

平成 21 年 6 月 17 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19740318

研究課題名（和文）同位体解剖学を用いた後期白亜紀アンモナイト類の繁殖生態の解明

研究課題名（英文）REPRODUCTIVE ECOLOGY OF THE LATE CRETACEOUS AMMONOIDS INFERRED FROM ISOTOPIIC ANATOMY OF THEIR HARD PART

研究代表者

守屋 和佳（MORIYA KAZUYOSHI）

神奈川大学・総合理学研究所・客員研究員

研究者番号：60447662

研究成果の概要：

海棲生物が形成する炭酸塩殻体の物理化学的組成は、殻体形成時の海水の温度を記録する。そこで、化石として保存されている微生物や、アンモナイト類、あるいは二枚貝類の殻体の分析を行い、白亜紀の大陸棚海に大繁栄していたアンモナイト類や、二枚貝類などの生活様式、特に生息場所や繁殖様式の解明を行った。

その結果、当時の北海道周辺の海洋の表面付近の温度は約 26℃ と高温で、一部の二枚貝類は流木などに付着して生活していたことが明らかになった。また、予察的に行ったジュラ紀のアンモナイト類の分析では、幼期のアンモナイトは低水温場に生息し成長とともに高水温場に移動することが示唆された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	0	1,900,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計			3,590,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位古生物学

キーワード：古生態

1. 研究開始当初の背景

アンモナイト類はおよそ 4 億 2 千万年前のシルル紀後期に地球上に出現したと考えられている軟体動物（頭足類）で、その進化史の中でデボン紀末（約 3 億年前）、ペルム紀末（約 2 億 5 千万年前）、三畳紀末（約 2 億年前）などの大量絶滅を経て、白亜紀末（約 6 千 5 百万年前）に地球上から完全に姿を消

した。アンモナイト類はこの 3 億 5 千万年間のなかで、海洋の広い範囲に繁栄し、その多様性変動が海水準変動と調和的であるなど、地球史を通じた環境変動と密接に関連した進化史を有することから、古環境変動とそれに呼応する生物多様性変動を知る上で重要な生物の一つである。一方、白亜紀の海洋に繁栄した海棲は虫類であるモササウルスが

アンモナイト類を捕食していた可能性が指摘されるなど (Kauffman, 2004), アンモナイト類の生態や多様性変動が, 海洋の食物網や海棲は虫類の進化史にも少なからず影響を及ぼしたことが予想される。

にもかかわらず, これまでのアンモナイト類に関する研究の多くは, 記載博物学的な研究や, 化石殻体の形態計測, ないしある種の仮定に基づく演繹的機能形態学的研究, あるいは, アンモナイト類を堆積物の一粒子とみなした, 死後の殻体運搬などの堆積学的研究が主に行われ, 直接生息時の生態を検討した例は極めて限られているのが現状であった。

Moriya et al. (2003)では, 化石殻体の酸素同位体比分析という, 物理化学的手法を導入することで, アンモナイト類の生息水深の解析を試み, アンモナイト類の成体は海底付近に生息する底性遊泳 (浮遊) 性であることが判明した。つまり, アンモナイト類は, それまで殻体外形の類似性から漠然と信じられてきた現世オウムガイ的な移動遊泳式の生態ではなく, アンモナイト類により近縁の頭足類である, 現世コウイカやタコなどのような底層着底式の生活様式であったと推測されるに至った。

ところが, 現世コウイカの各々の種の地理的分布は地域的に限定されているのに対し, 白亜紀のアンモナイト類の一部はその地理的分布が汎世界的であるという大きな違いがある。成体の生活様式がほぼ同一であると考えられるにも関わらず, その地理的分布様式が大きく異なるということは, 幼少期, 特に孵化前ないし, 孵化直後の生態に違いがあることが予測される。また, 幼少期の生態が異なることは, 現世コウイカ, 例えばヨーロッパコウイカ (*Sepia officinalis*) の卵サイズが約 6~9 mm と比較的大型で, それらの卵を海底に生み着けるのに対し (Boletzky, 1983; Onsoy and Salman, 2005), これまで報告されている白亜紀のアンモナイト類の卵サイズ, あるいは, 孵化前に形成された殻体の大きさは 2 mm 以下と小型であることから推測される (Shigeta, 1993; Landman et al., 1996)。

一方, コウイカの卵が大型で海底固着式であるのに対し, 海洋性のイカであるソデイカ (*Thysanoteuthis rhombus*) の卵は約 3 mm と小型で 2 万個以上の卵をゼラチン状の浮遊性卵塊に入れて海洋表層に拡散することが知られており (Suzuki et al., 1979; Guerra et al., 2002), その成体の地理的分布も汎世界的である。従って, 成体の分布域と卵サイズを考慮すると, 白亜紀のアンモナイト類も, ソデイカのような浮遊性の卵塊によって分布域を拡大していた可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究では, 上記の学術的背景を鑑み, アンモナイト類の地理的分布の規制要因となったと考えられる, アンモナイト類の産卵様式及び幼少期の生態を明らかにすることを目的とする。しかし, そのためには, アンモナイト類の生態を客観的に評価するための独立の指標を構築することが重要である。そこで, まずは, 背景となる白亜紀の海洋の温度環境の解析を行う。また, アンモナイト類と同時代に生息し, 成体は固着性の生活様式を持ち, 浮遊性の幼生により分布を拡大していたと考えられる他の大型軟体動物であるイノセラムス類 (二枚貝類) の生活様式も併せて解析する。これにより, アンモナイト類の分布と生活様式との関係の独自性, ないし異なる生物種に共通の普遍性を議論することが可能となる。

このようにして得られたアンモナイト類の幼期の生態情報と, 海洋の温度環境情報を独立に評価することにより, 後期白亜紀の代表的な海洋生物であったアンモナイト類の分布と多様性変動を支配していたメカニズムの解明を目指す。

3. 研究の方法

まず, 白亜紀の海洋の温度構造を明らかにするために, 北海道に分布する白亜系や, 国際深海掘削計画により採取された深海底堆積物から産出する有孔虫化石の酸素同位体比分析を行った。分析には, 産出した有孔虫化石のなかから, 極めて保存の良いものだけを抽出し, 独立行政法人産業技術研究所現有の質量分析計を使用した。

次に, アンモナイト類と同様に白亜紀の大陸棚海に広く反映した二枚貝類である, イノセラムス類の生活様式を明らかにするために, 北海道に分布する白亜系から採取されたイノセラムス類化石殻体の酸素同位体比分析を行った。

また, アンモナイト類の幼期の生息場を明らかにするために, まずは, 世界でも最も保存がよく, 成体から幼殻までが完全に保存されているポーランド産のジュラ紀のアンモナイト類, *Quenstedtoceras* の殻体の酸素同位体比分析を行った。

4. 研究成果

(1) 白亜紀の海洋温度構造

白亜紀は, 高緯度地域からも恐竜を含むは虫類の化石や, 現在では熱帯地域に繁茂する植物の化石が産出することから, 南極大陸には氷床のない, 極めて温暖な時代であったと考えられてきた。一方, 具体的な海水温, 特に赤道から高緯度地域にかけての表層海水

温の緯度勾配などについては、近年徐々に明らかになりつつあるものの、未だに不明な点も多い。そこで、本研究では、まず、高緯度地域に熱を分配するための熱源であり、季節的な温度変化も小さい赤道地域の海水温を解析し、当時の海洋表層水温の大局的な経時変動について議論した。

解析には国際深海掘削計画によって、赤道大西洋から得られた海底堆積物を用い、本研究費にて導入したカールツァイスマイクロイメージング社の実体顕微鏡 SteREO Discovery.V12 にて、有孔虫化石を堆積物中から抽出し、観察を行った。顕微鏡下で殻室内が中空で、殻体も透明のガラス質殻体のみを選別し、それらの殻体の酸素同位体比測定を行った。その結果、白亜紀中期の赤道大西洋地域の表層水温は約 34 °C にも達す

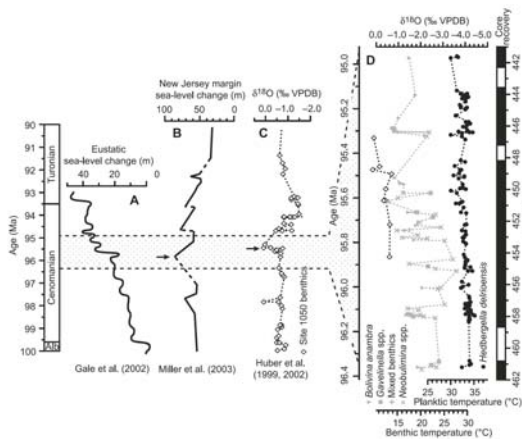


Fig.1. Eustatic sea-level estimations and oxygen isotope records for 100–90 Ma. Shading indicates study interval. A: Eustatic sea-level change from India and England (Gale et al., 2002) relative to oldest sea level. B: Eustatic sea-level changes from New Jersey (Miller et al., 2003) relative to present. Dashed lines indicate inferred changes. C: benthic foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$ for Ocean Drilling Program (ODP) Site 1050 (Huber et al., 1999, 2002). Arrows show sequence boundary and increase in benthic $\delta^{18}\text{O}$ at ODP Site 1050 used by Miller et al. (2003) in support of glaciation. D: Planktic and benthic foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$ and calculated temperatures for ODP Site 1258 (solid symbols) and benthic $\delta^{18}\text{O}$ for ODP Site 1050 (open diamonds). Temperatures were calculated with equation 1 of Bemis et al. (1998), assuming global Cretaceous mean δ_w (isotopic composition of mean global water) = -1.27‰ (vs. Vienna Peedee belemnite [VPDB]; Shackleton and Kennett, 1975). For planktics, local δ_w is adjusted for latitudinal gradients in surface water δ_w , assuming paleolatitude is 5°N (Norris et al., 2002; Wilson et al., 2002). med—meter composite depth. After Moriya et al. (2007)

ることが明らかとなった (Moriya et al., 2007; Fig. 1)

また、近年、このような温暖な時代であった白亜紀においても、南極大陸に氷床が存在した可能性が議論されるようになり、関連研究者の注目を集めている。そこで、本研究でもこの問題を議論するために、同一の堆積物試料から産出した浮遊性、および底生有孔虫化石の酸素同位体比の比較を行った。南極に大規模な大陸氷床が形成された場合、全球の海水の酸素同位体組成が変化すると考えら

れることから、浮遊性と底生有孔虫の両者に同様な規模の酸素同位体比変動が記録されることになる。本研究では、Miller et al. (2003)などにより、南極氷床が形成されたときとされている時代の解析を行ったところ、底生有孔虫の酸素同位体比には大きな振幅を持った変化が認められるものの、浮遊性有孔虫の結果からは、そのような変動は認められなかった (Fig. 1)。従って、この時期に大規模な南極氷床の拡大イベントは存在しなかったものと考えられる。一方で、底生有孔虫の記録に認められた大きな変化は、当時やや閉鎖的な海域であった、北大西洋における、固有の底層水の形成を示していると解釈される (Friedrich et al., 2008)。底生有孔虫化石殻体中の Mg/Ca 元素比の変動を考慮すると、酸素同位体比の変動は温度の変化ではなく、地域的な海水の酸素同位体比組成の変化、すなわち塩分の変化であると考えられ、当時の北大西洋で高塩分の暖かい底層水が形成さ

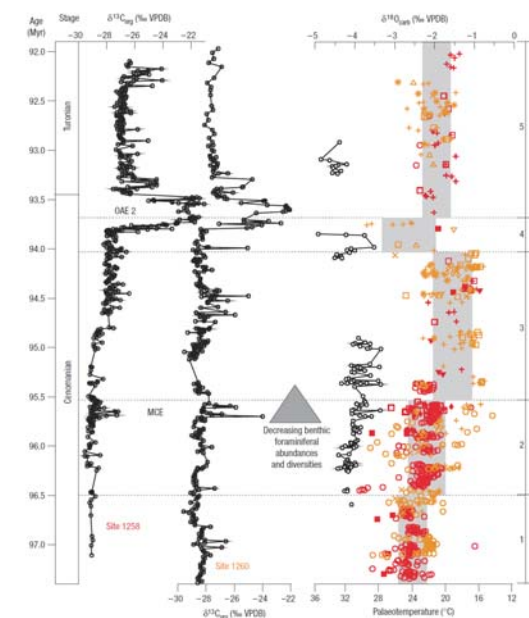


Fig.2. $\delta^{18}\text{O}$ for planktic (black) and benthic foraminifera of sites 1258 (orange) and 1260 (red). Planktic foraminifera: *Hedbergella delrioensis* (open black circles, site 1258); benthic foraminifera: *Bolivina anambra* (horizontal crosses), *B. cf. incrassate* (open downward triangles), *Gavelinella dakotensis* (open squares), *G. intermedia* (diagonal crosses), *Gavelinella* spp. (asterisks), *Lenticulina* spp. (open upward triangles), *Neobulimina albertensis* (circles), *Osangularia schloenbachi* (open diamonds), *Praebulimina proluxa* (filled diamonds), *Tappanina* sp.1 (filled squares), mixed benthics (filled downward triangles). Grey fields 90% of data around interval mean. MCE: Middle Cenomanian event. After Friedrich et al. (2008).

れていたことが示唆された (Friedrich et al., 2008; Fig. 2)。

続いて、白亜紀の中緯度地域における海洋の温度構造を明らかにするために、北海道に分布する白亜系から産出した有孔虫化石の酸素同位体比分析を行った。調査対象とした地域の古水深は、およそ 300 ~ 400m と考えら得ることから、浮遊性有孔虫化石から得られた結果は表層付近の海水温を、また、底生

有孔虫化石から得られた結果は、海洋の上～中層付近の海水温を反映しているものと考えられる。分析には上記の低緯度地域の解析に用いたものと同様に、殻室内が中空でガラス質の殻体が保存された個体のみを用いている。

その結果、表層付近の海水温は、およそ 26 で、上～中層付近の海水温はおよそ 18 であることが明らかとなり、中緯度地域においても、現在の海洋と比較すると極めて高い海水温であったことが改めて示された。

(2)イノセラムス類の生息水深

次に、上記の中緯度地域の海水温度構造の解析を行った地域と同地域から得られた大型軟体動物である、イノセラムス類(二枚貝類)の生息水深を明らかにするために、その化石殻体の酸素同位体比分析を行った。すでに有孔虫化石の分析により、表層および、海底の海水温が明らかになっているので、イノセラムス化石殻体の酸素同位体組成から殻体の形成水温を算出することにより、水柱中での生息水深が明らかになると期待される。

イノセラムス類の殻体は、方解石の稜柱構造からなる外層と、アラレ石の真珠構造からなる内層との大きく 2 層から構成されるが、本研究ではアラレ石の内層を対象として分析を行った。分析試料には、真珠構造が完全に保存されている個体のみを用いた。その結果、同一の種であっても、表層付近の海水温を示すものと、海底付近の海水温を示すものとの 2 つのグループに分かれることが明らかになった。

イノセラムス類は、まれに、沈木の化石に付着した状態で産出することが報告されており、このような産状から海面に漂う流木に付着していたと考えられることがあった。一方で、極めて大型になる個体も存在することから、海底の泥底上に横たわって生息するとの解釈も行われきた。本研究の結果からは、同一の種であっても、その殻体に記録された酸素同位体組成が大きく異なるものが存在することから、表層付近に生息するグループと、海底に生息するグループの 2 つが存在したことが示唆される。つまり、足糸を用いて流木に付着するなどして海面付近に生息するものと、海底面上で固着生活をおくるものとの 2 つの生活様式が同一種内に存在していたものと解釈することができる。

(3)幼期のアンモナイト類の生態

本研究では、海洋の温度構造などの基礎的な情報がすでに明らかにされつつある白亜紀のアンモナイト類を対象として、幼期の個体の生息水深などの古生態を議論することを目的としているが、これまでのところ、分析に耐えうる保存状態の個体が得られてい

ない。そこで、まず、時代は異なるものの、成体殻から幼殻までが極めてよく保存されたジュラ紀のアンモナイト類である、*Quenstedtoceras* の解析を試みた。その結果、成体殻はほぼ一定の酸素同位体組成を示すのに対し、幼殻から成体殻への移行期には、酸素同位体比が高い値から低い値へと変化することが示された。従って、卵、ないし幼期には低水温の領域で成長し、幼殻から成体殻に移行するにつれ、より高温の生息場へと移動したことが示唆される。さらに、成体に達した後は、ほぼ一定の生息場所にとどまっていたと考えられる。

この結果から、アンモナイト類は成体期と幼期では生息場所が異なることが予測され、今後は、海洋の温度構造などの情報がより多く蓄積されている白亜紀においても同様の解析を行い、アンモナイト類の分布と地球環境の寒暖変動との関連についての議論を行っていく。

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 5 件)

1. Friedrich, O., Erbacher, J., Wilson, P.A., Moriya, K. and Mutterlose, J., 2009. Paleoenvironmental changes across the Mid Cenomanian Event in the tropical Atlantic Ocean (Demerara Rise, ODP Leg 207) inferred from benthic foraminiferal assemblages. *Marine Micropaleontology*, 71, p.28-40. 査読有り
2. 守屋和佳, 長谷川卓, 成瀬貴洋, 瀬尾草平, 根本俊文, 鈴木崇章, 森本このみ, 2008. 白亜紀中期・セノマニアン/チューロニアン境界の絶滅事変時における有孔虫化石群組成の超高解像度解析. *地学雑誌*, 117, p. 878-888. 査読有り
3. 守屋和佳, 2008. 生物源炭酸塩の続成変質過程 - 地質時代の古水温復元に向けて - . *月刊地球*, 30, p. 329-337. 査読無し
4. Friedrich, O., Erbacher, J., Moriya, K., Wilson, P.A. and Kuhnert, H., 2008. Evidence for warm saline intermediate waters in the Cretaceous tropical Atlantic Ocean. *Nature Geoscience*, 1, p. 453-457. 査読有り
5. Moriya, K., Wilson, P.A., Friedrich, O., Erbacher, J., and Kawahata, H., 2007. Testing for ice-sheets during the mid-Cretaceous greenhouse using

glassy foraminiferal calcite from the mid-Cenomanian tropics on Demerara Rise. *Geology*, 35, p. 615-618. 査読有り

〔学会発表〕(計16件)

1. Hasegawa, T., Moriya, K., Naruse, T., Seo, S., and Nemoto, T., 2008. Paleo-Kuroshio hypothesis: a possible mechanism of paleoceanographic change at off-East Asian Pacific during Cretaceous Oceanic Anoxic Event 2 (latest Cenomanian). 3rd Symposium of the International Geological Correlation Programme Project 507. Ulaanbaatar. 2008年8月16日.
2. 守屋和佳・西 弘嗣・川幡穂高, 2008. 酸素同位体比に基づく白亜紀後期の北西太平洋中緯度地域における海水温変動とアンモナイト化石群の分布. 日本古生物学会 2008 年年会 .C15 .仙台 .2008 年 7 月 6 日 .
3. 成瀬貴洋・長谷川卓・守屋和佳・瀬尾草平, 2008. 白亜紀中期の海洋無酸素事変(OAE2)と北西太平洋域の浮遊性有孔虫イベント. 日本古生物学会 2008 年年会 . C13 . 仙台 . 2008 年 7 月 6 日 .
4. 守屋和佳, 川幡穂高, 2008. 生物源炭酸塩を用いた絶滅生物の古生態復元 - 殻体に記録される生息域情報 - . 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「バイオミネラリゼーションと石灰化 - 遺伝子から地球環境まで - .」. 中野. 2008 年 6 月 21 日 .
5. 守屋和佳, 川幡穂高, 2008. Oxygen isotopic records for the dual habitat of the Late Cretaceous inoceramid bivalves. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会 . B102-004 . 幕張 . 2008 年 5 月 28 日 .
6. 長谷川卓, 瀬尾草平, 成瀬貴洋, 根本俊文, 守屋和佳, 2008. 白亜紀OAE2期の東アジア沖太平洋の古海洋環境仮説: 浮遊性有孔虫はなぜいないのか? . 日本地球惑星科学連合 2008 年大会 . L133-018 . 幕張 . 2008 年 5 月 28 日 .
7. 守屋和佳, 西 弘嗣, 川幡穂高, 2008. 有孔虫化石の酸素同位体比に基づく白亜紀後期の北西太平洋中緯度地域における海水温変動 MRC研究発表会 2008 . O-3 . 札幌 . 2008 年 3 月 3 日 .
8. 長谷川卓, 瀬尾草平, 成瀬貴洋, 根本俊文, 守屋和佳, 2008. 白亜紀OAE2期の東アジア沖太平洋: 浮遊性有孔虫の「雲隠れ」と「リバイバル」現象の古海洋学的意義. MRC研究発表会 2008 . P-6 . 札幌 . 2008 年 3 月 3 日 .
9. 守屋和佳, 川幡穂高, 2008. 底生か, 擬浮遊性か? 酸素同位体比に基づく後期白亜紀イノセラムス類の生活様式. 日本古生物学会 2008 年例会 . C09 . 宇都宮 . 2008 年 2 月 2 日 .
10. 守屋和佳, Paul A. Wilson, Oliver Friedrich, Jochen Erbacher, 川幡穂高, 2007. 白亜紀に氷床はあったのか? . 日本地質学会第 114 年学術大会 . S-111 . 札幌 . 2007 年 9 月 11 日 .
11. 西弘嗣, 友杉貴茂, 高嶋礼詩, Allan Fernand, 棚部一成, 守屋和佳, 2007. 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 . S-108 . 札幌 . 2007 年 9 月 11 日 .
12. 守屋和佳, ウィルソン・ポール, フリードリッヒ・オリバー, エルバッハー・ヨハン, 川幡穂高, 2007. 白亜紀は温暖だった! - 白亜紀中期南極氷床形成仮説の検証 - . 日本古生物学会 2007 年年会 . P14 . 大阪 . 2007 年 6 月 30 日 (ポスター発表) .
13. 長谷川 卓, 瀬尾草平, 守屋和佳, 2007. 白亜系蝦夷層群に記録されたOAE2: 炭素同位体比層序に基づく高精度対比と環境変遷の地域性. 日本古生物学会 2007 年年会 . C06 . 大阪 . 2007 年 6 月 30 日 .
14. 守屋和佳, 2007. 生物源炭酸塩の続成変質過程 - 地質時代の古水温復元に向けて. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「バイオミネラリゼーションと石灰化 - 遺伝子から地球環境まで - .」. 中野 . 2007 年 6 月 21 日 .
15. 守屋和佳, Wilson, P.A., Friedrich, O., Erbacher, J., 川幡穂高, 2007. Demerara Riseから産出した極めて保存良好な有孔虫化石の同位体組成を用いた中期白亜紀における氷床形成仮説の検証. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会 . B102-010 . 幕張 . 2007 年 5 月 22 日 .
16. Friedrich, O.; Erbacher, J.; Moriya, K.; Wilson, P.A., and Bickert, T., 2007. Evidence for warm saline bottom waters in the Cretaceous tropical Atlantic Ocean. European Geoscience Union General Assembly 2007. EGU2007-A-01513. Vienna. 2007 年 4 月 18 日 .

〔図書〕(計1件)

1. Moriya, K., and Hasegawa, T., 2007. Cretaceous oceanic anoxia events in the Japanese islands. in Lee, Y.I., Paik,

I.S., Cheong, D.K., Huh, M., and Lee, Y.U. eds., Paleoclimates in Asia during the Cretaceous: Their variations, causes, and biotic and environmental responses. International Geoscience Programme Project 507. Seoul. p. 49-63.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

守屋 和佳 (MORIYA KAZUYOSHI)

神奈川大学・総合理学研究所・客員研究員

研究者番号：60447662

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者