

平成26年度 SPP 講座

「発光生物の仕組み—生態・進化・人間生活との関わり—」の 実施報告

理科 長根智洋

本校では、平成26年度の SPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）企画として、「発光生物の仕組み—生態・進化・人間生活との関わり—」と題した講座を名古屋大学と連携して実施した。ここでは、その実践活動を紹介し、実践を通して得られた知見から、このような活動の意義や今後の活動の方向性について考えてみたい。また、2015年7月に採択された中高生のための科学研究実践活動推進プログラムと SPP や理科課題研究との関連についても考えてみたい。

<キーワード>SPP 生物教育 高大連携 ESD 中高生のための科学研究実践活動推進プログラム
理科課題研究 環境保全

1. はじめに

本校では、平成15年度より JST（科学技術振興機構）が主催する SPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）を名古屋大・京都大・名古屋工業大をはじめとする県内外の多くの大学等と連携して行ってきた。はじめの頃は、実施すること自体に意義を求めて活動していた面もあったが、実施のノウハウも蓄積され、学校での通常の学習活動と結びつけた形での実践や、SPP 活動に参加しなかった生徒への波及効果を狙った取り組みなども模索してきた¹⁾。ここでは、平成26年度の SPP 講座として、名古屋大学大学院生命農学研究科の大場裕一助教と連携し、申請・採択された「発光生物の仕組み～生態・進化・人間生活との関わり～」と題し実施した実践を紹介する。また、実践を通して学んだことを、「科学三昧 in あいち2014」や「世界ユネスコ子ども会議」等の外部発表の場に昇華させていった過程も紹介する。

2. SPP 講座の企画立案の背景

平成24年度から高等学校理科では、新学習指導要領が本実施となった。新学習指導要領では、近年の生命科学の急速な進展に対応していることが特徴の一つであり、遺伝子組換えやオーダーメイド医療など、遺伝子の研究の進展と技術の革新について、多くのページが割かれている。しかし、遺伝子組換えなど生命科学の実験は費用的にも設備的にもハードルが高く、教科書に記載されている実験を全てこなし、生徒にその重要性や社会との関連性を十分に理解させるには至っていない。そこで、SPP の活動を通して生命科学の技術だけでなく、広く地球環境まで視野を広げた研究を行っている名古屋大学大学院生命農学研究科の大場裕一助教に協力要請をした。大場裕一助教は『発光生物』を研究対象とし、これまでに多くの研究成果を出しているだけでなく、小学校・中学校・高等学校と幅広い発達段階の児童・生徒を対象にした実験教室を行ってきた実績があり、今回の企画の講師として適任であると判断した。大場助教の研究対象である生物の発光現象は生物学だけでなく、酵素反応に

焦点を当てれば化学、生態や進化に焦点を当てれば地学と幅広く理科全般の分野に応用できる可能性を秘めている。そこで、発光現象の仕組みだけでなく、光る生物の生態や進化についての講義と実験を通し、生命科学と実社会との関連についての知識を深めさせることを目的とした。また、名古屋大学との連携により期待される効果の1つとして、生徒の進路選択があげられる。まず、本校は女子生徒の割合が全校生徒の7割と高く、看護師など医療系の進学先を希望している女子生徒が多いのが特徴である。昨今の若者の理科離れが深刻化している中、女子生徒が進路を選択する際に「女子は文系、男子は理系」という旧来の社会通念で判断するのではなく、大学での実験を契機に理系に興味を持ってもらい、自分の希望に応じた進路を選択してもらうことが期待できる効果の1つである。

今回の企画のテーマである発光現象は2008年にノーベル化学賞を受賞した下村修博士が発見・開発した蛍光物質である GFP に関連させることが可能であり、GFP はガン研究など、最先端の医療分野にも応用されている。下村修博士は連携先の名古屋大学出身であり、生徒に興味関心を持たせやすい。また、複数の蛍光色素で標識した数千の遺伝子を解析する DNA マイクロアレイなど発展的な内容まで昇華させることも可能であり、研究者を目指そうと希望する生徒を育成し、キャリア選択の一助となることも期待できる。このような実施効果を得るために、講師の大場助教と密に連絡を取り合い、最適なプログラムとなるように事前準備を行った。

3. 講座の実施概略

(1) 事前学習会の実施

今回の講座の参加者は、1年生から3年生までの、既習範囲が大きく異なる集団であった。本校の教育課程では、1年生は化学基礎と地学基礎の2科目を履修する関係上、生物に関しては、中学校理科2分野までの知識しか持っていない。そのため、講義を受講するにあたって、共通に理解しておきたい内容を確認しておくために、著者による事前学習会を実施した。まず、発光の基本原理を理解させるため、生体内の化学反応の大部分が酵素によって行われていること、また、その酵素は遺伝子の転写・翻訳のセントラルドグマの過程を経て生体内で合成されることを、パワーポイントやプリントを有効に用いながら説明した。また、酵素反応には反応基質が決まっている基質特異性や最適温度や最適 pH が重要であるということも日常生活で用いられる洗剤を例に出しながら、説明した。また、講義の中で発光生物の例として「ホタル」を使った説明をしたいという講師側の要望があったので、大場助教が書いた著書を使ってホタルの生態等についても簡単に触れた²⁾。

(2) 本講義の実施

本講義は2日間とも名古屋大学にて実施した。また、実習に際して、TA（ティーチング・アシスタント）を3名の学生に依頼した。うち3名は、講師の研究室配属の修士及び博士課程の大学院生で、主に実験実習の準備・補助、説明などを担当した。以下、講義の概要について紹介していく（表1参照）。

1) イントロダクション、発光生物学講義

この2日間の活動のスケジュールの確認を行った後に、本講座の活動を経てどんな力を身につけて欲しいかを説明した。また、大学ではどのようなことを研究しているのか等、名古屋大学の特色を聞き、生徒はより大学への理解を深めることができた。さらに、講師の先生ご自身が現在取り組まれている研究についての紹介があった。発光生物学の講義では、発光生物学という学問が生態学、生理学、分類学等の領域に跨っていることを説明した（写真1）。その後、具体的な発光生物として大場助教

表 1 講座の概要

第 1 日目	
日時	平成 26 年 9 月 27 日 (土) 9:00~16:00
場所	名古屋大学農学部 B 館 B600 号室、B62 号室
参加者	本校生徒参加希望者 25 名 (1 年生 7 名、2 年生 13 名、3 年生 5 名) 講師 1 名、TA 3 名、本校職員 3 名
講座内容	<p>(1) イントロダクション、発光生物学講義</p> <p>1-1 本講座の目的、スケジュールの注意点</p> <p>1-2 担当講師と TA の紹介</p> <p>1-3 発光生物の基礎-①発光生物学とは、②ホタルミミズの生態、③発光生物の光る仕組み、④ルシフェリンとルシフェラーゼの反応</p> <p>1-4 発光の応用-①緑色蛍光タンパク質 (GFP) の遺伝子クローニング、②緑色蛍光タンパク質 (GFP) の応用、③遺伝子の誘導について</p> <p>1-5 研究紹介-①発光魚について、②発光菌類について、③学会発表を聞いてみよう</p> <p>(2) 実験実習 I</p> <p>2-1 マイクロピペットの使い方</p> <p>2-2 発光細菌を使った植菌操作</p> <p>2-3 ヘイケボタルルシフェラーゼタンパク質発現誘導操作</p> <p>(3) 課題の指示、博物館見学</p> <p>3-1 大学の情報を知る-実験ノートのまとめ方</p> <p>3-2 大学の情報を知る-名古屋大学博物館見学、実験施設・研究現場見学</p>
第 2 日目	
日時	平成 26 年 9 月 28 日 (日) 9:00~16:00
場所	名古屋大学農学部 B 館 B600 号室、B62 号室
参加者	本校生徒参加希望者 24 名 (1 年生 6 名、2 年生 13 名、3 年生 5 名) 講師 1 名、TA 3 名、本校職員 3 名
講座内容	<p>(4) 発光生物の観察</p> <p>4-1 観察-①ヘイケボタル、②ヤコウタケ、③発光細菌</p> <p>(5) 実験実習 II</p> <p>5-1 酵素基質反応についてのクロスリアクション (講義)</p> <p>5-2 乾燥ウミホタルを使った、デュボアの実験の再現 (実習)</p> <p>(6) 実験実習 III</p> <p>6-1 構造決定と有機合成、ルシフェラーゼと発光色 (講義)</p> <p>6-2 有機合成と遺伝子組換え技術でホタルの光を再現 (実験)</p> <p>(7) レポート課題の指示、講座のまとめ (フリートーク)</p>

が名古屋大学構内で発見したホタルミミズの紹介をした後、発光のメカニズムを基質-酵素反応の視点から説明して頂いた。生徒は高校で行われた筆者の事前指導を受けていたこともあったのか、より深い理解へと繋がった様子であった。また、生態系の視点から名古屋市がホタルの住む環境をどのように保全しているのか具体的な取り組みを聞き、持続可能な開発とはどのようなものなのか ESD (Education for Sustainable Development: 持続可能な開発のための教育) の視点からも考えることができた。



写真 1 発光生物学についての講義

4) 発光生物の観察

翌日は研究室で扱っている発光生物の観察を行った。まず、ヘイケボタルの幼虫の成虫を観察した後にスケッチをした(図2)。また、キノコの一つであるヤコウダケが暗闇でほのかに光ることも確かめた。また、1日目に植菌を行ったプレートを暗闇に移すと増殖した発光バクテリアの部分が発光していることを確かめた(写真4)。生徒は動物だけでなく、菌類から細菌まで多くの生物が発光していることを知り、発光の進化やその意義等についても講師の先生やTAの大学院生に問いかける様子が多く見られた。

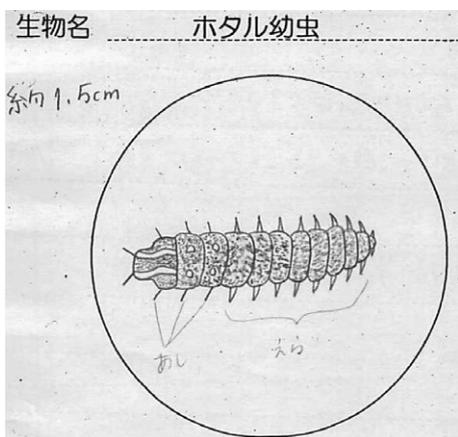


図2 ホタル幼虫のスケッチ

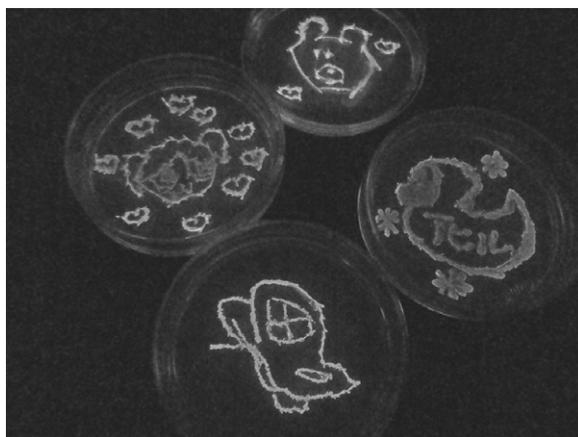


写真4 植菌した発光バクテリア

5)、6) 実験実習Ⅱ・実験実習Ⅲ

ここでの実験実習でもTAの指導の元、前日に遺伝子誘導を行った数種類のルシフェラーゼの精製を遠心機を使って行い(写真5)、基質と反応させることで様々な色の発光が起こることを確かめた(写真6)。生物を履修してない生徒にとっては難しい内容であったが、各実験グループを巡視しながら、内容についてフォローした。多くの生徒がルシフェラーゼの種類が変わることで、なぜ発光色が変わるのか疑問に感じる生徒が多かった。この色の違いが生物の進化にも深く関連しているかもしれないという説明を聞き、生物の進化の奥深さを実感することができた。特に3年生の生物選択者にとっては授業で学んだことを再現する実験であり、普段の授業の理解がより深まったと思われる。



写真5 遠心機でルシフェラーゼの精製

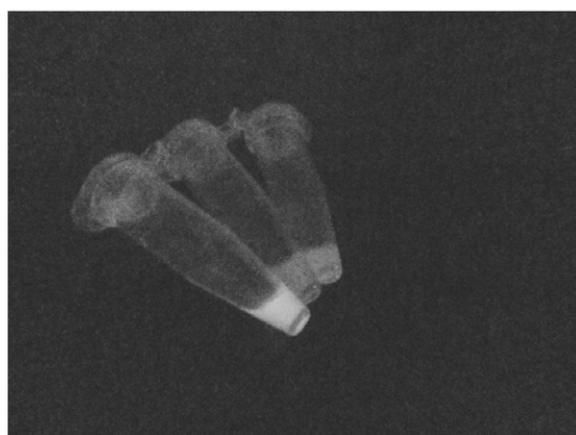


写真6 ルシフェラーゼとルシフェリン反応

4. 講座後の取り組み

講義を受講しただけで終わらずに、学んだ内容を外部に発表するという目的の下に、「ユネスコ世界子ども会議」及び「科学三昧 in あいち2014」にて、学習したことをポスターにまとめた。以下、それらの活動の様子を報告する。

(1) ユネスコ世界子ども会議での発表

愛知教育大学附属高校は平成26年度ユネスコ指定校に認可されているが、ESD (Education for Sustainable Development: 持続可能な開発のための教育) の取り組みで発表する機会があった。ESD は持続可能な社会の担い手を育む教育であり、探究力の育成とも共通した部分が多い。そこで、SPP 実施後に有志の生徒を募り、平成26年10月26日 (日) に、「世界ユネスコあいち子ども会議」でSPPの成果を発表した。

ここでは特に、社会と自然環境との関係性に焦点を置いた発表形式にした。小学生以下の参観者が多いことも考慮して、ポスターだけでなく、SPP 当日の活動の様子をパソコンの動画を使って流したり、紙芝居形式で説明したりと多彩なプレゼンテーション手法を用いて発表を行った (写真7)。



写真7 世界ユネスコ子ども会議での発表

(2) 「科学三昧 in あいち2014」における発表

平成26年12月25日 (木) に、あいち科学技術教育推進協議会主催の「科学三昧 in あいち2014」という研究発表の場にて、本校生徒が全英文でポスター発表する機会を得た。SPP 講座に参加した生徒のうち2名がSPP 講座で学んだことをまとめ、参加した県内の他高校の生徒、教員、あるいは大学教員を前に説明した。科学三昧は県内SSH (スーパー・サイエンス・ハイスクール) 認定校が中心となり、科学の研究成果を発表する場である。日本語でも発表できるが、グローバル化を意識し、研究成果をオールイングリッシュで発表した。オールイングリッシュであるため、ポスター作りやプレゼンテーションの練習において苦労する場面が多かったものの、生徒と一緒に切磋琢磨しながら作り上げていった (写真8)。後述するが、SPP の代わりに平成27年度から実施されている中高生の科学研究実践活動推進プログラムでは、教科の壁を超えて連携していくことが求められている。英語での発表に際しては、英語科の教員と連携していくことでより良いものができていくと思われる。

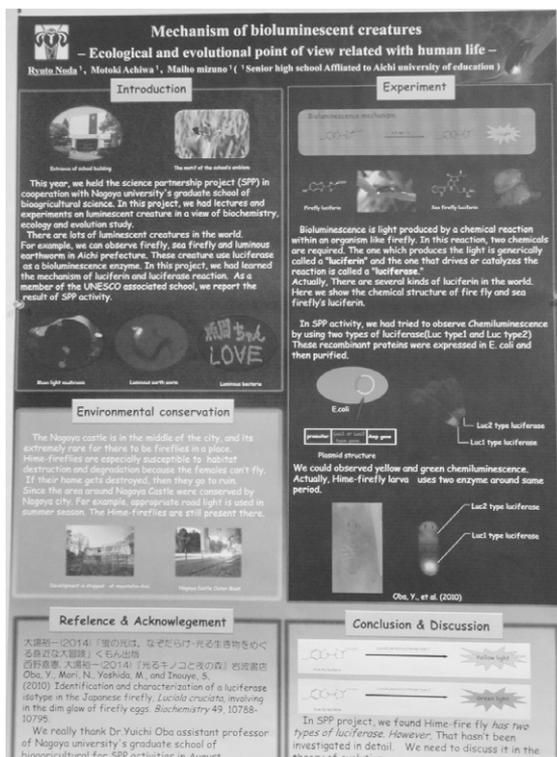


写真8 科学三昧 in あいち2014でのポスター

5. 理科課題研究と中高生の科学研究実践活動推進プログラムとの関連性とまとめ

これまでに述べてきたように、本校では、平成13年度から JST（科学技術振興機構）主催の SPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）に毎年採択され、名古屋大学、豊田工業大学など、多くの大学・機関と連携してきた。SPP が平成26年度で廃止され、代わりに中高生の科学研究実践活動推進プログラムが成27年度からスタートした³⁾。本校も本プログラムに申請・採択され、本年度から研究活動を実施している。このプログラムの特徴は、科学技術だけに捉われず、生徒の興味に応じて幅広く人文科学や社会科学や情報科学などにも視野を広げて研究活動を行うことが可能となり、3年間という継続した期間が設けられたことである。また、生徒が自ら課題を設定し、研究活動を行っていくという理科課題研究におけるテーマ設定と類似した部分がある。現時点での問題点を見つけるために、専門的に取り組んでいる研究者や連携機関からの支援が必要となる場面も生じてくるであろう。また、研究を進めて行くに当たっても、その都度方向性の修正、具体的実験指導といった支援が必要である。そこで、高校生が自ら興味を持てるもので、まだ知られていないテーマは何か、そのテーマを解決するための実験調査手法はいかなるものか、実験調査から予測される結果は何か、さらにその成果はいかなる意義を持つのかといった段階まで踏み込むことを目標とし、3年間の実践を通じて生徒及び全ての教科における教員の科学的手法に基づく指導力の向上を図っていくことが求められている。そして更に研究を深めることが望ましい研究価値の高いテーマを継続テーマとして、研究していくことで生徒が毎年、入れ替わっても永続的に活動を行っていくことが可能である。ただし、この中高生の科学研究実践活動推進プログラムで研究していく生徒は数人～10人程度と少ない人数である。そこで、高校1～2年生で科学研究実践活動推進プログラムを実践した生徒をリーダー的存在とすることで、3年生で実施される理科課題研究における生徒全体の研究活動能力の向上を図っていきたいと考えている。そのためにも、1・2年生での個別指導における教員の役割が非常に重要となってくる上に、3年間を見越した計画も立てていく必要がある。

6. 謝辞

今年度 SPP 企画の実践にあたり、名古屋大学大学院生命農学研究科の大場裕一助教には、ご多忙の中ご指導いただき、大変感謝いたします。また、名古屋大学博物館の見学にご尽力頂きました門脇誠二助教にもお礼申し上げます。また、TA（ティーチング・アシスタント）として補助して頂いた研究室大学院生の蟹江秀星さん、鈴木義基さん、別所学さんにもお礼申し上げます。

7. 参考文献

- (1) 足立敏・加藤透・長根智洋、SPP「世界にひとつしかない分子を創る」、愛知教育大学附属高等学校研究紀要第41号、(2014)
- (2) 大場裕一、「ホタルの光は、なぜだらけ：光る生き物をめぐる身近な大冒険」、くもんジュニアサイエンス、(2013)
- (3) 国立研究開発法人 科学技術振興機構、中高生の科学研究実践活動推進プログラムについて〈<http://www.jst.go.jp/cpse/jissen/about/index.html>〉(2015参照)