

令和元年6月3日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05593

研究課題名(和文) 東南アジアにおける中古生界の海洋無酸素事変と大量絶滅およびその後の回復と適応放散

研究課題名(英文) Paleozoic and Mesozoic ocean anoxic events, mass extinctions, recovery and adaptive radiations in Southeast Asia

研究代表者

小松 俊文 (Komatsu, Toshifumi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授

研究者番号：40336201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ベトナムや国内で中古生界の地質調査を実施し、ベトナムに分布する上部デボン系～下部石炭系のトックタット層や下部三畳系のバックテウイ層、国内のシルル系やデボン系、下部三畳系で、複数の良い研究成果を得ることができた。特に上部デボン系のフラニアン・ファメニアン(F-F)境界の大量絶滅事変層を挟んでいるトックタット層やスミシアン・スパシアン(S-S)境界の絶滅事変層を挟んでいる下部三畳系のバックテウイ層と田穂層の質の高いデータは、複数の学術誌に掲載されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際的には、あまり知られていないベトナムの山岳地帯に分布するデボン系や下部三畳系、離島のオルドビス系～シルル系の重要性を複数の学術誌で紹介することができた。特にデボン紀後期の大量絶滅を記録したF-F境界の優れたセクションを報告できたことは重要である。また、ベトナムでは、新たな自然史系の国立博物館の建設計画が進んでいるため、これらの研究成果と採取した化石および岩石標本などは、この博物館構想を進めているベトナム国立自然博物館の展示やタイプ標本および収蔵標本として活用される予定である。なお、日本では産出しない古生代前期の化石の一部は、日本国内の複数の博物館に寄贈し展示や教育などに活用している。

研究成果の概要(英文)： We conducted Paleozoic and Mesozoic geological research in Vietnam and Japan and were very successful, especially in the Upper Devonian to Lower Carboniferous Toc Tat Formation, and the Lower Triassic Bac Thuy Formation, Vietnam, and in Silurian, Devonian, and Lower Triassic strata in Japan. In particular, we obtained much good geological, paleontological, and sedimentological data in the Toc Tat Formation, which intercalates with horizons of the Upper Devonian Frasnian-Famennian boundary mass-extinction event and in the Bac Thuy and Tahoe formations containing the Lower Triassic Smithian-Spacian boundary extinction events, and these excellent data have been published by several journals.

研究分野：層位・古生物学

キーワード：大量絶滅 回復 適応放散 海生生物 中古生界 ベトナム

1. 研究開始当初の背景 東～東南アジアの中古生界は、大量絶滅やその後の海洋生物の回復から適応放散に関する一連のイベントを多数記録していることが、20世紀後半～21世紀初頭に得られた中国のデータから明らかになってきた。ベトナムの地質については、国際的にあまり知られていないが、比較的近年になって、その重要性が指摘されている。特に上部デボン系～下部石炭系と上部ペルム系～三畳系には、海洋生物の絶滅を記録したイベント層が複数の地域で確認され、これらを挟む地層は連続的かつ広域的に分布している (Komatsu et al, 2008, 2010, 2013, 2014)。また、研究所代表者による北部～中部ベトナムでの予備調査の結果、オルドビス系～下部シルル系の良いセクションも確認できたため、オルドビス紀末の大量絶滅を記録した層準を発見できる可能性があることが示唆された (Williams et al., 2016)。なお、陸海域の両方で生物の多様化が進んだ三畳紀の中後期についても、予備調査の結果、ベトナムで陸成層と浅海成層が繰り返す新たなセクションが見つかったため、これらの地域で調査を進めた後に日本や中国での先行研究と比較することで新たな知見を見いだせる可能性が高いことが明らかになった。

2. 研究の目的 ベトナムや日本を中心とする東～東南アジアの地質調査を通じて、中古生代の大量絶滅とその後の回復から適応放散に関する現象の解明とテチス海東域における海生動物相の比較および陸生動物相の復元を行うことが研究のテーマである。調査の対象は、オルドビス系～三畳系で、大量絶滅が生じたと考えられる層準を挟む複数のセクションで、アンモナイトやコノドント、筆石などの化石と岩相の特徴、安定炭素同位体比の変動パターンなどを用いて地質年代や海洋無酸素事変などの地質イベントを明らかにする。さらに堆積相解析を用いて堆積環境を復元し、その上で産出する化石の記載や底生動物化石群集の識別および生息域の復元を行なう。その後、これらの結果を堆積環境や海域ごとに時系列に並べて大量絶滅から回復、適応放散のパターンやそれらの原因を解明することが研究の目的である。

3. 研究の方法 地質調査では、ルートマップや柱状図の作成と化石及び化学分析用の試料の採取を行った上で堆積相解析を用いて調査セクションの堆積環境の復元を試みた。その後、岩石試料を日本に発送し、微化石の抽出や大型化石のクリーニングを熊本大学の化石処理室や酸処理室、微化石観察室などで行い、化石の SEM 画像や写真などを撮影した上で論文や学会講演に使用する図版を作成しながら、化石の同定を進めた。また、安定炭素同位体や TOC などの地球化学的な分析は、東北大学や高知大学で実施した。

〔引用文献〕

Komatsu, T., Dang, T.H., Nguyen, D.H., Radiation of Middle Triassic bivalve: Bivalve assemblages characterized by infaunal and semi-infaunal burrowers in a storm- and wave-dominated shelf, An Chau Basin, North Vietnam. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 291, 2010, pp. 190-204.

Komatsu, T., Kato, S., Hirata, K., Takashima, R., Ogata, Y., Oba, M., Naruse, H., Ta, H. P., Nguyen, D. P., Dang, T. H., Doan, N. T., Nguyen, H. H., Sakata, S., Kaiho, K., Konigshof, P., Devonian-Carboniferous transition a Hangenberg Black Shale equivalent in the Pho Han Formation on Cat Ba Island, northeastern Vietnam. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 404, 2014, pp. 30-43.

Komatsu, T., Naruse, H., Shigeta, Y., Takashima, R., Mackawa, T., Dang T. H., Dinh C. T., Nguyen D. P., Nguyen H. H., Tanaka, G., Sone, M., Lower Triassic mixed carbonate and siliciclastic

setting with Smithian to Spathian anoxic to disoxic facies, An Chau basin, northeastern Vietnam. *Sedimentary Geology*, vol. 300, 2014, pp. 28-48.

Komatsu, T., Legrand, J., Tsuihiji, T. (2018) Mesozoic palaeontology and palaeoenvironments of Indochina. *The Fossil Week, Abstract Book of 5th International Paleontological Congress, Paris, France*. 587p, pp. 589-591.

Williams, M., Wallis, S., Komatsu, T., Tanaka, G., Oji, T., Clark, N. Upper Llandovery (Telychian) graptolites of the *Oktavites spiralis* biozone from the Long Dai Formation, Quang Binh Province, central Vietnam. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 53, 2016, pp. 1-6.

4. 研究成果

(1) 北部ベトナムのハーザン省 (Ha Giang Prov.) に分布する上部デボン系のトクタット層 (Toc Tat Fm) の研究では、主に2つのセクションで調査を進めた結果、フラニアン・ファメニアン境界 (F - F 境界) を確認する事ができ、この境界付近で生じた大量絶滅として知られている下部・上部ケルワッサー事変をコノドント生層序と安定炭素同位体比層序から特定することができた (Komatsu et al., 2017, 2018; 小松ほか, 2018). また、シーファイセクション (Si Phai Sec.) で、テナキュリトイドの絶滅パターンについて検討した結果、下部ケルワッサー事変に先駆けてテナキュリトイドの産出量は、著しく減少するものの、種数の顕著な減少はなく、上部ケルワッサー事変以降も *Homoctenus* などの複数の種が産出することが確認できた (Komatsu et al., 2018). また、メオバックセクション (Meo Vac Sec.) では、ケルワッサー事変層付近に有機物に富む黒色頁岩が挟まれていたため (Komatsu et al., 2017, 小松ほか 2018)、化学分析などを進めた結果、これらの頁岩は嫌気的な環境下で堆積したことが明らかになり、世界各地のケルワッサー事変層から報告されている汎世界的な海洋無酸素事変を記録していることが分かった。なお、ベトナムの複数の地域で、デボン系の予察的な調査を実施した結果、ケルワッサー事変に加えてプミリオ事変やファルシオバリス事変などの海洋無酸素事変や絶滅事変を含む可能性が高い中部～上部デボン系の良好なセクションや大型化石を比較的多産する上部デボン系を確認する事ができた。これらのセクションでの研究は、今後の重要な研究課題の一部になるだろう。

Komatsu, T., Urakawa, R., Yamauchi, K., Inada, T., Maekawa, T., Takashima, R., Williams, M., Stocker, C.P., Nguyen D. P., Hung D. D., Upper Devonian carbonates encapsulating the Frasnian-Famennian boundary in northern Vietnam. *Journal of the Sedimentological Society of Japan (refereed journal)*, vol. 76, 2017, p. 2.

Komatsu, T., Urakawa, R., Inada, T., Yamauchi, K., Maekawa, T., Takashima, R., Williams, M., Nguyen, D. P., Doan, D. H., Nguyen, M. T., Niko, S., Tanaka, G., Yamaguchi, T. The Kellwasser events in the Upper Devonian Frasnian to Famennian transition in the Toc Tat Formation, northern Vietnam. *Island Arc (refereed journal)*, vol. 28, 2018, e12281.

小松俊文・浦川良太・山内一輝・稲田稔貴・グエン ダック フォン・ザン ディン フン・グエン チュン ミン 北部ベトナムに分布する上部デボン系のケルワッサー事変. *地学雑誌* 127 巻, 2018, N107.

(2) 下部三畳系の調査は、ベトナムランソン省に分布するバックテウイ層 (Bac Thuy Fm.) と愛媛県の田穂地域に分布する田穂層で主に実施した。バックテウイ層のオレネキアン階については、これまでに

多くの研究成果を挙げているため (Komatsu et al., 2014; Shigeta et al., 2014), これらの論文のデータを活用した上で微化石や化学分析用の追加試料を採取して研究を進め, 田穂層のオレネキアン階とのコノドント生層序や安定炭素同位体比層序および古生物学, 堆積学的な比較研究を中心に行った (Komatsu et al., 2016; Maekawa, Komatsu and Koike, 2018; Maekawa et al., 2016; Takahashi et al., 2017; Tanaka et al., 2016).

バックテウイ層にコノドントなどの絶滅イベントで知られているスミシアン・スパシアン境界が挟まれていることは, コノドントとアンモノイド生層序にもとづいて, すでに明らかにしていたが (Komatsu et al., 2014; Shigeta et al., 2014), 安定炭素同位体比層序や TOC の分析などは不十分であったため, これらの追加分析を行った. その結果, スミシアン・スパシアン境界では, 海洋無酸素事変の影響で有機物の分解がほとんど進んでいなかったことが明らかになり, コノドントやアンモノイド生層序と安定炭素同位体比層序の高分解能な複合層序データを提示することができた (Komatsu et al., 2016). 同時に放散虫化石が連続的に多産することも分かったため, 分類学的に検討したところ, スミシアン・スパシアン境界では, 古生代末の大量絶滅を生き延びた古生代型の放散虫化石群集が消滅し, 中生代型の群集構成に変わることが明らかになった (Takahashi et al., 2017). なお, これらのデータはテチス海東域を代表する当該分野の最も精度の高いデータと言えるだろう. また, これらの研究と並行して, パンサラッサ海西域の標準的な複合層序データを確立するため, 同様の研究手法を用いて, 愛媛県の田穂層で調査を行った結果, バックテウイ層と全く同じコノドント生層序を確立できた上にパンサラッサ海東部を代表する北米のコノドントとも共通する種を多数確認する事ができた. その結果, スミシアン・スパシアン境界付近のテチス海とパンサラッサ海におけるコノドント生層序を世界で初めて対比することに成功した (Maekawa et al., 2018). 現在は, 田穂層で安定炭素同位体比層序の確立やスミシアン・スパシアン境界よりも下位のイベント層であるインデュアン・オレネキアン境界付近の研究を継続し, ベトナムではインデュアン階に注目して研究を進めている.

Komatsu, T., Takashima, R., Shigeta, Y., Maekawa, T., Dang T. H., Dinh C. T., Sakata, S., Doan D. H., Carbon isotopic excursions and detailed ammonoid and conodont biostratigraphies around Smithian-Spathian boundary in the Bac Thuy Formation, Vietnam. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (refereed journal), vol. 454, 2016, pp. 65-74.*

Maekawa, T., Komatsu, T., Koike, T., Early Triassic conodonts from the Tahogawa Member of the Tahoe Formation, Ehime Prefecture, Southwest Japan. *Paleontological Research Supplement (refereed journal), vol. 22, 2018, pp. 1-62.*

Maekawa, T., Komatsu, T., Shigeta, Y., Dang T. H., Dinh C. T., Nguyen, D. P. Upper Induan and Lower Olenekian conodont assemblages from the lowest part of the Bac Thuy Formation in the Ban Ru area, Northeastern Vietnam. *Proceedings of the 2nd National Scientific conference of Vietnam Natural Museum System (refereed journal), 2016, pp. 193-207. Publishing House for Science and Technology, Hanoi.*

Takahashi, O., Maekawa, T., Komatsu, T., Nguyen D.P., Dinh C.T., Doan D.H., Early Spathian (Late Olenekian, Early Triassic) Radiolaria from the Bac Thuy Formation, northeastern Vietnam.

Revue de micropaléontologie (refereed journal), vol. 60, 2017, pp. 171–178.

Tanaka, G., Komatsu, T., Maekawa, T. Early Triassic ostracods from the Co Noi section, Son La area, Northwestern Vietnam. *Proceedings of the 2nd National Scientific conference of Vietnam Natural Museum System (refereed journal)*, 2016, pp. 278-285. Publishing House for Science and Technology, Hanoi.

(3) 顕生累代の五大量絶滅の一つであるオルドビス・シルル紀境界を発見することを目的に北部ベトナムのタイグエン(Thai Nguyen)省の北東部や北東部ベトナムの離島であるコートー諸島(Co To Islands)でオルドビス系やシルル系の予察的な調査を進めた。現時点でオルドビス・シルル境界の発見には至っていないが、多くの筆石化石が採集でき、分類や生層序および地質に関するいくつかの基礎的な研究成果が得られた(Rushton et al., 2017; Saparin et al., in press)。本研究は、イギリスのレスター大学やベルギーのアントワープ大学などの研究グループと共同で進めており、ベトナムと日本人研究者で現地調査や地質・堆積学的な研究を進めて、採集した筆石やキチノゾアなどはヨーロッパ側が研究を担当している。

コートー諸島では、上部オルドビス系～下部シルル系のコートー層(Co To Fm.)下部の上部ユニットに卓越するタービダイトから新種を含む多くの筆石化石やキチノゾアなどを採取・抽出し、前期シルル紀ランドベリー世テリチアン期(約4億3850～4億3340万年前)の*Spirograptus turriculatus*帯と*Oktavites spiralis*帯を確認することができた(Saparin et al., in press)。一方で、タイグエン省の北東部では、ベトナムで出版された地質図に多くの問題があることが分かり、オルドビス～シルル系とされている地域にカンブリア系が含まれていることが三葉虫化石の産出で明らかになった。さらに地質調査と多数の筆石化石の産出からオルドビス紀前期のトレマドシアン期(Tremadocian)～フロイアン期(Floian)のタービダイト相が広く分布していることが分かった(Rushton et al., 2017)。

Rushton, A. W. A., Williams, M., Nguyen, D. P., Komatsu, T., Siveter, D., Zalasiewicz, J., Dinh, C. T., Nguyen, V. H., Nguyen, H. M., Tanaka, G. Early Ordovician (Tremadocian and Floian) graptolites from the Than Sa Formation, northeast Vietnam. *Geological Magazine (refereed journal)*, vol. 155, 2017, pp. 1442-1448.

Saparin M.A., Williams, M., Zalasiewicz, J., Komatsu, T., Adrian Rushton, A., Doan, H.D., Trinh, T.H., Nguyen, B.H., Nguyen, M.T., Vandenbroucke, T.R.A. Graptolites from Silurian (Llandovery Series) sedimentary deposits attributed to a forearc setting, Co To Formation, Co To archipelago, northeast Vietnam. *Paleontological Research (refereed journal)*, in press.

(4) 北部ベトナム南部に分布する上部三畳系ソイバン層(Suoi Bang Fm)の調査では、これまでノーリアン階とされていたソイバン層の最下部からカーニアン期を示すアンモノイドや二枚貝を採取することができ、ソイバン層の最下部～下部にカーニアン/ノーリアン境界が含まれている可能性があることが明らかになった(Komatsu et al., 2017)。また、堆積環境と二枚貝化石群集について調べた結果、潮間帯や外浜環境では複数の*Costatoria*を主体とする群集構成からなっており、これらはパレオテチス海に特徴的な群集で、パンサラッサ海の群集構成とは全く異なることが明らかになった。この研究結果については、国際古生物学会で企画したシンポジウム「インドシナにおける中生界の古生物と古環境」(引用文献参照)の中で講演している。

Komatsu, T., Shigeta, Y., Hung D. D., Trinh T. H., Nguyen B. H., Nguyen T. M., Kusuhashi, N., Tsuihiji, T., Maekawa, T., Legrand J., Manabe, M., Upper Triassic (Carnian) mollusks from the Suoi Bang Formation in Me area, Ninh Binh Province, northern Vietnam. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. C (refereed journal)*, vol. 43, 2017, pp. 1–10.

(5) ベトナムでの古生界の研究を進めるにあたって、日本国内のシルル系～石炭系を中心に比較調査を行い、主に地質年代や層序、古生物地理などに貢献する研究成果を挙げている (Maekawa et al., 2018, Männik et al., 2018, Stocker and Komatsu et al., 2018, Stocker and Tanaka et al., 2018) .

Maekawa, T., Komatsu, T., Tanaka, G., Williams, M., Stocker, C.P., Okura, M., Umayahara, A. Missourian (Kasimovian, Late Pennsylvanian) conodonts from limestone boulders, Mizuboradani Valley, Gifu Prefecture, central Japan. *Paleontological Research, (refereed journal)*, vol. 22, 2018, pp. 279-289.

Männik, P., Maekawa, T., Tanaka, G., Komatsu, T., Siveter, D. J., Williams, M., Hints, O., Vandenbrouke, T. R. A. The Ordovician and Silurian conodonts of Japan: their biostratigraphical and paleobiogeographical significance. *Island Arc, (refereed journal)*, vol. 27, 2018, e12269.

Stocker, C.P., Komatsu, T., Tanaka, G., Williams, M., Siveter, D. J., Bennett, C.E., Wallis, S., Oji, T., Maekawa, T., Okura, M., Vandenbrouke, T. R. A. An Eifelian ostracod mega-assemblage from the Carboniferous of central Honshu, Japan. *Geological Magazine, (refereed journal)*, vol. 155, 2018, pp. 98-108.

Stocker, C.P., Tanaka, G., Siveter, D. J., Lane, P., Tsutsumi, Y., Komatsu, T., Wallis, S., Oji, T., Siveter, D. J., Williams, M. Biogeographical and biostratigraphical significance of a new Middle Devonian phacopid trilobite from the Naidaijin Formation, Kurosegawa Terrane, Kyushu, southwest Japan. *Paleontological Research, (refereed journal)*, vol. 22, 2018, pp. 75–90.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計15件) 上記 - 参照 .

〔学会発表〕(計25件) Komatsu, T., Maekawa, T., Shigeta, Y., Legrand, J., Dang, T. H., Nguyen D. P. (2018) Depositional environments and bivalve assemblages in the Triassic shallow marine facies in the northern part of Vietnam. *Abstract Book of 5th International Paleontological Congress, Paris, France*. 589p. ほか

〔図書〕(計1件) 西山忠男・吉田茂生 共編著, 培風館, 新しい地球惑星科学, 基礎編 11 章・応用編 10 章を執筆, 2019, 285

6. 研究組織

(1) 研究分担者

高嶋礼詩 (Takashima, Reishi) , 東北大学・学術資源研究公開センター, 准教授, 00374207

重田康成 (Shigeta, Yasunari) , 国立科学博物館・地学研究部, 研究主幹, 30270408

(2) 研究協力者

グエン ダック フォン (Nguyen Duc Phong) , ザン デイン フン (Doan Dinh Hung) ほか