

環境・CSR活動レポート



サンゴ礁保全プロジェクト



For a sustainable future

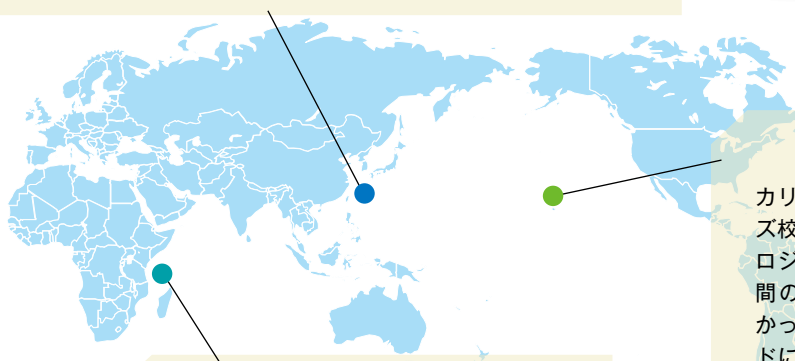
三菱商事のサンゴ礁保全プロジェクト ～サンゴ礁の保全・再生に向けて～

世界各地でサンゴ礁の保全に挑む

サンゴ礁保全プロジェクトでは、沖縄、ミッドウェイ、セーシエルの3拠点を中心に、さまざまな角度からサンゴ礁保全のための調査・研究に取り組んでいます。日本では、2005年度より沖縄で、2006年度からは米国ミッドウェイ環礁国立自然保護区とセーシェル共和国で研究を開始し、社内外から参加したボランティアが調査・研究活動をサポートしています。

沖縄

静岡大学の鈴木^{よしみ}教授をプロジェクトリーダーに、同大学、琉球大学および国際環境NGO アースウォッチ・ジャパンと協力し、サンゴの白化現象の原因とメカニズムの解明、サンゴ礁の健全性保持と白化回復技術の確立・普及のための研究を実施しています。



ミッドウェイ

カリフォルニア大学サンタクルーズ校の دونالد・ボッツ教授をプロジェクトリーダーに、今まで人間の影響をほとんど受けてこなかった当地のサンゴ礁をフィールドにして、気候変動や地域的な気候変化がサンゴ礁に与える影響について総合的に調査しています。

セーシェル

エセックス大学のデヴィッド・スミス博士を中心に、同大学、アースウォッチ・ヨーロッパとのパートナーシップにより、インド洋のセーシェル諸島でサンゴ礁の生息地における生物多様性、マングローブ、サンゴ礁の状態などのデータを収集しています。



サンゴ礁保全プロジェクトの目的は、サンゴ礁衰退の問題について科学的に研究し、回復技術を確認することです。このプロジェクトで得られた研究成果を世界で活用できるよう、学会やセミナーを通じて定期的に公表していく計画です。

サンゴ礁の健全性を保持し、回復させる技術を確認することは、さまざまな生物を含めた海洋環境全体の保全、生物の多様性の維持にも役立つと考えています。

海の環境を守るサンゴ礁の役割

サンゴ礁は、生き物たちの住み家であり、海の環境保全に重要な役割を果たしていることはもちろん、私たち人間の生活にも深いかかわりを持っています。国連環境計画(UNEP)の試算※によると、サンゴ礁の価値は、1平方キロメートル当たり、年間10万ドルから60万ドル(約1,000万円～6,000万円)に相当すると推計されています。

※国連環境計画(UNEP)報告書「In the front line」2006年1月発行

生物多様性

「海の熱帯林」と呼ばれるサンゴ礁は、全海洋動物約50万種のうち4分の1が生息するという概算もあるほど、多種多様な生物の宝庫です。サンゴ礁は生物資源の生産力が高く、海の豊かな生態系をつくるペースとなっています。



観光資源

サンゴ礁にはさまざまな海の生物が生息しており、ダイビングやシュノーケリングで訪れる人の目や心を楽しませてくれます。

教育・研究の場

さまざまな生き物が住むサンゴ礁は、学習や研究に最適な場といえます。自然観察会、美化活動など、環境教育の一環としても利用できます。



自然の防波堤

サンゴ礁は台風時など、外洋から打ち寄せる激しい高波の力を弱める防波堤となり、島に住む人や生物を守っています。津波の発生時にも、被害を抑える役割を果たしています。

漁業資源

サンゴ礁には多くの魚や貝類が住んでいます。地元の人たちは昔からこれらの貴重な海の幸を大切な食料として利用してきました。

サンゴ礁の基礎知識

「海の熱帯林」サンゴ礁

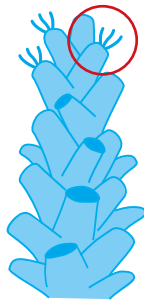
サンゴ礁には多種多様な生物が生息しており、
サンゴは海の生態系になくてはならない存在ですが、一体どんな生物なのでしょう。
サンゴについて知ることがサンゴ礁保全の第一歩となります。

■ サンゴは胃や口がある動物

サンゴは樹木のように枝分かれしているものもあり、一見動きがないことから、植物のように見えますが、イソギンチャクやクラゲの仲間、刺胞動物（腔腸動物）に含まれます。

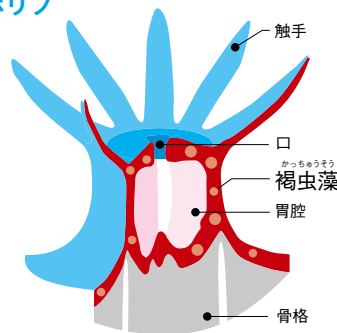
一つひとつのサンゴは、下のイラストのように、口、触手、胃腔、骨格からなる「ポリプ」と呼ばれる本体と、石灰質でできた骨（骨格）の部分でできた、簡単な体の構造をしています。口の周りには触手と呼ばれる手のような器官があり、プランクトンを捕まえて口に運びます。この口で、摂食だけでなく、排泄、産卵も行っています。

群体イメージ



多くのサンゴは、ポリプが
たくさん集まってつな
がった「群体」という形
で生活しています。

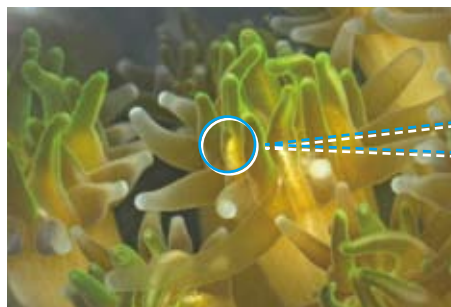
ポリプ



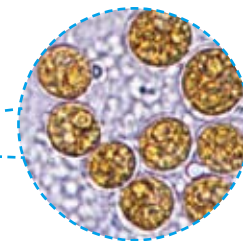
サンゴはイラストのよう
に、口も胃もあり、エサ
を食べ卵も産む刺胞
動物です。サンゴの体
の中には褐虫藻という
植物プランクトンがた
くさん生きています。

■ サンゴと共生する「褐虫藻」

サンゴの体内には、直径 1/100 ミリくらいのもとも小さな「褐虫藻」という植物プランクトンがたくさん生きており、活発に光合成をしています。サンゴは褐虫藻に、住み家だけでなく、光合成に必要な栄養（二酸化炭素、硝酸、アンモニア）を提供し、かわりに褐虫藻が光合成によって作り出した酸素、炭水化物やたんぱく質などの有機物を栄養として受け取っています。



ポリプ



褐虫藻

（褐虫藻は肉眼では
見えないぐらいい小さい）

■ サンゴとサンゴ礁

サンゴは褐虫藻の光合成を助けるため、植物と同じように、より多くの光を得ようと木の枝のように高く伸びたり、他のサンゴに覆いかぶさったり、枝状やテーブル状、塊状になって成長していきます。このサンゴがつくった石灰質の骨格が、時間をかけて積み重なってつくられる地形を「サンゴ礁」といいます。



枝状



テーブル状



塊状

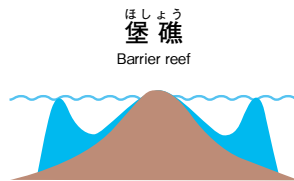
サンゴ礁の地形 3 タイプ

サンゴ礁の地形は、陸地とサンゴ礁が接した裾礁、陸地とサンゴ礁の間に深さ数十メートルの浅い海（礁湖：ラグーン）を持つ堡礁、サンゴ礁だけがリング状につながった環礁の3つのタイプに分けられます。

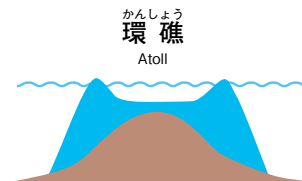
下図のように、島が沈降していくことによって3つのタイプの地形ができることを説明したのは、「種の起源」を著したダーウィンでした。



陸地とサンゴ礁が接した地形。サンゴの生育に適した海域に、海底噴火や隆起によって陸ができると、周囲の浅瀬にサンゴが付着。サンゴは外側へと成長を続け、島を縁取るようにして広がっていきます。



陸地とサンゴ礁の間に水深10～80メートルの浅い海（ラグーン）を持つ地形。裾礁の状態から地殻変動や海水面上昇で島が徐々に沈み、外洋のほうでサンゴ礁が発達するとこのような地形になります。



完全に島が沈み、島の輪郭の形をしたサンゴ礁だけがリング状に残った地形。リーフ（礁原）の上に砂が集まり、小さな島をつくることもあります。モルディブやマーシャル諸島などが知られています。

サンゴの成長に適した環境

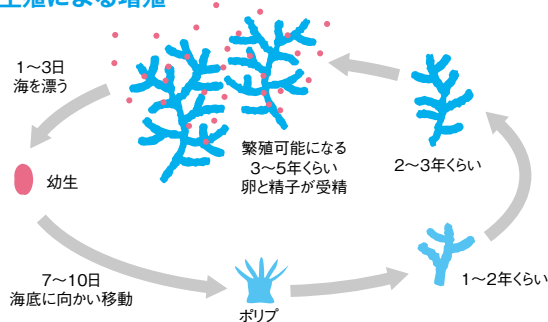
■ サンゴの産卵と成長

サンゴは年に1回、一斉に産卵しますが、その時期や産卵日は地域や種類によって異なります。沖縄で最も普通に見られるミドリイシの仲間は、主に6月の満月のころに産卵します。

サンゴの生殖は、ポリプでつくられた精子と卵子が体外で受精した後、定着して成長する有性生殖と、ポリプが分裂したり破片が再生したりして成長する無性生殖があります。

多くのサンゴは、有性生殖により海水中で受精し、卵が幼生になります。幼生はしばらく海を漂った後、海底に移動して体を固定し、骨格を形成してポリプとなります。ポリプは分裂して数を増やし、群体として成長していきます。

有性生殖による増殖



サンゴの産卵

■ サンゴの住める海

サンゴは、水温が18〜30度くらいまでの温かい海が最も生息に適しています。そのため、サンゴ礁は、赤道を中心に北緯30度から南緯30度までの間の、熱帯、亜熱帯と呼ばれる、気温が高い地域の海に多く分布します。世界で最もサンゴの種類が多いのは、インドネシアとフィリピン、パプアニューギニアに囲まれた海で、ここには450種以上のサンゴが暮らしています。

サンゴ礁が発達するためには、最低でも水温が18度ぐらひは必要だといわれており、日本は、サンゴとサンゴ礁の分布の北限にあたります。

造礁サンゴは体内の褐虫藻の光合成のために太陽光が必要なので、水深20メートルくらいまでに分布していますが、光線が強い熱帯の海なら水深80メートルくらいまでサンゴが見られます。



サンゴ礁の抱えている問題

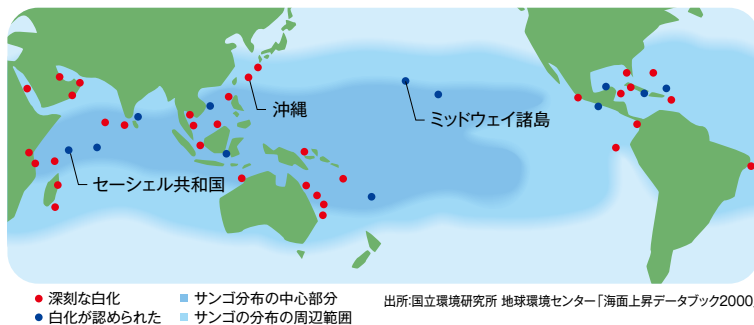
■ サンゴの白化現象

サンゴは炭酸カルシウムから成る骨格と有機物から成るポリブなどによりできています。本来白色をしています。褐色や紫色、緑色などさまざまに色づいて見えるのは、体内に共生する植物プランクトンの「褐虫藻」の色素が主に見えるからです。近年問題になっているサンゴの「白化現象」とは、海水温が高くなるなど、何らかのストレスによって褐虫藻が死滅したり、サンゴの外に出てしまったり、サンゴ内の褐虫藻が色素を失うからだと考えられています。

褐虫藻から栄養を十分に得ることができなくなったサンゴは、徐々に弱って死んでしまいます。近年で最も被害が大きかったのは、1998年のエルニーニョ現象※に伴う高水温によるサンゴの白化で、世界各地のサンゴ礁が被害を受けました。

※エルニーニョ現象＝エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の中央部（日付変更線付近）から南米のペルー沿岸にかけての広い海域で、海面水温が平年に比べて高くなり、その状態が半年から1年半程度続く現象のことです。

1998年の世界のサンゴ白化の分布図



白化したサンゴ

■ 土砂の流出や開発などによる被害

森林伐採や、川の周辺が工事現場や農地などになっていて自然の植物が生えていない場合、雨によって多量の土が流され、川を通して海に流れ込みます。大量の砂がサンゴにかかった場合、サンゴは自分で取り除くことができず、摂食や呼吸ができなくなり、死んでしまう可能性があります。

また、海が土で濁り太陽の光がサンゴまで届きにくくなると、褐虫藻の光合成が阻害され、サンゴに悪い影響を与えると考えられています。沖縄ではその土が赤いことから「赤土汚染」と呼ばれています。赤土のほか、生活排水や農薬の流出などの海洋汚染も問題になっています。



赤土汚染

サンゴ礁保全プロジェクト

沖縄編

● Okinawa



■ 地域の特徴

沖縄には、色合いや形状、大きさの異なる多種類のサンゴが生息しており、その数は約360種類以上にも及ぶといわれています。沖縄プロジェクトでは、沖縄本島の北端、東シナ海に浮かぶ瀬底島を拠点に、サンゴ保全に向けた研究活動に取り組んでいます。

■ プロジェクトの目的

サンゴの白化現象の原因とメカニズムの解明、サンゴ礁の健全性保持と白化回復技術の確立・普及のための研究。

■ プロジェクト研究体制

- 静岡大学創造科学技術大学院の鈴木^{よしみ}教授を研究チームリーダーに、静岡大学・琉球大学・国士舘大学などから研究者や学生が参加。
- 琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所（沖縄県国頭郡本部町）を拠点に、研究活動を実施。
- 国際環境 NGO アースウォッチ・ジャパンと協力し、2005年から2010年まで研究活動を実施。三菱商事社員を含む一般市民が、毎回ボランティアとして研究調査に参加。

研究チーム
リーダー
からの
メッセージ

従来の白化に関する常識が変わる成果

「サンゴの白化の原因を科学的に明らかにし、サンゴとサンゴ礁を、サンゴ礁生物が持つ自然の再生・適応技術を利用して再生する」——。この目標に向かって、本プロジェクトチームは研究調査に取り組んでいます。本プロジェクトには、ユニークな特徴が二つあります。一つは、サンゴの白化現象を起こす原因とサンゴ再生の道はサンゴ内とサンゴ礁のミクロな生態系にあると考えたこと、もう一つは、研究者だけでなく市民と企業にも研究に参加してもらい、“産・学・民”で成果を共有しようと考えたことです。本プロジェクトの成果は、今までのサンゴの白化に関する常識を変えつつあります。



鈴木 款 教授
静岡大学
創造科学技術大学院



サンゴの白化の原因を探る～新たな成果

プロジェクトの調査・研究概要

1. 調査海域のサンゴの健全性と分布について



2. 海水温の上昇でも褐虫藻はサンゴから逃げ出さない：
従来の定説への疑問。



3. サンゴ体内で褐虫藻はどうなっているのでしょうか



4. 高水温によってサンゴに何が起きているのでしょうか



5. バクテリアはサンゴにどのような影響を与えるのでしょうか



6. サンゴの白化はどのように起こるの？
バクテリアが関係するって本当？



7. 白化したサンゴはどうなるのでしょうか



8. 白化の原因が明らかに。本プロジェクトの大きな成果

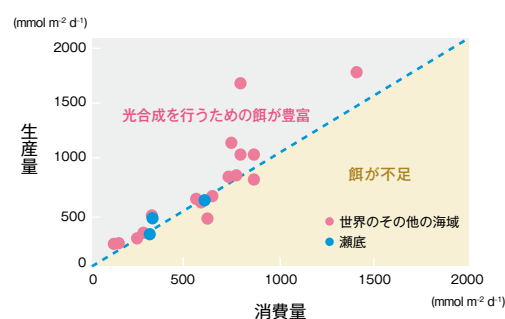
1. 調査海域のサンゴの健全性と分布について

サンゴの白化の原因を探るためには、現状のサンゴとサンゴ礁の健康状態を知る必要があります。世界のサンゴ礁の海域と、調査海域である瀬底を比較したところ、瀬底のサンゴの成長は速く、「餌を生産する生物」と「餌を消費する生物」がうまくバランスをとって生活している健全なサンゴ礁が、生息していることが分かりました。しかし、ここ数年瀬底でもサンゴの被度※は減少しています。

※ サンゴが海底を覆っている割合

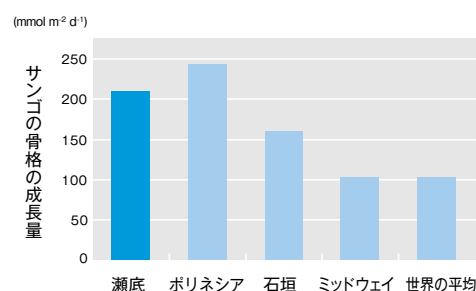
■ 有機物（餌）の量

サンゴ礁の健全性の重要な指標は、有機物の生産量と消費量のバランスです。縦軸は餌の生産量を、横軸は餌の消費量を表しています。45度の点線は、ちょうど餌の生産量と消費量が釣り合っていることを表しています。青い点で示している瀬底は、うまくバランスを保っていることが分かります。



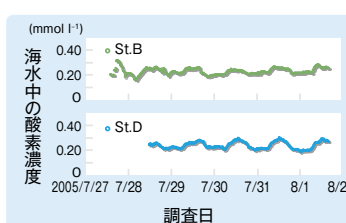
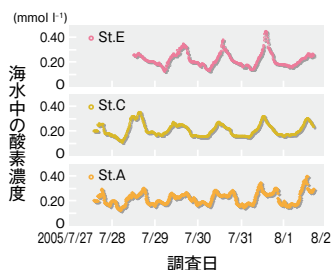
■ サンゴの骨格の成長量

縦軸はサンゴの骨格の成長速度を、横軸は世界の主なサンゴ礁海域を表しています。世界のサンゴの成長速度に比べて瀬底のサンゴは成長が速いことが分かります。



■ 海水中の酸素

海水中の酸素により、サンゴ礁の生産と呼吸状態が分かります。グラフの高低がはっきりしている地点のサンゴは正常に光合成が行われていることを示していますが、グラフに変化がない地点のサンゴは少し健康が損なわれていることを示しています。酸素濃度が高くなっている時は生産が盛んで、低くなっている時は生産された餌を消費していることを示しています。





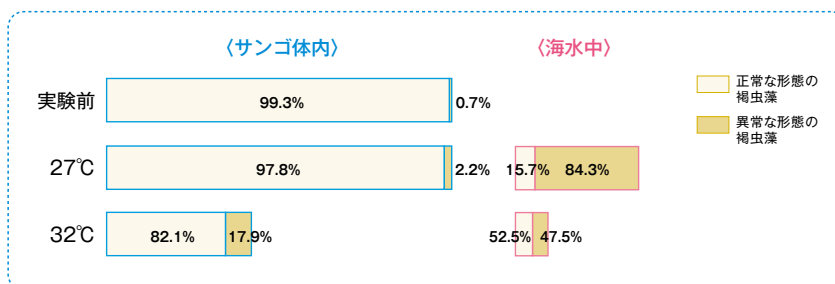
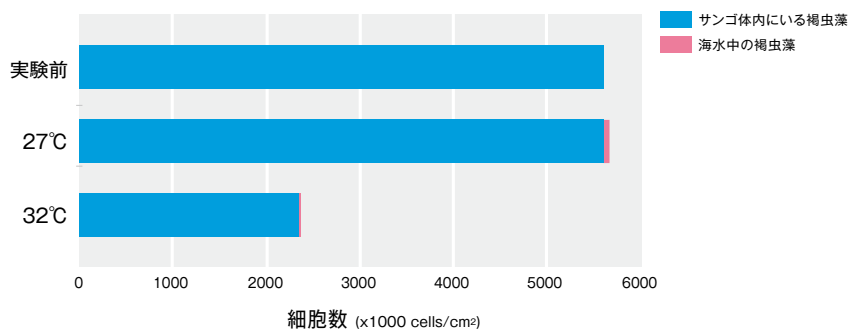
サンゴの白化の原因を探る～新たな成果

2. 海水温の上昇でも褐虫藻はサンゴから逃げ出さない： 従来の定説への疑問

今まで、サンゴの白化の原因は、海水温の上昇により、サンゴに共生している褐虫藻がサンゴ内に住めなくなり、サンゴの外の海水に出てしまうことだと考えられていました。褐虫藻の色素できれいな色をしていたサンゴの体内から、褐虫藻がいなくなったことにより、サンゴが白く見えることが、白化現象だと考えられていたのです。

では本当に褐虫藻はサンゴの外に出て行くのでしょうか。どのくらいの褐虫藻が出て行くのか、数量で確かめるのは容易ではなく、実は今まで誰も確認していなかったため、良く分かりませんでした。本プロジェクトで実験を行ったところ、サンゴは、高水温（32℃）よりも最適な水温（27～28℃）で多くの褐虫藻をサンゴの外に放出していることが確かめられました。しかし放出される褐虫藻の数は非常にわずかで、全体の1%以下であるという結果が出ました。最適な水温では、変形した、あるいは色素を喪失した褐虫藻がより多くサンゴの外に放出されますが、高水温ではそれらの褐虫藻の放出が抑えられ、サンゴ体内への蓄積が見られます。褐虫藻のサンゴからの排出はサンゴの持つ通常の生理活動で、サンゴの白化とは関連が低いことがわかりました。

■ サンゴの高温ストレス応答に関する実験

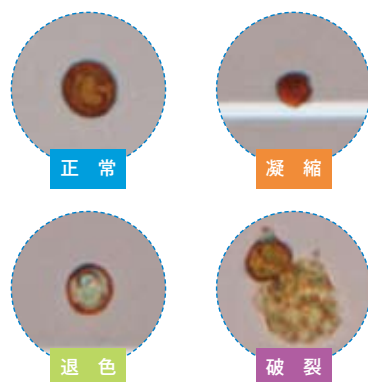


3. サンゴ体内で褐虫藻はどのように変わっているのでしょうか

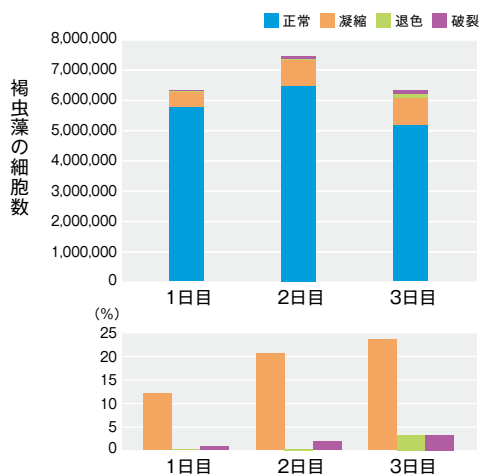
高温ではサンゴの外へ放出される褐虫藻の数がわずかであるにもかかわらず、サンゴ内に住みついている褐虫藻の数は大幅に減っています。このことから、サンゴの白化は、褐虫藻が海水に逃げ出すからではなく、褐虫藻自体がサンゴ内部で消失するために起こるもので、白化の原因はサンゴの中で起きている可能性があります。それでは、サンゴ内の褐虫藻はどのように変わっているのでしょうか。高温ストレス下において、サンゴ組織内の褐虫藻の細胞数は減少し、異常な形態の褐虫藻の増加が起こることが分かりました。サンゴ内の褐虫藻の形態変化をはじめて捉えました。褐虫藻は、サンゴ体内で、正常な形のもの、凝縮しているもの、退色しているもの、破裂しているものの4つの形態が観察されました。サンゴ体内でまだ正常な形態を維持しているものがあることは、白化からの回復が、サンゴ体内で起きていることを示しています。サンゴの白化は、高温ストレス下におけるサンゴ体内で褐虫藻の異常形態への変化が原因でした。この異常形態をもたらす原因には、バクテリアが深く関係しています。

■ サンゴ体内の褐虫藻の写真

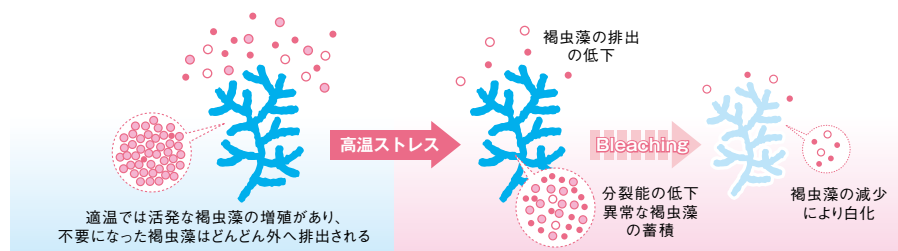
正常な褐虫藻と異常な形態の褐虫藻；



■ 高温ストレスによるサンゴ体内の褐虫藻の形態の変化



■ 明らかとなった目に見えない白化の前段階



調査結果

高温ストレスにより
褐虫藻は異常形態へ変化





サンゴの白化の原因を探る～新たな成果

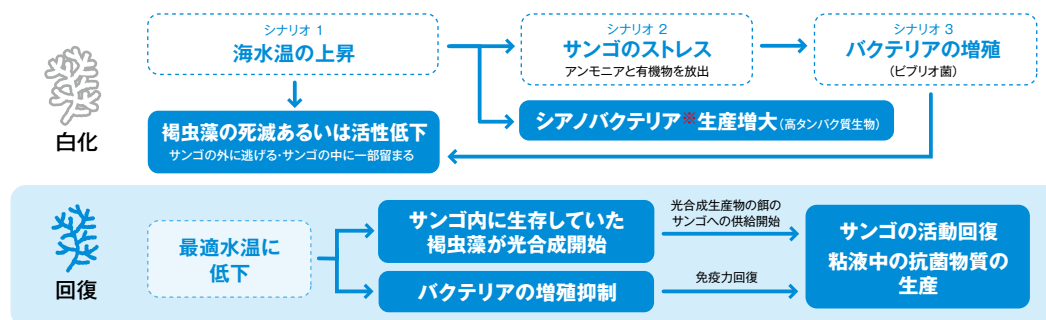
4. 高水温によってサンゴに何が起こっているのでしょうか

実験の結果、サンゴの白化は、水温の上昇により褐虫藻がサンゴの外に出て行くことが主な原因ではないことが分かりました。では褐虫藻に何が起こったのでしょうか。その原因は宿主であるサンゴにも関係しています。高水温下でのサンゴのストレス現象を調べました。

高水温下にあるサンゴは、人間と同じようにストレスを感じ、自分の体から多量の粘液（主に糖類とタンパク質）とアンモニアを放出します。この物質は、寄生しているバクテリアにとって格好の餌になるため、バクテリアは急速に増殖し、今まで以上に活発にサンゴ内に侵入し、褐虫藻にダメージを与えた可能性があります。

さらに、先の実験で明らかになった褐虫藻自身の光合成能力の低下が、白化に拍車を掛けたと考えられます。

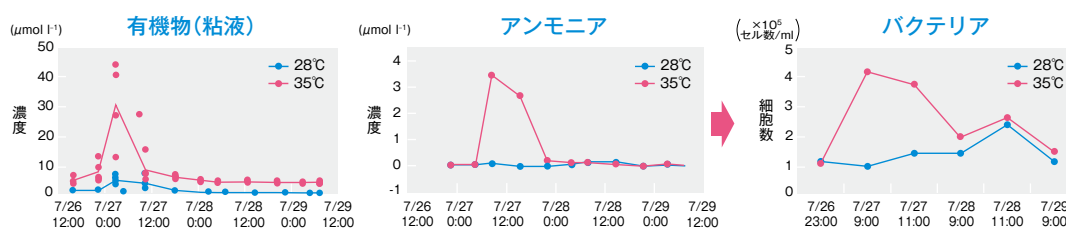
■ 白化原因についての3つのシナリオ



※シアンobacteria=藍藻などとも呼ばれる、酸素の発生を伴う光合成を行う原核生物。

■ 高水温下でのサンゴのストレス現象と微生物の増加

実験では、海水温を上昇させ、28℃と35℃でアンモニアとサンゴが放出する有機物（粘液）の増減を調査したところ、これらは35℃で増加し、それによりサンゴ内のバクテリアも増加しました。



調査結果

多量の粘液・アンモニアを放出し、
バクテリアが急速に増殖



5. バクテリアはサンゴにどのような影響を与えるのでしょうか

瀬底に生息する白化したサンゴの体内を調べたところ、多種のバクテリアの存在が確認されました。その中にはサンゴ自身が自分の免疫性のために常に共存しているバクテリアだけでなく、白化の原因とされるビブリオ菌や新たに「パラコカス菌」が発見されました。

この「パラコカス菌」をサンゴの飼育水槽に入れると、サンゴは粘液を放出し、侵入を防ごうとします。「パラコカス菌」は、タンパク質分解酵素であるプロテアーゼを放出し、褐虫藻やサンゴに影響を与え、サンゴを白化させる可能性が確認できました。

さらに、バクテリアはサンゴの病気を引き起こすことも分かりました。このサンゴの病気の科学的研究は、本プロジェクトの今後の重要な課題であり、その成果が期待されます。サンゴの病気の一例を示します。沖縄の大部分のサンゴが現在病気に掛っています。

■ サンゴとバクテリアの共培養実験

サンゴの白化にバクテリアが関与していることが示唆されるため、サンゴとバクテリアを共培養し、白化現象が引き起こされるかどうかを観察しました。

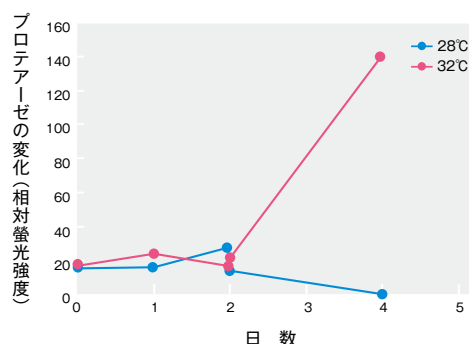
● 培養条件

サンゴ：エダコモンサンゴ
バクテリア：ビブリオ・コラリリティクス、
ビブリオ・ハーベイ、パラコカス
培養温度：28℃と32℃
サンプリング：毎日16時に採水



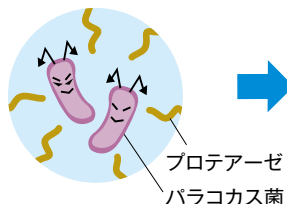
エダコモンサンゴ

高水温下におけるプロテアーゼ（タンパク質分解酵素）の増加

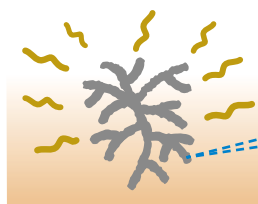


■ サンゴを溶かすパラコカス菌

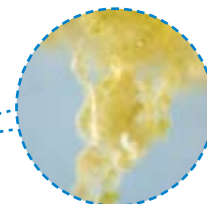
①パラコカス菌はタンパク質を分解するプロテアーゼを放出



②海水温の上昇によってプロテアーゼが増加



③サンゴは白化し、骨格が一部溶解



調査結果

サンゴを溶かし白化させるパラコカス菌を発見。
また、バクテリアやカビがサンゴの病原に
(今後の研究課題)





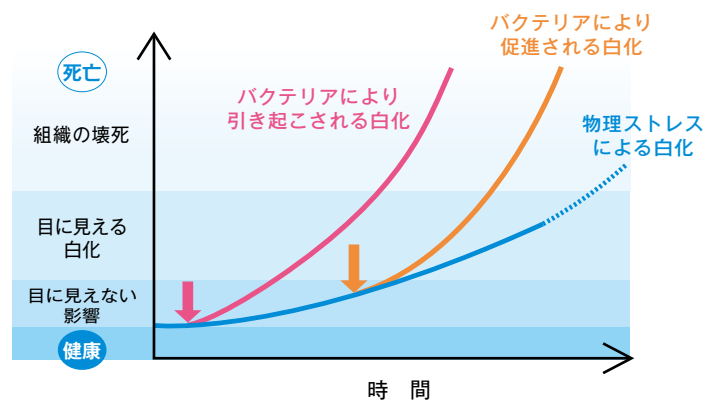
サンゴの白化の原因を探る～新たな成果



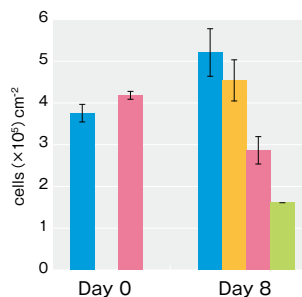
6. サンゴの白化はどのように起こるの？ バクテリアが関係するって本当？

高水温で特定のバクテリアが存在する場合、サンゴの白化が加速することが分かりました。高水温で白化が進むことは指摘されてきましたが、バクテリアとの関係に着目した研究成果は初めてです。水温の上昇で弱ったサンゴ内の褐虫藻にバクテリアが感染すると、一部が死滅し、色素が失われます。高水温の状態ではバクテリアの存在が白化の引き金になっているといえます。サンゴを高水温（32度）と低水温（28度）の状況に置き、それぞれバクテリアの有無で経過を観察したところ観察開始から8日目の時点で、高水温・バクテリア有りのサンゴの白化が著しくみられました。また、高水温・バクテリア無しでは一部が白化し、低水温ではバクテリアの有無に関わらず、白化は見られませんでした。

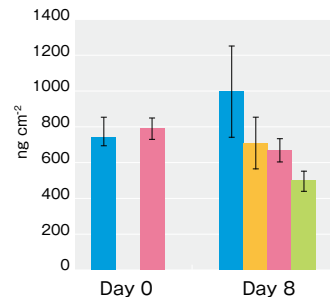
■ 白化はバクテリアにより促進される？



〈褐虫藻密度〉



〈ペニシリン濃度〉



■ コントロール ■ バクテリア添加 ■ 高温ストレス ■ 高温+バクテリア

調査結果

高水温で特定のバクテリアが存在する場合、
サンゴの白化が加速



7. 白化したサンゴはどうなるのでしょうか

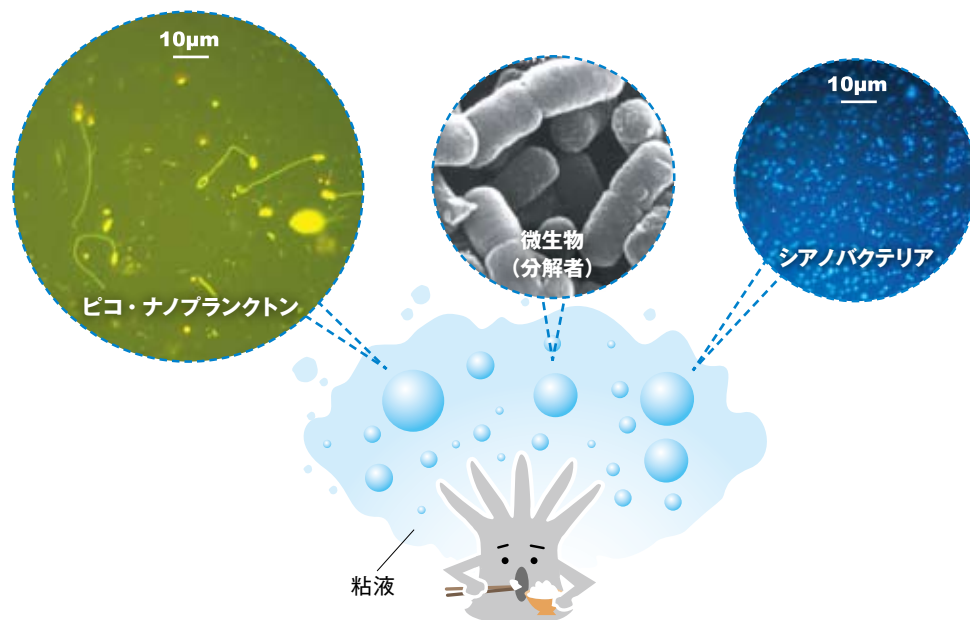
従来は白化したサンゴには、ほとんど褐虫藻が残っていないため、サンゴの外の海水から再び褐虫藻が戻るまではサンゴは回復しないと考えられていました。しかし、実際には高水温下で、白く見えるのですが、実際には数10%以上、元気に褐虫藻は生きています。水温が下がり、光合成が可能になる条件ができると、褐虫藻は急速に回復します。

サンゴが正常な状態の場合、褐虫藻が生産した有機物の80%近くを餌にしています。残りの20%は、藍藻、微生物、植物・動物プランクトンです。白化すると、褐虫藻による餌の供給はストップしますが、すぐにサンゴが死滅するわけではありません。

褐虫藻による餌の供給がストップしている間、サンゴが何を餌にしているかを調査したところ、高水温下でも増殖するピコサイズ(2ミクロン※以下)や、ナノサイズ(2~20ミクロン)のプランクトンやバクテリア(高タンパク質)を餌にしていることがわかりました。餌の比率を見ると、50~60%がシアノバクテリア、30%が微生物、10%が珪藻という構成になっています。サンゴは、これらの餌をサンゴ自身が放出する粘液にからめとりながら食べています。さらに、サンゴの組織には、サンゴに侵入しようとする病原菌(バクテリア)を阻止する、あるいは退治する抗生物質を生成する「免疫」があります。これらの研究も本プロジェクトで進めています。 ※ミクロン=マイクロメートル(μm)→1mの100万分の1(10のマイナス6乗)

■ 白化後のサンゴ

サンゴは白化後も、プランクトンやバクテリアを餌に、しばらくは生き続けます。



調査結果

白化しても、サンゴは生き続けようとします



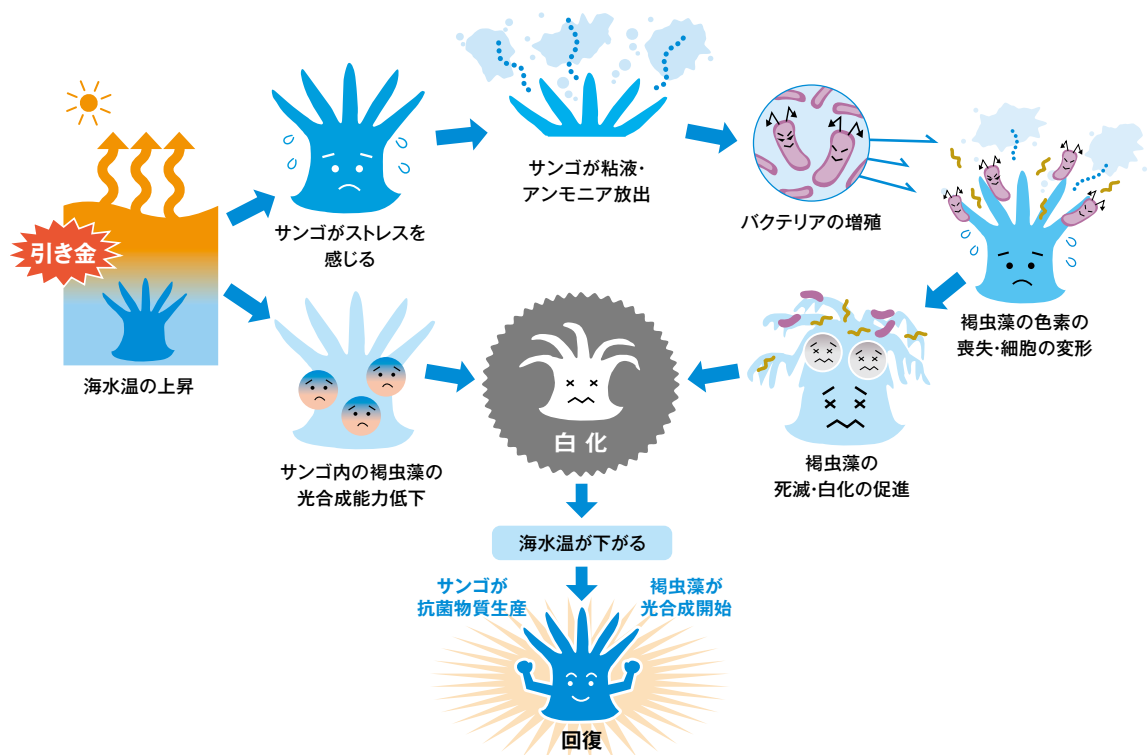


サンゴの白化の原因を探る～新たな成果

8. 白化の原因が明らかに。本プロジェクトの大きな成果

6年間の本プロジェクト研究により、白化の原因の大部分が明らかになりました。白化は高水温下においてサンゴや褐虫藻はストレスを受けます。褐虫藻はストレスにより光合成能力が低下するため、増殖ができず細胞数は減少します。サンゴもストレスにより粘液やアンモニアを大量に放出します。これはサンゴによる高水温からの防御と考えられますが、同時に粘液やアンモニアを餌とする細菌が急速に増殖します。増殖した細菌はサンゴの組織内に侵入し、褐虫藻の色素を喪失させたり、細胞を歪んだ形に変質させたりして、褐虫藻を死滅させます。細菌は、白化を加速しているといえます。サンゴの白化は、高水温条件下での細菌による褐虫藻の死滅が主な原因です。

■ 本プロジェクトで明らかになった白化に至るプロセス



まとめ

これまでの研究によって、サンゴ外部の環境因子の影響が、サンゴ内部の変化（病気・白化）を引き起こすことが明らかになりつつあります。サンゴは自らを守るために、抗菌剤あるいはタンパク質を放出します。これらの成分は、将来サンゴ再生の免疫剤、あるいは再生物質として有効であると期待できます。第2ステージの本プロジェクトでは、すでにいくつかの抗菌物質を見つけました。白化したサンゴは、他のバクテリアから身を守るための粘液放出が弱まり、粘液が薄くなります。薄くなった粘液からバクテリアが進入し、サンゴが白化や病気になることが確認できました。

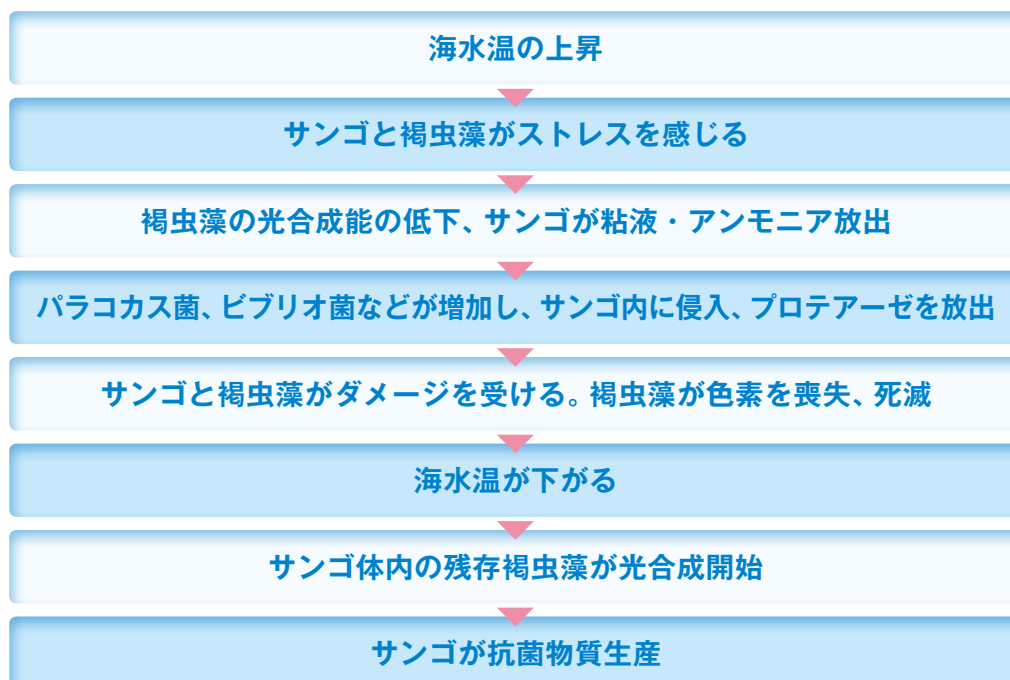
【主な成果】

- ① 白化の原因となる微生物の同定※もDNA解析によりできました
- ② サンゴにダメージを与えるプロテアーゼの影響評価もできました
- ③ サンゴ内部の褐虫藻、微生物、栄養塩、有機物などを観察、測定、解析できる方法を確立できました
- ④ サンゴは自給自足の世界を自らの体内で循環させていることも明らかにしました
- ⑤ サンゴ礁は、従来報告されているより、高い有機物生産をしている場であること、だから多様な生物群集が生息できることを明らかにできました
- ⑥ サンゴ礁がオアシスである理由は、サンゴ体内、砂地、サンゴの瓦礫、シアノバクテリアの窒素固定などにより豊富な栄養塩が、周りに海水に比べて豊富にあることを明らかにしました

6年間のサンゴとサンゴ礁のミクロ・ナノの世界の研究から、サンゴの白化のメカニズムや、サンゴ礁の生態系の生命維持のからくりの多くの新しい成果を得ることができました。

※ 生物の分類学上の所属・名称を明らかにすること

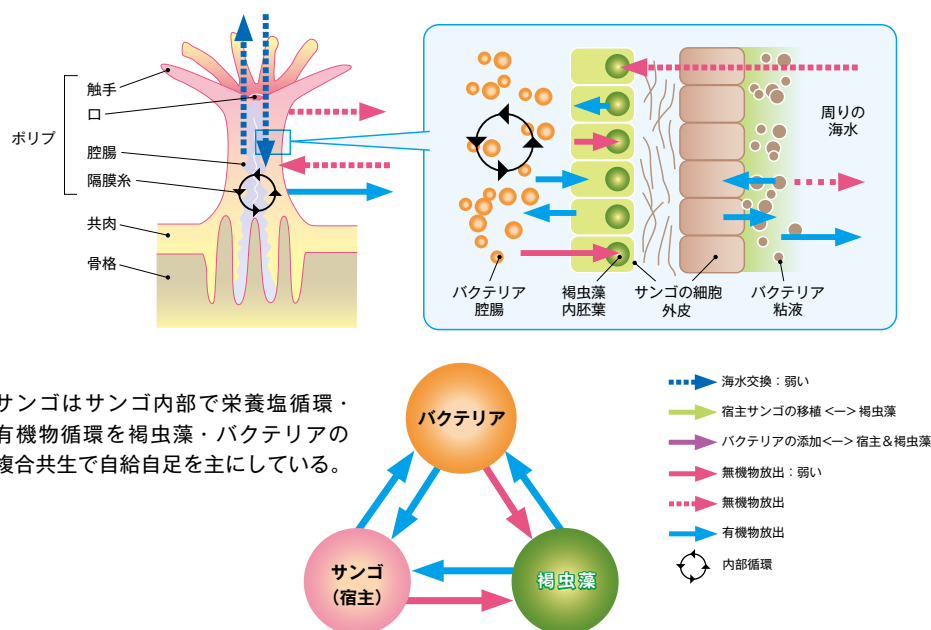
■ 本プロジェクトで明らかになった白化に至るプロセス





サンゴの白化の原因を探る～新たな成果

■ サンゴ内部の成果図



今後の目標

■ 科学的知見に関する目標

- サンゴの白化現象の詳細なプロセスのメカニズムを明らかにする
- サンゴの病気の科学的メカニズム、白化との違い、病原菌の探索を行う
- サンゴ礁生態系の健全性・再生・回復の条件を把握する
- サンゴとサンゴ礁再生の自然再生技術の開発をする

■ 研究体制に関する目標

- 市民と研究者、企業支援によるサンゴ礁保全のためのモデル事業ケースの確立

■ 社会的・国際的な意義に関する目標

- 2011年3月末までに、国内発表(97件)、国際発表(46件)、投稿論文(11報)を発表。今後も国際的なサンゴ礁の保全、再生の研究・事業に対し、先駆的で科学的な方策と成果を提供する。2012年7月の12回国際サンゴ礁シンポジウム(オーストラリア・ケアンズ)で論文7つを発表する予定。

サンゴ礁保全プロジェクト

ミッドウェイ 編

● Midway 🌿



■ 地域の特徴

ミッドウェイ環礁の周囲2,000キロメートルには人が住んでおらず、世界で最も孤立した場所にあるサンゴ礁の一つです。ここはサンゴ礁が形成される北限の緯度に位置し、生物多様性が低く独自性が高いことが特徴となっており、半分以上がハワイ固有の種であるといわれています。また、この海域はおおよそ70年にわたって漁業が完全に禁止されている禁漁区でもあります。2006年には、海洋保護区として米国のナショナルモニュメントに指定されました。

■ プロジェクトの目的

気候変動や地域的な変化がサンゴ礁に与える影響についての総合的な調査プログラムを策定。

■ プロジェクト研究体制

研究チームリーダーはカリフォルニア大学サンタクルーズ校教授のドナルド・ボッツ教授。

研究チーム リーダー からの メッセージ

サンゴの破壊プロセスを調査し、管理計画に役立てたい

ミッドウェイ環礁では、自然のプロセスによってサンゴ礁が侵食されたり、漂流してきた網などのゴミが、サンゴにからまり窒息させていることなどが分かってきています。また、海水面の上昇も報告されています。このような変わり行く環境の中で環礁が生き残れるかどうか、まだ答えは分かりません。

破壊のプロセスがどうなっているかを調べるため、モニタリングステーションを設置し、調査を行っています。

将来的にはミッドウェイにおける研究成果を、ミッドウェイ環礁の管理計画の策定に役立てたいと考えています。



ドナルド・ボッツ教授
カリフォルニア大学
サンタクルーズ校



海洋生物とサンゴの繁殖との関係を探る

プロジェクトの歩みとこれまでの成果

2005年から2007年までミッドウェイでの研究では、侵食や堆積物によるサンゴ礁の被害、放置された漁業網や投棄された金属ゴミなどの調査、シアノバクテリア（P14 参照）の発生状況の観測などを行ってきました。

2008年には、前年までの調査を発展させ、シアノバクテリア、ウニ、魚が、サンゴに与える影響について、さらに調査を進めました。

これまで、藻類のみを食べると考えられていたウニは、この調査によって、サンゴも食べていることが明らかとなりました。また魚は、サンゴの成長の障害となる大型藻類をウニよりも多く食べているという調査結果も得られました。

一方、シアノバクテリアが異常発生した地域では、サンゴの繁殖率が極めて高いという予想外の結果も得られました。

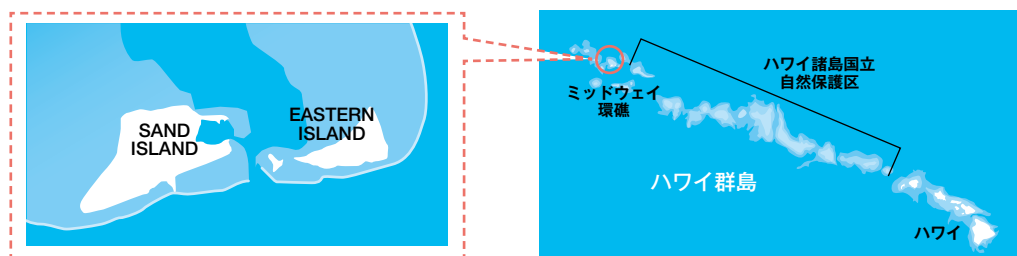
人類出現以前の状態のままで残っていると推測されるミッドウェイの礁湖最深部の調査も進み、希少種や絶滅危惧種の黒蝶貝、サンゴ、海藻を発見したことも大きな成果です。

ミッドウェイにおける調査

ミッドウェイ環礁は、サンゴが生息できる北限の高緯度（北緯 28.5 度）に位置すること、寒流と暖流の間に挟まれていることなどから、気候変動や海洋学的変化の影響を受けやすい場所であることが特徴です。歴史的には、100 年以上の間、軍事基地として使用された経緯があり、広範囲にわたって人為的な影響も受けてきました。

ミッドウェイ環礁のプロジェクトでは、サンゴが生息している場所の環境を調査し、その場所の生態系に活力を与える方法を探究していきたいと考えています。

■ ミッドウェイ環礁国立自然保護区



調査内容

ミッドウェイにおける調査は以下の3つを柱に進めました。

- 1 シアノバクテリアの異常発生とサンゴの繁殖との関係
- 2 魚とウニが大型藻類を食べる量の比較
- 3 ウニがサンゴに与える悪影響を観察

調査結果と考察

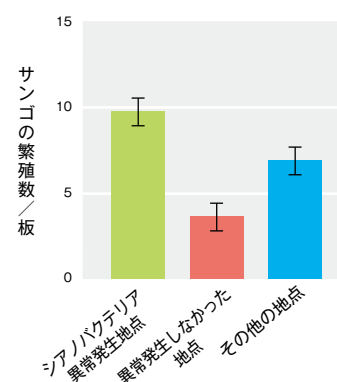
1 シアノバクテリアとサンゴの増殖

ミッドウェイでは、シアノバクテリアの異常発生とその影響について調査を行ってきました。シアノバクテリアは、人間が残した金属屑の山の表面や周辺で異常発生しており、ある種の中には、サンゴの繁殖を低下させるだけでなく魚や人体に害を与える毒性化合物が含まれていることが知られています。

この調査では、シアノバクテリアが異常発生した2つの地点と、異常発生しなかった地点で、サンゴの繁殖にどんな影響を与えたかを調査しました。この結果、異常発生がサンゴの繁殖を妨げたという証拠は見当たらず、実際には異常発生した地点において、サンゴの繁殖率が高いという結果が得られました。

■ サンゴの増殖数

サンゴの繁殖数はシアノバクテリアが異常発生している地点が最も高い



2 魚とウニの植食性

ウニやある種の魚は、植物（藻類）を餌としています。魚が大量捕獲される地域では、魚に代わってウニが大型藻類を食べることにより、サンゴが成長するためのスペースが確保されています。

魚が過剰に捕獲されている地域とは異なり、海洋保護区であるミッドウェイでは、何十年の間、漁業が行われておらず、藻類を餌とする多くの魚やウニが生息しています。魚とウニのどちらがより大型藻類を食べるのかを研究する上で、ミッドウェイは格好の場所といえます。

実験では、①ウニと魚が生息、②魚だけ生息、③ウニだけ生息、④どちらも生息しない、という4種類の環境をつくり、大型藻類の状況を観察しました。この結果、魚が生息しない③④で、大型藻類が最も多く残りました。つまり、ウニよりも魚のほうが多くの藻類を食べていることが明らかになったのです。

多くの藻類を食べる魚がサンゴ礁に生息することは、サンゴの成長にとって重要であり、引き続き漁業制限や海洋保護区を維持する必要があるといえます。



大型藻類でいっぱいになった実験カゴ



海洋生物とサンゴの繁殖との関係を探る

3 ウニによるサンゴの捕食

ウニは魚と同様、サンゴの成育の妨げとなる大型藻類を餌とするため、健全なサンゴ礁の成長に必要な不可欠な存在と考えられています。しかし、今回の実験で、ウニはサンゴに悪影響を与える存在でもあることが分かりました。

特に、狭くて岩の多い区域に生息するナガウニの生育密度が高い地域では、サンゴの生息する範囲が小さいことが判明しました。さらに、ナガウニが生息する場所で経過観察を行った結果、右の写真のようにナガウニが生きたサンゴ組織と骨格を食べていることが分かりました。

ウニがサンゴを捕食することをこの調査において見出したのは、おそらく初めてだと思います。

ウニと共存



2週間後



2カ月後



ウニ除去



2週間後



2カ月後



その他の補足調査

黒蝶貝の繁殖とその分布

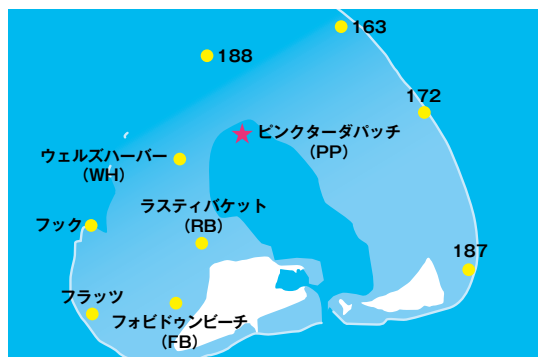
北西ハワイ諸島では、1920年代から30年代にかけて黒蝶貝の過剰捕獲が行われ、現在もその数は回復していません。そのため、ミッドウェイにおける調査では、黒蝶貝の繁殖、成長、個体数動態などを解明し、回復の可能性を探るとともに、回復方法の確立を目指しています。

環礁周辺の10地点にそれぞれ10台の繁殖数集計器を設置し、2008年8月から12月にかけて、黒蝶貝の個体数と増加率を計測しました。増加率は環礁の西側の離礁、特にサンドアイランドの北西部にある深いラグーンにおいて最も高いことが分かりました。

予備実験では19地点を調査し、深いラグーンの離礁で成体の黒蝶貝を6体発見しました。

この数は、過去100年にミッドウェイで報告された数よりも多い結果となっています。

繁殖数集計器設置地点



黒蝶貝

新規調査

1 堆積物と侵食状態の調査

2008年からは、堆積物や侵食状況の調査に着手しました。93地点で堆積物と瓦礫を採取してサンプルの粒径と組成を分析し、その分布の詳細な地図を作成する予定です。

これらのデータを、長期的気象記録（風向・風力）と海洋学的記録（潮流・海面異常）のデータと統合させ、堆積物が運ばれる経路や割合、サンゴ礁生息地域の堆積・侵食について特定することを目指しています。

このデータを基に、ミッドウェイ環礁が、海面上昇に対応できるほど十分なスピードで進化していけるかどうか判断することを目指しています。

2 地下水と栄養分の調査

少量の栄養分流入はサンゴ礁の多くの生物の成長や生産性を促進するために有益ですが、濃度が高くなりすぎると、過度に肥大した藻や有毒な微生物（シアノバクテリアなど）を活性化させやすく、サンゴにとって有害となる可能性があります。

ミッドウェイ環礁では、サンゴ礁に流入する栄養分と汚染物質の流れを追跡するため、サンドアイランドの14個の井戸とビーチに掘った深さ4メートル以下の22個の穴から水サンプルを採取し、総合的な分析を行い、サンゴ礁への影響を調査していきます。



サンゴ礁保全プロジェクト セーシェル編

● Seychelles



■ 地域の特徴

セーシェル共和国は、アフリカ大陸の東海岸から沖合約1,600キロメートルのインド洋に浮かぶ、115の島々からなる国です。セーシェルのあるインド洋はサンゴの多様性が非常に高く、300~350種のサンゴが確認されています。1998年、エルニーニョ現象による大きな影響を受けた地域でもあり、今後も温度上昇による被害が心配されています。

■ プロジェクトの目的

サンゴ礁の生息地の生物多様性、マングローブ、サンゴ礁の状態などの観察データの収集。

■ プロジェクト研究体制

エセックス大学サンゴ礁研究ユニットのデヴィッド・スミス博士を研究チームリーダーに同大学、国際環境NGOアースウォッチ・ヨーロッパと協力。

研究チーム
リーダー
からの
メッセージ

サンゴの環境変化に対するメカニズムを探る

私たちは、環境の変化により危機にさらされているサンゴ礁を効果的に保護する方法と、このストレスに対して生物学的・社会的側面からどう対応すべきかを中心に研究を行っています。特に、サンゴの白化現象に対する耐性の調査を行っており、種による耐性の違いと、同種での耐性の違いを研究しています。私たちはこれを「遺伝子的に制限されているものの、環境に左右されている状態」と定義しています。これまでの研究から、サンゴは特定の環境下では、気候変動に敏感な種でも、白化や死滅への耐性が自然と高くなることが分かっています。

また、私たちは、政府のサンゴ保全に対する方針の見直しを促す研究成果を得ると同時に、サンゴが受ける気候変動の影響に地域住民がどう対応すべきかを検証しています。「自然保護」と「地域住民の生活保護」の両立が、今回の調査の重要な目的です。



デヴィッド・スミス博士
エセックス大学
サンゴ礁研究ユニット



環境変化に対するサンゴの適応力を探る

プロジェクトの歩みとこれまでの成果

環境変化にサンゴ礁はどう反応しているのでしょうか？ 環境の変化には、長年かけて徐々に変化した慢性的な状態と、エルニーニョやラニーニャのような急激な現象の2種類があります。中でも記録的な環境変化は、1998年の最大規模のエルニーニョ現象で、熱帯地方の幅広い海域で水温が上昇し、中でも西インド洋が顕著でした。セーシェル共和国は特に被害がひどく、海水温の上昇によりサンゴが白化し、数カ月間で約75%のサンゴが死滅しました。セーシェルでの調査は2006年から行っており、このような異常気象がサンゴにどのような影響を与えるのか、気象状況が正常化した後にサンゴはどう回復するのかを調べています。また、特に重要なのは、将来的にサンゴの大量死を引き起こす異常気象が起こった場合、戦略的な対処方法を見つけ、政府機関に提供していくことです。科学者は、大規模なエルニーニョ現象が将来的に発生する可能性は極めて高いと予測しており、サンゴを保護する方法を、早急に検証しなければなりません。

デロッシュ島における調査

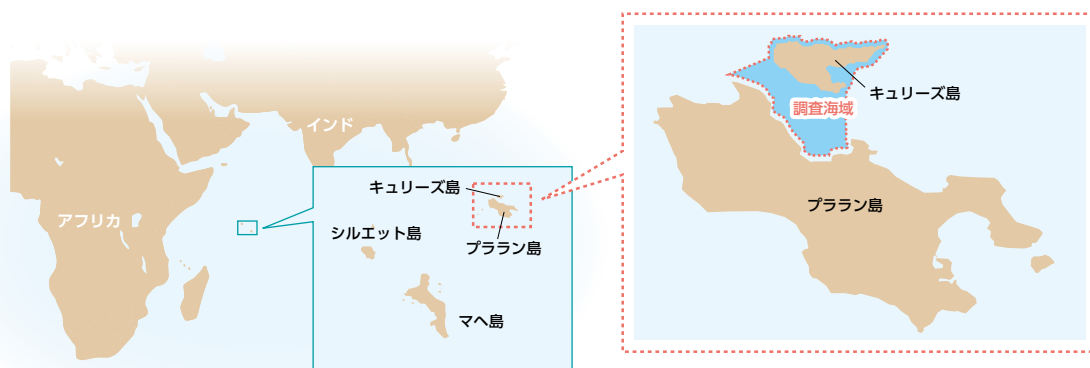
最初の調査は、デロッシュ島で実施しました。この調査では、複数の生息地で多く生息するサンゴの種や特徴、生息年数について観察しました。1998年のエルニーニョ現象でサンゴは大量死したため、現在生息するサンゴの年齢は8歳未満であるというのが大方の予想でした。しかし、調査の結果、大量白化を逃れ、生き残った種もあることが確認されました。中でも、気候変動に敏感な種と考えられていたサンゴが、エルニーニョ現象に耐え、生息に適さない、保護する必要がないとされていた海域に生息していたのが大きな発見でした。これは、同じ種で生息に最適な海域にいるサンゴより、白化を引き起こす熱ストレスへの耐性が高いことを示しています。私たちはこのような生息地を、環境変化の影響を低減する「緩和地帯」と定義。「この地域に生息するサンゴは、白化の原因となる急激な気候変動への耐性を生まれながらに持っており、この緩和地帯は他の海域とは異なる独特の環境にある」という仮説を立てました。

シルエット島・キュリーズ島における調査

2007年には、本島のマヘ島のすぐ北側に位置する花崗岩質の島、シルエット島で調査を開始しました。ここでは、デロッシュ島に見られたような緩和地帯は存在しませんでした。これは、エルニーニョ現象に耐えて生き残った、生息年数の長い敏感な種が見当たらなかったことの原因だと考えられます。一方、シルエット島の北側の海域で、エルニーニョ現象の後に加わったと見られる敏感な種の小さな群体が、多く生息しているのが観測されました。シルエット島の北側の海域でサンゴ礁が確認できたのは大変貴重な発見であり、このサンゴ礁が敏感な種の緩和地帯の役割を果たしていると考えられます。気象状況が正常に戻った後にサンゴが産卵し、生息に適した環境を作り出したと考えられます。シルエット島とデロッシュ島での調査により、特定の環境においてサンゴは異常気象から保護され、緩和地帯では気象状況が正常化した後にサンゴが産卵し、他のサンゴの再生を助ける可能性があることが分かりました。これは、サンゴ礁の保全方法を検証するにあたり、大きな発見です。

上記の理論を孤立した環境で実証するために、2008年からはキュリーズ島での調査が始まりました。1回目の現地調査では、サンゴ礁の特性と生息環境を観察しました。デロッシュ島と似たような緩和地帯があることが確認され、次の調査では、この環境の詳しい調査と分析、並びに生息に適さない海域と生息に適した海域のサンゴの生態の違いについて研究することが、主な目的となりました。また、サンゴと地域社会のかかわりについても調査しました。この調査の目的は、地域社会がどの程度サンゴに依存しているか、またサンゴ以外の資源から食料や利益を得る方法を検討することです。サンゴ礁の戦略的保全には、生物学と社会科学の両面からの検証が必要です。

■ セーシェル共和国周辺の調査海域 デロッシュ環礁、シルエット島、キュリーズ島





環境変化に対するサンゴの適応力を探る



調査結果と考察 (2009年～2011年)

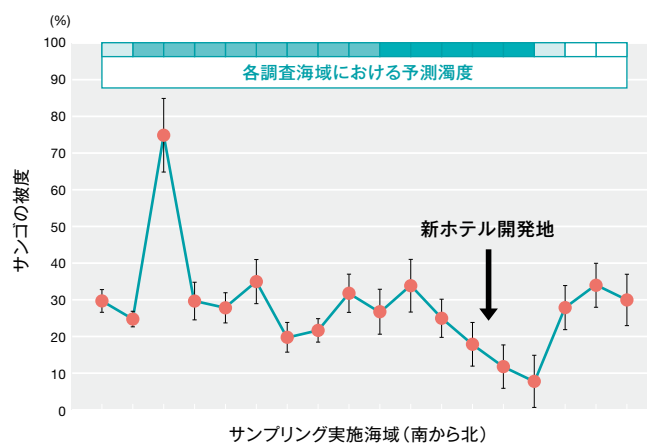
1. サンゴの生態について

現在進められている調査は、自然科学の観点だけでなく、社会科学的な観点も盛り込み、サンゴに依存する地域社会の現状の把握と、気候変動で天然資源が減少した際、このような地域はどう対応すべきかについて検証しています。自然科学的な観点では、豊富に生息する種の特定や生息年数の構成といった基本的な調査からさらに踏み込んで、多様な環境で生息するサンゴの生態について調べています。こうした現地調査と熱ストレスへの耐性実験の結果を組み合わせ、他の海域のサンゴに比べ、緩和田帯のサンゴは熱ストレスへの耐性が高いことを実証し、サンゴ礁の保全計画・方針にこの緩和田帯を盛り込むことができるかどうかについて検証しています。

キュリーズ島の調査海域には、さまざまな種類のサンゴが生息し、海域によって環境も異なり、最適な「自然界の実験室」となっています。2008年にプララン島付近の海域が緩和田帯になっている可能性があることを観測し、2009年の調査では、この海域においてサンゴ礁の分布を確認することが最初の調査目的となりました。

■ 各調査海域における予測濁度

キュリーズ海洋国立公園内のプララン島北東の18カ所の調査海域では、ハードコーラル(± SE, n = 3)が多く生息。新ホテル開発地は、予測濁度を示す棒グラフと一緒にグラフ内に表示。濁度を示すグラフは、色の濃淡で濁度の高低を表す(中低度・高度・超高度・中度・低度)。



2. 周辺環境とサンゴへの影響

サンゴの被度を観察したところ、場所によってばらつきがあったものの、検証すべき重要な発見がありました。注目されるのは、ほとんどのサンゴが敏感な種（ミドリイシ属—写真A）だったことです。サンゴの生息数は、新しく建設されたホテルの北側と南側の海域で減少しており、開発の際の堆積物が影響していると考えられます（写真B）。サンゴの被度は、海流の強いブララン島の北東部に至るまで減少しており、ここからは明らかに生息数が増え、海底は花崗岩とミドリイシ科の床板サンゴで覆われています。しかし北側の海域では、最近死滅したサンゴの群体が多く観測されました（写真C）。

この海域では、サンゴが多く生息する地帯があるものの、ホテル開発が周辺海域のサンゴに悪影響を及ぼしたことも明らかになりました。特にホテルの北側の海域で、半年以内に死滅したと思われるサンゴが多く見られました。しかし、南方の海域に敏感な種が多く生息していることから、キュリーズ海洋国立公園の海域には、熱ストレスからサンゴを保護する緩和地帯的な環境が存在すると考えられます。



- A** 環境変化の影響を低減する緩和地帯考えられている海域にはミドリイシ属が多く生息する。
- B** 新ホテル開発地のすぐ北側の調査海域では、土砂が蓄積し、地表近くは無酸素状態であることが確認された。
- C** ブララン島北側の海域はほとんど床板サンゴに覆われているが、その半数以上が最近死滅した群体である。



環境変化に対するサンゴの適応力を探る



造礁サンゴの熱ストレスへの耐性評価実験

西インド洋を含むサンゴ礁の研究により、白化と死滅の原因となる熱ストレスに対する感度はサンゴの種によって異なり、感度の違いは、サンゴの特性に関係していることが分かりました。成長が速く、生殖が速い種は、組織が破壊され、骨格から剥がれ落ちて死滅しました。これらのサンゴは、白化への耐性を定義する「タイプⅠ」または「死滅しやすい」種に分類されます。一方、成長が遅く、「持続性」の高い種は、骨格からの組織の剥離や破壊はほとんどありませんが、徐々に色素が薄くなる特徴がありました。このような種は、「タイプⅡ」または「死滅しにくい」種に分類されます。

結論として、気候変動などのストレスを受けた後のサンゴ礁の回復は、短期的にはタイプⅡのサンゴの耐久力によるものですが、長期的にはタイプⅠのサンゴの回復力が大きな役割を果たしています。デロツシェ・シルエット・キュリーズの3島の海域調査において、これらのサンゴの耐久力と回復力の歴史的経過を観測しました。

サンゴ礁の生息年数別の分布状況（その地域独特の種の判別と、種の成長の特性を把握）を観測することで、サンゴのストレスへの感度を推測できます。しかし、この推測は、生物学的な耐性を実験して初めて有効になります。サンゴの「本当の耐性」と、緩和地帯を把握した上で、将来異常気象が起こった際のサンゴの生態と、生存能力を予測する必要があります。これは、特にセーシェル諸島のような孤立した場所に生息するサンゴ礁の保全に対して重要になります。一連の実験において、サンゴの主な種について、ストレスへの耐性（タイプⅠとタイプⅡの比較）を実験し、これらの結果を実際の調査海域において、生息年齢別の分布（主に生息するサンゴの大きさと成長率）と比較しました。この結果、ストレスへの耐性が強いサンゴ（タイプⅡ）は、大きくて生息年数の長いものが多く、ストレスに対して敏感なサンゴ（タイプⅠ）は、小さくて若いものが多いことが分かりました。

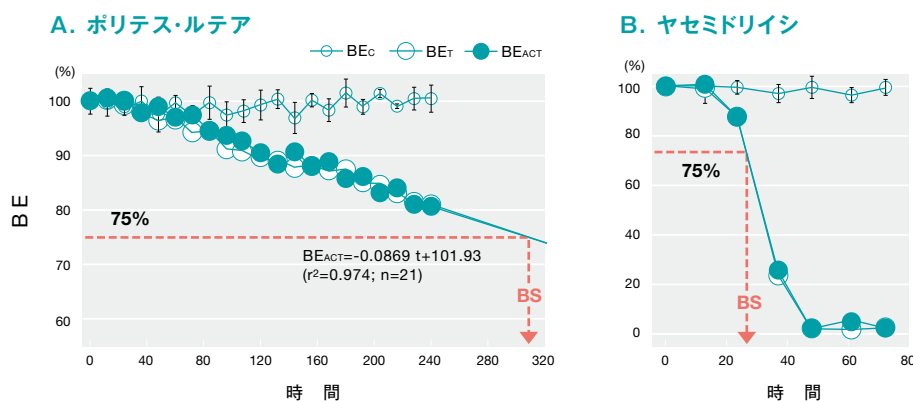
サンゴの熱ストレスへの耐性について

セーシェル諸島各地におけるサンゴ礁の海域調査を補完するために、水槽で各種サンゴが海水温の上昇にどう反応するかを実験しました。実験では、26℃と32℃の水温下で、11種のサンゴが熱ストレスにどう反応するかを調べました。

ミドリイシ科の5種は、すべて水温32℃で熱ストレスに敏感に反応し、BS値は最も低い値となり、白化の速度も速まりました。これら死滅しやすいタイプⅠのサンゴは、組織が骨格からまとまって剥離して白化するのが観察されました。予想通り、その他の種は32℃の水温下でもBS値は比較的高く、組織の色素がわずかに薄れる程度で、熱ストレスに対して高い耐性を示しました。これは、タイプⅡのサンゴに共通して見られる現象でした。

同じ種でも、緩和地帯に生息するサンゴは、他の海域のサンゴに比べて4倍も耐性が高いことが確認され、サンゴは採取された場所によって耐性が異なるという結果が得られたことも重要です。この実験と、3カ所で行われた海域調査の結果から、「サンゴはある一定の環境に置かれると、熱ストレスに対して高い耐性を持つ性質がある」と仮定できます。

■ サンゴの適応力調査 ①

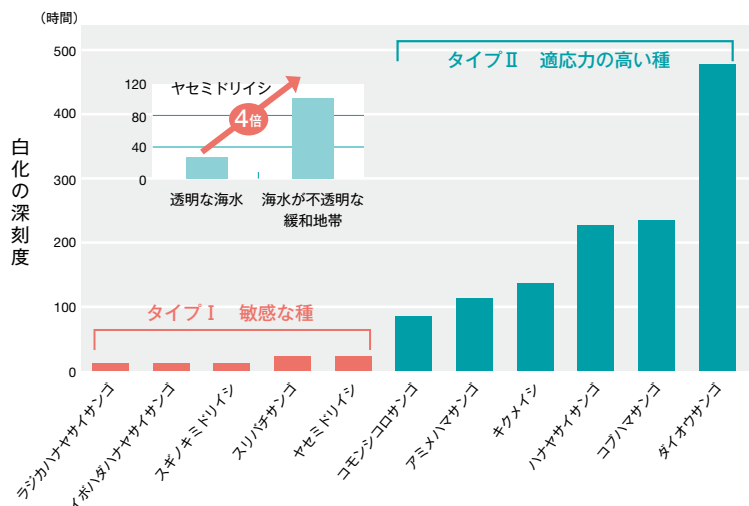


温かい海域（白丸）と水温が上昇した海域（黒丸）でのサンゴ2種の適応力を示すグラフ。BE値100%から減少していく線は生理学的に健康ではなくなっていく様子を示す。BSはbleaching severity（白化の深刻度）の略で、BE値75%を基準値とする。BE値は、高温ストレスに対する感度を示しており、値が高いほど耐性が高いことを示している。



環境変化に対するサンゴの適応力を探る

■ サンゴの適応力調査 ②



キュリーズ海洋国立公園の海域で採取した 11 種のハードコーラルを、水温を 6℃ 上げて実験を行い、白化の深刻度を計測したグラフ。BS 値が高いほど耐性が高い。実験の結果、5 種のサンゴが水温の変化に敏感で、タイプ I に分類した。残り 6 種も水温の変化に敏感に反応したものの、深刻な被害は見られなかったため、適応力の高いタイプ II に分類した。小グラフは同じ実験を 2 カ所の調査海域で採取したヤセミドリイシのみで行ったもの。サンプル 1 は透明度の高い海域、サンプル 2 は緩和地帯の不透明な海域から採取されたものである。Y 軸は大グラフと同じく白化の深刻度で、海水が不透明な海域では 4 倍の耐性があると確認された。

🌿 自然科学分野の研究成果

海域調査と研究の結果、セーシェルのサンゴ礁はいまだに 1998 年のエルニーニョ現象のダメージから回復途中にあり、造礁サンゴの環境変化への対応は以下の 2 点に大きく分けられると考えられます。

(i) 成長と生殖が速いが、耐性が低い (ii) 成長も生殖も遅いが、耐性が高い

特にセーシェルのような孤立した地域に生息する種には、緩和地帯が欠かせません。将来の気候変動などのストレスからサンゴを保全するために、環境変化への対応や緩和地帯の確認など、サンゴの回復に欠かせない条件を検証することが重要です。残念ながら、緩和地帯はサンゴ礁にとって理想的な生息地ではなく、このような場所は保全の対象となっていないことがほとんどです。

今後は、「サンゴが本来持つ耐性」と、「ある一定の環境下での耐性」の両側面から研究を進め、ストレス耐性の強いサンゴ（タイプ I）とストレス耐性に敏感なサンゴ（タイプ II）の分布に、どのような環境が影響しているのかを明確にしたいと考えています。

社会科学分野での研究

サンゴ礁海域の生物多様性は、気候変動の影響により世界的に減少しています。サンゴ礁の海域で漁に依存している地域社会はそのリスクが高まり、将来的に不安な状況にあります。こうした現状を踏まえ、将来に向けて、気候変動によるストレスが天然資源に与える影響などの自然科学分野に加えて、経済的・社会的な豊かさなどを評価する必要があります。2011年の調査では、民間やNGOによる保全活動が注目されるようになったことが明らかになりました。同時に、海洋資源に依存している地域は、経済的・社会的にさまざまな圧力がかかり、衰退しています。

1. 社会科学分野の研究の現状

気候変動がセーシェル沿岸の零細漁業に与える影響についてはまだ正確に把握されていません。最大維持可能漁獲量（生物資源を減らすことなく得られる最大限の収穫量）に達しているかどうかについて明確な文献がないため、海洋資源が気候変動やストレスを吸収し、漁業に与える影響が軽微にとどまる可能性もあります。しかし、調査を進める中で、地元の漁師は沿岸での漁獲量が減少していると感じていることが分かりました。また、気候変動によって漁獲量が変動し、海洋資源も減少する可能性があることについても調査しましたが、地域住民はこのことを問題視していませんでした。これは重要な発見で、今後は気候変動の脅威や社会・環境への影響について認識を広める必要があります。

資源に依存する地域は、気象変動など外的影響を軽減するために、お互い協力し合って対応しています。資源を利用する人々は自ら組合を結成し、ロビー活動を行っています。このような組合は、商業漁業者よりも、零細漁業者のほうが多く参加しています。理由として、今回調査を行ったプララン島では、零細漁業者は金銭的に支援できなくても、保全活動に協力することで彼らの存在意義が高まると考えているからです。

研究の中心テーマは、気候変動によって、自然環境、財政、人間の生活と社会資本に与える影響を軽減するための効果的な手法を検討することです。2011年の研究チームは、多くの問題点を見つけ、これらは次の研究に引き継がれました。

2. 社会科学分野の研究成果

2011年、初めて社会調査を実施した結果、さらに調査すべき項目が多岐にわたり、調査能力を強化する必要があると判断しました。生物研究チームは、異常気象は地域住民の生活に欠かせない天然資源の多様性と生産性に大きく影響することを明確にしました。地域社会において、経済的圧力の増加と商業資源の減少は、天然資源への依存を高めることにつながります。これにより、短期的に天然資源、特にサンゴへの依存が高まり、減少の危機にさらされる可能性があります。調査を行っている地域社会は変化に対応し、資源の減少を軽減するための取り組みを実行する能力は持っているものの、地域住民は、気象変動が地域経済、天然資源、生活に与える影響に対して認識をさらに深める必要があります。

ボランティアの声

サンゴ礁保全プロジェクトでは、
社員や一般の方々がボランティアとして参加し、調査研究活動をサポートしています。
沖縄、ミッドウェイ、セーシエルのプロジェクトに参加した方々に、感想やご意見をいただきました。

沖縄

10年以上ダイビングをしてきましたが、1998年に起こった白化現象を目の当たりにし、サンゴがどんどん枯れて死んでいくのを大変に悲しく思っていました。個人でできることには限界があり、何もできずにいましたが、会社がこのプロジェクトを推進してボランティアを募集していたのを見て、ぜひ参加したいと思いました。



新エネルギー・環境に関わる仕事に携わり、環境やエネルギーといったことに意識を持ちました。特に地球が直面する温暖化に対して、個人として何ができるのだろうかと考えた時、問題意識は持てるものの、具体的なアクションにつながりませんでした。そんな中、社内通知においてサンゴ礁保全プロジェクトを知り、まずはアクションの第一歩として、環境問題に対する能動的な取り組みを開始しようと思ったのが参加のきっかけでした。

自然やサンゴや海について、じっくりゆっくり考えてみるよい機会となりました。こういう機会に沖縄という地で、世界最先端の研究に触れたことは大変幸運で、いろいろな意味で素晴らしいプロジェクトだと思います。

自分があの5日間に活動したことがどれほどの価値のあることなのかはよく分かりませんが、今後サンゴ礁に関する画期的な発見が見つかり、それが自分の関わっていたプロジェクトによるものであったら最高だと思います。

以前訪れたカンクーン、グレートバリアリーフ、パラオなどの美しいサンゴ礁が10年前から、大きな被害（白化現象）が出ているとのニュースを聞いて心を痛めていました。今回この調査に参加することができ幸運でした。

もともと実験に興味があったため、通常お手伝いをするのができないラボでの作業は非常に楽しく、貴重な体験になりました。鈴木先生たちの講義に参加できてよかったです。

サンゴの生態が私たちの日常の暮らしといろいろ関わっていることを知りました。今回の沖縄での経験を、機会があれば周りの人たちにお話し、その理解を深めるよう働きかけたいと思っています。今回瀬底の研究センターでお世話になった静岡大学、琉球大学の皆さんに感謝します。

国際環境NGOアースウォッチ・ジャパン 事務局長 安田 重雄

アースウォッチは、研究者が行う野外調査の現場に、一般市民ボランティアを派遣し、調査の手伝いを通して地球の今を知っていただくことを目指しています。三菱商事のご支援のもと、静岡大学および琉球大学の先生方から指導を受け、サンゴ保全研究の一助を担えることは、私たちにとって大きな喜びです。この活動を通して、サンゴ礁の現状とそれに取り組む研究者の真摯な姿を多くの方々に知っていただけたらと願っています。

ミッドウェイ

今回の体験のおかげで、私は自分の生活スタイルを変える努力をするようになりました。具体的には、自動車の運転を控えたり、ビニール袋を再利用したり、責任を持って買い物をしたりといったことです。自分の周りで環境によくない行為を見つけたときは、注意することなどを実践しています。

このプロジェクトでは、さまざまな作業を体験しました。スキューバタンクの空気充填など設備の準備、修理、清掃などの肉体労働作業から、現場でのサンプルおよびデータの収集作業、確認・文書化作業の補助にいたるまで、非常に多岐にわたりました。



このボランティアプログラムは、体力が必要な面もありますが、極めてユニークで美しい環境の下、多彩な経歴と職歴を持つボランティア同士が科学的海洋研究に参加できるという素晴らしい機会を提供してくれます。他の人にもぜひ勧めたいと思っています。



今回の活動により、健全な海洋と、その自然変化とのバランスがいかに微妙なものであるかを知りました。人類が自然に対していかに弊害をもたらしているかも理解することができました。私たちの大地、海、空を大切にしましょう。私たちが生きている間、残しておけばいいというものではありません。永遠に残していかなければならないのです。

セーシェル

私たちは、約1万3,440 m²におよぶ海底の観察、調査と測定を行い、59種、6万2,000匹以上の魚と、水温の変化がサンゴ礁に与える影響について確認しました。今回の調査で収集したものは、研究者が持ち帰って詳細な調査・分析を行い、さらに興味深い結果が期待できるそうで、私も楽しみにしています。

今回の活動を通じて、サンゴ礁が自然とそこで暮らす人々に重要な役割を果たしていることを学びました。サンゴは波や嵐から海岸を守り、食品や薬の原料として人々の生活に欠かせないものです。サンゴ礁は海の代表的な生き物であり、地球上でもっとも多様な生態系を持っています。



国際環境NGOアースウォッチ・ヨーロッパ 事務局長 Nigel Winser

三菱商事とNGOアースウォッチは共に活動を始めてから、2012年で20周年を迎えます。節目の年を迎え、長年の共同作業が実を結び、世界3カ所において最先端の海洋調査が進められていることを誇りに思います。世界の海が直面している問題が大きくなるにつれて、私たちの活動はこれまで以上に重要になってきます。サンゴ礁は世界でもっとも豊かな生態系を持つ生き物であり、多面的な問題、ローカル、グローバルレベルで、人間の活動に関連している、さまざまな問題に直面しています。アースウォッチは、熱心なボランティアが世界中から集まり、その使命を果たすために日々努力しています。私たちの活動が著名な研究者の目にも留まり、海洋の保全活動が進められています。長年にわたり、三菱商事の方々にも協力していただき、大変感謝しています。



今回の活動は、オペラハウスの舞台裏を見学するような感覚でした。このような素晴らしいサンゴ礁を間近で観察し、保全するために何をすべきか学んだことは、貴重な経験になりました。帰る日は、とても名残惜しく感じましたが、参加できた喜びを思い出すようにしていました。

