

理科教員に対する実験講座の生徒への還元に関する研究

—— 愛媛大学開催サイエンス・リーダーズ・キャンプ ——

片山 豪・林 秀則

A research on the contribution to high school students
of the lectures of science experiments
for high school science teachers

—— Science Leaders Camp held in Ehime University ——

Takeshi KATAYAMA · Hidenori HAYASHI

高崎健康福祉大学紀要 第18号 別刷

2019年3月

理科教員に対する実験講座の生徒への還元に関する研究

—— 愛媛大学開催サイエンス・リーダーズ・キャンプ ——

片山 豪・林 秀則¹⁾

(受理日 2018年9月14日, 受稿日 2018年12月20日)

A research on the contribution to high school students of the lectures of science experiments for high school science teachers

—— Science Leaders Camp held in Ehime University ——

Takeshi KATAYAMA · Hidenori HAYASHI¹⁾

(Received Sept. 14, 2018, Accepted Dec. 20, 2018)

Abstract

Lectures of science experiments for high school science teachers are held in Japan. These lectures are planned to improve the qualities of science teachers, and the ultimate goal is that students acquire the way of viewing and methods of thinking for science. Science Leaders Camp took place at Ehime University every years from 2012 to 2017 in order to experience advanced experiments for high school science teachers. It seems that the experimental teaching materials are difficult to use in the classroom if the lecture of science experiment level is too high. Therefore, we researched and compared the level of the lectures of science experiments and the implementation in high school class. As a result, we concluded that the lectures of science experiments within the range of the guidelines for teaching are easy to practice, and that it is essential for implementation to lend teachers the laboratory instruments and provide them the materials from the host institutions that conducted the lectures of science experiments.

I 研究の背景と目的

20世紀において生命科学の分野は急速な進展を遂げ、生命現象を分子レベルで理解できる

ようになったことから、21世紀はバイオの時代といわれるようになった¹⁾。そして、20世紀から21世紀にかけての生命科学の研究によって、iPS細胞や感染症の治療薬の開発、オートファジー研究及び免疫を利用したがん治療で日本人がノーベル生理学・医学賞を受賞するなど

1) 愛媛大学プロテオサイエンスセンター

の成果が表れている。

マスメディアでも組換え DNA 等の技術を利用して生命現象の原理を解明し、医療、食糧、環境等の問題を解決した研究成果が頻繁に取り上げられ、これからの社会では生命科学の正しい理解が必須の教養になってきている。2000年に21世紀のバイオの時代を予測して、「大学等におけるバイオサイエンス研究の推進について（中間報告）」²⁾では、「科学技術創造立国を目指し、知的存在感のある国を目指す我が国では、国民の知的レベルを高く維持することが重要であり、生命に関する研究は、最も身近な問題を提起するものであることから、バイオサイエンスおよびバイオテクノロジーの推進に当たっては、国民に分かりやすい基礎知識の説明と情報公開とが不可欠である。」と、バイオサイエンスの推進と社会教育および社会との接点のあり方が示された。

このような背景の中、2009年改訂の高等学校学習指導要領（以下現行学習指導要領）が、「今日の科学や科学技術の発展はめざましく、その成果が社会の隅々にまで活用されるようになってきている。このように急速な進展に伴って変化した内容については、その変化に対応できるよう学習内容を見直す。また、科学や科学技術の成果と日常生活や社会との関連にも留意し改善を図る。」³⁾という考えに基づいて作成された。そして、特に生物分野に関しては、1999年改訂学習指導要領（以下旧学習指導要領）に比べて、配列だけでなく、内容も大幅に変更された⁴⁾。多くの高校生が履修する生物の基礎科目である「生物基礎」では、今までの基礎科目では、扱っていなかった「遺伝情報の発現」を扱うなど、近年の生命科学の急速な進歩を反映した内容になっている³⁾。さらに選択科目である「生物」に

おいても、「生命現象とタンパク質」では、物質輸送、神経系や内分泌系における細胞間の情報伝達に関連するタンパク質、「遺伝情報の発現」ではDNAの複製の仕組み、遺伝子の発現とその調節の仕組み、遺伝情報の変化及びバイオテクノロジーに関連する遺伝子を分子レベルで学習するようになった³⁾。

2006年、旧学習指導要領の下において、鳩貝太郎らによって、高等学校生物教育に関する全国調査⁵⁾が行われた。観察・実験、課題研究26項目には、DNA抽出や形質転換実験といった分子生物学の実験の調査も含まれていたが、これらの分子生物学の実験の実施率が30.2、4.9%と低かった。そして、観察、実験の実施回数については、教師自身の高校時代や大学時代の実験・野外調査の経験との相関があり、経験の多い集団は、経験の少ない集団より多いと述べられている。この調査の時点では、生命科学を大学で専攻した高等学校生物教員は現在より多くなかったことから、現行学習指導要領が導入されるにあたり、教員に対する生命科学の研修の必要性があったであろう。また、2002年よりスーパーサイエンスハイスクール（SSH, Super Science High School）においては、科学技術系人材の育成のために高等学校等において、理数学習における大学・研究機関との連携活動が実施されている。その指導的立場の理科教員は生命科学のみならず先端科学に対する知識や技能が必要である。

以上のニーズに基づき、平成24～28年まで、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）が支援を行うサイエンス・リーダーズ・キャンプ（SLC）が行われた。SLCとは、夏季休業の期間中、全国の高等学校・中学校等の理数教育を担当する教員に、先進的な研究施設や実験装置

がある研究現場で実際の研究手法等を体験させ、第一線で活躍する研究者・技術者等から直接講義や実習指導を受けることなどを通じて最先端の科学技術を体感したりすることで、才能ある生徒を伸ばすための効果的な指導方法について修得させる合宿を主とした企画である。愛媛大学のサイエンス・リーダーズ・キャンプは平成24年からの5年間、共著者の林秀則（無細胞生物科学研究センター（平成26年からプロテオサイエンスセンター）を実施責任者として行われた。著者である片山豪は、過去に高等学校教員であった経験を生かし、初回から運営に関わり、現職教員の研修をサポートしてきた。著者らがこの取り組みを通して気づいたことは、参加した教員が、ここで学んだことを教育現場に戻って、実際に授業で生徒の指導に生かすことが難しいということであった。

本研究の目的は、教員に対する生命科学を中心とした実験講座が、生徒に還元されるためには何が必要か検討することである。

II 方法

愛媛大学で開催されたサイエンス・リーダーズ・キャンプ実験を用いた生命科学に関する教員対象の研修講座の概要、実験のレベル、受講者の活用状況を調べた。

1 概要

実験テーマ、実験内容、講師を調べた。

2 実験のレベル

実験のレベルは、まず、学習指導要領の範囲であるかないかでレベルを2つ（レベルS・A、レベルB・C）に分けた。学習指導要領の範囲

外の実験（レベルS・A）のうち、教科書等に用語の記載があったとしても、実験器具や施設の関係で、高校現場では一般的に（通常）実施不可能な実験を研究者レベル（レベルS）の実験とした。学習指導要領の範囲外の実験であっても、その原理について教科書に記載があるものもある。学習指導要領の範囲外の実験（レベルS・A）のうち、実験器具や試薬等がそろえば、高校現場でも行える実験を発展レベル（レベルA）の実験とした。レベルAの実験は、発展レベルであるが、学習指導要領の内容の理解を助ける可能性が高い実験でもある。学習指導要領の範囲内の実験（レベルB・C）のうち、高校現場で普及していない実験で、実験器具や試薬等がそろえば、実施可能な実験を標準レベル（レベルB）の実験とした。レベルBの実験は、高校現場に普及がなく、学習指導要領の範囲の理解に有効な実験である場合が多い。学習指導要領の範囲内の実験（レベルB・C）のうち、実験器具や試薬等が現在高校にそろっていて、高校現場に普及している実験を基本レベル（レベルC）の実験とした。レベルCの実験は、教科書等に記載のある実験である。なお、レベルの区分において、指導要領の範囲であるかの基準は、「生物基礎」あるいは「生物」のどちらかに記載があることとした。したがって指導要領の範囲内である実験でも、「生物基礎」では範囲外（発展）であるが、「生物」では範囲内であるものもある。

以上の観点から、実験のレベルの概要を表1に示す。

表1 実験のレベル

実験のレベル	学習指導要領	特徴
S	範囲外	高校現場では行えない
A		高校現場でも行える
B	範囲内	教育現場に普及していない
C		教育現場に普及している

3 学習指導要領の該当する箇所

SLCで行われた実験の学習指導要領（平成21年告示）の単元、特徴を調べた。

4 活用状況

(1) 対象

平成24～28年の愛媛大学で行われたSLCの受講者92名（高等学校教諭91名，中学校教諭1名）

(2) アンケート方法

参加者に対してメールを送り，google formで作成したアンケートに回答していただいた。

(3) アンケートの内容

実施したアンケートを図1に示す。

図1 SLCの実験講座とその活用に関するアンケート調査内容

愛媛大学 SLC の実験講座と その活用に関するアンケート調査 SLC で実施した実験講座 (1) 試験管内での転写と翻訳 (2) 遺伝子導入（組換え DNA の作製と形質転換） (3) DNA の分析（PCR と電気泳動） (4) DNA の増幅と塩基配列の解析 ^注 (5) 電気泳動によるタンパク質の分析 (6) 質量分析計によるタンパク質の分析 （各実験に与えられている回答群） 回答 1 SLC での実験の活用状況を教えてください。 ①授業で実験を実施した

②授業で実験を実施しなかったが，話題にした

③授業で実験を実施しなかったし，話題にしなかった

回答 2

「授業で実験を実施した」を選択した場合，実験方法を教えてください。

- 1 同じ方法で実施した
- 2 基本的には同じだが改良して行った
- 3 別の方法で行った
- 4 その他

回答 3

「授業で実験を実施した」を選択した場合，工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

回答 4

「授業で実験を実施しなかったが，話題にした」または「授業で実験を実施しなかったし，話題にしなかった」を選択した場合，実験をしなかった理由を簡単に記述してください。

回答 5

「授業で実験を実施しなかったし，話題にしなかった」を選択した場合，授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

注：設問の表現に誤りがあったので，正確な調査できなかった。

Ⅲ 結果

1 研修内容

平成24年～28年において，(1)～(6)のすべての実験は愛媛大学プロテオサイエンスセンターの林秀則が講師を務めた。

(1) 試験管内での転写と翻訳

GFPの遺伝子を組み込んだDNAからRNAポリメラーゼによってmRNA（メッセンジャーRNA）を試験管内で合成した。このmRNAを，コムギの胚芽から調製したりボソーム活性の高い抽出液に加えてタンパク質を合成した。

(2) 遺伝子導入（組換え DNA の作製と形質転換）

蛍光タンパク質の遺伝子を組み込んだプラスミド DNA を作製し、これを大腸菌に導入した。形質転換された大腸菌を観察し、プラスミド DNA とできてくるタンパク質の関係を調べた。

(3) DNA の分析（PCR と電気泳動）

PCR（ポリメラーゼ連鎖反応：DNA を大量に複製する方法）を使って、プラスミド DNA から特定の領域の DNA を増幅した。それを電気泳動で調べた。

(4) DNA の塩基配列の解析

ジデオキシヌクレオチドを用いた DNA の合成と DNA シーケンサーを用いて、大腸菌から抽出したプラスミド DNA の塩基配列を解析した。

(5) 電気泳動によるタンパク質の分析

白色の大腸菌と緑色あるいは赤色の大腸菌に含まれるタンパク質の違いを SDS-PAGE 法（タンパク質を電気泳動する方法）によって調べた。

(6) 質量分析計によるタンパク質の分析

プラスミド DNA からできたタンパク質の分子量を MALDI-TOFMS（マトリックス支援レーザー脱離イオン化法－飛行時間型質量分析法）によって正確な分子量を測定した。

2 実験のレベル

(1) 試験管内での転写と翻訳

①レベル B：学習指導要領の範囲内の実験（レベル B・C）のうち、高校現場で普及していない実験で、実験器具や試薬等がそろえば、実施可能な実験

②学習指導要領の該当する箇所

生物基礎 (1) 生物と遺伝子 イ遺伝子とそ

の働き (ウ) 遺伝情報とタンパク質の合成 DNA の情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解すること。

生物 (1) 生命現象と物質 ウ遺伝情報の発現 (イ) 遺伝子の発現調節 遺伝子の発現が調節されていること及びその仕組みの概要を理解すること。

(2) 遺伝子導入（組換え DNA の作製と形質転換）

①レベル B：学習指導要領の範囲内の実験（レベル B・C）のうち、高校現場で普及していない実験で、実験器具や試薬等がそろえば、実施可能な実験

②学習指導要領の該当する箇所

生物 (1) 生命現象と物質 ウ遺伝情報の発現 (ウ) バイオテクノロジー 遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性を理解すること。

(3) DNA の分析（PCR と電気泳動）

①レベル B：学習指導要領の範囲内の実験（レベル B・C）のうち、高校現場で普及していない実験で、実験器具や試薬等がそろえば、実施可能な実験

②学習指導要領の該当する箇所

生物 (1) 生命現象と物質 ウ遺伝情報の発現 (ウ) バイオテクノロジー 遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性を理解すること。

(4) DNA の増幅と塩基配列の解析

①レベル S：学習指導要領の範囲外で、実験器具や施設の関係で、高校現場では一般的に（通常）実施不可能な実験

②学習指導要領の該当する箇所

生物 (1) 生命現象と物質 ウ遺伝情報の発現 (ウ) バイオテクノロジー 遺伝子を

扱った技術について、その原理と有用性を理解すること。

(5) 電気泳動によるタンパク質の分析

①レベル A：学習指導要領の範囲外の実験のうち、実験器具や試薬等がそろえば、高校現場でも行える実験

②学習指導要領の該当する箇所

生物 (1) 生命現象と物質 ウ 遺伝情報の発現 (ウ) バイオテクノロジー 遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性を理解すること。

(6) 質量分析計によるタンパク質の分析

①レベル S：学習指導要領の範囲外で、実験器具や施設の関係で、高校現場では絶対行えない実験

3 研修の現場での活用状況

アンケートの回収率は、29.7% (27名/91名)であった (1名は退職のため連絡できず)。

回答1 SLCでの実験の活用状況を教えてください。

教育現場での活用状況を図2に示す。

「試験管内での転写と翻訳」については26%が現場に戻って実験を実施し、74%が実験はできなかったが授業で話題にすることができた。ほぼ100%が生徒に還元できた。「遺伝子導入」については、15%が現場に戻って実験を実施し、63%が実験はできなかったが授業で話題にすることができた。78%が生徒に還元できた。「DNAの分析」については、11%が現場に戻って実験を実施し、70%が実験はできなかったが授業で話題にすることができた。81%が生徒に還元できた。

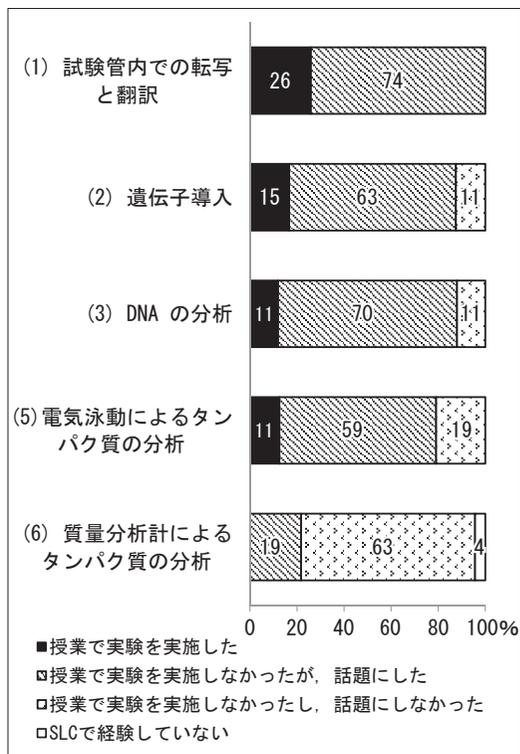


図2 教育現場での活用状況

「DNAの増幅と塩基配列の解析」と書くところを、アンケートを取るときに「DNAの増幅」と書いてしまったので、(3)のPCRと一緒にしたことから、(4)のデータを掲載しないこととした。「電気泳動によるタンパク質の分析」については、11%が現場に戻って実験を実施し、59%が実験はできなかったが授業で話題にすることができた。70%が生徒に還元できた。「質量分析計によるタンパク質の分析」については、現場に戻って実験を実施する教員はいなかったが、19%が実験はできなかったが授業で話題にすることができた。

回答2 「授業で実験を実施した」を選択した場合、実験方法を教えてください。

実施した実験の方法と実施数を図3に示す。

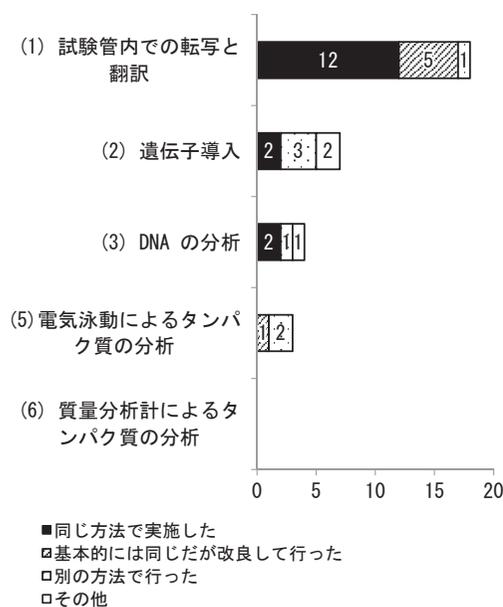


図3 実験の方法と実施数

同じ方法で実施したのは、「試験管内での転写と翻訳」、「遺伝子導入」、「DNAの分析」において、それぞれ67、29、50%であった。基本的には同じだが改良して行ったのは、同じく、42、43、25%であった。「電気泳動によるタンパク質の分析」は、同じ方法で行った教員はいなかった。

回答3～5

(1) 試験管内での転写と翻訳

「1 授業で実験を実施した」を選択した場合、工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

- ・RNAの合成を確かめるため、転写反応液を少量分注し、RNaseを加えてリボグリンによる蛍光が消失することを確認した。
- ・SLCで行った簡易キットをいただき、高校3年生の理系選択者の少人数クラスで行った。対象生徒が前述の通りであったので、関心を

持ち取り組んでいた。

- ・実験を実施できたのは一度のみだが（授業時数、予算の関係など）、それ以外の年でも、理系の授業では必ず話をする。
 - ・温度が低かったせいか、タンパク質合成がうまくいかなかった。わずかに光る感じがしたが、はっきりと光らず反応がうまくいかなかった。夏や秋に教養講座や教員の研究会ではうまくいき好評であった。
 - ・事前学習集会を実施した後に行ったため、スムーズに行えた。
 - ・授業でセントラルドグマについて学習した直後に実験を行った。
 - ・生徒は新しいことをして喜んでいました。
 - ・前半の転写はKit販売の業者さんをお願いして、後半の翻訳だけ生徒実験を実施しました。
 - ・翻訳の時間を増やした。
 - ・翻訳時間をGFPの蛍光度をもとに調節した
 - ・無細胞合成で溶液を重層する手順を分かりやすく動画で示した。
- 「2 授業で実験を実施しなかったが、話題にした」を選択した場合、授業で実験を実施しなかった理由を簡単に記述してください。
- ・2015年に実験を実施した学年以外の学年の「生物基礎」「生物」の授業担当していない。
 - ・時間がないため。
 - ・時間的な余裕がないため。
 - ・施設、準備が整わなかった。
 - ・時間・設備等のため、実験の準備ができなかった。
 - ・時間がなかった / 担当科目・化学に実験を入れづらかった。
 - ・時間不足。
 - ・実験機器等がない。
 - ・授業時数の関係：教員研修は行った。

- ・担当科目が化学であるため。

「3 授業で実験を実施しなかったし、話題にしなかった」を選択した場合、授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

回答なし

(2) 遺伝子導入（組換え DNA の作製と形質転換）

「1 授業で実験を実施した」を選択した場合、工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

- ・実験後に遺伝子組み換え作物の是非についてディスカッションを行い、またレポートを課すことで、自分の考えをまとめる工夫を行った。また、DNA ストラップ（二重らせん構造）を作成し、プラスミド DNA との DNA 構造の理解を深める工夫を行った。
- ・授業でセントラルドグマについて学習した直後に実験を行った。
- ・授業時間内に終わるようにした。

「2 授業で実験を実施しなかったが、話題にした」を選択した場合、授業で実験を実施しなかった理由を簡単に記述してください。

- ・SLC 実施以前に実施していたことがあった。
- ・時間的制約のため、予算的にも実施が厳しかったと思われる。
- ・時間的な余裕がないため。
- ・設備が不十分なため。
- ・器具や予算の面もあるが、時間の確保ができない。進路指導や生徒指導に時間が取られること、空き時間がないなど……各校の先生方がどのように時間を確保しておられるか、学ぶ必要があるように思う。
- ・機器の整備が不十分であったことと実験プロトコルの選択の難しさ。

- ・施設、準備が整わなかった。

・時間がなかった／担当科目・化学に実験を入れづらかった。

・時間と予算の都合により、実施できませんでした。

・時間数不足

・実験に必要な酵素類や機材を揃えることができなかったため。

・授業は化学担当のため、実施する機会をもてなかった。

・授業回数の問題

・授業時間の都合上

・授業時間数の不足のため。

・授業時数の関係：2年生の生物が2単位授業の為、実施が難しかった。ただ、教員研修では行った。

・授業担当科目が、化学あり、内容・時間的にも実験を授業に持ち込むのは難しく、話題として組み入れるのが精一杯であった。

・生物・生物基礎を担当しなかったため実験は実施していません。代わりに総合的な学習の時間でコムギ無細胞合成系の実験を行った際に、話題に触れ、GFPの遺伝暗号からタンパク質の一次配列を翻訳する実習を行いました。

・担当科目が化学であるため。

・中学生には内容がハードだったので、実験することはできませんでした。

「3 授業で実験を実施しなかったし、話題にしなかった」を選択した場合、授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

回答なし

(3) DNA の分析（PCR や電気泳動）

「1 授業で実験を実施した」を選択した場合、

工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

- ・(株)リバネスのDNA鑑定キット(DNAサンプルをキット外のものを足して増やした)を用いて、制限酵素実験、電気泳動実験、模擬捜査会議を行い、DNA鑑定の流れを理解できよう工夫を行った。
- ・授業ではなく、希望者に対して行った。
「2 授業で実験を実施しなかったが、話題にした」を選択した場合、授業で実験を実施しなかった理由を簡単に記述してください。
- ・PCRや電気泳動に関する器具がないこと、生物教員が1名で、実習助手もいない状況であり、大学等から器具をお借りして実施するなどの時間の捻出が厳しい。そのため、SLCに参加した際の、映像や画像を使って説明した。
- ・近隣に大学等の研究機関がないため、シーケンサー等を利用することができなかった。
- ・機器がないため。
- ・授業時数、設備に限りがあるため。
- ・設備が不十分なため。
- ・機材がそろっていないため、実施できませんでした。
- ・機材が無い。
- ・機材不足
- ・施設、準備が整わなかった。
- ・時間がなかった／担当科目・化学に実験を入れづらかった。
- ・実験するための機器等がなかったため。
- ・実験に必要な機器がなかった。
- ・実験時間が確保できなかった、器材が準備できなかった(予算等)。
- ・実験装置がないため。
- ・授業時数の関係

・担当科目が化学であるため。

・中学教科書にはDNAは出てきますが、実験するまでには至りませんでした。

「3 授業で実験を実施しなかったし、話題にしなかった」を選択した場合、授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

授業内容に組み込めなかったため。

(4) DNAの塩基配列の解析

設問の表現に誤りがあったので未掲載。

(5) 電気泳動によるタンパク質の分析

「1 授業で実験を実施した」を選択した場合、工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

・アミラーゼの検出のためヨウ素デンプン反応を利用して染色を行った(農芸化学会のHPを参考にした)。

・ニッポンジーンのキットを用いて演示を行った。

「2 授業で実験を実施しなかったが、話題にした」を選択した場合、授業で実験を実施しなかった理由を簡単に記述してください。

・SDS-PAGEの泳動装置の調達に間に合わなかった。次年度以降は実施可能である。

・PCRや電気泳動に関する器具がないこと、生物教員が1名で、実習助手もいない状況であり、大学等から器具をお借りして実施するなどの時間の捻出が厳しい。そのため、SLCに参加した際の、映像や画像を使って説明した。

・時間がないため。

・時間的な余裕がないため。

・設備が不十分なため。

・予算や授業時数に限りがあるため。

・泳動装置が整備されていない。

- ・器具が揃っていなかったため。
- ・機材がそろっていないため、実施できませんでした。
- ・機材がない。
- ・施設、準備が整わなかった。
- ・時間がなかった／担当科目・化学に実験を入れづらかった。
- ・時数不足
- ・実験器具がないです。
- ・実験時間が確保できなかった、器材が準備できなかった（予算等）。
- ・授業時数と予算の関係
- ・担当科目が化学であるため。

「3 授業で実験を実施しなかったし、話題にしなかった」を選択した場合、授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

- ・関連する内容を授業で扱わなかった。
- ・授業は化学担当のため、実施する機会をもてなかった。
- ・生物・生物基礎を担当しなかったため、総合的な学習の時間での時間が足りなかった。
- ・中学生にはハードすぎるので。

(6) 質量分析計 (MALDI-TOFMS) によるタンパク質の分析

「1 授業で実験を実施した」を選択した場合、工夫した点や特記することがあれば簡単に記述してください。

回答なし

「2 授業で実験を実施しなかったが、話題にした」を選択した場合、授業で実験を実施しなかった理由を簡単に記述してください。

- ・2年生文系クラスでの授業を実施していたため、内容をある程度精選した。
- ・ここまでの内容を扱わなかった。

- ・設備面で実施困難
- ・学校現場ですることは困難など思われる。
- ・機材がそろっていないため、実施できませんでした。
- ・機材なし。
- ・実験器具がないです。
- ・設備の問題
- ・担当科目が化学であるため

「3 授業で実験を実施しなかったし、話題にしなかった」を選択した場合、授業で実験を話題にしなかった理由を簡単に記述してください。

- ・SLCの参加した際に行っていない？ので、実施しなかった。
- ・教科書で扱われていないため。
- ・教科書では、あまり質量分析の話題に触れる機会がない。教科書を終わらせるのが精一杯なので、触れずに終わってしまった。
- ・高校生には十分に理解することが難しいと感じた。また、私自身も実際に研究で使ったことがなく、理解が浅いと感じているから。
- ・今年度は授業計画の中に取り入れなかった。
- ・時間の都合により、話題にしませんでした。
- ・実験装置がないため。
- ・実施方法等を知らなかったから。また、教科書等にも出てこなかったから。
- ・授業は化学担当のため、実施する機会をもてなかった。
- ・生徒にとって難しい
- ・生物・生物基礎を担当しなかったため、総合的な学習の時間での時間が足りなかった。
- ・中学生には内容がハード過ぎるので。
- ・内容が生徒のレベルに合っていなかった。
- ・内容をよく理解できていないため。

(以上 原文まま)

IV 考察

教育センターの研修会、教員の研究会で行われる実験講座は、すぐに授業で実践可能なもの、教科書や実験書に記載されていて実際現場で普及している観察・実験に工夫や改善点を加えられているものが多い。サイエンス・リーダーズ・キャンプは、「スーパーサイエンスハイスクール等の関係施策においても指導的立場で活躍するなど、地域の理数教育において中核的な役割を担う教員となるための素養を身につけさせることにより、地域全体における“才能ある生徒を伸ばす”環境を構築する」ことを目的としていることから、最先端の科学技術を生徒に体感させることが望まれる。しかし、レベルが高ければ高いほど、そこで得られた実験を直接生徒に還元することは難しいことが予測される。

実験レベルの結果に示すように、愛媛大学の実験講座は、全6つの観察実験講座のうち、レベルSが2つ、レベルAが1つ、レベルBが3つで、レベルCはなかった。しかし、キャンプ初日の夜の講座（夕食後）で、すべての教員によるポスターセッションが行われた。ここでは、現場で行われている観察・実験、探究活動が紹介された。現場で行われている実験であることから、現場で実践されているレベルCの実験の工夫を聞くことができた。そこでのテーマは、生物基礎では、DNAの抽出や血球の観察、アサリの水質浄化作用を調べよう等、教科書に記載のある観察・実験が多かった。生物では、カタラーゼの働きやウニの受精、ブタの眼球の観察など前の教育課程から行われているものが多かったが、大腸菌の形質転換やPCR・電気泳動実験のようなSLCで行われている実験も

見られた。SLC終了後に、そこで発表した観察・実験の生徒用ワークシートと教師用指導資料を受講者から提出してもらい、著者の1人である片山が査読、編集し『「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料』^{1~5)}としてまとめた。このように共著者の林が講師を務めた観察実験は、レベルS～Bでありかつ教育現場で普及があまり見られないものであり、高校生物の内容の進展に伴って、生物を担当する教員が経験し、身に付けておくに役に立つものである。一方、『「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料』としてまとめたものは、現場で行われている観察・実験で、すぐに授業に利用できるものが中心であった。そういった意味で、愛媛大学のSLCで取り上げた実験は、レベルS～Cまでバランスよく存在し、現場の教員にとっては、実験研修として良い企画だったと考えられる。

図1に示すように、レベルBの「試験管内での転写と翻訳」は、実施された実験の中で、最も現場で実施される率が多かった。それは、愛媛大学が開発したコムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いた教材⁴⁾であり（著者の片山、林らが開発した）、愛媛大学のSLCの目玉となる企画だからであろう。現行学習指導要領「生物基礎」において、「転写と翻訳の概要については、DNAの塩基配列からmRNAの塩基配列へ、mRNAの塩基配列からアミノ酸の配列へという情報の流れを扱う。」と記載されたが、ここでは、セントラルドグマの流れのみを生徒に理解させることが主なねらいと解釈される。生物基礎では、タンパク質合成におけるリボソーム内のmRNAとtRNAの関係を示した詳しい仕組みを扱わない。当然のことながら、形質転換実験も行わないことになる。そういった意味で、コムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いた教

材は、学習指導要領に沿った新たな教材になると考えられ、授業に導入しやすかったのだろう。

また、SLC 終了後に愛媛大学の SLC に参加した理由を調査したが（データ未掲載）、「無細胞タンパク質合成系の転写翻訳実験を身に付けたい」という回答が最も多かったことから、現場で実施される率が高いのは、当然の結果と言える。

しかし、こうした動機がありながらも、受講者全員が現場に導入したわけではない。導入できなかった理由として多くあげられることは、器具と試薬の不足である。この点については事前に予測されていたこともあり、必要な試薬の購入に SLC の資金の範囲で、JST からのサポートが得られたことが、コムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いた教材の活用につながったと考えられる。

「遺伝子の導入」と「DNA の分析」は、SLC で技術を習得しているの、器具や材料があれば実施可能である。この実験については、教材会社や薬品会社から市販の教育キットが販売されている。このため、学校に予算があったり、外部資金が調達できたりすれば、実施機関である愛媛大学から材料が提供されていなくても実施が可能である。この点については実施した実験のアンケートに、リバネスの DNA 鑑定キットを利用したことや、ニッポンジーンのキットを用いたという記述があることから、そのことがうかがえる。

レベル A である「電気泳動によるタンパク質の分析」は、学習指導要領の範囲外の実験なので、実施数が少ないが、現場で実施されている。それは、「遺伝子の導入」と「DNA の分析」と同様に教材キットが販売されているから、原理を学んだ教員が導入しやすかったのだと予測され

る。

レベル S の「質量分析計によるタンパク質の分析」については、学校現場には質量分析計がないので、現場に戻って実験を実施する教員はいなかったのは当然である。しかし、学習指導要領の範囲にもなく、教科書にもないものであるが、19%が授業で話題にすることができたことは、SLC の効果があったのではないと思われる。

「授業で実験を実施した」を選択した場合、実験方法については、「試験管内での転写と翻訳」の3分の2が同じ方法で行ったのは、この実験キットが市販されていて、そのキットをそのまま用いて実験講座を行ったからであろう。一方で「改善した」と答えた場合に予測される理由は、アンケートの記述にもあるように生物基礎の授業でも理解できるように、転写の実験を省いたりしたからだと思われる。

「遺伝子導入」、「DNA の分析」、「電気泳動によるタンパク質の分析」においては、実施機関の愛媛大学から細胞や遺伝子、タンパク質を提供しなかったため、同じ方法で行った割合が低かったのだと思われる。市販のキットがあるので、その通りに実験を行ったか、SLC で経験した方法を参考にキットを改善したこともあるだろう。

実施できなかった理由として、設備、器具、薬品が挙げられている。しかしこれらの条件が、クリアになっても「実施する時間がない」という理由で教員が受けた実験講座が、生徒に還元されていないことがアンケートの結果からうかがえた。

今回の調査から、生徒に還元されやすい実験講座の特徴として、学習指導要領の範囲で、実験講座の行った機関から実験器具の貸し出しや

材料等の提供があることが不可欠であることが分かった。現場の教員は、時間がないことから教材を開発する余裕がないので、教育系の大学教員が、学習指導要領や現場の要望に応じて、現場の教員とともに実験教材を開発する必要がある。現場の教員にとっては、完成した実験教材を目の前にいる生徒に応じて改良して授業に導入していくのが、最も効果的で現実的な教育方法である。

今回の調査をスタートとして、今後他の実験講座に関しても調査し、一般化するとともに、それをもとに新たな実験教材を開発したい。

付記

本研究において、申告すべき利益相反はない。

引用文献等

- 1) 学術審議会特定研究領域推進分科会バイオサイエンス部会（2000）大学等におけるバイオサイエンス研究の推進について（中間まとめ，概要），http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_gijyutu/gakujyutu_index/toushin/1315042.htm，（2018年8月19日閲覧）
- 2) 学術審議会特定研究領域推進分科会バイオサイエンス部会（2000）大学等におけるバイオサイエンス研究の推進について（中間まとめ），http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_gijyutu/gakujyutu_index/toushin/1315018.htm，（2018年8月19日閲覧）
- 3) 文部科学省（2009），高等学校学習指導要領解説理科編
- 4) 片山 豪，林秀則，高井和幸，遠藤弥重太（2012）セントラルドグマを体感する高等学校生物実験の開発と実践—コムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いて転写，翻訳を可視化する—，生物教育，52（4），165-172
- 5) 鳩貝太郎（2006）高等学校生物教育に関する全国調査，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（B）課題番号 17300257「生物教育における生命尊重についての指導観と指導法に関する調査研究」中間報告書
- 6) サイエンス・リーダーズ・キャンプとは，<https://www.jst.go.jp/cpse/slc/>（2018年9月14日）

注 作成した観察・実験指導資料

- 1) 国立大学法人愛媛大学無細胞生命科学工学研究センター（2013）「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料 vol.1
- 2) 国立大学法人愛媛大学プロテオサイエンスセンター（2014）「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料 vol.2
- 3) 国立大学法人愛媛大学プロテオサイエンスセンター（2015）「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料 vol.3
- 4) 国立大学法人愛媛大学プロテオサイエンスセンター（2016）「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料 vol.4
- 5) 国立大学法人愛媛大学プロテオサイエンスセンター（2017）「生物基礎」「生物」の観察・実験指導資料 vol.5