

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18740316

研究課題名 (和文) フランスにおける白亜紀海洋無酸素事変の高分解能解析

研究課題名 (英文) High resolution analysis of the Cretaceous Oceanic Anoxic Events in France

研究代表者 高嶋 礼詩 (Reishi Takashima)

北海道大学・創成科学共同研究機構・特任助教

研究者番号：00374207

研究成果の概要：白亜紀中期に発生した海洋無酸素事変のうち、フランスに露出する白亜紀前期の OAE 1b 層 (約 1 億 1000 万年前) と白亜紀後期の OAE 2 層 (約 9350 万年前) について高分解能で解析を行った。その結果、OAE 1b に関しては、海洋循環の停滞と陸からの栄養塩の供給の増加の両方の要因が重なった時により発生し、数千年サイクルで無酸素水塊の発達と解消が繰り返されていたことがわかった。一方、OAE 2 に関しては、陸からの栄養塩の供給はそれほど影響がなく、海洋循環の停滞が主要な原因であることが示された。無酸素水塊の発達は OAE 1b では表層には及ばなかったのに対して、OAE 2 は表層のかなり浅い部分まで無酸素状態であったことが示唆され、両イベントでは形成原因や無酸素水塊の発達規模、海洋生物への影響が異なっていたことが明らかになった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	2,000,000	0	2,000,000
19 年度	1,200,000	0	1,200,000
20 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	150,000	3,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：フランス、白亜紀、海洋無酸素事変、浮遊性有孔虫、炭素同位体。

## 1. 研究開始当初の背景

地球は過去20億年以上にわたり、温室期と氷室期を繰り返しながら現在に至っている。現在は比較的寒冷な氷室期に相当するが、近年、人類による工業活動によって地球温暖化が進行しつつある。そこで、地球の平均気温の上昇に伴って、将来どのように環境が変化するかを知ることは重要である。本研究のターゲットである白亜紀は、最も現在に近い時代に起こった温室期であり、温暖化した地球の環境や物質循環メカニズムを解明するのに良いケーススタディーとなる。

白亜紀の温暖化の原因としては、スーパーブルームと呼ばれる地球内部からの大規模な熱の上昇によって、主に太平洋地域で火成活動 (海洋地殻生産量) が活発化し、大量の二酸化炭素が地球表層に放出された結果、温室効果が増加したためと考えられている。一方、この時代には海洋の中層から深層に無酸素水塊が広域に発達し、有機物に富む堆積物が頻繁に堆積した。海洋無酸素事変と呼ばれるこのイベントは、二酸化炭素を吸収して、有機物として炭素を海底の地中に閉じこめたため、地球表層における二酸化炭素濃度の低下と寒

冷化を引き起こし、温室期の地球におけるサーモスタットの役割を果たしていた可能性が高い。しかしながら、各海洋無酸素事変の発生メカニズムや規模、地球の気候への寄与などの詳細は未だ解明には至っていない。

## 2. 研究の目的

フランス南東部のボコンチアン堆積盆地東部に位置するBarreme周辺には、白亜紀中期の各海洋無酸素事変（Weissert Event, Faraoni Event, OAE 1a, OAE 1b, OAE 1c, OAE 1d, Mid Cenomanian Event, OAE 2, OAE 3）によって堆積した黒色頁岩が全て露出している。また、同地域は白亜系中部の模式地でもあり、保存の良い化石が多産することから、黒色頁岩堆積時の年代や堆積速度を算定するのにも理想的な地域である。

本研究では、比較的大規模な2つの海洋無酸素事変（OAE 1bと2）を研究対象とし、黒色頁岩部分において、葉理1枚毎（数mm～数cm）の間隔で堆積物組成・微化石群集の定量を行う高精度の分析によって、海洋無酸素事変という極限的な海洋環境の発達・終息に伴い、どのような海洋微生物が増加あるいは、絶滅していったかを数10～数100年間隔の時間分解能で明らかにすることを第一の目的とした。そして、得られた結果を比較し、各海洋無酸素事変の共通点・相違点を明らかにすることを第二の目的とした。

## 3. 研究の方法

フランス南東部のボコンチアン堆積盆地東部のセクションにおいて、OAE 1b層、OAE 2層を層厚1cm～数cm間隔の高解像度で試料の採集を行った。

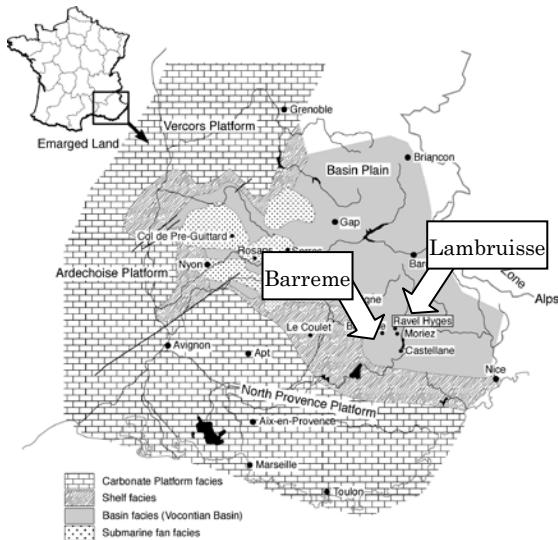


図1. フランス南東部の調査地域

OAE 1b層に関しては、Barremeセクション、OAE 2層に関しては、Lambruisseセクションで試料を採集した（図1）。採取した堆積物試料を粉末にし、炭酸塩の炭素同位体比、全炭酸塩量、全有機炭素量の測定を行った。炭素同位体比に関しては、測定値より炭素同

位体比曲線（ $\delta^{13}\text{C}$ ）を作成し、後述の浮遊性有孔虫化石の結果と組み合わせて、詳細な年代対比を行った。微化石に関しては採取した堆積岩試料を過酸化水素水、テトラフェニルホウ酸ナトリウムと次亜塩素酸ナトリウムで化学的に溶解処理し、微化石個体を抽出した。岩石の重量あたりの各微化石の個体数を顕微鏡下で計測し、堆積速度と岩石の密度を基に、1年間あたりのフラックス量を計算した。また、浮遊性有孔虫に関しては、80  $\mu\text{m}$  以上のものに関して種を同定し、多様性や各種の個体数の変動を明らかにした。

## 4. 研究成果

### (1) OAE 1b層の成果

OAE 1b層は厚さ2mの黒色頁岩の区間から200試料を観察した。その結果、この黒色頁岩層内部は一様に葉理が発達しているわけではなく、数10cm間隔で、1) 葉理の強い部分、2) わずかな生物擾乱によって葉理構造が不明瞭になっている部分、そして3) 葉理構造がほとんど見られない塊状の部分の繰り返しが見られることが明らかとなった。さらに微化石・堆積物組成を定量した結果、陸源碎屑物、浮遊性有孔虫、放射虫、石灰質ナノ化石の中の *Nannoconus* 属、有機炭素含有量（Total Organic Carbon; TOC）に関しては、葉理の発達する部分で最も多く、塊状の部分で最も少なくなる。一方、底生有孔虫化石に関しては、塊状の部分で多く、葉理の発達する部分では産出しないということが明らかとなった（図2）。また、OAE 1bの区間全体を通して、貧栄養な表層水環境に適応した *Ticinella* 属が消え、富栄養な表層水環境に適応した *Hedbergella* 属を主体とする群集に変化することも明らかとなった。

以上のことから、これまでOAE 1bは海洋の成層構造の強化が主要な原因で、表層は貧栄養であったとされているが、ボコンチアン堆積盆地に関しては、陸からの栄養塩の供給の増加によって、表層が富栄養化し、一次生産が急激に増加した結果、無酸素水塊が形成されていたことが明らかになった。

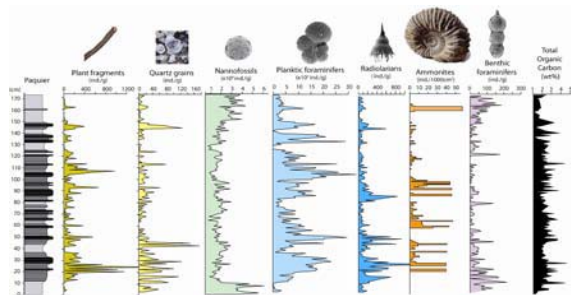


図2: OAE 1bにおける植物片、石英粒子、石灰質ナノ化石、浮遊性有孔虫化石、放射虫化石、アンモナイト化石、底生有孔虫化石、全有機炭素量（TOC）の変化。

## (2) OAE 2 層の結果

フランス南東部のボコンチアン堆積盆地に露出する白亜系中部は、基本的に深海性石灰岩から構成されるが、セノマニアン/チュウロニアン境界には、Thomel Level と呼ばれる黒色頁岩の卓越する約 23m の厚さの地層が挟まる。本研究では、Thomel Level とその上下 10m の区間において、100 試料を採取し、また、黒色頁岩部分に関しては別途、100 試料を採集した。これらの試料に関して、微化石群集、炭素同位体比、TOC、CaCO<sub>3</sub>、生物擾乱の程度について高解像度で検討を行った結果、炭素同位体比が正にシフトする区間 (first build-up phase と second build-up plateau phase) は、生物擾乱が弱い暗灰色泥灰岩や生物擾乱の全く無い黒色頁岩が卓越し、TOC が高く、CaCO<sub>3</sub> の含有量は低いことが明らかとなった。これらの区間では、底生有孔虫が産出せず、*Heterohelix* 属や *Hedbergella* 属、*Schakoina* 属などオポチュニスティックな浮遊性有孔虫種や放散虫をいくつかの層準で産するのみである。一方、炭素同位体比が負にシフトする区間 (trough phase と recovery phase) では、生物擾乱の発達する灰白色泥灰岩と灰色泥灰岩の互層から構成され、TOC は低く、CaCO<sub>3</sub> の含有量は高いことが明らかとなった。これらの区間では、多様な底生・浮遊性有孔虫化石を産出し、特にキールの発達する *Rotalipora* 属、*Marginotruncana* 属、*Dicarinella* 属、*Helvetoglobotruncana* 属の浮遊性有孔虫種を伴う (図 3)。以上の結果から、フランスの

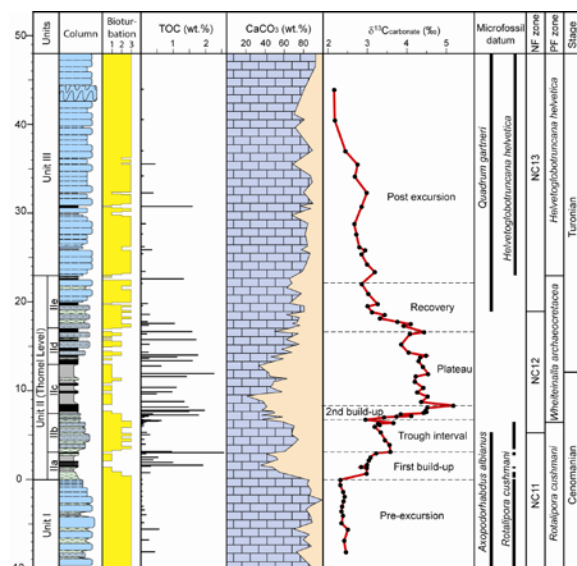


図 3: OAE 2 (Thomel Level) における柱状図, 生物擾乱程度, 全有機炭素量, 全炭酸塩量, 安定炭素同位体比および浮遊性有孔虫化石と石灰質ナノ化石の変化。

ボコンチアン堆積盆地の OAE 2 では、炭素同位体比が正にシフトする層準では無酸素

水塊が発達し、負にシフトする層準では酸化的な環境になっており、炭素同位体比から見積もられるグローバルな無酸素水塊の発達時期と一致している。したがって、フランスのボコンチアン堆積盆地は、OAE 2 の重要なリファレンスセクションとなる可能性を有することが明らかになった。OAE 2 の区間に挟まる複数の黒色頁岩部分に関しては、OAE 1b の解析と同手法で行われた微化石の群集解析と堆積物組成の定量により、この海洋無酸素事変は陸からの栄養塩の供給はそれほど影響がなく、海洋循環の停滞が主要な原因であることが示された。また、OAE 1b 層と異なり、浮遊性有孔虫も黒色頁岩において産出しなくなることから、無酸素水塊の発達は表層のかなり浅い部分まで発達したことが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- (1) Takashima, R., Nishi, H., Hayashi, K., Okada, H., Kawahata, H., Yamanaka, T., Fernando, A. G., Mampuku, M., Litho-, bio- and chemostratigraphy across the Cenomanian / Turonian boundary (OAE 2) in the Vocontian Basin of southeastern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 273, 61-74, 2009. 査読有
- (2) Okano, K., Sawada, K., Takashima, R., Nishi, H., Okada, H., Further examples of archaeal-derived hydrocarbons in mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Event (OAE) 1b sediments. *Organic Geochemistry*, 39, 1088-1091, 2008. 査読有
- (3) Takashima, R., Dick, M. H., Nishi, H., Mawatari, S. F., Nojo, A., Hirose, M., Gautam, P., Nakamura, K., Tanaka, T., Geology and sedimentary environments of the Pleistocene Setana Formation in the Kuromatsunai District, Southwestern Hokkaido, Japan. In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), *Origin and Evolution of Natural Diversity*, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 75-82, 2008. 査読有
- (4) Gautam, P., Takashima, R., Dick, M.H., Kanamatsu, T., Rijal, M.L., Nishi H. and Mawatari, S.F., Rockmagnetic characterization of the Setana and

- Chiraigawa Formations in SW Hokkaido (Soebetsu River, Kuromatsunai). In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 101-107, 2008. 査読有
- (5) Ishimura T., Dick, M.H., Takashima, R., Hirose, M., Gautam, P., Nishi, H. and Tsunogai, U., Experimental study of the use of the stable isotopic composition of calcareous microfossils in shallow marine sediments for reconstructing paleoenvironment, and a comparison with the MART index. In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 109-114, 2008. 査読有
- (6) Komatsu, T., Yoshihara, K., Dick M. H., Takashima, R., Ostrovsky, A., and Nishi, H., Habitats of Bivalves in the Lower-Cretaceous Aptian Tanohata and Aptian to Albian Hiraiga Formations, Iwate Prefecture, Northeastern Japan. In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 163-170, 2008. 査読有
- (7) Dick, M. H., Hirose, M., Takashima, R., Ishimura, T., Nishi, H. and Mawatari, S. F., Application of MART Analysis to Infer Paleoseasonality in a Pleistocene Shallow Marine Benthic Environment. In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 83-91, 2008. 査読有
- (8) Dick, M. H., Takashima, R., Komatsu, T., Kaneko, N., Mawatari, S. F., Overview of Pleistocene Bryozoans in Japan. In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 93-99, 2008. 査読有
- (9) Okano, K., Sawada, K., Takashima, R., Nishi, H. and Okada, H., Depositional Environments Revealed From Biomarkers in Sediments Deposited During the Mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events (OAEs) in the Vocontian Basin (SE France). In H. Okada, S. F. Mawatari, N. Suzuki and P. Gautam (eds.), Origin and Evolution of Natural Diversity, Proc. Int. Symp. "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 1-5 October 2007, Sapporo, pp. 233-238, 2008. 査読有
- (10) Yamamura, M., Kawahata, H., Matsumoto, K., Takashima, R. and Nishi, H., Paleooceanography of the northwestern Pacific during the Albian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 254, p. 477-491. 2007. 査読有
- (11) Takashima, R., Coccioni, R., Nishi, H. and Hayashi, K., Mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events recorded in SE France and central Italy. *Journal of the Geological Society of Japan* vol. 113, p. iii-iv, 2007. 査読有
- (12) Takashima, R., Sano, S., Iba, Y., Nishi, H., The first Pacific record of the Late Aptian warming. *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164, p. 333-339, 2007. 査読有
- (13) Ostrovsky, A. N., Takashima, R., Dick, M. H., Grischenko, A. V., Nishi, H. and Mawatari, S. F., First finding of a Cretaceous cheilostome bryozoan from Hokkaido, Japan. *Cretaceous Research*, vol. 27, p. 859-862, 2006. 査読有
- (14) Takashima, R., Nishi, H., Huber, B. and Leckie, M., Greenhouse world and the Mesozoic ocean. *Oceanography*, vol. 19, 82-92, 2006. 査読有
- (15) Takashima, R., Nishi, H. and Yoshida, T., Late Jurassic-Early Cretaceous intra-arc sedimentation and volcanism linked to plate motion change in northern Japan. *Geological Magazine*, vol. 143, p. 753-770, 2006.. 査読有
- (16) Takashima, R., Gautam, P. and Nishi, H., Recent Advances in Research on Terrestrial and Marine sequences from the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events (OAEs). *Scientific Drilling*, no. 2. p. 50-51, 2006. 査読無
- (17) Fernando, A. G. S., Okada, H., Nishi, H., Takashima, R., Use of a microdrill

for high stratigraphical resolution calcareous nannofossil analysis, and a modified filtration method. *Journal of Nannoplankton Research*, vol. 28, p. 85-87, 2006. 査読有

[学会発表] (計 13 件)

- (1) 中村英人・沢田健・高嶋礼詩, 被子植物バイオマーカーを用いた北海道下部白亜系における被子植物の出現年代の検討. 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 22 日. 秋田.
- (2) 高嶋礼詩・西弘嗣・林圭一・川幡穂高・山中寿朗, フランス南東部の白亜系 Cenomanian/Turonian 境界の統合層序と古環境の検討. 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 21 日. 秋田.
- (3) 高嶋礼詩・西弘嗣・川幡穂高・山中寿朗, フランス南東部ポコンチアン堆積盆地に露出する Thomel Level (OAE2 層準) の統合層序. 日本地球惑星科学連合大会, 2008 年 5 月 26 日. 千葉.
- (4) 岡野和貴・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣, 中期白亜紀海洋無酸素事変 1a および 1b 層準のバイオマーカー分析によるアーキアおよびバクテリアの古生産の復元. 日本地球化学会年会 (第 55 回), 2008 年 7 月 24 日. 東京.
- (5) 石村豊穂・DICK, M., H.・西弘嗣・馬渡駿介・高嶋礼詩・広瀬雅人・GAUTAM Pitambar・角皆潤, 浅海性石灰質微化石殻の微量安定同位体組成定量を用いた環境変動解析とコケムシ温度指標 (MART) 評価への試み. 日本古生物学会例会, 2008 年 2 月 2 日. 宇都宮.
- (6) 近藤謙介・小松俊文・岩本忠剛・高嶋礼詩・西弘嗣・高橋修, 熊本県天草市牛深町に分布する上部白亜系姫浦層群の地質時代. 日本古生物学会例会, 2008 年 2 月 2 日. 宇都宮.
- (7) 岩本忠剛・小松俊文・高橋修・高嶋礼詩・西弘嗣, 熊本県天草上島に分布する上部白亜系姫浦層群の複合生層序と地質時代. 日本古生物学会例会, 2008 年 2 月 2 日. 宇都宮.
- (8) 林圭一・西弘嗣・高嶋礼詩・友杉貴茂, 北海道中央南部富内安住地域に分布する上部白亜系の地質と有孔虫化石層序. 日本地質学会第 114 年学術大会, 2007 年 9 月 12 日. 札幌.
- (9) 高嶋礼詩・西弘嗣・岡田尚武・坂本竜彦・大河内直彦・川辺文久・山中寿朗・長谷川卓, フランス, ポコンチアン堆積盆地の海洋無酸素事変 OAE1b パキール層の高分解能解析. 日本地質学会第 114 年学

術大会, 2007 年 9 月 11 日. 札幌.

- (10) 西弘嗣・友杉貴茂・高嶋礼詩・FERNAND Allan・棚部一成・守屋和佳, 北東太平洋の白亜紀底生有孔虫群集からみた環境変動. 日本地質学会第 114 年学術大会, 2007 年 9 月 11 日. 札幌.
- (11) 高嶋礼詩・西弘嗣・岡田尚武・坂本竜彦・大河内直彦・長谷川卓・山中寿朗, フランス南東部, ポコンチアン堆積盆地の白亜紀海洋無酸素事変 OAE 1b. 日本地球惑星科学連合大会, 2007 年 5 月 22 日. 千葉.
- (12) 岡野和貴・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣, 南東フランス, 白亜紀海洋無酸素事変層準における芳香族チオフェンおよびフラン分析. 日本地球化学会年会講演, 2006 年 9 月 14 日. 東京.
- (13) 高嶋礼詩・西弘嗣・岡田尚武・坂本竜彦・大河内直彦・山中寿朗・川幡穂高・長谷川卓, フランス南東部, ポコンチアン堆積盆地の白亜紀海洋無酸素事変 OAE 1b. 日本地球惑星科学連合大会, 2006 年 5 月 17 日. 千葉.

[図書] (計 1 件)

- (1) 西弘嗣・高嶋礼詩, 2008. 第 4 章: 新生代の海洋環境と気候変動—海洋の長周期変動—, 沢田健ほか編「地球の変動と生物進化—新・自然史科学 II—」. p.67-96. 北海道大学出版会, 札幌.

[その他]

ホームページ等

<http://www.cris.hokudai.ac.jp/takashima/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高嶋 礼詩 (REISHI TAKASHIMA)

### (2) 氏名・所属

北海道大学・創成科学共同研究機構・特任助教

### (3) 研究者番号

00374207