

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催されることとなった。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、世界でも有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。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下さり、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的説明から始め、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 教授と食事をご一緒したのはこの一度ではない。パドヴァの生活を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)