

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 5 月 21 日現在

機関番号：12601
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21740387
 研究課題名（和文）最終氷期最盛期の化石サンゴを用いた熱帯海域の海水温・塩分の季節変動復元
 研究課題名（英文）Reconstructions of seasonality of sea surface temperature and salinity in the tropics during the last glacial maximum based on a fossil coral
 研究代表者
 井上 麻夕里（INOUE MAYURI）
 東京大学・大気海洋研究所・助教
 研究者番号 20451891

研究成果の概要（和文）：最終氷期最盛期（LGM）における熱帯海域の海水温、塩分の季節変動の復元は、今後の気候変動を予測する上で重要なデータとなり得る。本研究では約 22,000 年前の南太平洋のバヌアツから採取された化石サンゴ（*Porites* sp.）を用いて LGM の季節変動を明らかにした。その結果、LGM では海水温に約 5°C の季節性があったことが示唆され、現在（～3°C）に比べ海水温の季節変動が大きかったこと、特にそれが冬の海水温低下に起因していたことが示された。また、年平均の海水温は現在に比べ 4.5-5°C 低かったことが推察された。

研究成果の概要（英文）：The magnitude of cooling of sea surface temperature (SST) during the last glacial maximum (LGM) in tropical to subtropical regions remains controversial. We conducted Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ measurements on a coral (*Porites* sp.) yielding a ^{230}Th age of 22 ka that was retrieved from Vanuatu in the southwest Pacific. Our results indicated large, seasonal SST changes (~5 °C), in particular, large cooling during the austral winter, at the LGM as compared to the present (<3 °C). In addition, if the previously reported slight freshening around Vanuatu during the LGM is assumed, then a simple mathematical mass balance model indicates a decrease in the mean annual SST of 4.5–5 °C.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：最終氷期最盛期、化石サンゴ、気候変動、熱帯域、微量元素

1. 研究開始当初の背景

現在、人為起源の二酸化炭素 (CO₂) やメタンなど温室効果ガスの増加に伴う地球表層の温暖化と、それに伴う急激かつ予測が困難な気候変動が危惧されている。温室効果ガスも含めた地球表層に出入りする外的エネルギーの変動に対する気候システムの応答を理解することは、地球環境変動を予測する上で重要である。地球は過去 43 万年間にわたり 10 万年周期を持つ氷期—間氷期サイクルを経験してきた。その中でも 2 万 6 千年前～1 万 9 千年前に相当する最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum; LGM) は、現在とは対照的な気候状態であったと考えられており、これまでの気候システムに関する理解やその変動モデルを客観的に評価するのに適している。特に産業革命以前を基準とした LGM と現在との CO₂ を始め温室効果ガスによる放射エネルギーの変動量 (2.8 W m⁻²) がほぼ等しいことは注目に値する。ここで、気候システムをより正確に理解するためには、全地球表層における熱エネルギーの駆動源であり、水収支の変動も激しい熱帯域、特に西太平洋暖水塊 (Western Pacific Warm Pool; WPWP) はたいへん重要な地域である。しかしながら LGM の WPWP における海水温や塩分の変動に関するデータは限られており、さらに当時の環境パラメータの季節変動となると皆無に等しい。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究では炭酸カルシウム (アラゴナイト) の外骨格を形成し、その骨格に明瞭な年輪を持つハマサンゴを用いて LGM における海洋環境を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

試料は南太平洋のバヌアツから採取された化石サンゴであり (図 2)、ウラン系列年代測定法により約 22,000 年 (21,979 ± 75) 前の年代を有することが分かっている。一般的に化石サンゴを対象とした研究では、サンゴ骨格の結晶形であるあられ石構造が変質されずに残っていることが必要条件となるため、試料の状態を確認するために、X 線写真撮影、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察、X 線回折分析 (XRD) を行い、保存状態の良好な約 6 年間分の年輪について分析を行った。

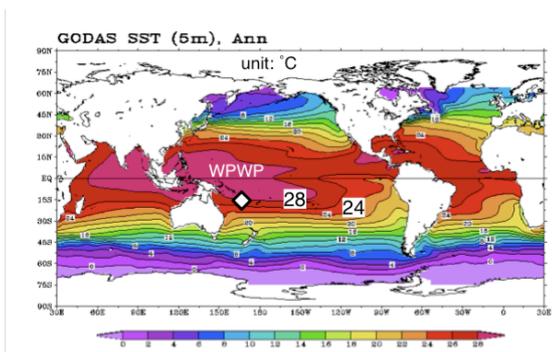


図 1. 現在の表層海水温とバヌアツ化石サンゴ採取地点 (◇)

分析項目は、海水温の指標として有用であることが知られているストロンチウム・カルシウム比 (Sr/Ca 比) および海水温と海水の塩分の指標となることが報告されている酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) について精密な測定を行った。1mm 間隔でのサブサンプリングの結果、両者ともデータの時間分解能は約 1 ヶ月に相当することが分かったので、この 6 年間について季節変動の復元を行った。測定精度(2 σ) は Sr/Ca 比、 $\delta^{18}\text{O}$ それぞれ $\pm 0.03\%$ 、 $\pm 0.1\%$ であった。

また、モデル実験の結果から当時は海水中の Sr/Ca 比が現在に比べて 1~3%高かったことが報告されているが、実際に海水中の Sr/Ca 比についてのデータは報告されていない。そこで、本研究ではこの点についても議論を行うべく、マスバランスに基づいた計算により、LGM の海水中の Sr/Ca と $\delta^{18}\text{O}$ についても推察を行った。

4. 研究成果

測定の結果、Sr/Ca、 $\delta^{18}\text{O}$ とともに明瞭な季節性が復元され、Sr/Ca 比は 9.35~9.05 mmol/mol の範囲で、また $\delta^{18}\text{O}$ は -3.8~-2.6‰ の範囲で変動していた。バヌアツ周辺の現生サンゴの Sr/Ca 比から得られた、Sr/Ca 比-温度換算式を用いて化石サンゴの海水温の季節変動を計算してみると、 $\sim 5^\circ\text{C}$ の季節性となり、現在 ($<3^\circ\text{C}$) に比べ季節性が大きいことが明らかとなった (図 2A)。一方、年平均海水温の低下は 4.5°C 前後とモデルにより再現された先行研究の値とも整合的であったが、他のプロキシデータよりもやや低い値を示した。これは、LGM におけるバヌアツ周辺海域においては、特に冬 (7-9 月) の海水温が低下していたため、季節性の拡大および年平均海水温の低下が見られたと考えられる。化石サンゴは他のプロキシデータと異なり、その年輪により季節性を詳細に復元することが可能であり、今回はその利点を生かして、このような冬期における海水温の低下を明らかにすることができた。

一方、LGM における表層塩分の季節変動は現在とほとんど変わらず、氷床量の変化なども考慮にいれて計算した結果、全体的には現在に比べわずか (~ 0.5) に塩分が低かったことが示唆された (図

2B)。

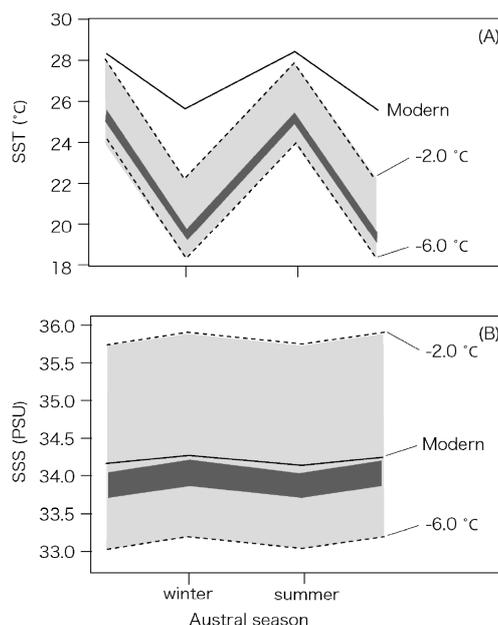


図 2. 化石サンゴ骨格のデータを用いて復元された、LGM における表層海水温 (A) と表層塩分 (B) の季節性。LGM における年平均海水温の低下を $2\text{-}6^\circ\text{C}$ の幅で取っているが、これまでに報告されている推定値と化石サンゴからの復元データを元に妥当と推定される $4.5\text{-}5^\circ\text{C}$ と仮定した時の当時の季節性を濃いグレーで示してある。

また、これまでに報告されているデータや今回の化石サンゴから得られたデータを用いて計算した結果、LGM における海水中の Sr/Ca 比は 1%未満のわずかな変化にとどまることが示唆された。

バヌアツは WPWP の南端に位置しており (図 1)、過去の WPWP 変動を理解する上でも重要な地域と考えられるが、今回の結果はそのような場所における LGM での海水温および塩分の変動を明らかにしたものである。この結果は今後の気候変動を予測する上で欠かせない気候モデルに対して必要な束縛条件を与えるものとなり、特に季節性の復元が

できたことは貴重なデータとなるであろう。

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 9 件)

査読有り

- 1) M. Inoue, K. Shinmen, H. Kawahata, T. Nakamura, Y. Tanaka, A. Kato, C. Shinzato, A. Iguchi, H. Kan, A. Suzuki, K. Sakai, Estimate of calcification responses to thermal and freshening stresses based on culture experiments with symbiotic and aposymbiotic primary polyps of a coral, *Acropora digitifera*. Global and Planetary Change, 2012 in press
- 2) M. Inoue, R. Suwa, A. Suzuki, K. Sakai and H. Kawahata, Effects of seawater pH on growth and skeletal U/Ca ratios of *Acropora digitifera* coral polyps. Geophysical Research Letters, 38, L12809, doi:10.1029/2011GL047786, 2011
- 3) T. Yoshimura, M. Tanimizu, M. Inoue, A. Suzuki, N. Iwasaki and H. Kawahata, Mg isotope fractionation in biogenic carbonates of deep-sea coral, benthic foraminifera, and hermatypic coral. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 401, 2755-2769, 2011
- 4) A. Iguchi, S. Ozaki, T. Nakamura, M. Inoue, Y. Tanaka, A. Suzuki, H. Kawahata, K. Sakai, Effects of acidified seawater on coral calcification and symbiotic algae on the massive coral *Porites australiensis*. Marine Environmental Research, 73, 32-36, 2011
- 5) H. Ushie, H. Kawahata, A. Suzuki, S. Murayama, and M. Inoue, Enhanced riverine carbon flux from carbonate catchment to the ocean: A comparative hydrogeochemical study on Ishigaki and Iriomote islands, southwestern Japan. Journal of Geophysical Research, 115, G02017, doi:10.1029/2009JG001039, 2010
- 6) M. Mishima, A. Suzuki, M. Nagao, T. Ishimura, M. Inoue and H. Kawahata, Abrupt shift toward cooler condition in the earliest 20th century detected in a 165 year coral record from Ishigaki Island, southwestern Japan. Geophysical Research Letters, 37, L15609, doi:10.1029/2010GL043451, 2010.
- 7) D. Araoka, M. Inoue, A. Suzuki, Y. Yokoyama, R. L. Edwards, H. Cheng, H. Matsuzaki, H. Kan, N. Shikazono and H. Kawahata, Historic 1771 Meiwa tsunami confirmed by high-resolution U/Th dating of massive *Porites* coral boulders at Ishigaki Island in the Ryukyus, Japan. Geochemistry Geophysics Geosystems, 11, Q06014, doi:10.1029/2009GC002893, 2010
- 8) M. Inoue, Y. Yokoyama, M. Harada, A. Suzuki, H. Kawahata, H. Matsuzaki and Y. Iryu, Trace element variations in fossil corals from Tahiti collected by IODP Expedition 310: Reconstruction of marine environments during the last deglaciation (15 to 9 ka). Marine Geology, 271, 303-306, 2010
- 9) M. Mishima, H. Kawahata, A. Suzuki, M. Inoue, T. Okai and A. Omura, Reconstruction of the East China Sea palaeoenvironment at 16 ka by comparison of fossil and modern Faviidae corals from the Ryukyus, southwestern Japan. Journal of

Quaternary Science 24(8) 928–936, 2009

〔学会発表〕（計 6 件）

- 1) M. Inoue, T. M. Quinn, F. W. Taylor, A. Suzuki, H. Kawahata, T. Ishimura, H. Cheng and R. L. Edwards, Reconstruction of temperature and oxygen isotope in the surface water of the Mid-Holocene tropical western Pacific. 2011 年度日本地球惑星連合大会, 2011. 5. 25, 千葉・幕張メッセ国際会議場
- 2) M. Inoue, S. Ozaki, H. Kawahata, A. Iguchi, K. Sakai and A. Suzuki, Ocean acidification impact on growth and the pH dependence of trace elements in skeleton of hermatypic corals. 7th Alexander von Humboldt International Conference, 2011. 6. 23, マレーシア・ペナン島 M. Inoue, K. Shinmen, H. Kawahata, T. Nakamura, A. Iguchi, A. Suzuki and K. Sakai
- 3) M. Inoue, K. Shinmen, H. Kawahata, T. Nakamura, A. Iguchi, A. Suzuki and K. Sakai, Effects of thermal and salinity stresses on growth of aposymbiotic and symbiotic primary polyps. 2011 Goldschmidt conference, 2011. 8. 17, チェコ・プラハ
- 4) 井上麻夕里、小崎沙織、井口 亮、酒井一彦、鈴木淳、川幡穂高、サンゴ骨格中 U/Ca 比の pH 指標としての可能性. 2011 年度日本地球化学会, 2011. 9. 14, 北海道・北海道大学
- 5) 井上麻夕里、日下部 誠、日下部郁美、酒井一彦、鈴木淳、川幡穂高、環境指標として有用なハマサンゴの骨格形成機構の解明に向けて. 2010 年度日本地球化学会, 2010. 9. 7, 埼玉・立正大学熊谷校舎
- 6) M. Inoue, R. Suwa, A. Iguchi, A. Suzuki, K. Sakai and H. Kawahata, Ocean acidification impact on growth and the pH dependence of

trace elements in skeleton of juvenile corals (*Acropora digitifera*). 2010 American Geophysical Union Fall Meeting, 2010. 12. 14, アメリカ・サンフランシスコ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 麻夕里 (INOUE MAYURI)
東京大学・大気海洋研究所・助教
研究者番号： 20451891