

令和 元年 5 月 23 日現在

機関番号：17401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：16KK0104

研究課題名（和文）三畳紀天体衝突によるグローバル環境変動の解明（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Global environmental changes triggered by Late Triassic impact event(Fostering Joint International Research)

研究代表者

尾上 哲治 (Onoue, Tetsuji)

熊本大学・大学院先端科学研究部（理）・准教授

研究者番号：60404472

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,100,000円

渡航期間： 10ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では、イタリアおよびオーストリアに分布する石灰岩を対象にしたコノドント化石層序および地球化学的検討を行い、天体衝突が起こった可能性のある後期三畳紀ノーリアンの古環境変動について検討した。研究の結果、この年代ではコノドント化石群集の大きな変化がみられることが明らかになった。同時期にはストロンチウム同位体比の負の変動も確認された。石灰岩から抽出したコノドントを対象に酸素同位体比を測定した結果、衝突が起こった年代付近において、海水温が大きく変化した可能性が示された。有機炭素同位体比の検討からも、ノーリアン後期の隕石衝突イベント付近の年代で基礎生産が低下したことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の研究では、白亜紀/古第三紀境界だけが天体衝突が生物に及ぼす影響を評価できる唯一の研究対象であると考えられてきた。本研究では、応募者が発見した三畳紀後期の巨大隕石の衝突が、当時の生物や海洋環境にどのような影響を与えたかについて、ヨーロッパの上部三畳系石灰岩を対象とした野外調査および地球化学的検討（基礎生産、海水温など）に基づいて評価した。本研究の成果を基礎として、将来的には衝突した隕石の種類や大きさによって、どの程度の環境変動を引き起こし、絶滅などの地質イベントにつながったかについて定量的に議論できるようになると期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to assess environmental changes that were triggered by a large impact event in the middle-late Norian (Late Triassic), this study investigated conodont biostratigraphy and stratigraphic variations in strontium (Sr) and organic carbon isotope values from the Upper Triassic limestone successions in Italy and Austria. A significant biotic turnover in conodonts occurred in the late Norian, and values of the oxygen composition of conodonts suggest that this turnover process could be related to seawater temperature variation. At the same time, the Sr isotope ratios display a sudden negative excursion toward lower values and show a relatively quick recovery to pre-excursion Sr isotope ratios. Stratigraphic variation in organic carbon isotopic values from the study sections suggest marine primary productivity declined during this faunal turnover interval. These environmental changes could be related with the Norian impact event.

研究分野：層序学

キーワード：地質学 地球化学 層位・古生物学

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

地球の歴史の中では、天体衝突による生物の絶滅は、今から 6600 万年前の白亜紀 / 古第三紀 (K/Pg) 境界が知られている。従来の研究では、さまざまな地質時代境界を中心にして、天体衝突が引き起こす大量絶滅の痕跡の探索が行われてきたが、そのような証拠は K/Pg 境界からしか見つかっていなかった。そのためこれまで、この時代境界だけが天体衝突が生物に及ぼす影響を評価できる唯一の研究対象であると考えられてきた。

このような背景のもと Onoue et al. (2012) は、今から約 2 億 1500 万年前の三畳紀後期のノーリアンという時代に巨大隕石が衝突した証拠を世界ではじめて発見した。またこの粘土岩および上下層準の層状チャートについて、白金族元素のひとつであるオスミウムの同位体分析を行い、衝突した隕石は直径 3.3~7.8 km と巨大なサイズであったことを明らかにした (Sato et al., 2013)。さらに白金族元素 (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) 濃度の濃度比からは、衝突した隕石がコンドライト隕石であることも明らかにされている (Sato et al., 2016)。

基課題となる科学研究費助成事業「中・古生代層状チャートに記録された隕石衝突履歴の完全解読 (若手研究 A)」では、放散虫とコノドント化石を酸処理抽出し、この時代を通じた化石群集の絶滅パターンが検討された。その結果、天体衝突イベントの直後に、非常に高い割合で海洋の微化石群集が絶滅していることが明らかにされている (図 1)。以上のような一連の発見を契機として、ヨーロッパを中心に、三畳紀ノーリアンに起こった海生生物 (アンモナイト、コノドントなど) および陸上植物の群衆変化と、同時代に起こった天体衝突の関係性が注目を集め始めている。

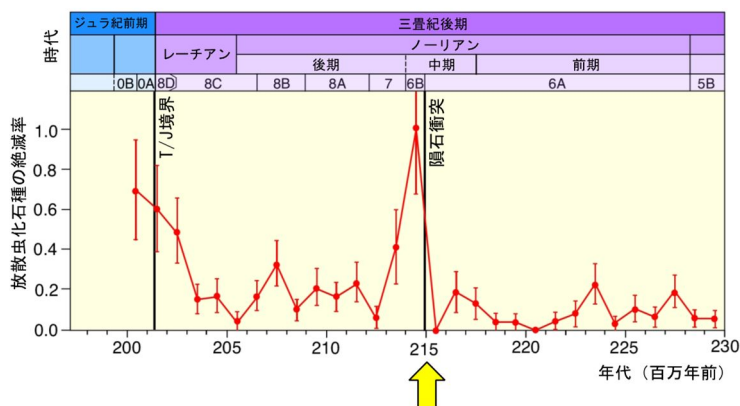


図 1 三畳紀後期における放散虫の絶滅率。隕石衝突 (黄色矢印) の直後に高い絶滅率を示す。ここでは、21 種中 18 種の放散虫化石種が絶滅した。Onoue et al. (2016) を一部修正。

2. 研究の目的

上述のように、現在実施中の科学研究費助成事業「中・古生代層状チャートに記録された隕石衝突履歴の完全解読」では、2 億 1500 万年前の三畳紀後期という時代に起こった巨大隕石の衝突が、当時のパンサラサ海低緯度域において、放散虫やコノドントといった微化石の絶滅を引き起こしたことが世界で初めて明らかにされた (Onoue et al., 2016)。しかし、三畳紀後期のイジェクタ堆積物は、日本以外の国・地域に分布する海成層からは知られておらず、その分布や衝突による環境変動の詳細はよく分かっていない。そこで本国際共同研究では、このパンサラサ海遠洋域の絶滅に関する研究をグローバルな研究に発展させるため、パンゲア大陸縁辺部の上部三畳系陸棚堆積物を対象とした地質調査を実施し、2 億 1500 万年前のイジェクタ層 (隕石衝突によって形成された地層) を探索した。そしてイジェクタ層が堆積した年代 (後期三畳紀ノーリアン中期~後期) における遠洋域と大陸縁辺海域の古環境情報を統合することで、この天体衝突が地球環境に与えた影響や、どのような生物がこの衝突で絶滅したかについて研究を行った。

3. 研究の方法

上記の研究目的達成のため、イタリアパドヴァ大学を研究拠点として、イタリアおよびオーストリアに分布する上部三畳系石灰岩を対象に地質調査を実施し、後期三畳紀ノーリアン中期~後期のイジェクタ層を探索した。研究対象とした石灰岩は、(1) ドイツ・オーストリア国境付近に分布する陸棚相の Hallstatt 石灰岩、(2) イタリア南部 Lagonegro 堆積盆に分布する Pignola-Abriola および Sasso di Castalda セクションの石灰岩および碎屑岩、(3) シチリア島西部 Pizzo Mondello セクションの遠洋性石灰岩である。このうちオーストリアの Hallstatt 石灰岩は、Juvavic nappes, Tirolic nappes, Bajuvaric nappes の 3 つのグループに区別される。今回検討を行ったドイツ Kälberstein セクションとオーストリア Pötschenhöhe, Bad Dürrenberg セクションで観察される Hallstatt 石灰岩は、いずれも深海・遠洋域で堆積した Juvavic nappes のグループに属する。

オーストリアの 3 セクションおよびイタリアシチリア島の Pizzo Mondello セクション (図 2) は、主に層状石灰岩から構成され、一般に厚さ数 10 cm の石灰岩と、厚さ数 cm のマールから構成される。一方、イタリア南部 Lagonegro 堆積盆の Pignola-Abriola および Sasso di Castalda セクションは、単層が数 10 cm の遠洋性石灰岩から主に構成され、ときおり頁岩層を挟む。各検討セクションでは岩相層序の記載を cm スケールで行い、石灰岩の堆積相も記載した。

野外で採取した試料については、粉末試料および加圧形成したペレットを作成し、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を用いて、試料に含まれる主要元素および微量元素 (Cr, Ni, Co を含む) の定量分析を行った。天体衝突イベントが起こった年代である後期三畳紀のノーリアン中期

後期境界付近から採取した試料については、イジェクタ層かどうかを判定するため、隕石中に豊富な白金族元素 (Ir, Ru, Pt, Rh, Pd) の濃度を調べた。分析はこれまでの研究と同様に、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) を用いた白金族元素濃度の定量分析を行った。

天体衝突イベントが起こったとされる上部三畳系ノーリアン中期/後期境界付近の石灰岩については、ストロンチウム同位体分析を行った。ストロンチウム同位体分析からは、大陸の化学風化度を評価し、衝突により起こる可能性がある硫酸酸性雨や温暖湿潤化に伴う陸源物質フラックスの増加などの環境変動の可能性を検討した。また有機炭素同位体分析から、当時の海洋表層における基礎生産量の変動を評価した。さらにコノドント化石を構成するアパタイトから、二次イオン質量分析により酸素同位体比を求め、当時の海水温の変動を推定した。

これらの地球化学的検討に加えて、ノーリアン中期から後期にかけてのコノドント化石層序を検討し、絶滅記録の解釈を行った。検討は研究拠点のパドヴァ大学において、主に酢酸法でコノドント化石を抽出したのち属種の同定を行い、詳細な化石層序を確立した。

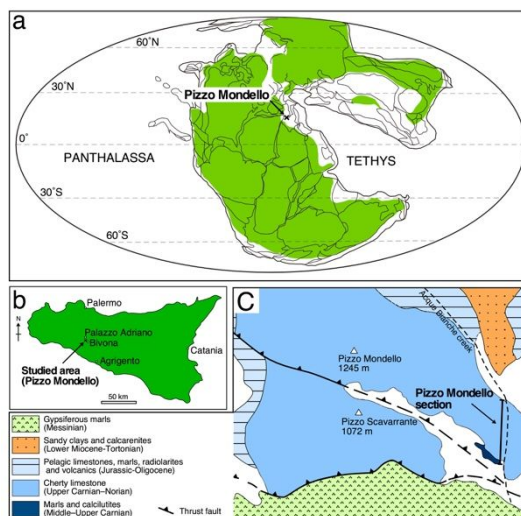


図2 イタリア、シチリア島西部 Pizzo Mondello セクションの位置図 (a, b) とセクション周辺の地質図 (c)。Onoue et al. (2018) を一部修正。

4. 研究成果

本研究では、イタリアおよびオーストリアの上部三畳系石灰岩の地質調査を行い、イジェクタ層の探索および後期三畳系ノーリアン中期/後期境界における古海洋環境の変動について検討した。研究の結果、各検討セクションにおいて具体的に以下のような研究成果が得られた。

(1) オーストリア, Kälberstein, Pötschenhöhe, Bad Dürrenberg セクション

オーストリア・ドイツ国境付近に分布する Hallstatt 石灰岩は、主に薄殻二枚貝や放散虫の化石を含む遠洋性石灰岩から構成される。しかし、検討した Kälberstein, Pötschenhöhe, Bad Dürrenberg セクション全てにおいて、イジェクタ堆積物の分布が期待できる後期三畳系ノーリアンの中期~後期境界付近において (*Mockina bidentata* コノドント化石帯基底部), 再堆積した浅海成石灰岩から主に構成される石灰岩角礫岩へと岩相変化することが明らかになった。特にオーストリア Pötschenhöhe セクションおよび Bad Dürrenberg セクションにおいては, *Mo. bidentata* 帯の基底層において, 石灰岩角礫岩を主体とするスランプ堆積物が, 下位の遠洋性石灰岩を削り込む様子が観察された。ドイツ Kälberstein セクションでは, *Mo. bidentata* 帯を特徴づける碎屑性石灰岩の基底部に, 厚さ 5 cm ほどの薄い石灰質頁岩がみられた。しかしこの石灰質頁岩からは, イジェクタ堆積物に特徴的なニッケル, イリジウムなどの元素の異常濃集は確認されなかった。

(2) イタリアシチリア島, Pizzo Mondello セクション

本研究では、コノドント化石層序および古地磁気層序年代が詳しく検討されているイタリアシチリア島西部の Pizzo Mondello セクションの上部三畳系遠洋性石灰岩を対象に、主要・微量元素濃度、有機炭素同位体、ストロンチウム同位体層序に関する検討を行い、イジェクタ堆積物の探索および古海洋環境の時代変遷について検討を行った。

微量・主要元素濃度の分析結果からは、地球外物質に多く含まれる Ni や Co の異常濃度層はみつからなかった。一部の Ni, Co 濃度が高い上部ノーリアンの層準において白金族元素の定量分析を行い、地球外物質混入の検討を行った。しかしコンドライト質隕石特有のフラットな元素パターンはみられず、白金族元素濃度比からは火山起源物質の可能性が高いことが明らかになった。

有機炭素同位体比およびストロンチウム同位体比の検討結果からは、ノーリアン後期に顕著な負の変動がみつかった。特にストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は、0.7079 から 0.7077 へと低下したのち、もとの値にまで急激に回復する様子がこの年代に確認された (図 3)。この負の変動がみられる年代についてコノドント化石層序を詳しく検討した。その結果、ノーリアン後期の *Parvigondolella andrusovi* 帯の基底部において、コノドント化石群集の変化が確認された。この化石帯のコノドント群集は、日本の上部三畳系層状チャートセクションにおいてもイジェクタ層の上位に確認されることから、コノドント化石を用いたイジェクタ層の対比には 2 通りの可能性があることが示された (Pizzo Mondello セクションにおける *Mo. bidentata* 基底, もしくは *Pa. andrusovi* 基底)。また得られたコノドントを構成するアパタイトについて、二次イオン質量分析法により酸素同位体比を測定した。その結果, *Pa. andrusovi* 帯基底部において, 急激な海水温の変化が起こったことが明らかになった。

(3) イタリア南部, Pignola-Abriola, Sasso di Castalda セクション

検討した Pignola-Abriola および Sasso di Castalda セクションの年代は、コノドント化石からノーリアン前期～レーチアンにかけて堆積した石灰岩 - 砕屑岩層であることが明らかにされている。地質調査を実施し、イジェクタ層の年代と考えられるノーリアン中期/後期境界 (*Mo. bidentata* 帯基底) 周辺の岩相層序を検討したところ、この年代には細～中礫サイズのチャート角礫岩が頁岩中に挟まれて堆積していることが明らかになった。この結果は、オーストラリアの Hallstatt 石灰岩と同様に *Mo. bidentata* 帯の基底部分において、年代が一部欠損している可能性を示している。

Pignola-Abriola および Sasso di Castalda セクションにおいては、*Mo. bidentata* 帯基底部分の層準付近に、隕石衝突に起源をもつ粒子 (スフェールや Ni に富むマグネタイトなど) は観察されなかった。また主要・微量元素分析の検討からも、Ni や Co といったイジェクタ層に特徴的な元素の濃集は認められなかった。

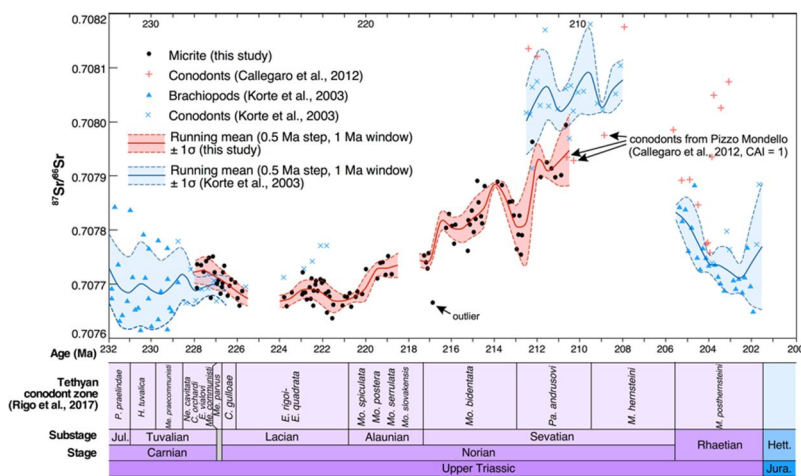


図3 イタリア Pizzo Mondello セクションにおけるストロンチウム同位体比の変動。Onoue et al. (2018)を一部修正。

以上の結果から、オーストラリアおよびイタリア南部の検討セクションにおいて、イジェクタ堆積物が期待される *Mo. bidentata* 帯の基底層準では、石灰岩角礫岩およびチャート角礫岩の堆積により、地層が欠損している可能性が示された。この時期は海進期であることから、検討セクションに特徴的にみられる石灰岩角礫岩およびチャート角礫岩の堆積要因については不明である。従来の研究では、ローカルなテクトニックイベントなどがその原因として考えられてきたが、今後は隕石衝突の可能性も含めてさらに検討する必要がある。

また衝突イベントが起こったとされるノーリアン中期から後期にかけてのコノドント化石層序を、イタリア Pizzo Mondello セクションで詳しく検討した結果、天体衝突が起こった可能性のある年代ノーリアン後期において、コノドント化石群集の大きな変化がみられることが明らかになった。同時期にはストロンチウム同位体比の負の変動が特徴的にみられるが、その変動要因についてはさらなる検討を要する。また同年代の石灰岩から酢酸法によるコノドント化石の抽出を進め、二次イオン質量分析による酸素同位体比測定を行った結果、衝突が起こった年代付近において、大規模な海水温の変化が起こったことが明らかになった。有機炭素同位体比の検討結果からは、ノーリアン後期の隕石衝突イベント付近の年代では、急激な有機炭素同位体比の負のシフトも確認されることも明らかになった。

<引用文献>

1. Onoue, T., Sato, H., Nakamura, T., Noguchi, T., Hidaka, Y., Shirai, N., Ebihara, M., Osawa, T., Hatsukawa, Y., Toh, Y., Koizumi, M., Harada, H., Orchard, M.J., Nedachi, M., Deep-sea record of impact apparently unrelated to extinction in the Late Triassic, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109, 19134-19139, 2012.
2. Onoue, T., Sato, H., Yamashita, D., Ikehara, M., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kato, Y., and Matsuoka, A., Bolide impact triggered the Late Triassic extinction event in equatorial Panthalassa. Scientific Reports, 6, 29609, doi:10.1038/srep29609, 2016.
3. Sato, H., Onoue, T., Nozaki, T., Suzuki, K., Osmium isotope evidence for a large Late Triassic impact event. Nature Communications, 4, 2455, doi: 10.1038/ncomms3455, 2013.
4. Sato, H., Shirai, N., Ebihara, M., Onoue, T., Kiyokawa, S., Sedimentary PGE signatures in the Late Triassic ejecta deposits from Japan: Implications for the identification of impactor. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 442, 36-47, 2016.
5. Onoue, T., Sato, H., Yamashita, D., Ikehara, M., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kato, Y., and Matsuoka, A., Bolide impact triggered the Late Triassic extinction event in equatorial Panthalassa. Scientific Reports, 6, 29609, doi:10.1038/srep29609, 2016.
6. Onoue, T., Yamashita, K., Fukuda, C., Soda, K., Tomimatsu, Y., Abate, B., Rigo, M., Sr isotope variations in the Upper Triassic succession at Pizzo Mondello, Sicily: Constraints on the timing of the Cimmerian Orogeny. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 499, 131-137, doi: 10.1016/j.palaeo.2018.03.025, 2018.

[雑誌論文](計12件)

1. Onoue, T., Takahata, T., Miura, M., Sato, H., Ishikawa, A., Sano, Y., Isozaki, Y., Extreme flux of extraterrestrial ^3He across the Permo-Triassic boundary. *Progress in Earth and Planetary Science*, 6, 18. doi:10.1186/s40645-019-0267-0PEPS-D-19-00002.1, 2019.
2. Soda, K., Onoue, T., Multivariate analysis of geochemical compositions of bedded chert during the Middle Triassic (Anisian) oceanic anoxic events in the Panthalassic Ocean. *Geochemical Journal*, 53, 91-102, doi: 10.2343/geochemj.2.0540, 2019.
3. Nozaki, T., Nikaido, T., Onoue, T., Takaya, Y., Sato, K., Kimura, J.-I., Chang, Q., Yamashita, D., Sato, H., Suzuki, K., Kato, Y., Matsuoka, A., Triassic marine Os isotope record from a pelagic chert succession, Sakahogi section, Mino Belt, southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 100004, doi: 10.1016/j.jaesx.2018.100004, 2019.
4. Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Soda, K., Onoue, T., Conodont-based age calibration of the Middle Triassic Anisian radiolarian biozones in pelagic deep-sea bedded chert. *Bulletin of the geological survey of Japan*, 70, 43-89, 10.9795/bullgsj.70.43, 2019.
5. Onoue, T., Rigo, M., Two humid events recorded in the Upper Triassic of the Dolomites, northern Italy. *Journal of Sedimentological Society of Japan*, 77, 2, doi: 10.4096/jssj.77.2, 2018.
6. Onoue, T., Yamashita, K., Fukuda, C., Soda, K., Tomimatsu, Y., Abate, B., Rigo, M., Sr isotope variations in the Upper Triassic succession at Pizzo Mondello, Sicily: Constraints on the timing of the Cimmerian Orogeny. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 499, 131-137, doi: 10.1016/j.palaeo.2018.03.025, 2018.
7. Yamashita, D., Kato, H., Onoue, T., Suzuki, N., Integrated Upper Triassic conodont and radiolarian biostratigraphies of the Panthalassa Ocean. *Paleontological Research*, 22, 167-197, doi:10.2517/2017PR020, 2018.
8. Soda, K., Onoue, T., Palaeoenvironmental reconstruction for termination stage of Superanoxia in Middle Triassic (Anisian) sedimentary sequence of the Mino belt, central Japan. *Island Arc*, 27, 312262, doi: 10.1111/iar.12262, 2018.
9. 尾上哲治, 美濃帯層状チャートの堆積機構に関する3つの問題. *地質学雑誌*, 124, 1021-1032, 10.5575/geosoc.2018.0042, 2018.
10. Onoue, T., Kojima, S., Hori, R., Triassic and Jurassic radiolarian response to global catastrophic events in the Panthalassa Ocean, as recorded in the Mino Belt, central Japan. *Science Reports of Niigata University (Geology)* 32, 29-69, <http://hdl.handle.net/10191/48671>, 2017.
11. Yamashita, D., Uno, K., Onoue, T., Integrated bio-magnetostratigraphy of an Upper Triassic pelagic sequence from Panthalassa Ocean. In Liao, J.-C. and Valenzuela-Rios, J.I. (eds.) *Progress on Conodont Investigation. Cuadernos del Museo Geominero*, no. 22, Madrid, 265-268, 2017.
12. 佐野弘好, 高野敦史, 宮本和輝, 尾上哲治, 美濃・丹波帯の上部三畳系珪質ミクライトの堆積場. *地質学雑誌*, 123, 163-178, doi: 10.5575/geosoc.2016.0061, 2017.

[学会発表](計26件)

1. Onoue, T., Takahata, N., Miura, M., Sato, H., Ishikawa, A., Soda, K., Sano, Y., Isozaki, Y., Extraterrestrial helium-3 flux across the Permian/Triassic boundary. *Geological Society of America Annual Meeting*, 2018.
2. 山下大輔, 宇野康司, 尾上哲治, 兵庫県篠山地域に分布する石炭系〜ペルム系層状チャートに記録されたカイアマ超逆磁極期. *日本地質学会第125年学術大会*, 2018.
3. 富松由希, 尾上哲治, 山下大輔, 野崎達生, 高谷雄太郎, ジュラ紀付加体中に産する三畳系層状マンガン鉱床の形成年代と形成環境. *日本地質学会第125年学術大会*, 2018.
4. 尾上哲治, 高畑直人, 三浦光隆, 佐藤峰南, 石川晃, 佐野有司, 磯崎行雄, ペルム紀/三畳紀境界における地球外 ^3He フラックスの増加イベント. *日本地質学会第125年学術大会*, 2018.
5. 尾上哲治, 山下勝行, 福田知世, 曾田勝仁, 富松由希, Abate, B., Rigo, M., イタリアシチリア島西部, Pizzo Mondello セクションの上部三畳系遠洋性石灰岩におけるストロンチウム同位体比変動. *日本地球惑星科学連合大会*, 2018.
6. 山崎菜奈, 尾上哲治, 兵庫県篠山地域に分布する丹波帯の石炭系・ペルム系層状チャートから発見したコズミック・スフェール. *日本地球惑星科学連合2018年大会*, 2018.
7. 植村真也, 尾上哲治, 美濃帯遠洋性堆積岩のペルム紀/三畳紀境界における鉱物・地球化学的研究. *日本地球惑星科学連合大会*, 2018.
8. 山下大輔, 宇野康司, 尾上哲治, 丹波帯篠山地域に分布する石炭系〜ペルム系層状チャートから得られた古地磁気層序. *日本地球惑星科学連合大会*, 2018.
9. 山下大輔, 宇野康司, 尾上哲治, 中部日本犬山地域に分布する上部三畳系〜下部ジュラ系層状チャートから得られた古地磁気化石層序: 赤色チャートの測定方法の改善. *日本地球惑星科学連合大会*, 2018.

10. 武藤俊, 高橋聡, 山北聡, 尾上哲治, 大分県津久見地域に見られる下部三畳系遠洋域深海堆積岩の異なるスラストシート間における岩相の差異. 日本地球惑星科学連合大会, 2018.
11. 高畑直人, 尾上哲治, 三浦光隆, 佐野有司, 磯崎行雄, ヘリウム同位体を用いた P/T 境界遠洋深海泥岩からの地球外物質検出の試み: 大量絶滅の要因を探る. 日本地球惑星科学連合大会, 2018.
12. Onoue, T., Sato, H., Yamashita D., Impact event and radiolarian faunal turnover recorded in the Late Triassic Panthalassa Ocean. InterRad XV, Niigata, 2017.
13. Soda, K., Onoue, T., Miura, M., Spatiotemporal variations of the Middle Triassic (Anisian) Oceanic Anoxic Events in low latitudinal Panthalassa. InterRad XV, Niigata, 2017.
14. Yamashita, D., Uno, K., Onoue, T., Intercalibrated radiolarian–conodont biostratigraphy and magnetostratigraphy of the Upper Triassic succession, Inuyama area, Japan. InterRad XV, Niigata, 2017.
15. Tomimatsu, Y., Onoue, T., Radiolarian age constraints of Triassic–Jurassic stratiform manganese deposits in the Chichibu Belt, Southwest Japan. InterRad XV, Niigata, 2017.
16. Onoue, T., Yamashita, K., Rigo, M., Abate, B., Sr isotope variations in the Carnian–Norian succession at Pizzo Mondello (Sicani Mountains, Sicily): Constraint on the timing of uplift of the Cimmerian Mountains. International Symposium of the International Geoscience Programme (IGCP) Project-589, Krakow, 2017.
17. 曾田勝仁, 尾上哲治, 安川和孝, 西南日本に分布する中部三畳系チャートを対象にした古環境解析. 日本地質学会第 124 年学術大会, 2017.
18. 富松由希, 尾上哲治, 秩父帯層状チャート中に産する層状マンガン鉱床の形成過程: 放散虫化石年代と化学層序による検討. 日本地質学会第 124 年学術大会, 2017.
19. 斎藤誠史, 黒澤耕介, 臼井洋一, 奥村知世, 尾上哲治ほか 8 名, 天体衝突による大気酸化仮説: 後期太古代の地質記録による検証. 日本地質学会第 124 年学術大会, 2017.
20. 高畑直人, 尾上哲治, 三浦光隆, 磯崎行雄, 佐野有司, ヘリウム同位体を用いた P/T 境界遠洋深海泥岩中の地球外物質の探索. 2017 年度日本地球化学会年会, 2017.
21. Onoue, T., Sato, H., Yamashita D., Impact event and conodont faunal turnover across the middle–upper Norian transition in the Upper Triassic of Japan. International Conodont Symposium, ICOS IV, 2017.
22. 富松由希, 尾上哲治, 大分県東部佐伯地域の秩父帯に産する層状マンガン鉱床の形成過程: 放散虫化石年代と化学層序による検討. 地球惑星連合大会, 2017.
23. 曾田勝仁, 尾上哲治, 中期三畳紀の海洋無酸素事変に関する化学層序学的解析. 地球惑星連合大会, 2017.
24. 曾田勝仁, 山下大輔, 尾上哲治, 中期三畳紀の海洋無酸素事変に関する化学層序学的解析. 地球惑星連合大会, 2017.
25. 山下大輔, 宇野康司, 尾上哲治, 中部日本犬山地域に分布する美濃帯上部三畳系～ジュラ系層状チャートを用いた化石・古地磁気統合層序の確立. 地球惑星連合大会, 2017.
26. 百合本はる妃, 中嶋大輔, 尾上哲治, 簀輪諒吾, 山野辺正邦, 中村 智樹, Oxidation processes of I-type spherules during atmospheric entry. 地球惑星連合大会, 2017.

6. 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名: マニユエル リゴ

ローマ字氏名: Manuel Rigo

所属研究機関名: パドヴァ大学

部局名: 地球科学科

職名: 准教授

〔その他の研究協力者〕

海老原充 (Ebihara, Mitsuru)

首都大学東京・大学院理工学研究科・教授

佐藤峰南 (Sato, Honami)

千葉工業大学・次世代海洋資源研究センター・上席研究員

山下勝行 (Yamashita, Katsuyuki)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授