

NanoSIMS を用いた超高解像度海洋古環境復元

Ultra-high resolution past marine environmental reconstruction using a NanoSIMS

課題番号：24221002

佐野 有司 (SANO YUJI)

東京大学・大気海洋研究所・教授



研究の概要

従来の分析手法と比較して非常に高い空間分解能で固体試料が分析可能な二次元高分解能二次イオン質量分析法（NanoSIMS）を、サンゴ骨格や二枚貝殻などの生物起源炭酸カルシウム試料に応用する事で、飛躍的に高い時間分解能で過去の環境や生態的な情報を復元する。

研究分野：複合新領域

キーワード：環境変動、古環境復元

1. 研究開始当初の背景

サンゴや二枚貝などの海洋生物は、成長する際の周囲の水温や塩分などの環境情報を記録しながら炭酸塩を主成分とする骨格や殻を作る。同様に魚類は日輪や年輪を含む耳石を作る。生物起源の炭酸カルシウムの微量元素や同位体分析による古環境の復元は、測器による観測点がまばらで樹木年輪や氷床コアによるデータが乏しい熱帯や亜熱帯地域で威力を発揮し、気候変動評価に大きく貢献した。しかしこれまでの空間分解能はたかだか数十マイクロン、時間分解能に換算すると1週間が限界であった。

2. 研究の目的

生物起源炭酸カルシウム骨格中の微量元素や同位体組成を従来とくらべ飛躍的に高い空間分解能（1～5マイクロン）で分析することにより、海洋生物が成長する際の水温、塩分、日射量など環境情報を世界最高レベルの高時間分解能で復元し、データの解析結果を将来の気候変動予測にも応用する。また、魚類の耳石の超高解像度分析から稚魚の生育環境や回遊など生態学的情報を引き出し、水産資源の評価に役立たせることも合わせて目標とする。

3. 研究の方法

NanoSIMS の改造、高度なチューニング、標準試料の開発・作成、新規分析手法の確立を行い、炭酸カルシウム試料に関して世界最高

レベルの分析および解析技術を確立する。分析技術の確立と並行して、微小領域の元素・同位体組成と環境因子の関係を明らかにし、有用な指標成分の検討や、有用性の評価などを行う。具体的には、サンゴ・二枚貝・有孔虫などに関して、環境制御下で飼育した試料や、環境が詳細にモニタリングされている場所から採取した試料などの分析を行い、測定結果と環境情報を照合する。分析技術や有用な指標などを確立した後、それを様々な場所や年代から採取された化石試料に応用する事で、超高解像度海洋古環境復元を行う。

4. これまでの成果

NanoSIMS の改造は部品の納入が遅れたことによりようやく完了したが、標準試料の作成や新規分析手法の開発は順調に進んでおり、天然試料を用いて古環境の復元にも成功している。以下に主な成果を示す。

● 標準試料の作成

標準試料となる可能性のある天然の鈹床起源の炭酸カルシウム鈹物を準備し、局所領域の不均質性を調べた。不均質がある元素については、溶液中での沈殿実験や高温高圧下で拡散により均質化させる実験を行い、塩素濃度が均質な炭酸塩試料を作成することに成功した。

● 飼育実験および環境プロキシの評価

浮遊性有孔虫を飼育し、温度管理下で新た

に形成した殻の分析を行った。環境因子を変えた時の目印として同位体ラベルを使用した。その結果、飼育環境下で新たに形成した殻は、海水中に添加したカルシウム同位体試薬によって明瞭に区別することに成功した。これによりどの部分がどのような環境下で作られた殻かを区別することができ、殻内の元素組成と環境因子との関係をより詳細に見ることが可能になった。

● 化石ジャコ貝殻を用いた日射量の復元

沖縄県石垣島で、世界最大の二枚貝であるオオジャコの化石(約5000年前)を採集し、NanoSIMSを使って2ミクロンの空間解像度(2~3時間という高時間分解能に相当)で微量元素組成を分析した。その結果、冬の平均単位時間当たり日射量は、現在の晴天時の平均日射量に相当することがわかり、現在よりも温暖だったとされる約5000年前の日射量を復元することに成功した。

● 東北沖地震による津波の影響の評価

2011年3月の東北沖地震の津波を経験したと考えられる生物個体を用いて、津波の影響がどのような形で記録されるかを評価するために、二枚貝殻や魚の耳石の微量元素濃度や同位体比を測定した。岩手県沿岸で採集したムラサキガイ2個体は、2011年3月に形成したとみられる殻の部分に、顕著に高いバリウムの濃集が認められた。また、2011年10月に岩手県の川で捕獲された鮭の耳石の微量元素組成を分析した結果、耳石の縁辺部で微量元素濃度や同位体比が変動を示した。これらの結果から、沿岸および遠洋域での津波の影響を評価できるかもしれない。

この他ハロゲンや希ガス、軽元素同位体比を用いた古海洋環境復元を目指し、これらの元素の局所分析にも取り組んでいる。

5. 今後の計画

引き続き飼育試料を用いて微小領域の元素・同位体組成と環境因子の関係を明らかにするとともに、実際のサンゴ骨格、ジャコ貝殻、有孔虫殻、回遊魚の耳石の微量元素濃度や同位体比の分析を進める。これらを高解像度で分析し、データ解析により過去の海洋環境の情報を引き出す。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

1. 佐野有司: アメリカ地球物理学会フェロー、2012年12月
2. 佐野有司: 島津賞受賞「高感度質量分析計を用いた海洋地球化学の研究」、2013年2月

3. 佐野有司: 海洋立国推進功労者表彰(内閣総理大臣賞)「海洋地球化学の先端的研究開発」、2014年7月
4. Hori, M., Sano, Y., Ishida, A., Takahata, N., Shirai, K., Watanabe, T. Middle Holocene daily light cycle reconstructed from the strontium/calcium ratios of a fossil giant clam shell. *Scientific Reports*, **5**, 8734, 2015.
5. Shirai, K., Schone, B.R., Miyaji, T., Radarmacher, P., Krause Jr., R.A., Tanabe, K. Assessment of the mechanism of elemental incorporation into bivalve shells (*Arctica islandica*) based on elemental distribution at the microstructural scale. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **126**, 307-320, 2014.
6. Sano, Y., Hara, T., Takahata, N., Kawagucci, S., Honda, M., Nishio, Y., Tanikawa, W., Hasegawa, A. and Hattori, K. Helium anomalies suggest a fluid pathway from mantle to trench during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Communications* **5**, 3084, 2014.
7. Sano, Y., Toyoshima, K., Ishida, A., Shirai, K., Takahata, N., Sato, T., Komiya, T. Ion microprobe U-Pb dating and Sr isotope measurement of a protoconodont. *Journal of Asian Earth Sciences* **92**, 10-17, 2014.
8. Yamazaki, A., Watanabe, T., Takahata, N., Sano, Y. and Tsunogai, U. Nitrogen isotopes in intra-crystal coralline aragonites. *Chemical Geology* **351**, 276-280, 2013.
9. Sano, Y., Kobayashi, S., Shirai, K., Takahata, N., Matsumoto, K., Watanabe, T., Sowa, K. and Iwai, K. Past daily light cycle recorded in strontium/calcium ratios of giant clam shell. *Nature Communications* **3**, 761, 2012.
10. Fujiya, W., Sugiura, N., Hotta, H., Ichimura, K. and Sano, Y. Evidence for the late formation of hydrous asteroids from young meteoritic carbonates. *Nature Communications* **3**, 627, 2012

ホームページ等

<http://co.aori.u-tokyo.ac.jp/macg/home.html>