

# 長生きサンゴが記憶する環境の話

北海道大学 理学研究院 渡邊 剛

最近、地球温暖化や環境汚染などが世間ではよく騒がれていますが、サンゴ礁に棲息する造礁性サンゴの仲間はとても長生きで、サンゴ礁で起った昔からの環境の変化を誰よりも良く知っています。造礁性サンゴ骨格を用いた環境変化を復元する研究方法を解説すると共に、実際に、石垣島白保サンゴ礁で行った環境解析研究の結果を紹介します。

## 1. はじめに

皆さんが、海に潜った時に目にする、木の枝のような形やテーブル状の形をしている色とりどりのサンゴは、造礁性サンゴと呼ばれているイソギンチャクの仲間、サンゴ礁という地形を造るために大きな役割を担っています。サンゴ礁は、非常に多くの生物にとっての住み場所になりますし、貧栄養と呼ばれる栄養塩に乏しい熱帯、亜熱帯域の海にとっては、ゆりかご、オアシスのような存在なのです。もちろん、我々人間にとっても、サンゴ礁はとても重要な生活の場で、様々な恩恵をサンゴ礁からもらって多くの人々が暮らしています。そんなサンゴ礁の形成に重要な造礁性サンゴは、一つの単体が分裂して数を増やし群体という形態で生育していきますが、同時に、炭酸カルシウムでできた骨格を成長させ、枝状、テーブル状、塊状といった独特の形態をとりながらサンゴ礁に立体的で複雑な構造物を造り出します（図1）。その空間を利用して、魚やエビ等の多くの生物が住んでいる訳です。この造礁性サンゴの仲間は、非常に長寿であることが知られており、中には、数百年間に渡って成長を続けるものがあります。これらの骨格の構造を調べたり化学組成を分析することで、彼らが生き続けていた期間のサンゴ礁の環境の変化を知ることができます。ちょうど、沖縄のおばーやおじーが、昔からの島の歴史や昔

話をよく知っているように、サンゴ礁で生き続けていた長生きサンゴは、サンゴ礁で起こったいろいろな変化、歴史を知っているのです。私たちの研究室では、そんな長生きの造礁性サンゴを世界中の海から探し出し、それぞれの歴史をひもとく研究を目指しています。今回は、我々の研究方法をご説明して、最近、石垣島で行っている研究結果の一端をご紹介しますと思います。

## 2. 造礁性サンゴ

サンゴ礁を形成している造礁性サンゴは、イシサンゴと呼ばれる腔腸動物（刺胞動物門）の仲間です。また、体内に共生する藻類（褐虫藻）から栄養分を分けられているために、光合成生産と石灰化生産が共に高く骨格を速く成長させることができます。造礁性サンゴの多くは単体サンゴが集まって大きな群体を形成して、その群体はさらに数百年間に渡って成長を続けます。造礁性サンゴによる一番始めの石灰化（骨格形成）は、1匹のサンゴ幼生が岩盤などの安定した基盤に着底し、サンゴ虫に変態し、その基底部に骨格を生じることから始まります。この最初の1匹のサンゴ虫が無性生殖を繰り返し、群体を形成していきます。造礁性サンゴの多くは、いくつものサンゴ個虫が集まった群体の形をとり、長期間に渡って成長を続けます。サンゴ個虫が収納されている骨

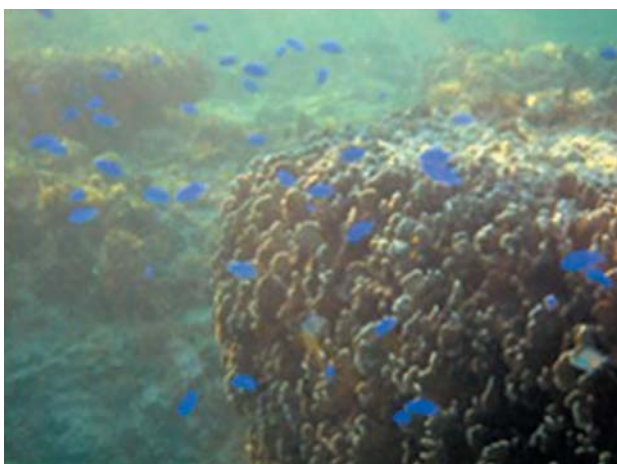


図1. 白保サンゴ礁のアオサンゴ群体（左）と白化したハマサンゴ群体（右）。2005年9月と2006年9月にそれぞれ撮影。

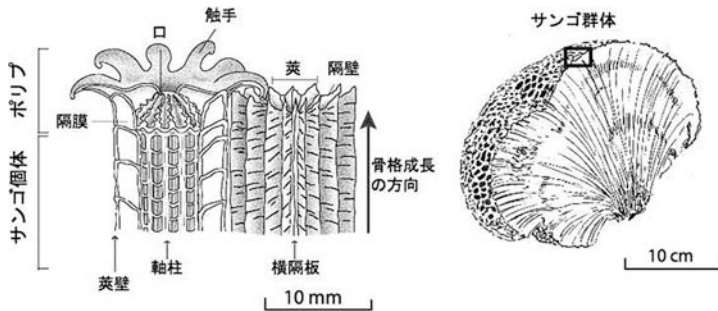


図2. サンゴ骨格の基本構成。

格、サンゴ個体は、夾壁、軸柱、隔壁、横隔板からなる基本構造を持っています（図2）。これらの造礁性サンゴの骨格の形成の積み重ねはやがて長い年月をかけて海面際までの高まりを作り、サンゴ礁と呼ばれる外洋からの波浪を防ぐ地形を形成するまでに発達していきます。

### 3. 造礁性サンゴを用いた環境変化の復元

#### 3-1. 水中ボーリングによるサンゴ掘削

サンゴ骨格は、形成時の密度の違いなどによってエックス線写真（レントゲン写真）で観察できる縞構造（年輪）を形成しながら成長していきます。骨格の構造や化学成分をこの年輪に沿って測定することで、昔から今までの環境の変化を詳細に復元することができます。

ここで我々がサンゴの年輪を用いて行う環境解析の具体的な手順を簡単に説明しましょう。まず、具体的な調査地域を選定します。これは、衛星画像や航空画像を使ってサンゴ礁の発達していそうな場所を探したり、過去の様々な文献、地元の漁業関係者や観光関係者などの協力によって得られる情報を元に行います。次は、実際に現地に行って、環境解析に適しているサンゴ群体を探し出す作業です。より大型（より長寿）で、順調に生育している群体を探し出したいので、主に、小型のボートに



図3. 白保サンゴ礁での水中ボーリング風景。

引いてもらいながら（マンタ法）、或は、スキンドайビング（素潜り）などにより海面を泳いで探し出します。うまく、長生きサンゴが見つかったら、スクーバダイビングを使った潜水による水中ボーリングによって（図3）、直径5-7 cm程度の柱状コアを掘り抜きます。この時に表面に開いた穴は、同じ径のコンクリートでできた栓で塞ぐことにより、数年間で回復し、サンゴ群体はそのまま生育を続けることができます。

#### 3-2. サンゴ骨格の解析

水中ボーリングにより得られた柱状コアを実験室に持ち帰り岩石カッターによって薄い平板状に切断したものに、エックス線を照射することによって年輪を観測することができますようになります。この年輪を採取された年から数えることによって、このサンゴ群体が何年間生存し続けてきたのか（何歳なのか）、また、コアの先端から深部までのそれぞれの骨格部位が何年に形成されたものであるかが明らかになります。生存期間中に白化現象、地震、大規模な土砂の流出などの大きな事象（イベント）があれば、骨格構造の異常として年輪の間に記録されている場合がありますし、年輪に沿った化学分析をすることにより、水温変化や降水量、日射量、栄養塩濃度などの特定の環境因子をより詳細に復元することができます。骨格を観察した後は、それぞれの化学分析の用途に従って、サンゴ年輪の成長軸に沿って削っていき、ごく少量の粉末試料を採取します。得られた炭酸カルシウムの粉末は、酸素や炭素の同位体比、ストロンチウムなどの微量元素を質量分析計や元素分析計等の測定機器によって分析します。それらの結果を年輪を元にした時系列に沿って解釈していくことでサンゴ群体が生育してきた間の環境変動を定量的に復元することができます。例えば、炭酸カルシウムの酸素同位体比は、形成時の水温と海水の組成によって変化するので、サンゴ骨格の酸素同位体比から当時の水温や降水量を詳細に復元することができます。サンゴ骨格の炭素同位体比には大気中の二酸化炭素濃度の変動や日射量の変動が記録されています。また、バリウムやマンガン濃度変化を見ることによって、どのように陸上から河川を経て土砂が流入してきたかを推定することができます。このようにサンゴ年輪の化学指標の季節変化や経年変化を読み解くことで、過去から現在までサンゴ礁域における環境の遷移を様々な時間スケールで復元することができるのです。

#### 3-3. 石垣島白保サンゴ礁

最後に、我々が石垣島の白保サンゴ礁で実際に行っている環境復元の例をご紹介します（川島MS 2009、川島他 2009）。石垣島の白保サンゴ礁では、世界最大のアオサンゴ群落やハマサンゴ類のマイクロアトールといった多様なサンゴ群集が生息している日本の代表的なサンゴ



礁の一つです。しかし、近年、異常高水温による大規模な白化現象が確認されたり、河川を通じた赤土のサンゴ礁への流出など、温暖化のような地球規模の環境変動に加えて人間の活動による白保サンゴ礁への影響が危惧されています（図4）。我々は、白保サンゴ礁に流れ込む 川の流域部に棲息していたサンゴの骨格が、生存していた間に白保サンゴ礁で起った環境の変化を調べるために分析を行いました。分析に用いたサンゴは、2005年9月に採取したフカアナハマサンゴと呼ばれるものの骨格で、試料採取時には表面が部分的に死亡が確認された（壊死）状態でした（図5左下）。エックス線写真を撮ってみると壊死した部分は、生き残った部分に比べると年輪の欠損が確認でき、少なくとも数ヶ月前には何らかの原因で壊死していたことがわかります。また、紫外線ランプを照射すると発光する蛍光画像を見てみると採取日に近いところの年輪には、強く発光する部位が認められます。この蛍光バンドは、腐食酸などが河川由来で運ばれてきたり、骨格の形成がうまくいかなかった時に、形成されると言われています。続いて、壊死をしている部位と生存していた部位のそれぞれを年代に沿って、化学組成を調べてみました。分析した項目は、骨格中の酸素同位体比、炭素同位体比、窒素同位体比、全窒素量、マンガン濃度です（図5）。また、海水、河川水中の酸素同位体比、炭素同位体比、窒素同位体比、マンガン濃度をそれぞれ分析しました。まず、酸素同位体比の結果と白保サンゴ礁でモニタリングされている水温の結果を見比べてみると、このフカアナハマサンゴ壊死した時期は、2005年1月頃であったということがわかりました。また、この時期の骨格中のマンガン濃度が高いことや全窒素量が高いこと、炭素同位体比が低いことなどから、壊死の原因が河川からの陸起源物質の流入によるものではないかと推定されました。また、この時期に窒素同位体比が低くなっていることから、轟川流域のサトウキビ畑や放牧地域からの物質がサンゴ礁に流れ込み水質の低下をもたらした可能性もあります。しかしながら、このフカアナハマサンゴ壊死の原因は、まだよくわかりません。我々は、このように白保サンゴ礁が過去から現在までどのような変化をしてきたのか、そして、それに私たち人間の活動がどのくらい影響を与えているのかについて、これからも引き続き調べていきたいと思っています。

おばーやおじーが昔からの島の歴史をよく知っているように、長生きしてきたサンゴは、サンゴ礁のことをよく知っているはず。現在、地球温暖化や環境汚染が問題になって騒がれていますが、我々は一体どれくらいのことを自分自身の経験として知り、体感として理解で

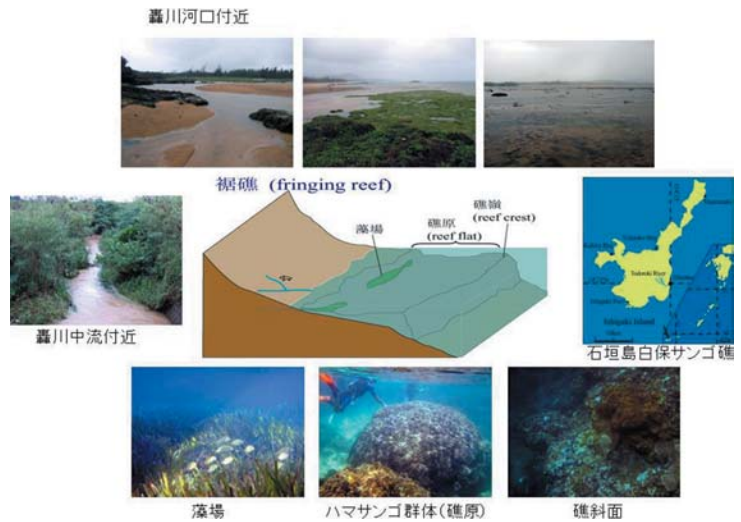


図4. 白保サンゴ礁、轟川から外洋に向けて見た現場環境の様子。

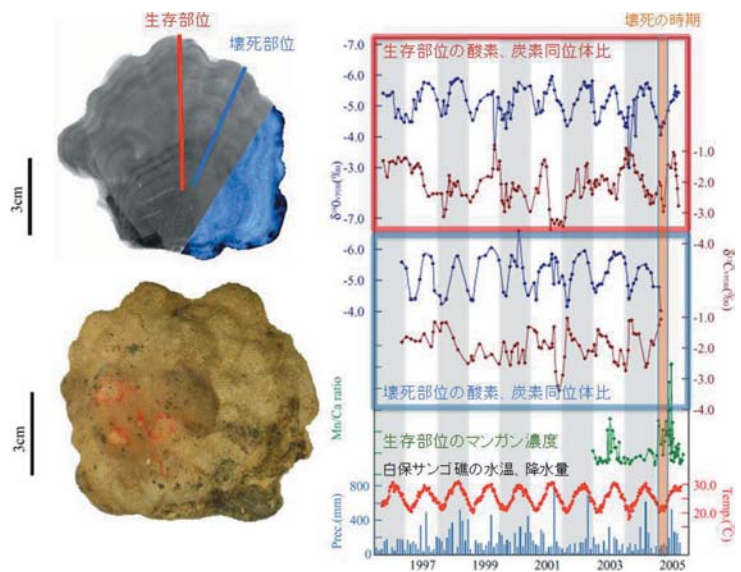


図5. 白保サンゴ礁から採取されたフカアナハマサンゴの解析（川島他2009を改変）。左側：フカアナハマサンゴの表面写真（左側下）、軟エックス線写真と紫外線画像を照射した際の蛍光画像を合成したもの（左側上）。右側グラフは、上から骨格中の窒素同位体比、全窒素量、マンガン濃度、酸素同位体比、炭素同位体比および白保サンゴ礁の水温、降水量を示す。オレンジ線は、壊死部位の最表面部位に相当し、この時期にこのフカアナハマサンゴの一部が死亡したことを示している。赤線は生存部位の分析測線、青線は壊死部位の分析測線を示す。

きているのでしょうか。多くの人がまずはわかる範囲で周囲の環境の変化に興味を持ち、自分自身の力でわかっていくことが、これからの環境の問題を考える時には必要な気がします。

引用文献

川島龍憲（2009）石垣島白保サンゴ礁におけるサンゴ骨格の元素・同位体比組成—轟川流域の土地利用変化の影響評価。北海道大学大学院理学院修士論文  
 川島龍憲・渡邊剛・白井厚太郎・前川聡・入野智久・佐野有司（2009）酸素・炭素安定同位体比・Mn/Ca比を用いた石垣島ハマサンゴの壊死研究。地球化学，43：35-42