

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310011

研究課題名(和文)石垣島のサンゴ年輪を用いた過去1300年間の海洋環境復元

研究課題名(英文) Reconstruction of past marine environment using coral skeletons collected from Ishigaki Island, southwest of Japan

研究代表者

阿部 理 (ABE, Osamu)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：00293720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、過去1300年間の気候復元を、とりわけ情報量の少ない低緯度海洋域を対象として実施することを目的と定め、その達成のため、琉球列島石垣島海域において、多様な年代に生息した造礁サンゴ年輪試料を採取し、骨格炭酸塩の放射性炭素による年代測定、酸素同位体比および金属濃度比による水温変動の復元を行った。

現在(2005年)から西暦1430年までの575年間および1240年から800年までの440年間について酸素同位体記録を得ることができ、小氷期および中世温暖期の水温および塩分変化を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To reconstruct past marine environments for the last millenium at low-latitude, where paleoenvironmental information is limited, we collected modern and fossil coral skeletons from Ishigaki Island and determined ages, oxygen isotopic composition and minor metal concentrations. We obtained total 1015 years coral records containing the periods of Little Ice Age as well as Medieval Climatic Anomaly.

研究分野：同位体地球化学

キーワード：古環境復元 サンゴ年輪 安定同位体

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の途上である現在の気候は、地球が本来持つ自然の変動に人為起源の要因が積み重なったものである。従って、気候変動の将来予測を行うためには、地球本来の気候変動を知る必要があり、そのための最適な方法の一つとして、気候の長期変動の解明を挙げることができる。長期変動のうち、現在から約 100 年前までは気象・海洋観測データが充実し、氷期 - 間氷期サイクルに代表される数千年～数万年規模の変動については、海底堆積物や両極域の氷床コアの化学分析などによって、いずれも質の高いデータセットを用いての解析や数値計算が可能となっている。一方、両者の中間期にあたる 100 年～数千年間については、利用できる情報が限定されることから、たとえば全球規模の数値計算による復元を、高い正確さで行えるまでには至っていないのが現状である。過去 1300 年間の北半球の気温変化を例として取り上げた IPCC 第四次報告書によれば、紀元 10 世紀後半から 12 世紀初頭にかけて中世温暖期と呼ばれる温暖な時期があり、その後 16 世紀後半から 18 世紀前半にかけて小氷期とよばれる寒冷な時期があり、20 世紀後半から現在は、過去 1300 年間で最も温暖な時期であることは示されているものの、特に 15 世紀以前については著しく情報が乏しくなり正確さに欠くこと、(その結果として)数値計算についてはまだまだ改善の余地が大きいことも併せて指摘している。特に、ENSO に代表されるように地球の気候を最もダイナミックに動かしている低緯度海洋の、過去の変動については利用できるデータセットが少ない。実際に同報告書で引用された各種プロキシによるデータセットのうち、紀元 10 世紀時点で利用できる低緯度(北緯 30 度～南緯 30 度)の情報は世界中で 3 か所のみであり、東アジア～西太平洋域全体では 0 である。

これらの背景を受け、本研究では造礁サンゴの骨格年輪に着目し、琉球列島石垣島からこれまで採取した群体と新たに採取する群体の組み合わせによって過去 1300 年間の北西太平洋亜熱帯域の海洋環境変動を復元することを目的とする。低緯度海洋に広く生息する造礁サンゴのうちハマサンゴなど塊状の群体は骨格の密度変化による年輪を有するため、年代決定が容易であり、またその高い成長速度(年 1～2 cm)によって季節～月単位での時間分解能での環境復元が可能である。さらに、骨格はほぼ均質な炭酸カルシウムで形成されているため、安定及び放射性同位体、少量微量元素など多様な計測が比較的容易にできることも利点として挙げられる。

サンゴ年輪は上述の自然変動情報の“空白域”、すなわち 100 年～数千年前の低緯度海洋について、高精度・高時間分解能の連続データを面的に提供することができる非常に

有望な指標であるが、これまで報告された単一群体の年輪数は最大でも 300～400 年程度で、400 年以上連続して生息した群体は極めてまれである。また、異なる年代の群体を組み合わせる連続記録を得た研究例はこれまでにない。

2. 研究の目的

本研究は、とりわけ情報の少ない、低緯度域の海洋環境復元を目的として、琉球列島石垣島海域で採取された生息年代の異なる造礁サンゴ骨格年輪を組み合わせ、酸素同位体比をはじめとする化学分析を行って、過去 1300 年間の北西太平洋亜熱帯域の海洋環境、特に水温の変化を連続的かつ定量的に復元する。

3. 研究の方法

本研究はサンゴ年輪による過去約 1300 年間の北西太平洋亜熱帯域の海洋環境復元を、試料の採取、クロスデーティングによる編年、酸素同位体比を中心とした化学分析によって達成する。用いるハマサンゴ群体試料のうち、現在(2003 年)から 470 年前まで、及び約 700 年前から 1250 年前までの群体試料についてはすでに琉球列島石垣島沖にて採取済みである(それぞれ米原沖試料、石西礁湖試料とする)。米原沖試料は現生群体であり、石西礁湖試料は上方成長が止まり、海底に半埋没状態となった斃(へい)死マイクロアトール群体である。いずれの試料も採取後のコアを板状に切り出し、軟 X 線画像によって年輪計数を終えている。またそれぞれ試料の一部については酸素同位体比分析を開始している。石西礁湖試料については放射性炭素測定による年代値を得ている。その他、約 870 年前から 1160 年前にかけて石垣港付近の登野城礁で生息した試料(登野城礁試料)も所有しており、石西礁湖試料との比較が可能である。これらの試料に、平成 24 年度、25 年度には石西礁湖において上述試料の空白期間(470 から 700 年前)に相当する群体試料の採取および同位体分析を実施する。

4. 研究成果

図 1 に最近 50 年間の現生サンゴ年輪の酸素同位体比と生息域水温を示す。黒線は、石垣島、トカラ列島宝島、および与那国島で採取したサンゴ年輪の酸素同位体比の年平均値の平均であり、赤線は船舶と人工衛星による表面水温観測のグリッドデータ(ERSST version 4)の、これらのサンゴ生息域を含めた空間平均の年平均値である。水温観測が比較的充実している 1950 年代以降については、サンゴ年輪の酸素同位体比と水温は長期傾向と年々変動のいずれもよく一致していた。また、50 年間の水温上昇が 0.66 であるのに対して酸素同位体比の減少量(図の右軸は上下反転している)は 0.15‰となり、こ

れは温度 1 に対する変化率が-0.23 であることを意味し、この海域における最近の酸素同位体比の変化が水温によってのみ決定されていることを示唆する。

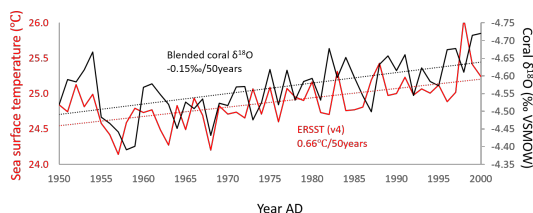


図 1. (黒)最近 50 年間の琉球列島のサンゴ年輪酸素同位体比年平均値の空間平均 (赤)表面水温のグリッドデータの空間平均

図 1.の結果から酸素同位体比と水温の関係式を構築し、宝島および石垣島サンゴ年輪酸素同位体比の空間平均に適用して得られた過去 450 年間の琉球列島における水温変動を図 2.に示す。過去 450 年間で 1 の水温上昇が見られた。また、1600 年、1750 年、1900 年付近に極大値が見られる。

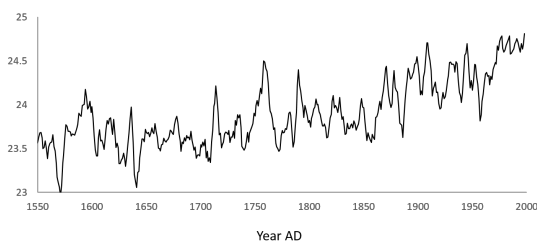


図 2. サンゴ年輪による過去 450 年間の水温復元結果。

次に、石垣島登野城礁で採取した、埋没化石サンゴ年輪の結果を記す。サンゴ試料 (Porites sp.) は 2001 年に石垣島南部の登野城サンゴ礁より採取された。同化石サンゴは低潮位面に達するまで成長した後、サンゴ礁の沖方向への発達により、海底下に埋没していたが、漁船の航路確保のためのサンゴ礁掘削工事により、水中露頭の一部として発見された。同化石サンゴを、天頂部より鉛直方向に油圧式ドリルによる掘削を行い、全長 387cm の連続コアを回収した。採取したコアから 5mm 厚のスラブを切り出し、軟 X 線写真撮影によって年輪計数を行ったところ、298 年生息していたことがわかった。また、コアの最上部および最下部について放射性炭素年代測定を行った結果はそれぞれ 1220 ± 60 年、 1485 ± 35 年となった。年代測定を行った該当部位間の年輪数は 274 であり、放射性炭素年代差の 265 年とは測定誤差範囲内でよく一致していた。目視による骨格状態の観察結果とも合わせ、本サンゴ試料はギャップなく連続成長していたこと、また上方成長速度が平均 1.3cm/年、であることがわかった。

次に軟 X 線写真から、骨格内の成長軸を決

定し、それに沿って 1mm 毎にエンドミルを用いて粉末試料を削り出した (以下、これを高分解能試料と呼ぶ)。高分解能試料数は約 4500 となったが (コアの全長は 398cm であるが、成長軸が必ずしも鉛直方向ではないことやコア間つなぎ目等では重複して作成するなどのため)、これらをすべて分析すると長い時間と労力がかかる。そこで、本研究では 1 年ごとに試料をまとめて年平均を分析する方法を採用した。具体的には、1) 年輪の濃淡をグレイスケールで数値化し、ほぼ冬に相当する低密度バンドから次の低密度バンドまでを 1 年と定め、2) その間の高分解能試料から等量ずつ分取して年試料を再作成する。また、3) 一部期間については、高分解能試料および 2) の年試料の安定同位体比をそれぞれ分析し、高分解能試料から得られる年平均値と年試料の結果を比較することで年試料作成方法の妥当性の検証を行い、その後すべての粉末試料に関して年試料の再作成と分析を行った。

安定同位体比分析結果を図 3 に示す。放射性炭素年代から暦年代への変換は IntCal09 を用いた。また marine reservoir effect として石垣島で採取した現生サンゴから得られた結果を用いた。図の黒線は年試料の酸素同位体比、太茶線はその 21 年移動平均値をそれぞれ示している。時系列の特徴としてはまず、西暦 880~890 年、910~925 年にかけて継続的に低い値を示していた。21 年移動平均値からこの期間に約 40 年の明瞭な周期が認められた。次に西暦 1030 年代~1040 年代にかけて、長期平均値の大きな増加 (図では下方向への変化) が認められた。Tomé and Miranda (2004) による折れ線回帰を用いて、屈曲点を検出したところ、西暦 1030 年と 1040 年の間に有意なギャップがあることがわかった。西暦 874~1030 年までの酸素同位体比の平均値は -4.3‰、1040~1160 年までの平均値は -4.1‰ であり、10 年間に 0.2‰ 増加するイベントであったことがわかる。さらに、1030 年までは 40-50 年周期のリズミカルな変動を示していたが、1040 年以降の約 60 年間には見られず、12 世紀に入り再び現れているように見える。

11 世紀半ばに見られた酸素同位体比の 0.2‰ の上昇は、水温に換算すると約 1 の低下に相当し、塩分に換算すると約 0.7 の増加に相当する (Abe et al., 2009)。水温か塩分のどちらに起因するかを調べるため、いくつかの年試料についてストロンチウム/カルシウム比を分析し、Morimoto et al. (2007) の換算式を用いて水温を復元した (図 4)。11 世紀半ば前後の水温の長期平均値は一致していたことから、酸素同位体比の増加は水温に起因したものではないことがわかった。なお、9 世紀から 12 世紀にかけての平均水温は、最近 80 年間の水温とほぼ一致していることも合わせて明らかとなった。これらのことから、石垣島海域において、9 世紀後半からの

約 300 年間は水温の長期傾向はほぼ見られないものの、11 世紀半ばの短い期間で急激な高塩分化が生じ、その後長期的には安定していたことがわかった。

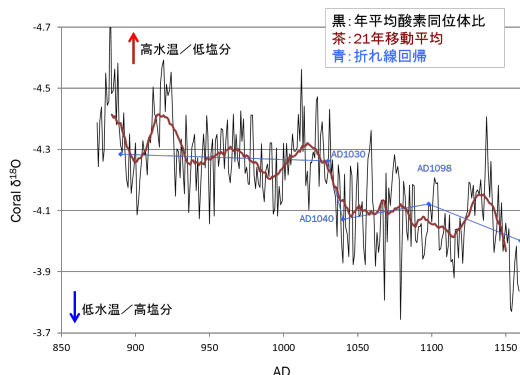


図 3. 9～12 世紀に生息した化石サンゴ年輪の酸素同位体比分析結果。

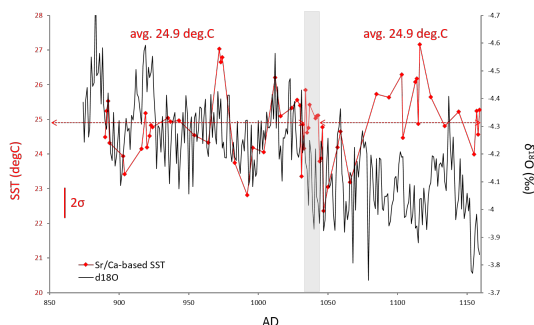


図 4. ストロンチウム / カルシウム比から求めた水温結果と酸素同位体比。

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)

阿部 理・森本真紀・浅海竜司 (2016) 石垣島の化石サンゴ年輪による 9～12 世紀の海洋環境復元, 総合地球環境学研究所気候適応史プロジェクト成果報告書, 1, 39-45 (査読無)

K. Matsumoto, O. Abe, et al. (2016) Primary productivity at the time-series stations in the northwestern Pacific Ocean: Is the subtropical station unproductive? Journal of Oceanography, 72, 359-371. (査読有)

H. Jurikova, T. Guha, O. Abe, et al. (2016) Variations in triple isotope composition of dissolved oxygen and primary production in a subtropical reservoir, Biogeosciences Discussions, only online access, 1-25. (査読無)

H. Takayanagi, R. Asami, T. Otake, O. Abe, T. Miyajima, H. Kitagawa, Y. Iryu (2015) Quantitative analysis of intraspecific variations in the carbon and oxygen isotope

compositions of the modern cool-temperature brachiopod *Terebratulina crossei*, Geochimica et Cosmochimica Acta, 170, 301-320. (査読有)

阿部 理 (2015) 造礁サンゴ年輪を用いた古海洋研究における試料採取および分析技術の紹介, 名古屋大学理学部技術報告, 19, 29-39. (査読無)

H. R. Keedakkadan and O. Abe (2015) Cryogenic separation of an oxygen-argon mixture in natural air samples for the determination of isotope and molecular ratios, Rapid Communications in Mass Spectrometry, 29, 775-781. (査読有)

H. Takayanagi, R. Asami, O. Abe, T. Miyajima, H. Kitagawa, K. Sasaki, Y. Iryu (2013) Intraspecific variations in carbon- and oxygen-isotope compositions of a brachiopod *Basiliola lucida* collected off Okinawa-jima, southwestern Japan, Geochimica et Cosmochimica Acta, 115, 115-136. (査読有)

N. Yoshida, M. Vasilev, P. Ghosh, O. Abe, K. Yamada, M. Morimoto (2013) Precision and long-term stability of clumped isotope analysis of CO₂ using a small sector isotope ratio mass spectrometer, Rapid Communications in Mass Spectrometry, 27, 207-215. (査読有)

J. Kaiser and O. Abe (2012) Reply to Nicholson's comment on "Consistent calculation of aquatic gross production from oxygen triple isotope measurements" by Kaiser (2011), Biogeosciences, 9, 2921-2933. (査読有)

[学会発表](計 8 件)

阿部 理, 造礁サンゴ年輪を用いた過去の海洋環境復元, 第四回同位体環境学シンポジウム, 2014 年 12 月 22 日, 総合地球環境学研究所(京都市)

O. Abe, M. Morimoto, R. Asami, Reconstruction of 9c-12c marine environment using long-lived fossil coral proxies, International Joint workshop on coral reef environmental earth sciences, 2014 年 3 月 26 日, 北海道大学(札幌市)

O. Abe, M. Honda, T. Saino, Vertical distribution of triple isotopic composition of dissolved O₂ in the northwestern Pacific, EGU General Assembly 2013, 2013 年 4 月 11 日, Vienna, Austria

浅海竜司・阿部理・高柳栄子・平井彰・森本真紀・井龍康文, 石垣島の現生サンゴから得られた過去約 500 年間の骨格年輪記録, 日本海洋学会 2013 年春季大会, 2013 年 3 月 23 日, 東京海洋大学(東京都品川区)

阿部 理・森本真紀・中塚 武, 南西諸島石垣島の化石サンゴ長尺試料の骨格酸素同位体比, 日本海洋学会 2013 年春季大

会, 2013年3月23日, 東京海洋大学(東京都品川区)

阿部 理, 炭酸塩の炭素・酸素二重置換同位体分子研究の現状と課題～原子比から分子比へ～, 地球化学会 2012年年会, 2012年9月13日, 九州大学(福岡市)

阿部 理, 代替水温指標としての炭酸塩の炭素・酸素二重置換同位体組成, 日本古生物学会 2012年年会, 2012年6月29日, 名古屋大学(名古屋市)

浅海竜司, サンゴの化学組成と同位体組成を用いた海洋環境の長期変動解析, 日本古生物学会 2012年年会, 2012年6月29日, 名古屋大学(名古屋市)

研究者番号: 30377999

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 理 (ABE, Osamu)
名古屋大学・環境学研究科・助教
研究者番号: 00293720

(2) 研究分担者

井龍康文 (IRYU, Yasufumi)
東北大学・理学研究科・教授
研究者番号: 00250671

浅海竜司 (ASAMI, Ryuji)
琉球大学・理学部・准教授
研究者番号: 00400242

(3) 連携研究者

森本真紀 (MORIMOTO, Maki)
岐阜大学・教育学部・准教授