

サンゴ礁と粘液の話

粘液に始まる不思議な生態系

● 地球情報館公開セミナー第182回 2014年8月16日開催

植物がない生態系？

サンゴ礁の写真（図1）を見てどんなことに気づくでしょうか。

まず、非常に多くの魚がいます。数だけでなく、種類もとても多いのが特徴です。サンゴ礁は、地球の全海洋面積のわずか0.17%にすぎない非常に小さなエリアですが、全世界の海水魚の種類の4分の1に相当する4,000種が生息しています。さらに、世界の漁業の5%はサンゴ礁を漁場にしています。

次に、サンゴ礁の海は水が透明であることに気づくと思います。海水の色は植物プランクトンの量で決まるといっても過言ではないため、サンゴ礁には植物プランクトンがほとんどいないということがわかります。これだけ多くの魚が生息するためには、それを支える植物も豊かでなければなりません、ここには目立った植物は見当たりません（小さな藻が少し生えている程度）。にもかかわらず、多くの魚がすんでいるのです。ちな

みに、サンゴを植物だと勘違いする方もいますが、サンゴは動物です。

実は、サンゴ礁の海には栄養が少ないことも、水が透明である理由の1つです。専門用語では「貧栄養」といい、窒素やリンなど、いわゆる肥料となるようなものが、ものすごく少ない状態です。そのために植物が育ちにくいのです。

一見、植物の見当たらないサンゴ礁でなぜこれだけたくさんの魚が生きていけるのかは、非常に重要な問題でした。

無限の多様性を持つサンゴ礁

もう1つサンゴ礁の特徴を教えてくださいといわれたら、私は「無限の多様性」と答えます。サンゴ礁には魚だけでなく、非常に多くの種類の生物が生息しています。知られているだけでも約9万3,000種以上で、これは浅い海にすむ種の数の約35%に相当します。さらに研究が進めば少なくとも50万種にはなるだろうといわれています。サンゴ礁の種の多様性は、世界のどんな海よりも高いのです。

ところで、よく多様性が大事だといいますが、なぜ大事なのでしょう。それは、多様性が低い生態系は、少し環境が変化するだけで壊滅的な打撃を受ける恐れがあるためです。多様性が高ければ生態系の安定性も高くなるため、多様性が非常に重要なのです。

さらに、遺伝資源の面からも重要です。たとえば、マレーシアのとある地域では、けがをして血だらけになったとき、サンゴ礁にすむナマコを粉にしたものが止血に使われています。このようにまだあまり知られていない、人間に役に立つ効能などを持つ生物はたくさんいると考えられるため、遺伝資源という面からも多様性は貴重なことなのです。

大地をつくりだす動物

サンゴは水温が18～30℃の暖かい水が大好きです。水が透明で水深は40m未満、栄養が乏しく塩分が高い海水にすんでいます（図2）。余談ですが、宝石サンゴはサンゴ礁のサンゴとは種類が違い、水深

「サンゴ粘液」という言葉を聞いたことがあるでしょうか。色とりどりの魚が泳ぐサンゴ礁の豊かな生態系で、サンゴ粘液は大きな役割を果たしています。サンゴ礁のユニークな生態系をのぞいてみましょう。

100m以上、深いものでは1,000mを超える深海底にすんでいます。

サンゴは刺胞動物門に属し、クラゲやイソギンチャクの親戚です。意外かもしれませんが、皆さんが普段目にするのは昼間の寝ている姿で、夜になると起きて触手を開きます（図3）。その姿を見るとイソギンチャクのようなかたちに見えませんか。

私たちが普段見ているサンゴはポリプというサンゴの個体がたくさん集まったもので、群体と呼ばれます。サンゴは年に1度、産卵します。初夏の満月の前後数日のうちの1日に、卵と精子が入ったパックをいっせいに放ちます。このパックは水に浮いてはじけ、ほかの精子や卵と受精します。受精後は1～2日で「プラヌラ幼生」となって泳ぎ始め、2週間～1カ月ほど漂ううちに岩の上に定着し、炭酸カルシウムの骨格をつくりだして成長を始めます。

サンゴの体は、ポリプが石のコップに入っているような構造です（図3右）。石

のコップはサンゴの骨格で、炭酸カルシウム（CaCO₃=石灰）でできています。成長するにつれ炭酸カルシウムをどんどんつくりだすので、骨格は年齢とともにゆっくりと積み重なっていきます。サンゴ礁で見られる白い岩や砂は、サンゴなどの石灰化生物がつくったものなのです。沖縄の万座毛の岩や沖縄本島の南側の大地は、サンゴなどの石灰化生物が何十万年、何百万年かけてつくり上げたものです。サンゴは岩だけでなく地形までもつくりだす、非常に重要な動物なのです。

サンゴにはさまざまな形状があり、樹枝状のものは年間10～20cm成長しますが、塊状のものは成長が遅く、年間数ミリ程度しか成長しません。その代わり非常に巨大になることができます（図4）。ちなみに宝石サンゴは1cm成長するのに50年かかるものもあります。

植物との共生

先にふれた疑問に戻りましょう。サンゴ礁で植物はどこにいるのでしょうか。

中嶋 亮太

海洋生物多様性研究分野
ポストドクトラル研究員



● なかじま・りょうた。1981年東京都生まれ。2004年、創価大学工学部生物工学科卒業。2009年、同大学院工学研究科博士課程修了。同大学助教を経て、2012年より現職。現在は、サンゴ礁と深海生態系の保全と物質循環を中心に研究を進めている。

実は植物はサンゴのなかに隠れていました。ポリプの肉のなかに、褐虫藻^{かつせうそう}という小さな植物の一種が超高密度に分布しているのです（図5）。1mmの100分の1くらいの大きさで、縦、横、高さが1mmの小さなポリプの立方体の中に、何と3万細胞も入っています。想像してみてください。サンゴ礁のサンゴの表面が、びっしりと藻類で覆われているのです。サンゴの林は光合成する藻類^{きようせいそう}の林だったのです。この藻類は「共生藻」と呼ばれます。

サンゴは肉のなかにすまわせることで、共生藻を敵から守っています。また、共生藻に自分が吐いた二酸化炭素を提供しています。さらにサンゴの排泄物は共生藻の肥料となります。一方、共生藻は光合成で排出される酸素や、光合成でつくりだした炭水化物をサンゴに提供します。共生藻の光合成による炭水化物のおよそ90%はサンゴに利用されるといわれています。

サンゴの主食は共生藻からもらった炭水化物ですが、そのほかにも動物プランクトンを捕食しています。動物プランクトンは夜行性なので、サンゴは夜に触手を伸ばして餌をとります（図3）。夜のサ



図1 多種多様な魚が泳ぐサンゴ礁の海

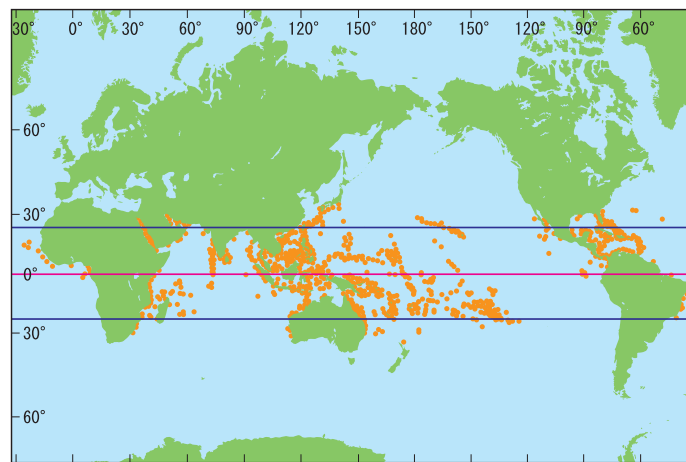


図2 サンゴ礁の分布

オレンジ色がサンゴ礁が見られる海域。青線で示した北緯23度から南緯23度の間の、島が多く暖かくて浅い海に多く分布している。パプアニューギニアの熱帯雨林から流れ出る淡水の影響を受ける海域や、南アメリカのアマゾン川の河口付近のように、濁っていて塩分濃度が低くなるところには見られない。

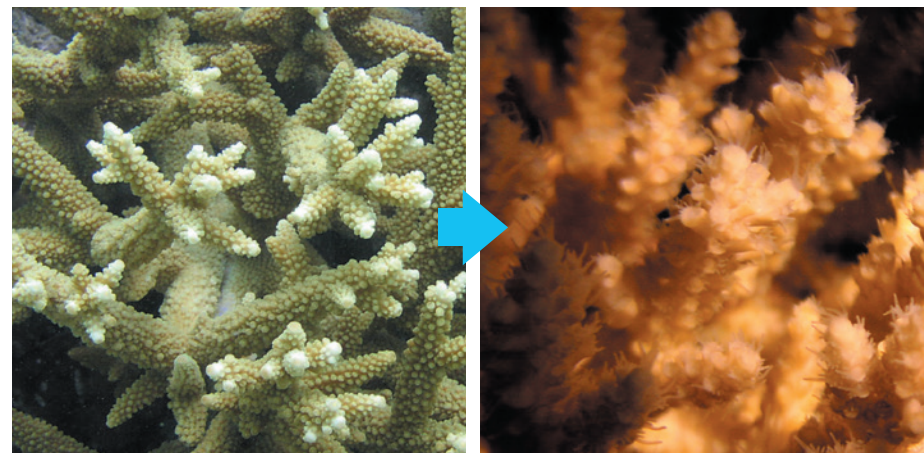


図3 サンゴを構成するポリプ

左の写真の球状の塊1つ1つがサンゴの個体ポリプ。ラテン語で「たくさんの」を表す「ポリ」、 「足」を表す「プス」から名付けられた。夜間には活動を始め、右の写真のように触手を伸ばす。イラストのカラーの部分が生きているポリプ、白い部分は炭酸カルシウムの骨格。

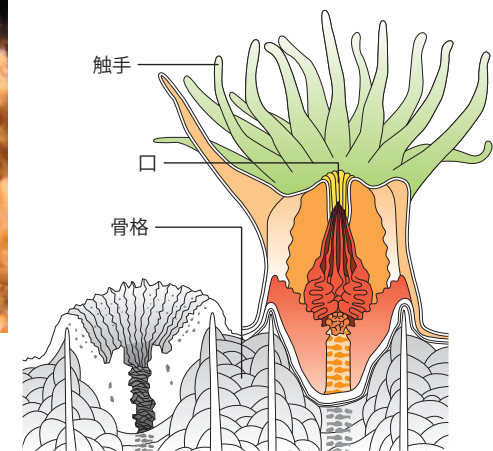




図4 さまざまな形状のサンゴ 海底の砂が巻き上がりやすい場所では、サンゴの上に砂が積もりやすく、共生藻が光合成できなくなるが、樹枝状だと自然に砂が払われるため、都合がよい形といえる(左)。テーブル状のサンゴは、光が弱くなる少し深いところに生息しているが、この形状なら光を受けやすい(中)。塊状のサンゴは、樹枝状のサンゴに比べて波が強い場所でも生息できる(右)。



ンゴ礁では、昼間サンゴの隙間に隠れていた動物プランクトンがうじゃうじゃと姿を見せます。

動物プランクトンの捕食には刺胞を使います。ポリプにある刺胞細胞は内圧が150気圧もあり、なかに透明な糸が収まっています。それを獲物に向けて飛び出させ、タンパク毒を注入して動けないようにするのです。この糸が発射されて伸びるときの速さは生物界最速といわれ、時速にして130kmを超える速さです。

また、サンゴ同士は光と空間をめぐって熾烈な争いをしています。近くのサンゴが早く成長して自分の環境が奪われそうになると、約2週間かけてスウィーパー触手という特殊な刺胞を集めた触手をつくり、そのサンゴに打ち込んで倒します。射程距離はだいたい10cmです。

サンゴを守るサンゴ粘液

サンゴは体から粘液を出すことが知られています。いったい何のために粘液を出しているのでしょうか。

浅い海のサンゴ礁は潮が引くと海面に

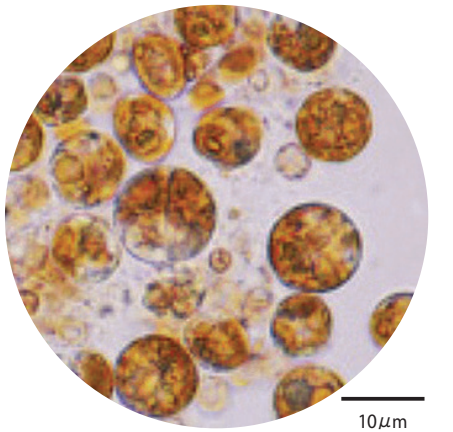


図5 サンゴのポリプにすむ共生藻 サンゴのポリプに超高密度にすんでいる褐虫藻。共生藻とも呼ばれる。

露出し、次に潮が満ちて海水につかるまでの2～3時間、高温や乾燥にさらされてしまいます。そこでサンゴはドロドロと粘液を出して自分の体の周りをコーティングし、潤いを保つことでこの環境に耐えています(図6)。

水中でも粘液を出しています。サンゴ粘液には紫外線を吸収する物質が含まれており、強烈な紫外線からサンゴを守っています。砂や泥など共生藻の光合成の妨げになるものが降り積もった場合は、頻繁に粘液を出して不要なものをベロッとをはがすことで、体の表面をきれいに保っています。さらに、粘液には餌をくっつける役割もあります。粘液に動物プランクトンやバクテリアをくっつけ、それを口に運んでいる様子が観察されています。

このサンゴ粘液は、主にムチンという糖タンパク質と多糖、脂質でできています。粘液のもととは共生藻がつくりだしています。共生藻から得た光合成産物の半分は粘液として体外に排出され、残りの半分は呼吸と成長に使われています。

オーストラリアのグレートバリアリーフで行った研究では、1日にサンゴ礁1㎡当たり、水中では約1.7リットル、潮が引いて空気に露出したときには4.8リットルと、大量の粘液が放出されていました。実験の結果、放出された粘液の平均70%は水に溶け、残りの30%はゲル状になることがわかりました。なお、海洋学では目の細かさが0.2～0.7μmのろ紙を通過したものを「溶けた」と定義します。

生態系内での粘液の役割

ゲル状の粘液は、水中で周りのバクテリアやプランクトン、砂粒などさまざま

な粒子を効率的に捕らえます。大きさがわずか0.2～2μmの、超微小なピコプランクトンと呼ばれるものも捕集することができます。1ミリリットルの粘液で1分間に2,300ものピコプランクトンを捕らえることができ、粘液中のピコプランクトンの密度は周囲の海水よりも常に100倍は高くなっています。それより少し大きい2～20μmのものでも、逆に0.02～0.2μmといったウイルスサイズのものでも効果的に捕まえることができます。

一方、サンゴが空気中に露出して大量に粘液を出した後も、大変興味深い現象が起こります。粘液は空気を含んでいて軽いので、潮が満ちてくると水面に浮かび、集まって粘液フロートと呼ばれるものになります(図7)。これにもいろいろなものがくっついていきます。オーストラリアでの実験では、わずか2時間で、なかの有機炭素量は980倍に、有機窒素は1,089倍に、植物の色素に至っては2,000倍に増加しました。

さまざまな粒子や砂粒などを捕集した粘液フロートは非常に重くなります。時間の経過とともにやがて泡がはじけ、沈んで生物の餌となります。海底では砂に吸い込まれ、バクテリアに分解され、無機化されて共生藻や植物プランクトンなどの栄養となります。こうしてサンゴ礁のなかでつくられたものは、その生態系のなかで循環し、いわばリサイクルされているため、サンゴ礁の外から入ってくる栄養が少なくても多くの魚や生物を養うことができるのです(図8)。サンゴ粘液は生態系において非常に重要な役割を果たしています。

一方、水に溶けたサンゴ粘液も、バクテリアに食べられたり砂に吸い込まれて

分解されたりします。粘液を食べたバクテリアは原生動物に食べられ、原生動物は動物プランクトンに食べられ、最終的に魚類に食べられるだろうといわれていますが、まだあまりわかっていません。私はその循環を明らかにするために研究を続けています。

危機にさらされるサンゴ礁

サンゴ礁は今、危機的な状態にあります。世界のサンゴ礁の20%はすでに壊滅したといわれています。健全なサンゴ礁は恐らく30%もなく、早ければ2030年までにあと60%が消滅するといわれています。この要因としてまず挙げられるのが、温暖化など全球的な気候変化による直接的な影響です。また、大気中の二酸化炭素濃度が上がると水中の二酸化炭素濃度も上がり、pHが下がって海が酸性化します。そうすると、サンゴが炭酸カルシウムの骨をつくれなくなりサンゴ礁全体が衰退してしまいます。

魚の捕りすぎもサンゴ礁を衰退させます。サンゴ礁には藻類を食べる草食魚がたくさんいて、その繁茂を防いでいます。草食魚が乱獲されると、より成長の速い藻類がサンゴの上を覆うため、サンゴが死んでしまいます。沿岸開発による土砂流入もサンゴ礁壊滅の要因です。沖縄ではこれが今、一番問題になっています。また、排水により海が富栄養化すると藻類が繁茂し、やはりサンゴが生息できなくなってしまいます。

藻類がはびくとると生態系がどのように変化するかを調べた研究では、底生の藻類も粘液を出すものの、サンゴ粘液とは違ってベタベタしていないため粒子を捕集できないことがわかりました。従って、生態系のなかでつくられたものをグルグルと循環させるメカニズムは消え去ると予想されています。海の酸性化が進むと、サンゴ礁はかたい骨を持たないソフトコーラル群集に変わるという予想もあります。ソフトコーラルも粘液を出すことはわかっていますが、その機能はほとんど研究されていません。これを調べることで、将来サンゴ礁がどうなるかを予測することも可能になると考えています。

サンゴ礁は本当に素敵な、素晴らしい生態系です。ぜひ一度、ご自身の目でご覧いただければと思います。

図6 粘液を出すサンゴ

海面上に露出したサンゴは、写真のように粘液をドロドロ口と出して乾燥や直射日光から身を守る。

図7 粘液フロート

放出された粘液は海面に浮いて粘液フロートとなり、さまざまなものを捕集する。

写真提供：座安佑奈(沖縄科学技術大学院大学)

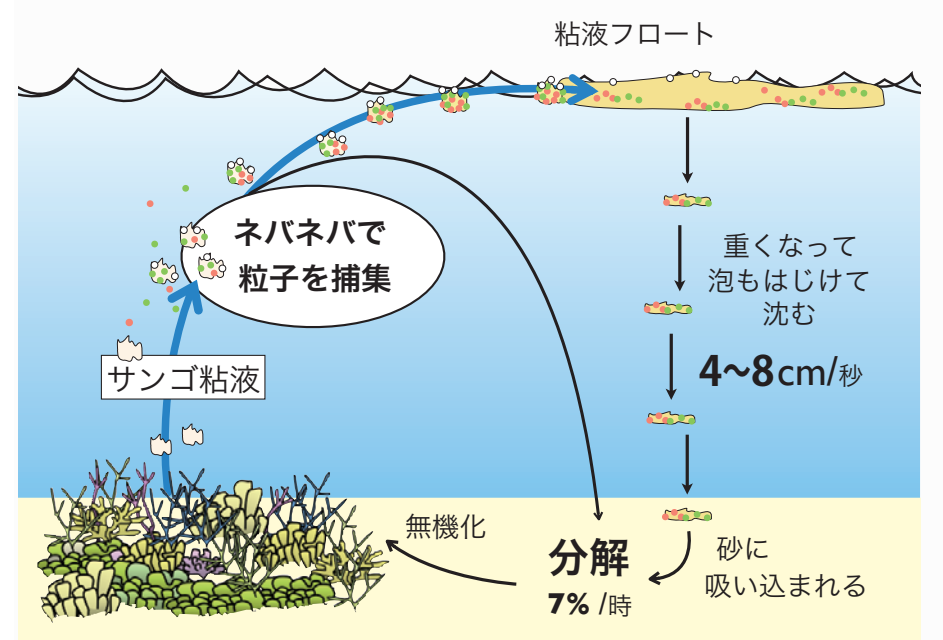


図8 サンゴ礁生態系でのサンゴ粘液の役割

放出されたサンゴ粘液の一部は、いったん浮上した後徐々に沈み、海底の砂に吸収される。この間に、魚、動物プランクトン、無腸動物、サンゴガニ、二枚貝、ソフトコーラル、クモヒトデなど、さまざまな生物の餌となる。海底に沈んだ後はバクテリアにより分解される。分解されるスピードは1時間に7%で、約15時間で完全に無機化され、共生藻や植物プランクトンなどに利用される。このように、サンゴ粘液はサンゴ礁内で物質を循環させ、豊かな生態系を支えている。