

自然環境エキスパート学生養成プログラム —教育推進特別研究事業報告—

岩瀬剛二 仲山英之 下岡ゆき子 渡邊浩一郎 橋本慎治 本間眞一

帝京科学大学生命環境学部自然環境学科

Program for cultivation of expert students in natural and environmental science
— Report on the project for implementation of educational research —

Koji IWASE Hideyuki NAKAYAMA Yukiko SHIMOOKA Koichiro WATANABE
Shinji HASHIMOTO Shin-ichi HOMMA

Department of Natural and Environmental Science, Faculty of Life and Environmental Sciences, Teikyo University of Science

キーワード：試行錯誤、接ぎ木、ホタルの発光、豆腐づくり、水質調査
Keywords: trial and error, grafting, firefly luminescence, soybean curd making, water quality survey

1. 諸言

教育推進特別研究は、帝京科学大学における教育の一層の充実と推進を図ることを目的とした研究で、次の7つの項目のどれかに合致する内容のものを基本としている。

- (1) 入学者受入の改善・改良に関する企画開発等
- (2) 教育課程に関する企画開発等
- (3) 学生の質の保証に関する企画開発等
- (4) 大学の個性化・活性化に関する事項
- (5) 教育を通じた地域連携事項
- (6) 教員の資質・教授能力の向上の推進に関する事項
- (7) その他学長が必要と認める事項

2018年度教育推進特別研究費として、自然環境学科では、上記(3)の「学生の質の保証に関する企画開発等」に該当するものとして「自然環境エキスパート学生養成プログラム」のタイトルで応募し、採択された。本報告は、事業の推進とその成果に関する報告である。

自然環境学科では、これまで教育課程に関する企画開発、学生の質の保証、大学の個性化・活性化、教育を通じた地域連携など、教育推進特別研究費の枠組みにとらわれずに、様々な取り組みを行ってきた。近年、特に学生の質の保証に関する議論が活発になっている中で、本学科の学生に限って見ると、年々、質の低下が危惧される状況にあると思われる。卒業研究は大学卒業のための最終段階のものと位置づけられ、学生の質の保証に関する最も重要

なものであり、そのためにも事前の講義や演習、実験、実習によって卒業研究の遂行に耐え得る学生を養成することが求められている。しかし、現状のカリキュラムにある実験や実習は、様々な事象や技術を体験させることを目的としているため、体験学習的な要素が強く、卒業研究の遂行に必須な要素の一つである「試行錯誤」の過程を十分に取り入れることができていない。また、学生の質を高めるためには、見分を広め、幅広い知識の習得が必須であると思われるが、現状では、十分なものとなっていない可能性がある。そこで、卒業研究着手前の学生(1、2年生)を対象として、見分を広め、知識の習得を図るための体験学習の機会をつくり、また、試行錯誤の過程を含めた課題研究に取り組ませることで、学生の質の保証の確保を図ることをねらいとする研究プログラムを計画し、実行した。ただし、本プログラムの主たる目的は「試行錯誤」の過程であるため、もう片方の見聞を広めるための体験学習はあまり含めてはいない。本研究の特色としては、卒業研究に取り組む以前の学生に対する課題研究の実施にある。プログラム実施後に参加学生に対してアンケートを実施することで、プログラム参加前と比較して、参加後では実験や調査に取り組む姿勢や考え方が向上したという意識を持たせることができ、卒業研究に取り組む意欲も増し、卒業研究を実施した際には、より質の高い成果が得られるものと考えられる。また、参加教員間で情報共有を図ることで、実験や調査に対する学生たちの姿勢や考え方、さら

に教員側の姿勢や指導に関する問題点の抽出も容易になると思われる。

上記のような内容の研究であることを自然環境学科全教員に示し、目的に沿った個別プログラムの提案を依頼したところ、千住キャンパスからは橋本教授の「東京湾および荒川の水質調査」および提案者である岩瀬の「接ぎ木の科学と実践」の2課題、東京西キャンパスからは仲山教授と下岡准教授からの共同提案である「ホタルの発光の科学」および渡邊教授からの「豆腐作りの科学」の2課題の提案があり、試行錯誤の過程を含めた課題研究の実施目的に合うものとして採用を決めた。なお、助手の本間眞一は、各個別プログラムの調査や実験の補助として参加した。

2. 実施計画

本学科は千住キャンパスと東京西キャンパスの2キャンパスに分かれているため、各キャンパス毎に実施する計画を以下のように立てた。

【千住キャンパス】（本文中では以下千住と記載）

1) 接ぎ木の科学と実践（担当：岩瀬）：6月頃から計3回、学生10名程度

1回目：接ぎ木についての講義、植物材料の播種と育成

接ぎ木についての講義を行い、接ぎ木に用いる植物材料を播種し、育成を行う。

2回目：接ぎ木の実技

植物材料が生育したら、実際に接ぎ木を実施する。

3回目：植物の組織構造と維管束の顕微鏡観察

接ぎ木の成功の有無に関わらず、植物組織構造と維管束構造の顕微鏡観察を行う。

以降、試行錯誤を繰り返して接ぎ木の成功までを体験する。

2) 東京湾および荒川の水質調査（担当：橋本）：6月頃から毎月1回、4回程度、学生10名程度

東京湾および荒川でサンプリングを行い、栄養塩濃度、動植物プランクトン生物量や種組成等の季節変化や真水、汽水、海水間の違い等を考察する。

1回目：調査内容に関する講義とデモンストレーション

2回目以降：サンプリング調査と測定

以降、学生の希望に応じて、必要なアドバイスと実験場所の提供を行う。

【東京西キャンパス】（本文中では以下東京西と記載）

3) ホタルの発光の科学（担当：下岡、仲山）：6～7月の3日間で実施、学生10名程度

1日目：ホタルの観察

昼間は実験室内で養殖ホタルの観察とスペクトル測定、夜間に野外観察を実施

2日目：発光実験

試薬によるホタルの発光実験及び類似の発光実験とスペクトル測定

3日目：ホタルの発光のメカニズムとその応用に関する講義

以降、学生の希望に応じて、必要なアドバイスと実験場所や試料の提供を行う。

4) 豆腐作りの科学（担当：渡邊）：9月中旬頃に2日間で実施、学生6名程度

1日目：豆腐作りの講義と仕込み

2日目：豆腐作りの実際

以降、学生の希望に応じて、必要なアドバイスと実験場所や試料の提供を行う。

3. 実施内容

採択決定後、しばらくの後に各担当教員が学生たちに対して本プログラムの趣旨説明を個別に行ったところ、千住では希望する学生がいたが、東京西では希望学生が集まらなかった。そこで、本プログラムの代表者である岩瀬が千住では7月30日に、東京西では、後期が始まってからの10月4日に学生たちに対して説明を行ったところ、東京西でも希望者が現れ、実行に移すことになった。ただし、課題③のホタルの発光の科学については、野外でのホタルの観察が6月頃にしか行えないため、発光実験等の部分とは別にして、観察のみの参加者を募って実施した。以下に個々のプログラムの実施結果について記述する。

1) 接ぎ木の科学と実践

接ぎ木とは、異なる植物個体の茎同士を人為的に繋ぎ、あたかも一つの個体であるかのようにする技術で、地下部の根を伴う個体の方を台木（だいき）、果実などの成果物を得るための地上部を使う個体の方を穂木（ほぎ）と呼ぶ。根の病気に弱いウリ科のメロン、スイカ、キュウリなどでは、台木として主としてカボチャが使われており、ホームセンターな

どでは接ぎ木苗が販売されている。また、枝変わりなどの新品種を育てる果樹では、柑橘系では台木として主としてカラタチが、ナシではマンシュウマメナシ等が使われており、農業では一般的に用いられている方法である。

実施は希望者を対象とした。希望者は1年生が2名、2年生が4名の計6名であった。実施内容は次のとおりである。なお、以下に記述する内容は担当教員の指導の下、すべて参加学生が自ら行ったものである。

①植物栽培棚の組み立て

岩瀬研究室にある植物栽培棚と同様な棚（横幅が約1500 mm、奥行きが約450 mm、高さが約1800 mmで棚板が5枚で段数4段）を組み立てた。照明にはLEDランプを使用し、白色LED5本設置が2段、植物育成用の赤青LED5本設置が2段とした。また、栽培棚の各段は光が通過できるような形状であるため、各段には発泡スチロール板を設置して上段の照明光の影響を除き、光の効果の違いを見られるようにした。

②播種と植物の育成

実験にはベンサミアナタバコ (*Nicotina bethamiana*) を使用し、名古屋大学の研究室から入手した種子を使って栽培し、栽培後に得られた種子を使用した。プラスチック製の植木鉢（5号鉢）を用いて定法に従って培土を調製し、播種を行い、栽培棚で育成した。育成中の水やり（接ぎ木処理後の育成時と同じ）は参加学生が当番を決めて行った。

③接ぎ木処理と育成

今回、穂木として用いる予定であったトマトの種子が手に入らなかったため、ベンサミアナタバコ同士で行うことにした。参加学生の中には農業高校出身で高校の授業で接ぎ木を行った経験者がいたため、手法の説明は簡単に行い、後は彼らの自主性に任せることにした。

④接ぎ木処理の結果と茎の維管束の観察

実際の接ぎ木処理は何度か行ったところ、徐々に成功率が上がっていった。実験結果については、別の報告に記すので、ここでは省略する¹⁾。接ぎ木が成功した場合、台木と穂木の維管束が繋がっていることになるため、茎の切片を作成して顕微鏡観察を行った（図1）。

⑤まとめ

最初は、すべて指導教員の指導に従って行っていたが、播種、水やり、接ぎ木処理と回を重ねるに



図1 接ぎ木処理後の顕微鏡観察用切片の作成

たがって、自ら考えて行動できるように変化が見られた。また、接ぎ木処理については個々の参加学生たちが実験を繰り返し、失敗を基にして試行錯誤を重ねて工夫を行ったため、成功率の上昇が見られたものと思われるが、学生の成長結果等については、後の総合考察で述べることにする。

2) 東京湾および荒川の水質調査

荒川の上流から下流にかけてと東京湾の水質を調査し、その変化を考察することを目的として以下の項目を実施した。

①河川の水質環境に関する講義と水質調査に関するガイダンス

2018年8月21日（火）午前10時より7号館自然環境学科学学生実験室において河川の水質環境に関する講義と水質調査に関するガイダンスを行った。参加者は全員1年生で男子4名、女子3名の計7名が講義とガイダンスに参加した。

②サンプリングと化学分析

サンプリングは9月6日（木）と9月20日（木）に帝京科学大学の公用車を用いて計2回実施した。試料採取は新荒川大橋（上流）、西新井橋（中流）、平井大橋（下流）の中央部で行った。東京湾での採水は往復するのに時間がかかり過ぎることからサンプリング自体を中止した。1回目のサンプリングには男子5名、女子3名の計8名、2回目では男子3名、女子3名の計6名が参加した。試料採取は、1グループ3～4人の2グループで行った。1回目のサンプリングの準備と最初の採取地点でのサンプリングは指導教員の指示に従って行ったが、2回目のサンプリングの準備と他の2地点のサンプリングに関しては学生自らが手分けをして行った（図2）。回数を重ねるごとに慣れてきたため、効率よくサン



図2 プランクトンネットを利用したプランクトンの採集

プリングを行うことが出来、また開始から終了するまでの時間を短縮することが出来た。採取後、自然環境学生実験室にて、サンプル処理と化学分析を9月6日（9項目）、7日（2項目）と9月20日（9項目）、21日（2項目）のそれぞれ2日間行った。サンプリング同様に、1回目は指導教員の指示に従いサンプル処理と化学分析を行ったが、2回目は学生自らがサンプル処理と分析を行った。分析終了後は3地点の測定結果の比較および2グループの比較を行った。

③顕微鏡観察

11月22日（木）に採取したプランクトンの顕微鏡観察を行った。男子3名、女子3名の計6名が参加した。最初は慣れていなかったせいか、なかなかプランクトンを見つけることが出来なかったが、時間経過とともに観察することが出来るようになった。

④レポートの提出と調査報告会

これまでの調査に関するレポートの提出をしもらったが、提出したのは女子3名だけであった。また2019年1月24日（木）にパワーポイントを用いて発表会を行ったが、参加したのは女子2名のみであった。

⑤まとめ

サンプリングの準備、試料採取、試料処理および分析に関して、初めて行う際には指導教員の指示により行ったが、次からは学生自身が率先して行えるようになった。しかし、もう一つの重要なテーマである得られたデータから3地点の水質変化を考察することに関しては、ほとんどの学生が参加しなかった。これらのことから、参加者の多くは水質調査の方法を体験してみたいという思いが大きかったのかもしれない。また、水質に関するテーマに関しては

水環境に関する講義を履修し、様々な知識を蓄積・修得してから実施した方が、学生自身にとってもより多くの考察を行うことが出来たように思われる。

3) ホタルの発光の科学

本テーマは、生物から化学まで、自然現象を広い目で理解しようという探究心を育むために企画した。ホタルの発光のメカニズムは、およそ100年前から少しずつ解明され、10年ほど前にほぼ全容が解明された。ホタルの発光は、化学エネルギーが効率よく光エネルギーに変換することから、高効率のエネルギー変換システムのモデルとして注目されている。また、分析手法に応用されているほか、医療・生命科学の研究にも使われている。

野外でのホタルの観察に参加したのは7名、室内での講義と実験に参加したのは、1年生4名と4年生5名であった。

①野外でのホタルの観察

雨天が続き、ホタルの観察がしやすい日程を事前にアナウンスするのが困難なため、当日朝に全学年学生にメールでのアナウンス、1年生必修講義中でのアナウンスとなってしまった。参加者は午後7時に実験研究棟に集合し、1年生4名、2年生1名、3年生1名、4年生1名の計7名+教員、TA2名でキャンパス裏のテニスコート沿いの道を下り、風林亭から消防署までの川沿いを散策しながら観察を行った。事前にメール添付でホタルの生態に関する情報と観察の際の注意点を送付し、ただキレイ！と鑑賞するだけでなく、行動や生態をじっくり観察するように留意した。特に観察を行ったのは以下の点である。

- 発光の多い時間帯はいつか？
- どのような場所で光るのか？
- 光ることで何をしているのか？特徴的な動きはあるか？
- 発光器はどこにあるのか？（捕獲して観察）
- 発光のタイミングは各個体バラバラなのか、同調するのか？

幸い、何十年に一度ではないと言われるほどの当たり年であり、至る所に乱舞していた。時間と共に徐々に増加し、また減少する様子、多数いると発光が同調する様子もしっかり観察することができた。また、わざわざ捕獲しなくても、ホタルが学生の腕に止まることが2度あり、発光器の観察などをしっかり行うことができた。7名という参加者は少ないように見えるが、暗い夜道をまとまって歩き、

口々に気づいたことを口にし、お互いに議論する上で、適正な人数であることが実行してみてわかった。学生たちも終了時には、学年を超えて親しくなっており「先生や先輩たちとこんなに仲良くなれて嬉しい」などの声も聞かれた。実際、参加した学生はその後も会う度に親しく話しかけてくれることが多くみられ、学生と教員の距離が近づくことにもなった。

また、翌日以降に実習には不参加だった学生から、「当日はバイトで行けなかったので、別の日に友達と行きました。教えてもらえてよかったです」などの声が複数から聞かれた。参加学生からも「すごく楽しかったから、友達を誘ってさらに2回行きました」などの声が聞かれた。また、TAで参加した学生も、研究室の学生を誘ってその後また行ったとのことであった。特に女子学生は、行きたくても一人では暗い夜道を歩きづらいため、こうしたきっかけがあると行きやすくて嬉しいとのことであった。上野原は周辺の自然環境に恵まれているため、こうした観察会は学生の素直な興味を引き出すのに有効であると考えられた。

②ホタルの発光メカニズムに関する講義

1年生の必修科目である「基礎物理化学」で学んだ内容を基に、まず発光の一般論を説明した後、ホタルの発光が次のような化学発光であることを説明した。すなわち、ホタルの発光では、ルシフェリンが、ルシフェラーゼの触媒作用によって、ATPと反応し中間体を生じる。次にその中間体が酸素と反応し、エネルギーの高い発光体であるオキシルシフェリンが生じる。この高いエネルギー状態の分子が、安定した状態になるとき、エネルギーを光として放出する。

③試薬によるホタルの発光実験とスペクトル測定

上記の反応に必要な試薬は、ATPの分析試薬キットとして市販されているので、それとATPを購入して、試験管内での発光実験を行った。はじめ、通常の分析に使われる濃度で行ったが、あまりはっきりした発光は見られなかった。しかし、試行錯誤して、発光が強くなる適当な濃度があることを見つけた。次にその濃度の試薬を調整してスペクトルの測定を行った。この実験を通して、教育的に期待したことは次の点である。

- ▶ ホタルの発光が化学現象そのものであることを理解する。
- ▶ 物理化学の基本概念の一つである「色とスペクトルの関係」を理解する。

▶ 試行錯誤の経験をする。

▶ うまくいった時の感動を味わう。

実験中の学生との議論から、今回、これらについてほぼ期待していた通りの結果が得られたと思われる。

4) 豆腐作りの科学

本学科の教育・研究体制が、「化学系」と「生物系」から構成されており、両分野のコラボレーションの視点から、生物材料の化学反応を題材として取り上げた。豆腐は身近な植物性材料である大豆から抽出した親水性コロイドである水可溶性タンパク質が、加熱変性、塩や酸の添加によるゲル化といった化学変化によって固められた食品で、その製造過程には、高等学校・化学で学習するコロイドの性質が利用されている。そこで、豆腐の製造過程を題材にして、自ら実験を行いながら、タンパク質の化学変化や構造変化、またそれらを明らかにするタンパク質分析法について、関心と理解を深めることを目指した。

実施は集まった希望者2名（当学科1年生1名と生命科学科1年生1名）を対象に、市販の「豆腐手作りキット」等を用い、凝固剤として、にがり（塩化マグネシウム等）またはグルコノデルタラクトンを用いた条件を設けて、手作り豆腐の製造を試みた。以下に概要を述べる。

①大豆の洗浄と水への浸漬

参加学生それぞれが、摩砕過程を容易にするために、原料の大豆300 gを水で洗浄し、約900 mLの水（市販ミネラルウォーター）に約20時間、室温で浸漬した。

②摩砕、加熱と豆乳の分離

大豆中のタンパク質を抽出するために、水に浸漬した大豆をミキサーに入れ、約1150 mLの市販ミネラルウォーターを加えて十分に摩砕し、生呉を得た。得られた生呉から水溶性成分を効率的に得るために、生呉を98～100℃で加熱、沸騰後、弱火でさらに10分間加熱した。加熱した生呉を濾し布で濾しておからを取り除くことにより豆乳を得た。

③凝固と成形、食味の確認

各自が得た豆乳を75～80℃に温めた後、凝固剤として市販にがりまたはグルコノデルタラクトンを加えて、ゆっくり攪拌し30分間保つことにより凝固させた。この段階は温度計で豆乳の温度を測定しながら慎重に操作することが必要であり、学生も真剣に取り組んでいた。また、凝固剤の選択は、予め



図3 豆乳に凝固剤を加えて温度管理しながら加熱している様子

凝固の仕組みについて説明した上で、参加学生の希望に従った。凝固した豆乳を型箱に入れ成形し、それぞれが異なる凝固剤を使用した手作り豆腐を得て、食味を確認した。

④大豆および豆腐タンパク質のSDS-PAGE

豆腐の製造過程において、タンパク質の分子量の変化を調べるために、大豆、豆乳、にがりで凝固した豆腐、グルコノデルタラクトンで凝固した豆腐からタンパク質を抽出し、SDS-PAGEを行った。その結果から、豆腐づくりの過程は、タンパク質の性質を調べる手法の修得教材になるものと思われた。

⑤参加者の感想

実験後の参加者の感想は、楽しく取り組めた、加熱した生呉を濾して豆乳を得る過程が大変であった、凝固剤の違いで食味が異なることを実感した、というものであった。

凝固剤によって食味が異なる点については、凝固の仕組みが異なることによる。すなわち、にがりでは、タンパク質分子のマイナスに荷電した部分同士を Mg^{2+} 、 Ca^{2+} が架橋することで強固なゲルを作る。これに対して、グルコノデルタラクトンを用いると、徐々にグルコン酸に変化することにより、豆乳のpH (pH 7弱) が低下し、大豆タンパク質の等電点 (pH 4.5) に近づくため凝固が起こる。実際、グルコノデルタラクトンで凝固させた豆腐のpHはにがりで凝固させた豆腐に比べてやや低かったことから、酸っぱく感じたようであり、理論と実体験を繋げて考えることができたと思われる。

⑥まとめ

低学年次生を対象とし、見聞を広め、知識の習得を図るための体験学習の機会を設け、試行錯誤の過程を含めた課題研究に取り組ませるといった目的は達

成できた。以上により、自ら実験に取り組むことが、多面的な知識の修得の一助にもなると考えられる。

4. 総合考察

以上、平成30年度に行った教育推進特別研究費の補助を受けた事業内容について記述した。個々のプログラム内容は様々で、調査主体のもの、室内実験主体のもの、経験が求められるような技術に関するものなど、バラエティーに富んだものになった。本来は、一人一人の学生に異なる内容と方向性のものを経験させることも考えていたが、時間の関係上、また、授業との兼ね合いから学生はどれか一つのプログラムのみに参加するということになってしまった。1年生は特に授業時間に縛られるため、仕方がないことだとも考えられる。

「接ぎ木の科学と実践」プログラム参加者のみを対象とすることになってしまったが、アンケートを実施した。項目は次の通りである。

- テーマに興味を持てたか
- 難易度はどうだったか
- 教員のアドバイスは的確だったか
- 教員に熱意は感じられたか
- 自身の取り組みはどうだったか
- 自身の積極性は向上したか
- 試行錯誤は実行できたか
- 経験値は増大したか
- 全体として満足できたか

参加を希望した学生を対象としたプログラムであるため、テーマに興味を持てたのは当然であり、全体として参加学生たちの評価は概ね良好であった。特に、本研究の主たる目的である試行錯誤の実行と積極性の向上については、良好な傾向が見られたのは幸いであった。しかし、やはり、全員の時間を合わせるのが難しかったこと、そのためとも考えられるが、積極性の増大に問題が見られた学生が存在したことなどの問題点が見出された。

以上、平成30年度に行った研究内容について紹介した。今年度は初めての試みでもあり、学生たちへのアナウンスや教員側の準備不足など、不十分な点が見受けられたので、その点についての反省を含めて、次年度改善点を追加して、再度実施したいと考えている。特に、参加学生の試行錯誤の経験と積極性の増大を目的としたものであることを、より明確化を再検討したいと考えている。

引用文献

- 1) 岩瀬剛二, 小川真紀子, 石井愛子, 阿部素花, 岩本一真, 大野由恵, 佐藤優夏, 吉田悠樹, 桑田龍, 小島周子: 接ぎ木処理に用いる固定用テープの検討. 帝京科学大学紀要, 16: 211-213, 2020

