり COVID-19 に対応した対面活動の制限が大幅に緩和されることとなり、ようやく 2 回の延期を経て InterRad XVI が 9 月に当初の予定通りの開催地であるリュブリャナで開かれることとなった。日本政府でも海外との往来を再開する方針が定められ、特に 6 月以降に水際対策の緩和が段階的に行われたが、産総研としては職

¹ 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、化石、国際共同研究、パドヴァ大学

員の海外出張を認めない方針が維持された。InterRad XVI の登録締め切りであった 6 月中旬にもこの方針は続いており、海外渡航の見通しが立たなかったため、筆者は学会への参加を見送った。

COVID-19 の影響下で、InterRad XVI のように対面開催を重視して日程を延期した国際会議も多かった一方で、中には新しく活用されるようになったオンライン形式を採用する国際学会もあった。筆者が研究対象とするコノドント化石に関する国際会議 Fifth International Conodont Symposium (ICoS 5) もオンライン開催した学会の 1 つであり、2022 年 6 月に開催された。オンライン開催であったため、旅程を組む必要もなく、投稿・参加登録は直前まで認められ、参加費もかからなかったため、InterRad XVI に替わる発表の場として急遽参加を決めることができた。そこで初めて直接言葉を交わすことになったのが、パドヴァ大学の Manuel Rigo 教授である。Rigo 教授の研究内容については後述するが、筆者が遠洋深海堆積岩とそこから産するコノドント化石について行っていた研究の発表に大いに興味を持ち、学会後に個別にミーティングを申し入れてくださった。その縁があり、パドヴァ大学訪問について打診したところ Rigo 教授には快諾された。筆者は改めて研究打ち合わせを目的とした海外渡航計画を廣川研究助成事業に応募し、採択していただいた。

3. パドヴァ大学とコノドント化石研究

パドヴァ大学 (Università degli Studi di Padova) は、イタリア北東部ヴェネト州パドヴァ県の県都であり、イタリア北部でも歴史の古い都市であるパドヴァ市に位置する。ちなみに、ヴェネト州の州都はアドリア海に臨む水の都として有名なヴェネツィアであり、パドヴァはそこから鉄道で 30 分程度の距離にある。パドヴァ大学は 1222 年に中世大学として創立され、イタリアでは 2 番目に古い大学だと言われる。ニコラウス・コペルニクスらを輩出し、ガリレオ・ガリレイが教授として教鞭をとるなど日本人にも馴染みの深い知の巨人たちが在籍した由緒ある大学であり、自然科学分野で長い歴史を持っている。現在、理学部に相当する School of Science の中に生物学、物理学及び天文学、地球科学、数学、化学、統計学の 6 つの department (学科) がある。このうち地球科学分野の Department of Geosciences に所属する研究者の専門分野は実に多岐にわたり、堆積学、岩石学、構造地質学、古生物学、古気候学、惑星科学、資源学、地球物理学、さらには考古学や応用地質学なども含む。筆者が訪問した Manuel Rigo 教授はこの学科に所属し

ており、学部では層序や地域地質に関する教育に携わっている。

パドヴァ大学の施設は、パドヴァ市街地内にあるいくつかの建物に分かれており、1 つのキャンパスに集合しているのではなく民家や飲食店などと共に街中に並んでいる。地球科学の学科は市街地中心から 1 km ほど東の場所にあり、物理学、天文学の学科や、工学系、薬学系など他学部にも所属する学科の建物なども付近にある。パドヴァ大学は上記の通り歴史の長い大学であるため、古いパドヴァの街並みによく馴染んだ風情のある建物に入っている学科もある。なお、パドヴァは交通の要衝としての役割を持ち、フン族やゲルマン部族などの侵略を繰り返し受けていたため、水運を担った川やそれに沿った城壁がシンボルの 1 つである (写真 1)。パドヴァ市の古い建物には多くの場合パドヴァ周辺で採られた石材が用いられている。そのため、特に古く大きい建物の壁や柱を見ていると、付近の重要な地質が垣間見られ、大学の授業でも市内を見て回る日があるという。地球科学の学科はそのような古い建物ではなく、新しく建てられた建物に入っている (写真 1)。ただし、付近一帯には比較的古い街並みが残っており、ポルチコ (建物の二階部分が屋根のようにかかる歩道) を備えた通りや、川にかかる石造りの橋など、パドヴァらしい景色が広がる。学科の建物付近には小さなピッツェリアやオステリアなどがあり、学生や職員が昼や夕方に訪れているようだった。数年前までは、町の中心部に近い建物に地球科学の学科が入っていたが移転となり、現在そこは後述する博物館になっている。パドヴァ大学が所有している化石などの標本の一部は、その博物館に収蔵されている。

Rigo 教授自身は、長年にわたりテチス海の地層を対象として、コノドント化石を用いて堆積物層序記録の復元に取り組んできた (例えば Rigo *et al.*, 2005)。イタリア周辺には中生代のテチス海西部に位置していた海盆の良質な堆積岩層序が保存されており、これらが Rigo 教授の主な研究地域である。中でも、イタリアの三畳系からジュラ系は世界的に見ても地層の時間的な連続性や化石産出の面で優良な研究対象である。これは、上部三畳系ノーリアン階基底の国際標準模式層断面及び地点 (Global Boundary Stratotype Section and Point : GSSP) がイタリア南部シチリア島の Pizzo Mondello に制定される見込みであることからもうかがえる (Hounslow *et al.*, 2021)。Rigo 教授もコノドント化石層序の面から Pizzo Mondello における GSSP 制定へ向けての取り組みに大きく関わってきた (Nicora *et al.*, 2007 ; Mazza *et al.*, 2012)。その研究の蓄積もあり、現在パドヴァ大学は、後期三畳紀のコノドント化石については研究実績



写真1 (左) バッキリオーネ川に架かるパドヴァ市街地への入り口であるポンテ・モリーノ橋。筆者の宿泊地は門をくぐってすぐの地区にあった。(右) パドヴァ大学 Department of Geosciences の建物。

と標本の質・量においてヨーロッパでは最高、世界でも多数の研究機関であると言える。

さらに Rigo 教授は、コノドント化石を示準化石として用いるだけでなく、古環境の記録媒体として用いる研究も行っている。具体的には、コノドント化石を構成する物質中の酸素の同位体比から、生息当時の古水温を復元する研究である (Rigo *et al.*, 2010)。コノドント化石はアパタイト(リン酸カルシウム)から構成されており、現在の脊椎動物の硬骨格と同じ素材である。Rigo 教授らの研究は、現在の水棲脊椎動物のアパタイトにおける酸素同位体比が骨格形成時の水温を反映することを基に、コノドント化石の酸素同位体比から古水温を計算するものである。厳密な古水温の絶対値を求める上ではいくつかの不確実性があるが、相対的な値として捉えても、地質年代を通しての海水温変動やコノドント動物の種ごとの棲み分けのような古生態に関する研究に非常に強力なツールとなる。さらに、コノドント化石自体が示準化石であるため、古水温データについて同時に年代情報も付与しうる点が魅力的である。以上のような利点から、今でこそコノドント化石を用いた古海水温復元は世界各地の研究機関で行われているが、Rigo 教授はそのパイオニアの一人である。

最近 Rigo 教授が着目している研究テーマに、古生代後半から中生代前半に存在した超海洋パンサラッサの遠洋深海堆積物を対象とした化石層序と環境変動の解読がある。

ジュラ紀以前の超海洋パンサラッサ遠洋域の海底は、ほとんどがプレート運動により沈み込んでしまっていて存在しないが、日本など環太平洋域の付加体中にわずかに地層として保存されている (Isozaki *et al.*, 1990)。そこには、現在は存在しない広大な海洋区の古生物・古環境に関する情報が保持されている。日本は、付加体を対象とした地質学・古生物学的研究が盛んに行われたために、パンサラッサ遠洋域深海の堆積岩記録を研究するのに最適な地域となっている。このような背景から、Rigo 教授は九州大学などと共同して、日本の付加体中の遠洋深海堆積岩を対象とした研究に取り組んできた。Rigo 教授らの研究では、約 2.3 億年前の後期三畳紀カーニアン期に、世界各地で多雨をもたらした気候変動イベントと連動して、パンサラッサ遠洋域深海の広範囲で生息する生物種の交代や、さらにはマンガンに富む堆積物の形成が起きていたことが明らかとなった (例えば Tomimatsu *et al.*, 2023)。これは、多雨現象の原因となった大規模火山活動に起因する温暖化が、海洋の酸化還元状態に擾乱を与えた結果だと見られている。このような古環境学的研究には、年代を明らかにするためのコノドント化石の情報が必要だが、コノドント化石を深海の珪質堆積岩から取り出すために、従来は希フッ化水素酸を用いた方法がとられてきた。希フッ化水素酸はコノドント化石を構成するアパタイトをフッ化カルシウムに置換してしまうため、この方法は化石の化学組成と、場合によっては形

状の保存という観点からも理想的ではなかった。Rigo 教授は、水酸化ナトリウム水溶液を用いて、従来の方法と比べて化石に損傷を与えず、かつ、作業する者にとっても安全な手法を開発した (Rigo *et al.*, 2023)。さらに、この手法で多数の層準から丁寧に微化石の産出を検討することで、コノドント動物は三畳紀–ジュラ紀境界で絶滅したとする通説に反し、遠洋域でのみジュラ紀初期までコノドント動物が生き延びていた可能性を提示した (Du *et al.*, 2023)。

筆者はこれまで、石炭紀から三畳紀までの年代を対象として研究を行ってきたが、後期三畳紀についてはあまり取り組んでいなかった。その理由の 1 つとして、後期三畳紀のコノドント化石は形態が他の時代と比べて多様な部類である上に、近年に分類群が再検討されるなど、詳しくない者にとって手を出しづらい対象であったことがある。Rigo 教授は長年にわたり後期三畳紀のコノドント化石研究を牽引してきた人物であり、筆者が後期三畳紀に研究対象を広げる上で非常に有益なアドバイスをくださるだろうと考え、研究打ち合わせをお願いした。Rigo 教授の方も、日本の遠洋深海堆積岩研究をさらに進める上で筆者との情報共有が有益になると考えており、今回の訪問が実現した。

4. パドヴァ大学での研究打ち合わせと研究発表

今回の渡航では、10 月 9 日～10 日が往路の移動日、10 日～15 日までがパドヴァ市内に宿泊してパドヴァ大学訪問、16 日～17 日が帰路の移動日であった。パドヴァ大学では、Rigo 教授との研究打ち合わせのほか、層序・古生物学の職員・学生が集まる場で筆者のこれまでの研究を紹介するセミナーを行った。

パドヴァ大学の地球科学の学科は先述の通り市街地の中心部から 1 km ほどのところにあり、筆者の宿泊地からも徒歩 30 分程度でアクセスできた。到着した初日には、まず Rigo 教授に建物の案内を受けた。地球科学の学科の建物は、幅 20 m、奥行き 50 m ほどある 4 階建てである (写真 1)。建物全体が縦に 2 つの区域に分かれており、片方は学生が活動する場所で、もう片方は教員など大学職員が活動する場所とのことだった。1 階の入り口付近には、イタリア全体の地質図が貼られていた。Rigo 教授は、これを見せながらイタリアの地質学的な枠組みや、パドヴァを含む北東部地域の位置付けなどについて説明して下さった。これまでイタリアの地質図を詳しく見ることはなかったのだが、同じ西ヨーロッパでも以前に訪問したことがあるイギリスやドイツと比較してイタリアがかなり複雑な地誌を持っていることを初めて実感した。その大きな要因と

して、イタリアがユーラシアとアフリカのプレート境界部に位置し、複雑なプレート収束域の歴史を経ていることが挙げられる。余談にはなるが、イタリア半島の西側に浮かぶサルデーニャ島は、地質的には数百 km 北のヨーロッパ大陸本土と連続するものであり、ここにもイタリアの複雑な地誌がよく見て取れる。

Rigo 教授は、同じ建物内にある実験室にも案内して下さった。教授の研究で使用しているのは主に 2 つの実験室であり、1 つが岩石を薬品処理して微化石を抽出する作業を行う部屋、もう 1 つが同位体比分析を行う部屋である。薬品処理の実験室では、今もまさにチャートの試料を水酸化ナトリウムで溶解させている所なのだと Rigo 教授が語っていた。同位体比分析の部屋も作業中の職員がおり、炭酸塩岩試料を分析しているようだった。なお、Rigo 教授らの研究の目玉の 1 つであるコノドントの酸素同位体比分析はここでは行っておらず、オーストラリア国立大学で行っているとのことであった。他にも、岩石の粉碎を行うための共用のスペースなどがあるようだった。しかしこのスペースの使用については最近学生が単独で使うことに対して制限があるらしく、筆者の滞在中にもそれを受けて博士課程の学生が雨の降る屋外で岩石を割っており、その光景に Rigo 博士は首を傾げていた。

筆者がパドヴァ大学に滞在している間は、来客の控え室としても使えるセミナー室に主に滞在していた。これは建物の 4 階にあり、周辺の建物より高いため窓から付近の赤い屋根の街並みを眺めることができた。Rigo 教授は筆者の滞在中、毎日数時間をこの部屋での談義に割いてくださり、教授が専門としている後期三畳紀のコノドント化石の分類について、非常に詳しく説明を聞くことができた。微化石の研究では、1 編の論文でも場合によっては数千にのぼる非常に多くの標本を扱うが、実際には紙面の都合上その一部しか図示することはできない。そのため、論文の著者が標本群全体から読み取った情報が、必ずしも全て読者に伝わりやすい状態になっている訳ではない。そういった意味でも、数多の標本を観察して多くの論文を出版してきた Rigo 教授と、対面でコノドント化石種の分類について話が聞けたのは非常に貴重な機会であった。さらに Rigo 教授は、コノドント化石種の形態的特徴について、様々な論文を開き図示されている化石を見せながら説明してくれたため、その意図する内容は理解しやすく納得できるものであった。一方で、Rigo 教授自身も形態のバリエーションについてあまりよく把握していないという化石種もわずかにあった。中には日本で新種記載されたものがあり、今後は非形態の変異幅を明らかにして教えてほしいと言われた。

既存の文献を色々で見ながら話している中で、一部のコノドント研究者は化石種の記載の仕方にクセがあるのだという話も聞いた。このようなことは、当の記載者と直接深い議論をしてきた人間にしかない知識である。確かに、説明を受けた上でその研究者の論文を見てみると、より実態が良く飲み込めると感じた。本来は記載に統一的な基準があることが望ましいだろうが、現実問題として化石種の形態を定める法則性などが自明でない以上、個々の研究者が最善と思う記載をせざるを得ず、ある程度表現に個人差は出てしまう。今回クセがあると説明してくれた研究者について Rigo 教授は、その記載のスタイルについてはやや不満を示しつつも「彼は良い友達だ」と語っていた。自らと違う考え方が存在することは受け入れ、人としての付き合いは切り離しておけるところに、世界中多くの研究者と共同研究を行うことができる Rigo 教授の人柄を見たような気がした。

筆者からは、これまで行ってきた日本の遠洋深海堆積岩の研究を中心に成果を詳しく説明した。特に Rigo 教授は、マイクロフォーカス X 線 CT を用いた研究に強く興味を感じているようだった。筆者もまた、Rigo 教授と同様に従来の希フッ化水素酸を用いたコノドント化石抽出法のデメリットを克服する必要性を感じ、マイクロフォーカス X 線

CT を用いて堆積岩試料中のコノドント化石の画像を取得する方法を開発した(Muto *et al.*, 2021)。結果として、ほぼ同時期に遠洋深海堆積岩中のコノドント化石を観察するための異なる新手法を筆者と Rigo 教授らのグループで別々に開発していた。教授らの水酸化ナトリウムを用いた新手法を含め、基本的にはコノドント研究者は母岩からコノドント化石を取り出したところから詳しい観察を始める。一方でマイクロフォーカス X 線 CT は、母岩中に存在するコノドント化石の様子を可視化することができる。母岩中における産状は、実はコノドント化石研究者の多くが見たことのないものであり、Rigo 教授も筆者とのやり取りの中で初めて見たものであり、その際には大いに感銘を受けた。マイクロフォーカス X 線 CT の手法を Rigo 教授が今扱っている三畳紀末からジュラ紀初期にかけての地層に対しても用いることや、その手法を水酸化ナトリウムによる溶解手法と組み合わせることなど、今後の共同研究の可能性についても話すことができた。

パドヴァ大学訪問の最終日には、主に層序・古生物学の学生を前に、筆者のこれまでの研究についてのセミナーを開いた(写真 2)。イタリアと日本では地質学的背景が大きく異なることを踏まえ、日本の地質に関する概略の説明から始め、その中で筆者が研究対象としているジュラ紀付加



写真 2 パドヴァ大学でセミナー発表を行う筆者。



写真3 (左)パドヴァや周辺地域では、軽食と食前酒を嗜むオステリアを何軒か回りながら談笑するのが1つの交流スタイルである。食前酒としては、この地方が発祥で今は世界的に知られるスプリッツと呼ばれるカクテルが人気である。(右)ピッツェリアで昼食を共にした際の Manuel Rigo 教授。

体についての詳細を話した。さらに、そのジュラ紀付加体に含まれている超海洋パンサラッサ遠洋域深海で堆積した珪質堆積岩の研究を紹介した。参加者からは、筆者の主な研究テーマの1つである、ペルム紀末大量絶滅事変直後の時代について、遠洋域での化石記録や環境変動の詳細を問う質問が出た。また、イタリアでは日本ほど馴染み深い地質体でないはずの付加体についても、その形成プロセスに関する本質的な質問が出たのが印象的であった。

セミナー後には、参加者の一部も含めて大学近くのカフェで談話の時間を設けてくれた。ここでは、パドヴァや周辺地域で多くの人が好む、食前酒や軽食を楽しみながら談笑する時間を過ごした(写真3)。ただし、Rigo 教授と食事を一緒にしたのはこの一度ではない。パドヴァの生活になるべく楽しんでほしいという教授の気遣いで、昼は大学付近のピッツェリアやカフェに、夜は教授厳選のレストランに連れて行っていただき、本場のイタリアンを頂くことができた(写真3)。食事の注文の際には、食材に何を使っているかなどメニューについて店員と会話をすることが多いようであり、ここでも Rigo 教授が同席してくれることが大助かりだった。なお、食事の材料などは語彙の関係から Rigo 教授の通訳に頼る部分が大きかったが、パドヴァの飲食店などで働く人々は皆英語を話し、特に若い人はほとんどが流暢であるため、一般的な会話であれば英語で支障なく行うことができる。パドヴァ大学の学生たちも皆英語が堪能であり、事前に冗談なのか「学生たちは英語

などほとんどわからないよ」と Rigo 教授から聞かされていた筆者は騙された気分であった。

パドヴァ滞在の最後には、市街中心部にある大学附属の自然史博物館を案内していただいた。先述した、もともと地球科学の学科が入っていた建物であり、Rigo 教授自身のオフィスがあった場所も含まれている(写真4)。展示は岩石・鉱物・化石から現生の生物の剥製まで多様であり、比較的コンパクトな空間に充実した展示がある印象を持った。筆者が連れて行ってもらった時には中学生くらいの年頃かと思われる集団が見学に来ており、教育にも生かされているようだった。イタリア北部に複数の地質時代の有名な化石産地が存在するだけのことはあり、比較的近い地域から産出した化石が多く展示されていた。中でも目を引いたのは、パドヴァからやや西方に位置するヴェローナからヴィチェンツァ周辺の地域から産出した、始新世から中新世にかけての化石である。これらは魚類・二枚貝・巻貝・甲殻類・ウニなど海棲動物化石に加え、幹ごと保存されたヤシなどの植物化石である。中でも若い年代のものである中新世の化石は立体的な形状も細部まで保存されており、クリーニングの良さもあってさながらスーパーの鮮魚コーナーを見ているようですらあった(写真4)。これだけ保存の素晴らしい標本だが、多くは詳しく研究されていないのだと Rigo 教授は言う。欧州にあっても、化石を扱う古典的なテーマは担い手がいらないのかと思うと寂しいものがあった。確かに、化石の記載に基づく研究は時間がかか



写真4 パドヴァ大学付属の自然史博物館。(左上)「鉱物・古生物学科」との表札が残っている。かつて地球科学の学科が所在していた名残である。(右上) 始新世～中新世の海棲動物化石が展示してあるケース。手前のカニ化石などは著しく保存が良い。(左下) 始新世の魚類化石。(右下) 主に新生代の植物化石が展示されている Palm Tree Hall (ヤシの木の広間)。名称は、壁にかかっている保存良好な漸新世のヤシの木の化石に由来する。

り、手法的な新規性で勝負するのは難しいことが多い。しかし、一般にはよりインパクトの大きいテーマだと受け取られがちな地球環境変動の研究も、基本的にはそれが生命に与えた影響をもって重要性が判断されており、基礎的な古生物の研究データ無くして成り立たないはずである。

5. おわりに

今回の渡航は、対面で時間をかけることでしか達成できない研究交流を行うことができ、今後の Rigo 教授との共同研究に向けて非常に有意義な時間を過ごすことができ

た。渡航に際しては旧地質調査所 OB である廣川 治氏のご遺族から地質調査総合センターへ頂いた寄付金を基に設置された廣川研究助成金の一部を使用させていただいた。大変貴重な機会を頂いたことに、関係者の皆さまに心よりお礼申し上げます。

文 献

Du, Y., Onoue, T., Tomimatsu, Y., Wu, Q. and Rigo, M. (2023) Lower Jurassic conodonts from the Inuyama area of Japan: implications for conodont extinction.

- Frontiers in Ecology and Evolution*, **11**, 1135789.
- Hounslow, M., Bachmann, G. H., Balini, M., Benton, M. J., Carter, E. S., Konstantinov, A. G., Golding, M. L., Krystyn, L., Kurschner, W. M., Lucas, S. G., McRoberts, C. A., Muttoni, G., Nicora, A., Onoue, T., Orchard, M. J., Ozsvárt, P., Paterson, N. W., Richoz, S., Rigo, M., Sun, Y., Tackett, L. S., Tekin, U. K., Wang, Y., Zhang, Y. and Zonneveld, J.-P. (2021) The case for the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Norian stage. *Albertiana*, **46**, 25–57.
- Isozaki, Y., Maruyama, S. and Furuoka, F. (1990) Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, **181**, 179–205.
- Mazza, M., Rigo, M. and Gullo, M. (2012) Taxonomy and biostratigraphic record of the Upper Triassic conodonts of the Pizzo Mondello section (western Sicily, Italy), GSSP candidate for the base of the Norian. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **118**, 85–130.
- Muto, S., Yagyu, S., Takahashi, S. and Murayama, M. (2021) Identification of conodont fossils in pelagic deep-sea siliceous sedimentary rocks using laboratory-based X-ray computed microtomography. *Lethaia*, **54**, 687–699.
- Nicora, A., Balini, M., Bellanca, A., Bertinelli, A., Bowring, S. A., Di Stefano, P., Dumitrica, P., Guaiumi, C., Gullo, M., Hungerbuehler, A., Levera, M., Mazza, M., McRoberts, C. A., Muttoni, G., Preto, N. and Rigo, M. (2007) The Carnian/Norian boundary interval at Pizzo Mondello (Sicani Mountains, Sicily) and its bearing for the definition of the GSSP of the Norian Stage. *Albertiana*, **36**, 102–129.
- Rigo, M. and Joachimski, M. M. (2010) Palaeoecology of Late Triassic conodonts: Constraints from oxygen isotopes in biogenic apatite. *Acta Palaeontologica Polonica*, **55**, 471–478.
- Rigo, M., De Zanche, V., Gianolla, P., Mietto, P., Preto, N. and Roghi, G. (2005) Correlation of Upper Triassic sections throughout the Lagonegro Basin. *Bollettino Società Geologica Italiana*, **124**, 293–300.
- Rigo, M., Onoue, T., Wu, Q., Tomimatsu, Y., Santello, L., Du, Y., Jin, X. and Bertinelli, A. (2023) A new method for extracting conodonts and radiolarians from chert with NaOH solution. *Palaeontology*, **66**, e12672.
- Tomimatsu, Y., Nozaki, T., Onoue, T., Matsumoto, H., Sato, H., Takaya, Y., Kimura, J. I., Chang, Q. and Rigo, M. (2023) Pelagic responses to oceanic anoxia during the Carnian Pluvial Episode (Late Triassic) in Panthalassa Ocean. *Scientific Reports*, **13**, 16316.
-
- MUTO Shun (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: Preliminary discussion on international cooperative research and survey of research activity towards elucidation of biogenic silica accumulation processes in pelagic areas of the Panthalassa Superocean during the Carboniferous to Jurassic.

(受付：2025年3月5日)

令和 6 年度廣川研究助成事業報告： 地殻構造の描像と地震発生過程の解明に向けた 最先端研究の情報収集

椎名 高裕¹

1. はじめに

令和 6 年度廣川研究助成事業の支援を受け、2024 年 4 月 14 日から 19 日にかけて、オーストリアのウィーンで開催された European Geosciences Union (EGU) の年次総会 (EGU General Assembly 2024) に参加しましたのでご報告いたします。本学会では、地殻を含む地球内部構造やそのイメージング技術に関する研究発表を聴講し、その最新動向を収集するとともに、2024 年能登半島地震とその余震分布の特徴に関する研究を発表しました。

2. 研究の背景

日本列島周辺では陸のプレート（北米プレート及びユーラシアプレート）の下に、海洋プレート（太平洋プレートやフィリピン海プレート）が沈み込んでいます。このような沈み込み帯に位置する日本列島周辺は世界的にも地震活動が活発な地域の一つです。日本列島内陸部で発生する地震の多くは、陸のプレートの最上部を構成する地殻の内部で発生しており、これらは一般的に内陸地震と呼ばれています。内陸地震は、人間の生活圏に近い、地下の比較的浅い場所で発生するため、ひとたび規模の大きな地震が発生した場合には、強い地震動等による大きな被害を引き起こすことが懸念されています。このような背景から、日本列島内陸部における地震の規模や活動の評価・予測手法を確立することは、内陸地震による被害軽減に資する情報を提供する上で極めて重要です。そして、その実現のためには、内陸地震の発生メカニズムへの理解を深めることが不可欠であり、特に地震活動の時空間的な消長に関連した地殻構造の特徴の解明が求められています。

内陸地震に対してはしばしば活断層周辺や群発的地震活動域に集中した分布が観測されています。このような局在化した活動域の形成には既存の断層分布や地殻内部の水（地殻流体）の存在が密接に関係していると考えられて

います。実際、地表で計測される地震記録には、断層や地殻流体が分布することで生じた特徴的な波形が観測されることがあります。茨城県北部周辺では、直達 S 波の到達後に明瞭な後続波（S 波反射波）が観測されており、この地域の地下に豊富な地殻流体が存在することを示しています（Shiina *et al.*, 2024a）。また、より広域の地下構造を可視化する技術として地震波トモグラフィ法が知られています。最も一般的な手法では、地震波（直達 P 波と直達 S 波）の到達時刻を用いて地震波速度異常（地震波の伝播速度が周囲に比べて速いか遅いか）の分布を推定します。この方法により、日本列島内陸部ではおよそ 10–20 km 程度の空間スケールで地殻の不均質構造の推定が可能となっています。これまでの研究では、内陸地震活動域周辺には高速度異常域が分布し、その直下には低速度異常域が存在することが示されており、これらの構造が内陸地震の活動域形成に寄与していると考えられています（例えば、Shiina *et al.*, 2018；Nakajima, 2022）。しかしながら、地震波速度異常はあくまでも相対的な指標に過ぎません。このため、不均質構造の実体、すなわち、地殻内部の物質構造や断層・地殻流体の分布を直接的に制約することは困難です。この課題を克服するため、地震波速度そのものを指標とする地下構造のイメージング技術の開発が世界各地で進められています。

地震波速度など、物理量とその不確定性を定量的に評価する方法として、マルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC 法）を用いたアプローチが注目されています。MCMC 法はベイズ統計学に基づいた解析手法の一つであり、近年の計算機性能の飛躍的な向上に伴って、さまざまな分野での応用が進んでいます。地震学分野では、Bodin and Sambridge (2009) の表面波を用いた地下構造推定への導入を契機として、以降、一次元速度構造と震源位置の同時推定問題（例えば、Ryberg and Haberland, 2019；Shiina and Kano, 2022）などへと発展しています。そこで、筆者は日本列島周辺における地殻の地震波速度構造の定量的イメージング

¹ 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、地殻構造、内陸地震、地震学、地震波トモグラフィ、島弧地殻

を目的として、MCMC 法を適用した新しい地震波トモグラフィ法(ベイズ型地震波トモグラフィ法)の研究・開発を行っています。本手法により、従来の解析では困難であった地震波速度そのものを指標とした地殻構造のイメージングの実現が期待されます。

3. EGU General Assembly 2024 への参加と地殻構造に関する研究の情報収集

EGU General Assembly は例年オーストリア・ウィーンで開催されており、欧州を中心とした地域で最も大規模な地球惑星科学分野の国際学会です。特に欧州では、MCMC 法をはじめとするベイズのアプローチによる解析手法の研究開発が活発に進められています。筆者は、そのような研究の最新動向を収集し、自身の地下構造の定量的イメージング技術に関する研究に活かすことを目的として、EGU General Assembly 2024 (写真 1)に参加しました。

地球内部構造の解明は地震学分野における主要な研究テーマの一つであり、EGU General Assembly 2024 でも関連した多くの研究発表が行われていました。中でも、全波形インバージョン法(Mohammadi *et al.*, 2024)に代表される、地震波形記録の多角的な活用による地球内部構造の解析手法の発展とそれらの世界各地への応用が進んでいる点が印象的でした。この技術は推定精度の向上やより小規模な不均質構造の抽出を可能としており、地球内部構造の高解像度化・高精度化が着実に進んでいることを実感しました。

MCMC 法を用いた研究に関しては、地球内部構造の推定

だけでなく、震源決定や大規模地震における断層すべり解析などにも応用が広がっており、対象とする推定量(地震波速度や震源位置、断層のすべり量など)とその誤差を定量化するための基盤的技術であることを改めて認識しました。特に、異なる性質を持つ地球物理学的観測データ(例えば、レーザ関数と表面波、地震波形記録と GNSS 記録)の統合解析への MCMC 法の適用に関する発表もありました。筆者自身、複数項目の観測データを統合した解析は地殻構造研究における新しい潮流として注目していました。このため、統合解析の枠組みや検証方法に関する具体的な知見を得られたことは、本学会に参加した大きな成果の一つです。

現地では、フランスの Electricité de France に所属する Pierre Arroucau 博士と、地殻構造の定量的イメージングに関する研究打ち合わせを行う機会を得ました。Arroucau 博士は、地震波形記録を用いた定量的解析、特に MCMC 法による震源決定や地下構造推定分野で深い知識と経験を持っており、筆者が直面している技術的課題を中心に、地下構造研究に関する意見交換を行いました。特に、現在構築を進めているベイズ型地震波トモグラフィ法において適用可能な数理的アプローチや計算アルゴリズムについて多くの示唆が得ることができました。その一例として、震源決定に MCMC 法を用いる際、震源位置の推定誤差が数 km 程度であるという先見情報を組み込むことで計算速度を大幅に改善できた事例(例えば、Nicholson *et al.*, 2004)を紹介いただきました。これらの計算科学的視点に基づく助言は、計算コストの増大が想定されるベイズ型地震波トモグラフィ法において、迅速かつ信頼の高い解析を実現するために非常に有益であると考えています。現在は、Arroucau 博士との議論で得られた知見に基づいて、ベイズ型地震波トモグラフィ法の構築と改良を行っています。

また、Arroucau 博士の紹介により、彼の共同研究者であり、MCMC 法を用いた地震学的研究の先駆者であるオーストラリア国立大学の Malcolm Sambridge 教授及びその研究グループのメンバーと交流する機会を得ました。この交流を通じて、彼らが取り組んでいる最先端の研究に触れ、直接議論できたことは貴重な経験となりました。特に、ポスドクの Fabrizio Magrini 博士が開発を進めている MCMC 法の解析ツールは、実用性と拡張性の観点から非常に興味深く、今後の研究に向けた大きな刺激を受けました。

4. 2024 年能登半島地震の余震分布に関する研究発表

EGU General Assembly 2024 では、2024 年 1 月 1 日に能



写真 1 EGU General Assembly 2024 の会場の様子(オーストリア・ウィーン、オーストリアセンター)。

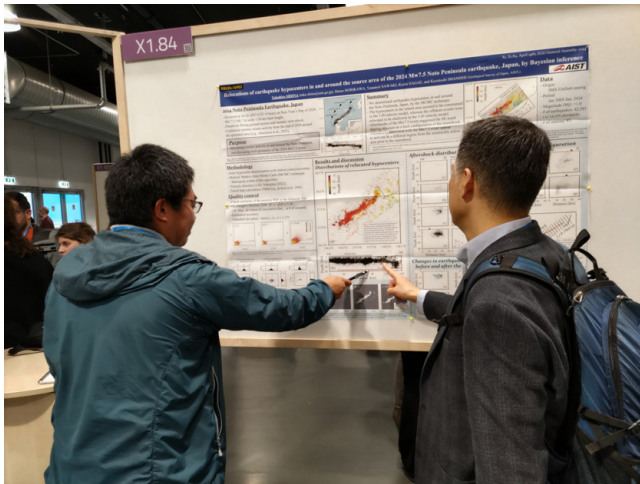


写真2 ポスター発表の様子 (左が筆者)。



写真3 学会会場近くで撮影したドナウ川。

能登半島で発生した地震(Mj(気象庁マグニチュード)7.6)についての特別セッションが設けられ、このセッションで筆者は2024年能登半島地震の余震分布に関する研究成果のポスター発表を行いました(Shiina *et al.*, 2024b)(写真2)。本研究は、MCMC法と現実的な地震波速度構造(Nakajima, 2022)を用いて地震の震源位置を高精度で決定し、2024年能登半島地震に伴う余震の全体像の把握と能登半島周辺における過去の地震活動との関係を明らかにすることを目的としています。ポスター発表では、地震波速度構造が震源位置の推定に与える影響を検討しました。加えて、高精度な余震分布に基づいて2024年能登半島地震の余震分布の特徴を明らかにし、同地震に伴って発生した津波の波源域の空間的関係性についても議論しました。

能登半島地震はEGU General Assembly 2024でも注目度が高く、多くの参加者が筆者のポスター発表に関心を示してくださいました。特に、能登半島北東部で長期間継続していた群発地震活動やそれらを駆動したと考えられている地殻流体の分布(例えば、Amezawa *et al.*, 2023)が、本震の地震時すべり分布や余震分布とどのような関係があるかという点について海外の研究者も強い興味を持っているようでした。また、台湾から参加した研究者からは、観測網の外側で発生した地震のより現実的かつ信頼性の高い震源分布の推定方法に関して強い関心を寄せられました。台湾では、2024年能登半島地震が沿岸域で発生した大規模地震とそれに伴う津波が観測された重要な先行事例として位置付けられていることがうかがえました。そこで、陸域の観測データのみを用いた震源決定における地震波速度構造の影響やその検証方法について、日本と台湾の地震観測状況を比較しながら議論しました。本発表を通じた海外の

研究者との意見交換を通して、能登半島地震に関する本発表の位置付けやその意義を再確認することができました。

5. 終わりに

EGU General Assembly 2024は、筆者にとって初めて参加する欧州開催の国際学会となりました。これまでに参加経験のあるアメリカ地球物理学連合の年次大会とは異なり、EGU General Assembly 2024では欧州をはじめ、アフリカやアジアなどさまざまな地域からの参加者が集まっていました。本学会では、主目的である地殻構造に関する多くの最先端研究事例や技術的進展に関する情報を多数収集できたことに加え、これまで接する機会の少なかった地域の研究発表にも触れることができました。その結果、会期中は充実した1週間を過ごすことができました。また、今回の学会参加を通じて改めて実感したのは、海外の国際学会は世界各地で進められている最新の研究を知り、分野・地域を越えた研究者と意見を交換する重要な場であるということです。このような貴重な機会を頂いた廣川研究助成事業のご支援に深く感謝いたします。今回の学会参加を通じて得られた経験や海外研究者とのネットワークを、今後の島弧地殻構造や内陸地震に関する研究に積極的に活かしていきたいと考えています。

最後に、滞在したウィーンは美しい石造りの街並みが印象的な都市であり、学会会場近くを流れるドナウ川(写真3)やフライトの機内から見えた欧州の広大な景色には圧倒されました。今回は初めての欧州訪問であったことから、緊張もあり、これらの景色や欧州特有の雰囲気を楽しむ余裕ができたのは帰国間際のわずかな時間だけでした。

次回，学会等で欧州を訪れる際には，研究活動に加えて，現地の景観や文化にじっくり触れる機会を持ちたいと考えています。

文 献

- Amezawa, Y., Hiramatsu, Y., Miyakawa, A., Imanishi, K. and Otsubo, M. (2023) Long - living earthquake swarm and intermittent seismicity in the northeastern tip of the Noto Peninsula, Japan. *Geophysical Research Letters*, **50**, e2022GL102670.
- Bodin, T. and Sambridge, M. (2009) Seismic tomography with the reversible jump algorithm. *Geophysical Journal International*, **178**, 1411–1436.
- Mohammadi, N., Beller, S., Monteiller, V. and Operto, S. (2024) High-resolution 3D imaging of crustal and upper mantle structure in the Alps from full waveform inversion of teleseismic P wave. EGU General Assembly 2024, EGU24-21544.
- Nakajima, J. (2022) Crustal structure beneath earthquake swarm in the Noto peninsula, Japan. *Earth, Planets and Space*, **74**, 160.
- Nicholson, T., Gudmundsson, O. and Sambridge, M. (2004) Constraints on earthquake epicenters independent of seismic velocity models. *Geophysical Journal International*, **156**, 648–654.
- Ryberg, T. and Haberland, C. (2019) Bayesian simultaneous inversion for local earthquake hypocentres and 1-D velocity structure using minimum prior knowledge. *Geophysical Journal International*, **218**, 840–854.
- Shiina, T. and Kano, M. (2022) Bayesian-based joint determination of earthquake hypocenters and 1-D velocity structures divided by a structural boundary. *Geophysical Journal International*, **230**, 759–775.
- Shiina, T., Takahashi, H., Okada, T. and Matsuzawa, T. (2018) Implications of seismic velocity structure at the junction of Kuril-northeastern Japan arcs on active shallow seismicity and deep low-frequency earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **123**, 8732–8747.
- Shiina, T., Amezawa, Y., Horikawa, H., Imanishi, K. and Uchide, T. (2024a) Deep crustal fluids and their relation to cutoff depths of crustal earthquakes in the North Ibaraki area of northeastern Japan inferred from reflected S-waves. *Tectonophysics*, **885**, 230415.
- Shiina, T., Horikawa, H. and Imanishi, K. (2024b) Relocations of earthquake hypocenters in and around the source area of the 2024 Mw 7.5 Noto Peninsula earthquake, Japan, by Bayesian inference. EGU General Assembly 2024, EGU24-14903.
-
- SHIINA Takahiro (2025) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2024 fiscal year: Advanced research on the relationship between crustal structure imaging and earthquake generation mechanisms.
-
- (受付：2025 年 5 月 12 日)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 中 島 礼
副委員長 戸 崎 裕 貴
委員 竹 原 孝
天 谷 宇 志
草 野 有 紀
宇 都 宮 正 志
山 岡 香 子
大 滝 壽 樹

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第 14 巻 第 7 号
令和 7 年 7 月 1 日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1
中央事業所 7 群

印刷所

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : NAKASHIMA Rei
Deputy Chief Editor : TOSAKI Yuki
Editors : TAKEHARA Takashi
AMAGAI Takashi
KUSANO Yuki
UTSUNOMIYA Masayuki
YAMAOKA Kyoko
OHTAKI Toshiki

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 14 No. 7
July 1, 2025

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan

知床半島プユニ岬の断崖をつくる後期更新世溶岩とオホーツク海に流れ落ちるフレペの滝 [cover photo](#)



北海道東部，知床半島プユニ岬の断崖からオホーツク海に流下するフレペの滝は，知床国立公園および世界自然遺産「知床」を代表する景勝地の一つとして広く知られており，地元では「乙女の涙」という愛称でも親しまれている．宇登呂灯台直下の大露頭では，海面付近に柱状節理が発達しているものの，その多くは塊状である．これらは，後期更新世に知床連峰最高峰である羅臼岳（標高 1661 m）から流出した溶岩流が起源である．標高 80 m 地点に位置する湧水層準は，不透水層である塊状部の上面にあたると推察される．

（写真・文：七山 太 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター / ふじのくに地球環境史ミュージアム）

Late Pleistocene lava forming the big cliff of Cape Puyuni on the Shiretoko Peninsula, and Furepe Fall flowing into the Sea of Okhotsk, eastern Hokkaido, NE Japan.

Photo and caption by NANAYAMA Futoshi