

エダアシクラゲが光る理由

宮城県仙台第三高等学校

クラゲの中には GFP(緑色蛍光タンパク質)により、青色の光を吸収して緑色蛍光を発するものがある。しかし、そもそもクラゲが何のために GFP を発現しているのかは不明である。そこで、エダアシクラゲが GFP を持つ生理的な理由を考察することを目的として研究を行った。エダアシクラゲの様々な波長の光に対する光感受性を調べた結果、GFPが発する光と同じ波長である緑色の光に対する感受性が高いということが分かった。また、エダアシクラゲは光刺激を受けることで 放卵・放精を行うことが知られている。以上より、エダアシクラゲは GFP を用いて自身が受容しやすい緑色蛍光を発することで、より多量の光刺激を受け取り放卵・放精を行いやすくしている可能性がある。

1 背景

クラゲの中には GFP(緑色蛍光タンパク質)¹⁾により体の一部から緑色蛍光を発するクラゲがいる。GFP とは、青色の光を吸収して緑色の蛍光を発するタンパク質である。GFP は下村脩氏によってオワンクラゲから単離され、この一連の研究は 2008 年にノーベル賞を受賞した。現在は GFP の応用が進み、医療分野など様々な学問領域で欠かせない存在となっている。しかしその一方で、そもそもクラゲが何のために GFP を発現しているのかは不明である。そこで、本研究では GFP を発現するクラゲの一種であるエダアシクラゲが GFP を発現する生理的な理由を考察することを目的として研究を行った。今回は、宮城県七ヶ浜町の菖蒲漁港と宮城県南三陸町の折立漁港で、エダアシクラゲ、カギノテクラゲ、タマクラゲの 3 種のクラゲを採取し、それぞれのクラゲがどこに GFP を発現しているのかを観察した。その結果、エダアシクラゲは眼点直下に GFP を発現し(図1、2)、カギノテクラゲは眼点、生殖腺、足の根本、口に GFP を発現し(図3、4)、タマクラゲは胃、眼点直下に GFP を発現する事が分かった(図5、6)。



図1 エダアシクラゲ

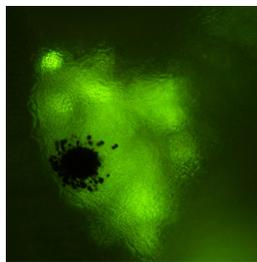
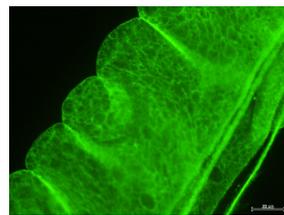


図2 眼点のGFP

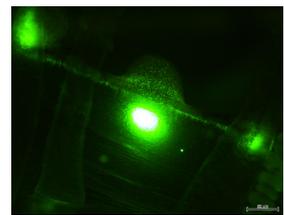
(図2の黒い点の部分がエダアシクラゲの眼点、緑に光っている部分がGFP)



図3 カギノテクラゲ



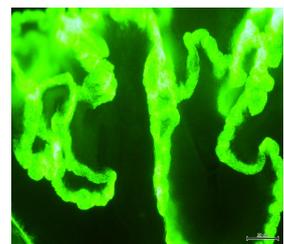
生殖腺



眼点



足の根本



口

図4 カギノテクラゲのGFP
(緑に光っている部分がGFP)



図5 タマクラゲのGFP

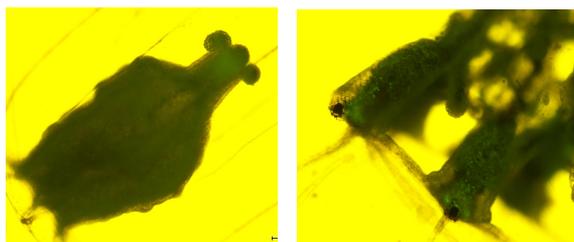


図6 タマクラゲのGFP

図6の左側の写真がタマクラゲの胃で、右側の写真の黒い点が眼点。緑色になっている部分がGFP。

この結果から、クラゲの種類によってGFPの発現箇所に違いがあることが分かった。また、採取した3種のクラゲは共通して、クラゲが光を感じる器官である眼点の近くにGFPを発現していることが分かった。特に、エダアシクラゲとタマクラゲのGFPは眼点直下に発現している。このことから、GFPとクラゲの眼点には何らかの関係があるのではないかと考えた。

ここで、クラゲと同じ刺胞動物であるサンゴが共生相手の褐虫藻の直下にGFPを発現するという例がある。サンゴは、GFPを褐虫藻の直下に発現することで、GFPの反射・散乱活性を動員して褐虫藻に光を集めているということが知られている²⁾。このサンゴの例から、GFPを眼点直下に発現するエダアシクラゲやタマクラゲもサンゴと同じようにGFPを眼点直下に発現することで、GFPを利用して眼点に光を集めているのではないかと考えた。

また、出口竜作の先行研究によると、エダアシクラゲとタマクラゲはそれぞれある特定の周期の光の明暗刺激を受けることで放卵・放精が誘発されることが知られている³⁾⁴⁾ (図7)。



図7 エダアシクラゲの放卵・放精が誘発される

これらのことから、エダアシクラゲもサンゴと同様に、GFPによって眼点に光を集めており、放卵に利用しているのではないかと考えた。そこで、光の強さ、波長がエダアシクラゲの放卵に与える影響を実験によって調べ、エダアシクラゲの放卵とGFPの関係を推測することを目標とした。

2 実験方法

仮説より、光強度、波長の違いによるエダアシクラゲの放卵の違いを調べる実験を行った。

まず、クラゲに光を当てて放卵を誘発させる装置である「自動照射装置」を作製した(図8、9)。

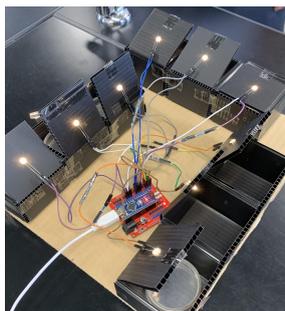


図8 自動照射装置



図9 クラゲを入れる部分

この装置にはLEDライトがつけられており、プログラムに従って、LEDライトがついたり、消えたりすることで、エダアシクラゲが放卵・放精を誘発される明暗刺激の周期を再現する(図11)。

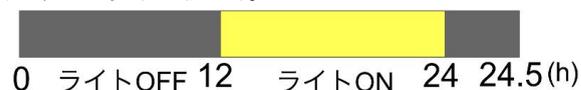


図10 自動照射装置のプログラム

この自動照射装置を用いて、以下の2点について実験を行った。

実験1:エダアシクラゲの放卵が誘発される適切な光強度の目安について調べる。

実験2:赤色、緑色、青色の3種の単色光に対するエダアシクラゲの光感受性について調べる。

まず、実験1では事前に放卵させておいたメスのエダアシクラゲを自動照射装置内に入れ、装置を20℃に保ったインキュベータに入れた。その後、装置のスイッチを入れて、エダアシクラゲに数種類の光強度の光をそれぞれを当て、放卵を誘発させた。クラゲに光を当て終わった後、クラゲが放卵したかどうかを確認した。自動照射装置には太陽の光を再現するために電球色のLEDライトを使用し、光強度は100、300、500の3種類を用いた(図11)。この3種の光強度は自然界でエダアシクラゲが受け取る光強度で十分に考えられる値をもとにしている。(光強度とは単位面積当たりのエネルギー量を表す単位で $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で表される。) (晴れた夏の日には光強度が500程度)

電球色を使用
光強度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 100,300,500

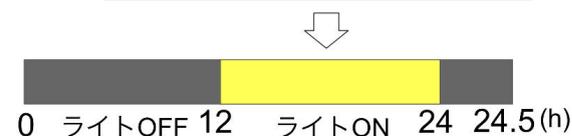


図11 実験1の自動照射装置の設定

次に、実験2では、実験1をもとに設定した光強度で青色の光、緑色の光、赤色の光の3種の単色光を自動照射装置を用いてエダアシクラゲに当て、その後、クラゲが放卵したかどうか調べた。

3 結果と考察

実験1では、光強度300で3匹中3匹のエダアシクラゲの放卵を確認し、100と500では確認することができなかった(図12)。このことより、エダアシクラゲの放卵行動は、光強度により異なることがわかった。また、十分な光強度があったにもかかわらず放卵が起きなかった光強度500での実験結果から、強い光はエダアシクラゲに何らかの影響を与える可能性があると考えられる。実際にエダアシクラゲは、8月ごろに海で見られなくなるといわれており、これもその影響によるものだと考えられる。

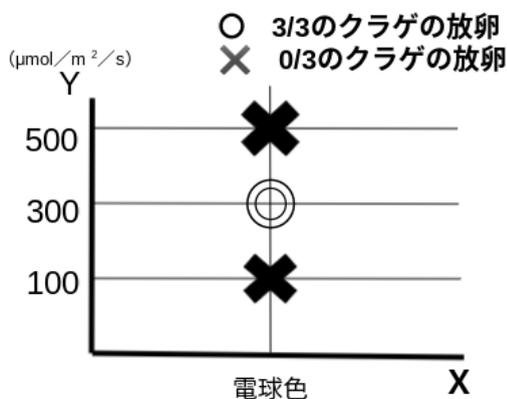


図12 実験1の結果

次に実験2では、光強度300ではすべての個体が放卵を行い、光強度100では、赤色光でのみ放卵の確認ができなかった(図13)。光強度100で、赤でのみ放卵しなかったことより、青、緑色光の場合では赤色光の光の場合よりも弱い光強度で放卵できると考えられる。このことより、エダアシクラゲの光感受性は赤色光よりも緑色光のほうが高いと考えられる。

以上より、エダアシクラゲはGFPを用いて青色光を受容しやすい波長である緑色光に変換することで、より多くの光刺激を受け取り、放卵を行いやすくしている可能性があると考えられる。

また、光は波長により透過できる深度が変わる。赤色光であれば5m程度、緑色光であれば15m程度、青色光であれば30m以上透過する(図14)。

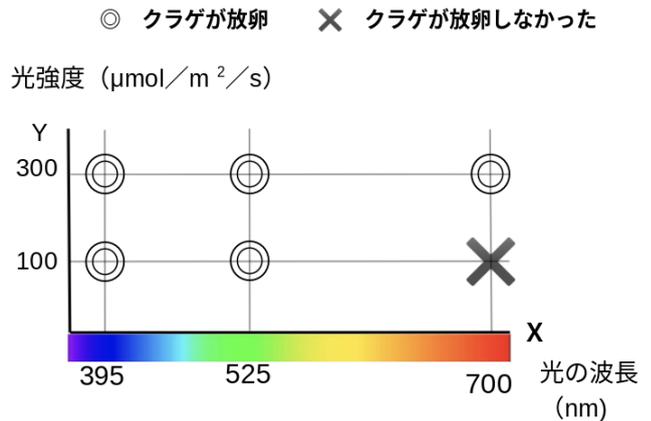


図13 実験2の結果

また、光は波長により透過できる深度が変わる。赤色光であれば5m程度、緑色光であれば15m程度、青色光であれば30m以上透過する(図14)。

そのため、エダアシクラゲはGFPにより青色光を受容しやすい波長である緑色光に変換することで、より深い場所でも明暗刺激を受け取ることができるようになり、生息域を広げているのではないかと考えられる。

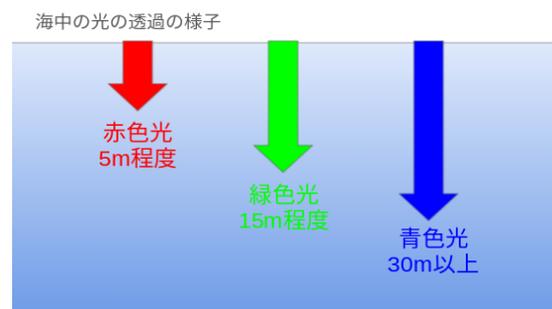


図14 海中での光の透過の様子

4 まとめと展望

実験結果から、エダアシクラゲは青色と緑色の光の場合では赤色の光の場合よりも弱い光強度で放卵できる事がわかった。また、エダアシクラゲは赤色の光よりも緑色の光に対する光感受性が高いことがわかった。これらのことから、眼点直下に発現するGFPで、青色の光を自身が受容しやすい緑色蛍光に変換することで、より多くの光刺激を受け取っている可能性がある。これは、光刺激によって放卵・放精を行っているエダアシクラゲにとって、GFPが放卵・放精を行うための補助的な意味を持つ可能性があるのではないかと考える。以上より、エダアシクラゲはGFPによって、青色の光を自身が受容しやすい波長である緑色蛍光に変

換することで、より多くの光刺激を受け取り、放卵を行いやすくしている可能性がある。

今後の展望としては、より多くの光の波長、光強度で実験を行い、エダアシクラゲの光感受性についてさらに詳しく調べていきたい。また、クラゲの種類によってGFPを持つ場所が異なることが確認できたため、GFPの発現場所の違いによる、GFPの役割の違いがあるのかどうかについて調べていきたい。

本研究では、エダアシクラゲの生態についてGFPに焦点を当てて実験を行ったが、クラゲは生物の中でも非常に長い歴史をもつ種であり、クラゲについて調べることは、生物の歴史について理解する上で大きな意義がある。そのため、この研究がクラゲの生態の理解に示唆を与え、生物の歴史を理解する一助となる事を期待する。

5 参考文献

1) 2008年ノーベル化学賞「緑色蛍光タンパク質の発見と応用」,Chem-station,2020

年8月3日,<https://www.chem-station.com/blog/2009/01/2008.html>

2) 宮脇敦史,刺胞動物と蛍光タンパク質,みどりいし,2002年.

3) 出口竜作,伊藤貴洋,エダアシクラゲの採取とライフサイクルの制御:モデル動物・教材動物を目指して,宮城教育大学紀要,2005年

4) 出口竜作,青木瞳,松田聖,佐藤英樹,エダアシクラゲの放卵・放精の光条件,宮城教育大学紀要,2008年.

