

課題名	RF-081 サンゴ骨格による古気候復元と大循環モデルの統合による気候値復元と予測に関する研究		
課題代表者名	横山祐典（東京大学海洋研究所 海洋底科学部門 横山研究室）		
研究期間	平成20-21年度	合計予算額	18,000千円（うち21年度 8,900千円） ※予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) サンゴ骨格古気候値復元と精度検証、サンゴサンプル採取および海洋物理学的考察（東京大学）</p> <p>(2) 大循環モデル(MIROC)を用いた古気候及び将来予測マップ復元と改良（独立行政法人 海洋研究開発機構）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序</p> <p>気候変動に関する政府間パネルの第4次評価報告書(IPCC AR4)が2007年に発表されたが、計算機資源の向上からくる高精度モデル計算による気候予測と、地球科学的分析手法の発達に伴った過去の気候データの復元の高精度化、のどちらもが今回の報告書の予測精度の向上に貢献したとされている。報告書の中では、予測シナリオにおけるモデル間の気温変動予測は比較的良い一致を見ているが、温暖化によって引き起こされると危惧される降水量や蒸発量の変化については、特に低緯度から中緯度についての確度が極めて低い。そこで本研究では年輪を刻むサンゴ骨格の化学分析を行い、特に西太平洋の異なる時間断面に沿った、水循環変動を復元する。またその結果を、地球シミュレータを用いた気候モデルと比較することにより、モデルの動作特性の理解を深めるとともに、同位体比変動を組み込む改良に取り組む。この2つの研究を同じグループで並行して進めることにより、水循環変動を含む気候システムの定量的な理解を図る。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>低緯度および高緯度の水循環変動を定量的に復元し、将来予測モデルの動作特性を明確にするために、サンゴ骨格に含まれる微量金属及び同位体比測定を行い、過去の水温および塩分の復元を行う。得られたデータの解析を行いつつ、モデルの確度の検証と同位体比変動予測を可能にするための改良を試みる。そのために以下の2つの研究目的を設定する。</p> <p>(1)サンゴ骨格古気候復元と精度検証、サンゴサンプル採取および海洋物理学的考察 現在生息している試料と化石試料のサンゴ骨格年輪の採取を行い、化学分析を用いて水温および塩分計を確立。水循環変動復元を行うために異なる時代における中・低緯度海洋環境復元を行う。得られたデータの信頼性向上は、適宜飼育実験結果などと比較しながら検証する。</p> <p>(2)大循環モデル(MIROC)を用いた古気候および将来予測マップ復元と改良に関する研究 大気海洋結合大循環モデルは、計算機資源の向上によって、実用化されてきたツールであるが、異なる入力（太陽放射や海水温分布）のもとでの動作特性はまだ厳密に理解されていない。サンゴ骨格分析により得られる季節性の変化も含めた高精度データを使って、モデルの計算結果の精度検証と同位体変動の組み込みを行うことにより、水循環変動を定量的に理解する。</p>		

### 3. 研究の方法

#### (1) サンゴ骨格古気候値復元と精度検証、サンゴサンプル採取および海洋物理学的考察に関する研究

ターゲットにしている西太平洋域において、過去のサンゴサンプルが比較的採取しやすい鹿児島県喜界島を観測点に設定し、過去7,000年間を対象に化石サンゴ試料の採取を行う。7,000-1,000年前は北半球の太陽からの日射量の季節変動パターンが現在と異なっており、中緯度-高緯度での夏の気温や水温変動が引き起こされていたことが推測される時期である。また、大気中の二酸化炭素濃度は、産業革命以前の値とほぼ同じであるとともに、全球的な海水量も同じであったとされるため、日射変動のみによって気候システムがどのように変動するかを検討することのできるユニークな時期である。

採取された化石サンゴは、喜界島の隆起速度や海水準変動のモデリングを使って、おおよその年代が推測されるが、個々のサンゴについては放射性炭素年代決定法を行いサンゴの生息していた年代を決定する。化学分析値の信頼性は、サンプルの保存度に左右されるので、粉末X線分析や電子顕微鏡観察、軟X線写真などにより、試料の選別を行う。それらのスクリーニングをパスしたサンプルについて年代測定を行った。さらにマイクロミリング装置を用いて粉末試料を年輪ごとに採取し、安定酸素炭素同位体比と微量金属の分析を行った。

また、化石サンゴ記録の復元精度チェックのために採取を計画した現生サンゴだが、幸運にもこれまでに報告された現生ハマサンゴ記録の中で最も長い420年を超える記録を持つハマサンゴ群体を採取することができた。

一方、黒潮の上流域であるフィリピンのルソン島のサンゴについての研究も行った。ルソン島北部、クリマオにて採取されたハマサンゴ群体について、XRD(X線回折分析)などのチェックを行ったあと、放射性炭素年代測定と酸素同位体比測定を行った。

気候変動予測モデルにおいて未だに予測が困難である事象のなかに、将来の気候平均場がある。IPCC AR4では例えば複数のGCMの結果を比較して、La-Niña 的になるかEl-Niño的になるか、その変動は大きい小さいか、という比較を行った。

#### (2) 大循環モデル(MIROC)を用いた古気候及び将来予測マップ復元と改良に関する研究

大循環モデル(MIROC)を用いて気候予測結果を打ち出し、それについての検討を進めながら、境界条件などについての理解を深める。このモデルによって得られた過去の気候物理場の条件を使い、酸素同位体比などを含むトレーサの計算を行えるようなオフライン手法の開発を行う。

今年度はMIROCを用いて海洋の酸素同位体比復元を行う為の方法の検討を行った。大気については、MIROCに組み込まれている水同位体比モデルを直接利用し、海洋については、物理場の再計算を行うことなく、MIROCで得られた温度や流速のデータをそのまま利用する“オフライン計算”を行う。

### 4. 結果及び考察

完新世とよばれる過去10,000年間は、日射量の変化から、中高緯度では現在よりも気温が高かったことが推測されている。特に今回はおよそ3,000年、4,200年、4,400年そして4,600年前のサンプルを分析した。その結果、上記の期間のうち4,600年前を除いて、夏と冬ともに最大で1℃以上水温が低かったことが判明した。安定同位体比を組み合わせた塩分の復元結果は、夏冬ともに現在よりも高い塩分であったことがわかった。また二枚貝の成長速度を使った研究によっても、水温変動すなわち黒潮の盛衰にともなう北西太平洋域の水温変動が支持された。さらに、黒潮の変動と流域における環境変遷について、時間分解能は低いですが、連続的な記録が得られる海洋堆積物を用いた研究の結果からも、当該海域の水循環変化が、黒潮および海洋表層水温の変動と密接な関係にあることを明らかにした。フィリピンのサンゴ群体は、採取を予定していたおよそ6,000年前の記録を持つことがわかり、季節変動記録もオリジナルなものを保持していることがあきらかになった。酸素同位体比変動の結果は、当時が現在より重い同位体比を持つことを示しており、西太平洋の北部である喜界島で得られた記録と整合的なものとなった。実際に陸域のデータなどからはそれと整合的な結果が出ているが、今回の結果は先行研究によって求められていた結果とは異なり、系統的な低い水温を示した。おそらく現実の気候システムの中では、大気-海洋の結合性が極めて重要な変化要因になっていることが示される。つまり、塩分が高い海域の水温は一般には高い表層水温を予測するが、それとは異なり、風の強度変化によって高塩分のシグナルがもたらされた可能性が想定

される。

IPCC AR4の中では検討された気候値の平均場の予測であるが、いまだに大きなばらつきを持つことが示された。大気二酸化炭素濃度が産業革命以前レベルであり、氷床量の変動が大きく起こっていた最終融氷期(過去19,000-8,000年前)の気候値は、その問題解決に貢献できる重要なデータを提供する。採取が困難なこの時期のデータであるが、代表者が参画した国際プロジェクトにより採取されたタヒチのサンプルの分析により、融氷期の太平洋がLa-Niña 的気候場であったことを、微量金属と放射性炭素年代測定により、初めて直接明らかにした。

今回行ったモデリング研究のうち、大気モデルの部分については、河川流量の同位体比の計算を詳細に行わなければ、対象領域全体の同位体分布に影響を与える可能性が大きいという問題点が明らかになった。またオフライン計算により行う海洋のモデリングについては、MIROCで出力された月別の流速データを利用する際に、データの期間によっては外部重力波による流速場の収束・発散が残ることによって、計算を不安定にしてしまうという問題点を明らかにすることができた。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまでの気候モデルや気候変動の復元作業では、水温の予測に関しては比較的高分解能な復元ができていたが、塩分に関しては、極めて困難な状況であった。今回のサンゴの分析から、分離が困難であった水温と塩分変化について、微量金属測定を併用することで、夏および冬の水温と塩分それぞれについて検討することが可能となった。また、気候モデルに関しても、大循環モデルとオフラインモデリング手法を組み合わせることにより、水の同位体を組み込むことが可能であるという目処がつつきつつある。モデルとデータの修正を詳細に検討することで、炭素循環計算は正しく行えることが確認されたため、同位体の変動復元のモデル化についても、今後の研究にて達成可能であるという予測がたてられた。また、大気モデルにおいては、オフライン計算に受け渡すためのデータの再現において、積雲降水過程の同位体比の計算に問題がある点など、具体的な問題点を浮き彫りにすることができてきた。このことは、IPCC 第5次報告書の前にモデルの改良を重点的にやっていく点である。この点は河川流量の海洋への受け渡しの高精度復元と共に、検討課題である。

### (2) 環境政策への貢献

その重要性が指摘されている古気候復元値と古気候シミュレーションを綿密に行うことによって、次回のIPCC報告書へ組み込むことができる学術成果を公表することができる。また、国連のIGBP傘下のPAGES (Past Global Changes)に関しても、これまでデータの少なかった西太平洋域の水温や塩分データを供給することで貢献することができる。IPCCのAR4では、気温の予測精度のモデル間のばらつきは小さく、比較的確度の高い予測を行えることが指摘されたが、水循環の予測については、モデル間のばらつきが大きい。しかし実際に人間活動に大きな影響を及ぼす自然現象は、降水量の変化である。したがって、過去の水循環の定量的な変動復元のトレーサーとしての酸素同位体比変動の復元とモデルによる予測が行えるようになることは、農業や防災と行った地球環境施策に対する影響という点でも大きな貢献となる。

## 6. 研究者略歴

課題代表者：横山 祐典

1970年生まれ、オーストラリア国立大学 大学院PhDコース修了、PhD。カリフォルニア大学バークレー校宇宙科学研究所研究員、米国エネルギー省ローレンスリバモア国立研究所研究員、東京大学大学院理学系研究科 講師、平成22年3月現在、東京大学海洋研究所 准教授

主要参画研究者

(1) 1) : 横山 祐典(同上)

2) : 井上麻夕里

1977年生まれ、東北大学理学研究科博士課程修了、平成22年3月現在、東京大学海洋研究所 助教

3) : 岡 顕

1974年生まれ、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、平成22年3月現在、東京大学気候システム研究センター 特任助教

(2) 1) : 大垣内るみ

1973年生まれ、神戸大学大学院自然科学研究科博士課程修了、現在、独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域 地球温暖化予測研究プログラム 古気候研究チーム所属

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) Chang, Y.-P., M.-T. Chen, **Y. Yokoyama**, H. Matsuzaki, W. G. Thompson, S.-J. Kao and H. Kawahata (2009), Monsoon hydrography and productivity changes in the East China Sea during the past 100,000 years: Okinawa Trough evidence (MD012404), *Paleoceanography*, 24, PA3208, doi:10.1029/2007PA001577.
- 2) De Deckker, P., and **Y. Yokoyama** (2009), Micropalaeontological evidence for Late Quaternary sea-level changes in Bonaparte Gulf, Australia, *Global and Planetary Change*, 66, 85-92.
- 3) Kawahata H., H. Yamamoto, K. Ohkushi, **Y. Yokoyama**, K. Kimoto, H. Ohshima, H. Matsuzaki (2009), Changes of environments and human activity at the Sannai-Maruyama ruins in Japan during the mid-Holocene Hypsithermal climatic interval, *Quaternary Science Reviews*, 28, 964-974.
- 4) Simms, A. R., N. Aryal, **Y. Yokoyama**, H. Matsuzaki and R. Dewitt (2009), Insights on a proposed mid-Holocene highstand along the northwestern Gulf of Mexico from the evolution of small coastal ponds. *Journal of Sedimentary Research*, 79, 757-772.
- 5) Fujita, K., A. Omori, **Y. Yokoyama**, S. Sakai and Y. Iryu (2010), Sea-level rise during Termination II inferred from large benthic foraminifers: IODP Expedition 310, Tahiti Sea Level, *Marine Geology*, 271 (1-2), 149-155.
- 6) **Inoue, M., Y. Yokoyama, M. Harada, A. Suzuki, H. Kawahata, H. Matsuzaki and Y. Iryu** (2010), 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.
- 7) Martinez, J. I., **Y. Yokoyama**, A. Gomez, A. Delgado, H. Matsuzaki (2010), Late Holocene marine terraces of the Cartagena region, southern Caribbean: The product of neotectonism or a former high stand in sea-level?, *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 214-224. doi:10.1016/j.jsames.2009.08.010.
- 8) Miyaji, T., K. Tanabe, Y. Matsushima, S. Sato, **Y. Yokoyama**, H. Matsuzaki (2010), Response of daily and annual shell growth patterns of the intertidal bivalve *Phacosoma japonicum* to Holocene coastal climate change in Japan, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 286, 107-120.
- 9) Simms, A. R., N. Aryal, L. Miller, **Y. Yokoyama** (2010), The incised valley of Baffin Bay, Texas: a tale of two climates, *Sedimentology*, 57, 642-669.
- 10) Araoka, D, M. Inoue, A. Suzuki, **Y. Yokoyama**, R.L. Edwards, H. Cheng, H. Matsuzaki, H. Kan, N. Shikazono and H. Kawahata (2010), Historic 1771 Meiwa tsunami confirmed by high-resolution U/Th dating of massive Porites coral boulders at Ishigaki Island in Ryukyus, Japan, *Geochemistry Geophysics Geosystems*. in press
- 11) Ando, A., T. Nakano, H. Kawahata, **Y. Yokoyama** and B.-K. Khim (2010), Seawater Sr isotope ratios on a glacial-interglacial timescale: An application of latest high-precision thermal ionization mass spectrometry, *Geochemical Journal*. in press
- 12) **Yokoyama, Y.**, M. Koizumi, H. Matsuzaki, Y. Miyairi, and N. Ohkouchi (2010), Developing ultra small-scale radiocarbon sample measurement at the University of Tokyo, *Radiocarbon*. in press
- 13) **Yokoyama, Y.**, A. Suzuki, F. Siringan, Y. Maeda, A. Abe-Ouchi, **R. Ohgaito**, H. Kawahata, and H. Matsuzaki (2010). *Geophysical Research Letter*, in press.

(2) 査読付論文に準ずる成果発表（社会科学系の課題のみ記載可）

該当せず

RF-081 サンゴ骨格による古気候復元と大循環モデルの統合による気候値復元と予測に関する研究

(1) サンゴ骨格古気候値復元と精度検証、サンゴサンプル採取および海洋物理学的考察 東京大学 海洋研究所 横山祐典・井上麻夕里・岡頭

(1) 大循環モデル(MIROC)を用いた古気候及び将来予測マップ復元と改良 独立行政法人 海洋研究開発機構 大垣内 るみ

平成20～21年度合計予算額 16,252千円

(うち、平成21年度予算額 7,697千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 気候変動に関する政府間パネルの第4次評価報告書(IPCC AR4)が2007年に発表されたが、計算機資源の向上からくる高精度モデル計算による気候予測と、地球科学的分析手法の発達に伴った過去の気候データの復元の高精度化、のどちらもが今回の報告書の予測精度の向上に貢献したとされている。報告書の中では、予測シナリオにおけるモデル間の気温変動予測は比較的良い一致を見ているが、温暖化によって引き起こされると危惧される降水量や蒸発量の変化については、特に低緯度から中緯度についての確度が極めて低い。そこで本研究では年輪を刻むサンゴ骨格の化学分析を行い、異なる時間断面に沿った、特に西太平洋の古気候変動を復元した。またその結果を、地球シミュレータを用いた気候モデルと比較することにより、モデルの動作特性の理解を深めるとともに、同位体比変動を組み込む改良に取り組んだ。この2つの研究を同じグループで並行してすすめることにより、水循環変動を含む気候システムの定量的な理解を進めた。研究期間において、北西太平洋域の水循環に深く関わりのある黒潮変動や水温変動について、過去5,000年間を超える描像を描くことができた。また、本プログラムにより採取された現生ハマサンゴ群体は、400年を超える週-月単位の水温および表層海洋環境変遷の連続記録を保持しており、産業革命以前や小氷期までも含む、これまで公表されている中で、最も長い記録をもち、人間活動の影響を客観評価できるサンプルを採取することができた。

[キーワード] 古気候、IPCC、気候モデル、水温、サンゴ

## 1. はじめに

熱帯・亜熱帯地域は過剰な熱量を南北へと輸送するいわば、地球の熱源の役割を果たし、また、ENSO(エルニーニョ南方振動)などの地球規模の環境変動に大きな影響を与える。そのため、熱帯・亜熱帯における海洋の動態を知ることは気候システムの理解のために極めて重要である。しかし、熱帯・亜熱帯地域の水温・塩分といった観測データはせいぜい数十年程度までしかさかのぼることができない。それより以前の環境情報を知るためには、間接指標を用いる必要がある。現在まで間接指標として、アルケノン・有孔虫・石筍などを用いて、さまざまな古環境復元の研究がおこなわれてきたが、近年、ENSO やモンスーンといった季節性の気候変動解析の必要性が高まり、有孔虫などの海底堆積物では困難な季節変動を復元することが可能なサンゴ骨格を用いた研究が

盛んになってきた。一方で、北西太平洋におけるサンゴ化石を用いた完新世のデータはまだ少なく、“Climate Optium” (Kalis et al., 2003)のような気候変動が議論されている中期から後期完新世に関しては、まだ十分なサンゴ化石のデータは得られていない。北西太平洋の完新世の古環境復元の研究では、中国の南東部の石筍を用いて、日射量の変動に伴って中期完新世においてモンスーンが現在よりも強化されていたことが示唆されている (Dykoski et al., 2005)。また、中国大陸において、花粉の分析やレス（風成塵）・古土壌の記録から、完新世における日射量の弱化に伴って東アジアモンスーンが南東にシフトしてきたということが示唆されている (An et al., 2000)。このように、完新世の陸域データに比して、海洋データはまだ十分ではない。海洋の表層水温や塩分といったデータは過去の降水と蒸発のバランスを議論する上で非常に重要な役割を果たす。

そこで、本研究では北西太平洋に位置する琉球列島に属する喜界島のサンゴ、南シナ海ルソン島のサンゴ骨格を用いて、中期から後期完新世における古海洋環境について考察する。また、太平洋タヒチのサンゴを使った過去2万年間の海洋環境復元も行う。

喜界島は、島全体が隆起サンゴ礁からなり、サンゴ化石が陸上に露出しているという特徴をもつ。喜界島におけるサンゴ化石の年代測定については、これまでも多くの研究が行われている (太田., 1978, 大村., 1988, ほか)。またフィリピンルソン島では、完新世の隆起サンゴ礁が存在することから、過去6,000年間の環境復元が可能である。一方南太平洋タヒチでは、国際プロジェクトにより採取されたコアが、海水準が現在より低く、地球の公転軌道要素が現在と異なる。そこで、本研究では、喜界島のサンゴ化石の放射性炭素年代を測定し、続成作用（サンプルの変質）の有無を検討することで年代値の信頼性を議論する。その上で、サンゴ化石の酸素同位体比、微量元素を測定することで過去の水温、塩分といった古環境情報を復元する。

また並行して、気候変動に関する政府間パネル第4次報告書 (IPCC AR4) でも用いられた、気候モデルであるMIROCを用いて気候値を復元-比較することで、データによるモデルの精度確認や過去の気候現象のメカニズムの理解などを行う。重要な改良点は、今回のプロジェクトにおいて、モデルとデータを1:1でつなぐプロキシを用いることである。そこで表層の水循環の変動を定量的に表す指標として、酸素同位体比に着目した。この変動をサンゴ骨格から復元し、MIROCにも大気および海洋の同位体モデルをくみこむことによって、観測データとの定量的な直接比較が可能とし、観測される気候現象のメカニズムも明らかにできるようにしていく。

## 2. 研究目的

低緯度および高緯度の水循環変動を定量的に復元し、将来予測モデルの動作特性を明確にするために、サンゴ骨格の微量金属及び同位体比測定を行い、過去の水温および塩分の復元を行う。得られたデータの解析を行いつつ、モデルの確度の検証と同位体比変動予測を可能にするための改良を試みる。本研究では、現在生息している試料と化石試料のサンゴ骨格年輪の採取を行い、化学分析を用いた水温および塩分計を開発する。水循環変動復元を行うために異なる時代における中・低緯度海洋環境復元を行う。得られたデータの信頼性向上は、適宜飼育実験結果などと比較しながら検証する。

## 3. 研究方法

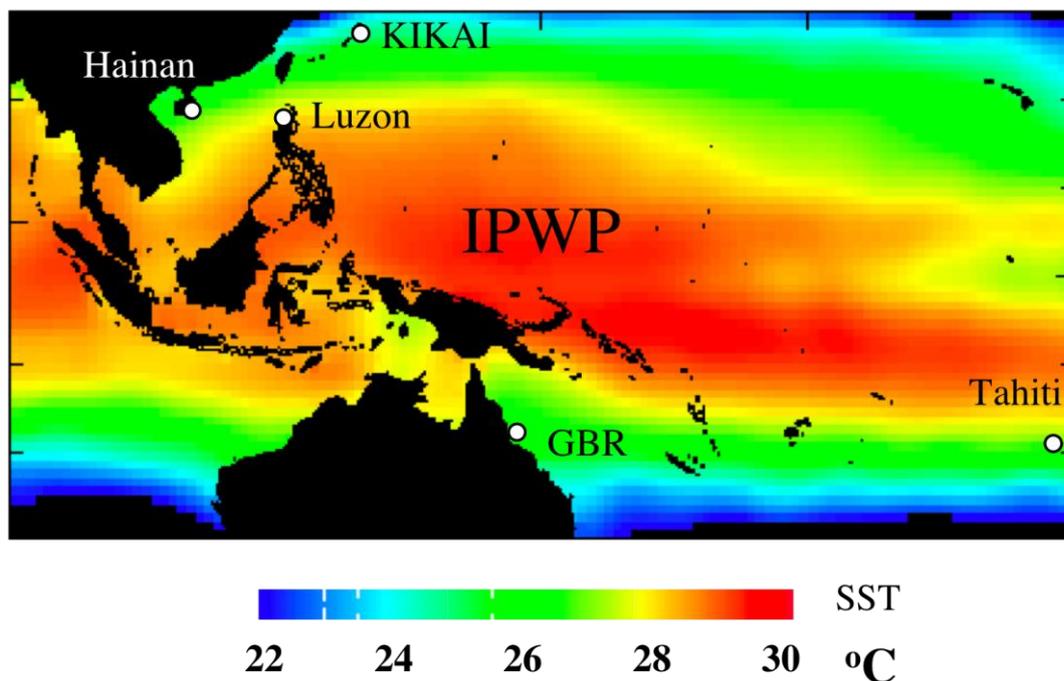


図 1 インド太平洋暖水塊と本研究で使用したサンプルの位置 (Yokoyama et al., 2010)

喜界島は東経 130 度 00 分、北緯 28 度 19 分に位置し、琉球列島に属している (図 1)。喜界島は、島全体が数段の隆起サンゴ礁段丘からなる周囲 48.6km の小さな島である。そしてプレート境界である琉球海溝に近いため、隆起速度は約 1.87mm/yr (中田, 1976) と大きく、パプアニューギニアのヒュオン半島やカリブ海のバルバドスとともに世界有数である。その大きな隆起速度のために、更新世後期や完新世のサンゴ礁が地上に隆起しており、この時期の化石サンゴをサンプリングするには非常に適した場所である。喜界島の完新世の隆起サンゴ礁は 4 つの段丘に分かれていて、(太田, 1978) それぞれの段丘の形成時期が数多く議論されている。そのために面ごとにどれほどの年代を示すかということがよく調べられている。(中田, 1987 ほか)

現在の東シナ海は、ユーラシア大陸と西太平洋の間に位置し、東アジアモンスーンの影響を強く受ける。また、喜界島は、周囲を北上する黒潮の影響で水温が高く、現生サンゴの生息北限付近に位置している。中緯度域に位置することから、熱帯域よりも水温の季節変動が大きく、明確な年輪を持つことが期待される。

黒潮は、北西太平洋の低緯度から高緯度への熱輸送に大きな役割を果たしていて、LGM (Last Glacial Maximum) 以降、海水面の変動に伴い、流量・流路が変化してきたと考えられている (Kao et al., 2006)。そのため、この地域の古海洋環境を考える上で、非常に重要な要素である (Chang et al., 2009)。黒潮は、海水面が低かった LGM においては、台湾と琉球列島にできた陸橋により沖縄トラフには流れ込まず、琉球列島の南側を北上していたが、海水面の上昇によって 13ka 以降現

在のように台湾と与那国島の間から沖縄トラフへ流れるようになったと考えられている (Ujiie et al., 2003)。したがって、日本列島および北西太平洋の海洋環境変遷を復元する上で重要な、沖縄トラフの海洋環境復元を、本海域で採取された海洋堆積物を用いて行った (図 2; Chang et al., 2009)。

IPCC第4次報告書では大気海洋結合大循環モデル (AOGCM) による将来の気候変動予測で水循環過程においてモデル間で結果にバラツキが生じていることが問題点として挙げられており、特に水循環の変化に敏感な低緯度域での不確定性が高いのが現状である。

低緯度域の中でも南シナ海は、その地理的位置からアジアモンスーンやエルニーニョ・南方振動 (ENSO) のような気候システムの理解を深めるための重要な地域の一つである。古環境の復元には様々な手法が用いられるが本研究では造礁サンゴの炭酸カルシウム骨格に着目した。サンゴ骨格は高密度と低密度の層からなる年輪を形成しており、この骨格には海水温や塩分といった海洋環境の情報が記録されている。この年輪の成長軸方向に沿って種々の安定同位体比や微量元素などの化学分析を行うことにより、高い時間分解能 (週～月単位) で海洋環境の復元をすることができる。このためサンゴ骨格には、海底堆積物などでは難しい季節変動を復元することができるという利点がある。

しかしながら、南シナ海におけるサンゴ骨格を用いた完新世の古環境復元の研究は中国南部における海南島 (Sun et al., 2005) と、南シナ海北西部のみでしか行われていないのが現状である。そこで、本研究では南シナ海東部に位置するフィリピンのルソン島の沿岸部より、現生および中期完新世の化石のハマサンゴを採取し、成長軸に沿う骨格の酸素同位体比分析による水温・塩分変動復元を行って、これらの地域における古海洋環境復元を試みた。

熱帯太平洋域の気候は東西方向の水温傾斜や熱帯域の貿易風の強弱に起因するエル・ニーニョ南方振動 (ENSO; El Nino-Southern Oscillation) により特徴づけられる全球的な気候変動にも影響を与えている。熱帯太平洋西部には地球上で最も温暖な海として知られるインド太平洋暖水プール (IPWP; Indo Pacific Warm Pool; 図 1) があり、地球の熱源または水蒸気源となっている。これは低緯度域では海面近くで西向きの貿易風が吹いており、表層の温かい海水が西側へと運ばれるためである。この西向きの貿易風が強いほど暖水プールは西寄りに深く形成され、太平洋東域のペルー沖では湧昇が活発になるため深層の冷たい海水の影響で水温が低下し東西の水温勾配が大きくなる。これは熱帯太平洋海域の東西の地上気圧勾配をも大きくすることにつながり、その結果貿易風もより強くなる。この正のフィードバック機構が顕著に表れている状態はラ・ニーニャ状態と呼ばれる。逆に水温勾配が小さいときには貿易風も弱く、西域の暖水プールは東方へ浅く広がり、ペルー沖では湧昇の活動が弱まる。この状態はエル・ニーニョ状態であると呼ばれる。このように熱帯太平洋域の海洋の水温分布は大気の循環と密接な関係にあり、全球規模の気候変動へも大きな影響力を持つ。したがって氷期-間氷期における気候変動を調べる上でも当時の熱帯太平洋域の表層海水温 (SST; Sea surface Temperature) や塩分、湧昇流の強弱などの海洋環境情報を得ることは大変重要である。したがって今回は、気候システムの理解を推進するため、タヒチ島により採取された異なる年代の、過去2万年間のサンゴ骨格試料について、微量元素分析を行い、海洋環境復元をおこなった。

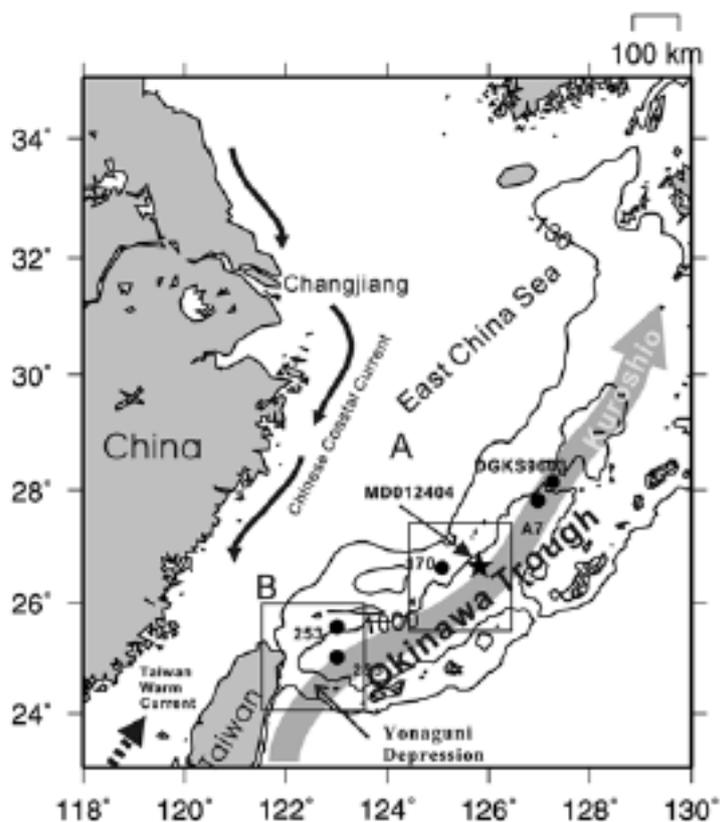


図 2 黒潮流域 (Chang et al 2009)

### 1) サンゴ骨格による古環境復元

造礁サンゴの骨格は、炭酸カルシウムの aragonite 構造からなり、夏期と冬期で骨格成長速度が異なるために骨密度変化によって年輪が生じる。この年輪を作る際に周囲の環境情報を反映するために、サンゴ骨格から過去の環境情報を取り出すことができる。

本研究の分析には、ハマサンゴ属を用いた。ハマサンゴのような群体サンゴの中には、数百年にわたり直径数 m にもなる巨大な塊状の群体に成長するものもあるため、古環境情報を長期にわたって反映している。それゆえ、サンゴ骨格は古環境を復元する上で、非常に有効であるといえる。

以下に、サンゴ骨格の各プロキシの概要について示す。

#### ① 酸素同位体比

サンゴ骨格中の酸素同位体比  $\delta^{18}O_c$  は、表層の海水温 (SST) と海水の酸素同位体比  $\delta^{18}O_{sw}$  の情報を記録している (Gagan et al., 1998 など)。これまでの研究で、観測記録と実際の海水温 (SST) と骨格中の酸素同位体比  $\delta^{18}O_c$  を比較することによって、経験的な換算式が各海域ごとに求められている。

$$\text{SST} (^{\circ} \text{C}) = 2.84 - 4.79(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) \quad (1)$$

ここで $\delta^{18}\text{O}_c$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{sw}$  は標準物質PDBに対する方解石と水の酸素同位体比の値を表す。

$\delta^{18}\text{O}_{sw}$  は、海水の水収支、すなわち蒸発・降水のバランス、河川水の流入、氷床量の変動などに依存している。蒸発では軽い $^{16}\text{O}$ が優先し、海水中には重い $^{18}\text{O}$ が多く残される。逆に、雨水・河川水は $^{18}\text{O}$ に乏しいために、降水が多くなると $\delta^{18}\text{O}_{sw}$ は小さくなる。そのため、降水による塩分低下の場合、 $\delta^{18}\text{O}_{sw}$ は軽い方向にシフトさせ、蒸発による塩分の上昇は $\delta^{18}\text{O}_{sw}$ を重い方向へとシフトさせる。さらに、 $\delta^{18}\text{O}_{sw}$ は氷床量の変動にも大きく左右されるが、本研究の対象時期である中期から後期完新世では、海水準が現在とほぼ同じで(Yokoyama et al., 1996)、氷床量は一定だったと考えられるので、 $\delta^{18}\text{O}_{sw}$ は主に塩分の影響に強く依存していると考えられることができる。

## ② 微量元素

サンゴ年輪に含まれる微量金属元素を用いた古環境復元の原理は、サンゴが成長して骨格を形成していく際に、骨格を形成するアラゴナイト( $\text{CaCO}_3$ )中のカルシウムを置換する形で、他の2価の金属陽イオンが周辺の海水から取り込まれることによる。このサンゴ骨格に取り込まれる際の金属イオンの量は、周辺の海水の温度や海水中の金属元素の濃度など様々な環境要素によって制限される。そこで、サンゴ骨格の微量金属元素含有量を測定し、その絶対量の変化や周期的変動を見ることによって、骨格形成当時の周辺環境を推定することができる。

サンゴ骨格中に取り込まれる金属元素のうち、本研究では、Mg, Sr, Ba, Uについての測定を試みた。それぞれの金属元素が、どのような環境によってその絶対量が制限されるかということは、数多く議論されている。以下にその概要を示す。

### Sr/Ca

微量金属元素のうち最初に指標として用いられたのがSr/Ca比で、骨格に取り込まれるSrの分配係数が温度のみに依存することから、Sr/Ca比は海水温の指標となることが示された(Smith et al., 1979)。また、海洋中のSrとCaの平均滞留時間は $10^6$ 年程度と長いため、両元素の表層水中の濃度は一様であり、少なくとも過去 $10^5$ 年間にわたって海水中濃度が一定だったと考えられる(Beck et al., 1992)。それゆえ、完新世のサンゴ骨格のSr/Ca比はほぼ生息水温によって決定されていると考えてよい

骨格のSr/Ca比は海水温とは逆相関の関係にあり(Beck et al., 1992)、一般的に、Sr/Ca比と表層水温(SST)の関係式は以下のように表わされる。

$$\text{Sr/Ca (mmol/mol)} = a + b \times \text{SST} (^{\circ} \text{C}) \quad (2)$$

しかし、a, bといった値はその海域や群体によって少しずつ異なるために、場所ごとにキャリブレーションをする必要がある。

このように骨格のSr/Ca比が表層水温(SST)を反映することから、骨格の酸素同位体比からSr/Ca比から求められる表層水温(SST)の影響を差し引くことで、海水の酸素同位体変比(塩分)を復元することができるため(McCulloch et al., 1994)、Sr/Ca比と骨格の酸素同位体比を用いて、水温(SST)と塩分を別々に復元するという研究が多く行われている。本研究でもこの方法により、水温と塩分を復元する。

#### Mg/Ca比

最近では、Mg/Ca比もSr/Ca比と同様に海水温の指標となることが報告されている(Mitsuguchi et al., 1996)。Mg/Ca比はSr/Ca比に比べ温度による変動幅が大きい上、簡便なICP-AES(誘導結合プラズマ発光分析分析法)で測定できることから、海水温指標として期待されていたが、近年の精密飼育実験によって、Mg/Ca比は水温よりむしろ成長速度により支配されている可能性が高い(Inoue et al., 2007)という問題点も指摘されている。

#### U/Ca比

サンゴ骨格のU/Ca比についても、Sr/Caと同様に海水温の指標となることが指摘されている(Min et al., 1995)。ウランにはアラゴナイト中のCaを置換する2価の陽イオンとして $UO_2^{2+}$ があり、海水中では $UO_2^{2+}$ と炭酸イオン( $CO_3^{2-}$ )の錯体である $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ として多く存在する。この $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ は海水のpHの変化により $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ および $UO_2CO_3$ に変化する。このことから、サンゴ骨格中のU/Ca比は海水中のpHおよび全炭酸量に敏感に影響されることも指摘されている(Min et al., 1995)。

#### Ba/Ca

Ba/Ca比は海水温と逆相関し(Shen et al., 1992)、海水の鉛直方向の流動すなわち湧昇流の強弱を示す指標となるといわれている(Shen et al., 1987)。また、Baは河川水の流入を示す指標である可能性も指摘されている。

## 2) 試料の前処理と続成作用の評価

採取した試料は、まずサンゴの最大成長軸にそって厚さ7mmほどのスラブに切り出した。この際、成長軸付近から数グラム分を切り出し乾燥させて、放射性炭素年代測定用・粉末X線回折用の試料とした。切り出したスラブは純水で十分に超音波洗浄して、40℃において乾燥させた。

こうして得られた試料をまず、続成作用チェックのために粉末X線回折を行った。

サンゴの骨格は、形成時は炭酸カルシウムのaragonite構造(アラレ石)だが、骨格形成後の保存状態によっては続成作用を受けて、calcite構造(方解石)へと変化してしまうことがある。これは結晶構造の違いによるもので、三方晶形の方解石の方が斜方晶形のアラレ石よりも安定なために起こる。閉鎖系が保たれていないと、放射性年代測定の信頼性が失われるために、サンゴが続成作用を受けていないかどうかを調べる必要がある。

続成作用を受けているサンプルは、たいていの場合年代値の値が見かけ上若くなる。これは保存の過程で起こる原子の交換が周囲の新鮮な( $^{14}C$ が崩壊していない)原子との交換であ

り、 $^{14}\text{C}$  をより多く含んでいると推定されるためである。

粉末 X 線回折 (X-ray Diffraction: XRD) は、試料の粉末に X 線を照射し、その X 線の回折パターンを解析することによって試料の結晶構造を分析する手法である。結晶構造の異なる aragonite と calcite は回折パターンが異なるため、粉末試料に照射された X 線は異なる角度で回折する。検出された回折 X 線のピークの位置と強度を見ることによって、aragonite と calcite がどのくらいの比で含まれているかということを決定できる (図 3)。

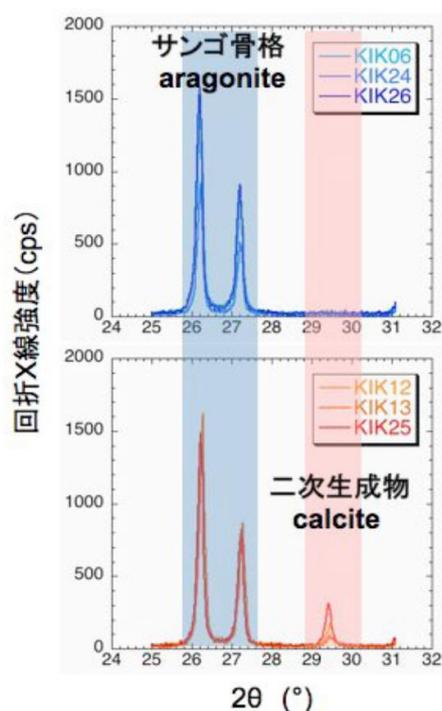


図 3 粉末 X 線回折の例

### 3) 年代測定

各試料の放射性炭素年代は、東京大学タンデム研究施設 (Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator; MALT) の加速器質量分析計 (Tandem Accelerator Mass Spectrometry; TAMS) を用いて測定した。

前処理は Yokoyama et al. (2007) に基づき、まず乾燥させた年代測定用の試料を 12 mg 程度秤量し、表面の塩酸処理を行った。これにより、サンゴ表面に付着している不純物を溶かし出すことができる。純水ですすいだ後、真空乾燥機で十分に乾燥させた。真空乾燥機を用いることで、大気中の二酸化炭素との交換を防ぐことができる。次に試験管を真空中に密閉後、リン酸を加えることで試料を完全に溶かし二酸化炭素を発生させる。さらに、これをガラスラインに取り付け、ドライアイスエタノールや液体窒素エタノールの冷却トラップで水蒸気などの不純物を取り除いた。こうして精製された二酸化炭素を、十分還元した鉄粉と水素ガスとともに 630°C で熱することで還元し、純粋な炭素を得た。この炭素を少量の銀とともにプレスすることで、加速器質量分析計で分析できる試料となる。

今回 MALT で用いた加速器はペレットロン 5UD タンデム加速器である。

#### 4) 酸素同位体比測定

分析に用いた試料は Suzuki et al. (2003) の方法に基づき、マイクロサンプリングを行った (図 4)。サンゴスラブの端部に成長軸が連続的に含まれるように整形し、この端部を上面・下面から 2.5 mm ずつ削り込んで、厚さ 2 mm の棚を作り、この部分についてマイクロサンプリングを行う。この加工は形成時期の異なる部分の混入を極力避け、成長軸に沿った部分だけをサンプリングするための操作であり、試料の断面積は約 2 mm × 2 mm と小さくなっている。ミリングビットの側刃を使い、成長軸方向に 400 μm 毎にサンゴ骨格を削り落としていく。試料はミリングビットの下に置いた薬包紙で受ける。

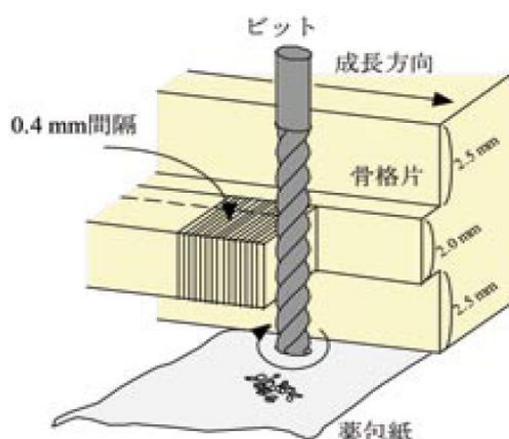


図 4 サンゴ骨格の微小試料採取方法。

酸素同位体比の測定には、質量分析装置 OPTIMA および ISOPRIME (Micromass 社) を用いた。マイクロサンプリングで得られた試料から 90~120 μg を秤量し、試験管にとる。これを OPTIMA に接続されている炭酸塩自動処理装置 MULTIPREP ISOPRIME (Micromass 社) にセットすると、試料にリン酸を加えて二酸化炭素ガスを発生させるという手順が自動的に行われる。そして質量分析によって酸素同位体比を得ることができる。

質量分析計 OPTIMA の導入後の稼働開始時における測定性能試験が、炭酸塩標準物質 NBS-19 の繰り返し測定によって行われ、その標準偏差は酸素同位体比について 0.04‰ (1σ) であり、ISOPRIME についても 0.04‰ (1σ) と同等の分析精度が得られている。

測定はまず 4 サンプルごとに測定して、大まかな酸素同位体比の変動を調べた後で、極値付近を細かく見るためにさらに細かく (例えば、極値付近のみ 2 サンプルずつなど) 測定した。

#### 5) 微量金属元素測定

Ca 濃度と微量金属元素 Sr、Mg、Ba、U の濃度は ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析器 Hewlett Packard HP-4500) で同時に測定した。かつて 1990 年代初めにおいて水温復元のための Sr/Ca 比測定の際には表面電離型質量分析器 (TIMS) が用いられていた。当時から TIMS の測定誤差は水温にして ±0.05°C (Beck et al., 1992) で古水温の復元に十分な精度であった。一方 ICP-MS などは測定精度が低すぎるため使用されていなかったが、測定の簡便性を考えると ICP-MS での測定は TIMS よりも魅力的であった。そこで Lecornec and Correge (1997) では ICP-MS で測定精度を上げ

る努力を行い精度向上に成功した。測定試料に内標準物質を加えることにより試料噴射量の変化やプラズマ光源の変動に起因する物理干渉を補正し、さらに未知試料5つおきに1つの濃度既知の標準試料を挟んで測定することで機械のドリフトを補正した。その結果、測定誤差を水温にして0.5℃以下にまで改善することに成功した。本研究でもこの内標準法により測定を行った(Inoue et al., 2007)。

#### 4. 結果・考察

ターゲットにしている西太平洋域において、過去7,000年間を対象に化石サンゴ試料の採取を行った。7,000-1,000年前は北半球の太陽からの日射量の季節変動パターンが現在と異なっており、中緯度-高緯度での夏の気温や水温変動が引き起こされていたことが予測される時期である。また、大気中の二酸化炭素濃度は、産業革命以前の値とほぼ同じであるとともに、全球的な海水量も同じであったとされるため、日射変動のみよって気候システムがどのように変動するかを検討することのできるユニークな時期である。

特に今回はおよそ3,000年、4,200年、4,400年そして4,600年前のサンプルを分析した。その結果、上記の期間のうち4,600年前を除いて、夏と冬ともに最大で1℃以上水温が低かったことが判明した。安定同位体比を組み合わせた塩分の復元結果は、夏冬ともに現在よりも高い塩分であったことがわかった。

完新世とよばれる過去10,000年間は、日射量の変化から、中高緯度では現在よりも気温が高いことが予測されていた。実際に陸域のデータなどからはそれと整合的な結果が出ているが、今回の結果は先行研究によって求められていた結果とは異なり、系統的な低い水温を示した。おそらく現実の気候システムの中では、大気-海洋の結合性が極めて重要な変化要因になっていることが示される。つまり、塩分が高い海域では、一般には高い表層水温が予測されるが、それとはことなり、風の強度変化によって塩分変化がもたらされた可能性が想定される。

同様の結論は、フィリピンのサンゴ骨格分析からも得られた(Yokoyama et al., 2010)。つまり、南シナ海-東シナ海において、当時の海水の酸素同位体比は現在と比べて有意に重く、現在にかけての表層水塩分の低下が起こったことが示された。

最終融氷期の熱帯太平洋における大気と海洋の相互作用を復元し、全球的な気候変動との関係を明らかにすることは、地球の気候システムの理解のために重要であるが、とりわけ中部から南東部にかけての海域における環境変動の詳細については不明な点が多い。2005年10-11月、統合深海掘削計画(IODP)のExp. 310では、南太平洋タヒチにおいて貴重な掘削コア試料が得られた。本研究では、その掘削コア試料中のハマサンゴ属(*Porites* spp.)の骨格を用いて最終融氷期の海洋環境変化を復元した。まず粉末X線回折分析により化石骨格試料の続成の影響の有無を検討し、その後、放射性炭素法により年代を測定した。あられ石のみから成る未変質サンゴ化石30試料について15 kaから9 kaにかけての年代値が得られた。これは、北半球において比較的温暖であったベーリング・アレード期(15.4-12.9ka、以下B-A)から、寒冷であったヤンガー・ドライアス期(12.9-11.6ka, YD)およびその後の温暖期に対応する。これら化石サンゴ群体の生息時の平均的海洋環境を復元するために、それぞれ3から5年分にあたる骨格を採取、均質化したバルク試料について、Sr/Ca比、U/Ca比、Mg/Ca比、Ba/Ca比、酸素同位体比、Cd濃度を測定した。11-10 kaのサンゴ化石では湧昇の指標とされるBa/Ca比やCd/Ca比が相対的に大きいことから、湧昇の可能性が示

唆された。これは、サンゴ骨格の酸素同位体比とSr/Ca比から氷床効果を考慮して推定される当時の海水の塩分が現在よりも大きかったことも整合的である。当時、タヒチ周辺の温度躍層が現在よりも浅いところに位置し、熱帯太平洋が現在よりもラニーニャ的環境にあったと考察された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまでの気候モデルや気候変動の復元作業では、水温の予測に関しては比較的高分解能な復元ができていたが、塩分に関しては、極めて困難な状況であった。今回のサンゴの分析から、分離が困難であった水温と塩分変化について、微量金属測定を併用することで、夏および冬の水温と塩分それぞれについて検討することが可能となった。

### (2) 地球環境政策への貢献

その重要性が指摘されている古気候復元値と古気候シミュレーションを綿密に行うことによって、次回のIPCC報告書へ組み込むことができる学術成果を公表することができる。また、国連のIGBP傘下のPAGES (Past Global Changes)に関しても、これまでデータの少なかった西太平洋域の水温や塩分データを供給することで貢献することができる。IPCCのAR4では、気温の予測精度のモデル間のばらつきは小さく、比較的確度の高い予測を行えることが指摘されたが、水循環の予測については、モデル間のばらつきが大きい。しかし実際に人間活動に大きな影響を及ぼす自然現象は、降水量の変化である。したがって、過去の水循環の定量的な変動復元のトレーサーとしての酸素同位体比変動の復元とモデルによる予測が行えるようになることは、農業や防災といった地球環境施策に対する影響という点でも大きな貢献となる。

## 6. 引用文献

1. An, Z., et al. 2000. Holocene climatic optimum of the East Asian Monsoon. *Quat. Sci. Rev.*, 19, 743-756.
2. Beck, J.W. et al., 1992. Sea surface temperature from coral skeletal strontium/calcium ratios. *Science*, 241, 1043-1052.
3. Chang, Y.-P., M.-T. Chen, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, W. G. Thompson, S.-J. Kao and H. Kawahata (2009), Monsoon hydrography and productivity changes in the East China Sea during the past 100,000 years: Okinawa Trough evidence (MD012404), *Paleoceanography*, 24, PA3208, doi:10.1029/2007PA001577.
4. Dykoski, C.A., et al., 2005. A high-resolution absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China., *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 233, 71- 86.
5. Gagan, M.K., L.K. Ayliffe, D. Hopley, J.A. Cali, G.E. Mortimer, J. Chappell, M.T. McCulloch, and M.J. Head. (2003). Temperature and surface-ocean water balance of the mid-Holocene tropical western Pacific. *Science* **279**: 1014-1018.
6. Inoue M. et al., 2007. Empirical assessment of coral Sr/Ca and Mg/Ca ratios as climate proxies using colonies grown at different temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi:10.1029/2007/GL029628. \_

7. Inoue, M., Y. Yokoyama, M. Harada, A. Suzuki, H. Kawahata, H. Matsuzaki and Y. Iryu (2010), 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.
8. Kalis, A. J. and Schmidt, G., 2001. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe—Human impact and natural causes. *Quat. Sci. Rev.*, 22, 33-79.
9. Kao, S. J., et al., 2006. Effects of sea level change on the upstream Kuroshio Current through the Okinawa Trough. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L16604, doi:10.1029/2006GL026822.
10. LeCornec, F., and Correge, T. 1997. Determination of uranium to calcium and strontium to calcium ratios in corals by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Jour. Anal. Atom. Spectr.*, 12, 969-973.
11. McCulloch, M. T., Gagan, M. K., Mortimer, G. E., Chivas, A. R. and Isdale, P. J., 1994. A high-resolution Sr/Ca and  $\delta^{18}\text{O}$  coral record from the Great Barrier Reef, Australia, and the 1982-1983 El Nino. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 12: 2747-2754.
12. Min, G. R., et al., 1995. Annual cycles of U/Ca in coral skeletons and U/Ca thermometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2025-2042.
13. Mitsuguchi, T., Matsumoto, E., Abe, O., Uchida, T. and Isdale, P. J., 1996. Mg/Ca thermometry in coral skeletons. *Science* 274: 961-963.
14. 中田高ほか 1978. 琉球列島の完新世離水サンゴ礁地形と海水準変動. 地理学評論. 51, 87-108.
15. 大村明雄 1988. 中部琉球喜界島の地史-琉球石灰岩サンゴ化石のウラン系列年代測定のまとめとして-, 地質学論集, 29, 253-268.
16. 太田陽子ほか 1978. 琉球列島喜界島の完新世段丘-完新世海面変化研究へのアプローチ-, 地理学評論, 51, 109-130.
17. Shen, G. T. et al., 1992. A chemical indicator of trade-wind reversal in corals from the Western Tropical Pacific. *Jour. Geophys. Res.*, 97, 12689-12697.
18. Smith, S. S. V. et al., 1979. Strontium thermometry in coral skeletons. *Science*, 204, 404-407.
19. Sun, D., M. K. Gagan, H. Cheng, H. Scott-Gagan, C. A. Dykoski, R. L. Edwards, and R. Su (2005). Seasonal and interannual variability of the Mid-Holocene East Asian monsoon in coral  $\delta^{18}\text{O}$  records from the South China Sea. *Earth and Planetary Science Letters* **237**: 69-84.
20. Suzuki, A. et al., 2003. Skeletal isotope microprofiles of growth perturbations in *Porites* corals during the 1997-1998 mass bleaching event. *Coral Reefs*, 22, 357-369.
21. Ujiie, H., et al. 2003. Spatial and temporal variability of surface water in the Kuroshio source region, Pacific Ocean over the past 21,000 years evidence from planktonic foraminifera. *Mar. Micropaleontol.* 49, 335-364.
22. Yokoyama, Y., M. Nakada, Y. Maeda, S. Nagaoka, J. Okuno, E. Matsumoto, Y. Matsushima and H. Sato (1996). Holocene sea-level change and hydro-isostasy along the west coast

- of Kyushu, Japan. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **123**: 29-47.
23. Yokoyama, Y. et al., 2007. Relation between acid dissolution time in the vacuum test tube and time required for graphitization for AMS target preparation. *Nucl. Instr. Meth. B.*, 259, 330-334.
24. Yokoyama, Y., A. Suzuki, F. Siringan, Y. Maeda, A. Abe-Ouchi, R. Ohgaito, H. Kawahata, and H. Matsuzaki (2010). *Geophysical Research Letter*, in press.

## 7. 国際共同研究等の状況

IODP (国際深海統合掘削計画)

共同主席研究員 IODP Exp 325 Great Barrier Reef Environmental Change イギリス調査  
2009年9月 IODP INVEST meeting Theme Co-chair (Bremen)

PAGES (Past Global Changes: 国連IGBP)

IGBP/WCEP comity-PAGES sub comity member

IPCC (国連気候変動に関する政府間パネル)

2010年3月～7月 Scientific Steering Comity Member, IPCC Working Group 1 (Physical  
Science Basis) Workshop on —Sea level rise and Ice sheet instability

INQUA (国際第四紀学連合)

INQUA海洋研究国際委員会 副委員長

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

- 1) Chang, Y.-P., M.-T. Chen, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, W. G. Thompson, S.-J. Kao and H. Kawahata (2009), Monsoon hydrography and productivity changes in the East China Sea during the past 100,000 years: Okinawa Trough evidence (MD012404), *Paleoceanography*, 24, PA3208, doi:10.1029/2007PA001577.
- 2) De Deckker, P., and Y. Yokoyama (2009), Micropalaeontological evidence for Late Quaternary sea-level changes in Bonaparte Gulf, Australia, *Global and Planetary Change*, 66, 85-92.
- 3) Kawahata H., H. Yamamoto, K. Ohkushi, Y. Yokoyama, K. Kimoto, H. Ohshima, H. Matsuzaki (2009), Changes of environments and human activity at the Sannai-Maruyama ruins in Japan during the mid-Holocene Hypsithermal climatic interval, *Quaternary Science Reviews*, 28, 964-974.
- 4) Simms, A. R., N. Aryal, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki and R. Dewitt (2009), Insights on a proposed mid-Holocene highstand along the northwestern Gulf of Mexico from the evolution of small coastal ponds. *Journal of Sedimentary Research*, 79, 757-772.
- 5) Fujita, K., A. Omori, Y. Yokoyama, S. Sakai and Y. Iryu (2010), Sea-level rise during Termination

- It inferred from large benthic foraminifers: IODP Expedition 310, Tahiti Sea Level, *Marine Geology*, 271 (1-2), 149–155.
- 6) **Inoue, M., Y. Yokoyama**, M. Harada, A. Suzuki, H. Kawahata, H. Matsuzaki and Y. Iryu (2010), 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.
  - 7) Martinez, J. I., **Y. Yokoyama**, A. Gomez, A. Delgado, H. Matsuzaki (2010), Late Holocene marine terraces of the Cartagena region, southern Caribbean: The product of neotectonism or a former high stand in sea-level?, *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 214–224.  
doi:10.1016/j.jsames.2009.08.010.
  - 8) Miyaji, T., K. Tanabe, Y. Matsushima, S. Sato, **Y. Yokoyama**, H. Matsuzaki (2010), Response of daily and annual shell growth patterns of the intertidal bivalve *Phacosoma japonicum* to Holocene coastal climate change in Japan, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 286, 107-120.
  - 9) Simms, A. R., N. Aryal, L. Miller, **Y. Yokoyama** (2010), The incised valley of Baffin Bay, Texas: a tale of two climates, *Sedimentology*, 57, 642–669.
  - 10) Araoka, D, M. Inoue, A. Suzuki, **Y. Yokoyama**, R.L. Edwards, H. Cheng, H. Matsuzaki, H. Kan, N. Shikazono and H. Kawahata (2010), Historic 1771 Meiwa tsunami confirmed by high-resolution U/Th dating of massive Porites coral boulders at Ishigaki Island in Ryukyus, Japan, *Geochemistry Geophysics Geosystems*. in press
  - 11) Ando, A., T. Nakano, H. Kawahata, **Y. Yokoyama** and B.-K. Khim (2010), Seawater Sr isotope ratios on a glacial–interglacial timescale: An application of latest high-precision thermal ionization mass spectrometry, *Geochemical Journal*. in press
  - 12) Suganuma, Y., **Y. Yokoyama**, T. Yamazaki, K. Kawamura, C.S. Horng, and H. Matsuzaki. (2010) 10Be evidence for delayed acquisition of remanent magnetization in marine sediments: implication for a new age for the Matuyama-Brunhes boundary. *Earth and Planetary Science Letters*. In press.
  - 13) **Yokoyama, Y.**, M. Koizumi, H. Matsuzaki, Y. Miyairi, and N. Ohkouchi (2010a), Developing ultra small-scale radiocarbon sample measurement at the University of Tokyo, *Radiocarbon*. in press
  - 14) **Yokoyama, Y.**, A. Suzuki, F. Siringan, Y. Maeda, A. Abe-Ouchi, **R. Ohgaito**, H. Kawahata, and H. Matsuzaki (2010b). *Geophysical Research Letter*, in press.

<査読付論文に準ずる成果発表>

該当せず

<その他誌上発表（査読なし）>

1. 「A Biohistory of Precious Corals」分担執筆：Atsushi Suzuki, **Mayuri Inoue and Yusuke Yokoyama** 「Past climate and marine environmental reconstruction using deep-sea precious corals」 2010年、Tokai University Press社
2. 井龍康文，川幡穂高，黒田潤一郎，西弘嗣，**横山祐典**，大河内直彦（2010），地球表層環境－

古環境から未来環境へ、現状を生き抜くためにー, *月刊地球*, 32 (2), 112-119.

3. 「縄文時代の考古学3 大地と森の中で」 分担執筆：横山祐典 「海水準変動と気候、海進・海退」 2009年、同成社
4. 「デジタルブック最新第四紀学」 分担執筆：横山祐典 「海水準変動とグローバルな氷床量」 2009年、日本第四紀学会
5. デジタルブック最新第四紀学」 分担執筆：横山祐典 「TIMSによる珊瑚サンプルのウラン系 列核種年代測定法」 2009年、日本第四紀学会
6. 「東大式 現代科学用語ナビ キーワードでわかるサイエンスの「いま」」 分担執筆：横山祐典 「単極氷床コア」 2009年、化学同人
7. 「珊瑚の文化誌—宝石サンゴをめぐる科学・文化・歴史」 分担執筆：鈴木淳・井上麻夕里・横山祐典 「宝石サンゴから過去の地球環境を復元する」 2008年、東海大学出版会

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) Ohkouchi, N., M. Koizumi, J. B. Anderson, T. I. Eglinton, H. Miura and Y. Yokoyama, Application of compound-specific radiocarbon dating for Antarctic margin sediments, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12) **Invited**.
- 2) Suzuki, A., Y. Yokoyama, H. Kan, N. Hamanaka, H. Matsuzaki and H. Kawahata, Identification of 1771 Meiwa Tsunami deposits using radiocarbon dating and oxygen isotope microprofiling of emerged massive coral boulders, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 3) Koizumi, M., Y. Yokoyama, J. B. Anderson, H. Matsuzaki and N. Ohkouchi, Development a Novel Method to Isolate Fatty Acids for Compound-specific Radiocarbon Dating to Reconstruct West Antarctic Ice Sheet Melting History, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12)
- 4) Yamane, M., Y. Yokoyama, H. Miura, H. Maemoku, S. Iwasaki and H. Matsuzaki, Timing of the last deglaciation in Skarvsnes, Lutzow-Holm Bay, East Antarctica, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12)
- 5) Miyahara, H., Y. Yokoyama, Y. T. Yamaguchi and K. Masuda, Effect of solar variations on the decadal climate cycle, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 6) Sugauma, Y., Y. Yokoyama and T. Yamazaki, The Brunhes/Matuyama polarity transition recorded as Be-10 flux changes in deep-sea sediments, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 7) Ikehara, M., B. Khim, Y. Nakamura, Y. Nogi, K. Katsuki, Y. Sugauma, K. Kameo, H. Miura, Y. Yokoyama, S. Kawamura and S. Kita, Late Quaternary Paleoclimatographic Changes over the Conrad Rise and off Lutzow-Holm Bay in the Indian Sector of the Southern Ocean, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).

- 8) Tyler, J. J., Y. Yokoyama, Y. Kashiyama, N. O. Ogawa, N. Ohkouchi, M. Ikehara and T. Nakagawa, Late Glacial environmental change at Lake Suigetsu, central Japan: preliminary evidence from bulk organic and compound specific isotope geochemistry, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 9) Yamaguchi, Y. T., Y. Yokoyama, H. Miyahara and T. Nakatsuka, Fluctuations in Tree Ring Cellulose d18O during the Little Ice Age Correlate with Solar Activity, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 10) Kubota, Y., K. Kimoto, R. Tada, H. Oda and Y. Yokoyama, Variations of East Asian Summer Monsoon Deduced from the Results of Mg/Ca and Oxygen Isotope of Planktic Foraminifera in the East China Sea Since the Last Deglaciation, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 11) Inoue, M., M. Harada, A. Suzuki, M. Tanimizu and Y. Yokoyama, Variations of chemical components in fossil corals collected from Tahiti by IODP Expedition 310, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 12) Lund, S., E. Platzman, N. Thouveny, G. Camoin, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki and C. Seard, Evidence for Two New Magnetic Field Excursions (11,000 and 13,000 Cal Yrs BP) from sediments of the Tahiti Coral Reef (Maraa tract), *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 13) Tada, R., N. Lavidalie, K. Nagashima and Y. Yokoyama, Extending the Record of Millennial-scale Variability of East Asian Summer Monsoon Back to 650 ka and Beyond, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 14) Yokoyama, Y., H. Suga, T. Naruse, N. O. Ogawa, H. Kitazato, A. Abe-Ouchi and N. Ohkouchi, Rapid transmission of Climate Signals from the North Atlantic to the far Eastern Eurasian continent during the Last Deglacial period, *American Geophysical Union, Fall Meeting* (San Francisco, USA, 2008.12).
- 15) Yokoyama, Y., Empirical Constraints on sea-level rise in future, *Japanese-American Frontiers of Science Symposium* (Irvine, CA, USA, 2008.12) **Invited**.
- 16) Miyahara H., Y. Yokoyama, Y. T. Yamaguchi, H. Matsuzaki, K. Masuda, K. Nagaya, T. Nakamura, T. Nakatsuka and Y. Muraki, Variations of solar and climate proxies during the last 1200 years, *International Workshop on Variabilities of Solar-Cosmic and Terrestrial Environment* (Yokohama, Japan, 2008.12) **Invited**.
- 17) Yamaguchi, Y. T., Y. Yokoyama, Y. Chikaraishi, N. O. Ogawa, K. Fujikura, K. Oguri, H. Matsuzaki, H. Kitazato and N. Ohkouchi, Nitrogen isotopic compositions of amino acids and radiocarbon contents in oceanic chemosynthetic communities, *7th International Symposium for Subsurface Microbiology* (Shizuoka, Japan, 2008.11).
- 18) Aze, T., Y. Yokoyama, K. Horiuchi, H. Matsuzaki, T. Yamagata, M. Maruyama, R. Uemura, H. Motoyama, Preliminary results of Be-10 and Cl-36 analysis during 35 - 45 kyr BP at the Dome Fuji ice core, Antarctica, *The 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry* (Rome, Italy, 2008.9).

- 19) Miyairi Y., **Y. Yokoyama**, K. Horiuchi, R. Kondo, H. Matsuzaki, Precise determinations of eruption ages in Northeast Japan during Marine Isotope Stage (MIS) 3, *The 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry* (Rome, Italy, 2008.9).
- 20) Ramsey C. B., T. Nakagawa, E. Pearson, R. Payne, F. Brock, R. Staff, C. Bryant, H. Lamb, M. Marshall, **Y. Yokoyama**, J. Tyler, A. Brauer, G. Schlolaut, P. Tarasov, Suigetsu-2006: preliminary AMS radiocarbon results and age depth model, *The 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry* (Rome, Italy, 2008.9).
- 21) Maeda Y., F. P. Siringan, **Y. Yokoyama** and G. Quina, Rapid Sea-level Rise in Mid-Holocene in the Philippines, *6th International Conference on Asian Marine Geology* (Kochi, Japan, 2008.8).
- 22) **Yokoyama, Y.**, H. Suga, T. M. Esat, N. O. Ogawa, N. Ohkouchi and K. Lambeck, Sea-level changes during the time into and out of the Last Glacial Maximum, *PAGES/IMAGES workshop "Empirical constraints on future sea-level rise"* (Bern, Switzerland, 2008.8) **Invited**.
- 23) **Yokoyama, Y.**, H. Suga, T. M. Esat, N. Ohkouchi and K. Lambeck, Global ice volume changes during MIS 3 and 2 reconstructed in sea-level observations from Western Pacific sites, *2008 Biennial Meeting of the American Quaternary Association* (Pennsylvania, USA, 2008.6) **Invited**.
- 24) Miyahara, H., **Y. Yokoyama**, and K. Masuda, Transition of the Schwabe/Hale Solar Cycles Associated with the Long-Term Variation of Solar Activity, *International workshop on Solar Variability, Earth's Climate and the Space Environment* (Montana, USA, 2008.6).
- 25) Troiani, T., A.R. Simms, T. Dellapenna, **Y. Yokoyama** and T. Weaver, The impact of changing winds on estuarine evolution, Copano Bay, TX., *Geological Society of America* (Portland, USA, 2009.10)
- 26) Miller, L., A.R. Aimmms, A. Cruse, E.A. Atekwana, **Y. Yokoyama** and **A. Rodriguez**, Was the 8.2ka event 3 events?, *Geological Society of America* (Portland, USA, 2009.10)
- 27) Simms, A.R., N. Aryal, T. Troiani and **Y. Yokoyama**, Methods for reconstructing Holocene Sea Levels in South Texas, *Geological Society of America* (Portland, USA, 2009.10)
- 28) **Yokoyama, Y.**, M. Yamane,, N. Ohkouchi and H. Matsuzaki, Methods for detecting Holocene sea level signals in Antarctica, *Geological Society of America* (Portland, USA, 2009.10) **Invited**.
- 29) Yamane, M. and **Y. Yokoyama**, East Antarctic Ice Sheet fluctuations and global climate changes during the last 5 Myr, *INVEST 2009* (Bremen, Germany, 2009.9)
- 30) Yamaguchi, Y. T., Y. Takano, Y. Chikaraishi, **Y. Yokoyama** and N. Ohkouchi, Compound-specific nitrogen isotope compositions of amino acids from microorganisms as a tool for studying microbial processesn, *INVEST 2009* (Bremen, Germany, 2009.9)
- 31) Yamaguchi, Y. T., Y. Takano, Y. Chikaraishi, **Y. Yokoyama** and N. Ohkouchi, Nitrogen isotopic compositions of amino acids from microorganisms as a tool for studying microbial processesn, *19th International Symposium on Environmental Biogeochemistry* (Humburg, Germany, 2009.9)
- 32) Yamaguchi, Y. T., Y. Chikaraishi, N. O. Ogawa, **Y. Yokoyama** and N. Ohkouchi, A rapid analytical method for compound-specific nitrogen isotopic composition of amino acids via N(O,S)-ethoxycarbonyl ethyl ester derivatisation, *24th International Meeting on Organic Geochemistry* (Bremen, Germany, 2009.9)

- 33) Yamane, M. and **Y. Yokoyama**, East Antarctic Ice Sheet fluctuations and global climate changes during the last 5 Myr, *1st Antarctic Climate Evolution Symposium* (Granada, Spain, 2009.9)
- 34) Miyahara, H., **Y. Yokoyama**, Y.T. Yamaguchi, K. Masuda, T. Nakamura, Y. Muraki, Influence of the Schwabe/Hale solar cycles on climate change, *XXVII General Assembly of International Astronomical Union* (Rio de Janeiro, Brazil, 2009. 8)
- 35) Yamaguchi, Y. T., Y. Chikaraishi, N. O. Ogawa, **Y. Yokoyama**, H. Matsuzaki, K. Fujikura, K. Oguri, H. Kitazato and N. Ohkouchi, Isotopic diagnoses of the clam and the tubeworm from oceanic chemosynthetic communities around Hatsushima, Sagami-Bay, Japan, *4th International Symposium on Chemosynthesis-Based Ecosystems* (Okinawa, Japan, 2009.6)
- 36) 山根雅子, 横山祐典, 過去500万年間にわたる東南極氷床変動と全球的気候変動, *雪氷研究大会2009・札幌* (札幌, 2009. 9)
- 37) 宮原ひろ子, 横山祐典, 松崎浩之, 北澤恭平, 永治健太郎, 増田公明, 中村俊夫, 村木綏, 樹木年輪中の放射性炭素濃度にもとづく太陽活動極小期の前兆現象について, *地球電磁気・地球惑星圏学会* (金沢, 2009. 9)
- 38) Miyahara, H., **Y. Yokoyama**, Y.T. Yamaguchi, K. Masuda, T. Nakamura, Y. Muraki, Influence of the Schwabe/Hale solar cycles on climate change, *XXVII General Assembly of International Astronomical Union* (Rio de Janeiro, Brazil, 2009. 8)
- 39) 宮原ひろ子, 横山祐典, 松崎浩之, 永治健太郎, 増田公明, 中村俊夫, 村木綏, 樹木年輪中の放射性炭素濃度分析による太陽活動および地磁気変動の復元について, *地球電磁気・地球惑星圏学会* (金沢, 2009. 9)
- 40) 宮原ひろ子, 横山祐典, 松崎浩之, 永治健太郎, 増田公明, 中村俊夫, 樹木年輪中炭素14の分析による太陽活動の研究, *2009年度地球化学会年会* (広島, 2009. 9)
- 41) 横山祐典, IODPタヒチのサンゴを用いたターミネーションIIの決定による地球表層環境システムの理解, *2009年度地球化学会年会* (広島, 2009. 9) 招待講演.
- 42) 高橋理美, 横山祐典, 山根雅子, 竹村恵二, 北川浩之, 松崎浩之, 琵琶湖湖底堆積物中のBe-10および主要元素分析による古環境の復元, *日本第四紀学会2009年大会* (滋賀, 2009. 8)
- 43) 横山祐典, サンゴから求められたターミネーションIIのタイミングと古気候学的解釈, *日本第四紀学会2009年大会* (滋賀, 2009. 8)
- 44) 福田美保, 本山功, 板木拓也, 小田啓邦, 横山祐典, 東シナ海北部における過去2万年間の黒潮と大陸沿岸水の勢力変化復元, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009. 5)
- 45) 久保田好美, 木元克典, 多田隆治, 小田啓邦, 横山祐典, 東シナ海北部の浮遊性有孔虫のMg/Caと酸素同位体比に基づく最終融氷期からの東アジア夏季モンスーン変動, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009. 5)
- 46) 山崎隆宏, 横山祐典, 小泉真認, 松崎浩之, 大河内直彦, 最終氷期最盛期以降の西南極ロス海における氷床の後退史, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009. 5)
- 47) 山口保彦, 力石嘉人, 小川奈々子, 横山祐典, 松崎浩之, 藤倉克則, 小栗一将, 北里洋, 大河内直彦, 相模湾初島沖冷湧水帯のシロウリガイ・ハオリムシの同位体食性解析, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009. 5)
- 48) 川久保友太, 横山祐典, 鈴木淳, 井上麻夕里, 松崎浩之, 小泉真認, 川幡穂高, 喜界島のサ

- ンゴ化石を用いた中期完新世古海洋環境復元, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 49) 佐川拓也, 横山祐典, 池原実, 大場忠道, 西赤道太平洋暖水塊の最終氷期最寒期における表層低塩分化, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 50) 山根雅子, 横山祐典, 第三紀後期から第四紀における東南極氷床変動と全球的気候変動, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 51) 城谷和代, 横山祐典, 松崎浩之, Exposure age of the east of the Atacama Desert in northern Chile by cosmogenic Be-10 and Al-26, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 52) 原田まりこ, 井上麻夕里, 鈴木淳, 川幡穂高, 松崎浩之, 横山祐典, 南太平洋タヒチの最終融氷期サンゴ化石による海洋環境復元, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 53) 菅沼悠介, 横山祐典, 宮原ひろ子, 山崎俊嗣, 地磁気強度と太陽活動の定量的復元と, その気候変動への寄与の解明, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 54) 山口保彦, 高野淑識, 力石嘉人, 横山祐典, 大河内直彦, 微生物のアミノ酸窒素同位体組成: 微生物食物連鎖の解明へ向けて, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 55) 横山祐典, Empirical constraints of changes in sea level during the current interglacial, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5) 招待講演.
- 56) 小林達哉, 横山祐典, 鈴木淳, Fernando Siringan, 前田保夫, 岡井貴司, 井上麻夕里, 松崎浩之, 川幡穂高, フィリピンのサンゴを用いた南シナ海の中期完新世古環境復元, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 57) 菅浩伸, 鈴木淳, 横山祐典, 中島洋典, 鈴木倫太郎, 安達寛, マーシャル諸島・マジュロ環礁における完新世サンゴ礁の堆積構造と形成過程, *日本地球惑星科学連合2009年大会* (千葉幕張, 2009.5)
- 58) Tyler, J. J., 横山祐典, 柏山祐一郎, 小川奈々子, 大河内直彦, 池原実, 中川毅, Late Glacial environmental change at Lake Suigetsu, central Japan: preliminary evidence from bulk organic and compound specific isotope geochemistry, *高知大学海洋コア総合研究センター 平成20年度全国共同利用研究成果発表会* (東京, 2009.1)
- 59) 山根雅子, 横山祐典, 池原実, 松崎浩之, 放射年代にもとづく第三紀後期から第四紀の東南極氷床変動-レビュー, *2008年度古海洋学シンポジウム* (東京, 2009.1)
- 60) 菅沼悠介, 横山祐典, 山崎俊嗣, 古地磁気強度およびBe-10フラックス変動に基づく Paleomagnetic lock - in depthの決定: 地磁気変動を用いたマルチアーカイブ対比における注意点, *2008年度古海洋学シンポジウム* (東京, 2009.1)
- 61) 横山祐典, LGMの南極氷床-宇宙線照射生成核種から求めた融氷タイミング, *2008年度古海洋学シンポジウム* (東京, 2009.1)
- 62) 小林達哉, 横山祐典, 鈴木淳, シリングアン・フェルナンド, 前田保夫, 岡井貴司, 井上麻夕里, 松崎浩之, 川幡穂高, フィリピンのサンゴ骨格を用いた南シナ海の中期完新世古環境復元, *2008年度古海洋学シンポジウム* (東京, 2009.1)
- 63) 池原実, 菅沼悠介, 山根雅子, 横山祐典, 坂本竜彦, Boo-Keun Khim, 香月興太, 三浦英樹, 南極海における生物生産量変動とmid-Brunhes気候シフト, *2008年度古海洋学シンポジウム* (東

- 京, 2009.1) 口頭.
- 64) 福田美保, 本山功, 板木拓也, 小田啓邦, 横山祐典, 東シナ海北部(KY 07-04 PC1コア)の放散虫群集に記録された古海洋環境変動, *2009年度古海洋シンポジウム* (東京, 2010.1)
- 65) 横山祐典, IODPタヒチのサンゴを用いたターミネーションIIの決定, *2009年度古海洋シンポジウム* (東京, 2010.1)
- 66) 井上麻夕里, 横山祐典, 谷水雅治, 鈴木淳, 川幡穂高, タヒチの化石サンゴ試料を用いた最終融氷期における南太平洋東部の環境復元, *2009年度古海洋シンポジウム* (東京, 2010.1)
- 67) 荒岡大輔, 井上麻夕里, 鈴木淳, 横山祐典, Lawrence Edwards, Hai Cheng, 松崎浩之, 管浩伸, 鹿園直建, 川幡穂高, 石垣島の津波石サンゴ骨格を用いたgeohazardの復元, *2009年度古海洋シンポジウム* (東京, 2010.1)

## (3) 出願特許

なし

## (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

## (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) Japanese Scientists in Science 2009 - サイエンス誌に載った日本人研究者 p. 33(2010.3月)
- 2) タウンズビル ブルテン 新聞・Townsville Bulletin:「Scientists drill coral in climate change study」(2010.2.12)
- 3) J-WAVE:「別所哲也のTOKYO MORNING RADIO - KONICA MINOLTA MORNING VISION」ゲスト出演 (2010.1.28)
- 4) 時事通信:「世界最大のサンゴ礁沖を初掘削＝過去2万年の気候変動解明へー化石採取・豪州沖」(2010.1.24)
- 5) [NHK総合:「ブラタモリ 第11回 浅草」製作協力](#) (2010.1.21)
- 6) [NHK総合:「ブラタモリ 第1回 早稲田」製作協力](#) (2009.10.1) ・[聖教新聞:「国内最大級サンゴが語ること」](#) (2009.9.2)
- 7) NHK総合「皆既日食特番(夜)」(2009.7.22)
- 8) [しんぶん赤旗:「14万年前、巨大氷床崩壊」](#) (2009.7.19)
- 9) [南日本新聞「南風録」](#) (2009.7.6)
- 10) [毎日新聞:「ハマサンゴ:すくすく育て400歳 国内最大級ー鹿児島・喜界島沖」](#) (2009.7.4)

- 11) [喜界島広報2009年7月号：「地球温暖化予測研究の東大海洋研、横山准教授 湾小で出前授業 ～日本最大級のハマサンゴ発見～」](#) (2009.7)
- 12) [NHK教育「サイエンスZERO」：「シリーズ ヒトの謎に迫る⑨ 農耕がもたらしたもの」](#)  
(2009.6.20)
- 13) [日本経済新聞：「14万年前の氷期 終わり方を解明 東大など」](#) (2009.6.22)
- 14) [朝日小学生新聞：「国内最大級ハマサンゴ発見」](#) (2009.6.19)
- 15) [共同通信\(中日新聞ほか\)：「国内最大級ハマサンゴ 奄美諸島で発見」](#) (2009.6.17) ・  
[日本経済新聞：「国内最大級ハマサンゴ 奄美諸島・喜界島沖」](#) (2009.6.17)
- 16) [南日本新聞：「日本最大級ハマサンゴ 喜界島沖、調査団が確認」](#) (2009.06.16)
- 17) [科学新聞：「タヒチのサンゴを解析 前々回の氷期終焉期決定 気候モデルの高精度化に期待」](#) (2009.06.12)
- 18) あまみエフエム「ゆうがったフレンズ」：30分間ゲスト出演 (2009.6.12)
- 19) [理学部ニュース：「理学のキーワード 南極氷床コア」](#) (2009.3)
- 20) [南日本新聞：「喜界島のサンゴ礁調査 東大准教授ら採取 温暖化研究に貴重」](#) (2009.3.4)
- 21) [南海日日新聞：「温暖化メカニズム解明へ 喜界島で隆起サンゴ礁調査 気候変動予測技術確立向け」](#) (2008.11.1)

(6) その他

2009年 文部科学大臣顕彰 若手科学者賞 (横山祐典)

タウンズビル ブルテン新聞 (2010年2月12日)

Scientists drill coral in climate change study | Town...

http://www.townsvillebulletin.com.au/article

NEWS.com.au | FOXSPORTS | CLASSIFIEDS | MOBILE

SEARCH FOR:

enhanced by Google

# THE SMU MBA

SMU SINGAPORE MANAGEMENT UNIVERSITY

News Sport Business Crimebusters Opinion Entertainment Sections townsvilleeye Classifieds About Us Home

**BREAKING NEWS**

Date: Saturday 29<sup>th</sup> May 2010 | [SHARE](#)

Weather Townsville 18C - 29C. Cloudy, mostly fine. [Townsville Weather](#) | [View Tides](#)

## News

### Scientists drill coral in climate change study

**ANDREW STRUTTON**

February 12th, 2010

**FOSSILISED coral will be used to reconstruct the geological impacts of seasonal and millennial climate change on the Great Barrier Reef.**

An international team of researchers left Townsville yesterday on a \$14 million six-week voyage to the Barrier Reef's outer edge to discover how the national icon has overcome climate variability in the past 20,000 years.

The 24 scientists - from seven nations - will use a GPS-guided geotechnical vessel with attached drilling rig to bore into the fossilised remains of corals up to 160m below sea level offshore of Mackay, Cairns and Cooktown.

In the futuristic operation, coral core samples collected will undergo rudimentary examination in laboratories aboard the 93.6m long Greatship Maya, before being flown to a core repository in Germany.

Exhibition co-chief scientist Dr Yusuke Yokoyama, from the [Ocean Research Institute at the University of Tokyo](#), said the study would determine the biologic and geologic response of the reef to previous sudden sea-level and climate changes.

The study was a world first for the Great Barrier Reef, he said.

"Corals are the perfect test subject," Dr Yokoyama said.

"Because they live very close to sea level and have yearly growth bands, they are a very good indicator of water depth and provide very accurate timelines.

"So through chemical analysis of a fossilised specimen, we can obtain sea surface temperature, ocean pH and salinity from thousands of years ago, potentially on a weekly or bi-weekly scale."

The findings could offer a template for improved ecosystem response predictions to future climate change, Dr Yokoyama said.

"At the moment we have very sophisticated computer models to predict future changes," he said.

"But the predictions still have a large degree of uncertainty, partly because we don't know how the Earth has become cooler in the past.

"We are focusing on this 20,000 to 10,000 (years ago) period because it was the time of the Earth's last deglaciation.

"It was a time the Earth was very cold, extremely cold, compared to the present day and, comparatively, not that long ago.

"All the information deduced from the (fossilised coral's) chemical information is very precise and will provide a clear relationship between climate change and sea levels."

Fellow co-chief scientist Dr Jody Webster, from the University of Sydney, said the Great Barrier Reef was unique for the purposes of the study due to its polar isolation.

"As the ice sheets have waxed and waned throughout time, they have caused the Earth's crust to move, quite substantially in some cases," Dr Webster said.

"Many other areas also have active (plate) tectonics, where earthquakes and the like can see rapid decreases in sea-level.

"Both complicate any kind of sea level record that you're trying

SETTING SAIL ... Dr Yusuke Yokoyama and Dr Jody Webster

Photo: SCOTT RADFORD-CHISHOLM

SMU SINGAPORE MANAGEMENT UNIVERSITY

**JOIN ASIA'S LEADERS**

**More News**

- 536 hoons lose their vehicles in 2009
- Date set for report on Storm
- Condon appeals bashing verdict
- Ingham highway options feedback
- Partners jump for joy as Diggers return
- Roof foil a shock risk
- Scientists drill coral in climate change study
- Rains key to E.coli concerns
- Mum fuming as bashed teenage son ignored
- Walk right or get fined

**Archives** **More archives**

- 28-05-10 Builder's wife tells other side of assault
- 28-05-10 City thieves hit country kids
- 28-05-10 Mansell extradition wrangle limps along
- 28-05-10 Tribute to Melina as partner tells of dog's survival
- 28-05-10 Motorcyclist in lucky escape from crash
- 28-05-10 iPads on sale today, but not in Townsville
- 28-05-10 Strong winds force pumpkin patch landing
- 28-05-10 Southbank project given go-ahead
- 28-05-10 No action on watery pit on Palmer Street

**Today's Paper**

**Power bills up 13%**

2009-year jump for electricity

Robbie Fowler turns on the fire

Get your paper delivered  
 Pause your paper delivery  
 Change your delivery address

**Digital Editions**  
 Subscribe to the digital editions for downloadable PDFs, magnification, language translations, audio reading, back issues and much more.

**Cyclone Guide**

**2009 NQ STORM & CYCLONE GUIDE**

Be prepared, read the guide

**Tools**

Send us your news tips  
 Send us your photos  
 Buy a photo  
 Letters to the Editor  
 Submit your feedback

**Missed Something?**

Review news archives from:

Yesterday  
 Thursday, 27-May  
 Wednesday, 26-May  
 Tuesday, 25-May  
 Monday, 24-May  
 Saturday, 22-May

Or visit [Newstext](#) to search our complete archives.

**Drill Bits - Foundation**  
 Highest Quality, Micro Piling Drag Bits, Rock Bits, P.D.C Bits  
[www.lonestarbit.com](#)

**Gordon Bros Supply, Inc.**  
 We buy and sell used oilfield equip. for exploration & workover  
[www.gordonbrossupply.com](#)

**Climate Change a Priority**  
 Federal agencies are working to establish national climate action

奄美諸島・世界島沖

# 国内最大級サンゴが語ること



横山 祐典

この10月、鹿児島県奄美諸島の奄美大島、世界島沖で国内最大級のサンゴが採取された。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。

## 古気候研究

骨格が折用いた

内閣府、世界的に有名なトランプスの骨格、記録を持つハマサンゴ採取の瞬間であった。私たちは、進行中の地球温暖化やメタンに迫るため、過去の地球環境研究を推進するために、本学術振興会の研究ロケットの二期、温暖化予測モデルにサンゴの骨格の化学分析結果を用いた。古気候の研究を行っているが、耳慣れない言葉があるが、このサンゴは、研究分野は、地質学、気候学、古気候学、正しく復元し、変動メカニズムについて理解

## 産業革命以前のからの記録を保持

海洋研究所のチームは、早かきも離れていない沖合、巨大なハマサンゴ群の発見に弾いてきた。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。

## 文化



産業革命以前のからの記録を保持。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。



奄美諸島・世界島の沖合で発見された巨大ハマサンゴ。横山祐典氏提供

## 気候変動予測に貴重な試料

温暖化効果ガス 地球に「変調」も。そのうち過去50年間の気温や水蒸気、気候状態を復元するデータは、衛星観測結果など、直接の測定結果が存在する。しかし現在の気候は、地球がこれまで繰り返してきた水期・間水期という変動のリズムに乗せていることが、人海起の温暖化効果ガスによる変動も示していることになり、今後は、カオス的な変動を抑制する気候メカニズムをより深く理解するために、長期データを採取してモデルと比較することが、特に地球固有事業として重要である。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。このサンゴは、産業革命以前の気候変動に関する貴重な試料と見られている。

### もう一つの美術史

江戸・明治の工芸の華々たる自然素材を生かした精巧な彫刻や土器品の数々が、江戸から明治にかけて作られた。西洋美術史の観点からは、評価されることになった彫刻品を、日本の優れた工芸を代表する美術史に詳しく大隈氏に紹介していただく。

江戸時代から明治にかけて、数々の名工芸家が生み出した。江戸時代から明治にかけて、数々の名工芸家が生み出した。江戸時代から明治にかけて、数々の名工芸家が生み出した。

よこやま・ゆうすけ 1970年、熊本県生まれ。専門は地球化学・古気候学。オーストラリア国立大学で博士号取得後、カリフォルニア大学パークレー校、米エネルギー省国立研究所の研究員歴任。今回、奄美諸島沖での調査団団長。

時事新聞 (2010年 1月25日)

時事ドットコム：世界最大のサンゴ礁沖を初掘削＝過去2万年の気候変動解明へ－化石採取・豪州沖

10/01/25 10:45

## 世界最大のサンゴ礁沖を初掘削＝過去2万年の気候変動解明へ－化石採取・豪州沖

世界最大のサンゴ礁、オーストラリアのグレートバリアリーフの沖合を初めて掘削し、過去2万年間の気候変動の解明を目指す調査が、2月上旬から始まる。日米欧などの「統合国際深海掘削計画（IODP）」の一環で、横山祐典東京大海洋研究所准教授ら約30人の国際研究チームが掘削船に乗り、水深40～200メートルから既に死んだサンゴの化石を採取する。

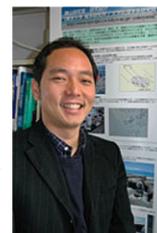
グレートバリアリーフは世界遺産であり、豪州当局から掘削調査の許可を得るのに長年かかった。研究チームの共同首席研究者を務める横山准教授は「最初で最後の掘削かもしれない。将来の気候変動を予測する上で、熱帯域の過去の水温変化などのデータは非常に重要だ」と話している。



深層掘削調査は、これまで南極大陸やグリーンランドなど極域の氷床が多く、熱帯域のサンゴ礁ではカリブ海のバルバドス島沖や南太平洋のタヒチ島沖でしか行われたことがない。ドリルで掘削して円柱状の試料（直径約8センチ）を採取し、サンゴやプランクトンの化石などを化学分析すると、当時の海面水位や水温、塩分などを推定できる。

地球の気候は氷期と間氷期を繰り返しており、2万年前は前回の氷期のピーク、1万年前は終わりに当たる。当時の平均水温や比較的近い南極氷床がどのように解けて海面が変動したかを、コンピューターの気候モデルと組み合わせて検討すると、現在の状況を判断し、将来を予測するのに役立つ。

太平洋の東西で水温がシーソーのように変動するエルニーニョ・ラニーニャ現象の過去の傾向や、二酸化炭素（CO2）排出量増加に伴う海の酸性化、グレートバリアリーフの形成過程の解明も、今回の調査目的だ。研究チームの船は2月4日ごろに豪州タウンズビルを出発し、3月下旬まで掘削航海を行う予定。掘削や試料分析には東大のほか、産業技術総合研究所、名古屋大、岡山大、琉球大の研究者が参加する。（2010/01/24-14:29）



東大海洋研究所の横山祐典准教授。日米欧などの研究チームの共同首席研究者として、世界最大のサンゴ礁であるオーストラリア・グレートバリアリーフ沖を掘削し、過去2万年間の気候変動の解明を目指す。2009年12月28日、東京都中野区の東大海洋研究所（時事）

毎日新聞 (2009年7月4日)

ハマサンゴ：すくすく育って400歳 国内最大級――鹿児島・喜界島沖 - 毎日.jp(毎日新聞)

09/07/13 13:34

毎日.jp

### 社会

## ハマサンゴ：すくすく育って400歳 国内最大級――鹿児島・喜界島沖

鹿児島県・喜界島の西側沖合の海底で、国内最大級のハマサンゴが発見された。直径約4メートル、高さ約5メートル。骨格の年輪から約400年間、成長しているとみられるという。

東大海洋研究所の横山祐典准教授と、独立行政法人産業技術総合研究所の鈴木淳主任研究員が発見した。「サンゴは1年で1センチ程度成長しているとみられるが、ここまで大きいものは国内ではまれ」と話している。サンゴの一部を採取し、今後分析するといい「過去の海洋変化や地球温暖化のメカニズムの解明につながる」と期待している。【神田和明】

毎日新聞 2009年7月4日 西部朝刊

南日本新聞 (2009年7月6日)

## 南日本新聞 373news.com (テキスト版)

### 南風録

(07/06 08:51)

喜界島は世界でも類のないスピードで隆起するサンゴ礁の島だ。年間2ミリずつ上昇を続けており、パプアニューギニアやインドネシアのスンダ列島に次ぐ速さという▼東京大学海洋研究所の横山祐典准教授(古気候学)は、この島を「宝の島」と呼ぶ。普通なら深く潜らないと採取できない数万年前のサンゴが地表にゴロゴロしているからだ。サンゴには、気候変動を予測するのに必要な水温や塩分濃度などの気象情報が蓄積されている▼横山さんは先月、喜界島の沖で国内最大級のハマサンゴを見つけた。直径4メートル、高さ5メートル。年輪から、400年も前に誕生したことが分かった。「これほど長期の気象情報を刻むサンゴは世界でもほかに2例しかない」と驚く▼このハマサンゴが、地球温暖化のメカニズムを解明する大きな手がかりになるという。温暖化は18世紀後半の産業革命以降の人間活動が主な原因だが、その前後の気象情報を月単位で取り出すことが可能になる▼ハマサンゴを見つけた数日後、横山さんは喜界町の湾小学校で出前授業をした。ちょっと難しい話に耳を傾けた5年生の若松夢路さんは「私たちの島ってすごいと思った」と目を輝かせた▼喜界島での研究成果は気候変動に関する政府間パネル(IPCC)に反映されるという。子どもたちも気付いた足元の宝が、地球を救うヒントを教えてくれるかもしれない。

朝日小学生新聞（2009年6月19日）



よ  
読もう

ま  
学ぼう

たいけん  
体験しよう

さんか  
参加しよう

今のほしよ : [アサヒ・コムきっず](#) > [読もう](#) > [最新ニュース](#) > 記事



## 国内最大級ハマサンゴ発見

2009年6月19日付 朝日小学生新聞

国内最大級のハマサンゴが鹿児島県・奄美諸島の喜界島の沖で見つかりました。直径約4メートル、高さ約5メートルで、世界でもトップクラスといえます。

見つけたのは東京大学などの調査団。団長で東大准教授の横山祐典さんによると、サンゴにふくまれる炭酸カルシウムなどを調べると、過去の海水温や降水量が1か月から1週間単位の精度で分かるそうです。この大きさだと過去400年分のデータが得られ、18世紀の産業革命で温暖化をもたらす二酸化炭素が工場などからたくさん出るようになってからの気候の変化を調べたいといえます。

提供：朝日学生新聞社



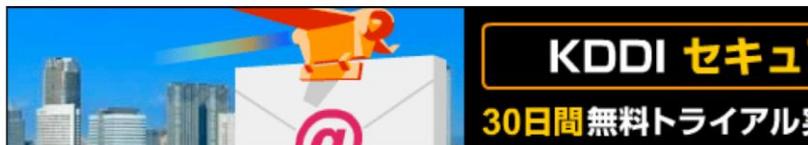
東京大と産業技術総合研究所(茨城県つくば市)の調査団が、鹿児島県・奄美諸島の喜界島の沖合で、直径約4メートル、高さ約5メートルの国内最大級のハマサンゴを発見した。メンバーが今月8日に確認。ドーム形で、約40年前から成長を続けてきたとみられる。調査団は、海水温が成長の速さに影響を与える

喜界島沖で発見されたハマサンゴ(8日) 横山 祐典(東京大准教授提供)

## 国内最大級のハマサンゴ 奄美諸島・喜界島沖

といわれるサンゴから地球温暖化による気候変動を調べている。年輪のようになっている断面の各層を化学解析することで、過去400年間の水温や、海水の酸性化の度合いを示す水素イオン指数(pH)の推移が月単位で分かるという。調査団長の横山祐典准教授(39)は「温室効果ガスが増え始めた産業革命以前のデータを得ることで、西太平洋の長期の気候変動を解明でき、貴重だ」と話している。

中日新聞 2009年6月17日

中日新聞 CHUNICHI Web  サイト内検索

[地域のニュース] 愛知 岐阜 三重 静岡 長野 福井 滋

ホーム	社会	政治	経済	国際	スポーツ
天気	ウーマン	環境	住まい	就職・転職	グルメ
教育	クルマ				

トップ&gt;社会&gt;紙面から一覧&gt;記事

## 【社会】

## 国内最大級ハマサンゴ、奄美諸島で発見

2009年6月17日 夕刊

海水温が成長の速さに影響を与えるといわれるサンゴから地球温暖化による気候変動を調べている東京大と産業技術総合研究所（茨城県つくば市）の調査団が、鹿児島県・奄美諸島の喜界島の沖合

で、直径約4メートル、高さ約5メートルの国内最大級のハマサンゴを発見した。

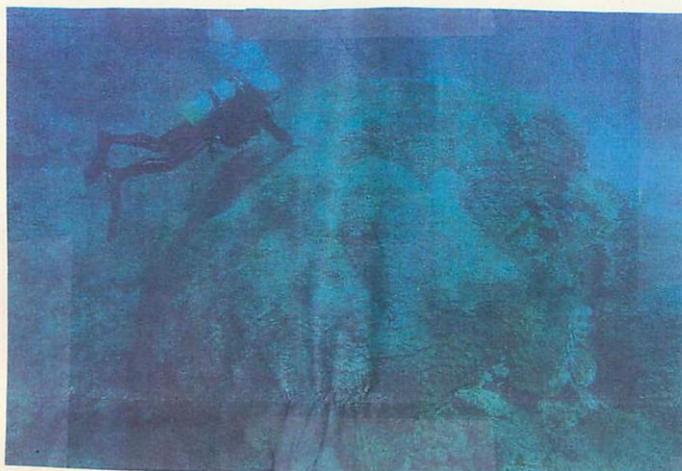
メンバーが8日に確認。約400年前から成長を続けてきたとみられ、年輪のような断面の各層を化学解析することで、過去400年間の水温や、海水の酸性化の度合いを示す水素イオン指数（pH）などの推移を月単位で解明できるという。

調査団長の横山祐典准教授（39）は「温室効果ガスが増え始めた産業革命以前のデータを得ることで、西太平洋の長期の気候変動を解明でき、貴重だ」と話している。

サンゴはドーム形で表面以外は既に死んでおり、上から垂直に直径約5センチ、長さ約4・5メートルの柱状サンプルを採取した。東大海洋研究所に運び、エックス線解析をする。解析には1年以上必要で、結果は論文にして科学誌に発表する予定。



鹿児島県・喜界島沖で発見された国内最大級のハマサンゴ=8日（横山祐典東京大准教授提供）



# 日本最大級 ハマサンゴ

## 喜界島沖、調査団が確認

喜界町は15日、喜界島南西の沖合で、直径約40年にわたり成長し続けていることが日本最大級のハマサンゴが発見されたと発表された。

調査団は今後、ハマサンゴから柱状に採取した試料の分析を進め、過去400年間の海洋変化や温暖化の傾向を復元する。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次報告書に反映させたいと考えて、横山准教授は「地球の気候システム解明の貴重なデータになる」と話している。

喜界町南西沖で発見された日本最大級のハマサンゴ(東海大学海洋研究所・横山准教授提供)

ハマサンゴは南西諸島などの海に広く生息するハマサンゴ科の生物。年輪には過去の水温や塩分濃度などの気象情報が蓄積されている。調査団は研究者ら5人で、昨年と同島周辺の海域を調べていた。

同町は発見されたハマサンゴを文化財に指定する方針。同町産業振興課は「大昔から生きてきたサンゴは島の宝。漁協と連携して守りたい」と話している。

同町は発見されたハマサンゴを文化財に指定する方針。同町産業振興課は「大昔から生きてきたサンゴは島の宝。漁協と連携して守りたい」と話している。

# 喜界島の隆起サンゴ調査

東大准教授ら採集

## 「温暖化研究に貴重」

喜界島の隆起サンゴを分析して大昔の気候を復元し、地球温暖化の影響などを予測する研究調査団が喜界町を訪れた。東京大学海洋研究所の横山祐典准教授（古気候学）ら五人。同調査団は「サンゴには過去の気象情報が記録されている。古いサンゴが採集しやすい喜界島は世界的にも貴重な存在」と話している。



## 大昔—未来の 気候変動探る

環境省の地球環境研究総合推進費プロジェクトの一環。今回が三回目の来島で、二月二十五日までの三日間、島内各地でサンゴの採集などを行った。

サンゴを採集する横山祐典准教授（左から二人目）ら 喜界町

喜界島のサンゴは年間約二ミリのスピードで隆起を続けており、パプアニューギニアやスリランカなどに次ぐ速さという。標高約二〇〇メートルの百之台などでは十数万年前から数十万年前のサンゴが表出している。

収集したサンゴを化学分析して水温や塩分など気候データを集め、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレーター」を使って古気候を復元。将来の気候変動などを予測する。研究成果は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書などに生かされている。

横山准教授は「産業革命以前のサンゴのデータを用い、人間活動と無関係の気象条件を省くことで、温暖化の影響を探ることも可能」と話す。今後も喜界島での調査は続ける。

予定で、「IPCCの第四次報告書では熱帯・亜熱帯域の乾燥・湿润の予測精度が低かったが、喜界島の調査で補える」として第五次報告書に精度の高いデータを盛り込む予定だ。

くれくれ詐欺!?



○：日置 境衛生係でのさつま湖の水質調査だった。ある電話をかけたもろつが長岡丸が井出かけたくれ」とな ○：名刺



RF-081 サンゴ骨格による古気候復元と大循環モデルの統合による気候値復元と予測に関する研究

(2) 大循環モデル(MIROC)を用いた古気候及び将来予測マップ復元と改良

研究分担者

独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域 地球温暖化予測研究プログラム 古気候研究チーム 大垣内るみ

研究協力者

独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域 北半球寒冷圏研究プログラム  
陸域水循環研究チーム 栗田直幸

平成20～21年度累計予算額	1,748千円
(うち、平成21年度予算額)	1,203千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 大循環モデルを用いた気候シミュレーションは、IPCC報告書にもあるように地球温暖化予測研究に欠かせない手法である。しかしその結果をより確かなものにするには、モデルが気候変化をシミュレートできるかどうか検証する必要がある。そこで過去の気候変化を示す指標と、その時期を想定したモデルシミュレーション結果をつき合わせて、モデルの性能をテストすることが重要である。本研究では、珊瑚の化石から得られた6000年前の情報と大循環モデルを用いたシミュレーションの結果を比較検討しモデルの性能評価を行った。

大気海洋結合大循環モデル(GCM) MIROCを用いて、現在気候、6000年前と最終氷期最大期を想定した古気候シミュレーションを行った。そこで得られた海面の情報を境界条件とし、安定水同位体モデルを組み込んだMIROCの大気GCM (AGCM)を用いて、それぞれの時代について降水中の酸素同位体対比(d180)を再現した。次に、このAGCMシミュレーションの出力を海洋GCMに受け渡せるようにし、それを用いて海洋GCMを駆動し、サンゴ化石から得られる同位体比と海水の同位体比を直接比較するためのシミュレーション手法を開発した。

その結果、西部熱帯太平洋域では、6000年前の降水は現在よりも同位体比が+0.6‰までの変化で大きくなった。また、海洋GCMに大気からの情報を入力しシミュレートすると海洋表面の同位体比の変化は降水の同位体比とそれほど変わらず、珊瑚のデータとも整合的な結果となった。特筆すべきことは、経験的な関係式を用いることなく、モデルとデータの結果を直接比較検討することが可能となり、モデルとデータを併用したより詳細なデータの解析およびモデルの妥当性の検討ができるようになったことである。

[キーワード] 6000年前、 モンスーン、 大循環モデル、 d180、 地球温暖化

## 1. はじめに

地球温暖化現象は国際的にも大きな社会問題となっている。2007年にはIPCC第4次報告書(IPCC

AR4)が発表され、地球シミュレータを用いた日本の大気海洋結合大循環モデル(AOGCM) MIROC (K-1 model developers 2004)によっても、地球温暖化についての科学的知見につながる多くの成果がもたらされている。また、この報告書で初めて古気候のために1章が割かれた。このことは、温暖化予測を行う上で、古気候研究、つまり古気候データ研究と古気候モデルシミュレーションの重要性が認められたことを示しているといえる。

## 2. 研究目的

モデルの精度向上は環境変動の社会的インパクトを評価するためにも大変重要であるが、モデルの性能を評価するにあたっては、現在気候の再現性を基準にすることに加え、過去の気候変化を示すデータとその時期を想定したモデルシミュレーション結果をつき合わせて、モデルの性能をテストすることが必要である。実際、国際プロジェクトPaleoclimate Modelling Intercomparison Project (PMIP)も立ち上がっており、MIROCも主要なモデルの一つとして貢献している (Braconnot et al. 2007)。しかし、モデルの検証のために必要なデータが必ずしも十分に集まっているとはいえず、特にエルニーニョやモンスーン変動と密接にリンクした西赤道太平洋暖水塊(WPWP)のデータは重要であるが、ここでの水温および塩分のデータは他の海域に比べて乏しい。

そこで、本研究では特にWPWP域において、モデル-データの両面から比較検討を行いモデルの精度をテストし将来予測に役立てることを目指す。

## 3. 研究方法

データ側からは、現在と6000年前のサンゴ骨格の同位体比および微量元素を用いた地球化学水温塩分計とpH計を用いて、水温-塩分-海水の同位体比-pHの独立復元を行う。6000年前はPMIPでも取り上げられており、モンスーンが強まっていたと考えられている特徴的な時代である。モデル側からは、AOGCM MIROCを用いた、現在気候、6000年前、最終氷期最大期の気候値の復元を行う。

IPCC AR4の古気候の章では、データとモデルとの比較を十分に行うことができず、長期間の予測に対するモデルの信頼性の証は不十分であった。これに対してサンゴ骨格の地球化学水温塩分計は、測器記録がない過去40-100年前までのデータ、そして1000-6000年前までのデータに関しても、季節変動を $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の精度で復元することが可能である。さらに熱帯太平洋の氷期のデータとの時間軸方向の比較も行う。

これまでに、6000年前の海水の同位体比組成の変化を表したGISSモデルの結果がGRLに公表されている (Oppo et al. 2007)が、IPCC やPMIPのモデル比較を見てもわかるように、一つのモデルの結果だけでなく複数のモデリング結果を組み合わせることで解釈を行うことが必要となる。より空間分解能の高いMIROCによる同位体比復元を行えば、モデル間比較、およびモデルと古気候データとの比較が可能になり、確度の高い議論をすることができる。

## 4. 結果・考察

平成20年度は、AOGCM MIROCを用いて、現在気候、6000年前と最終氷期最大期を想定した古気候シミュレーションを行った。そこで得られた海面水温を境界条件とし、安定水同位体モデルを組み込んだMIROCのAGCMを用いて、それぞれの時代について降水中のd18Oを再現した。次年度は、このAGCMシミュレーションの出力を海洋GCMに受け渡せるように改良し、それを用いて海洋GCMを

駆動し、サンゴ化石から得られる同位体比と海水の同位体比を直接比較するためのシミュレーション手法を開発した。以下、それぞれの実験の概要と結果について述べる。

#### 4-1 AGCM水同位体シミュレーション

##### 4-1-1 モデル構成・概要

水が海洋表面から蒸発する際に同位体分別が起こる。その後、大気循環場に従って移流し、積雲、層雲中での凝結によって再度分別が起こる。凝結した水蒸気は降水（降雪）となって、海面、陸面に降る。陸面では、土壌からの蒸発や植生からの蒸発散によって分別が起こり大気に戻るか、土壌から河川に入り、海洋に流出する（図1）。本研究では、このような大気中の水同位体過程をAGCMに組み込んだモデルを改良しつつ用いる。

まず、AGCMで得られた海面水温気候値を境界条件とし、現在気候、6000年前、最終氷期最大期のシミュレーションを行った。本研究で特に珊瑚のデータと比較するのは6000年前であるので以後6000年前と現在気候シミュレーションの結果について述べる。現在気候シミュレーションとしては、IPCC AR4の産業革命前の定常シミュレーション条件を用いた。6000年前には、地球軌道が現在と大きく異なっていたことと、温暖化ガスレベルが異なっていたことが分かっており、PMIPでプロトコルが提示されているので、その条件を採用した。

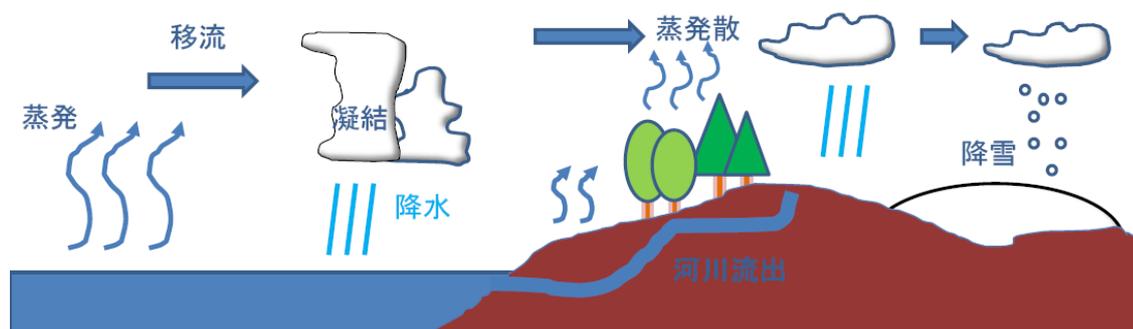


図1：AGCMでの水同位体比に関わる水循環過程を表した概略図

##### 4-1-2 現在気候シミュレーション結果

図2に、モデルで再現された6-8月、12-2月平均の降水のd180分布をシェードで示した。同図に、世界各地の同位体観測ネットワーク(The Global Network of Isotopes in Precipitation [http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS\\_resources\\_gnip.html](http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html))で得られた降水のd180をシェードと同じ色の丸印で示した。その結果、概ねモデルは観測値の分布や値を表現できていることがわかった。

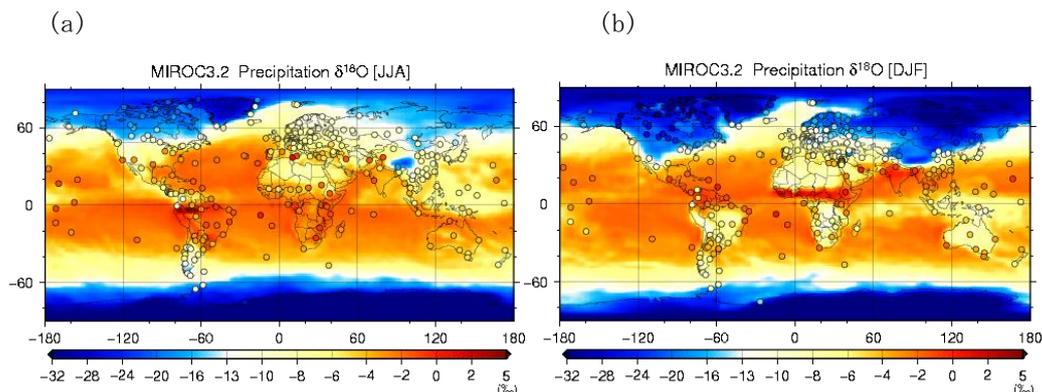


図2：現在気候シミュレーションで得られた降水のd180分布（シェード）とGNIPの観測値（丸印）。  
 (a) 6-8月平均と、(b) 12-2月平均。

#### 4-1-3 6000年前のシミュレーション結果

6000年前には、軌道の現在との違いにより、北半球の夏を中心に低緯度では僅かに寒冷化し、高緯度では温暖化していた。このため、モンスーン的位置が北上し、アジアでは内陸域で降水が増加していたことがわかっており、MIROCモデルでも表現されている（Ohgaito and Abe-Ouchi 2007）。この夏の変化が冬の変化よりも卓越しており、年変化にも現れている（図3，4）。

図5に熱帯太平洋域の現在気候の降水d180と6000年前の変化を示す。6000年前には、熱帯西部太平洋域で、d180値が0.6‰までの変化で高くなり、アジア大陸、インド洋で低くなった。これは、降水量の増減（図3）にほぼ対応しており、熱帯で一様に寒冷化する気温変化（図4）には対応していない。この結果は降水のamount effectと呼ばれる現在の熱帯域で観測される降水量が多いほど同位体比が軽くなる現象に対応している。

得られた降水、河川流出のd180の情報を海洋モデルに受け渡せるように改良した。4-3章で海洋への受け渡しとその結果について述べる。

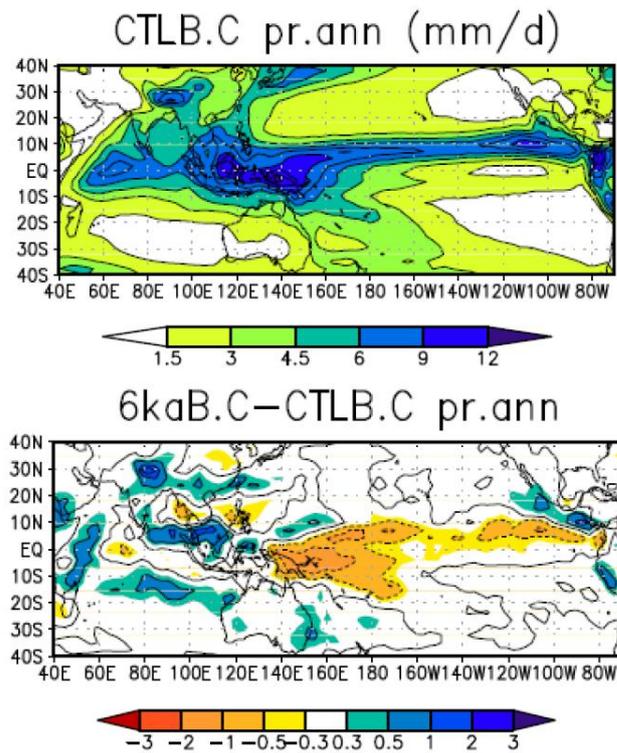


図 3 : (上) 現在気候シミュレーションの年平均の降水分布 (mm/day) と、(下) 6000年前での変化

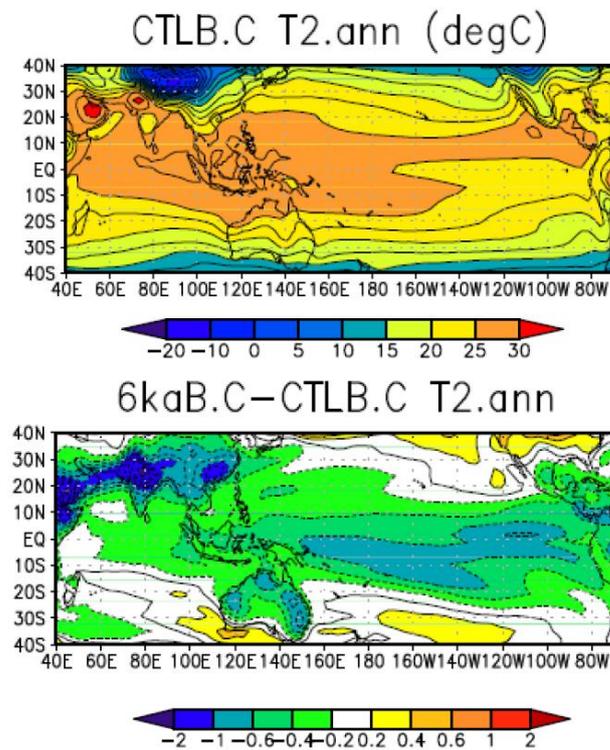


図 4 : (上) 現在気候シミュレーションの年平均の気温分布 (°C) と、(下) 6000年前での変化

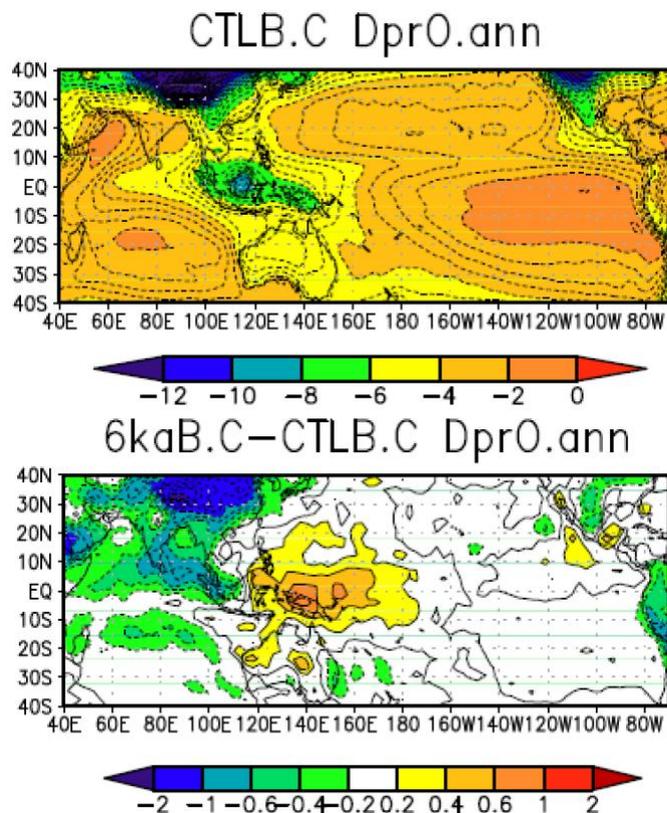


図5：（上）現在気候シミュレーションの年平均の降水のd180（‰）と、（下）6000年前での変化

#### 4-2 OGCM海水d180シミュレーション

##### 4-2-1 経験式による予備実験

海洋中のさまざまなトレーサー濃度を、海洋の温度・塩分・流速場などをMIROC結合モデルの結果を用いて計算するオフライン手法により、海水中の海水中のd180を計算するためのルーチンを開発した。まずは、予備的な実験として、大気同位体比境界条件を経験的に与えるWadley et al. (2002)の方法に従い、同位体比計算を実施した。そこでは、大気の物理的境界条件（降水量、蒸発量、河川流出量）についてはMIROCの結果を利用する一方、降水のd180については、以下の経験式を用いた。

$$\delta^{18}\text{O} = -11.88 + 0.345 T - 0.0022 P \quad (1)$$

Tは海面気温、Pは降水量である。また、水蒸気のd180は降水に比べ9‰低くし、海上の大気相対湿度は75%に固定、河川の同位体比は-20‰に固定するという仮定のもと計算を行った。この方法は、同位体モデルを組み込んでいない大気モデルの結果を利用して海水のd180を計算できる利点があるが、そこで用いている経験式が6000年前の気候においても必ずしも成り立つとは限らない。本研究では、AGCM同位体比シミュレーションの結果を利用した実験との比較を行い、経験式の妥当性について検討した。

## 4-2-2 現在気候のシミュレーション結果

図6に、モデルにより再現された海面における海水のd180の分布を示す。同位体比が低緯度では高く、高緯度では低くなるという気候値データの南北構造の特徴は概ね再現されている。一方で、太平洋での値が大西洋よりもやや高くなっているなど、東西分布に関しては気候値データと異なる傾向も見られる。同位体比の分布は、降水および蒸発によって決まる海面塩分濃度（SSS）と分布が近くなる（図7）。MIROCの結果は気候値のSSS分布をよく再現しており、大西洋が太平洋に比べて塩分濃度が高くなるなどの特徴もよく捉えている。よって、モデルの降水分布や蒸発分布の再現性の問題は小さく、図6における気候値データとの違いについては降水の同位体分布を経験式で与えたことによる影響が大きいと考えられる（詳細は後述）。

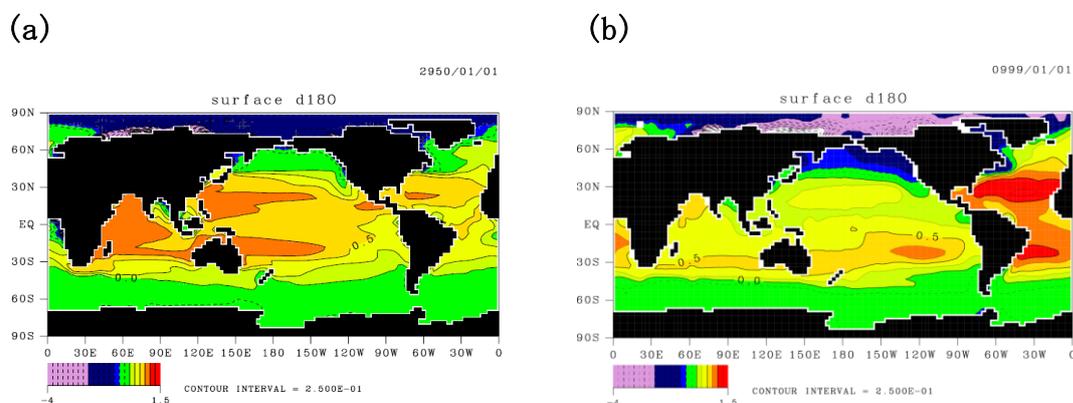


図6：(a)モデルおよび(b)気候値データ（LeGrande and Schmidt, 2006）による海面における海水d180（‰）

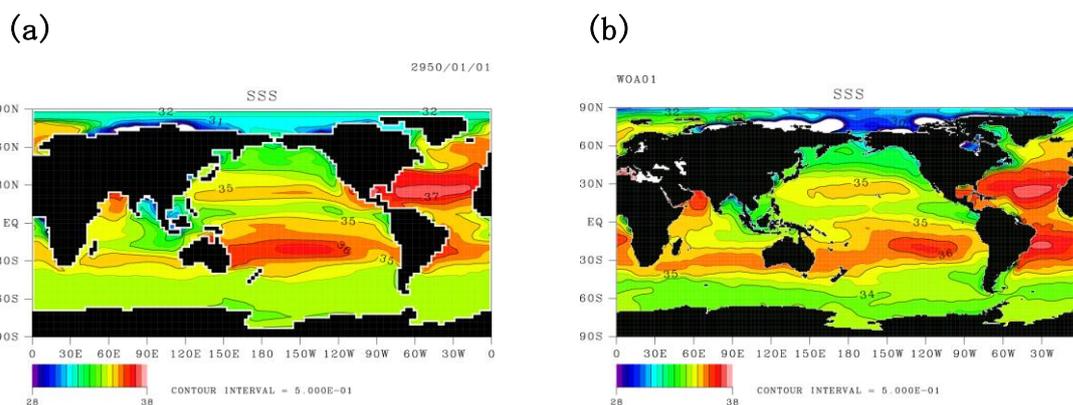


図7：(a)モデルおよび(b)気候値データ（WOA）による海面塩分濃度（psu）

## 4-2-3 6000年前気候シミュレーションの結果

図8にモデルで再現された赤道域におけるSSS変化の分布を示す。参考のため、先行研究（Oppo et

al., 2002) でのGISSモデルによって得られた結果についても転載した。モデルにより振幅の違いはあるが、太平洋では塩分濃度が高くなり、インド洋では低くなるという傾向は一致している。次に、海水のd180分布の変化を同様に図9に示す。GISSモデルの結果では、SSS変化とほぼ同様な変化をしている一方、今回得られた結果は太平洋では同位体比が低くなっているなどGISSモデルの変化と大きく異なっている。その理由は、降水のd180の分布が両者で大きく異なっていることに起因している(図10)。6000年前には現在に比べ赤道域では全体的に気温がやや低下しており、式(1)の経験式を用いた場合、気温変化にほぼ追従して降水の同位体比も一様に低くなる一方、GISSモデルの結果をみると、降水の同対比の変化は気温の変化に必ずしも追従していない。式(1)の経験式を6000年前のシミュレーションに適用することには問題があると考えられる。

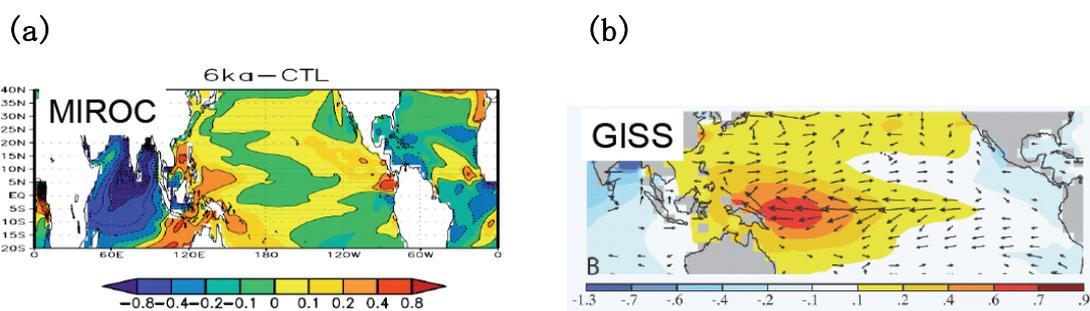


図8：モデルにより再現されたSSS変化(6000年前-現在)。(a)MIROCおよび(b)GISS modelによる結果(Oppo et al., 2002)。単位はpsu。

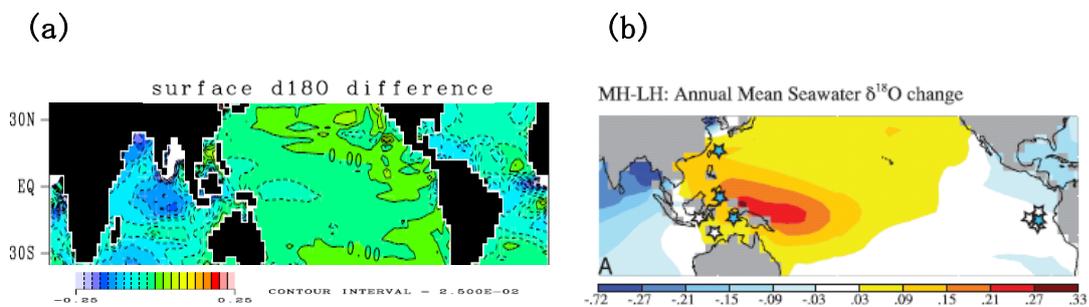


図9：モデルにより再現された海面における海水d180変化(6000年前-現在)。(a)Wadley et al. (2002)の経験式を用いた結果および(b)GISS modelによる結果(Oppo et al., 2002)。単位は‰。

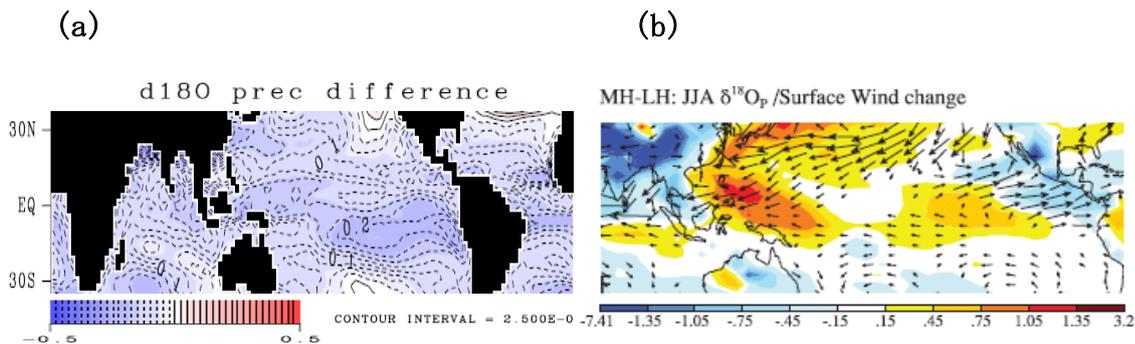


図10：モデルにより再現された降水のd18O変化（6000年前－現在、7-8月平均値）。(a)Wadley et al. (2002)の経験式を用いた結果および (b) GISS modelによる結果 (Oppo et al., 2002)。

4-3 OGCM海水d18Oシミュレーション（AGCM水同位体シミュレーション結果を利用）

以下では、式（1）の経験式を使うことなく、大気同位体モデルの結果を直接利用して、海水のd18Oを計算した場合のシミュレーション結果を示す。境界条件として利用するのは、MIROCで得られている物理場およびそのSSTを境界条件に実行したAGCM水同位体シミュレーションの結果である（図11）。

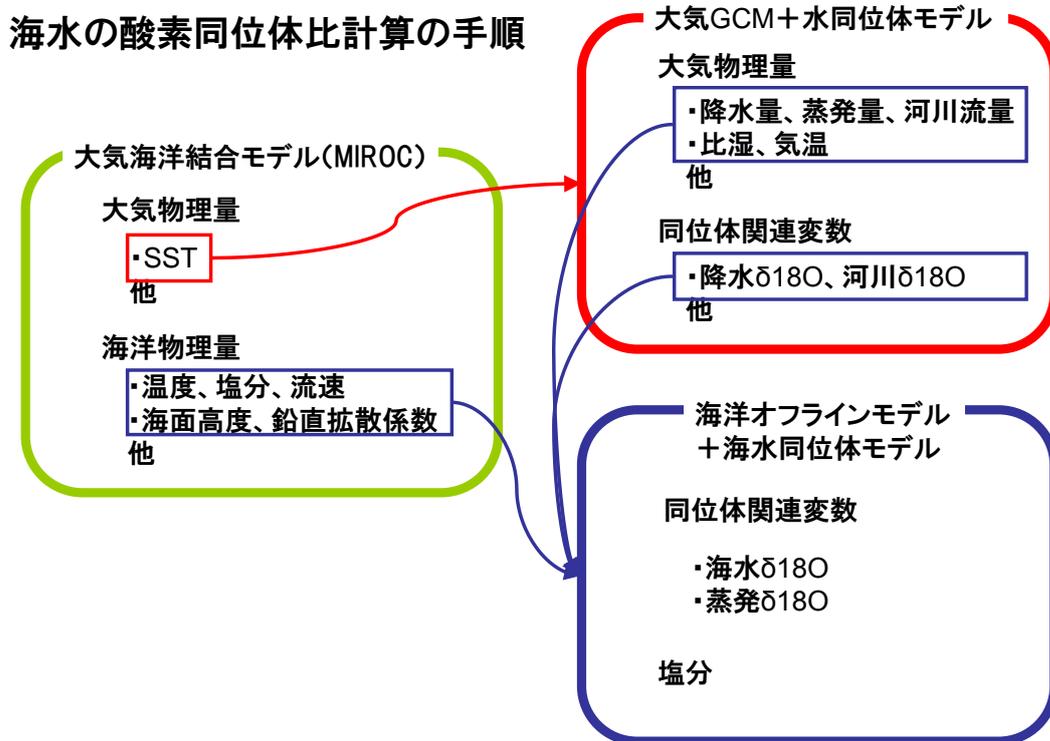


図11：海水d18Oの計算手順の概要。

4-3-1 現在気候のシミュレーション結果

図12に、モデルにより再現された海面における海水のd180の分布を気候値の分布とともに示す。南太平洋亜熱帯域での値がやや過大評価であるなどのバイアスもあるが、図6に比べ、モデルの結果は気候値の全球的な分布をより現実的に再現しているといえる。図13は降水のd180の分布であるが、経験式を用いた場合の分布は、AGCM水同位体シミュレーションの結果に比べ、低緯度での空間分布が平滑化してしまう傾向になるなど、実際の分布を必ずしも現実的に再現できるわけではない。現在気候の分布を再現するにあたっては、安易に経験式を用いることには注意が必要であることが示唆される。

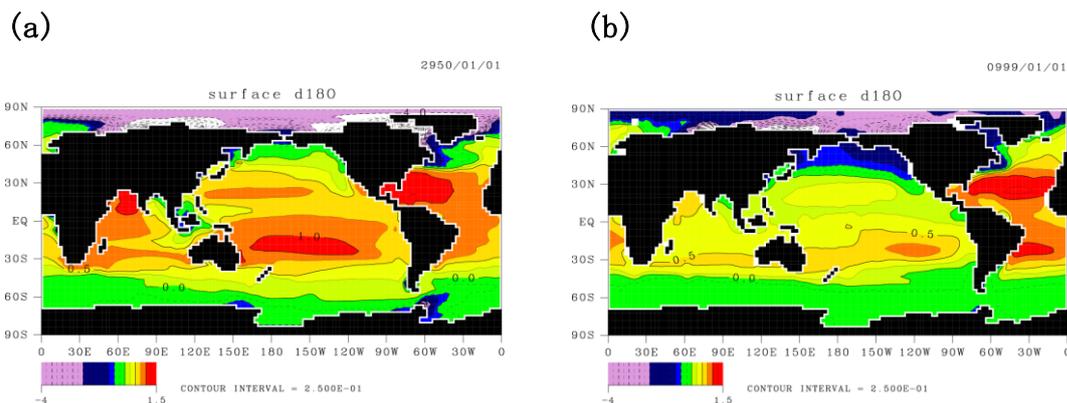


図12：(a)モデルおよび(b)気候値データ (LeGrande and Schmidt, 2006) による海面における海水d180 (‰)

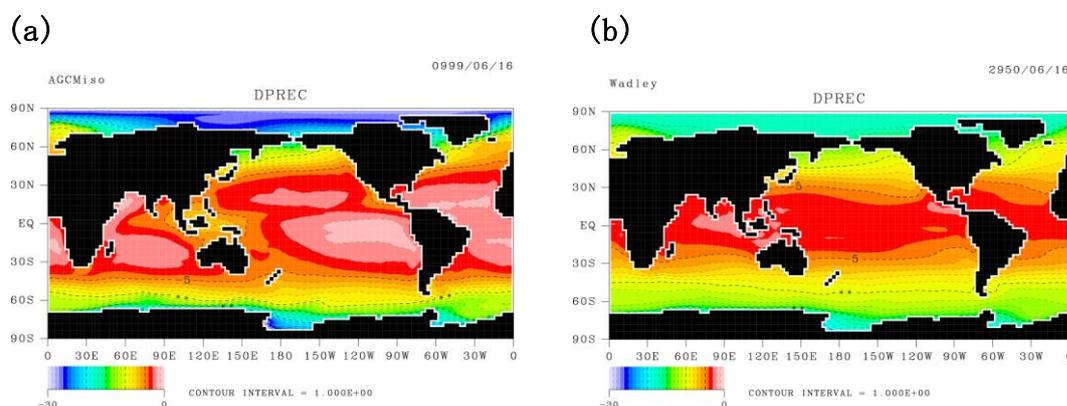


図13：降水のd180 (‰)。(a)AGCM水同位体シミュレーションの分布、および(b)経験式(式1)を使った場合の分布。

#### 4-3-2 6000年前気候シミュレーション結果

図14はモデルにより再現された海水のd180分布の変化である。降水のd180を経験式で与えた図9aの結果とは、大きくことなる分布となっており、図14の分布は同様に大気水同位体シミュレーションの結果を利用したOppo et al. (2002)で得られた分布と近い結果となった。太平洋西部熱

帯域では同位体比が最大0.5‰程度高くなっているが、その主な原因は、そこでの降水の酸素同対比が高くなっているためであると考えられる（図3）。降水の同位体比の上昇は、そこでの降水量の減少によるものであり（図4）、ITCZの移動などによる大気水循環の変化が海水のd18O変化をもたらしたと考えられる。

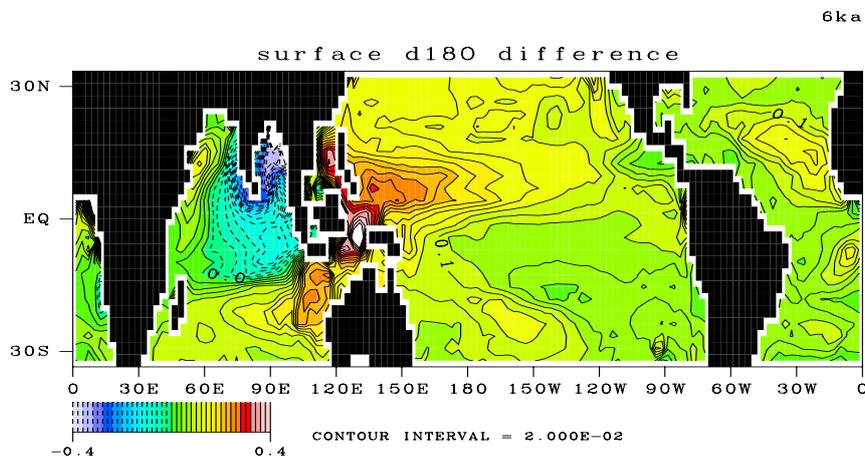


図14：モデルにより再現された海面における海水d18O変化（6000年前－現在、年平均値）。AGCM水同位体シミュレーションを境界条件にした場合の結果。単位は‰。

#### [まとめと考察]

同位体が組み込まれたAGCMシミュレーションの結果、西部熱帯太平洋域では、6000年前の降水は現在よりも同位体比が重くなり約+0.6‰までの変化が得られた。これはITCZの移動に伴って降水量がこの地域で減少したと関係していると考えられる。また、海洋GCMを駆動した結果、海水の同位体比分布の変化も、降水の同位体比の変化と同様な傾向を示し、大気からのインプットの変化が海水の同位体比を決めるうえで重要なプロセスであることが確認された。今回のMIROCによるモデルシミュレーション結果は、Oppo et al. 2007のGISSモデルによる結果と概ね同様な傾向を示し、南シナ海の珊瑚の化石で得られたデータ+0.6‰ともほぼ整合的であった。これらの結果は、6000年前のWPWP域での水循環の変化がモデルシミュレーションによって現実的に再現することができたことを示唆するものである。一方で、今回の結果とGISSモデルの結果を比較すると、変化の空間分布に違いも認められる。降水の変化パターンの違いによるものではないかと思われるが、今後さらなる解析が必要である。

#### 5. 本研究により得られた成果

##### (1) 科学的意義

この手法により、経験的な関係式を用いることなく、モデルとデータの結果を直接比較検討することが可能となり、モデルとデータを併用したより詳細なデータの解析およびモデルの妥当性の検討ができるようになった。これは特定の時代のみならず、様々な気候条件に適用できる手法であり、今後のデータモデル比較に貢献できる。

## (2) 環境政策への貢献

本研究結果がIPCC報告書に貢献することを目指す。

## 6. 引用文献

- 1) Braconnot P, Otto-Bliesner B, Harrison S, Joussaume S, Peterchmitt JY, Abe-Ouchi A, Crucifix M, Driesschaert E, Fichet Th, Hewitt CD, Kageyama M, Kitoh A, Loutre MF, Marti O, Merkel U, Ramstein G, Valdes P, Weber L, Yu Y, Zhao Y 2007 *Climate of the Past* 3 (2) :279-296
- 2) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)
- 3) K-1 model developers 2004 K-1 coupled model (MIROC) description. K-1 technical report, 1. In: Hasumi H, Emori S (eds) Center for climate system research, University of Tokyo, Japan, p 34
- 4) LeGrande AN and Schmidt GA, 2006, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 33 (12): L12604
- 5) Ohgaito R, and A. Abe-Ouchi, 2007 *CLIMATE DYNAMICS*, 29 (1): 39-50
- 6) Oppo, D. W., G. A. Schmidt, and A. N. LeGrande, 2007. *Geophysical Research Letters*, 34, 5.
- 7) Wadley, MR, Bigg, GR, Rohling, EJ, Payne, AJ, 2002 *GLOBAL AND PLANETARY CHANGE*, 32 (2-3): 89-109

## 7. 国際共同研究等の状況

本研究に用いたAOGCMシミュレーションはPMIPにMIROCモデルとして参加し、IPCC AR4を始め、多くの論文に貢献した。

## 8. 研究成果の発表状況

## (1) 誌上発表

- <論文 (査読あり)> Ohgaito et al. 準備中  
 <査読付論文に準ずる成果発表> なし  
 <その他誌上発表 (査読なし)> なし

## (2) 口頭発表 (学会)

- 1) December 7, 2009, Paris, France, 2nd GEOTRACES DATA/MODEL SYNERGY WORKSHOP  
 Title: Simulation of rare earth elements (REEs) with an ocean general circulation model.  
 Authors: A. Oka, H. Hasumi, H. Obata, T. Gamo, and Y. Yamanaka.

## (3) 出願特許 なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの） なし

(5) マスコミ等への公表・報道等 なし

(6) その他 なし