公　益　財　団　法　人

下中記念財団

The Shimonaka Memorial Foundation

下中科学研究助成金取得者研究発表

研究発表一覧は下記からご覧いただけます。

https://www.shimonaka.or.jp/3s-grant-contest/

異なる光波長のLEDを照射した場合の緑藻海ぶどうの生長

静岡県立駿河総合高等学校
金子　誠

１．はじめに

クビレズタ *Caulerpa lentillifera* は暖かい海に生育する海藻（緑藻）で、その姿から海ぶどうとも呼ばれている。暖かい海に生息する緑藻類の仲間で、グリーンキャビアなどとも呼ばれている。以下、本報告では親しみやすい海ぶどうと表記する。

沖縄では、古くから食用とされてきたが、保存性が低く、低温に弱いため、これまで都市部では扱われてこなかった。しかし、数年前から宮古島で養殖が始まり、流通技術も向上したため、最近では、静岡市内のスーパーマーケットなどでも見かける機会が増えてきた。海ぶどうは、蒲萄枝（ほふくし）と呼ばれる茎を伸ばし、海底に固着するための仮根を持つ（写真１）。匍匐枝から水面に向かって、直立した葉状部を生やし、このぶどうのような房の部分が食用となる。低カロリーで食物繊維やビタミンが豊富に含まれていることから、健康志向にある高齢の方やダイエット効果を期待する若い女性などに、これから需要が見込まれている。

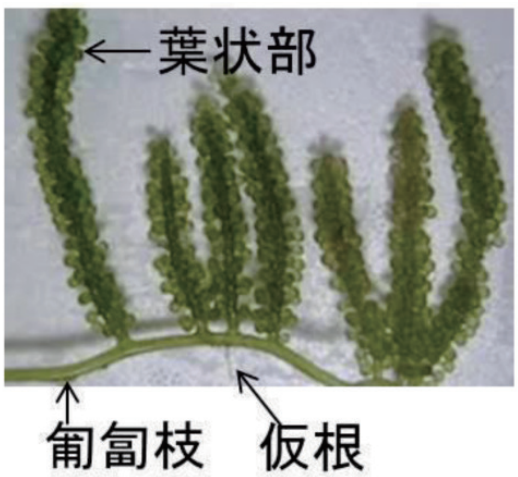

写真１　海ぶどうの構造

藻類を養殖するためには、対象種の生長や光合成に最適な水温や栄養塩濃度、光量、光波長について調べる必要がある。海ぶどうについては、最適水温や栄養塩が生長に与える影響について調べられているものの、光環境条件に関する知見はあまりない。宮古島では、温暖な気候を利用し、太陽光により海ぶどうを養殖している。しかしながら、海ぶどうの生長が最も良くなるのは、水温が 24 ℃～ 27 ℃となる夏場のみであり、今後の需要拡大に対応するためには、温暖な地域以外でも周年を通じて養殖する必要がある。この場合には、屋内の温調設備の整った施設で養殖することになるため、太陽光を用いることは難しい。したがって、室内光を使用する必要があり、有力なものとして LED が挙げられる。LED は白熱電球と比べて、電力消費量が約 1/5 で、寿命も長い。そしてなにより特定の波長の光を放出することができるため、海ぶどうの生長に最も適した光で養殖することが可能になると考えられる。さらに、異なる光波長条件下で育てた海ぶどうでは、その特定の波長で生長が異なった（申請者実験：未発表）ことから、生体内部の光合成色素の組成にも違いあると考えられる。具体的には、吸収波長がそれぞれ異なるクロロフイル a と b、カロテンやキサントフィルといったものである。これらの色素はヒトに対して、さまざまな機能性があることが報告されて

おり、カロテノイド系のものには抗肥満作用などがあるとされている。中でも、緑色光（540nm）を吸収するシフォナキサンチンやシフォネインは緑藻類の一部にみられる光合成色素で、海ぶどうにもその存在が確認されている。シフォナキナサンチンについては脂肪細胞への分化を抑制するような作用や血管新生を阻害することも報告されている。仮に異なる光波長を照射することによって、これらの機能性をもつ光合成色素が増加すれば、肥満を予防する機能性食品や化粧品の開発につながることも考えられる。

本研究は、高校生の理科学的好奇心を引き出すことを大前提に、異なる光波長を照射したときの海ぶどうの生長を調べることとした。

２．方法

研究に先立ち、静岡県立駿河総合高等学校理科室の奥に、黒色の 60L 容量ポリカーボネート製直方体水槽を４基用意した。４つの水槽を塩ビパイプで連結し、それぞれの水槽に飼育水が循環するように加工した。温度調節には鑑賞魚用のクーラー（ZC100；レイシー社製）を使用し、水温が 28 ℃になるように調温した。水槽の上面には塩ビパイプで作製した骨組みを設置し、自然光が入らないよう骨組み全体を３重にした黒色ビニール袋で覆った（写真２・３）。各水槽には赤、緑、青、白色の LED を24時間照射した（写真４）。飼育用水には人工海水（マリンソルト；テトラ社製）を規定量溶かして使用した。また、栄養添加剤としてクレワット 21（藻類の増殖に必要な窒素、リン、金属、ビタミン類などを含んだ溶液）を使用した。

平成30年７月31日に静岡県藤枝市にある宮古島アンテナショップより海ぶどうの母

写真２　実験装置を組み立てている様子

写真３　完成したLED発光装置

写真４ 各色のLEDを海ぶどうへ照射している様子

藻をいただき、上記水槽内へ 100 ｇずつ収容した。海ぶどうは自然界では、砂地などに仮根で付着している。そこで、水槽内で海ぶどうが舞わないように、目あい 10mm の網の下に海ぶどうを収容した。毎日、光量子量（光の強さ）と水温・塩分・pH を記録し、窒素源を調べるために試水をサンプリングし、パックテスト（水質を簡便に測定するキット；WAKO）で測定した。また、１週間ごとに葉状部の最大長を画像解析装置（Win roof 2018；三谷商事株式会社製）を用いて測定した（写真5）。

生育した海ぶどうの藻体については静岡市清水区三保の東海大学海洋学部水産学科齋藤寛教授所有の HPLC-Ms（液体クロマトグラフィー質量分析計；日本電子株式会社製）（写真６）を用いて、クロロフィル（緑色系色素）含量、およびカロテノイド系（黄色）色素について分析した。95 %エタノールに 24 時間、海ぶどうを浸漬し、抽出液を得た後、上澄み液を 0.45μm のフィルターに通し（写真７・８）、試料とした。試料注入後の分析条件としては、蒸留水 50 %：メタノール 50 %の割合から、最終的にメタノール 100 %とし、この状態を 20 分間保持した。しかしながら、分析結果については時間的な都合上、本報告に間に合わなかったため、割愛する。

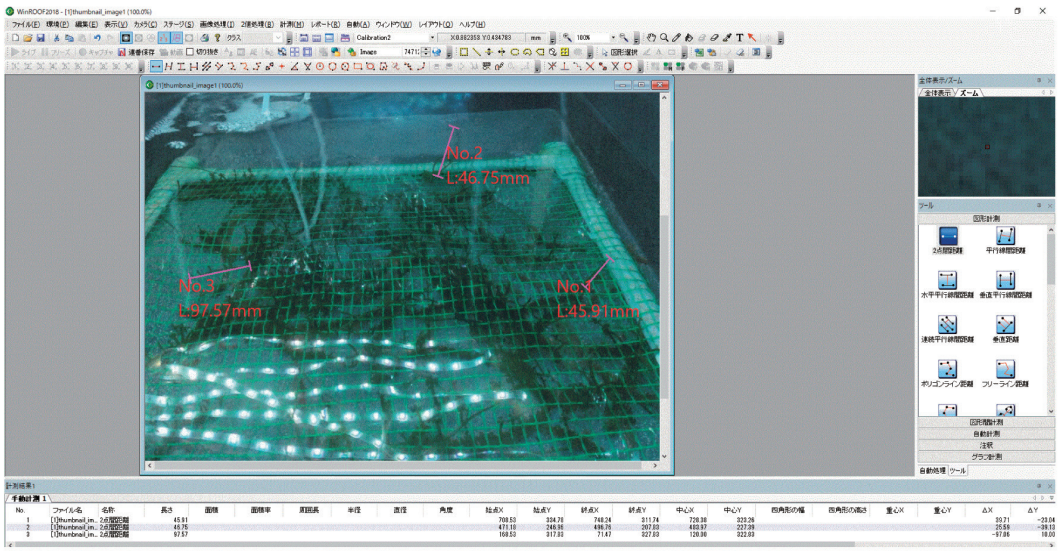

写真５　Winroof2018による画像解析

写真６－１　使用したHPLC　高速液体クロマトグラフィー

写真６－２　使用したHPLC　質量分析計

写真７ マイクロフィルターにて濾過している様子

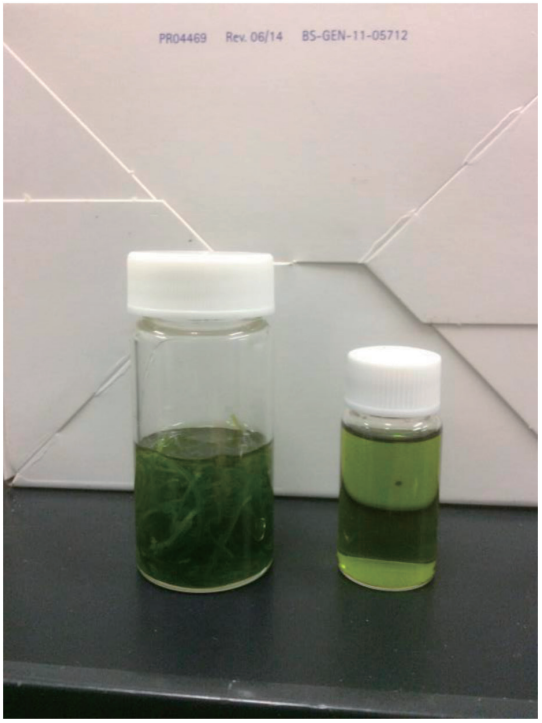

写真８　海ぶどう抽出試料

３．結果

１回目の実験では、赤色を照射した場合の海ぶどうの葉状部が７日後には、最大15mm 伸長した。同様に、青・緑・白色でも葉状部が最大 14 ～ 15mm 伸長した。14日後には赤色 LED を照射した場合で、31mm となり、青・緑・白色では 28 ～ 30mm であった。21日後になると、赤色 LED では 52mm 伸長し、その他３色の LED を照射した場合に比べて、８～ 10mm 多く伸長した。28日後には赤色 LED を照射した場合の伸長量は 74mm となり、青・緑・白色の LED の伸長量より優れていた（図１）。

実験期間中の水温の平均値は 28.9 ℃、塩分は 34.5、pH は 8.29 であった。窒素源としてはアンモニア態窒素が、5.2ppm、亜硝酸態窒素が 0.5ppm であった。光量子量では、赤色 LED が 65.4μmol/m^2/s、青色 LED が 75.0μmol/m^2/s、緑色 LED が 77.9μmol/m^2/s、白色 LED が 176μmol/m^2/s であった（表１）。

この傾向は２回目の実験でも同様で、赤色 LED を照射してから14日後には、最大伸長量が 37mm と青・緑・白色を照射した場合の 28 ～ 30mm よりも優れていた。21日後には 57mm に伸長していた。３回目の実験でも、赤色 LED を照射した場合の海ぶどうの伸長量は３週間後で 82mm と最も良好であった（図２・３）。実験期間中の水温の平均値は 29.0 ～ 29.1 ℃、塩分は 34.8 ～ 35.4、pH は 8.22 ～ 8.34 であった。また、アンモニア態窒素が、5.8 ～ 6.0ppm、亜硝酸態窒素が 0.5ppm であった（表１）。

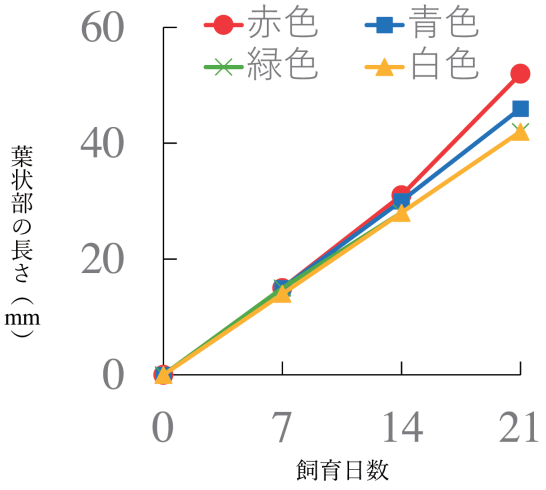

図１　異なる光波長での海ぶどうの生長（１回目）

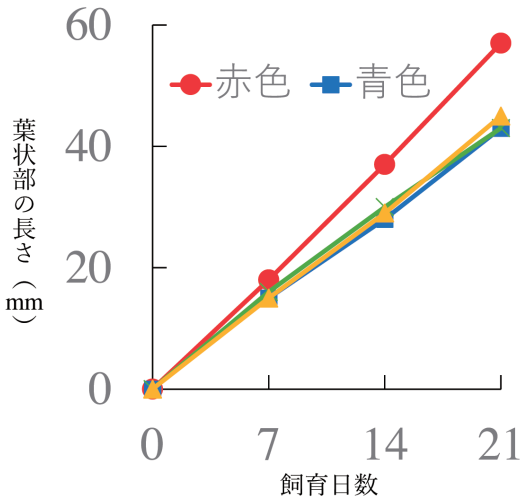

図２　異なる光波長での海ぶどうの生長（２回目）

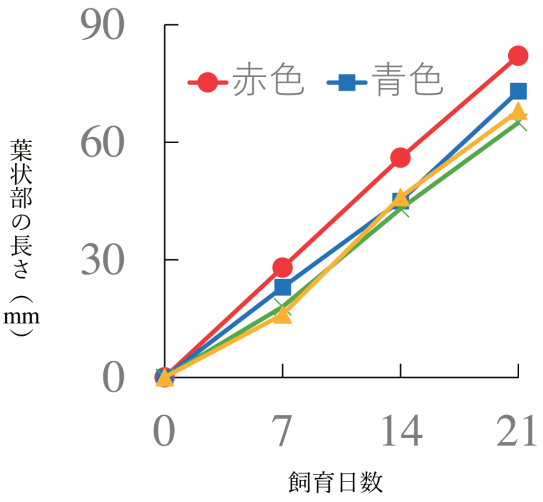

図３　異なる光波長での海ぶどうの生長（３回目）

４．考察

海藻類の生長と光質との関係については、

						光量子量（μmol/ m^2 / s）			
	水温	塩分	pH	NO_2-N(ppm)	NH_3-N(ppm)	赤	緑	白	青
1 回目	28.9	34.5	8.29	0.5	5.2	65.4	77.9	176	75.0
2 回目	29.1	35.4	8.34	0.5 以上	5.8	55.0	79.7	154	74.0
3 回目	29.0	34.8	8.22	0.5 以上	6.0	69.4	80.3	166	76.8

表１　実験期間中の水質データ

これまでに褐藻（海藻）のカジメ *Ecklonia cava* やワカメ *Undaria pinnatifida* において青色蛍光灯を照射した場合の生長が良好であったことや、白色 LED 照射下で緑藻アナアオサの相対成長率が良かったことなどが報告されている。今回の実験では、赤色 LED を照射した場合の伸長が最も優れていた。これは海ぶどうが赤色光をよく吸収するクロロフィル a を多く含んでいるためであると考えられる。クロロフィル a は基本的にほぼすべての植物体が持っているが、単純に赤色光を当てると、生長が良くなるというわけではなく、この点については今後、検討の余地がある。緑藻である海ぶどうにはクロロフィル b も含まれており、クロロフィル b は青色光を最もよく吸収する。今回の実験結果では、赤色 LED には及ばなかったものの、青色 LED も次によく伸長した。

光量子量別にみてみると白色 LED では、３回の実験を通じて、166 ～ 176μmol/m^2/s と他の条件よりも、２倍近い値であった。しかしながら、生長速度が単純に２倍になるということはなく、この点で興味深い。

本校の理科部には、総勢 30 人の生徒が在籍している。当初、海ぶどうについて説明したところ、海ぶどうを知っていたのは１名だけであった。南方系の海藻であるために、なじみが少なかったかと思う。海ぶどうを調達し、実験に供さなかった海ぶどうを生徒に試食させると、プチプチとした触感が不思議であるといった感想や、なにも味付けをしていないのに塩味がついているという点に気がついた者もいた。実験期間中に、水質や光量子のデータをとるとともに、海ぶどうの枝（ほふく枝）が生えてきている様子に、興味深げに観察をしていた点が印象的であった。また、本報告に載せられなかったが、液体クロマトグラフィーを用いた科学的な分析を行ったことで、研究に興味をもった生徒もいたようだった。以下、生徒個々の感想となる。

＜生徒Ａ感想＞

実験を始めるにあたり、静岡県藤枝市にある株式会社沖友（おきゆう）さんに海ぶどうをいただきにいきました。最初、海ぶどうは甘いものだと思っていましたが、試食させてもらうと、実際はしょっぱかったです。

光を当てるための骨組みを理科部の仲間で作り、実験プラントを完成させる道のりが工作をしているようで楽しかった。

＜生徒Ｂ感想＞

わたしは今回実験に用いた LED について調べました。なぜ、LED が光るのか説明します。LED の構造は P 型半導体（正孔が多い半導体）と N 型半導体（電子が多い

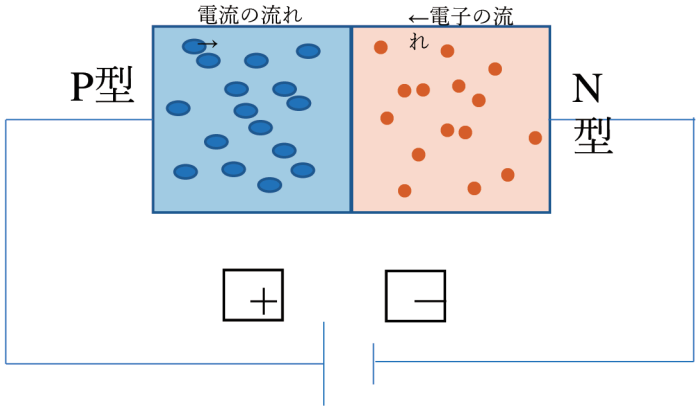

図４　LED発光の原理

半導体）が接合した PN 接合で構成されています。これらに順方向の電圧をかけると、LED チップの中を電子と正孔が移動し、電流が流れます。移動の途中で電子と正孔がぶつかると結合（この現象を再結合というそうです）し、再結合された状態では、電子と正孔がもともと持っていたエネルギーよりも、小さなエネルギーになります。その時に生じた余分なエネルギーが光のエネルギーに変換され発光します（図４）。

調べていて、驚いたことはエネルギー効率からいうと蛍光灯のほうが LED よりも優れているという点です。LED のほうが蛍光灯よりも後に世の中にでてきたので、当然 LED のほうが優れていると思っていました。LED の特徴は低電圧で光ることということも知れてよかったです。

＜生徒Ｃ感想＞

わたしは研究の前から海ぶどうについて知っていました。しかし、詳しくは知らなかったため、はじめに海ぶどうで実験をすると聞き、興味を持ち、さらに深く調べ始めました。そして、調べていく内に、植物の生長には光が必要だが、どのような色の光が最も生長に適しているのか、あるいは生長に適した塩分や、栄養塩の量などがまだ分かっていなかったです。もう一つは南の暖かい地域で養殖されているのにも関わらず、静岡県藤枝市の企業・沖友さんが海ぶどうを地域に広めていこうと取り組んでおり、私たちにも、なにかできないかと考えました。今後、地域の新たな特産物として、育てた海ぶどうをスーパーマーケットなどで販売していきたいと思いました。

謝辞

本研究を進めるにあたり、西光エンジニアリング株式会社代表取締役岡村邦康氏には、海ぶどうの調達を含めて便宜を図っていただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。また、東海大学海洋学部水産学科齋藤寛教授には LC/MS を貸与していただくとともに、ご指導・ご助言をいただいた。深くお礼申し上げる。

最後に、この研究を遂行するにあたり、助成をいただいた公益財団法人下中記念財団および関係者の方々に厚く謝意を表する。

【参考 HP】

パナソニック株式会社

「LED の発光原理について」

http:/www2.panasonic.biz/es/lighting/led/led/principle/

【参考文献】

（１）Yokohama et al.(1992)Jpn.J.Phycol. 40:25-31

（２）倉島ら（2003）「藻類学会誌」51:167-172

（３）Enomoto and Ohba（1987）Jpn.J.Phycol.35:167-177

金子　誠先生
（かねこ　まこと）

＜経歴＞

1985年　神奈川県生まれ
2014年　静岡県立焼津水産高等学校勤務
2016年　東海大学大学院地球環境科学研究科卒業
2018年現在
静岡県立駿河総合高等学校勤務

＜研究歴＞

2015年　出し殻昆布を添加した水産用マダイ飼料の開発とその飼料を与えたときのマダイ体内のグルタミン酸量の変化（山崎自然科学教育振興基金）
2016年　海ぶどうに必要な光の特定と栄養塩類に関する研究（東京海上日動教育研究助成金）
2016年　茶殻粉末を与えたときのマダイの成長と身質の変化（はごろも教育研究助成賞）
2016年　焼津市小川港で水揚げされた未利用魚の有効利用法　－魚油からせっけんをつくる－（山崎自然科学教育振興基金）

＜研究論文＞

2016年　金子　誠・前田節子・小鹿祥子・高橋咲・前田玄「廃棄されるコンブをマダイ飼料へ配合したときのマダイの成長と飼料費の削減効果」（英文）（掲載誌『Aquaculture Sci』）

＜勤務校＞

静岡県立駿河総合高等学校
〒422-8032 静岡県静岡市駿河区有東3-4-17
電話 054-260-6688