

みなさんこんにちは
生物発光・化学発光について
話したいと考えています

生物発光はいわゆる発光基質-発光触媒酵素反応過程において生産されます。化学反応エネルギーが電子励起状態の発光種を作り出すことから、広義の化学発光として捉えることもできます。また応用の観点からも眺めてみたいと考えています。

2021年4月1日
京都光科学研究所
柄谷 肇

光の性質

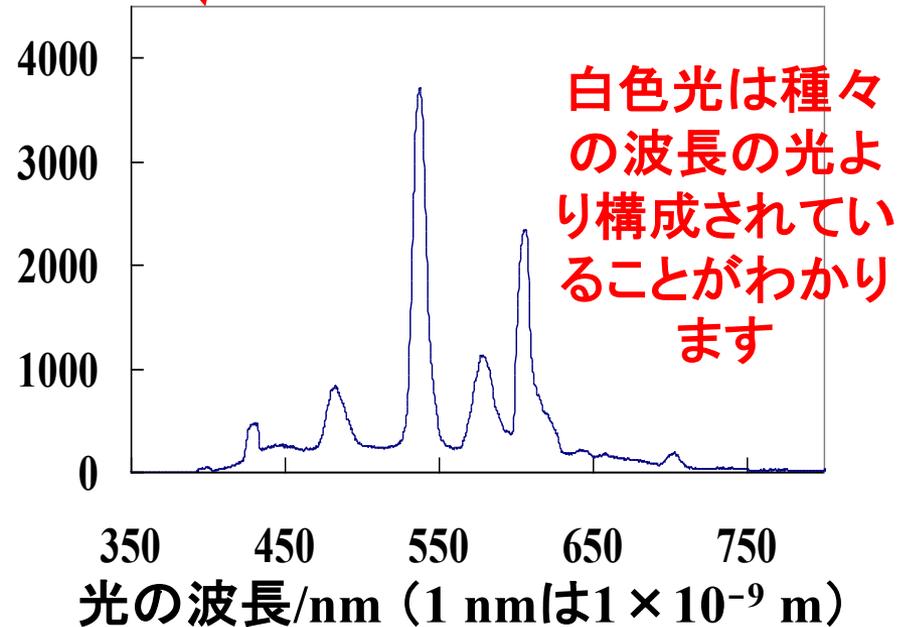
- ☆ 直進性:ピンホールカメラ
 - ☆ 反射・屈折
 - ☆ 散乱:青空・夕日
 - ☆ 光には色がある:虹
- ☆ 光は粒子の性質(光電効果)と波としての性質(回折・干渉など)がある(光の二重性)
 - ☆ 偏光:波としての性質に起因などなど
- ☆ ひかりは化学実験で作ることもできます(あとで作りましょう)
- ☆ ホタルなどの光る生物は体のなかの化学反応(生体内化学反応)で光を作っています

光の色？

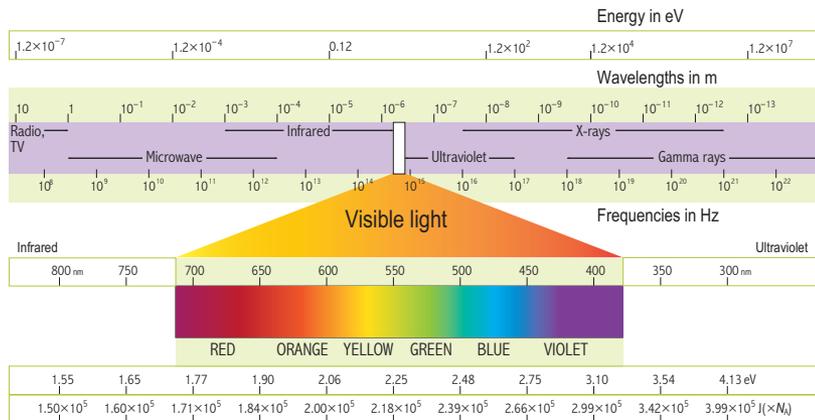
身の周りの光は色々な色の光の集まり



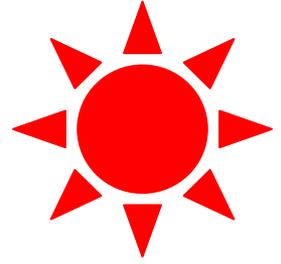
蛍光灯の光の波長分布



電磁波としての光 光の色とエネルギー・波長分布



青空の色，夕焼けの色，雲の色



京都御苑 上空



京都 西山



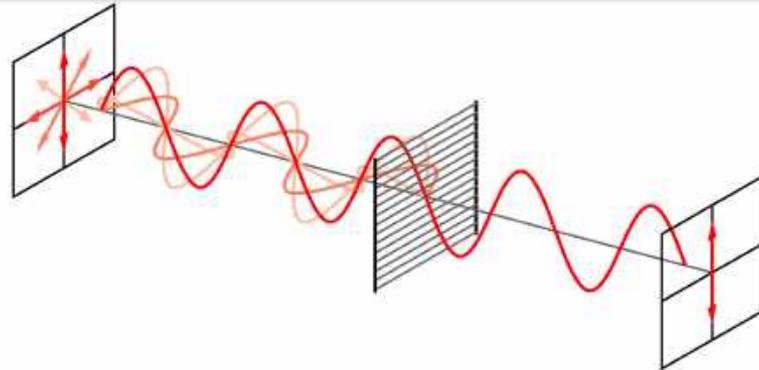
すべての光
を散乱すると
白くなります

↓
白雲

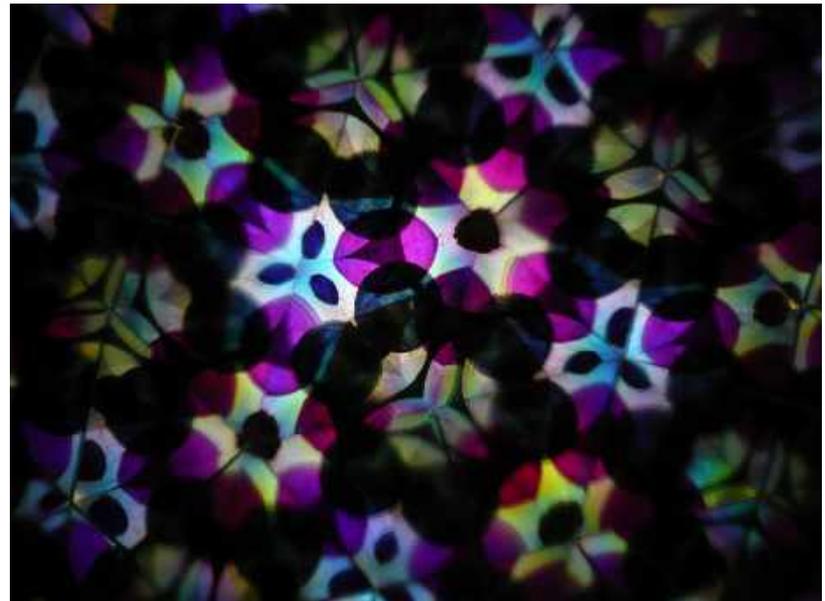
太平洋 亜熱帯海域

偏光

光の波動生に起因する
偏向板を通過する光とできない光
サングラスなどで応用



偏光, 干渉, 分光,
反射を利用して
ステンドグラスのような
光の色の幾何学模様
を作ってみようましょう



光るには？ → エネルギーと物質（光るもの）が必要

エネルギーにのみ着目

電気エネルギー

→ 蛍光灯, LEDなど

熱エネルギー

→ ロウソクの光, 炎色反応

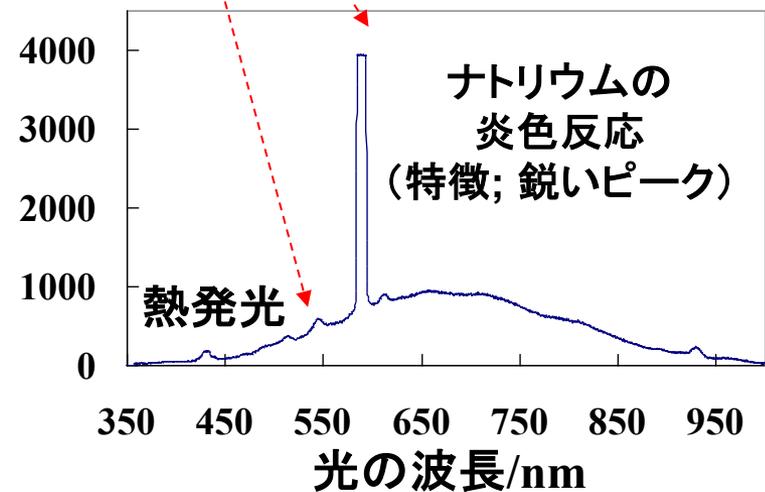
化学エネルギー → 化学発光
(化学反応)

化学エネルギー → 生物発光
(生物化学反応)



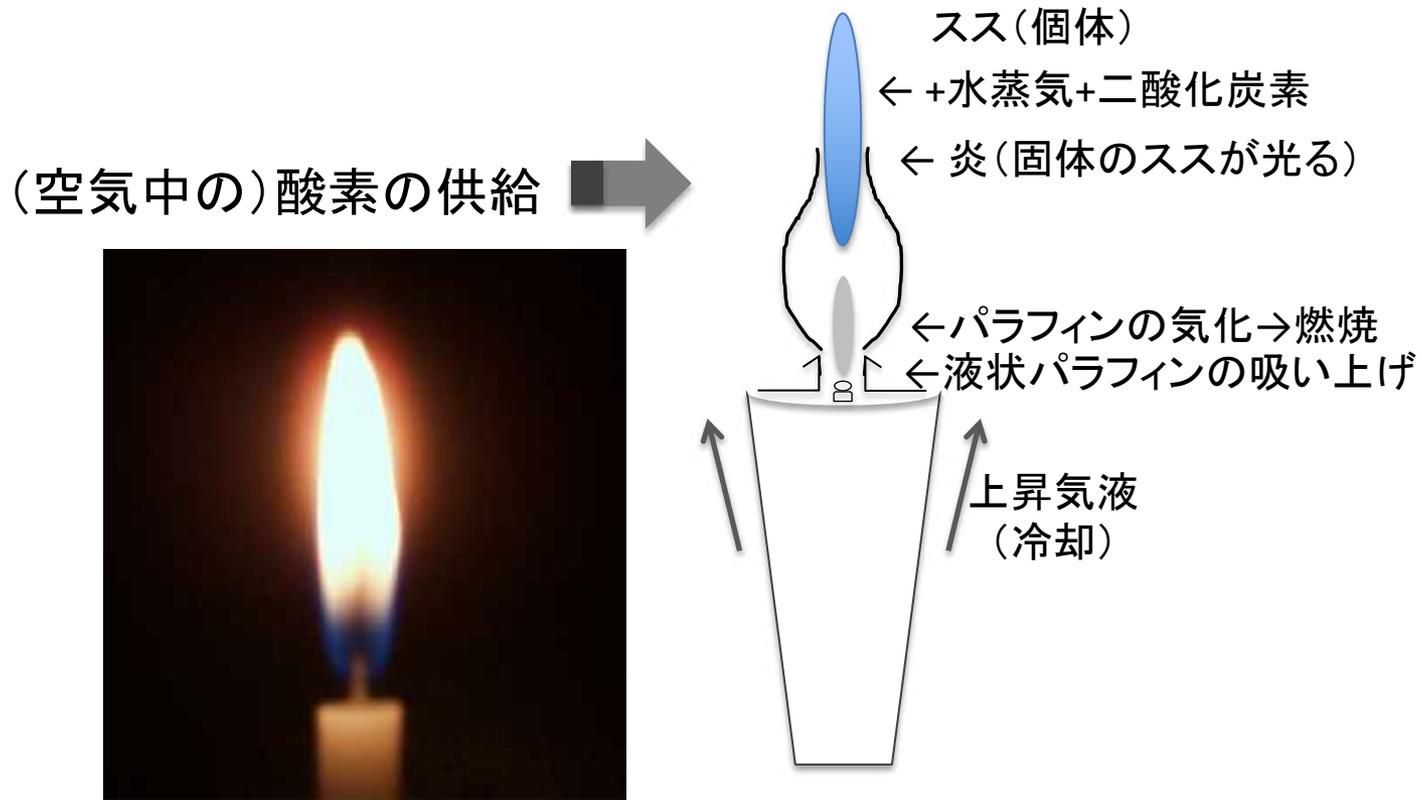
光を作ってみましょう

- ⇒ 電気が光を作る
蛍光灯, LEDなど
- ⇒ 熱が光を作る
太陽、炎色反応など
- ⇒ 光で別の光を作る
蛍光(蛍光灯はここにも含まれる)
など
- ⇒ 化学反応が光を作る: 化学発光
(ルミノールの化学発光を試する)
- ⇒ 生物が光を作る: 生物発光
(ウミボタルを光らせてみる)



→ 光するにはエネルギーと物質(光るもの)が必要です

ローソクの炎の中の化学変化



参考 マイケル・ファラデー著 ローソクの科学(The Chemical History of a Candle)
ローソクで見られる現象を、宇宙を支配する法則と関連付ける興味ふかい図書

いろいろな蛍光



キノンの蛍光
(紫外線照射)

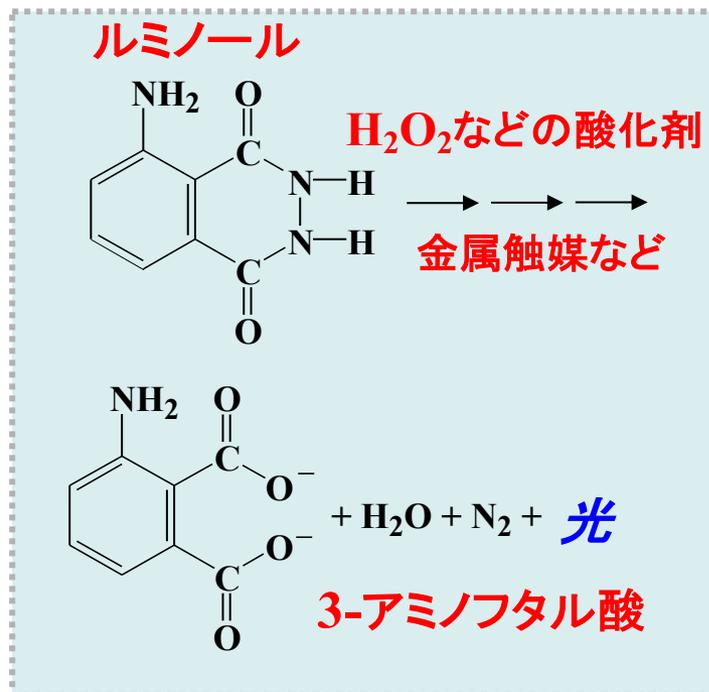


凍結した緑色蛍光タンパク質
(GFP)の蛍光
(デジカメストロボ光照射)
後ほど再度とりあげます



フルオレセインの蛍光
(紫外線照射)

化学反応のエネルギーで光を作る：例，ルミノール化学発光



ルミノールによるヘモグロビン(血液の一成分)の検出

生体内化学反応のエネルギーで光を作る：生物発光



写真提供「日本ホタルの会」 鈴木浩文博士

写真提供「はてのうるま」小江克典博士



光の生産における共通項：
酸素が必要：酸素酸化反応

写真 下村脩先生の好意による

生物発光研究の歴史

◇ アリストテレス (384 - 322 BC)
“cold light (冷光)” を最初に認識

海洋生物種180種類について記述

◇ プリニウス
(Pliny the Elder (23-79 AD))
広範で体系的な記述



◇ コロンブス(1490年頃 大航海)

外洋表層大規模発光現象 San Salvador “burning sea”

◇ ロバート ボイル (1667)

腐肉やキノコからの発光と空気との因果関係

◇ H. M. S. Challenger (1873)

生物発光の科学的研究を目的とする航海

◇ Raphael Dubois (1885)

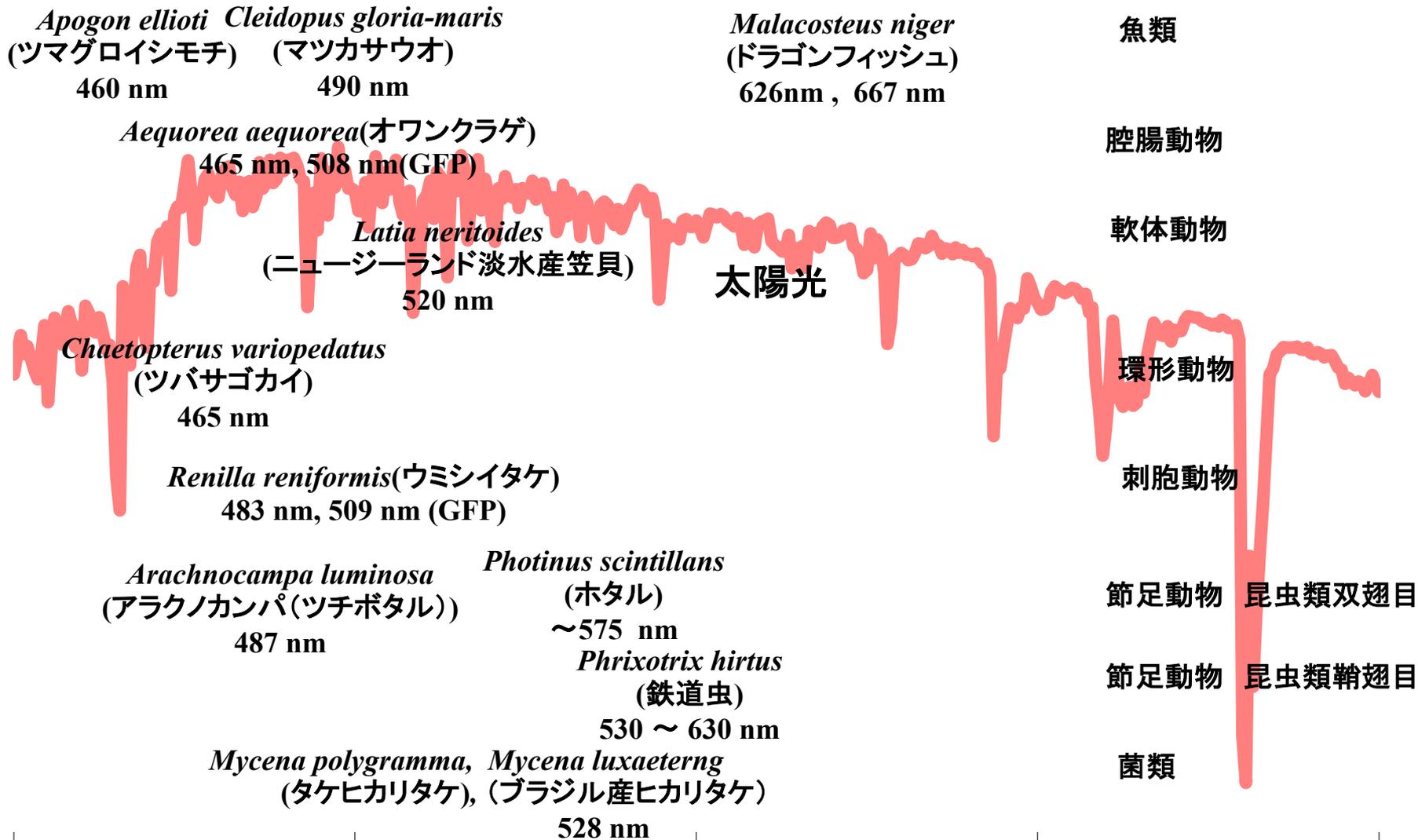
二枚貝の発光(発光関連化学物質の抽出)

用語“luciferine”と熱に対して不安定な“luciferase”という新語を創世

➤ 生物発光の化学的な研究の端緒



発光色の多様性



400

500

600

700

800

太陽光可視領域波長分布(地表付近) (波長/nm)

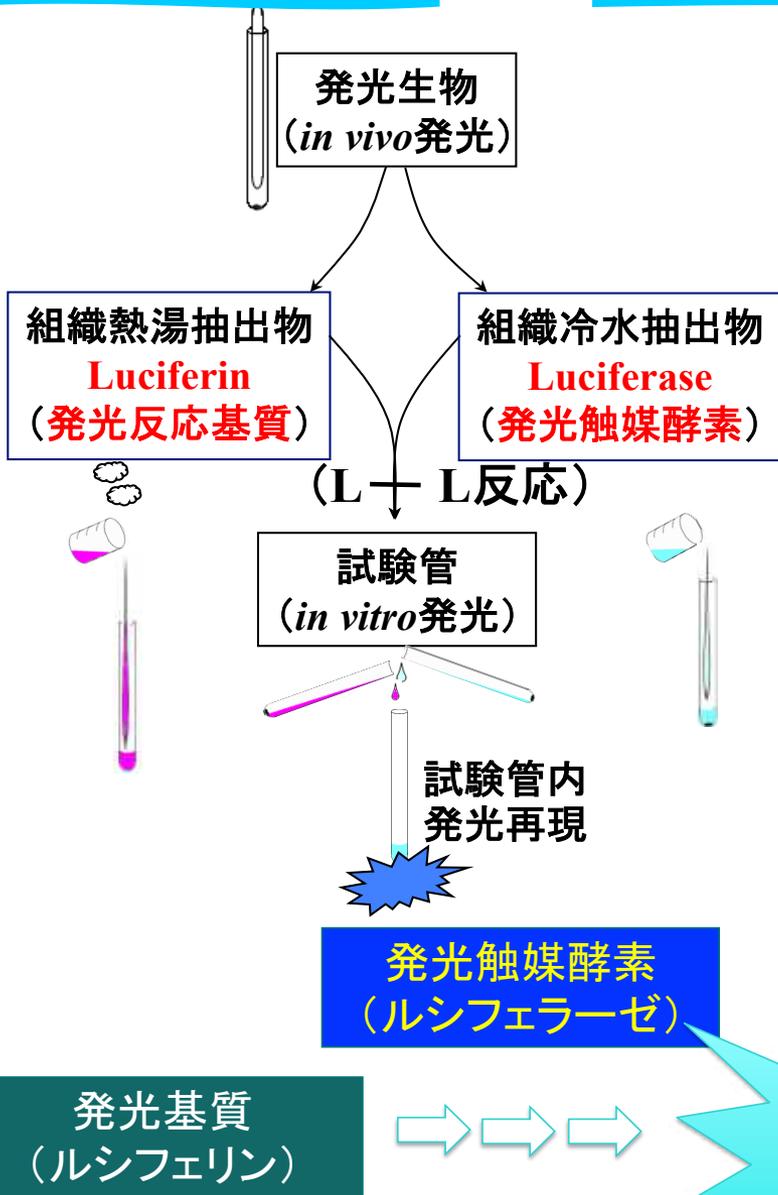
ウミボタルの集団の生物発光

海洋は発光生物の宝庫

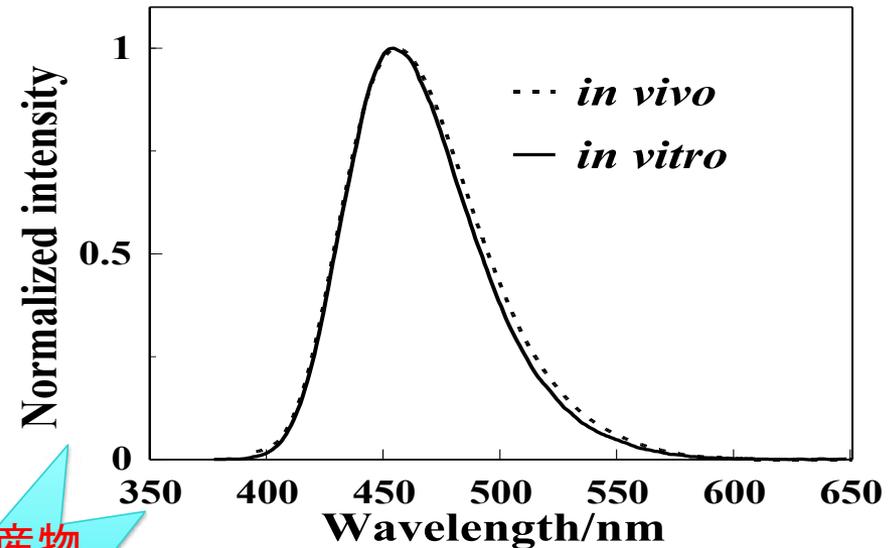


写真提供 「はてのうるま」小江克典博士

生物発光とは? ⇨ 発光触媒酵素と発光基質との反応産物



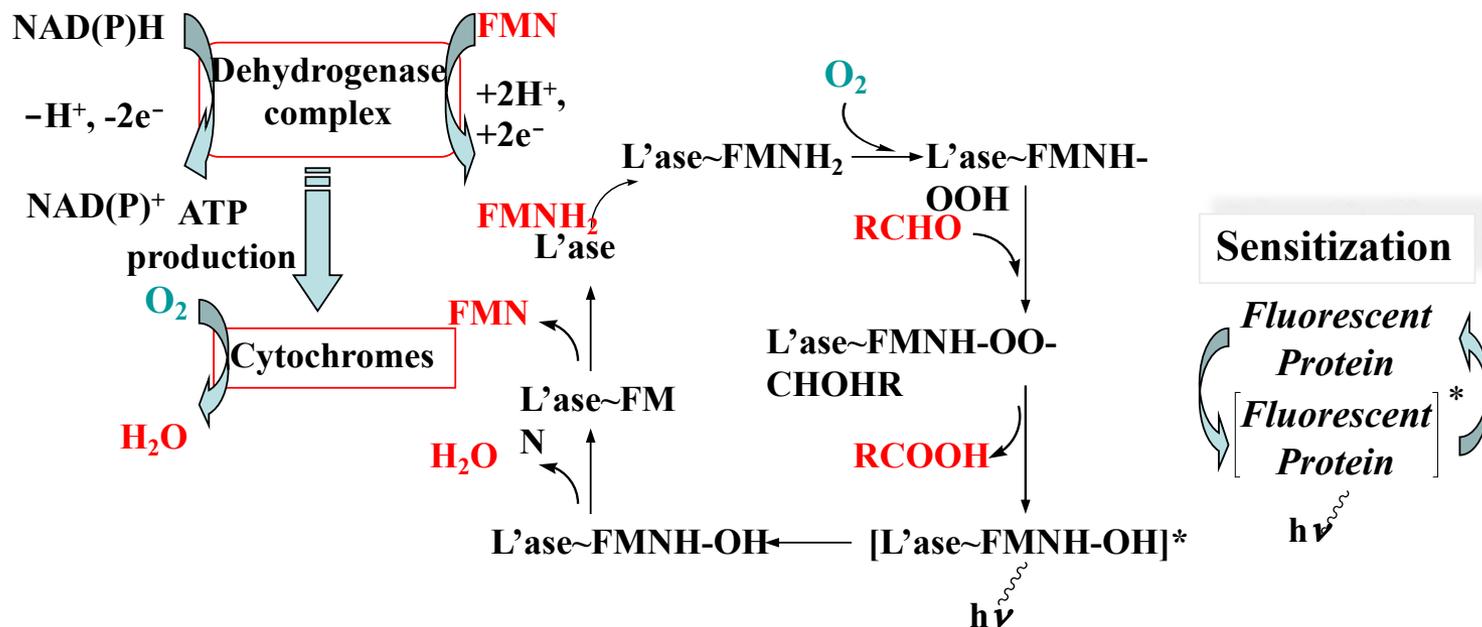
生物発光を試験管内で再構成



ウミボタル生物発光スペクトル
in vivo, *in vitro*; 波長分布ほぼ一致
(神戸市で採集したウミボタルで実験)

発光細菌のルシフェラーゼ反応

ホタル, ウミボタル, オワンクラゲ, 発光細菌など多くの発光生物の光の生産のメカニズムが調べられています。一例として, 少し難しいですが, 発光細菌の発光メカニズムを示します: W. Hastings 先らによって基本的に重要なメカニズムが解明されています。

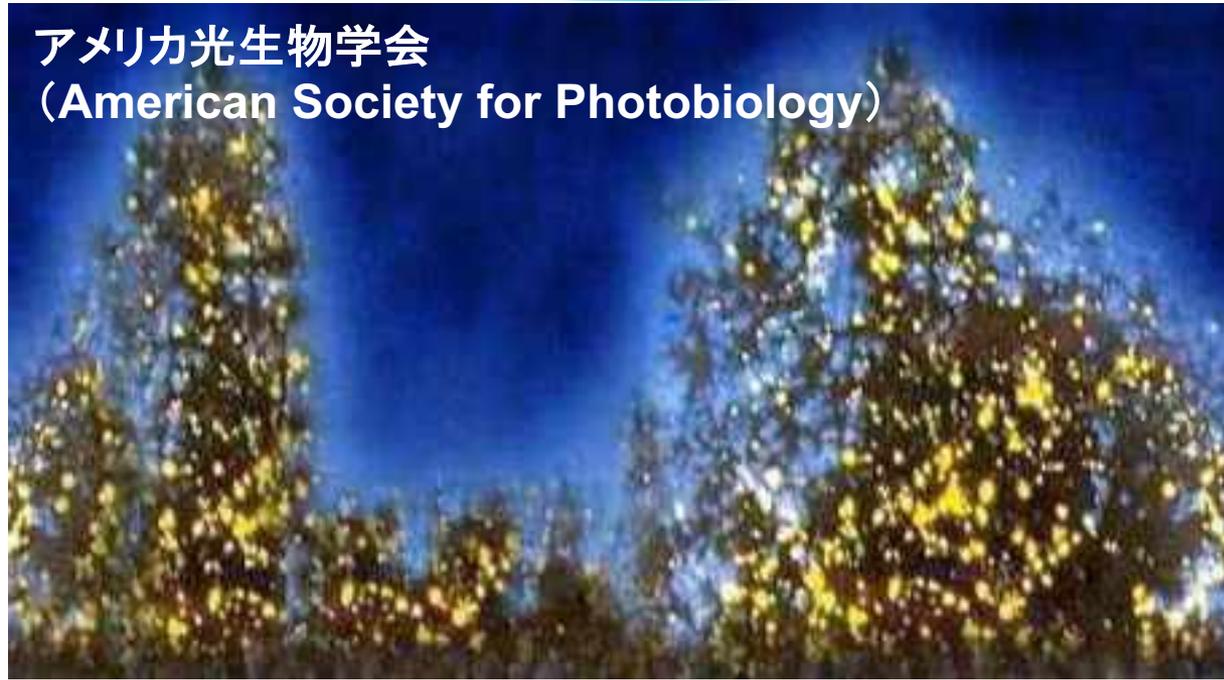


☆ 上に記した生物発光におけう共通項は, 酸素が必要というものです

☆ でも, 発光生物はなぜ光るのでしょうか?

ホタルはなぜ光るの？

アメリカ光生物学会
(American Society for Photobiology)



光ることの意義
種に固有の発光パターン

⇒ 仲間がいる場所わかる
仲間を見つけやすい
(コミュニケーション)

でもほんとうにそれだけ？
幼虫も光ります
光る飛ばないホタルもあります

イリオモテホタル



サキシママドボタルの幼虫



写真提供「日本ホタルの会」 鈴木浩文博士

ミクロンサイズの発光細菌

(付着・共生・浮遊プランクトンとして存在)

特に浮遊プランクトンとしての存在は

おそらく仲間から認識されることは

ないであろうと思われます

☆ 浮遊プランクトンの発光細菌の採集作業をつぎのシートに示します

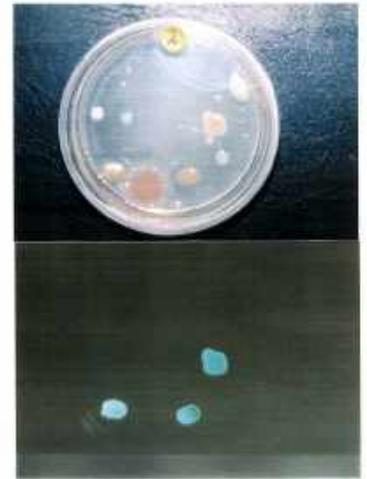
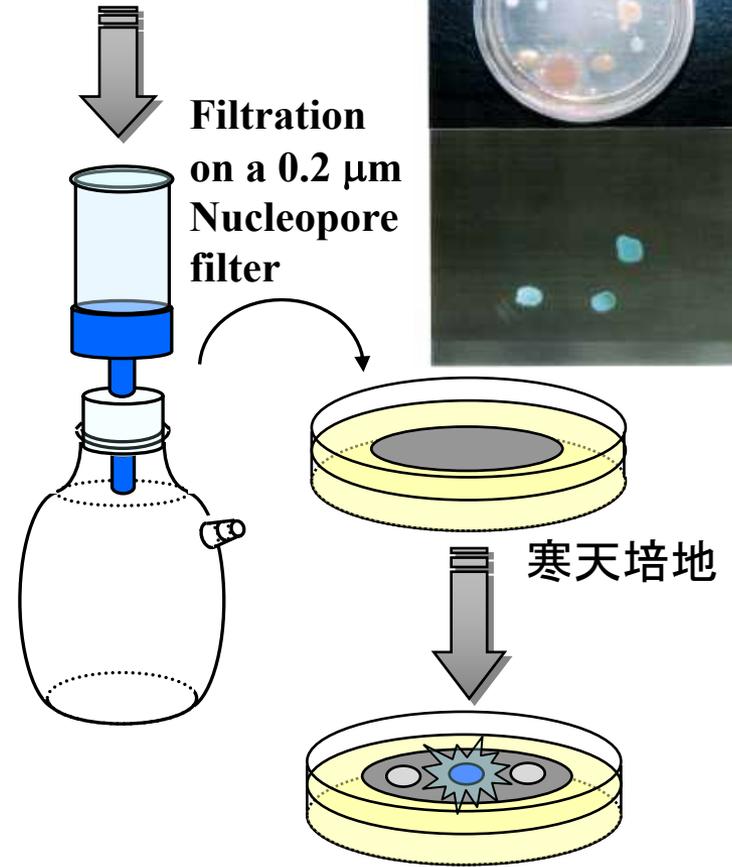
☆ 発光細菌につきましては、別のノートにおいて説明する予定です
京都光科学研究所ではまた発光細菌を酸素呼吸、
酸化リン酸化との関連性から観ています

浮遊プランクトンとしての発光細菌の洋上採集

海水を採水できれば、あとは簡単に単離することができます



海水



海から研究室へ

なぜ光るのか

仲間との交信：ホタル（集団同期発光がその典型例）、リュウグウノツカイなど

餌の誘引，逃げる：チョウチンアンコウなど

威嚇，カモフラージュ：ウミボタル，イカ，ミミズなど

説明が困難：キノコ，クラゲ，発光細菌など

細胞レベルでは？ ますます不明？

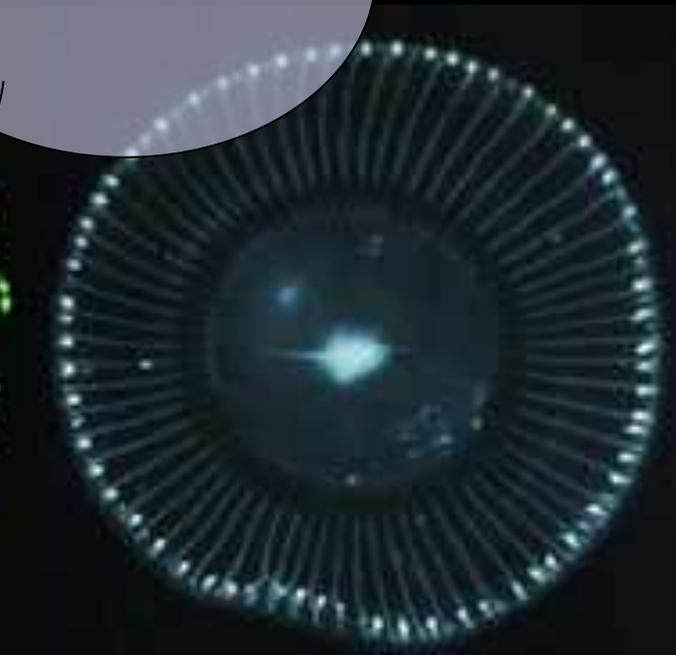
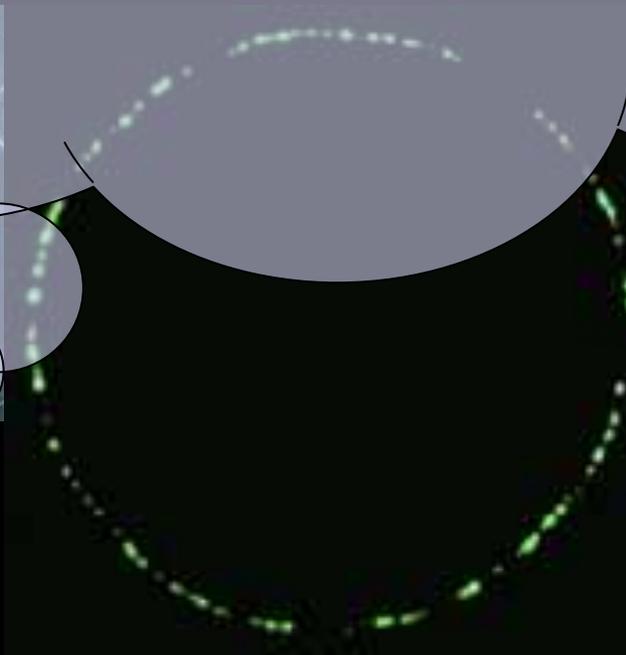
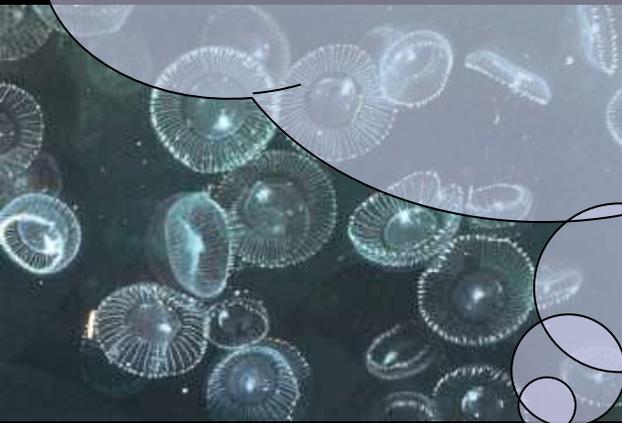
進化の過程でいかにして光る機能を
獲得してきたのでしょうか（究極要因）？

などなど。さらに多くの疑問が残されています？

☆ 興味を持たれた方は究明にチャレンジしてみてください

発光生物が光る理由よくわかっていませんが、いくつかの発見が実際に利用されています。

例；オワンクラゲ，ホタルなど



A glowing green bottle containing GFP protein. The bottle is cylindrical with a slightly wider base and a narrower neck. It is filled with a bright green liquid that glows from within. The background is dark, making the green glow stand out. The bottle is positioned on the right side of the frame.

ビンの中は
下村脩先生がオワンクラゲ
から単離精製された
緑色蛍光タンパク質
(GFP)
(デジカメのストロボを使っ
て撮影)

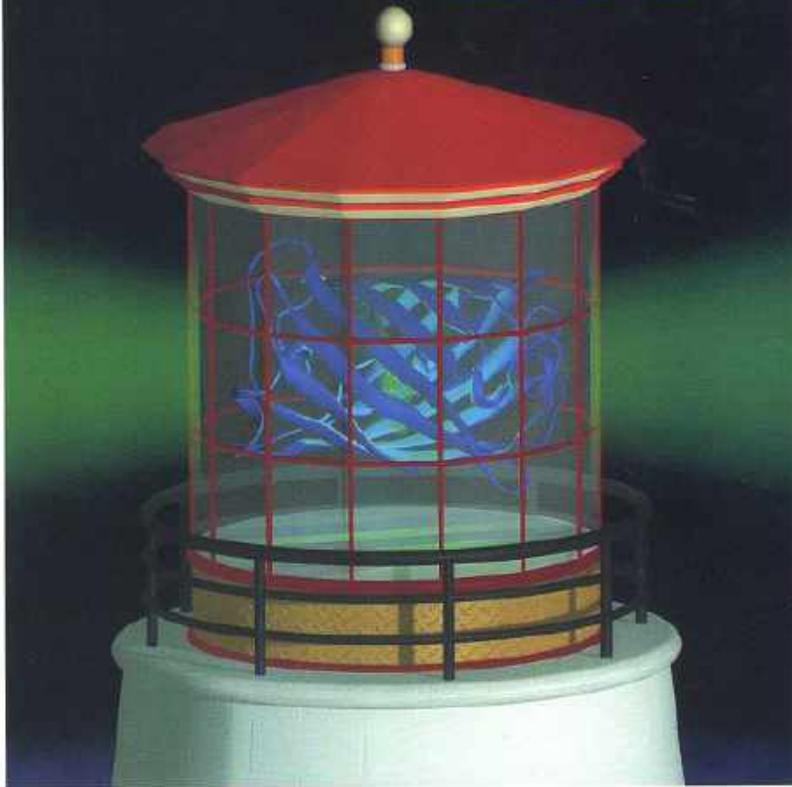
ノーベル化学賞

2008年

BIOLUMINESCENCE and

CHEMILUMINESCENCE

**Molecular Reporting
with Photons**



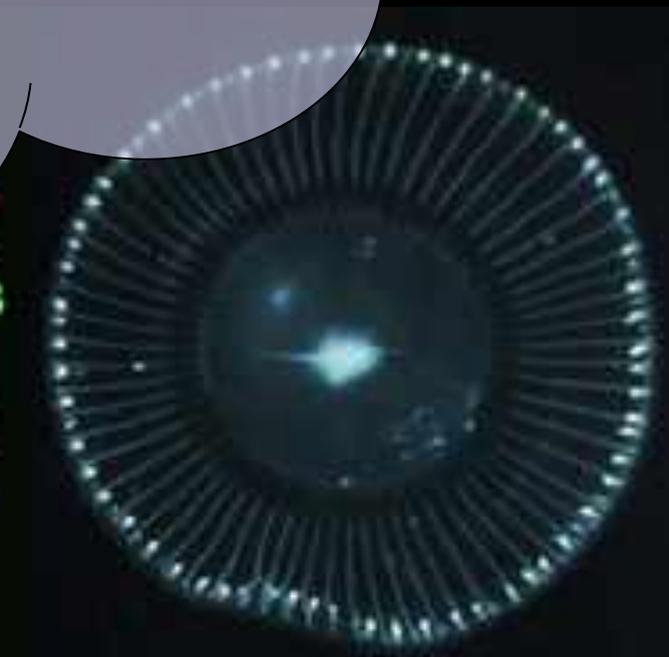
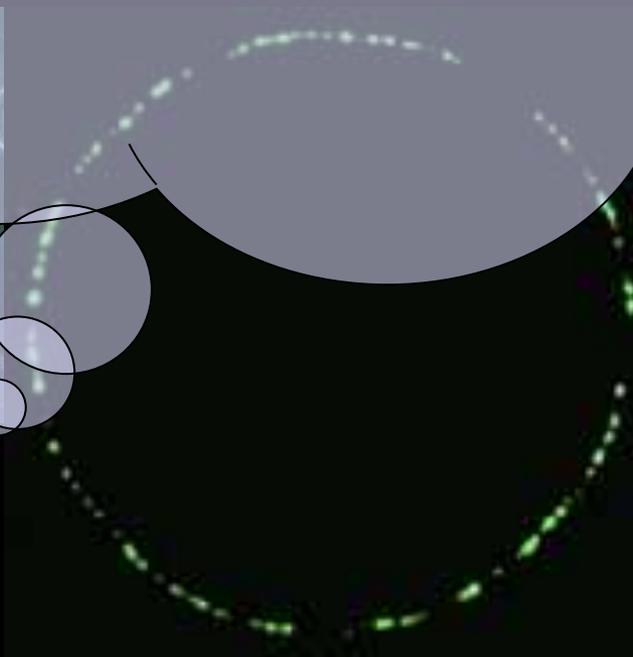
Proceedings of 9th International Symposium 1996

Edited by

J. W. Hastings, L. J. Kricka and P. E. Stanley

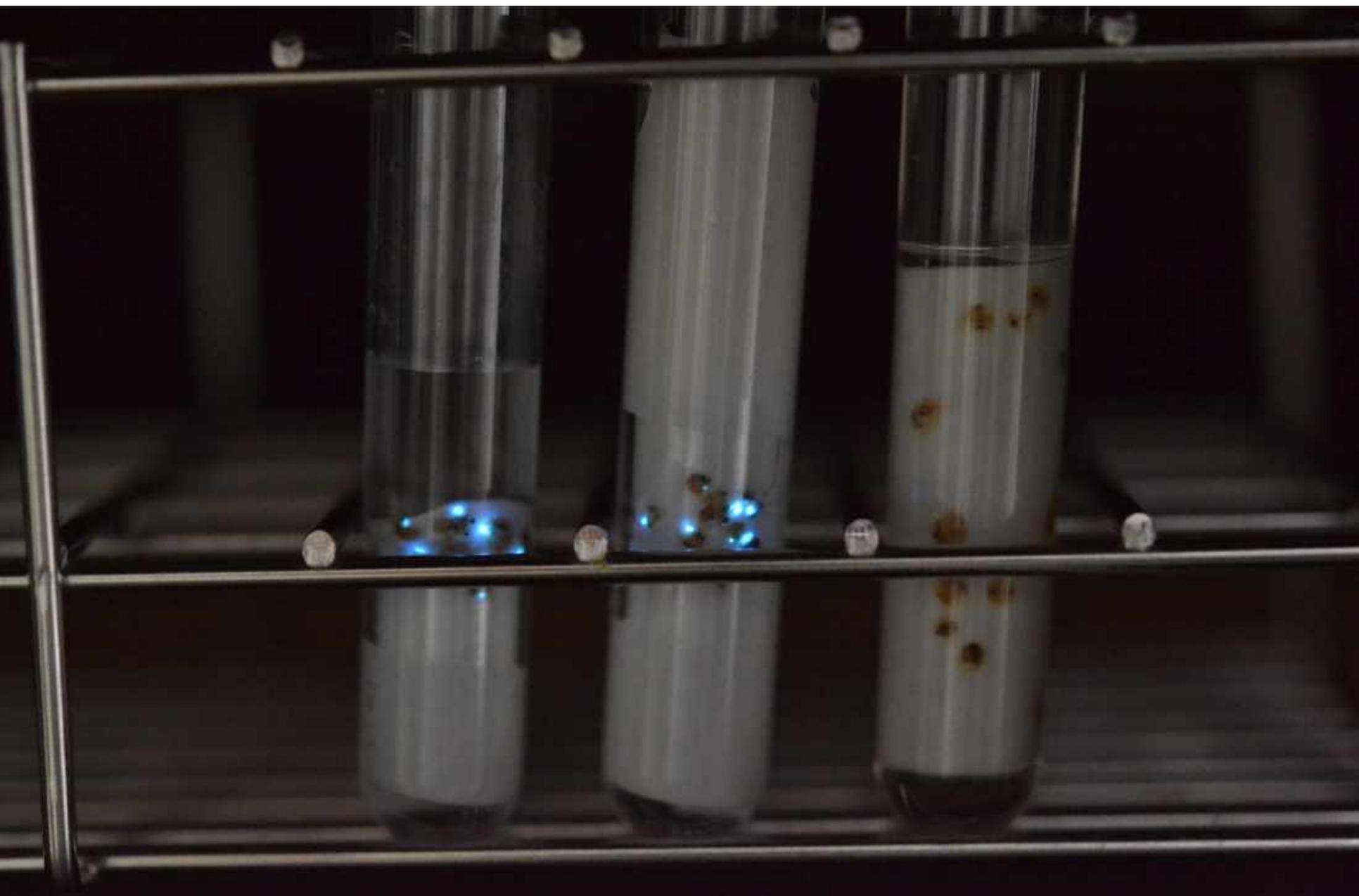
**“It lets us see things
we’ve never been able
to see before”
Marc Zimmer
GFP (2008)**

発光生物が光る理由はよくわ
かりませんが、生命科学の研
究や高感度環境分析などに
利用(りよう)されています。



ウミボタルの光を観察してみましよう

- ろ紙を敷いたシャーレにウミボタル(乾燥)が10匹くらい入っています。
- ここに海水をピペットを使って適量入れます。
- 1～3分観察してください。虫メガネがあれば拡大してください。どこが光っていますか。
- 観察結果を自由にノートに書いてください。



質問など、
なんなりとおよせください。

内容につきましては、
これからも改善していきます。