

独立行政法人産業技術総合研究所  
地質情報研究部門 鈴木 淳 (a.suzuki@aist.go.jp)

## 1. 研究の目的

熱帯域の海洋と大気は、全球の循環を駆動する熱エネルギーと水蒸気の放出源となっているので地球規模での気候システムに大きな役割を演じていると考えられている。特に、熱帯域での海洋と大気の相互作用としてアジアモンスーンのような気候システムの全球的気候変動に関係して近年注目が集まっている。世界の総人口の半分以上がアジアモンスーンの影響下にあり、その変動はこの地域の環境および経済にとって非常に大きな影響を及ぼすと推定されている。

しかし、モンスーン域を含めて熱帯域のほとんどの地域では、水温や塩分など観測機器に基づく気候の記録は過去 30~50 年間しかない。水温や塩分のデータは、熱帯域での気候変動を理解するための基礎的データで、将来の気候予測をするための数値実験に供される。しかしながら、観測機器を用いて得られた定量的データは短い期間に限られるので、これらのデータを基に 10 年単位やそれ以上の長期変動を解析することは難しく、21 世紀の気候予測をするためには過去 100 年以上にわたる水温、塩分などの定量的データが不可欠である。

サンゴ骨格を用いた高時間解像度(約 1 週間単位)の海洋環境復元は、この数年の間に急速に発展してきた。本研究では、琉球列島から東南アジアおよびインド周辺を対象として、それらの海域よりサンゴ骨格を採取し、高時間解像度(週~月単位)で、過去 200-300 年の水温、塩分、降雨などを復元し、地球温暖化に伴う海水温の上昇とモンスーン変動の関係を解明することを目的とする。独立行政法人産業技術総合研究所および独立行政法人国立環境研究所が共同して本研究を実施する。

## 2. 研究の方法

琉球列島、フィリピン、インドネシア、マレーシア、オーストラリア等の沿岸海域にて現地調査を実施し、100-200年以上の記録を有するサンゴ柱状試料を採取する。サンゴ種としては、大型の群体に成長するハマサンゴ属を対象とする。このサンゴ骨格について、X線撮像によって骨格の成長を確認するとともに、成長軸に沿って炭酸カルシウム微量試料を分取する。この微小試料について、水温および降水量の複合指標として有効な酸

素同位体比を分析し、正確な年輪を計数する。さらに、この微量試料について、水温の単一指標として有効なストロンチウム/カルシウム比(Sr/Ca比)を分析し水温を高精度で推定し、酸素同位体比の結果と併せて塩分や降雨量などを推定する。最終的にこれらを総合し、高時間解像度(週~月単位)で、過去200-300年の水温、塩分、降雨などの復元し、温暖化傾向とモンスーン変動の関係を検討する。

また、上記のサンゴ柱状試料を対象に、国立環境研究所の加速器質量分析施設(NIES-TERRA)を用いて、サンゴ骨格中の炭素14濃度を高時間解像度で測定し、酸素同位体や微量金属で復元された水温、塩分、降雨などの環境因子と比較することで、二酸化炭素のリザーバー間での動態とモンスーン変動の関係を検討する。

## 3. 研究の成果

### 3.1 酸素同位体比およびSr/Ca比を用いた水温と塩分(降水量)の復元に関する研究

西太平洋・東南アジア域から現在までに採取されたサンゴ試料は、X線撮像による年輪計測の結果、石垣島 181 年、小笠原諸島父島 157 年、ミクロネシア・チュック環礁 95 年、フィリピン・ピコール 222 年、インドネシア・セリブ諸島 85 年の期間の記録を保持していることが明らかになった。このうち 3 地点について約 100 年以上のサンゴ骨格酸素同位体比記録を得た。サンゴ骨格の酸素同位体比の減少は、水温上昇あるいは降水量の増加を指標する。

西太平洋ミクロネシア海域ではエルニーニョ時に水温の低下と降水量の減少が起きる。これに対応して、サンゴ骨格の酸素同位体比に顕著な正のアノマリが認められた。この特徴を利用して、チュック環礁の約90年間のサンゴ骨格の酸素同位体比変動を検討したところ、1920年代以前と1980年代以降にENSO変動が強い時期があり、一方、1930~1970年代にはENSO変動が減衰しており、従来から指摘されているENSO変動のモード変化が確認された。また、90年間に酸素同位体比について約0.2‰の低下が認められ、長期的な水温上昇と降水量の増加による塩分低下が示唆される。石垣港の海水温観測記録は、1914年以降年間0.012°Cの上昇を示しており、冬期の海水温に

については上昇傾向がより顕著である。1897年から1998年までのサンゴ酸素同位体比記録には、平均で約0.2‰の低下傾向が認められる。石垣島の気象観測記録はこの期間にわずかながら小雨化の傾向を示しているため、サンゴ骨格の酸素同位体比減少幅はもっぱら水温の上昇によるものと考えられる。約160年間に渡って復元された小笠原諸島父島のサンゴ酸素同位体比には、1900年ころに大きな低下シフトが見られるものの、その後は明瞭な長期トレンドが見られない点で、他の海域のサンゴと大きく異なっている。厳密には時系列解析による検討が必要であるが、10数年スケールの変動成分の存在が認められる。ルソン島南部の太平洋岸に位置するピコール地方から得られたサンゴ記録は、近接するミクロネシア海域と同様にエルニーニョ時には水温の低下傾向が見られるものの、その変化幅は小さい。約50年間に渡る酸素同位体比記録の後半30年間には、約0.2‰の低下傾向が認められ、この変化速度は石垣島やミクロネシアで見られる傾向に比べて大きい。

酸素同位体比分析を推進する一方で、温度のみの単純指標となる Sr/Ca 比および U/Ca 比の高精度測定法を検討し、内部標準同位体希釈法により調整した試料を、誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)で測定することにより、測定の安定と十分な再現性を得ることに成功した。また、これらの分析に適した標準試料の作成も行った。

### 3.2 炭素14を用いた表層炭素リザーバーの二酸化炭素交換に関する研究

オーストラリア北西 Rowley Shoals と石垣島に加え、南西諸島北部の喜界島、及びベトナム北部 Con Dao 島でそれぞれ採取したサンゴコアの  $^{14}\text{C}$  分析を実施した。

石垣島においては、晩春から夏にかけて、モンスーンの影響で南南西ないし南からの風が卓越する。石垣島のサンゴコアにおける  $^{14}\text{C}$  の変動は、この卓越風によって島の東側の表層水がエクマン輸送により沖合に流れ、局所的な湧昇流が誘起されて、古い年代をもつより深層の水が表面に浮かび上がる現象を捉えているのではないかと考えられる。喜界島のサンゴコアも、石垣島と同様晩春から夏にかけた時期に  $^{14}\text{C}$  レベルが極小になる傾向を示した。よって、喜界島においても同様に卓越風の影響で、局所的に誘起される鉛直方向の海水流による古い年代の海水の表層への湧き上がりを見ているものと考えて矛盾しない。モンスーン地帯の南側に位置する Rowley Shoals においても同様の  $^{14}\text{C}$  変動が認められている。こ

うした結果から、モンスーンの季節的な卓越風の影響で様々な場所で局所的湧昇流が誘起されているのではないかと考えられ、その影響をとどめるサンゴコア中  $^{14}\text{C}$  濃度の変化をモンスーンのプロキシとして利用できる可能性が今回の研究で示された。

一方、ベトナムメコンデルタ近傍で採取されたサンゴ柱状試料のうち1950年代前後の12年間分の測定を行い、大気圏核実験以前の海洋リザーバー効果に関する知見を得た。

### 4. 今後の課題

現在までに小笠原諸島父島ほか、石垣島、ミクロネシアより100年ないしそれ以上のサンゴ骨格酸素同位体比記録を得た。今後、これらのサンゴ試料全長について、Sr/Ca 比および U/Ca 比の測定を進めて水温塩分分離手法を適用し、測器記録が欠如する1800年代前半以前の水温および塩分(降水量)の復元を試みる。また、オーストラリアや南西諸島のサンゴ試料には季節的な  $^{14}\text{C}$  の変動が認められた。これらの  $^{14}\text{C}$  の季節的な変動には、卓越風による局所的な湧昇の変化が反映されと考えられ、サンゴコア中  $^{14}\text{C}$  変動がモンスーン強度のプロキシとして使える可能性が示された。今後、酸素同位体比、Sr/Ca 比および  $^{14}\text{C}$  を用いた複合指標解析を推進する。また、引き続き各地のサンゴコアで同時期の  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施して核実験前の海洋リザーバー効果の場所による違いを明らかにし、炭素循環モデルに基づく核実験の影響の比較を行って、より定量的な議論に耐えられるデータセットの確立並びにモデルの確立に努力する。

### 5. 成果文献

- Suzuki, M.K. et al. 2003: Skeletal isotope microprofiles of growth perturbations in *Porites* corals during the 1997-1998 mass bleaching event, *Coral Reefs*, 22, 357-359.
- Hong, B. et al. 2003: Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene, *Earth Planet Sci Lett.*, 211, 371
- Inoue, M. et al. 2004: Concentrations of trace elements in carbonate reference materials coral JCp-1 and giant clam JCT-1 by inductively coupled plasma mass spectrometry, *Geostandards Geoanalytical Res.* (in press)
- Mitsuguchi, T. et al. 2004: High-resolution  $^{14}\text{C}$  analyses of annually-banded coral skeletons from Ishigaki Island, Japan, *Nucl. Instr. Meth. B.* (in press)