

サンゴの病気と白化：サンゴで何が起きている 2017/2/19

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」「サンゴの白化のバクテリアによる加速」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研究している。

陸域由来のバクテリアがサンゴの病気や白化の病原菌になっているが、周辺の海水やフロック粒子中にはほとんど含まれないことが明らかになった。健全なサンゴ及び病気感染サンゴと捕食生物の保有バクテリア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、病気や白化に感染した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バクテリアの存在が確認され、サンゴ捕食生物がバクテリアの媒介者としてサンゴの病気や白化の発生に影響している。さらにバクテリア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、バクテリアの増殖を促す物質の存在が必要である。

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バクテリア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検体ずついれ、[バクテリア条件7条件 \times 水温条件2条件 \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、バクテリアを添加（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 shioyasakiensi*、*Pseudoalteromonas ganghwensis* は主に陸起源バクテリアであり、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。サンゴの白化は、サンゴが褐虫藻を高水温下で体外に放出するのではなく、サンゴ内部での褐虫藻の凝縮、透明、分裂が起こり、光合成色素・蛍光が喪失し、かつ褐虫藻が体内で 60% 近く喪失する（サンゴによる消化の可能性）ことにより起こることを実証した。体外への褐虫藻の放出は、異常な細胞を主に放出する (0.5% 以下) これはサンゴが不要な細胞を排出するサンゴの正常な生命維持で、さらに高水温下で生成が増加する活性酸素を減少させるために、褐虫藻のクロロフィル a (活性酸素を発生する) シクロエノールに変換し、光毒性を軽減していることも明らかにした。白化はバクテリアが加速することも明らかにした。白化の原因は高水温だけでなく、バクテリアの関与、サンゴの生存戦略 (飢餓状態からの回復) 等が複雑関与していることが初めて明らかにされた。白化の研究はサンゴが高水温下での被害者として、なすすべがない状態と考えられてきたが、メカニズムの解明を通じて、白化時のサンゴの飢餓状態をいかに改善するか、あるいは餌をどうするか、抗酸化物質 (ビタミン E はサンゴ体内のバクテリアが生成) をどう増やすか、新たな研究段階に進んでいる。

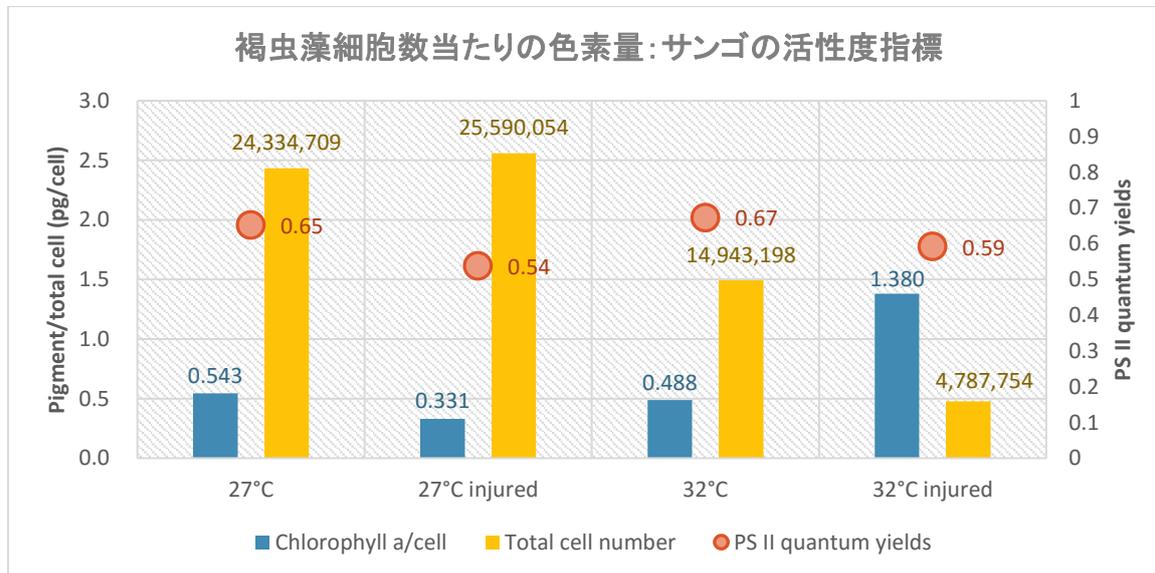
大事なことは白化や病気を起こしていても、あるいは微細藻類が表面に繁殖していてもサンゴ内の正常な褐虫藻はゼロではない。さらに褐虫藻の細胞数は高水温と高水温+傷の複合ストレスで減少したが、細胞当たりの色素量は複合ストレスで増加しており、サンゴ表面積辺りの光合成能の確保ができていると言える。光合成活性は高水温条件で通常の水温と同等の数値であり、高水温+傷の複合ストレスでも通常の水温で傷のみの条件とほぼ同等の数値であった。このことから、複合ストレス条件で褐虫藻細胞数の減少が起こっても、光合成能を保ち、ストレスのなくなった後に回復する可能性が示された。

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、白化や病気でなぜバクテリア、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およびサンゴの遮蔽効果等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、時にそれは私たちを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。



32°Cで褐虫藻の細胞数は減少し、クロロフィル濃度も減少するが、単位細胞数ではクロロフィル濃度は同じか、高い。これは残存している正常な褐虫藻が光合成をより効率的に行い、サンゴへの有機物供給をできるだけ維持しようとしていることである。この時にできるだけ遮蔽し、サンゴへの紫外線量や高水温を軽減すれば回復が早い可能性が高い。