

第 265 回地質調査所研究発表会講演要旨*

サンゴ骨格の解析に基づく高時間精度環境復元

サンゴ骨格を用いた研究のねらい

川幡穂高¹

気候変動と物質循環をより理解するためには、現在の気象台の観測データがそろっている過去 30 年位では不十分で、100 年以上のデータが必要である。特に、ENSO 等低緯度域が重要な役割を演じる場合には、高時間精度での情報はサンゴ年輪の記録から得ることができる。現在のところ、サンゴ骨格から過去 100 年以上にわたって水温が復元されているのは世界中でも数箇所にとどまっている。特に西太平洋では 1 測点しかない。そこで、日本の科学技術研究費を用いて西はモルジブ、東はマジュロ、北は石垣島にいたる西太平洋暖水塊および周辺海域での海洋環境および気候復元が始まっている。

サンゴの骨格は炭酸カルシウムでできていて、高密度部分と低密度部分が交互に重なり、これで 1 年の年輪を形成している。年代が解かりやすいことは、古気候を復元する際に有利である。太平洋インド域では *Porites* 属が、また大西洋域では *Montastrea annularis* が、直径 2-3 m に及ぶ大きな群体に成長し、数百年の年輪を有する。また、年間の成長速度は通常 10 mm 前後であるので、成長方向に 0.2 mm ずつ微小試料を採取すれば週単位で過去の海洋環境や気候を復元できる。その最初のステップとして、琉球列島で酸素同位体比-水温の関係性をさまざまな種で作ることが必要である。

(¹地質調査所・東北大学大学院理学研究科)

Keywords: climatic change, coral, ENSO, oxygen isotope, seasurface temperature

琉球列島石垣島産の現生サンゴ骨格の 酸素・炭素同位体比

鈴木 淳¹ M. K. Gagan² 雪野 出³ 川幡穂高¹

琉球列島石垣島の浦底湾および白保のサンゴ礁より採取した現生のサンゴ試料 (*Porites* spp.) 4 群体について骨格の酸素・炭素同位体比を測定し、周辺の水温や日

射量などの環境パラメータと比較した。石垣島浦底湾のサンゴ骨格 (*P. australiensis*) の酸素同位体比は、-5.6~-3.7% の季節変化を示した。夏冬の同位体比の極値と、最高・最低水温との対比により骨格の酸素同位体比の温度依存性は 0.165%/°C と求められた。これは海外の一般的な報告値 0.179~0.223 の範囲に近い。ほかの群体の酸素同位体比もほぼ同様の温度依存性を持つ。また、浦底湾のサンゴ骨格の炭素同位体比の年周変動に全天日射量との正相関関係がみられる。これは、光合成の増進によって同位体比の軽い炭酸種が選択的に吸収される結果、石灰化が起こる部位の母液中の炭酸種の同位体比が重い方向にシフトし、骨格の炭素同位体比が重くなるとする skeletal ¹³C-radiant energy model (Fairbanks and Dodge, 1979) と一致する。

(¹地質調査所, ²オーストラリア国立大学,
³東北大学大学院理学研究科)

Keywords: coral, oxygen isotope, carbon isotope, seasurface temperature, Ishigaki Island

造礁サンゴ骨格形成時の同位体非平衡反応について

山田 努¹ 香川裕之² 中森 亨¹ 井龍康文¹

造礁サンゴ骨格は炭素・酸素同位体比に関して、生息海水と同位体非平衡下で形成される。これは、速度論的同位体効果 (kinetic isotope effect) と代謝同位体効果 (metabolic isotope effect) が、骨格形成過程において大きな影響を及ぼすためである。生息水深の異なる 8 群体の骨格同位体比を測定し、骨格成長量や生息環境と両同位体効果の大きさの関係を検討した。速度論的同位体効果の大きさと骨格成長量の間には、強い相関関係がみられたが、代謝同位体効果と骨格成長量の間には明瞭な関係が見出せなかった。本研究の結果は、サンゴ骨格酸素同位体比を用いて水温復元を行なう場合に、速度論的同位体効果の影響を考慮する必要があるということを示している。

(¹東北大学大学院理学研究科, ²東北緑化環境保全(株))

Keywords: hermatypic coral, carbon and oxygen isotope, kinetic isotope effect, metabolic isotope effect, skeletal growth rate

* 平成 12 年 2 月 4 日、本所 (つくば市) において開催

ハマサンゴ骨格の Mg/Ca 比による 古水温復元の可能性

三ツ口丈裕¹ 松本英二¹ 内田哲男²
河名俊男³ 菅 浩伸⁴ P. J. Isdale⁵

ハマサンゴ骨格の Sr/Ca 比は水温によって制御され、しかも生物学的差異(種や成長速度)による影響がほとんど無いと考えられるので、古水温の指標として有望視されている。一方、Mg/Ca 比も水温によって制御されていると考えられるが、生物学的差異による影響をかなり受けることが報告されている。そこで複数のハマサンゴ試料について、Mg/Ca 比と Sr/Ca 比の2次元プロットをすれば、Mg/Ca 比に関する生物学的影響を比較することができると考えられる。この Mg/Ca-Sr/Ca プロットの有用性は、水温記録の無い地点の現生試料や化石試料にも適用できる点である。なぜなら、Sr/Ca 軸が水温を表わすからである。本研究では、6つのハマサンゴ骨格試料(現生試料4つ+化石試料2つ)について Mg/Ca-Sr/Ca プロットを試みた。その結果、1つの現生試料を除いた5つの試料がほぼ同一直線上に回帰した。従って、その5つの試料はほとんど同じ生物学的影響を受けていると考えられる。その5つの試料のうちの1つは、水温と Mg/Ca 比及び Sr/Ca 比の関係式が得られているので、その関係式を2つの化石サンゴに適用して、古水温を復元した。

¹名古屋大学大気水圏科学研究所,

²名古屋工業大学工学部,

³琉球大学教育学部, ⁴岡山大学教育学部,

⁵Australian Institute of Marine Science)

Keywords: coral, magnesium, strontium, calcium, vital effect, seasurface temperature

ICP-MS によるサンゴ骨格中の Mg, Ca, Sr 分析

野原昌人¹ 鈴木 淳¹ 川幡穂高¹ 蓑島佳代¹

ICP-MS を用いたスパイク法によるサンゴ骨格中の Mg, Ca 及び Sr の精密分析法を検討した。Mg, Ca 用に ⁴⁵Sc, Sr に対しては ⁸⁹Y と ¹¹⁵In の各スパイクを用いた。これらのスパイクはサンゴ骨格中にはほとんど含まれていないか、または無視出来る量であること、目的元素に近い質量数の元素で、かつ、プラズマ中でのイオン化効率がほぼ似ていることから選定された。Mg, Ca, Sr を含む標準液に一定量のスパイク(50 または 100 ppb)を添加して得られた、検量線は各元素とも相関係数 0.9998 以上の高い直線性を示した。この方法を用いたサンゴ標準試料 JCp-1 の分析結果は Mg: 977±3, Ca:

38.26±0.11, Sr: 7553±6 である。Sr の値は岡井ほか(1999)の結果より 3.6% 高いが、Mg, Ca の値は岡井ほか(1999)の報告値と殆ど同じである。

(¹地質調査所)

Keywords: coral, magnesium, strontium, calcium, ICP-MS

TIMS-Sr/Ca 法を中心とした サンゴ年輪水温計の検討

大内猛史¹ 阿部 理¹ T. Lee² 松本英二¹

沖縄県石垣島のサンゴ年輪について表面電離型質量分析計(TIMS)による Sr/Ca の分析を行った。試料は Mitsuguchi *et al.* (1996) で用いた *Porites* サンゴと同じ群体で、報告後成長した最近3年間の骨格年輪の Sr/Ca 比を 0.5 mm 間隔で分析した。同域は3年前よりデータロガー型水温計による観測を行っており、今回その観測値と骨格分析値との比較を行い、水温との関係式を確立した。骨格の Sr 及び Ca は、Ca-43 及び Sr-84 のダブルスパイクによる同位体希釈-表面電離型質量分析法を用いた。また同じ粉末試料の酸素同位体組成も分析した。これらの結果を用いて今まで報告されたサンゴ年輪の水温計に関する研究との比較・検討を行う。

(¹名古屋大学大気水圏科学研究所,

²Institute of Earth Science, Academia Sinica)

Keywords: coral thermometry, Sr/Ca ratio, sea surface temperature, ID-TIMS, ⁴³Ca-⁸⁴Sr double spike, oxygen isotope ratio

化学分析用サンゴ標準試料 JCp-1 について

岡井貴司¹ 鈴木 淳¹ 雪野 出²
川幡穂高¹ 寺島 滋¹ 今井 登¹

塊状の造礁サンゴ類の骨格には、その成長過程における環境情報が記録されていることから、近年多くの研究が行われ、様々な化学成分が分析されているが、分析の確かさの基準となる標準試料がなく、石灰岩等で代用していた。そこで、サンゴ標準試料の作成を試みた。試料は石垣島産ハマサンゴ1個体を用い、不要部分を切り取ったのち、洗浄・乾燥・粉碎を行い、最終的に得られた 15 kg の源粉体から約 400 本の試料を作成した(約 37 g/本)。主成分といくつかの微量成分について分析した結果、Si・Al については粉碎に用いたボールミル及びボールからのコンタミネーションが見られたが、X線回折ではアラゴナイトしか検出されなかった。主な成分

の含有量は以下の通りであった。Ca 38.25%, Mg 972 ppm, Sr 7290 ppm, Na 4350 ppm, K 183 ppm, B 47.7 ppm, Fe 31.3 ppm, Ba 10.5 ppm, Mn 1.02 ppm.

(¹地質調査所, ²東北大学大学院理学研究科)

Keywords: coral, reference material, major element, minor element

化学処理による、ハマサンゴ骨格の Mg/Ca 比、Na/Ca 比、Sr/Ca 比の変化 (骨格中の微量元素分布の不均一性)

三ツ口丈裕¹ 内田哲男² 松本英二¹ 岡本孝則¹
河名俊男³ 菅 浩伸⁴ P. J. Isdale⁵

サンゴ骨格の Sr/Ca 比や Mg/Ca 比が古水温の指標として提案されているが、それらの分析に伴う前処理方法は研究者によって異なる。もし、サンゴの Sr/Ca 比や Mg/Ca 比が前処理によって変化するならば、求められる古水温も変化することになる。従って、前処理による影響を見積もることは重要な課題である。本研究では、化石試料を含む 5 つのハマサンゴ骨格試料を数マイクロンから数百マイクロンの粒度に粉碎した後、3 段階の累進的化学処理をして、段階毎に Mg/Ca 比、Na/Ca 比、Sr/Ca 比が変化するかどうかを調べた。その結果、全ての試料について、骨格粉末の部分溶解を伴う処理で Mg/Ca 比と Na/Ca 比が上昇することが分かった。これは、Mg と Na が骨格微小構造レベルで不均一に分布しているために起きる見かけ上の現象であると考えられる。化石試料についても同じ結果が得られたことから、その化石試料の微量元素分布は現生試料と同じであり、従って変質作用を受けていないと推断できる。よって、本研究で行った実験は、化石ハマサンゴの変質の有無を調べる実際的な検査方法になる。

(¹名古屋大学大気水圏科学研究所,

²名古屋工業大学工学部,

³琉球大学教育学部, ⁴岡山大学教育学部,

⁵Australian Institute of Marine Science)

Keywords: coral skeleton, magnesium, sodium, strontium, calcium, alteration

水温と降水の果たす熱帯太平洋乱流混合層における浮力効果—風と雨と生物が熱帯海洋におよぼす影響—

中本正一郎¹ 宗山 敬²

熱帯太平洋ならびにインド洋における大気海洋の相互

作用は数年以上で変動する現象がある。El Niño-Southern Oscillation (ENSO) がそのひとつであり、熱帯太平洋の表層水温や海面気圧の値がこれらの現象の指標である。ところがこれらの観測データの蓄積は過去数十年、または Darwin における海面気圧も現在から 1880 年まで遡れるだけであり、1880 年以前の産業革命以前の大気や海洋の状況を知る方法として珊瑚の年輪の解析による長期間にわたる海表層の水温と降水の推定が期待されている。

熱帯太平洋における El Niño 現象は西部熱帯太平洋海域における西からの突風 (westerly burst) が引き金であるとされているが、1996 年前半には西部熱帯太平洋の水深 200 m 付近で 2-3 度の水温上昇があり、この異常水温塊が丁度赤道潜流の深さにそって東方向に上昇し東部熱帯太平洋表層に達した (Webster & Parmer, 1997)。この異常水温はどうして発生するのか？ これは westerly burst に因るものなのか？ この問題は 1996 年の El Niño 現象を説明するためにも、熱帯太平洋の水温変動現象の仕組みを理解し、珊瑚の年輪データから復元された過去の水温や降水データを解釈するためにも必要である。また産業革命以前における北半球から南半球への炭素の輸送過程に河川の役割が重要である (Aumont, 1999)。河川は陸域からの炭素の輸送を荷なう他、降水と共に淡水の流入によって海洋表層水の密度分布を変化させ、したがって乱流混合層付近の熱力学的状況に変化を生じる。

ここでは熱帯太平洋における乱流混合層の浮力効果におよぼすクロロフィル濃度の影響が 1996 年の西部熱帯太平洋の水深 200 m 付近の異常水温とその東進と似た現象を生み出すことを等密度座標海洋モデル実験で示し、これはクロロフィルが太陽放射を吸収したため乱流混合層内の浮力が変化し、そのために海水の密度分布が変化し乱れが熱帯海洋に閉じ込められる現象として説明できることを説明する。このように乱流混合層内の海水の密度を変化させるのはクロロフィル濃度の他に降水があり、インド国立海洋研究所の JGOFS ベンガル湾観測の科学的目的のひとつには植物プランクトンと降水河川の果たす海洋表層における二酸化炭素収支への影響がある。

珊瑚の年輪データから復元された過去の水温、降水の時系列を解釈する際に熱帯海洋における熱力学的過程と生物過程 (とくに植物プランクトンと赤道潜流や El Niño) の重要性がどう関わるかについて議論する。とくに熱帯太平洋とインド洋における乱流混合層の物理的熱力学的変動に植物プランクトンと熱帯海洋そのものが深く結びついていることを説明する。

(¹地球科学技術推進機構研究振興部,

²マリンワークジャパン専門部)

Keywords: seasurface temperature, precipitation, chlo-

rophyll, ENSO, Pacific

シャコガイ殻の酸素同位体比の高解像度分析による水温の日変化の復元

サンゴ骨格の酸素同位体比と Mg/Ca 比を用いた水温と塩分の季節変化の復元

渡邊 剛¹ 大場忠道²

渡邊 剛¹ 大場忠道²

海洋表層の水温・塩分は過去の気候変動を復元する上で最も重要な因子であるが、その季節変動を定量的に復元する手段は少ない。サンゴ骨格中の酸素同位体比には水温と海水の酸素同位体比の変動が、Mg/Ca 比には水温の変動が記録されている。海水の酸素同位体比は塩分の変動に換算できるので、両者の連立方程式を解くことによって水温と塩分の変動を別々に検出することが可能である。また、サンゴ骨格には過去数百年間の環境変化が連続的に記録されており、その時間解像度は数週間レベルである。本研究では、これらの仮説を気象データとの対比が可能な現在の骨格部分を用いて検証し、それを過去数百年で最も寒かったといわれている小氷期の骨格部分に応用し、小氷期における水温・塩分の季節変動の復元を試みた。

(¹国立科学博物館,

²北海道大学大学院地球環境科学研究科)

Keywords: coral, oxygen isotope, Mg/Ca ratio, seasurface temperature, salinity

パラオ諸島のサンゴ骨格の酸素同位体比が示す環境指標

森本真紀¹ 阿部 理² 茅根 創¹ 松本英二²

パラオ諸島は西太平洋暖水塊の北部に位置し、またアジアモンスーンの支配域である。そのためパラオ諸島のサンゴ骨格を分析することによって、過去のアジアモンスーンや ENSO の変動を知ることが可能であると考えられる。パラオは海水温の年較差が小さく(平年値で 2°C 以内)、サンゴ骨格の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) から海水そのものの $\delta^{18}\text{O}$ の変化(降水・蒸発に影響される)を捉えやすい。本研究では、パラオ諸島において採取した現生サンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ 、連続採水した海水の $\delta^{18}\text{O}$ ・塩分の分析をおこない、海水温、降水量などの海象・気象データとの比較によって、サンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ が記録している環境指標について明らかにする。

(¹東京大学大学院理学系研究科,

²名古屋大学大気水圏科学研究所)

Keywords: coral, oxygen isotope, seasurface temperature, salinity, Palau Islands

サンゴ礁に生息するシャコガイの殻の内層には、日輪が観察され、また、成長速度も速いので、サンプリング方法を工夫すれば、日単位での環境復元を行うことができる可能性がある。本研究では、石垣島の現生シャコガイの殻の酸素同位体比と現場の気象データを用いてこれらを検証した。酸素同位体比の高解像度分析には、回収率が極めて高い冷凍マイクロトーム法を採用した。また、同位体比の測定結果には、光学顕微鏡下で日輪のカウントにより、正確な日付を与えることができ、同じ日付の気象データとの対比が可能である。その結果、殻の酸素同位体比から算出された 1~2 日間隔の水温は、20°C~32°C までの季節変動をもつ実測の水温と非常によく一致した。

(¹国立科学博物館,

²北海道大学大学院地球環境科学研究科)

Keywords: Tridacna, oxygen isotope, dialy growth line, seasurface temperature, Ishigaki Island

骨格の酸素・炭素同位体比に記録されたサンゴ白化現象

鈴木 淳¹ M. K. Gagan² 雪野 出³
川幡穂高¹ 塚本 斉¹

1998 年夏、琉球列島周辺のサンゴ礁に大規模なサンゴの白化現象が発生した。石垣島安良崎のサンゴ礁より採取した白化したサンゴ群体の骨格について酸素・炭素同位体比を測定した。このサンゴ群体は白化を呈した 1998 年 8 月以後 1999 年 2 月までのおよそ半年間の直線成長量はわずか 2 mm であり、前年の同時期の成長量 7 mm と比較して著しく小さい。これは、白化に伴って共生藻類が放出あるいは色素が分解することにより、サンゴの石灰化機能が大きく損なわれたことによると考えられる。今回の大規模なサンゴ白化現象によりサンゴ礁の石灰化機能が大きく減退したことが推定される。

(¹地質調査所, ²オーストラリア国立大学, ³東北大学)

Keywords: coral bleaching, oxygen isotope, growth rate, Ishigaki Island

サンゴ骨格年輪気候学の諸問題と将来展望

松本英二¹

サンゴ骨格間接指標（同位体，微量元素，マイクロサンプリング，その他）の問題点，現生サンゴ群体データと化石サンゴ群体データから気候復元する場合の問題点などサンゴ骨格年輪気候学をめぐる諸問題と将来展望を行う。

(¹名古屋大学大気水圏科学研究所)

Keywords: coral, isotope, minor element, climatic change, environmental proxy

中期完新世の地球環境

阿部 理¹ 森本真紀²

過去約 6000 年前後は中期完新世 (mid-Holocene) と呼ばれ，全球的に温暖期であったと言われている。そのことから将来の地球温暖化に対する analogue として注目を集めている。最近では同時代の全球的な容貌が明らかにすることを目的とした IGBP-DIS のプロジェクトである BIOME 6000 が展開され，既存の陸上堆積物の花粉分析，樹木年輪分析，湖沼古水位分析等の古環境プロキシデータの集積・解析と GCM を中心としたシミュレーションが活発に行われている。しかしながらこれら陸上のプロキシに比べて当時の海洋環境を示す証拠はあまりにも乏しいのが現状である。サンゴ年輪はこのギャップを埋めるものとして大いに期待されている。本講演では中期完新世に関する今までの研究のレビューにより，化石サンゴを用いた古環境復元の意義付けを行うのを目的とする。

(¹名古屋大学大気水圏科学研究所，
²東京大学大学院理学系研究科)

Keywords: mid-Holocene, climatic change, coral

U/Ca 水温計の化石サンゴ試料への適用

佐々木圭一¹ 大村明雄¹ 宮森陽子¹

古水温計としての有効性が示されるようになったサンゴ化石の U/Ca (Min *et al.*, 1995) に関して，喜界島および南大東島から採集した完新世および最終間氷期最盛期の *Porites* を用い，化石試料を対象にする際の問題点を検討した。そのために，サンゴ骨格中に発達する 4-5 年分の高密度および低密度バンド試料ごとに，U および Th 同位体組成を測定し，²³⁰Th/²³⁴U 年代の信頼性評価基準 (大村ほか，1995) に従って，各バンド試料の U 同位体に関する閉鎖系を確認した。同一試料から得られた $\delta^{18}\text{O}$ および Mg/Ca との比較から，サンゴ群体内での U/Ca 変動は主に骨格形成時の水温変化を反映していることが推論される。しかし，それぞれの平均値から推定した水温は，必ずしも同一群体内で一致しない。その原因として，海水中の U/Ca の地域差および時系列変化と，submarine cement などの初期続成の影響が考えられる。現時点では，信頼度の高い ²³⁰Th/²³⁴U 年代を示す試料を用いることで，続成作用の影響に関する最低限の評価が可能であろう。

(¹金沢大学理学部)

Keywords: fossil coral, U/Ca ratio, U and Th isotopes, diagenesis, seasurface temperature

(受付：2000 年 4 月 18 日；受理：2000 年 4 月 20 日)