

Thermo2023@Riva del Gardaの参加報告

福田将真*・中嶋 徹*・南 沙樹**・伊藤久敏***・田村明弘****

Report on the 18th International Conference on Thermochronology
at Riva del Garda, Italy

Shoma Fukuda*, Toru Nakajima*, Saki Minami**,
Hisatoshi Ito*** and Akihiro Tamura****

* 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

** 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, Graduate School of Science, Kyoto University

** 電力中央研究所, Central Research Institute of Electric Power Industry

**** 金沢大学地球学, Department of Earth Sciences, Kanazawa University

概要

第18回国際熱年代学会議 (Thermo2023) が, 2023年9/4~9/9にイタリア, Riva del Gardaで開催された。ガルダ湖北岸に位置するRiva del Gardaはイタリア有数のリゾート地でもあり, 多くはヨーロッパからと見られる観光客で賑わう街であった。そのため, ホテルやレストラン, 土産屋も数多く, 日常の喧騒から離れて束の間の休暇気分を味わえた。プログラムは, 口頭発表は1・2日目と4日目前半が基礎研究, 3日目がMid-conference field trip, 4日目後半と5日目が応用研究という構成であった (表1)。

参加人数は, 計24ヶ国から210人 (内, 学生63人) となった。コロナ禍で2020年の開催は延期となり, オンラインと併用で実施された前回のThermo2021 (アメリカ) からは, 懸念されていた現地参加も大幅に増えたように思う。国別の内訳は, やはり欧米主要各国の参加が大半であり, 例年中国からの参加者が増え続けている印象がある。日本からの参加者は, 末岡 茂・福田 将真・中嶋 徹 (原子力機構), 南 沙樹・田上 高広 (京大), Ruby Marsden・田村 明弘・長谷部 徳子 (金沢大), 伊藤 久敏 (電中研), 岩野 英樹 (京都FT) の計10名となった。

今回の会議では, ランチタイムが90分で, 30分のコーヒーブレイクが1日に3回と余裕を持ったスケジュールであった。しかし, 大半がコーヒーブレイクから遅れて戻ってきたり, 発表のオンデマンド動画が不調だったり, 基本的にはスケジュールは毎日後れを来していた。

講演

講演件数は, スポンサートークと併せて口頭発表が82件 (内, 招待講演8件) と, ポスターが133件と盛況であった。ポスター会場はかなり広い印象があった。縦型のポスターボードが屏風状に立ち並び, その前には小さなスタンドテーブルが設置されており, 企業展示やコーヒーブレイク用の軽食やドリンクを楽しめる空間となっていた。掲示期間は全日間で, ポスター発表者のコアタイムは2日目と4日目に行われ, 併せて学生の2分間ポスター発表も開催された。空き時間やコーヒーブレイク中にポスター発表や議論をする参加者も見られた。今年度も例に漏れず, 熱年代法を用いた応用研究が発表の過半数を占め, 残りは手法開発や基礎研究についての発表となっていた。以降, 筆者が今大会を通じて印象に残った発表を紹介する。

(1) FT法

今回の会議で注目されていた講演の一つは新たな超低温の熱年代法の候補として脚光を浴びている

monazite FT法である。室温でのアニーリングの影響 (Jones et al.) やSi濃度と年代値の相関関係 (Skryzpel et al.) に着目した研究も見られ、今後も基礎研究に基づく実用化が大きく期待される。また、長期アニーリング特性の研究として、当初はアリゾナのコア試料を用いた部分安定領域の推定が試みられる予定だったが、諸般の事情によりネパールヒマラヤのSiwalik Groupを対象とした古温度年代プロットの発表が行われた (Jepson et al.)。また、野火による高温短時間の年代リセットについて、岩石試料の表面からの深度年代プロファイルをAFT法・MFT法で同時に適用した例から、閉鎖温度の違いを検証した発表もあった (McMillan et al.)。閉鎖温度の決定に関するアニーリング実験については今後も大きく注目されるだろう。従来法であるapatiteやzirconのFT法については、He法の発表同様に応用研究の報告が中心であった。特筆すべきは、改めてFT年代データの報告様式の提案などが行われたことである (Kohn et al.)。

(2) He法

He法に関する本年の発表の傾向としては、例年通り基礎研究よりも圧倒的に応用研究が多かった印象である。アニーリングモデルに関する発表としては、アパタイトの放射線損傷による拡散モデルの再検討 (Derycke et al.) や高い放射線損傷レベルのジルコンを用いた段階加熱による拡散モデルの検討 (Sigat et al.)、ジルコンのアニーリング実験の既往データを統合したアニーリングモデルの式の再検討 (Guenther) などが発表され、まだ課題は残るもののHe法の手法としてかなり成熟してきたように思う。また、閉鎖温度が低温であることを活かし、断層岩へのHe年代測定の応用例の発表も見られた。シュードタキライトに隣接する母岩のZHe・AHe年代のリセットを調べた研究 (Armstrong et al.) や、AHe法に基づいて断層系に発達する過去の熱水活動の復元を試みた研究 (Milesi et al.) が報告されていた。他にも、苦鉄質岩の年代測定の試みとしてbaddeleyite He法 (Danišik et al.)、断層岩中のhematiteやgoethite He法 (Heller et al., Gautheron et al.)、金属鉱床や堆積岩への応用が期待されるpyrite He法 (Yakubovich)、鍾乳石中のcalciteやaragonite He法 (Sadeh et al.) などの事例研究が発表された。今後も新たなHe熱年代法の開発・実用化が期待される。

(3) 人工知能・ビッグデータ解析、新たな年代測定法の開発の試み

熱年代学においてもテクノロジーの進歩の煽りを受け、新たな方向性が開拓されつつある。10年ほど前からMelbourne大学とAutoscan System社によってapatite FTの自動計測システムは既に実用化されていた (Fission-Track Studio) が、分析精度などについて課題が残っていた。今回は、分析ソフトウェアのバージョンアップということで、人工知能による画像解析システムを新たに導入し、高精度な自動計測に成功した (Boone et al.)。また、Fission-Track Studioのトレーニングモジュールを開発し、初学者の習得の一助となる機能の搭載が公表された (Ling et al.) 他にも、深層学習をベースにした独自の画像解析プログラムを開発した例 (Yang et al.) や、Australiaのコンソーシアムにおいて、年代や化学組成などの種々のデータをコンパイルしたビッグデータをハンドリングするオンラインシステムが公開された (Boone et al.)。熱年代学にも人工知能やビッグデータ解析などの情報工学的知見が持ち込まれることで、今後も新たなデータ解析法の開発や分析技術の進歩が見られることを期待したい。

また、本会議で公表された新たな年代測定法の開発の試みとしては、Raman分析によるジルコンにおける放射線損傷に基づく熱年代計 (Hartel et al., István et al.) やU-Thを親とし、Raman分析による放射線損傷を娘とした年代測定法 (Vermeesch et al.) の開発を試みた発表が見られた。今後も新たな年代測定法の確立を基に、従来法と比べて適用範囲の拡大や新たな対象鉱物の検討などが期待される。

Pre-conference field trip

Pre-conference field tripはイタリア北部ドロミテ地方を巡る3日間の行程で行われ、Milano-Bicocca大のMarco Malusà博士とStefano Zanchetta博士が務めた。参加者は30人程度で、日本からは伊藤、末岡、福田、中嶋が参加した。1カ所の拠点からその日ごと巡検場所にバス移動する様式がとられており、大荷物を抱えた参加者への配慮を感じた。一方、巡検そのものは毎日約10 km弱の徒歩移動があり、体力的なハードルは高かったように感じる。当該地域は西部アルプスに該当し、ヨーロッパプレートとアドリアプレートの衝突帯に位置している。以下に日毎の見どころを簡単に記載する。

1日目

イタリア北部Pennes Passではオーストリアアルプスと南アルプスの境界に当たるInsubric断層の露頭が観察される。付近では上盤に当たるオーストリアアルプスの変成岩類と下盤に当たる南アルプスの花崗岩が、マイロナイト化した新生代の花崗岩を境に接している。現地では断層に向けて徐々にマイロナイト化が進行する様子が観察され、断層コアではウルトラマイロナイト、シュードタキライトを含む変形岩が観察された。

2日目

イタリア-オーストリア国境に位置するVizze谷では2つのドーム構造が観察され、オーストリアアルプスナップの下盤に位置するヨーロッパプレートの変成岩類がテクトニックウィンドウに露出している。現地では境界を成す高角逆断層を境にそれぞれの地質帯を構成する変成岩が観察され、ドーム構造形成過程について議論がかわされた。また3000 mを越す高嶺に囲まれていることもあり、氷河地形が顕著に観察された。午後にはFleres谷を訪れ「ドロマイト」の由来となった現地性の石灰質堆積岩を観察した。

3日目

最終日は半日の行程で、観光地としても有名なSella峠を訪れた。周囲には三畳系のドロマイト層で構成される断崖絶壁が立ち並び、その基部にドロマイトと指交関係にある火砕岩が分布する。また、一部岩塔の上部にはDinaricスラスト帯の一部であるSellaスラストシートがクリップとして残っており、南アルプスのスラストテクトニクスの一部を垣間見ることができた。午後にはThermo2023の会場であるRiva del Gardaに移動し、一旦解散となった後、参加者はice-breakerへと向かった。

Pre-conference field tripは大陸衝突帯の興味深い地質構造を美しい景色とともに堪能できる内容で、非常に満足度が高かったように思われる。巡検資料の質も非常に高く、ホストがこの巡検に力を入れていることが伝わってきた。一方、内容がやや構造地質や岩石学に寄っており、熱年代学研究を行っている参加者にとっては馴染みのない内容が多かったことは否めない。また、東アルプス地方の地質構造や地史が非常に複雑なこともあり、門外漢には議論についていけない部分もあった。これらの反省点はThermo2025でホストとなる我々にとって重要なものであり、これらの教訓が共有されることこそ、巡検に参加した意義であったように感じる。

Short Course

今回のショートコースはアイスブレイカーと同日の午前から開催され、熱年代学の応用に用いられる熱史逆解析ソフトウェア2種及び、年代値の算出に用いられるIsoplotRの講習が実施された。3つの講習について予め希望者を募り、朝8時30分～18時30分まで各2-3時間ずつ、希望者は全て受講できる形式となっていた。参加者の多くは学生で、シニア研究者の姿も見受けられた。

熱史逆解析ソフトウェアのうち、HeFTy (Ketcham, 2005)の講師は、Kendra Murray氏、Andrea Stevens Goddard氏、QTQt (Gallagher, 2010)の講師はAlyssa Abbey氏およびMark Wildman氏が

勤めた。またそれぞれの製作者である、Richard Ketcham氏とKerry Gallagher氏も同会場におり、質問に対応していた。各ソフトウェアの原理については、YouTube上にアップロードされた動画を事前に視聴することで予習し、会場では主にソフトウェアの使用方法について、各課題に取り組みながら理解を深める講習が行われた。予習を経てからの講習だったこともあり、ソフトウェアに入っているパラメーターの意味及び各年代計の特徴の理解がより深化したと感じる。IsoplotRは、製作者であるPieter Vermeesch氏によって、2018年にリリースされたRstudio版の使用方法について紹介された。ここでは、単峰性や二峰性、裾が長い、など複数の短粒子年代の確率密度分布を例として、意味のある年代値を決定するための検定やプロット方法について学んだ。従来のIsoplotRと異なり、Rstudio版Isoplotはパッケージをダウンロードすればオフライン環境でも使用できるため、インターネット環境のない分析室でも使用可能である。

ショートコース全体を通して、ソフトウェアの取り扱いは難しく、短時間で消化、理解することはできなかった。しかし、周りの参加者と相談をしながら課題に取り組んだため、学生同士で交流をとることができる非常に良い機会となった。

Mid-conference field trip

Mid-conference field tripはトレッキングとクルーズの2つがあった。トレッキングは、ガルダ湖からバスで2時間ほど北に走った、Madonna di Campiglioで行われた。参加者は100名ほどで、途中Pinzoloの街にあるSanVigilio教会を見学した。Madonna di Campiglioはスキー場があるリゾート地で、到着後すぐに麓からのケーブルカーに乗り換え、10分ほどで標高2100mの頂上駅に到着。諸々の説明があり、東に見える山脈の険しい稜線と青空があまりに印象的だった。その後、谷沿いを30分ほど歩いてRitorto湖に到着。少々危険な歩道の崖場には一緒にきたガイドがサポートしてくれていた。一周2 kmもない小さい湖のようで、周辺の山はカコウ岩で知られるアダメロ岩のアダメロ地域である。湖畔での昼食後は何もなくひたすら山を下る下る、下山トレッキング。終盤にビールなどが飲めるレストハウスで休憩があり、再びバスまで少し歩いて、ガルダ湖へ帰り着いた。とにかく、ずっと下って、ずっと快晴の一日だった。

クルーズでは、ガルダ湖北部の二つの町（西岸のLimoneと東岸のMalcesine）を訪れた。参加者は50名程度であったと思う。二つの班に分かれ、それぞれにガイドが一人付いた。天気にも恵まれ、湖上からの景色も素晴らしく、また、ガイドによる詳しい説明で、訪れた2つの町の歴史・文化にも触れることができ、大いに楽しむことができた。

表彰

Dodson AwardにはMark Harrison氏、Laslett AwardにはRex Galbraith氏、Charles & Nancy Naeser AwardにはSarah Falkowski氏とKalin McDannell氏が選ばれた。また、本年度に新設された学生のポスター発表に関する2-min competitionについては、1-3位までが各1人、4位が3人の計6名が表彰された。

次回以降の開催地

次回のThermo2025は、長谷部徳子教授が主催者として金沢で開催予定である。2027年開催国のカナダからも招致講演が行われ、開催都市のBanffの会場やアクセス、気候、巡検などの紹介があった（表2）。また、2029年の開催には英・Glasgow大学が関心を示しているようだ。コロナ禍を経て今回は200人強の参加者を記録しているが、次回の日本での開催は欧米諸国からの参加について懸念が残る。2年後の開催に備え、綿密な準備と計画を行う必要がある。

表1 Thermo2023 のスケジュール概要

日程	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9
口頭発表		基礎研究	基礎研究		基礎+応用研究	応用研究
備考	前日巡検 ショートコース アイスブレイカー	招致講演 授賞式	ポスター発表	中日巡検 スワップ会議	ポスター発表 バンケット	学生発表 表彰式



Venue: Congress Center, Riva del Garda



Social dinner: Spiaggia Olivi



Next conference in 2025, Kanazawa



Mountain scenery: European Alps

表2 今後の Thermo 開催予定

年度	開催都市 (国)	責任者	前日巡検	中日巡検
2025	金沢 (日本)	長谷部 徳子 田上 高広	立山→黒部→ 翡翠海岸	福井恐竜博物館, 能登半島, 黒部ダム等
2027	Banff (Canada)	D. Schneider, E. Enklemann	Canadian Rocky?	Canadian Rocky?