

LED ライトで育てたサンゴによる白化地域の再生を目指して ～サンゴと褐虫藻の共生メカニズム～

玉川学園高等部 3年 平井 亮太

1. 研究の目的と背景

現在、サンゴの大規模な白化問題が深刻化している。全海洋面積の内サンゴが生息する地域はわずか 0.1% にしか満たないが、そのサンゴ礁の中には全海洋生物種の 4 分の 1 が生息する¹⁾ と言われている。サンゴ礁は「海のゆりかご」とも呼称され様々な生物の住処や産卵場所を与え、サンゴ礁域生態系の根幹を担っている²⁾ (図 1)。

私は 2015 年に沖縄の美しい海を見て感動した。しかし 1 年後の 2016 年に沖縄の海に潜った時、サンゴは大規模に白化していて 1 年前の海の美しさはなくなっていたことに衝撃を受けた(図 2)。2016 年は海水温の高い日が続いたことが原因で大規模な白化が起きたと考えられている。国際自然保護連合(IUCN)の調査によると、2019 年時点で世界では 3 分の 1 のサンゴの種類が絶滅の危機に瀕している³⁾ と言われている。

私は、減少しているサンゴの資源を確保するために、サンゴを効率的に育てる方法を見つけ出し自然界に返すことはできないか考えた。そこで、「LED ライトで育てたサンゴによる白化地域の再生を目指して」というテーマで研究を行った。本研究では LED ライトの波長の違いがサンゴの成長や共生している褐虫藻に与える影響に着目して実験を行った。



図 1 生態系の基盤となるサンゴ礁



図 2 2016 年 白化が目立つ石西礁湖のサンゴ

2. 基礎知識 サンゴについて

サンゴがどのように栄養を摂取して成長しているか説明する。サンゴは体内に共生している褐虫藻という植物プランクトンから栄養をもらい生きている⁴⁾ (図 3)。褐虫藻は光合成を行い、光合成産物をサンゴに供給している(図 4)。先行研究によると褐虫藻はサンゴが必要とする栄養の約 90%以上を供給していることがわかっている⁵⁾。つまりサンゴの成長を促進するには褐虫藻の働きが要点となる。近年、水質の悪化や海水温の上昇によって褐虫藻がサンゴの体内から減少するこ

とが分かっている。褐虫藻によって鮮やかな色であったサンゴは骨格だけの白色になる。これらが近年深刻な白化現象の仕組みである。

サンゴに共生する褐虫藻は大別して A、B、C、D の四つのグループに分けられ、そのグループをクレードと呼ぶ。日本に生息するサンゴの 9 割はクレード C の褐虫藻と共生⁶⁾ していて、今回の実験で使用するミドリイシサンゴも褐虫藻 C を保有している。

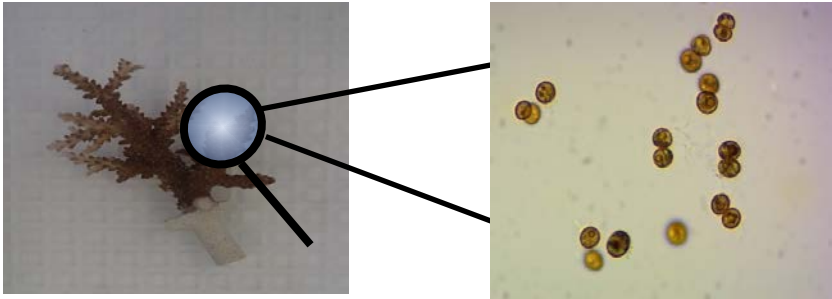


図 3 サンゴに共生する褐虫藻

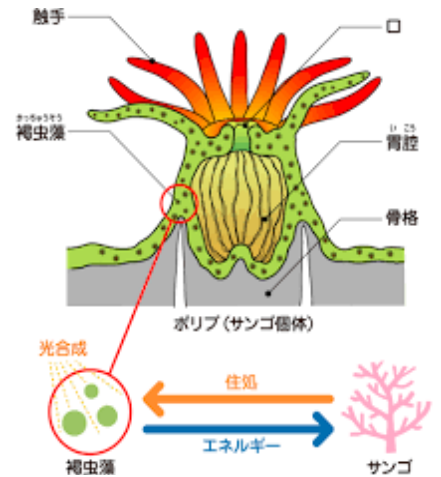


図 4 サンゴと褐虫藻の関係
『サンシャイン水族館サンゴプロジェクト』より引用

LED ライトについて

LED ライトが放つ光について説明する。光は波長の性質を持っていて、波長の長さによって光の色が決まっている。太陽光の中で、私たちの目に見える光は、波長が約 400nm から 800nm の間の光で可視光線と呼ばれるものである⁷⁾ (図 5)。

LED 照明は調光、調色を自在に変えられて優れた光源を放つことができる。さらに、LED 照明は蛍光灯に比べて消費電力が少なく発熱量を抑えることができる。今回の実験では LED 照明を使い可視光線の赤色光、青色光、緑色光、青紫色光、そして紫外線を使用して、光を必要とする造礁サンゴの成長への影響を調べた。

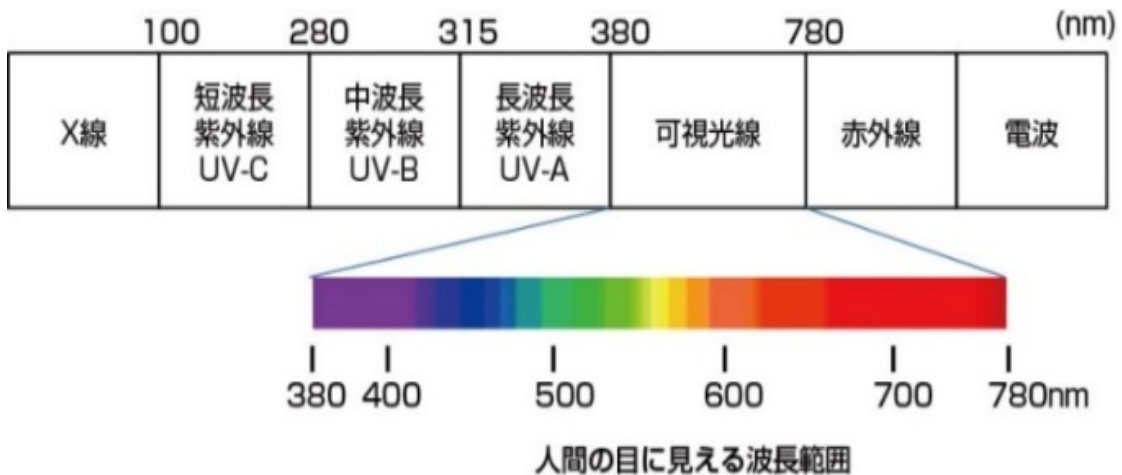


図 5 光の仕組み
『株式会社トプコンテクノハウス』より引用

3. 実験

【実験 1】 LED の波長の違いによるサンゴの成長変化と光合成量の変化

光の波長の違いによるサンゴの成長変化、光合成量の変化について調べた。

【方法】 6つの水槽を用意して各水槽にミドリイシサンゴをそれぞれ6個体ずつ入れて特定の光[UV、紫、青、緑、赤、自然光]を当て6か月間の成長を比較した(図6)。

その後、成長変化を水中重量法により測定した(図7)。この実験と同時にサンゴの光合成量の変化も溶存酸素計により測定した(図9)。

表1 各水槽の光質

UV 光 300 nm	紫光 400 nm	青光 460 nm	緑光 560 nm	赤光 700 nm	自然光 380~ 780 nm
第1 水槽	第2 水槽	第3 水槽	第4 水槽	第5 水槽	第6 水槽

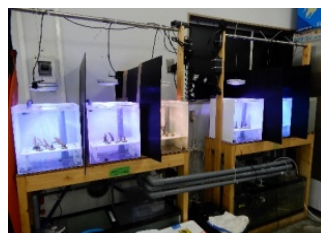


図6 比較水槽の様子



図7 水中重量法



図8 ミドリイシサンゴ



図9 光合成測定

【考察】

実験の結果はグラフ1のようになった。赤色光、青色光の光を当てた水槽内では成長が促進され、UV光を当てた水槽内では他の光を当てたサンゴに比べて成長が抑制された。今回、実験で使用したサンゴが保有している褐虫藻Cはクロロフィルa・cを持っている。クロロフィルとは植物や褐虫藻の葉緑体に含まれる光合成色素のことであり、光を吸収する働きがあり光合成をする上で重要な役割を果たしている⁸⁾。クロロフィルにはいくつかの種類があるが、サンゴに共生している褐虫藻はクロロフィルa・cと言われる種類を含んでいる⁸⁾。図10で赤色光と青色光のところで線が跳ね上がっているが、これは赤色光と青色光が褐虫藻の光合成に使われているということを表す。実際に光合成量の変化も赤色光と青色光で促進された結果となった。光合成量の変化(折れ線グラフ)とサンゴの成長変化(棒グラフ)を比較するとお互いが重なり合うグラフになった。このことから、今回の実験では褐虫藻の光合成に必要とする赤色光と青色光を当てたことで褐虫藻の光合成活動が促進され、結果的にサンゴの成長を促進させたと考えられる。これらの結果より光質の違いを利用し、褐虫藻の光合成量を増加させる光を当てることでサンゴの成長を促進することが可

能であると証明できた。

グラフ1 サンゴの成長と光合成量の変化

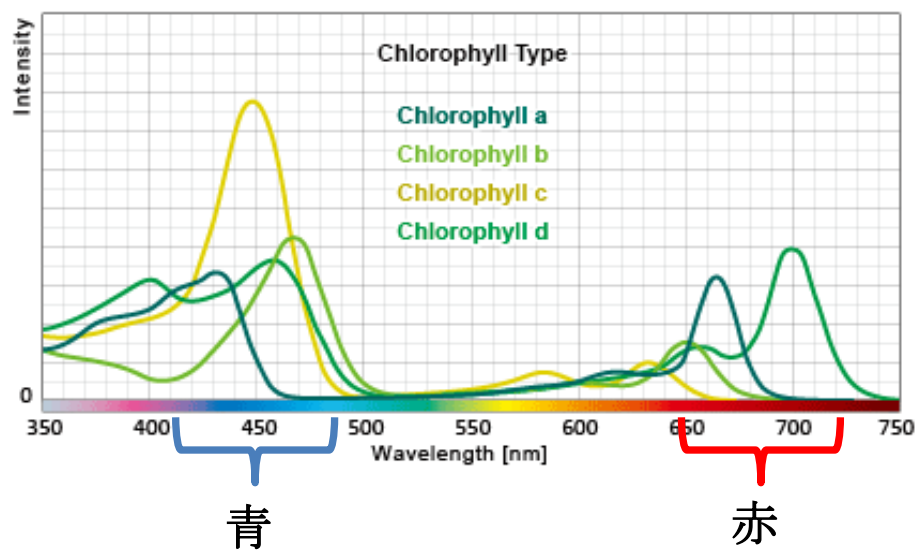
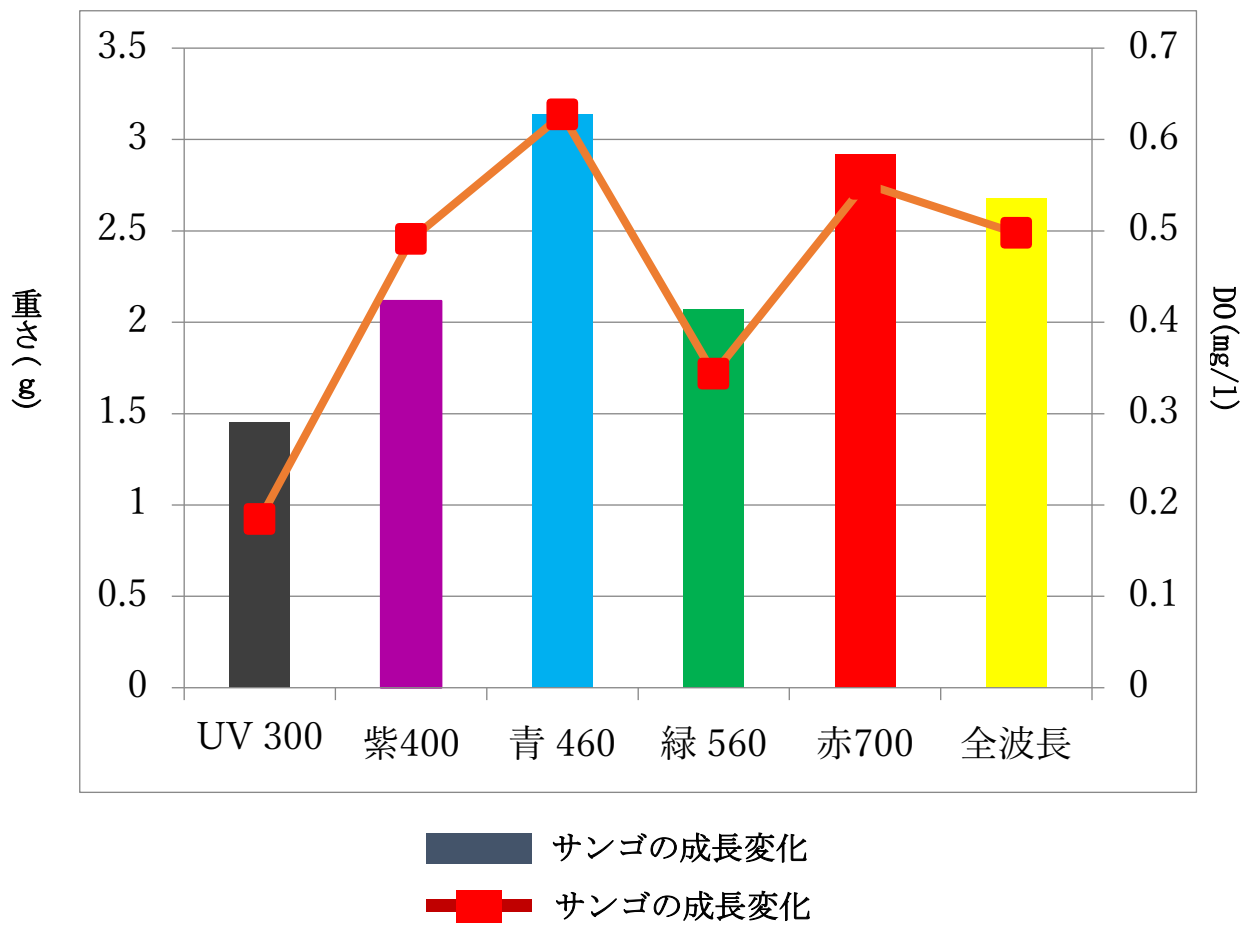


図10 サンゴが保有する光合成色素

【実験 2】 LED ライトの波長の違いによる褐虫藻の増殖変化

サンゴに共生する褐虫藻の増殖に適した光について調べた。

【方法】

ミドリイシサンゴから褐虫藻を単離し、無菌化した。無菌化した褐虫藻を IMK 寒天培地に 9 コロニーを植藻したプレート(図 11)を 6 枚作った。温度は褐虫藻が最も増殖しやすい 28℃に統一し、LED ライトの光条件[UV、紫、青、緑、赤、全波長]で 168 時間褐虫藻を温度勾配機で培養した。その後、褐虫藻のグロース(成長・増加量)を顕微鏡によるコロニー撮影と ImageJ を用いた画像解析⁶⁾により面積と色の濃さから測定した(図 12)。

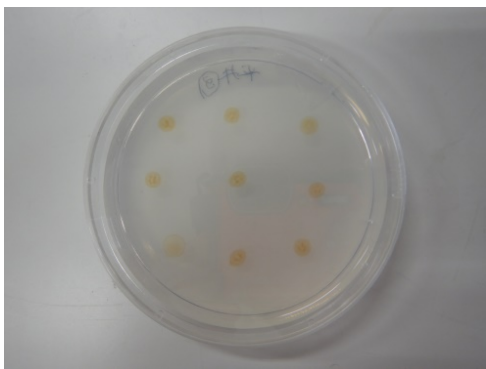


図 11 寒天培地に植え付けた様子

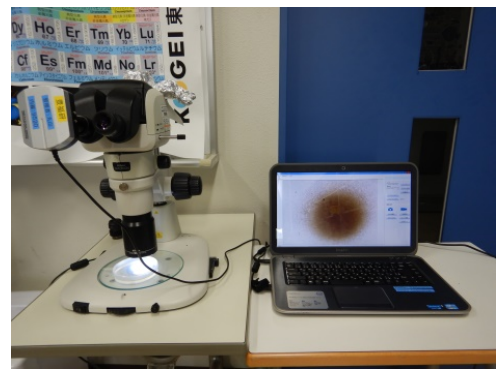


図 12 コロニーの撮影

結果

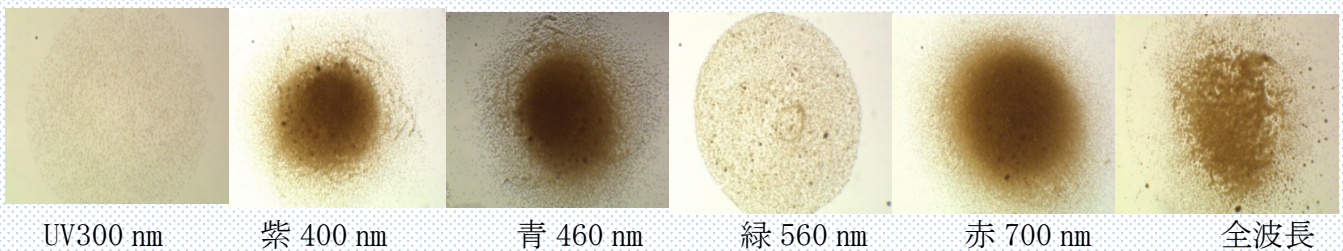
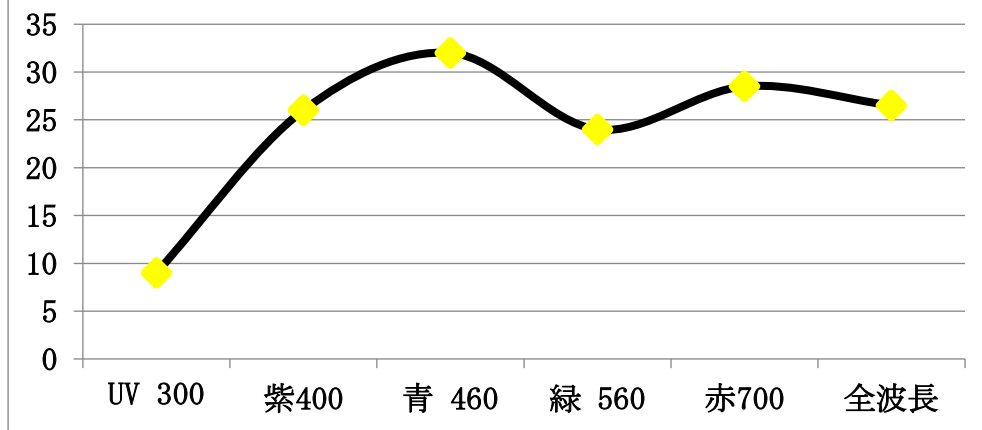


図 13 コロニーの増殖変化

グラフ2 共生藻の増殖と光波長の関係



結果は赤色、青色光で増殖が促進され、緑色光、UV 光で増殖が低下した。

【考察】

赤色光と青色光は光合成量を促進させるだけでなく褐虫藻の増殖も促進させる効果があると考えられる。このデータを利用して、以前までは時間がかかり難しかった褐虫藻の培養を赤色光と青色光を上手くコントロールすることで効率的に行う方法を確立することができると考えている。

【実験 3】 褐虫藻の走光性に関する実験

褐虫藻の好む光について調べた。褐虫藻は共生状態では卵形だが、単離すると鞭毛を利用して泳ぐ性質がある。褐虫藻が自ら移動する性質を利用して、褐虫藻が集まる特定の波長を調べる。実験 1,2 の結果から褐虫藻の光合成活動と増殖を促進させた赤色光と青色光に集まると仮説を立てて実験を行った。

【方法】

IMK 寒天培地に切り込みを入れて、その中に培養液とサンゴから単離させた褐虫藻を入れる(図 14・15)。各波長の LED ライト[UV、紫、青、緑、赤](図 16)を当てて 24 時間後、各ライトの範囲から培養液をそれぞれ 500 μl ずつ均一に取り血球計算盤により褐虫藻の個体数の平均値を求めた。なお実験 3 では LED ライトの熱により水温が上がるのを防ぐために、28 $^{\circ}\text{C}$ に設定した温度勾配恒温器に入れて実験をおこなった(図 17)。



図 14 切り込みを入れる様子



図 15 褐虫藻を入れる様子

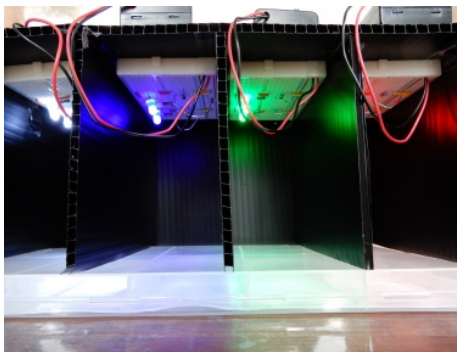
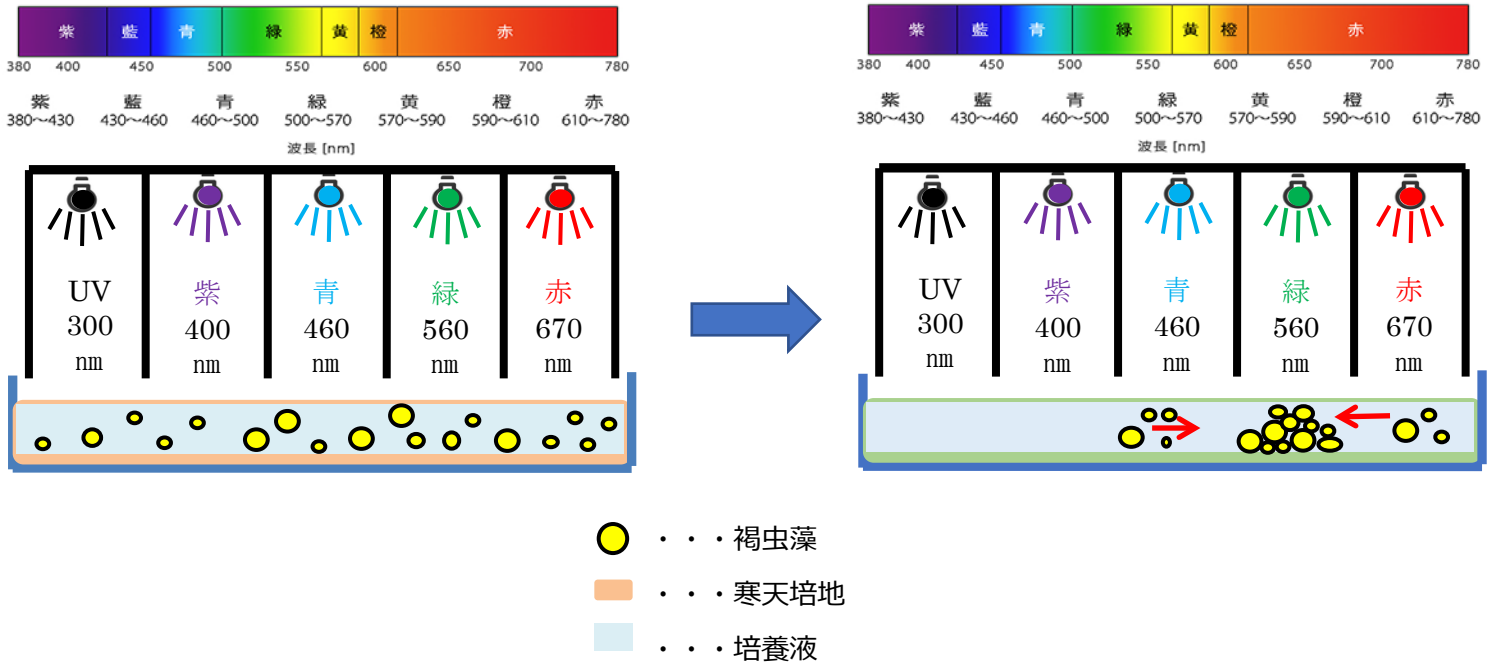


図 16 光を当てる様子



図 17 温度勾配恒温器

【結果】



褐虫藻の増殖と光合成活動を促進させた、赤色光と青色光ではなく、緑色光に褐虫藻が集中して集まった。

【考察】

実験結果から緑色光（560 nm）に最も強い正の走光性を示し、UV 光(300nm)に対して負の走光性を示すことがわかった。実験前は褐虫藻の光合成量や増殖を促進させる赤色光と青色光に褐虫藻が集まりやすいという仮説を立て実験を行った。しかし、仮説は立証されず、緑色光に褐虫藻が集まった。その理由としてサンゴは体内に緑色蛍光タンパク質(GFP)を保有していて紫外線を吸収することにより自ら緑色光を放つことが知られている⁹⁾。この性質については今まで注目して研究されてこなかったが、今回の研究データからサンゴは自ら緑色光を放つことで成長に必要な褐虫藻を集め、体内に取り込みやすくしているという考え方もできる。今回の実験データを利用して褐虫藻を簡単に収集して培養する方法を確立することに応用したいと考えている。

【結論】

サンゴの成長には赤色光と青色光が適していることがわかった。同時に褐虫藻の光合成量と増殖も赤色光と青色光が適していることがわかった。このことからサンゴの成長と褐虫藻の働きには密接な関係性があると結論付けられる。そして、実験 3 より褐虫藻は緑色光(560 nm)に正の走光性を示すことが確認できた。サンゴが成長に必要な褐虫藻を自ら光を放つことで体内に取り込みやすくする働きがあるという新しい考え方が期待できる。

4. 今後の展望

今回の研究を利用して移植用サンゴを効率的に育てることが可能になれば、サンゴの白化が深刻な海を再生することができると思う。さらに、緑色光に褐虫藻が集まるという研究データを利用して実験に使用する褐虫藻を低コストで効率的に培養させる方法を確立したい。今後も実験を繰り返しデータの信憑性を高め研究を発展させていきたい。

5. まとめ

サンゴが減少している現在において、サンゴを守る研究は重要である。私は成長したサンゴを移植させる活動を通してサンゴの保全に携わった。しかし、いくら育てたサンゴを自然界に戻したり研究を続けたりしても、海の世界そのものが汚染されている美しい海を取り戻すことは難しいのではないだろうか。私たちのできる小さな取り組みを積み重ねることが環境保全への大切な一歩であることを意識して今後の研究活動を発展させたい。

◆参考文献

- 1) 中村庸夫『サンゴとはどんな生物か』新光社, 2007年
- 2) 本川達雄『サンゴとサンゴ礁のはなし』中公新書, 1953年
- 3) 鈴木よしみ 大葉英雄 土屋誠『サンゴ礁学』東海大学出版会, 2011年
- 4) 中野義勝「近年のサンゴの白化現象と大規模なサンゴ礁の白化現象」『J-STAGE』56, 119-112, 2002年2月
- 5) 藤岡換太郎「サンゴの白化」coral bleaching. 2017年05月19日, 『Japan knowledge Lib』アクセス日: 2017年05月19日
- 6) 諏訪 僚太 1), 井口 亮 2) 3)「造礁サンゴに共生する褐虫藻の分子系統学的研究に関するレビュー (北西太平洋を中心に)」『琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所 2) ジェームズ・クック大学 3) 琉球大学理工学研究科』10, 13-23, 2009年
- 7) 岡本 研正 柳 智博「RGB 3色高光度LEDを用いた植物栽培と生育センシング」『応用物理』68, 156-160, 2009年2月・西田 嘉夫 山中 正宣「赤色LDと青色LEDの植物栽培実験への応用」『レーザー研究』25(1997), 845-849, 2010年2月
- 8) 日出間 純 姜 恵淑 佐藤 雅志 熊谷 忠「紫外線量(UV-B)の増加がイネの生育に及ぼす影響(6. 植物の代謝および代謝成分)」『東北大学・遺生研』6(36), 112, 2017年6月
- 9) 基礎生物学研究所, 東北大学, 産総研共同研究「サンゴがもつ緑色蛍光タンパク質の働きが明らかに〜蛍光による共生パートナーの誘引〜」2019年1月21日

◆インタビュー

- ・株式会社環境技術センター 小泉嘉一様 (2017年6月15日)
- ・久米島町長 大田 治雄様 (2019年7月25日)