

生物・化学発光系の化学マジック実験法の検討

○戸谷 義明

TOYA Yoshiaki

愛知教育大学理科教育講座化学領域

【キーワード】 生物発光, 化学発光, 化学マジック

物質の化学反応に伴って光が出る現象を化学発光といい、これは高温の物体から光が出る、たとえば電球のフィラメントの白熱発光とは異なる。化学発光は通常、有機物の発光物質が酸素や過酸化水素によって酸化されて生じる。しかし、一般の酸化反応では、反応で生じたエネルギーは熱として放出されるが、化学発光は熱ではなく主に冷光として出される非常に特殊なケースである。化学発光物質では犯罪捜査の血痕判定に用いられるルミノールが著名である。

生物から光が出る生物発光は美しく魅惑的であるばかりでなく、ほんとうにふしぎで神秘的な現象である。発光生物としては、動物ではホタル、ウミホタル、植物ではツキヨタケ、発光細菌（バクテリア）などが有名であるが、実際、動物では夜光虫のような単細胞動物から魚類まで広く多種にわたり、いろいろな発光動物が存在する。生物発光は、化学発光の一種であり、発光反応に酵素等のタンパク質が関与することが大きな特徴で、一般の化学発光に比べ、効率が良いのが特長である。生物発光で発光する（ために酸化される）物質はルシフェリン（発光素）と呼ばれ、発光生物により構造が異なり、7種のもの知られている。ルシフェリンは酵素ルシフェラーゼの助けを借りて酸素等と反応し、発光を生じる（ルシフェリン-ルシフェラーゼ反応系）。一方、ルシフェリン、ルシフェラーゼ、および酸素が合体した形に相当するものもあり、その一種でクラゲからとれたエクオリンは、カルシウムイオンがあると発光する（発光タンパク質系）。ホタル等の昆虫類の生物発光ではルシフェリンは共通であるが、ルシフェラーゼの構造が違うことによって発光色が変わる。

生物・化学発光の応用としては、結婚式の発光セレモニー（キッコーマンホタライト、ルミカセレモニー・セット等使用）や、祭りの夜店・コンサートのケミカルライトが身近であるが、光は非常に高感度で検出できるため、生物・化学発光は放射性物質を使わない安全で簡便な微量分析法として細菌汚染検査などへ利用されている他、ルシフェリンやルシフェラーゼが医学、

生化学などの研究で盛んに活用されている。

著者は、これまでウミホタルの生物発光機構を中心に生物発光・化学発光に関する研究を行ってきた。学習の過程では高校の生物 I の多くの教科書で生物体の構造の発光・発電器官としてウミホタルが取り上げられており、生物発光の教材として乾燥ウミホタルが販売されている。高価（3-4 mL で ¥5000 ぐらい）ではあるが、これを使った発光実験は非常に学生の反応がいいという評判をよく聞く。そこで、愛知教育大学の訪問科学実験で、著者が重点的に指導を行っている化学マジックにおいても生物発光・化学発光の現象を化学マジックとして紹介することを計画した。生物発光・化学発光について広く世の中の人々に知ってもらい、理科好きの子どもを育てるためにも役立つような生物・化学発光系の演示実験を、入手が容易なものを利用し、簡単に行えることを前提に検討し、以下の結果を得た。幾つかを実際に演示する予定である。

化学反応で発光！—ケミカルライトの秘密：ルミカ6インチ高輝度発光体（黄、ピンク）1本 ¥180, セレモニー・セット（発光液, O→Y→G, O→W→B）各 1000 mL ¥Open, 1回 100 mL 使用。体育館等の明るい場所でも発光の観察可能！低コスト。炎色反応の熱い光と比較し、容器に触れて冷光を体験。発光体の構造と原理説明。

ルミノールの発光：Nacalai GR 5 g ¥4300, 1 mol/L NaOH, 3% H₂O₂, ブタヘモグロビン, K₃[Fe(CN)₆], または KOH-DMSO-trace H₂O で発光。低コスト。乾燥ウミホタルの光：乳鉢に入れた乾燥ウミホタルに水を加えてすりつぶすと発光。高コスト。蛍の光：キッコーマン製ホタライト, 100 mL x 3 ¥5250, 遺伝子操作で作られたルシフェラーゼ A（自然色, 赤色）と ATP, Mg²⁺, ルシフェリン B を混合。1回 10 mL 使用。A は凍結保存可。

エクオリンの発光：遺伝子操作で作られたチソン製エクオリン, 1 mg x 2 ¥9450, 1 mg を TE 緩衝液（pH 8.0, 純水必要）40 mL で希釈してスプレー瓶に入れて使用。上質紙、部屋の壁、試験管に入った牛乳または水道水にスプレー（含まれるカルシウムで発光）。比較的高コスト。