

ウミホタルの発光における溶存酸素量の最適条件

1年3組 中居 ゆほ 1年4組 酒井 彩佳
1年4組 中城伊万里 1年4組 宮地 葵
指導者 教諭 田中 善久

1 課題設定の理由

化石燃料の枯渇などが人類に共通の課題となる今、新たにエネルギー源を創出する研究に注目が集まる。授業でウミホタルの発光実験を体験したとき、その光の有効利用について考えた。今回は、ウミホタルが強く光るには最適な溶存酸素量があるかということに焦点を当てて研究した。

2 仮説

ウミホタルが分泌する発光物質ルシフェリンは、酵素ルシフェラーゼの促進作用を受け、水中に溶存する酸素と結びつき、青い光を発する。強く光るには最適な溶存酸素量が存在すると考えた。

3 実験・研究の方法

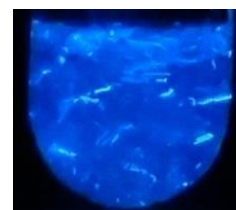
(1) 方法

ア 酸素ボンベから集気びんに酸素を噴出させ、びん内の体積の 75% (誤差 3%以内) を酸素が占めるよう、コンピュータ計測機器と O₂ センサ (spark 島津製作所) を用いて調整する。
イ アのびん内に 100mL の蒸留水を入れてふたをし、びんを振る回数により溶存酸素量の異なる水を用意できると仮定し、一定の振り方で決めた回数だけ振る。

ウ ウミホタル 0.02 g を細かくすりつぶして試験管に入れる。

エ 暗室中で、イのびんの中から 2mL の水を、ウの試験管に移して振る。

オ エの操作から 3~5 秒後には、試験管内では図 1 のように発光が始まっており、その試験管から 15cm 離れた位置よりその様子を 3 枚だけ撮影する。



カ オで撮影した写真を拡大カラー印刷する。

図 1 発光の様子

キ カの拡大写真の紙面を、1マスが縦 2.5cm、横 3.0cm の格子状に分割する。そこで、青の色相表にある明度の異なる 16 色に、明度の低いものから順に 1 点、2 点、…、16 点と決める「明度の数値化」を行う。それを基準にマスごとに点数を与える「明度の評価」を行う。

ク キの方法で、1枚の拡大写真につき 4 人が「明度の評価」を行い、1回の発光に 3 枚の拡大写真があるので 12 個のデータを得る。再度、同条件でア~キの方法をくり返し、同条件での発光に 24 個のデータを得る。

(2) 計算方法

ア 1枚の拡大写真のそれぞれのマスに「明度の評価」を行い、その合計点を光の強さ E とする。実際、 $i = 1, 2, 3, \dots, 16$ とし、 i 点が n_i マスあるとすると、ウェイト m_i を用いる光の強さ E は、次の式で表される。なお、右の表 1 のとおり、ウェイト m_i のパターン①~④を考えた。

表 1 ウェイト m_i のパターン

パターン	m_1	m_2	m_3	...	m_i	...	m_{16}
①	1	1	1	...	1	...	1
②	1	2	3	...	i	...	16
③	1	2^2	3^2	...	i^2	...	16^2
④	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{3}$...	\sqrt{i}	...	$\sqrt{16}$

$$E = \sum_{i=1}^{16} (m_i \times i \times n_i) = (m_1 \times 1 \times n_1) + (m_2 \times 2 \times n_2) + \dots + (m_i \times i \times n_i) + \dots + (m_{16} \times 16 \times n_{16})$$

イ びんを振る回数を、0 回、10 回、…、50 回と変え、(1)のイ以降を行う。ウェイト m_i のパターン①~④のそれぞれについて、 $6 \times 24 = 144$ 個ずつ光の強さ E があり、それらの光の強さ E のうち、最大値が 100 になるよう、全ての光の強さ E を換算する。

4 結果と考察

(1) 結果

表2に、びんを振る回数により溶存酸素量の異なる水中で、ウミホタルが発する光の強さについて調べた結果を、ウェイト m_i のパターン①～④ごとにまとめた。

表2 溶存酸素量の異なる水中でのウミホタルが発する光の強さ

※ (平均値) ± (標準偏差) の形式で結果を示す。その結果には、68.3%の信頼度がある。

びんを振る回数	ウェイト m_i のパターンを用いたウミホタルが発する光の強さ			
	①	②	③	④
0回	42.6±18.8	73.2±13.5	75.1±20.8	61.6±17.8
10回	44.9±19.6	73.9±19.2	70.9±19.0	63.8±21.2
20回	64.2±13.0	75.3±14.4	53.7±24.9	76.4± 5.5
30回	64.6±13.8	75.8±10.2	53.1±21.9	77.2± 7.3
40回	53.0±18.7	74.7±12.5	65.0±25.4	69.1±14.5
50回	54.9±16.8	76.8±15.5	64.1±25.1	71.7±14.5

(2) 考察

表2のびんを振る回数と光の強さの関係を、図2のグラフにまとめた。

肉眼での観察でもびんを振る回数が20回程度で最も強く光ることから、ウェイト m_i のパターンは、①または④が適当であるといえる。

ウェイト m_i のパターンの①または④のグラフから、びんを振る回数が0回から20回程度の範囲では、びんを振る回数が多いほど、水に酸素が多く溶け込んでルシフェリンの酸化が進み、光が強くなることが分かった。また、びんを振る回数が30回を超えると、光が弱くなる結果が得られた。それは、肉眼で観察したときと同じである。その原因を二つ考えた。

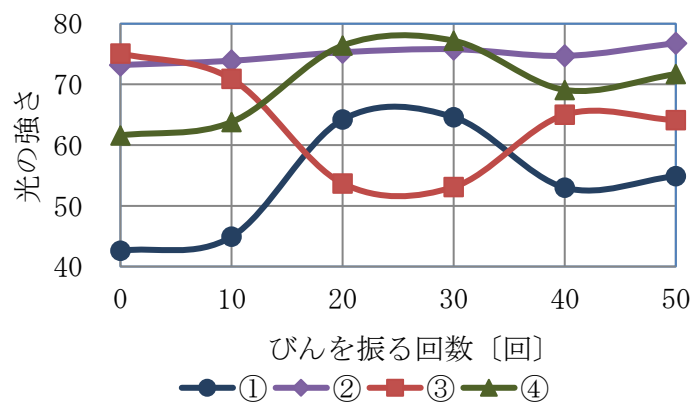


図2 びんを振る回数と光の強さの関係

原因1	今回の実験条件では、ウミホタル 0.02 g に対して十分な酸素が与えられていないと考える。そのとき、びんを 40 回や 50 回振る途中で溶存酸素量は飽和しており、逆に、びんを振り過ぎたことで水温が上昇し、水中の酸素が放出されたと考える。
原因2	今回の実験条件では、びんを振る回数を多くするほど、溶存酸素量も多くなると考える。そのとき、ルシフェリンの酸化反応に、発光を伴う酸化反応を阻害するメカニズムがあると考えた。

5 まとめと今後の課題

今回の実験条件では、びんを20回から30回程度振るとき、光が最も強くなることが分かった。

課題としては、光が微弱であるために色相表を用いた「明度の数値化」「明度の評価」を行ったが、光の強さをより正確に測定できる方法も試したい。また、びんを振る回数により溶存酸素量の異なる水を用意できるとした仮定が正しかったかも検証したい。そして、ウミホタルの個体差や主観的測定による誤差を考えると、より精度の高い正規分布をなす実験方法に改良していきたい。

6 参考文献

- 『ウミホタル』 <http://ja.wikipedia.org/wiki/ウミホタル>
- 『溶存酸素量』 <http://ja.wikipedia.org/wiki/溶存酸素量>
- 『正規分布』 <http://www.geisya.or.jp/>