

琉球列島の造礁サンゴ年輪を用いた海洋表層の 長期塩分変動の復元

阿部 理^{*1}・浅海 竜司^{*2}・高柳 栄子^{*3}・森本 真紀^{*4}・
小林 文恵^{*1}・平井 彰^{*1}・福留綾里紗^{*3}・井龍 康文^{*3}

1. 研究目的

海水の塩分は、海洋大循環を駆動する最も重要な成分の一つである。もう一つの重要なパラメータである水温は、比較的容易かつ正確に測定できることから、古くから商用船舶でも観測されてきたが、標準海水による頻繁な校正作業が不可欠な塩分観測に関しては、現代においてさえ研究船以外の観測結果の信頼性は高いとは言えない。特に1950年代以前では利用可能なデータ数は著しく制限されており、沿岸定点における連続観測記録も十分には

存在しないのが現状である。

熱帯・亜熱帯に広く生息する造礁サンゴのうち、塊状サンゴは炭酸塩骨格の密度変化による年輪を持ち、数百年間の海洋環境の連続記録を有するものもある。サンゴ骨格年輪の酸素同位体比は形成時の水温と、塩分とほぼおなじ変動を示す海水の酸素同位体比の二成分で決定される。塩分よりはるかに観測数が多く、また確度も高い水温の観測記録を用いることで、サンゴ骨格の酸素同位体比から水温の寄与を除去し、塩分を復元することができる（例えば Morimoto et al., 2002; Iijima et al., 2005）。

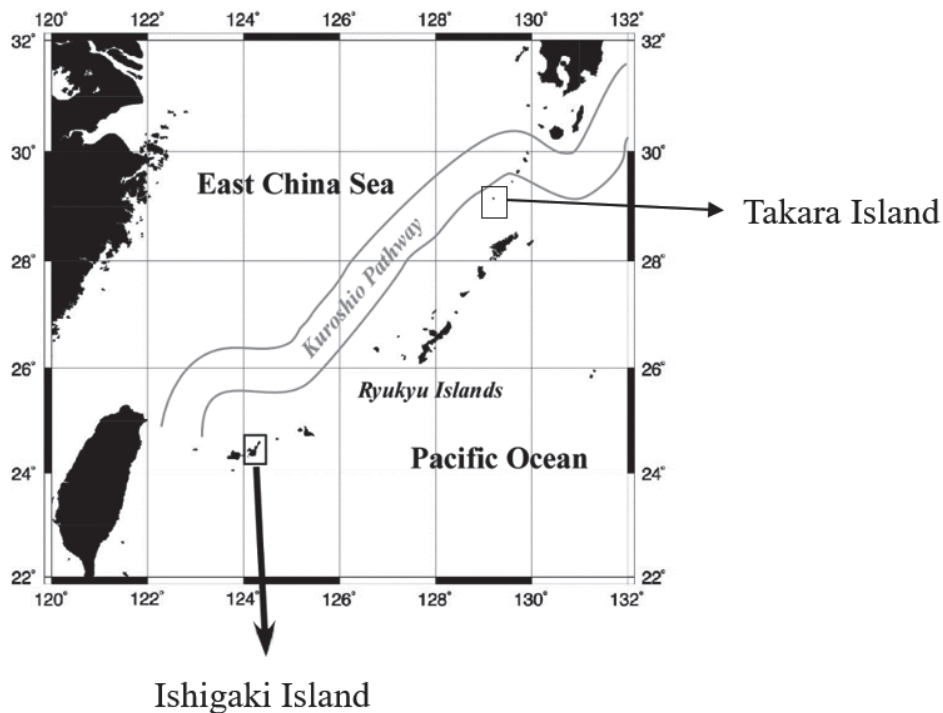


図1 研究地点

(*1 名古屋大学環境学研究科、*2 琉球大学理学部、*3 東北大学理学研究科、*4 岐阜大学教育学部)

本研究は琉球列島の南北端に位置する、石垣島および宝島（図 1）で採取したいずれも 500 年以上の年輪を有する現生の塊状ハマサンゴ試料の酸素同位体比から琉球列島の長期塩分変動を復元することを目的とする。研究の流れは、1) 船舶観測と人工衛星観測をもとに作成した水温の客観解析データと沿岸観測水温との比較、2) 水温データが存在する期間についてサンゴ年輪の酸素同位体比の変動成分の確認、3) 琉球列島の 500 年間の塩分変動の復元である。

1 - 1. 試料と同位体比分析

2003 年 6 月に石垣島北部の米原沖の水深 10m 地点において、体高約 5m の塊状ハマサンゴ群体を発見し、スキューバタンクを用いたエアドリル（Adachi and Abe, 2003）を用いて、半球形の群体の天頂部から鉛直方向に全長 398cm の連続コアを回収した。また、2005 年 6 月にトカラ列島宝島西岸沖の水深 10m 地点において、体高約 5m の塊状ハマサンゴ群体を発見し、上記の方法にて群体の天頂部から鉛直方向に全長 370cm の連続コアを回収した。

採取した各コアは 3mm 厚のスラブに切り出したのち、軟 X 線写真撮影を行ない、年輪を確認した。年輪数は石垣島試料が 514、宝島試料が 553 となり、生息期間平均の上方成長速度はそれぞれ 7.7mm/年、6.7mm/年であることがわかった。

いずれの試料も X 線写真をもとに決定した成長軸に沿って分析用粉末試料を削りだし、炭素・酸素安定同位体比を分析した。石垣島試料の安定同位体比は東北大学理学研究科地学専攻所有の炭酸塩自動前処理装置（Kiel III）付同位体比質量分析計（Delta V）で測定し、宝島試料の酸素同位体比は名古屋大学環境学研究科地球環境科学専攻所有の炭酸塩自動前処理装置（Kiel I）付同位体比質量分析計（MAT251）および総合地球環境学研究所所有のガスベンチ（GasBench II）付同位体比質量分析計（Delta V）によって測定した。

現在から西暦 1850 年までに関しては、気象庁が整備した表面海水温の客観解析データ（COBE-SST2）が利用できるため、これをサンゴ年輪の酸素同位体比の変動要因の確認に用いた。COBE-SST2 は緯度経度 1 度の日データとして提供されており、石垣島

試料については 24.5° N124.5° E、宝島試料については 29.5° N129.5° E のグリッドデータをそれぞれ適用した。

2. 結果

2 - 1. 海水温データの検証

石垣島では島の南岸に位置する石垣港に設置された検潮所において、1914 年から沿岸海水温の観測が開始されている。図 2 に同海域の COBE-SST2 水温と石垣検潮所の水温の年平均値を示す。図 2a からわかるように石垣島海域の客観解析水温と石垣島沿岸海水温は全期間平均で 2 度前者の方が高い値を示しているものの、年々変動パターンについてはほぼ一致していることがわかる。しかし、図 2b に示すように、1980 年代からこれらのデータセットの冬季の水温差が小さくなっている（相対的に冬季の検潮所水温が高くなっている）。これは、1979 年に、石垣港の直南で始まった新港地区の埋め立て工事によると思われる。新たに生じた土地が防波堤となり、海洋下層からの冷水の侵入を妨げた結果、冬季水温が上昇することになったと推測される。

また、宝島と石垣島海域の客観解析水温は、両者の差に経年変化はなく、年々変動パターンもほぼ一致しており、ここから水温の長期変動は琉球列島全域においてほぼ均質であったとみなすことができる。

このように沿岸の海水温は、海底地形の改変に敏感に応答するが、本研究で採取した米原沖サンゴ試料は、周辺で大きな海底工事もなく、生息期間を通じて同一環境を維持してきたとみなしてよい。一方で、石垣港検潮所の水温データについては、その取り扱いに十分に注意を払う必要がある。

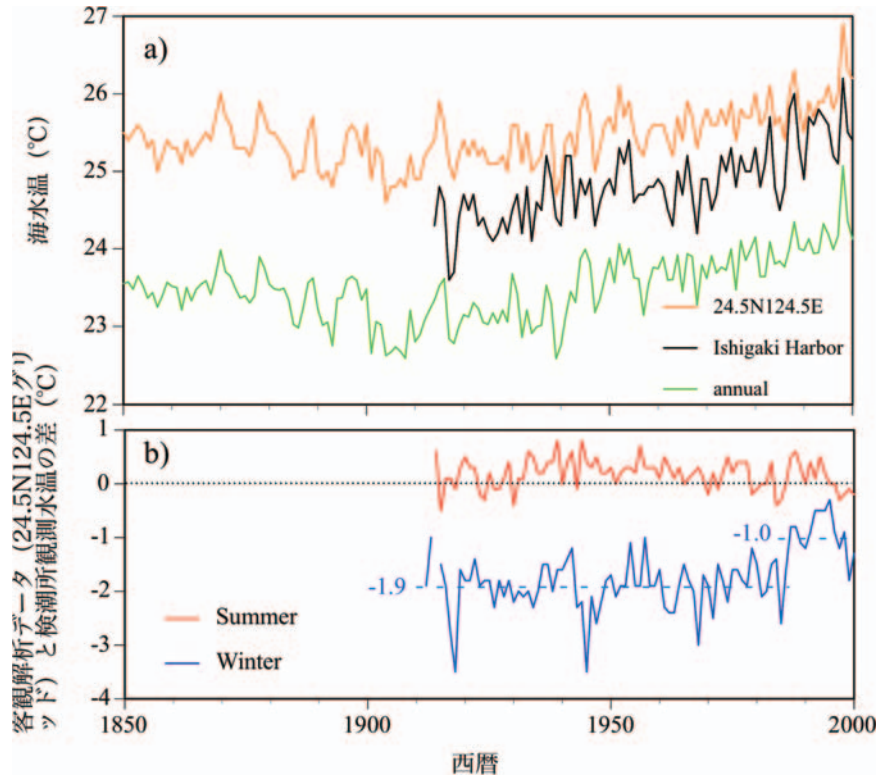


図2 (上:a) 石垣島海域(北緯24.5度、東経124.5度を中心とした1度グリッド; 橙色)と宝島海域(北緯29.5度、東経129.5度; 緑色)のCOBE-SST2客観解析表面海水温の年平均値、および石垣港における水温観測結果の年平均値(黒色)。(下:b) 石垣島海域のCOBE-SST2水温と石垣港観測水温の差。夏季(6~8月)を赤、冬季(12~2月)を青で示す。

2-2. 1850年までの酸素同位体比と海水温の比較

図3に宝島および石垣島のサンゴ年輪の1850年から現在までの酸素同位体比の変動とそれぞれに相当する海域の客観解析水温の年平均値を示す。宝島海域については、1880年代以前および20世紀以降はサンゴ年輪と水温の変動がよく一致しているものの、1880年代から1910年代にかけて変動パターンに差が生じている。石垣島海域については、1880年代以前および1940年代~1990年代に一致がみられる一方、1890年代~1940年代の期間については変動パターンに差が生じていることがわかる。

両地点でみられた変動パターンのずれは塩分の長期変動に起因すると考え、年輪酸素同位体比と客観解析水温から塩分変動を抽出した。まず、水温データを酸素同位体比に換算するために、一般的に用いられているサンゴ骨格の酸素同位体比の温度感度として $-0.2\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ をあてはめる。つぎに、各海域について、1950年以降の平均値の差が0となるように調

節し(切片を求めることと同義)、サンゴ年輪の酸素同位体比との差を求める。ここまでの作業で海水の酸素同位体比の1950年以降の平均からの偏差の変動が得られる。最後に、Abe et al. (2009)で求めた海水の酸素同位体比の塩分に対する感度、 $0.31\% \text{ salinity}^{-1}$ を海水の酸素同位体比の偏差にあてはめ、塩分偏差の変動をもとめた(図4)。

石垣島では、1850年以降徐々に塩分が低下し、1940年代に極小となり、そのうち現在に向けて徐々に上昇していることがわかった。また、1940年代までは塩分偏差に約20年の周期性がみられるが、それ以降は明瞭ではなく、1940年代の極小、1950年代の極大、1980年前後の極大と、約40年の周期があるようにみえる。

石垣島海域の塩分偏差の変動は、1897年から気象台観測が始まった石垣島の降水量の長期変動とよく一致していることがわかる。とくに1940年代の塩分極小からの1950年代までの塩分上昇や1990年代に

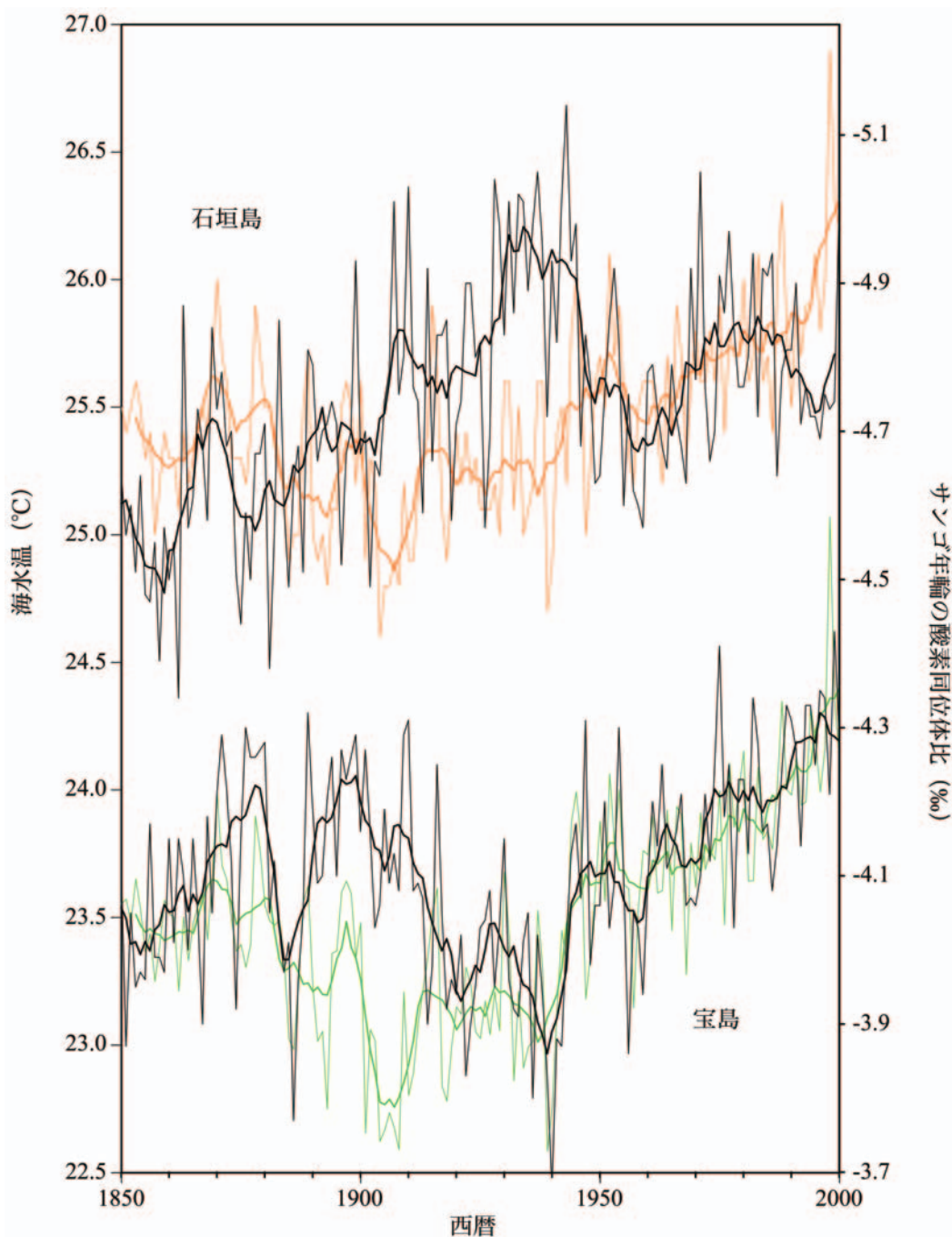


図3 1850年以降の石垣島（上部）・宝島（下部）のサンゴ年輪の酸素同位体比年平均值（黒い細線）および両海域のCOBE-SST2客観解析水温の年平均值。各変動の太線はそれぞれの7年移動平均を示す。

みられた塩分極大は、図で示した夏季の降水量変動でみとめられる傾向とあっている。

宝島でも、1850年以降の塩分低下傾向は石垣島とおなじであるが、極小は1900年代にみられる。また、そのの上昇に転じて1940年付近に極大となり、現代に向けて徐々に低下する傾向は石垣島と対称的で

ある。1880年代と1940年代に大きな極大値がみられる以外は明瞭な周期的変動はみとめられない。なお、宝島については、降水量の長期観測がなく、近傍の奄美大島の降水量観測も石垣島とおなじく1897年に開始されているため、1890年代～1900年代にみられる塩分低下については十分に検証することができな

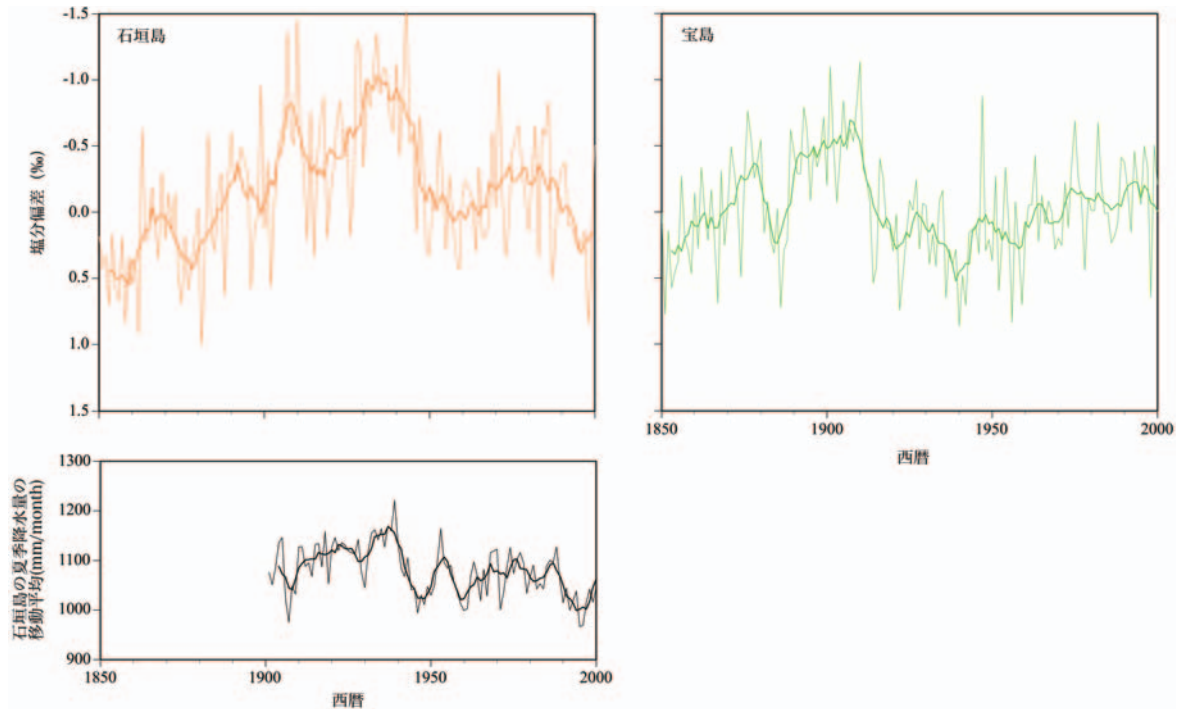


図4 (上左) 図3で示した変動から求めた1850年以降の石垣島の塩分変動。1950年以降の期間平均値からの偏差として表わす。太線は7年移動平均値を示す。(上右) 宝島の塩分変動。(下左) 石垣気象台で観測された年降水量の9年移動平均。太線はその5年移動平均を示す。

かった。

周期を有することがわかった。ほかに、35～45年、25年、4年に有意な周期がみとめられることがわかった。

2-3. 石垣島と宝島のサンゴ年輪の酸素同位体比の長期変動

1940年代にそれぞれ極小と極大を示した石垣島と宝島の塩分変動の原因は不明であるが、この両地点は塩分変動、すなわちローカルな降水量変動に関して対称性を有すると考えられる。図5にサンゴ年輪の全期間の年平均値を示す。1940年代にみられる対称性は1850年付近、1780年付近、1740年付近、1650年付近にも同様にみとめられる。また、1500年代から現在にかけて宝島サンゴの酸素同位体比はみられない長期低下傾向が石垣島サンゴにはみられる。このことは石垣島海域の塩分が徐々に低下していることを示唆している。

両地点の対称性をあきらかにするため、図6に両地点の酸素同位体比の差を示す。上述したように、全体として石垣島の相対的な低塩分傾向がみられるほか、100年程度の顕著な長期変動成分が得られる。パワースペクトル解析を行なったところ、約90年の

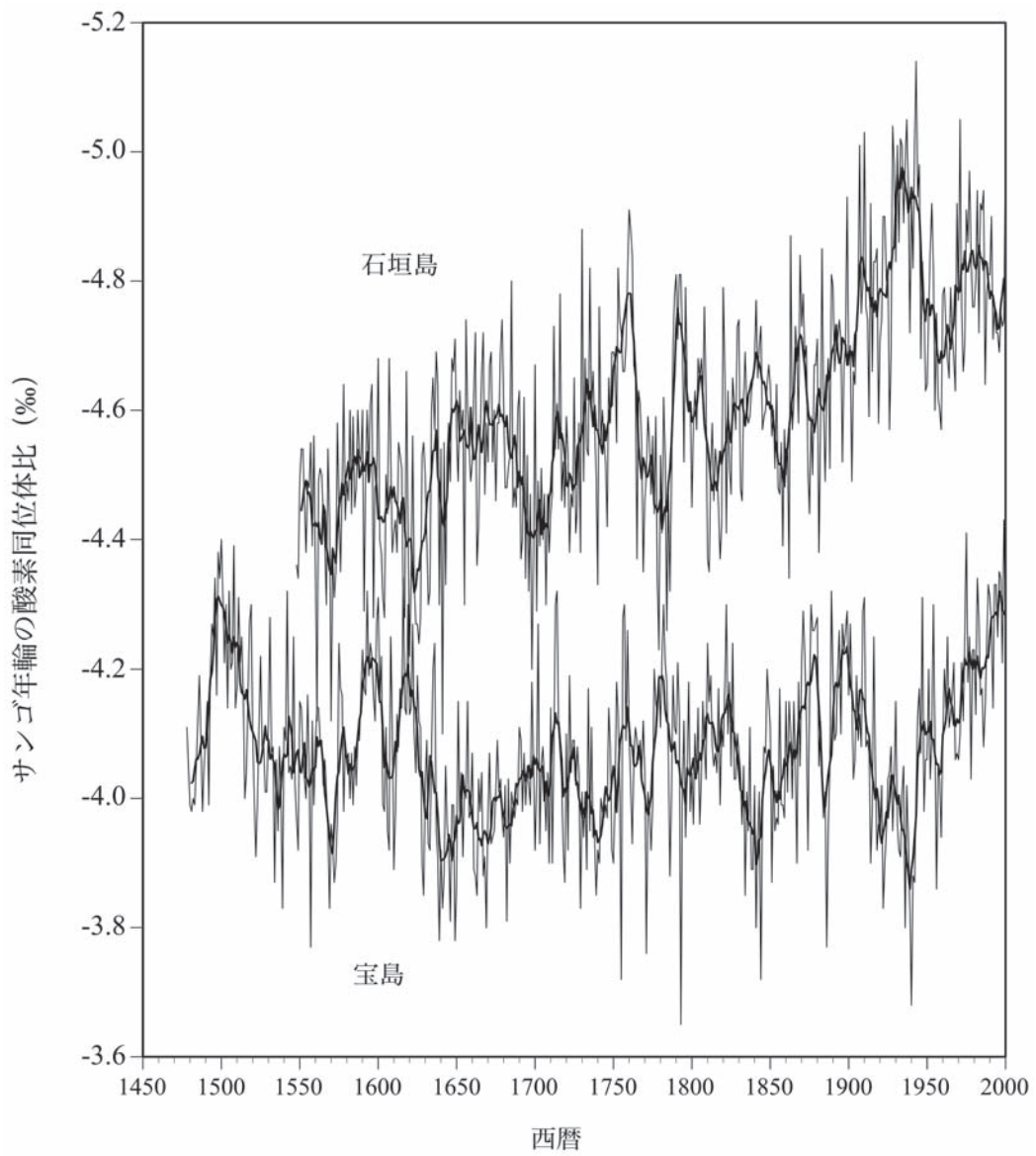


図5 石垣島（上部）・宝島（下部）のサンゴ年輪の酸素同位体比の年平均値の全データ。太線は7年移動平均を示す。

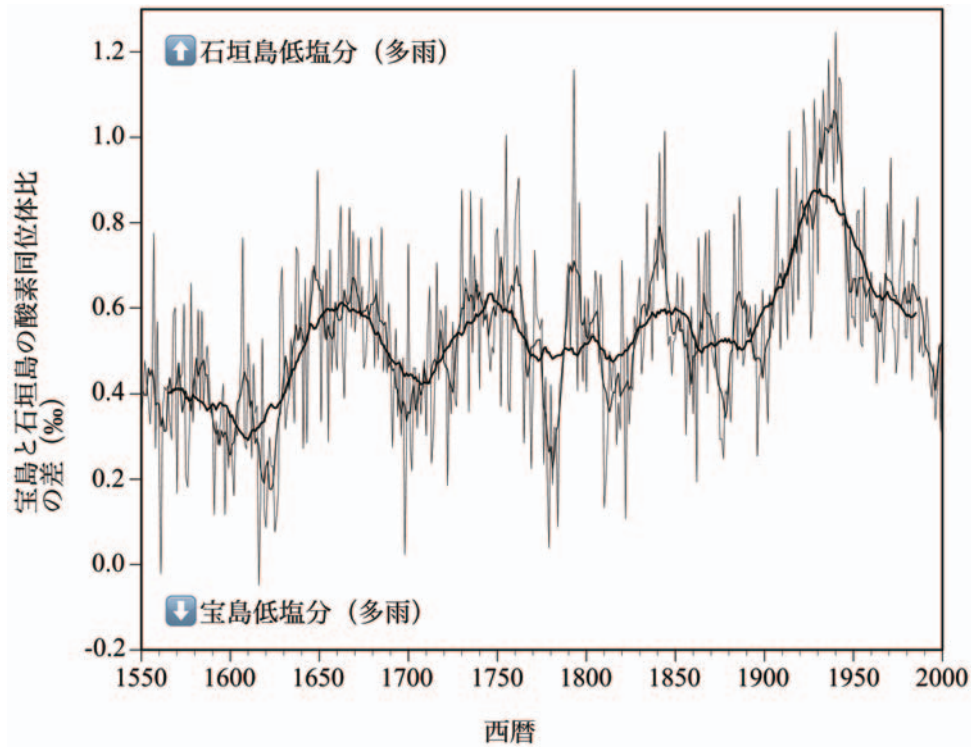


図6. 宝島と石垣島の酸素同位体比の年平均値の差。値が高いと石垣島が相対的に低塩分であることを意味する。細い太線は7年移動平均、太い太線は35年移動平均を示す。

3. まとめ

琉球列島はサンゴ生息域の北限に近いと、ほかの熱帯海域に比べ水温の年較差が大きく(約10℃)、数年から数十年の短尺試料の同位体分析結果からは、水温とよく対応しているとみなす研究がこれまでもいくつか存在する。今回、500年におよぶ長期の同位体比結果から、本研究海域の長期的な塩分変動とその周期性が明らかとなった。今後は水温観測記録のない1850年以前について、Sr/Ca比などの微量元素濃度を分析し、それぞれの地点の水温および塩分の変動を明らかにする予定である。

引用文献

Abe, O. et al. (2009) A 6.5-year continuous record of sea surface salinity and seawater isotopic composition at Harbour of Ishigaki Island, southwest Japan. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45 (3), pp.247-258.

Adachi and Abe (2003) "Air Drill" for submerged massive

coral drilling. *Marine Technology Society Journal*, 37, pp.31-36.

Iijima, H. et al. (2005) Inter-annual sea surface salinity changes in the western Pacific from 1954 to 2000 based on coral isotope analysis. *Geophysical Research Letters*, 32, L04608.

Morimoto et al. (2002) Salinity records for the 1997-1998 El Nino from Western Pacific corals. *Geophysical Research Letters*, 29, 35/1-4.