

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月30日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21654074

研究課題名（和文） コケムシ骨格を利用した新たな古海洋環境復元指標の開発

研究課題名（英文） Study on bryozoan skeletons as a new environmental proxy

研究代表者

町山 栄章 (MACHIYAMA HIDEAKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・海底資源研究プロジェクト・サブリーダー

研究者番号：00344284

研究成果の概要（和文）：時代的・空間的に広範な分布を示すコケムシについて、海洋環境指標として利活用できるか否か、その検証を行った。MART 指標（群体を形成するコケムシの個虫サイズが水温と逆相関の関係にあることを利用して、群体が成長した期間における海水温の平均年較差を算出する）の検証の結果、個虫サイズと平均水温の年較差との関連が実証された。また、対象としたコケムシ骨格の酸素同位体比が平均水温変化と調和していることから、コケムシ骨格は古海洋環境復元指標として有用であると結論づけられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined bryozoans as a new environmental proxy. The result of bryozoans monitoring experiment in the field shows a clearly inverse correlation between bryozoan zooid sizes and MART (mean annual range of temperature). Furthermore, oxygen isotope variation is consistent with the fluctuation of average water temperature. Bryozoan skeletons, therefore, are useful as an environmental proxy.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,400,000 | 0 | 1,400,000 |
| 2010年度 | 1,000,000 | 0 | 1,000,000 |
| 2011年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,100,000 | 210,000 | 3,310,000 |

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：コケムシ、MART 指標、同位体、古環境

1. 研究開始当初の背景

コケムシ（コケムシ動物門）は、真体腔をもつ原口動物の一門で、個虫が無性出芽して多数集合することにより、固着性の群体を形成する。その多くは石灰質骨格をもち、カンブリア紀末期に出現して以降、現世に至るまで分布する。現生コケムシは、熱帯～寒帯にわたるほぼすべての緯度に生息し、潮間帯～数千メートルの深海に至るまで幅広い生息域をもって分布する。

このように、コケムシは時代的・空間的に広範な分布を示すとともに、造礁サンゴ等が生育できない冷水域の炭酸塩堆積物の主要構成要素でもある。したがって、仮にコケムシが海洋環境指標として使用可能となれば、古環境復元に大きな進展をもたらすことになる。

(1) MART 指標

近年、コケムシの個虫（虫室）サイズ、特

に唇口目コケムシの個虫の大きさは、それが出芽した時の水温と逆相関の関係にあり、同一群体内における虫室の大きさの変異を解析することで、群体が成長した期間における海水温の平均年較差が算出できる（これを MART (Mean Annual Range of Temperature: 平均年較差) 指標と呼ぶ) との提案がなされ、注目されている（例えば、O'Dea and Okamura, 2000; Lombardi et al., 2006 など）。

MART 指標は以下のような計算式で得られる。

$$\text{MART } (^{\circ}\text{C}) = -3 + 0.745\text{CVm}$$

Am: 群体内の任意の 20 個虫以上の虫室面積平均値

SD: 虫室面積の標準偏差

CV: 変動係数 ($\text{CV} = \text{SD}/\text{Am} \times 100$)

CVm: 数群体の変動係数平均値

このように、MART 指標の分析は、コケムシ骨格の形態測定のみで得ることができる極めて簡易な手法であり、化学的な続成作用の影響を考慮しなくてよい利点がある。しかしながら、MART 指標は、主に大西洋・地中海・南極海およびニュージーランド近海で得られた現生コケムシと、その海域の水温データに基づいて提唱され、北太平洋における評価は極めて少ない (Dick et al., 2008)。したがって、分析データの地域的な偏りや骨格形態 (虫室) 計測の問題、コケムシ動物そのものの生態や生活環などの情報が不足しているために、その信頼性と汎用性の問題が残されている。

(2) 同位体組成

コケムシ骨格を用いた酸素・炭素同位体比の研究例は少なく、現世のデータもまだ十分に蓄積されていない状況にある。ODP Leg 182 Great Australian Bight の掘削コア試料中のコケムシを用いて、研究代表者らは、過去 4 万年にわたる同位体比組成変動を世界で初めて明らかにし、コケムシ骨格の酸素同位体比が海洋環境指標として使用できる可能性を示した (Machiyama et al., 2003)。また、同位体分析においては、Ishimura et al. (2008) により炭酸塩殻の微小領域の安定同位体分析手法が開発されている。

以上のように、年間の水温変動の大きい中高緯度域の古環境解析の強力なツールとして、コケムシ骨格が利用可能となることが期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、前述の研究背景を踏まえ、

MART 指標としてのコケムシ骨格の検証と、微小分析を用いたコケムシ骨格の酸素・炭素安定同位体比組成の検討を行い、最終的にこれらのデータを統合することで、コケムシ骨格を新たな古海洋環境指標として利用することを目指すものである。

3. 研究の方法

古海洋環境指標としてコケムシ骨格を検討するにあたり、本研究では、(1) 研究実施に適したコケムシを選定し、(2) MART 指標としてのコケムシ骨格の有効性の検証、(3) コケムシ骨格の鉱物組成と酸素・炭素安定同位体比組成の検討を実施した。

(1) コケムシの選定

採取したコケムシ試料の分類を行い、群集組成を明らかにしたうえで、MART 指標の検討と同位体組成分析を実施するに適した種を選定する。

(2) MART 指標の検証

MART 解析は、群体を形成するコケムシの個虫サイズが水温と逆相関の関係にあることを利用するもので、骨格の形態測定のみで得ることができる極めて簡易な手法である。しかしながら、コケムシ群体の成長期間 (通年性) や成長速度といったコケムシ動物そのものの生態や生活環などの具体的データが不足しており、また個虫サイズと水温との逆相関関係の実証 (汎用性の検証) といった課題が残されている。このため、どのような群体が MART 解析に適しているのかを含め、これらの問題点を評価し、MART 解析が実用的であるか否かを検証するための実験・研究を実施した。

上記の問題点の検証手法として、コケムシの群体成長を直接観察する、実験古生物学的

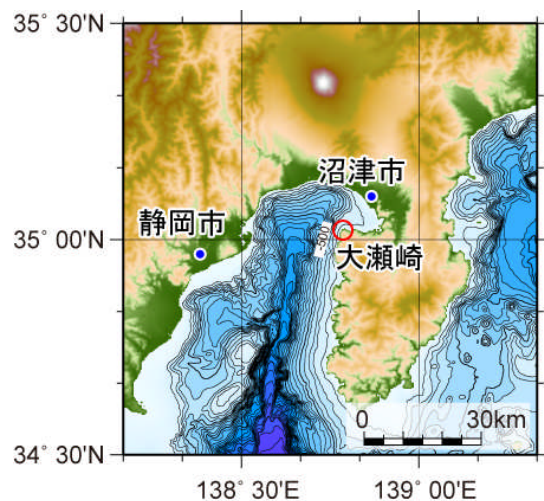


図 1 大瀬崎位置図

手法を採用した。具体的には、人工的な付着基盤を海底に設置し、そこに付着するコケムシ群体を定期的に観察することにより、定量的なデータを得るという方法である。実験地点として、駿河湾の大瀬崎湾内（静岡県沼津市）を選定し（図 1）、その海底に人工的な付着基盤を設置し、コケムシの群体成長を定期的に直接観察する実験を実施した（図 2）。本実験では、2010年2月～2011年7月までの18ヶ月間、毎月1回の写真撮影による特定群体の成長過程記録と海水サンプリングを行った。また、付着基盤には温度ロガーを取り付け、この間の海水温データを取得した。実験期間途中で付着基盤の一部交換を含め、実験完了時に付着基盤上で成長していたコケムシ群体を用いて、前述の問題点の検証を行った。



図 2 水深 20 m に設置した人工付着基盤（設置 8 ヶ月後）

(3) 安定同位体比組成の検討

コケムシ骨格における酸素・炭素安定同位体比組成分析を、MART 解析と組み合わせることにより、より有益な古環境解析が実現すると考えられる。しかしながら、コケムシ骨格の鉱物組成や、水温と骨格中の安定同位体組成の関係に関するデータも少ない状況である。

このようなことから、MART 指標の検証を補完する目的も含め、MART 解析を行ったコケムシ試料について、X 線回折を用いた鉱物組成の特定とともに、酸素・炭素同位体比の分析を実施した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

①大瀬崎より採取した現生コケムシ群体 (*Parasmittina* sp. など) から MART 指標を算出した。3 群体を計測した結果、MART 指標が各群体でそれぞれ異なり、値にばらつきがあることが判明した。このような結果を得

られた原因の一つとして、各群体の大きさが小さいことから、若齢のコケムシ群体であることが推定される。すなわち、夏・冬という水温が極大・極小となる時期を経ていない群体であるために、年較差の値を示していないことが予想される。すなわち、この結果は、コケムシ群体の成長期間や成長速度が明らかでない種を用いた MART 分析は、その信頼性が低いということを示唆している。

②上記の分析結果を受け、人工的な付着基盤を調査地点に設置してコケムシを成長させる定点観測による実験古生物学的手法を用いた検証実験を開始した。この結果、人工付着基盤による実験（定点観測）は、コケムシの生態特性解明にきわめて有効であることが確認された。

③人工付着基盤上で成長過程をモニタリングした被覆性群体である *Membranipora* sp. の生活環が明らかとなるとともに、本種の群体寿命は 1 年未満であり、MART 解析には不適種であることが判明した。

④しかしながら、*Membranipora* sp. の個虫サイズと水温には逆相関関係があることが明らかとなった。これは MART 指標の有用性を示唆している。

⑤ *Membranipora* sp. の骨格はすべて方解石からなり、出芽日が明確な個虫骨格の安定同位体組成分析により、酸素同位体比は海水とはほぼ同位体平衡であり、かつ平均水温変化と調和していること、炭素同位体比は同時期に形成された骨格ではほぼ均質であることが確認された。

⑥これまで MART 解析には被覆性群体が用いられてきたが、起立性群体にも好適種が含まれる可能性がある。強く石灰化する骨格を有する起立性群体は、*Membranipora* sp. と比較して群体としての寿命が長く、成長速度が遅いと予測されるので、そのような種であれば MART 解析に適していると考えられる。このような観点から、大瀬崎（湾外）で採取した枝状起立性群体である *Adeonella lichenoides* に着目し、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナーを用いて表面形態測定を行った。顕微鏡下での個虫サイズ計測が難しい起立性群体において、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナーによって構築された 3 次元画像を用いた計測が有効であることがわかった。

⑦上記の計測結果から、長さ約 6cm の枝において、個虫サイズに 2 周期近い変動が認められた。1 周期が 1 年に相当すると考えるならば、本種の年間成長速度は約 3cm と見積もられる。今後、変動周期の期間を正確に算出した上で、起立性群体での MART 解析適用について検討を行う必要がある。

以上の研究成果、ならびにこれまでの酸

素・炭素同位体比組成の研究例(例えば、Bone and James, 1997; Machiyama et al., 2003)を踏まえると、コケムシ骨格は環境指標として有用であると結論できる。

(2) 成果の国内外における位置づけ

冒頭の研究背景で述べたように、MART 指標は北太平洋における評価が極めて少なく、分析データの地域的な偏りが問題であった。本研究の成果は、MART 指標の検証という観点からも重要な意義を持つものである。

また、これまで MART 解析では、コケムシ動物そのものの生態や生活環などの情報が十分に説明されていなかったため、その信頼性について問題が指摘されていた。今回実験で得られた、人工付着基盤を用いたコケムシの定点観測データは、世界的にも希少なものであり、海洋環境指標としてのコケムシ骨格の活用に極めて重要であるだけでなく、環境指標として利用される他のタクサの検証にも重要である。

(3) 今後の展望

本研究で用いた実験古生物学的手法である、人工付着基盤を用いたコケムシ群体の定点観測は、未解明なコケムシ動物の生活環など、生物学的な基礎情報を得るために重要である。この手法を国内の他の海域に応用し、より多くのコケムシ種を対象として MART 指標の信頼性を向上させていく必要がある。

また、本研究で MART 解析に利用できる可能性が示唆された起立性群体については、今後、骨格中の同位体組成変動の測定、変動周期の正確な算出を行い、成長速度見積りの精度向上を進め、起立性群体での MART 解析適用の可否を検証する必要がある。

MART 解析と同様に、同位体分析による検討をあわせて行う必要があるため、国内外研究者による連携と共同研究体制を構築し、引き続き研究を継続して、より多くの種を用いて環境指標を検討しなくてはならない。

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 1 件)

- ①石村豊穂、角皆 潤、高感度安定同位体組成定量法を用いた生物源炭酸塩の微小領域における安定同位体比分散の解明とその応用、海洋、査読なし、43 巻、7 号、2011、402-407

[学会発表] (計 5 件)

- ①町山栄章、コケムシ骨格は環境指標として使えるか?、炭酸塩コロキウム 2012、2012

年 03 月 18 日、ラフォーレ赤沢 (静岡県伊東市)

- ②兼子尚知、コケムシ動物による MART 解析の有用性評価、炭酸塩コロキウム 2012、2012 年 03 月 18 日、ラフォーレ赤沢 (静岡県伊東市)

- ③兼子尚知、コケムシ動物による MART 指標の有用性評価 (その 2)、日本古生物学会第 161 回例会、2012 年 01 月 21 日、群馬県立自然史博物館 (群馬県富岡市)

- ④石村豊穂、コケムシ炭酸塩殻は何を記録するのか?~コケムシ群体の定点観測と環境指標としての活用に向けた試み~、日本地質学会第 118 年学術大会、2011 年 09 月 11 日、茨城大学 (茨城県水戸市)

- ⑤兼子尚知、コケムシ動物による MART 指標の有用性評価、日本古生物学会 2010 年年会、平成 2010 年 6 月 12 日、筑波大学 (茨城県水戸市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

町山 栄章 (MACHIYAMA HIDEAKI)
独立行政法人海洋研究開発機構・海底資源研究プロジェクト・サブリーダー
研究者番号: 00344284

(2) 研究分担者

兼子 尚知 (KANEKO NAOTOMO)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質標本館・主任研究員
研究者番号: 50356804
石村 豊穂 (ISHIMURA TOYOHO)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員
研究者番号: 80422012