

サンゴの病気と媒介生物の役割：サンゴ礁保全の新たな展望 2017/2/18

鈴木 款 特任教授 静岡大学 創造科学技術大学院
カサレト ベアトリス 教授 静岡大学 グリーン科学技術研究所
鈴木 利幸 特任助教 静岡大学 創造科学技術大学院

石西礁湖の10年の短期目標では、環境負荷を積極的に軽減することが重要な課題として位置づけられている。オニヒトデ等による食害及び病気への対応や赤土、排水対策等の「攪乱要因の除去」が掲げられている。本調査研究の目的は「攪乱要因の除去」の推進に寄与する科学的知見を集積するため、近年石西礁湖内で増加している「サンゴの病気」をテーマに、サンゴ捕食生物や陸域由来の環境負荷との関係性を調査する。

陸域由来の細菌がサンゴの病原菌として確認されているが、この細菌は周辺の海水やフロック粒子中からは同定されていない。平成26年度では健全なサンゴ及び病気感染サンゴと捕食生物の保有細菌の種組成の比較を行ったところ、健全サンゴには見られないが、病気感染サンゴとオニヒトデや貝類等のサンゴ捕食生物に共通する細菌の存在が確認され、サンゴ捕食生物が細菌の媒介者としてサンゴの病気の発生や拡散に影響している可能性が示唆された。さらに細菌が病原菌として振る舞うには、サンゴが水温上昇や水質悪化等のストレスに対抗するために出す粘液等の有機物やアンモニア等の、細菌の増殖を促す物質の存在が必要である。

本年度は、健全なサンゴと病気に感染したサンゴ（以下、「病気サンゴ」という。）及びサンゴ捕食生物の保有細菌を遺伝子解析により同定し、サンゴの病気の発生状況、サンゴと褐虫藻への影響、サンゴ捕食生物の病原菌の感染の役割等を検証する。検証は温度や流れ、光などの条件が設定した実験水槽により感染実験を行った。

海水を一定量注入する制御装置付き温調水槽30個を用いた（海水タンク及び水槽は細菌の大気からの侵入を防止するため、密閉構造とした）。海水の注入はチューブポンプを使用し、孔径0.2 μ mで濾過した海水を流速1ml/minで連続供給し、実験水槽からの排水は全て滅菌処理を行った。各水槽の攪拌はマグネティック・スターラーで行い、温度調節は、チタンヒーターと循環冷却用クーラーで行った（温度制御 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）。光量は、180~350 $\mu\text{E}/\text{cm}^2$ とした。実験期間は8月17日~25日の8日間、各水槽には健全サンゴを3検体ずつ入れ、[細菌条件7条件 \times 水温条件2条件（27 $^{\circ}\text{C}$ と32 $^{\circ}\text{C}$ ） \times サンゴ毀傷有無の2条件]について各4水槽、計30水槽を使用した。毎日11時に海水供給を止め、細菌を添加（添加濃度 $10^6/\text{ml}$ ）し、3時間の接触処理を行い、14時に海水供給を再開した。

ミスジチョウウチョウウオ、シロレイシダマシ、オニヒトデと病気のサンゴから検出された *Pseudoalteromonas shioyasakiensis*、*Pseudoalteromonas ganghwensis* は主に陸起源細菌であり、健康なサンゴへの影響は大きい。光合成活性測定（PAM）・色素・褐虫藻密度の測定から褐虫藻へのダメージは大きく、呼吸量の増加と酸素濃度の減少が認められる。

このバクテリアによりサンゴは非常に早く白化と組織の剥離が観察された。白化の促進と病気の促進に、ミスジチョウチョウウオ、シロレイシダマシ、オニヒトデ等の食害と病原菌の感染が重要である。他に *Vibrio splendidus* は主にチョウチョウウオに存在し、サンゴの白化を促進する。*Vibrio owensii* と *Pseudoalteromonas ganghwensis* および *Pseudoalteromonas shioyasakiensis* は高水温とバクテリアのストレスによりアンモニアとリン酸および有機物の放出は著しく、そのため藍藻や微細藻類の繁殖を促進している。特に 32°C のストレス下で、かつ傷ついたサンゴは炭水化物、脂質、タンパク質を大量に放出する。藻類の付着によりサンゴの生命維持システムの機能は停止したのか、実際には藻類や藍藻が付着したサンゴでも褐虫藻密度は高く、サンゴに対して有機物の供給をわずかであるが維持している。媒介生物に生息している様々なバクテリアの種類は数十万である。今回の調査研究ではこれらの媒介生物から抽出したバクテリアのコロニーを 400 以上作成し、DGGE やメタゲノム解析により数十万のバクテリアの存在を明らかにした。しかし、未知の同定できないバクテリアが数多くあり、今回の実験で取り上げたバクテリア以外にも大きな影響を与えるバクテリアが存在する可能性がある。しかし、この 6 種のバクテリアからさえ、媒介生物、特にオニヒトデ、シロレイシダマシ（食巻貝）、チョウチョウウオはサンゴの保全・再生等に大きな影響を与えていることは明らかである。オニヒトデ、シロレイシダマシ（食巻貝）の駆除はサンゴ礁の健全な発達を促進するためには不可欠である。

私たちの眼で見ているサンゴの状態とサンゴ内部で起きている生命維持の仕組み、病原菌や高水温に対するサンゴや褐虫藻の防御戦略はまだ解明すべき問題が多くある。特に今回さらに明確になった事実は、サンゴ礁という貧栄養海域で、白化や病気なぜバクテリア、藍藻や微細藻類が繁殖するのか、かれらはどこから栄養塩や有機物を得ているのかの疑問が解決した。サンゴ自身がストレス下で、大量の栄養塩や有機物を放出する。この放出により、バクテリアが増殖し、粘液により餌として捕食している可能性、さらに藍藻や微細藻類の増殖によりバイオフィルムの形成により、強い紫外線の軽減、さらに水温の軽減の役割をしている可能性がある。通常は繁殖した藍藻や微細藻類は魚等により捕食されサンゴの表面から除去されている可能性がある。しかし、最近のサンゴ礁における魚等捕食生物の減少により、サンゴ礁全体のシステム、相互扶助の関係が壊れていることが主要な原因と考えられる。サンゴ礁保全をサンゴだけでなく、サンゴ礁の生態系全体を構成する多様な生物群集全体をいかにバランスよく保全・管理していくかが課題である。モニタリングの在り方を含め新たな方策が必要である。

サンゴ礁保全を外見の観察だけで判断できない、時にそれは私たちが解決できない方向に導くことがある。科学的研究の裏付けへと進めない限り本当の意味での保全や再生はできない。10 年の石西礁湖の事業は大きな転機を迎えている。もはや避けられない地球温暖化、海水温の定常的な上昇、海流の変化、海洋酸性化、新たな病原菌の出現等私たち直面する環境変動に立ち向かう新たな方策が必要である。その中心はサンゴ礁のシステムを理解することにある。

「サンゴ礁モニタリングの新たな視点：サンゴの代謝活動を計測する」

静岡大学 創造科学技術大学院

鈴木 款 ベアトリス カサレト

サンゴ礁生態系はマクロな生物群集とミクロな生物群集で構成されている。マクロな生物群集を構成している生物はサンゴ、ナマコ、ウニ、魚介類、ウミガメ、ウミヘビ等多くが知られている。主に肉眼で観察できるものが大部分である。これに対して、ミクロな生物群集を構成している主な生物群集はサンゴに共生している植物プランクトンである渦鞭毛藻類の仲間属する褐虫藻、サンゴ等のマクロ生物群集に付着している付着藻類、従属栄養微小生物の仲間であるバクテリア、従属栄養ナノ鞭毛虫、原生動物（プロトゾア）の仲間の繊毛虫、さらには光合成と窒素固定をするシアノバクテリア（藍藻） 光合成細菌と非常に多様であり、これらの生態系全体が互いに連携・連動した代謝活動をしている。この生態系全体の仕組みや循環を維持しているのが栄養塩や有機物循環である。このように、サンゴ礁は多様な生物群集の場であり、物質循環の場であることをまず理解をすることが重要である。

サンゴが健康であるか、無事に成長し、サンゴ礁として定着、拡大しているのかは、サンゴ自身の代謝活動に起因しているが、それを支えているのは主にミクロの生物群集と栄養塩や有機物循環である。したがってサンゴの理想的なモニタリングは、サンゴ自身の代謝活動（光合成：クロロフィル・呼吸：酸素）、重要な餌であるバクテリア、ピコ・ナノプランクトンの生産・消費、それを支える海水中の栄養塩、有機物の変化と水温・塩分・光量のデータを取得することである。海水中の栄養塩や有機物の濃度や分布のデータは、サンゴの近傍での観測が必要であるが、これらのデータはサンゴの代謝活動が十分可能かどうかの判断は可能であるが、直接のサンゴの代謝活動の評価にはならない。健康状態を判断する代謝活動の評価は、単位時間当たりの栄養塩の消費や、有機物の生産量、餌としての消費速度と、一日から数日の時間観測が基本である。さらに、この時間変化の季節毎の違いに関してもデータが必要である。

具体的にどのようなモニタリングが必要か。サンゴの健康状態や成長の度合いを判断するデータはサンゴの代謝活動（PAMによる光合成能や溶存酸素による生産と呼吸）を直接測定する方法がまず、第一に検討すべきことである。これはサンゴの観察時に、PAMという機器により簡単に光合成能（褐虫藻密度の程度や光合成活動に起因する測定量）を測定できる。測定時間は数分である。同時に

サンゴ周辺の水温と光量を測定する。これも簡単に測定できる測定器があり、数分でできる。可能なら目的のサンゴのポリプの表面（できるだけ近いところ）に溶存酸素測定器を設置する。この時対象として数センチ離れた海水中にも同じ測定器を設置する。この測定は最低30時間連続で行う。朝設置して、翌日の昼頃引き上げる。これによりサンゴの一日に代謝活動のリズムが測定でき、サンゴが健全に成長しているかどうか判断できる。さらに、サンゴのできるだけ近い場所で海水を採取し、有機物、栄養塩、バクテリアの測定を行う。この際12時ごろと夕方18時ごろの2回海水を採取し、その変化量を知ることが必要である。さらに重要なのは流速である。流速計を設置し、できるだけ連続的な観測が必要である。

これらの方法は、大変な作業ではなく、すでに確立している方法である。もし、移植サンゴのモニタリングが必要なら、この方法と項目は欠かせない。そうすれば、従来のサンゴの観察項目である、被度、形状、成長面積あるいは長さ（横にどの程度広がりが見えるか）、色、白化や病気の有無と合わせて、サンゴのバイオモニターになる。

単に水質のモニタリングやサンゴの外からの観察だけでは、サンゴの成長の度合いや、あるいは白化や、病気、さらには成長できない原因を本当にさぐることは非常に難しい。サンゴ自身の代謝と流速を数字として計測すること、このデータを季節、場所により蓄積することが不可欠である。