

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400503

研究課題名(和文) 前期ペルム紀巨大オンコイドの形成とパンサラッサスーパーブルームの影響に関する研究

研究課題名(英文) Study on the formation of large oncoids in the Early Permian and their relation with the Panthalassan superplume

研究代表者

中澤 努 (Nakazawa, Tsutomu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長

研究者番号：50357620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：前期ペルム紀は氷室期から温室期へと地球の気候期が大きく転換した時代である。秋吉石灰岩の調査から、パンサラッサ海の環礁では、この時期に造礁生物群集が北方系生物を含む石灰藻類主体の群集から温暖域に特徴的な海綿類主体の群集へと大きく変化したことが明らかになった。そして、その過渡期には主要な造礁性後生動物が不在になることにより微生物群集が排他的に繁栄し、巨大なオンコイドを含む微生物岩が多く形成された。つまり、パンサラッサ海の造礁生物群集は気候期転換に敏感に応答したことが明らかになった。これらの変化は Gondwana 氷床の衰退及びパンサラッサでのスーパーブルームパルスとほぼ同じタイミングで生じている。

研究成果の概要(英文)：The Early Permian is an age when the climatic mode changed from icehouse to greenhouse conditions. At this time, the algal-dominated reef community including boreal elements was drastically succeeded by the warmer-water sponge-dominated reef community on the Panthalassan atolls. During the transitional stage, microbes exclusively flourished because of absence of major reef-building metazoans and formed abundant microbialites including large oncoids. Thus these reef communities on the Panthalassan atolls sensitively responded to the climatic change. The change in the reef ecosystem almost coincided with the timing of the Gondwanan deglaciation and a pulse of the Panthalassan superplume.

研究分野：炭酸塩堆積学

キーワード：造礁生物群集 ペルム紀 パンサラッサ 秋吉石灰岩 気候期転換

1. 研究開始当初の背景

顕生代の地球は、極域に大規模な氷床が発達した氷室期と、それとは対照的な温室期を1億年単位で繰り返している。気候期の転換時期には、地球表層の物質循環や海水準変動パターンが大きく変化するとともに、地層形成プロセス、そして生態系も大きく変化したと考えられている。前期ペルム紀は、氷室期から温室期への転換期に相当し、この時期にそれまで南極を中心に発達した Gondwana 氷床が極端に縮小したことが知られている。

これまでの我々の秋吉石灰岩などの調査により、パンサラッサ海の環礁では、前期ペルム紀に主要な造礁生物群集が、石灰藻類主体の群集から、海綿類主体の群集へと変化することが分かってきた。また、その移行期に相当する下部ペルム系アーティンスキアン階には、他に類を見ない、直径10 cm以上に及ぶ、巨大なオンコイドの産出が確認された。

オンコイドは、マイクロブが形成した球状体である。同じくマイクロブが形成したストロマトライトと類似の縞状の内部構造を呈するが、ストロマトライトが主として層状に発達するのに対し、オンコイドは他の粒子を核にして球状に発達したものである。これらマイクロブが形成した構造体は、総称として微生物岩 (microbialite) と呼ばれる。微生物岩は顕生代を通じて産出するが、ペルム紀末大量絶滅直後など、環境的に特異な時代に多産することが知られる。秋吉石灰岩で巨大オンコイドが産出する前期ペルム紀は前述のように気候期が転換し Gondwana 氷床が縮小した時代とされるが、最近の研究では、この時期にパンサラッサで活発なスーパーブルーム活動があったことが明らかになっている (Ichiyama et al., 2008)。

秋吉石灰岩をはじめとする海洋島 (環礁) の石灰岩は継続的な冷却沈降のもと、長期間堆積システムを維持して形成されることから、海洋環境変化の良好な記録媒体とされている。これを利用して前期ペルム紀の海洋環境変化を捉えることが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、秋吉石灰岩で巨大オンコイドが産出するアーティンスキアン階を貫く連続コア試料を採取し、それを解析することで、巨大オンコイドをはじめとする微生物岩の多産の特徴及び成因を明らかにするとともに、現地踏査及び既存コア試料の検討を加え、Gondwana 氷床が縮小したとされるこの時代の礁環境・礁生態系の変化について詳細に検討する。また、それらの変化がパンサラッサでのスーパーブルームの影響も受けているとの仮説のもと、そのタイミングの検討とスーパーブルームの影響の痕跡を見いだすことを目的とする。

3. 研究の方法

既存の真名ヶ岳コア及び新規に掘削採取

した北山コアの岩相解析を行った。真名ヶ岳コアは2010年度に秋吉台帰り水ドリネの北東で掘削された掘進長200 mの石灰岩コア試料である。今回新規に掘削した北山コアは、真名ヶ岳コアで巨大オンコイドの多産が確認されたアーティンスキアン階を貫く試料の採取を目的として、帰り水ドリネの南西の北山山腹で掘削採取した。掘削深度は対象層準を貫通させるため80 mとし、掘削径はコア観察するに十分な86 mmとした。コア試料は全ての層準を半割したのち、全層準を希塩酸でエッチングした。コア試料は2分の1スケールでスケッチしながら岩相の1次記載を行った。また深度約1 mごとに1試料の割合で大型薄片を作成した。

原地性礁石灰岩については、構成生物・構成粒子を検討するため、60 cm × 60 cmの研磨標本作製し、詳細な岩相を観察した。主要部分については薄片を作成し、鏡下による観察を行った。

さらに海洋水中の栄養塩の変化を捉える目的で石灰岩中のリンの含有量について測定した。リン含有量はICP-AESを用いて測定した。今回は、パンサラッサ海で活発なスーパーブルーム活動があったとされ、秋吉帯石灰岩にさまざまな岩相がみられる石炭系を中心に測定を試みた。

4. 研究成果

既存の真名ヶ岳コアの詳細な岩相解析により下部ペルム系アーティンスキアン階には巨大なオンコイドが多産することが明らかになった (Nakazawa et al., 2015b)。一方、今回新たに掘削した北山コアについては、含有するフズリナ類の検討により、アーティンスキアン階を貫いていることが確認された。しかし、北山コアにはオンコイドは僅かしか認められなかった。このことからオンコイドの産出は同層準で側方に大きく変化することが明らかになった。しかしながら北山コアには、真名ヶ岳コアにみられたオンコイドのコーテックス部分と同様の、分類群不明のチューブ状生物とシアノバクテリアと思われる微小なフィラメントを含む固着性の微生物岩が同層準に多産することから、巨大オンコイドを形成するのと同様の微生物類はアーティンスキアン期の秋吉礁に排他的に広く繁栄したと考えられる。また、両コアには陸上露出組織を伴う不整合面で介される堆積シーケンスが多数確認された。堆積シーケンスはGondwana氷床の最盛期でもある最後期石炭紀グゼリアン期から最前期ペルム紀アセリアン期では極めて薄いものが多数累重するが、アーティンスキアン期からは次第に層厚が大きくなり、その後、堆積シーケンスの下部に干潟堆積物を伴うようになることが北山コアでも確認された。つまりアーティンスキアン期頃から堆積シーケンスの累重様式に変化を与えるような海水準変動パターンの変化があったことが推測された。

このように、パンサラッサ海の環礁では、アーティンスキアン期頃に礁生態系及び礁堆積システムに大きな変化が生じたことが明らかになった (Nakazawa et al., 2015b)。

また Gondwana 氷床が衰退して温暖になったと考えられる中期ペルム紀の礁成石灰岩 (礁中核部の石灰岩) を秋吉石灰岩から新たに見だし、大型研磨標本の観察をもとに礁構造を記載した。その結果、この礁成石灰岩には海綿類を中心とした原地性礁構造が保存されていること、そして既報の同時期のラグーンの内海綿マウンドと比較して大型の内海綿類が多く、後期石炭紀の前期に多いとされる海綿類ケータテスも普通にみられること、海綿類の個体間には微生物によるバインディングが発達し堅牢なフレームワークを形成していたことが明らかとなった。これにより中期ペルム紀はパンサラッサ海域の海洋島では海綿類が礁を形成していたことが確実となった (Nakazawa et al., 2015a)。

これまでの我々の調査を総合すると、以下に示す造礁性生物群集変遷が確認できる。秋吉石灰岩をはじめとするパンサラッサ海域の海洋島の礁では、Gondwana 氷床の最盛期である石炭紀最後期からペルム紀最前期にかけては北方要素である石灰藻類 *Palaeoaplysina* が主要な造礁生物であったが、Gondwana 氷床が衰退する気候期転換期には *Palaeoaplysina* は衰退し、それに伴い主要な造礁性後生動物が不在になったことで相対的に微生物類が多くなった。これにより巨大オンコイドを含む微生物岩が多産するに至った。そして、中期ペルム紀には温暖域に多いとされる海綿類が造礁生物として卓越するようになった。この海綿類には Gondwana 氷床最盛期以前に繁栄したケータテス類も含まれる。つまり、Gondwana 氷床の衰退後にケータテスが改めて主要造礁生物の地位を獲得したことになる。このように、この時期のパンサラッサ海洋島の造礁生物群集は長期の気候期転換に極めて敏感に反応したことが明らかになった。この変化は、Gondwana 氷床の衰退及びパンサラッサでのスーパーブルームのパルス (ca.280 Ma) のタイミングで生じている。

また秋吉帯の石炭紀-ペルム紀の海洋島起源の石灰岩について年代・堆積環境ごとにリン含有量を測定した結果、礁中核部では石炭紀のビゼーアン期、サブコピアン期及びグゼリアン期に比べてバシキーリアン期及びモスコピアン期にリン含有量が高いものがしばしばみられること、背礁ではそれらの年代でもリン含有量が低いことが明らかになった。また、リン含有量は石灰岩中に二次的に沈積するとされる鉄やアルミニウムの含有量とは相関がみられないことから、リンが初生的であることがうかがえる。バシキーリアン期及びモスコピアン期にかけて礁周辺の海水は栄養塩が豊富であったことが推定され、その要因として同時期のパンサラッサ

海におけるスーパーブルームの活動とそれに伴う海水準の上昇や湧昇流の存在が考えられた (坂田ほか, 2015)。

< 引用文献 >

Ichiyama, Y., Ishiwatari, A., Koizumi, K. (2008) Progenesis of greenstones from the Mino-Tamba belt, SW Japan: Evidence for an accreted Permian oceanic plateau. *Lithos*, Vol. 100, 127–146.

Nakazawa, T., Igawa, T., Ueno, K., Fujikawa, M. (2015a) Middle Permian sponge-microencruster reefal facies in the mid-Panthalassan Akiyoshi atoll carbonates: observations on a limestone slab. *Facies*, Vol. 61, 15.

Nakazawa, T., Ueno, K., Nonomura, N., Fujikawa, M. (2015b) Microbial community from the Lower Permian (Artinskian-Kungurian) paleoclimatic transition, mid-Panthalassan Akiyoshi atoll, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 420, 116–127.

坂田健太郎・中澤 努・岡井貴司・上野勝美 (2015) 秋吉帯の海洋島起源の石炭紀-ペルム紀石灰岩におけるリンの偏在、地質調査研究報告. Vol. 66, 199–212.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

中澤 努、井川敏恵、上野勝美、藤川将之、国内産古生代大理石石材の岩相とその成因、石灰石、査読無、no. 399、2016、20–43

上野勝美、中澤 努、藤川将之、山口県秋吉台地域産の大理石石材「黒霞」から産するフズリナ化石、秋吉台科学博物館報告、査読無、51号、2016、9–23

Nakazawa, T., Igawa, T., Ueno, K., Fujikawa, M., Middle Permian sponge-microencruster reefal facies in the mid-Panthalassan Akiyoshi atoll carbonates: observations on a limestone slab, *Facies*, 査読有, Vol. 61, 2015, 15
DOI: 10.1007/s10347-015-0443-7

Nakazawa, T., Ueno, K., Nonomura, N., Fujikawa, M., Microbial community from the Lower Permian (Artinskian-Kungurian) paleoclimatic transition, mid-Panthalassan Akiyoshi atoll, Japan, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 査読有, Vol. 420, 2015, 116–127
DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.12.015

坂田健太郎、中澤 努、岡井貴司、上野勝美、秋吉帯の海洋島起源の石炭紀-ペルム紀石灰岩におけるリンの偏在、地質調査研究報告、査読無、Vol. 66、2015、199–212

DOI: 10.9795/bullgsj.66.199

中澤 努、上野勝美、乾 睦子、鎌田光美、
東京都日の出町産大理石石材「青梅石」、
GSJ地質ニュース、査読無、Vol. 4、2015、
283–284
https://www.gsj.jp/data/gcn/gsj_cn_vol4.no10_283-284.pdf

中澤 努、藤川将之、上野勝美、山口県美
祢市産大理石石材「霞」にみられる石炭-
ペルム紀の造礁生物群、GSJ地質ニュース、
査読無、Vol. 4、2015、129–130
https://www.gsj.jp/data/gcn/gsj_cn_vol4.no5_129-130.pdf

Ueno, K., Arita, M., Meno, S., Sardud, A.,
Saesaengseerung, D., An Early Permian
fusuline fauna from southernmost Peninsular
Thailand: Discovery of Early Permian
warming spikes in the peri-Gondwanan
Sibumasu Block, *Journal of Asian Earth
Sciences*, 査読有, Vol. 104, 2015, 185–196
DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.10.030

Yoshimura, T., Suzuki, A., Tamenori, Y.,
Kawahata, H., Micro-X-ray
fluorescence-based comparison of skeletal
structure and P, Mg, Sr, O and Fe in a fossil of
the cold-water coral *Desmophyllum* sp., NW
Pacific, *Geo-Marine Letters*, 査読有, Vol. 34,
2014, 1–9
DOI: 10.1007/s00367-013-0347-x

Tamenori, Y., Yoshimura, T., Nguyen, T. L.,
Hasegawa, H., Suzuki, A., Kawahata, H.,
Iwasaki, N., Identification of the chemical
form of sulfur compounds in the Japanese
pink coral (*Corallium elatius*) skeleton using
 μ -XRF/XAS speciation mapping, *Journal of
Structural Biology*, 査読有, Vol. 186, 2014,
214–223

Yoshimura, T., Tamenori, Y., Kawahata, H.,
Suzuki, A., Fluctuations of sulfate, S-bearing
amino acids and magnesium in a giant
clam shell. *Biogeosciences*, 査読有, 11,
1613-1629
DOI: 10.5194/bg-11-1-2014.

Ohki, S., Irie, T., Inoue, M., Shinmen, K.,
Kawahata, H., Nakamura, T., Kato, A., Nojiri,
Y., Suzuki, A., Sakai, K., R. van
Woesik, Calcification responses of symbiotic
and aposymbiotic corals to near-future levels
of ocean acidification, *Biogeosciences*, 査読
有, Vol. 10, 2014, 1–8
DOI: 10.5194/bg-10-1-2013.

Inoue, M., Ishikawa, D., Miyaji, T., Yamazaki,
A., Suzuki, A., Yamano, H., Kawahata, H.,
Watanabe, T., Evaluation of Mn and Fe in
coral skeletons (*Porites* spp.) as proxies for
sediment loading and reconstruction of 50 yrs
of land use on Ishigaki Island, Japan, *Coral
Reefs*, 査読有, Vol. 33, 2014, 363–373

Kawahata, H., Nomura, R., Matsumoto, K.,
Nishi, H., Linkage of rapid acidification
process and extinction of benthic foraminifera
in the deep sea at the Paleocene/Eocene
transition, *Island Arc*, 査読有, Vol. 24, 2015,
301–316
DOI: 10.1111/iar.12106

Ueno, K., Hayakawa, N., Nakazawa, T., Wang,
Y., Wang, X. D., Pennsylvanian-Early
Permian cyclothemic succession on the
Yangtze Carbonate Platform, South China,
*Geological Society, London, Special
Publications*, 査読有, Vol. 376, 2013,
235–267
DOI: 10.1144/SP376.5

Wang, X. D., Qie, W. K., Sheng, Q. T., Qi, Y.
P., Wang, Y., Liao, Z. T., Shen, S. Z., Ueno,
K., Carboniferous and Lower Permian
sedimentological cycles and biotic events of
South China, *Geological Society, London,
Special Publications*, 査読有, Vol. 376, 2013,
33–46
DOI: 10.1144/SP376.11

Crippa, G., Angiolini, L., Van Waveren, I.,
Crow, M. J., Hasibuan, F., Stephenson, M. H.,
Ueno, K., Brachiopods, fusulines and
palynomorphs of the Mengkarang Formation
(Early Permian, Sumatra) and their
palaeobiogeographical significance, *Journal of
Asian Earth Sciences*, 査読有, Vol. 79, 2013,
206–223
DOI: 10.1016/j.jseaes.2013.09.030

Kuroyanagi, A., da Rocha, R.E., Bijima, J.,
Spero, H.J., Russell, A.D., Eggins, S.M.,
Kawahata, H., Effect of dissolved oxygen
concentration on planktonic foraminifera
through laboratory culture experiments and
implications for oceanic anoxic events, *Marine
Micropaleontology*, 査読有, Vol. 101, 2013,
28–32
DOI: 10.1016/j.marmicro.2013.04.005

Tanaka, Y., Iguchi, A., Inoue, M., Mori, C.,
Sakai, K., Suzuki, A., Kawahata, H.,
Nakamura, K., Microscopic observation of
symbiotic and aposymbiotic juvenile corals in
nutrient-enriched seawater, *Marine Pollution
Bulletin*, 査読有, 68, 2013, 93–98

Manaka, T., Ushie, H., Araoka, D., Yasuhara, M., Inamura, A., Suzuki, A., Kawahata, H., Rapid alkalization in Lake Inawashiro, Fukushima, Japan: implications for future changes in the carbonate system of terrestrial waters, *Aquatic Geochemistry*, 査読有, 19, 2013, 281–302
DOI: 10.1007/s10498-013-9195-6

- ⑳ Araoka, D., Yokoyama, Y., Suzuki, A., Goto, K., Miyagi, K., Miyazawa, K., Matsuzaki, H., Kawahata, H., Tsunami recurrence revealed by Porites coral boulders in the southern Ryukyu Islands, Japan, *Geology*, 査読有, Vol. 41, 2013, 919–922
DOI:10.1130/G34415.1
- ㉑ Ohki, S., Irie, T., Ioue, M., Shinmen, K., Kawahata, H., Nakamura, T., Kato, A., Nojiri, Y., Suzuki, A., Sakai, K., van Woesik, R., Symbiosis increases coral tolerance to ocean acidification, *Biogeosciences Discussion*, 査読有, Vol. 10, 2013, 7013–7030
DOI: 10.5194/bgd-10-7013-2013
- ㉒ Yoshimura, T., Tamenori, Y., Suzuki, A., Nakashima, R., Iwasaki, N., Hasegawa, H., Kawahata, H., Element profile and chemical environment of sulfur in a giant clam shell: insights from μ -XRF and X-ray absorption near-edge structure, *Chemical Geology*, 査読有, Vol. 352, 2013, 170–175
DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.05.035

[学会発表](計9件)

中澤 努、上野勝美、造礁生物の進化と礁成炭酸塩岩の形成、日本堆積学会 2016 年福岡大会、2016 年 3 月 6 日、福岡大学(福岡県福岡市)

中澤 努・上野勝美、秋吉帯石炭—ペルム紀石灰岩における造礁生物としての海綿類の消長、日本地質学会第 122 年学術大会、2015 年 9 月 12 日、信州大学(長野県長野市)

Nakazawa, T., Ueno, K., Fujikawa, M., Flourishing microbial community during the Early Permian paleoclimatic transition on the mid-Panthalassan Akiyoshi atoll (SW Japan), XVIII International Congress on the Carboniferous and Permian, 2015.8.15, Kazan (the Russian Federation)

中澤 努、上野勝美、藤川将之、前期ペルム紀気候期転換期の礁環境におけるマイクロブの多産：秋吉石灰岩の例、日本古

生物学会 2015 年年会、2015 年 6 月 28 日、産業技術総合研究所(茨城県つくば市)

中澤 努、秋吉帯石灰石鉱床におけるリンの偏在の実態解明とその要因に関する研究、第 74 回石灰石鉱業大会、2015 年 5 月 26 日、都市センターホテル(東京都千代田区)

中澤 努、井川敏恵、藤川将之、上野勝美、秋吉産大理石石材にみられる中期ペルム紀の海綿-被覆性微生物群集、日本地質学会第 121 年学術大会、2014 年 9 月 15 日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

中澤 努・上野勝美・藤川将之、石炭—ペルム系秋吉石灰岩の堆積相と陸上露出組織・シーケンス境界、日本堆積学会 2014 年山口大会、2014 年 3 月 16 日、山口大学(山口県山口市)

中澤 努・上野勝美、野々村奈美、藤川将之、秋吉石灰岩下部ペルム系 Artinskian における巨大オンコイド・微生物岩の多産と干潟堆積物の発達、日本古生物学会第 163 回例会、2014 年 1 月 25 日、兵庫県立人と自然の博物館(兵庫県三田市)

中澤 努、上野勝美、藤川将之、秋吉帯石灰岩におけるオンコイドの産出層準と形態及び形成生物について、日本地質学会第 120 年学術大会、2013 年 9 月 14 日、東北大学(宮城県仙台市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

中澤 努 (NAKAZAWA, Tsutomu)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長
研究者番号：50357620

(2)研究分担者

上野 勝美 (UENO, Katsumi)
福岡大学・理学部・教授
研究者番号：90241786

川幡 穂高 (KAWAHATA, Hodaka)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号：20356851

(3)連携研究者

岡井 貴司 (OKAI, Takashi)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長
研究者番号：20356679