

High-precision U-Pb temporal constraints on the early Cambrian diversification of animal life from eastern Yunnan, China

*Kaori Tsukui¹, Yukio Isozaki², Maoyan Zhu³, Jahandar Ramezani¹, Tomohiko Sato⁴, Xingliang Zhang⁵, Samuel A. Bowring¹

1. Massachusetts Institute of Technology, 2. University of Tokyo, 3. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, 4. Tokyo Institute of Technology, 5. Northwest University

The Terreneuvian Epoch at the onset of the Cambrian marks the time of major biotic radiations and marine geochemical changes on the global scale. In order to understand the tempo of emergence of complex animal life as well as its interrelationships to the geologic environment, a robust correlation of the Terreneuvian intercontinental stratigraphic records is necessary. This correlation has been aided by long recognized patterns of perturbation in the ocean carbon cycle of presumed global extent. Here we report new high-precision U-Pb zircon geochronology (CA-ID-TIMS method) from interbedded volcanic ash beds in key stratigraphic sections of the eastern Yunnan Province in South China in order to calibrate the interval spanning the latest Ediacaran to the terminal Terreneuvian.

Samples from the top of the Ediacaran Dengying Formation and the base of the Cambrian Daibu Member of the Zhujiqing Formation in the chemostratigraphically constrained Xiaotan section provide the best estimate for the age of the basal Cambrian negative carbon isotopic excursion (BACE), as well as the Ediacaran-Cambrian boundary. The new U-Pb age constraints for the boundary are on the order of 2 myr younger than the currently accepted age. Preliminary analyses of previously dated boundary ash beds from Oman and Namibia appear to support a revision of the boundary age, pending more comprehensive examination of the corresponding successions.

Further up stratigraphically, new high-precision age results from the base of Dahai Member of the Zhujiqing Formation and the base of the Shiyantou Formation constrain the interval of the largest and most widely recognized positive carbon isotope excursion of the Terreneuvian, generally known as ZHUCE, to have occurred between ca. 527 Ma and ca. 526 Ma. Our new age results from the uppermost Dahai Member and basal Shiyantou Formation together constrain the beginning of the important negative carbon isotopic excursion known as SHICE. The latter also places maximum age limits on the first known appearance of trilobites and Chengjiang fauna. Our new calibration of the basal Cambrian biostratigraphy in South China places the base of Zone II (*Siphononchites triangularis*-*Paragloborilus subglobosus* Assemblage) and Zone III (*Heraultipegma yunnanensis* Assemblage) of the small shelly fossils at ca. 533 Ma and ca. 527 Ma, respectively, whereas the top of Zone III is constrained at ca. 526 Ma.

Keywords: U-Pb geochronology, Cambrian, Small shelly fossils, Biostratigraphy, Ediacaran-Cambrian boundary

寒冷化を伴う大量絶滅イベント：同位体比組成からの制約-オルドビス紀末イベントを典型例として

Mass extinctions related to global cooling: A case study of the late Ordovician mass extinction using a multi isotope approach

*丸岡 照幸¹、上松 佐知子¹、指田 勝男¹、Niza Mat²

*Teruyuki Maruoka¹, Sachiko Agematsu¹, Katsuo Sashida¹, Mat Niza²

1. 筑波大学生命環境系、2. Geological Survey of Malaysia

1. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Geological Survey of Malaysia

Except for the most severe mass extinctions, such as the Permian-Triassic (PT) and Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary events, most moderate- to minor-class mass extinctions were related to global cooling rather than global warming [1]. The elevated extinction rates for the cooling-related mass extinctions were generally accompanied by a positive carbon isotope excursion, implying that major perturbations of the global carbon cycle might be involved. As it is very difficult to draw conclusions from carbon data alone, a multi-isotope approach is necessary to understanding the paleoenvironmental perturbations in such mass extinctions. Although there are some common characteristics for cooling-related mass extinctions, it is still unclear whether or not all of them were induced by a common trigger event, such as volcanic activity, meteorite impacts, or nearby supernova explosions. In this study, we discuss the environmental perturbations at the late Ordovician mass extinction as an example of a cooling-related mass extinction. Although the late Ordovician mass extinction was one of the “Big Five” mass extinction events in the Phanerozoic, the rate of species extinction was lower than those of the P-T and K-Pg boundary events [2]. The decline of biodiversity coincided with the onset of the Hirnantian glaciation, the inducing mechanisms for which are still unclear. In this study, isotopic ratios and concentrations of carbon and sulfur were analyzed in the Upper Ordovician to Lower Silurian shales from the Langkawi Islands in Malaysia. The results revealed that the weight ratios of organic carbon and pyritic sulfur (C/S) varied periodically from <1 to ~ 30 . These periodic variations were interrupted by the position of the positive $\delta^{13}\text{C}$ excursion. The excursion was accompanied by C/S ratios <0.1 , lower than the minimum values during the periodical variations. Although the C/S ratios varied periodically, the minimum values for each C/S variation cycle gradually increased. This implies that the environmental perturbation recorded as very low C/S ratios repeated high and low intensities, but its fluctuation was attenuated overall.

[1] Stanley (2010) PNAS 107, 19185-19189.

[2] McGhee et al. (2011) Geology. 40 (2): 147–150.

キーワード：オルドビス紀-シルル紀境界、安定同位体、寒冷化

Keywords: Ordovician-Silurian boundary, Stable isotopes, Global cooling

The redox history and nitrogen cycle in the pelagic Panthalassic deep ocean during the double-phased extinction interval across the Paleozoic-Mesozoic transition

*藤崎 渉^{1,4}、澤木 佑介^{1,2}、山本 伸次³、松井 洋平⁴、西澤 学⁴、磯崎 行雄²、丸山 茂徳⁵

*Wataru Fujisaki^{1,4}, Yusuke Sawaki^{1,2}, Shinji Yamamoto³, Yohei Matsui⁴, Manabu Nishizawa⁴, Yukio Isozaki², Shigenori Maruyama⁵

1. 東京工業大学、2. 東京大学、3. 横浜国立大学、4. 海洋研究開発機構、5. 東京工業大学地球生命研究所

1. Tokyo Institute of Technology, 2. The University of Tokyo, 3. Yokohama National University, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 5. Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

The end-Permian mass extinction, the largest catastrophic perturbation in the Phanerozoic life history, comprises two distinct extinctions; the first one across the Guadalupian-Lopingian (G-L) boundary and the second one across the Permian-Triassic (P-Tr) boundary. The appearance of prolonged global-scale anoxia during this interval was likely unfavorable for most animals and marine ecosystems. In order to constrain oceanic redox conditions and biological activity, carbon isotope ratios and redox proxies were measured in many sections; however, most of these studies have been undertaken on the sections from the Tethys Ocean, a region covered only 10-15% of the area of the global-ocean, and ignored the larger part of central Panthalassa, comprising 85-90% of the area of the Permian to Triassic global-ocean. The Permo-Triassic deep-sea pelagic cherts preserved in the on-land exposed Jurassic accretionary complex in Japan are ideal material for paleoenvironmental studies; however, the linkage between marine redox history and biological activity in the mid-Panthalassic deep ocean has not been well understood owing to limited data-set. We collected shales partings of bedded cherts of the Guadalupian to earliest Induan ages exposed at the Gujo-Hachiman section in central Japan. We determined the organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$) isotopic ratios, and major, trace and rare earth element abundances of the shales, in order to clarify changes in the redox history and nitrogen cycle in mid-Panthalassa for the double-phased mass extinction across the Paleozoic-Mesozoic transition.

Little enrichments of Mo, V, U, and TOC were detected from the Guadalupian to Lopingian shales, suggesting that the mid-Panthalassic deep ocean was dominated by an oxic-suboxic condition across the G-L transitional zone. In addition, the $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values across the G-L transitional zone exhibit little fluctuation, and the former is almost the same as those obtained from adjacent bedded cherts. In contrast, a negative $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ shift and the extensive ocean euxinia are recognized in the Tethyan shallow marine strata. These lines of evidences indicate that the development of euxinia and nitrogen-limited conditions were limited only to shallow shelf domains of the Tethyan Ocean and had little influence to the mid-Panthalassic deep ocean across the G-L boundary.

High abundances of U, V, and Mo in the Induan black mudstones indicate the appearance of anoxic conditions in mid-Panthalassa. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values during the Induan show a similar pattern to that reported in other deep-sea sites. On the other hand, the $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values in the Induan mudstones range from -2.0 to 0.7‰. These low $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values together with the emergence of anoxic condition suggest that a relative predominance of nitrogen fixation, which in turn means a nitrogen-limited condition in the mid-Panthalassa. Our $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ profiles are similar to those reported from other P-Tr boundary sections, such as eastern Panthalassic and Tethyan Oceans. Therefore low $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values during the Induan was likely a global signature, and we concluded that the protracted oceanic nitrogen depletion during the Induan would have acted as an environmental stress on shallow and deep-sea biota.

キーワード：大量絶滅、パンサラッサ海、有機炭素同位体、窒素同位体、酸化還元鋭敏元素

Keywords: mass extinction, Panthalassa, organic carbon isotopes, nitrogen isotopes, redox-sensitive elements

小惑星-彗星衝突と大規模火山活動による大量絶滅時の気候変動

Climate changes during mass extinctions by asteroid-comet impacts and large volcanic eruptions

*海保 邦夫¹

*Kunio Kaiho¹

1. 東北大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Tohoku University

Cooling and associated drought induce mass extinctions. Warming is difficult to cause mass extinctions, because high latitude areas are good condition for life during hot surface of the Earth. Causes of cooling are soot and sulfate aerosols to cut sunshine. These aerosols in the troposphere fall out soon with rain, which do not cause global cooling, but stratospheric aerosols can live long to cause the global cooling and drought. Energy is needed to carry burned hydrocarbon and sulfur to the stratosphere. The energy can be provided by asteroid-comet impacts and large volcanic eruptions. Soot aerosols and sulfate aerosols are main causes of mass extinctions by the impacts and volcanic eruptions. Cooling on land reaches 1 month after the ejection on soot aerosol case, but one year after the ejection on sulfate aerosol case, followed by gradual recovery in 10 years on both cases. Warming subsequently occurred by CO₂ ejection by the impacts and volcanic eruptions in 10 to 1000 years after the events. The amount of CO₂ is usually smaller on the impact case than on the volcanic eruption case, resulting in no significant warming by the former, but significant warming may occur by the latter. Mass extinctions by the volcanic eruptions can be emphasized by subsequent warming events, resulting in stepwise extinctions.

キーワード：小惑星-彗星衝突、大規模火山活動、気候変動、大量絶滅

Keywords: asteroid-comet impacts, large volcanic eruptions, climate changes, mass extinctions

Land ecosystem collapse followed by marine environmental stress spanning the Permian-Triassic mass extinction

*Raman Kumar Biswas¹, Kunio Kaiho¹, Ryosuke Saito¹, Zhiqiang Shi²

1. Graduate School of Science and Faculty of Science, Tohoku University, 2. Chengdu University of Technology, Chengdu, China

Abstract

The Permian–Triassic mass extinction was the most devastating extinction in the Phanerozoic Era. We investigated the biomarkers from the Shangsi section, South China, to identify changes in the biosphere and marine environments. We show that the collapse of land vegetation occurred before the latest Permian marine extinction at the Shangsi section. The stressful environmental conditions were persisted during the earliest Triassic rather than the latest Permian marine extinction. The second phase of stressful environmental conditions occurred in the late Griesbachian.

Keywords: Permian-Triassic, Mass extinction, Land plant, Environmental stress, Shangsi, Organic geochemistry

生物進化と多様性の中立的確率モデル：系統樹の位相的性質からの考察

Neutral stochastic model of evolution and biodiversity: topological approach to phylogenetic tree

*石井 友一郎¹

*Yuichiro Ishii¹

1. 神戸大学理学部惑星学科

1. Department of Planetology, Faculty of Science, Kobe University

生物進化と多様性の構造は、地球史における短期的な大規模環境変化の結果を反映している。このような生物多様性と安定性の解析については、群集生態学も重要な役割を果たして来た。特に近年、中立的群集生態学が、生物の種多様性を統一的に考察するための理論として注目されている（e.g., Hubbell, 2001; Etienne, 2005）。これは、集団遺伝学における分子進化の中立説（Kimura, 1968）と同質の考え方を、生物群集に適用した中立モデルであり、例えば遺伝的浮動には生態学的浮動という概念が対応する（e.g., Alonso et al., 2006）。この中立的群集生態学により、生物進化と多様性に関する構造が、従来のような多様な種間相互作用やニッチ構造を仮定しなくても説明可能となった（e.g., Tilman, 2004; Suzuki and Chiba 2016）。したがって、地球史規模の生物進化と多様性の構造に関しても、中立モデルの概念は有効なのではないだろうか。本研究はその基礎研究の一つとして、系統樹（生物進化と多様性のパターンを視覚的に表現したグラフ）の位相的性質を、実際の遺伝データと中立的確率過程のシミュレーションに基づき考察するものである。

実際の系統樹と確率シミュレーションとの比較に関しては様々な研究が為されてきたが、必ずしも中立のモデルではなく、また両者の比較は系統数の時間変化に着目しているため、系統樹の位相的情報を十分に反映していない（e.g., Levinton, 1979; Harvey and Nee 1994; Nee et al., 1995; Lieberman, 2011）。そこで、まず系統樹の位相的情報の定量化を試みる。系統樹は”遺伝子の川”（Dawkins, 1995）と形容されるが、地形学の分野では河川の形態についてHortonの法則が成立することが知られている（Horton, 1945）。これは分岐形としての河川の水路に適切な方法で次数付けをおこなったことで見出された法則である。Hortonの法則のうち、水路数の法則（Hortonの第一法則）は河川以外の分岐形一般にも適用が可能な法則である。また、Hortonの第一法則が成立しているかを判定する”Horton解析”をおこなうことで、分岐形の位相的性質を定量化することが可能になる。

本研究で解析する系統樹は分子系統樹であり、対象生物は以下の脊椎動物で：魚類（Near et al., 2013）、両生類（Frost et al., 2006）、カメ類（Grawford et al., 2015）、ヘビ・トカゲ類（Pyrone et al., 2013）、鳥類（Burleigh et al., 2015）、哺乳類（Murphy et al., 2001）。これら6種類についてHorton解析をおこない、全ての系統樹でHortonの第一法則が成立していることが判明した。また、末端種数や系統樹が包括している分類階層のレベルによらず、分岐比の値は6種類の系統樹の分岐比の平均値3.18に近い値となった。これは脊椎動物の種分化現象は、系統樹全体として分岐比が平均3.18になる機構を有していることを示唆している。

この平均値3.18は従来のHorton解析における中立的確率モデルにおける理論値：約4（e.g., Leopold and Langbein, 1962; Shreve, 1967）より低い値である。その原因としては、（1）実際の分子系統樹の分岐比は、特定の大きさを持つ絶滅イベントや環境変化などの効果を含んでいる非中立的値であるため、あるいは（2）従来の解析は合流モデルなので分岐現象とは異なるため、などが考えられる。

そこで、分岐率と時間という最小限のパラメタセットしかない単純な分岐モデルの確率シミュレーションを行った。これは、特定の大きさを持つ絶滅イベントや環境変化および種分化率変化を考えない、という意味において中立的確率モデルである。その結果、生成された分岐形にもHortonの法則が成立することが分かった。また、分岐比の平均は2.96になった。これは、上記の分子系統樹の平均値3.18に近い値である。さらに確率過程で生成された分岐形の特徴と脊椎動物の系統樹の分岐形としての特徴を比較したところ、両者は同様の特徴を示していた。以上の結果は、脊椎動物の種分化過程は中立的な確率過程によって説明可能である

ことを示す。すなわち、生物分類や生物種ごとの種分化率の違い、特定の大きさを持った絶滅や環境変化による種分化率の変化の効果を考慮しなくても、実際の系統樹の位相的性質を説明できることを示唆する。

キーワード：分子系統樹、位相的性質、Horton解析、分岐比、中立的確率モデル、多様性

Keywords: molecular phylogenetic tree, topological property, Horton analysis, bifurcation ratio, Neutral stochastic model, biodiversity

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ chemostratigraphy of Ediacaran Doushantuo Formation in the Yangtze Craton, South China

*澤木 佑介¹

*Yusuke Sawaki¹

1. 東京大学

1. The University of Tokyo

The Ediacaran period records one of the most dramatic biological episodes in Earth's history. To track environmental changes occurring in the Ediacaran, multi-geochemical proxies have been reported by a number of studies. Ediacaran sedimentary rocks in South China figure prominently in such studies, because they are fossiliferous and accumulated at various depositional settings from shallow platform to basin facies. Recent extensive geochemical works for the Doushantuo Formation in South China demonstrate that $\delta^{13}\text{C}$ values of inorganic carbon were variable throughout the Ediacaran period. On the other hand, a drastic change in weathering influx from continents is thought to have major influences on the change in seawater composition and on biological activity. Its flux can be estimated from the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of carbonate rocks. However, the existing $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values are limited to shallow marine deposits, which leaves ambiguity in a variation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in outer ocean.

We conducted drilling at Siduping, Tianping, and Weng'an sections in South China to obtain the Ediacaran complete sedimentary sequences deposited at slope and shoal facies. We newly report stratigraphic profiles of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios at the three sections. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ chemostratigraphy demonstrated some diachronous natures of $\delta^{13}\text{C}$ within the Doushantuo Formation. The enhanced continental weathering during Gaskiers glaciation likely promoted bacterial sulfate reduction and aerobic respiration of organic matter. These resulted in low $\delta^{13}\text{C}$ values of dissolved inorganic carbon and accumulations of phosphate and dissolved CO_2 species in seawater, and eventually induced the deposition of phosphorites at the shelf margin. High $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios during the largest negative $\delta^{13}\text{C}$ anomaly in the Ediacaran can be also recognized in the continental slope sediment. This fact supports that globally high continental weathering rate led to massive remineralization of organic matter and a consequent significant negative $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ excursion.

キーワード：放射性起源ストロンチウム同位体比、南中国、エディアカラ紀

Keywords: radiogenic Sr isotopic ratio, South China, The Ediacaran

ペルム紀中期末上村イベント再訪：岩井崎石灰岩最上部の炭素同位体層序とOMZ拡大

The Late Guadalupian (Permian) Kamura event revisited: carbon isotope stratigraphy of the topmost Iwaizaki limestone in NE Japan and the expansion of oceanic OMZ

*飛田 知世¹、磯崎 行雄¹、田畑 美幸¹、松井 洋平²、坂井 三郎²、西澤 学²、奥村 知世²、吉田 尚弘³

*Tomoyo Tobita¹, Yukio Isozaki¹, Miyuki Tahata¹, Yohei Matsui², Saburo Sakai², Manabu Nishizawa², Tomoyo Okumura², Naohiro Yoshida³

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻広域システム科学系、2. 海洋研究開発機構、3. 東京工業大学

1. Department of General Systems Studies Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Tokyo Institute of Technology

ペルム紀中期／後期(G-L)境界直前のCapitanianにおきた海棲動物の主要な絶滅について、当時の低緯度地域で堆積した北米テキサス、南中国の蓬萊灘、また日本の上村・赤坂セクションにおいて詳細な層序が検討されてきた。当時の海水準低下や熱帯動物群の選択的絶滅はグローバル寒冷化を示唆する。低緯度ながらも比較的高緯度の陸棚浅海で堆積した南部北上帯のペルム系岩井崎石灰岩は、生物礁形成およびその後の礁崩壊を記録しており、大型フズリナ *Lepidolina* の産出と極めて低いSr同位体比に基づき、その上部はすべてCapitanianに対比される。同石灰岩の最上部40 mの区間の掘削試料について、無機・有機炭素同位体比の経年変化を分析した結果、温暖浅海に適応した動物群の絶滅期間に、海水が最大で約+5.8 ‰に至る高い $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 値を、また有機物が約-22.5 ‰という高い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 値を持っていたことが判明した。この結果は、無機炭素同位体比のみで提案された「上村事件」が、当時の陸棚浅海で高い光合成生産と効率的な有機物除去を記録していたことを意味している。とくに $\Delta^{13}\text{C}$ 値が30 ‰に及ぶ大きな値となることから、当時の海洋では、通常の光合成による炭素固定に加えて、還元条件下で活性化するメタン細菌による同位体分別の寄与が推定される。クロアチアのBrusaneセクションとロシア沿海州のSenkina Shapkaセクションの同年代浅海成石灰岩からも、岩井崎石灰岩上部と同様の高い $\Delta^{13}\text{C}$ を検出した。おそらくCapitanianの超海洋およびその周辺では、酸素極小帯(OMZ)が大きく拡大し、その結果ペルム紀中期末における浅海生物の大量絶滅がおきた可能性がある。

キーワード：大量絶滅、ペルム紀、キャピタン世、炭素同位体比

Keywords: mass extinction, Permian, Capitanian, C isotope ratio

Comparative study of mass extinction: end-Ordovician and end-Guadalupian extinction events

*Yukio Isozaki¹

1. Department of Earth Science and Astronomy, Multi-disciplinary Sciences - General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

Among the so-called Big-5 mass extinctions of the Phanerozoic, those at the end-Permian and end-Ordovician stand out high as the largest and the second largest of magnitude. These two mass extinctions occurred respectively before and after the irreversible big change in the biosphere, i.e. the great land forestization during the Devonian and Carboniferous. Characteristics of these two events are compared for searching possible common causes. The end-Permian extinction was two-folded; i.e. the first at the end of the Guadalupian (Middle Permian) and second at the end of the Permian. Some similarities exist between the end-Ordovician (Hirnantian) event and the end-Guadalupian (Capitanian) event; such as the preferential elimination of sessile biota in tropics, sea-level drop, secular changes in seawater C and Sr isotope ratios. All these observations suggest that the Hirnantian and Capitanian extinctions were triggered probably by global cooling resulted in significant glaciation and sea-level drop, although the cause of the global cooling has not yet been identified. In contrast, their mutual differences in screening pattern of biota etc. suggest that the background conditions were significantly different between the Ordovician and Permian cases. This comparison highlighted similar cause/processes but different background conditions and biotic responses.

Keywords: mass extinction, Ordovician, Permian, global cooling

南中国雲南省南部の洪家冲セクションおよび小濫田セクションの上部エディアカラ下部カンブリア系の岩相層序・SSF層序

Litho- and SSF stratigraphy of the lowermost Cambrian of the Hongjiachong and Xiaolantian sections in East Yunnan, South China

*河野 聖那¹、磯崎 行雄¹、佐藤 友彦²、張 興亮³

*KONO SENA¹, Yukio Isozaki¹, Tomohiko Sato², Xingliang Zhang³

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻広域システム科学系、2. 東京工業大学地球生命研究所、3. 中国・西北大学
1. The University of Tokyo School of Arts & Sciences, 2. Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, 3. Northwest university, China

エディアカラ紀末期からカンブリア紀最初期の短時間のうちに後生動物が急激な多様化を遂げたカンブリア紀の爆発的進化の中で、バージェス動物群や澄江動物群に先駆けて、small shelly fossils (SSF)が多様化した。SSF層序については、極めて浅い場から深い盆地まで多様な堆積環境の複数のセクション(e.g. 梅樹村, 老林, 肖灘など)をもつ南中国雲南省において、最も詳細な研究がなされてきた。本研究では、雲南省澄江の洪家冲(Hongjiachong)および小濫田(Xiaolantian)セクションにおいて、岩相層序およびSSF層序を検討した。両セクションの下部カンブリア系は、下位から順に、朱家青層(Zhujiqing Fm), 石岩頭層(Shiyantou Fm), および玉案山層(Yu' anshan Fm)から構成される(Sato et al., 2014 など)。朱家青層は、さらに待補部層(Daibu Mb), 中誼村部層(Zhongyicun Mb), 大海部層(Dahai Mb)に細分される。最下位の待補部層は主にドロマイトからなり、その上に累重する中誼村部層はSSFを多く含むリン酸塩岩を主体とする。さらに上位にはドロマイトを主体とする大海部層と黒色頁岩からなる石岩頭部層、そしてシルトからなる玉案山層が累重する。洪家冲セクションでは、SSFの第一および第二群集帯が識別されているが、両群集帯間の境界層準は正確に識別できていない。これまでに中誼村部層下部から第一群集が発見されたが、その上位の厚さ約20 mの区間からはSSFの産出は全く知られておらず、中誼村部層中部の中のマーカーとなる唯一の石灰質砂岩層から第二群集の産出が報告されているのみであった。

本研究では洪家冲セクションで採取した追加試料について化石抽出を試みた結果、以下の事柄が明らかになった。1)上述のマーカー砂岩より約1 m下位のリン酸塩岩層から第二群集を見いだした。2)マーカー砂岩から約4 m下位のリン酸塩岩層から極めて特徴的な構造を持つSSFを1個体見いだした。長さ約1.5 mmの長楕円形の化石破片で、おそらく左右対称の殻の中央部と片側にあたる。中央部は円筒状で、その片側に斜交した10枚以上の細長い小板が規則的に配列するひだ状構造をなす。その形態的特徴は、これまで南オーストラリアのカンブリア系下部(南中国の石岩頭・玉案山層相当層)からのみ報告されている *Sinosachites(Thambetolepis) delicata* Jellに類似する。

小濫田セクションについては、これまでにカンブリア紀最初期の岩相およびSSF層序の先行研究がほとんど公表されていない。そこで本研究では、同セクションから採取した上部エディアカラ系から下部カンブリア系に及ぶ全層厚約87mのコア試料の岩相および化石について報告する。

キーワード：カンブリア紀、SSF、小濫田、洪家冲

Keywords: Cambrian, SSF, Xiaolantian, Hongjiachong

ペルム紀中期後期炭酸塩の放射起源Sr同位体とSr安定同位体変動 Stable and radiogenic strontium isotope variation ($\delta^{88}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in Middle-Upper Permian mid-oceanic paleo-atoll carbonates

*可児 智美¹、磯崎 行雄²、三澤 啓司³、米田 成一⁴

*Tomomi Kani¹, Yukio Isozaki², Keiji Misawa³, Shigekazu Yoneda⁴

1. 熊本大学大学院先端科学研究部、2. 東京大学、3. 極地研究所、4. 国立科学博物館

1. Division of Natural Science, Kumamoto University, 2. The University of Tokyo, 3. National Institute of Polar Research, 4. National Museum of Nature and Science

Stable strontium isotope ratios ($\delta^{88}\text{Sr}$) of the Capitanian (late Guadalupian) to Wuchiapingian (early Lopingian) carbonates were measured by TIMS, by correcting isotope fractionation during mass spectrometry with ^{87}Sr - ^{84}Sr double spike. The studied carbonate section at Akasaka (Japan) in the Jurassic accretionary complex was originally deposited on a mid-Panthalassan paleo-seamount, which recorded a unique interval with extremely low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values (the Permian minimum for ca. 5 m.y. throughout the entire Capitanian). We also analyzed the Wuchiapingian section at Lianshan in S. China, which was deposited on the shallow shelf. Both in $\delta^{88}\text{Sr}$ and radiogenic $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, low values remained throughout the Guadalupian, whereas they increased rapidly in the Wuchiapingian. The newly obtained $\delta^{88}\text{Sr}$ profile of Middle-Late Permian seawater positively correlated with that of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio. As seawater $\delta^{88}\text{Sr}$ could sensitively reflect marine carbonate flux at the ocean floor, this correlation suggests that the balance between the Sr carbonate burial flux and Sr carbonate dissolution flux has changed sharply across the Guadalupian-Lopingian boundary. The Capitanian minimum and the following rapid increase in seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ likely reflected a major change in continental flux, probably reflecting the rapid deglaciation together with enhanced erosion/weathering of continental crusts on a global scale.

キーワード：Sr同位体、ペルム紀、炭酸塩

Keywords: Sr isotope, Permian, carbonate

数値計算を用いたペルム紀三疊紀境界での炭素循環変動

Change of the carbon cycle in G-L boundary using numerical value calculation

*田畑 美幸¹、飛田 知世¹、藤崎 渉²、戎崎 俊一³、磯崎 行雄¹*Miyuki Tahata¹, Tomoyo Tobita¹, Wataru Fujisaki², Toshikazu Ebisuzaki³, Yukio Isozaki¹

1. 東京大学 総合文化研究科、2. 東京工業大学 地球惑星科学専攻、3. 理化学研究所

1. Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 2. Department of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology, 3. Riken

顕生代において知られている主要な5つの大量絶滅事件の中で最大規模の絶滅が古生代ペルム紀末に起きた。この事件はペルム紀中期Guadalupian世末（G-L境界）と同後期Lopingian世末（P-T境界）での2回の絶滅の複合したもので、多く海成無脊椎動物が絶滅した（Jin et al., 1994; Stanley and Yang, 1994; Isozaki & Ota, 2001）。先に起きたG-L境界事件（約2億6000万年前）において古生代型動物の多様性が初めて大きく減少しており、絶滅の原因となった海洋環境変化を考察するにはG-L境界直前からの地質記録を探る必要がある。本研究では、絶滅時の生態系変化を解明するため、海洋中の炭素循環注目した検証を行う。

これまでにG-L境界からP-T境界にかけての炭酸塩岩層の無機および有機炭素同位体比の分析が世界中の多くのセクションでなされた結果、海水の同位体プロファイルとしておおそ以下のパターンが明らかにされた（Isozaki et al., 2007a,b; Korte et al., 2005a,b; Payne et al., 2008）。すなわちG-L境界の直前に上村事件（Kamura event）と名付けられた無機炭素同位体比が+6%を超える顕著な正シフトがおきた後、G-L境界で0%近くまで減少した。その後Lopingianでは再び正の値が継続したが、再びPTB境界で約+3%から-2%近くまで急激に減少し、トリアス紀最初期から中期前半まで、きわめて大幅にかつ頻繁に変動した。一方、有機炭素同位体比の測定例は少ないものの、深海堆積物などではG-L境界前後で-30~-28%という炭酸塩岩に対して極めて低い値が測定された（Nishikane et al., 2014）。さらに最近になって、陸棚浅海のGuadalupian石灰岩（南部北上帯の岩井崎石灰岩）からもG-L境界直前の上村事件の記録が得られ、無機と有機炭素同位体比の間に極端に大きな差が認められた（飛田ほか講演）。

その大きな差が生じた原因について、計算モデルを用いて、炭素循環の変化について考察を行った。海洋中に無機炭素リザーバーと有機炭素リザーバーがあるとし、それぞれ大きさに比例してやりとりが行われると仮定した。その結果、G-L境界直前には生物絶滅が徐々に進行あした間に、海洋中に溶存する有機物量が変化した可能性が示唆される。おそらくGuadalupian世最後のCapitanian期には、グローバルな規模で、超海洋全体の中層に発達した酸素極小帯（OMZ）が大幅に拡大して陸棚に達し、その結果、浅海動物の絶滅を導き、かつ異常な同位体比の記録を残したと推定される。

キーワード：GL境界、炭素循環、生物絶滅

Keywords: GL boundary, Carbon cycle, extinction