



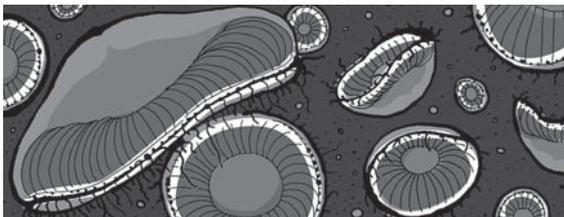
談話室

色素がとりもつ光と海の生物

村上 明男

生き物は、光感覚・光合成・生物発光など、何らかの形で光との関わり合いを持っている。生命誕生以来の進化の舞台であった海では、光と生物を仲介する多彩な色素が生み出されてきた。本稿では、光と海の生物のみならず、淡路島の臨海実験所にて、人との縁をも取りもってくれた色素について紹介する。

まずは、2008年ノーベル化学賞で話題になった緑色蛍光タンパク質（Green fluorescent protein, GFP）である。今日、GFPは遺伝子発現のプロープなどとして重要なツールとなっているが、発見者である下村脩博士の功績を知らずに利用している研究者が多かった。下村博士は、1960年代始めにワシントン大学Friday Harbor臨海実験所周辺に大発生していたオワンクラゲ数十万匹から、発光タンパク質イクオリンと同時にGFPを発見された。Ca²⁺により青色に発光するイクオリンがまず注目され、Ca²⁺の定量や細胞内動態の解析に役立てられている。GFPは異種生物での発現の成功をきっかけに、1990年代から急速に脚光を浴びてきた。また、GFPはクラゲと同じ刺胞動物のサンゴやイソギンチャクにとどまらず、カイアシ類やナメクジウオなど遠縁の生き物からも見つかっている。受賞半年前に淡路島に立ち寄られた下村博士ご夫妻には、生きたナメクジウオのGFP蛍光（窪川かおる博士らが2007年に発見）をご覧頂いた。我々脊椎動物の祖先となるナメクジウオでは外髭に局在しているが、その機能については推測の域を出ていない。なお、サンゴのGFPは、サンゴの共生藻の発見者、川口四郎博士（2004年没）が“緑色蛍光色素”として1944年に報告されている。GFPの研究はこれからも意外な展開を“魅せてくれる”ものと思われる。



クラゲ以外にも海の中には発光する生き物が満ち溢れている。細菌から魚類に至るまで幅広い生き物に生物発光が見られ、威嚇、攪乱、おとり、認識、誘因などに資するものと考えられている。これらの生物発光システムはATP定量などに実用化されている。発光色と光受容系の相関や発光基質の生合成の解明に取り組んでおられた中村英士博士とは、フラビン蛍光色素や夜光虫の発光基質について相談していた。夜光虫は淡路島の岸辺でも春～夏にかけてしばしば大発生して“赤潮”の主たる原因生物となるが、波などの物理的刺激に応答して青色に発光し、夜になると一層その輝きを増す。その発光基質がクロロフィル由来であることを立証するため、餌となる藻類の色素分解系について探り始めた矢先、中村博士はフィールド調査中の不慮の事故により2000年に帰らぬ人となられた。最近、深海クダクラゲが餌をおびき寄せるため赤色に発光することが報告され、夜光虫同様にクロロフィル由来の代謝産物が発光基質である可能性が示唆されている。



GFPと類似した緑色自家蛍光が、褐藻類の遊走細胞やミドリムシ藻の鞭毛付近に観察される。ミドリムシ藻では、光に集合したり逃避したりするために、フラビン系の色素が光情報を感知し鞭毛の動きを調節すると考えられていた。長年の共同研究者である渡辺正勝博士らは緑色蛍光を発する鞭毛基部膨潤部に光感覚受容体が存在するとの確証のもと、膨潤部顆粒の単離に挑戦し、奇想天外なフラビントタンパク質の正体を明らかにされた。このタンパク質にはcAMP合成酵素が融合しており、フラビンの一種Flavin adenine dinucleotide (FAD) が吸収する青色光を照射することでcAMP生成活性が瞬時に上昇したため、渡

著者紹介 神戸大学・自然科学系先端融合研究環・内海域環境教育研究センター（准教授）
E-mail: akiomura@kobe-u.ac.jp



辺博士らは光活性化アデニル酸シクラーゼ (Photo-activated adenylyl cyclase, PAC) と命名し2002年に報告された。最近になってPACを異種細胞に導入し、cAMP依存の細胞機能を光制御する研究が始まり、特に神経生物学や発生学分野での実用化に期待が高まっている。PACもGFPと同様に発見者の思いもよらぬ場面で活躍しそうである。



クロロフィルなど光合成色素も、本来の役割ではないがカラフルな自家蛍光を発する。光合成色素は基本構造からクロロフィル、カロテノイド、フィコビリンの3グループに大別され、とりわけ海産藻類からは変化に富んだ色素が沢山見つかっている。その中で、藍藻類や紅藻類のフィコシアノビルン (青色/赤色蛍光) やフィコエリスロビルン (赤色/橙色蛍光)、渦鞭毛藻類特有のカロテノイドの一種であるペリジニン (橙色/赤色蛍光) は、光合成色素としては珍しく水溶性タンパク質に結合し、高い分子吸光係数と蛍光量子収率、広いストークスシフトをもつため、着色剤や蛍光抗体などとして既に利用されている。海産藻類の中にはケト基を伴う特殊なカロテノイドをもつ種が多い。褐藻類や珪藻類のフコキサンチン、深所性の緑藻のシフォナキサンチン、渦鞭毛藻のペリジニンの3者は、進化的由来は異なるものの、水中深く届く緑色の光を吸収できるという共通の特性をもつ。シフォナキサンチンの光合成反応における意義の解明については、横浜康継博士が1980年前後に下田臨海実験所で精力的に取り組

んでおられた。クロロフィルaは光合成反応に不可欠の色素で、原核生物である藍藻から陸上植物までの進化の過程で維持されており、一次生産などの指標にも使われている。藍藻類は、一般的に緑色のクロロフィルaと青色のフィコシアニンをもつが、赤色のフィコエリスリンを豊富にもつ紅色の藍藻、フィコビルンを失いクロロフィルbを獲得した黄緑色の藍藻などの特殊化した種もあり、主に海から発見されている。熱帯・亜熱帯の水深100–200 mのやや深い海には、特殊なジビニルクロロフィルbをもつピコシアノバクテリア *Prochlorococcus* が優占していることが最近明らかになり、海洋の一次生産量の見直しを迫られている。新たな光合成色素は淡路島沿岸からも見つかり、いずれ利用の道が開かれるだろう。長年、光合成色素の研究を支えてくれた三室守博士は、研究生活の集大成として教科書『クロロフィル』を遺し、昨春旅立たれた。



最近、NASAから“液体の水が存在するらしい地球によく似た惑星が見つかった”との発表があった。第二の地球で生きているかもしれない生物は光とどのように関わっているのか？ 第二の地球ではどのような色の世界が繰り広げられているのか？ 大いに興味をそそられる。

(イラスト：ウチダヒロコ)
<http://uchidahiroko.com/>