

報告

高大連携による高校生への生命科学体験型講座の実施報告 ～SPP および SSH を例として～

佐藤 高則¹、佐山 哲雄²、谷 啓二²、中原 由加里³、藤本 順子³、渡部 稔¹
(¹徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部、
²徳島県立城東高等学校、³徳島県立城南高等学校)

(キーワード: 高大連携、生命科学、体験型講座、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト (SPP)、
スーパー・サイエンス・ハイスクール (SSH))

A Report from Experience-based Study Programs of Life Science for High School Students by University-High School Cooperation: Examples of SPP and SSH Programs.

Takanori Satoh¹, Tetsuo Sayama², Keiji Tani², Yukari Nakahara³, Junko Fujimoto³, Minoru Watanabe¹
¹ Institute of Socio-Arts and Sciences, The University of Tokushima, ² Tokushima Prefectural Joto High School,
³ Tokushima Prefectural Jonan High School

(key words: University-High School Cooperation, Life Science, Experience-based Study Program, Science Partnership Project (SPP), Super Science High School(SSH))

1. はじめに

文部科学省は平成11年(1999年)の接続答申「初等中等教育と高等教育との接続の改善について」の中で、高大連携の具体的な教育上の連携方策を提言している⁽¹⁾。そこでは、「高等教育を受けるのに十分な能力と意欲を有する高等学校の生徒が大学レベルの教育を履修する機会の拡大方策」が謳われており、各大学ではさまざまな高大連携事業⁽²⁻⁴⁾や高大接続事業(入学前教育、高校の補習教育、大学の初年次教育など)⁽⁵⁾に取り組んでいる。このうち、高大連携事業としては、大学教員の高校へ出張講義、オープンキャンパス、大学授業(研究)体験、高校訪問などがあげられる。さらに徳島県教育委員会では、県内の5大学と「連携に関する覚書」を交換し、教育長、県内5大学の学長などで構成される「連絡協議会」を設置し、連絡協議会の下に3つの「専門部会」(大学・学校間連携部会、教員養成・研修部会、生涯学習ネットワーク部会)を設置して、組織的な高大連携の強化を目指している⁽⁶⁾。

一方で、大学等の専門的な分野に触れ、高校生の科学に対する興味喚起・啓発を行う高大連携事業としては、独立行政法人科学技術振興機構(JST)が行っている SPP(サイエンス・パートナ-

シップ・プロジェクト)や SSH (スーパーサイエンスハイスクール) 支援事業がある。このうち、前者(SPP)は科学技術、理科・数学に関する興味・関心と知的探求心等の育成、進路意識の醸成、分厚い科学技術関係人材層の形成を目的とするもので、全国で様々な高大連携による事業の実践例が報告されており⁽⁷⁻⁹⁾、平成20年度では全国の高等学校で1098校、45377人が SPP 事業に参加している⁽¹⁰⁾。このような SPP 事業を通じて、受講者の7割が「科学技術・理科・数学に対する関心が増した」、約6割の受講者が「研究機関での研究に具体的なイメージを持つようになった」と回答しており、SPP 事業が若年層の科学への興味啓発に一定の寄与をしていると考えられる。

一方、後者の SSH 支援事業は、科学技術、理科・数学教育を重点的に行い、大学や研究機関とも連携して魅力的なカリキュラムを開発するなど、科学技術に夢と希望を持つ、創造性豊かな人材の育成が期待されている⁽¹¹⁾。平成21年度 SSH 指定校は106校であり、徳島県では徳島県立城南高等学校が指定校となっている。城南高校の SSH アンケートでは3年間の SSH 事業で約87%の高校生が満足感を示し、最も良かった内容として、大学との連携授業(65%)を挙げている⁽¹²⁾。このよ

うに SSH 事業には大学側の協力も不可欠であり、徳島大学も積極的に城南高校の SSH 事業の受け入れを行っている。

これまで筆者らは種々の高大連携事業⁽¹³⁻¹⁵⁾や大学初年次における導入教育(高大接続)の改善⁽¹⁶⁻¹⁸⁾に取り組んできた。さらに本年度、高大連携により、徳島県内の高校生を対象とした生命科学の興味啓発を行う目的で、下記の事業を実施したので報告する。本報告では、(1)徳島県立城東高校と実施した SPP 事業「ホタルはなぜ光るのか?~生物発光の不思議にせまる~」、(2)徳島県立城南高等学校と実施した SSH 高大連携授業「だ液タンパク質(α -アミラーゼ)の分析~電気泳動による分子量決定と酵素活性の測定~」について、高大連携による高校生を対象とした生命科学分野に対する興味啓発活動の実践と、今後の高等教育機関連携事業による大学の地域貢献の可能性について述べる。

2. SPP 事業「ホタルはなぜ光るのか?~生物発光の不思議にせまる~」(徳島大学総合科学部、徳島県立城東高校)の実施

2.1 SPP 講座の申請・実施

SPP 事業は、児童生徒の科学技術・理科・数学への興味関心・知的好奇心の育成を目的として、小・中・高校や教育委員会と、大学や科学館、公的研究機関が連携して実施する講座に対し、JST が支援するものである。実施形態に応じて、プラン A(体験的・問題解決的な学習活動を中心とする講座)およびプラン B(体験的・問題解決的な学習活動の中で、児童生徒の科学的探究力育成のための活動を含めた講座)がある。本年度、筆者らは SPP 事業(二次募集)のプラン A に採択され、徳島県立城東高校と徳島大学総合科学部の連携により、「ホタルはなぜ光るのか?~生物発光の不思議にせまる~」の講座を実施した。

高校の生物の授業では、酵素の作用を「生物 II」で学習する。酵素はタンパク質であり目で直接見えないことから、酵素やタンパク質は高校生にとってイメージしにくく、代謝を含む生体内酵素の反応や性質に関する領域の学習は暗記として済まされている可能性がある。高校側においても、

酵素に関する実験を実施するには、市販の酵素試薬は高価なものが多く、生体試料からの酵素の抽出には材料の確保や抽出技術の煩雑さが伴うこと、一方では酵素反応を測定する際には方法や原理の理解の困難さや測定機器が高価であることから、気体を発生するカタラーゼの場合など反応や生成物が認識可能な限られた実験しか行うことができない。したがって多くの高校では、生体内で必須な化学反応やそれらを触媒する酵素の性質について講義型学習にとどまり、多くの高校生は酵素反応に関する実験を行う機会が少ないと思われる。そこで本講座では高校生に実験の機会を提供するとともに、酵素反応や酵素の性質を高校生に「目に見える形」で学習していただくために、ホタルのルシフェラーゼ酵素を用いた生物発光を題材として取り上げ、対照となる化学発光反応との性質の相違を検討させ、生物科目の当該分野への興味啓発と体系的な理解、さらに当該受講者の今後の学習活動の一助とすることを、講座のねらいとした。

申請に先立ち、平成 21 年 4 月に筆者(佐藤)、徳島大学総合科学部渡部准教授、城東高校生物担当佐山教諭で SPP 申請内容、実施体制、実施時期等について協議し、5 月に総合科学部総務係を通じて申請を行った。その結果、6 月に JST より採択通知をいただいた。その後、再度 8 月に城東高校と徳島大学総合科学部で実施内容、実施日時、募集方法等について検討を行い、実施前書類(実施計画書、要求書など)を 8 月に JST に提出し、精査を経て予算承認となった。9 月に大学 HP 掲載、ポスターの作成と城東高校での受講学生の募集を行い、受講者に対する事前学習、TA に対する initial training を本講座実施前に行った。本講座は 9 月 29 日および 30 日の 9:00~12:00 に総合科学部 3 号館生物学実験室で実施した。受講者は城東高校 2 年生女子 5 名、担当教員は徳島大学総合科学部教員 2 名(佐藤、渡部)および城東高校教諭 2 名(佐山、谷)、TA は 5 名で行った。

1 日目の講座では、自己紹介の後、はじめに生物学実験室にて主担当者(佐藤)が、身近に使われている酵素の事例について説明し、生物発光のしくみとこの反応を触媒する酵素の性質につい

て、講義（パワーポイント）を行った（図1）。次に実験の概要（流れ）を説明した。その後、受講者は以下の酵素（ルシフェラーゼ）による生物発光実験を行った。

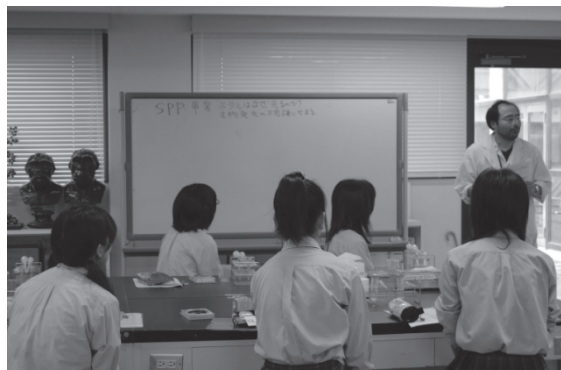


図1 実験の説明

まず酵素による発光実験Ⅰとして、酵素の作用と温度の影響について検討した（図2）。今回の実験では、酵素液（ルシフェラーゼ）と基質溶液（ルシフェリン、ATPなど）を混合することで黄色に発光するが、このときの反応温度を、実験1：室温、実験2：氷水→室温、実験3：60℃湯浴中→室温で行い、反応温度による発光の違いについて、実験結果をおのおのワークシートに記入させた。1～3の実験終了後にまとめ1として、発光する理由と発光しなくなる理由について考えさせた。

次に酵素による発光実験Ⅱとして、酵素の作用とpHの影響について検討した（図3）。酵素と基質溶液を混合後、実験4：塩酸または水酸化ナトリウムを滴下し、発光の変化を観察させた。得られた実験結果はワークシートに記入させた。実験4の実験終了後にまとめ2として、発光する理由と発光しなくなる理由について考えさせた。ここまでの生物発光に関する実験をまとめ3：生物発光の特徴としてワークシートに記入させた。

さらに、対照実験として蛍光物質（BPEA）と無機触媒（過酸化水素）を用いた化学発光と同様の実験を行った（図4）。まず化学試薬による発光実験Ⅰとして、化学試薬の作用と温度による影響について検討した。化学発光では、BPEAと過酸化水素を混合することで青色の発光が見られるが、このときの反応温度を、実験5：室温、実験6：



図2 生物発光の実験



図3 生物発光の実験

氷水→室温、実験7：60℃湯浴中→室温で行い、反応温度による発光の違いについて、実験結果をおのおのワークシートに記入させた。5～7の実験終了後にまとめ4として、化学発光に対する温度の影響についてまとめさせた。

次に化学試薬による発光実験Ⅱとして、化学試薬の作用に対するpHの影響について検討した。BPEAと過酸化水素を混合後、実験8：塩酸または水酸化ナトリウムを滴下し、発光や反応液の変化を観察させた。得られた実験結果はワークシートに記入させた。実験8の実験終了後にまとめ5としてワークシートにまとめさせた。ここまでの化学発光に関する実験をまとめ6：化学発光の特徴としてワークシートに記入させた。最後に、生物発光と化学発光の違いをまとめ7として受講者に考えさせた。また、どのような条件のときに発光するのか、発光しないのはどうしてなのか、そこで何が起きているのかについて、2日目までに結果から推論するという課題を課した。

1日目の実験では、各受講者ごとにTA（総合科学部生物化学研究室3,4年生および大学院人

間・自然環境研究科修士2年)各1名をチューターとして配備し、実験のサポートや実験結果の着眼点、ワークシートによるまとめのサポート・チェックを行った。この体制により、受講者の実験操作や内容理解・結果解釈を補完することができた。



図4 化学発光の実験

SPPでは受講者が自ら考え学び、さらにその考えを表現するための時間確保が求められている。そこで実施2日目は、自分たちの実験結果や考察(仮説)をまとめ、OHPを用いて発表・ディスカッションを行った。まず、1日目の結果を記入したワークシートをもとに、受講者と担当TAがチームになり、約1時間半かけて担当TAと結果に対する議論と発表準備を行った(図5)。受講者に結果を十分に理解した上で、結果と考察・自分の考えを盛り込んだOHPシートを作成し、受講者自らが自分の考え、意見を発表した(図6)。この際、TAは発表のサポートを行った。このチーム学習や発表会では、TAは正誤に関与しないようにし、高校生の能動的な発言・思考を促すとともに、発表やディスカッションを通じて、受講者が自分たちの意見・考えを他人(他チーム)に伝えるためにはどうすればよいか、という意思伝達方法・効果的なプレゼンテーション技術を考えさせることも学習の目標とした。これにより、類似した実験結果に基づく他人の発表を聞くことで、他人との考え方の相違や自分の意見を他人に伝えるプロセスを学ぶことができたと考えられる。発表会は、発表内容に対して他チーム、大学教員、高校教員、TAなどからの質問を受け、さ

らにディスカッションを行った。最後に、実験主担当者が解説を行い、これまでのディスカッションの内容を各自ワークシートに記入し提出させ、講座を終了した。



図5 実験結果の発表準備

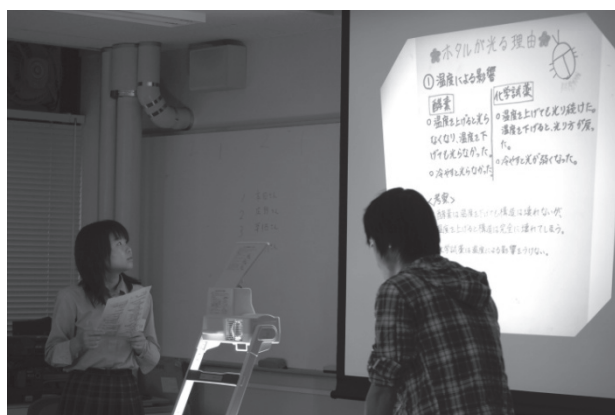


図6 受講者による発表

2.2 アンケート結果

SPP事業では、受講者、TA、担当教員ごとにアンケートを実施している。各々設問が多数あるため、SPPのアンケート集計HPに掲載されている設問を参考に、下記2.2.1~2.2.5の観点から本講座のアンケート結果を抜粋し、以下に示す。枠内は設問および対象者を、下図はアンケート結果を示す。設問対象が高校生のみの場合には、アンケート結果を表(上段:選択肢、下段:回答数)で示した。

2.2.1 SPP を受講した生徒の意識に関する設問

SPP の講座内容を自分なりに理解できましたか？(高校生)/SPP の講座内容を児童生徒たちは自分なりに理解できたと思いますか？(教員・TA)

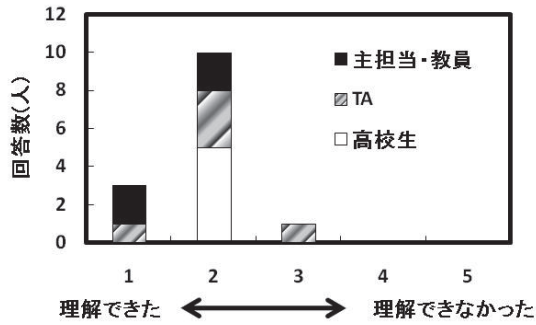


図7 SPP 講座内容の理解に関するアンケート結果

今回の SPP 講座は面白かったですか？(高校生) /児童生徒にとって、授業は面白かったと思いますか？(教員・TA)

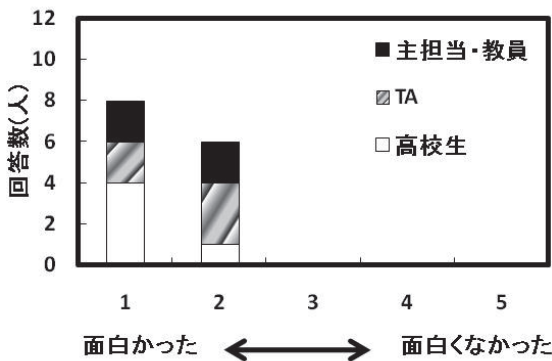


図8 SPP 講座内容の面白さに関するアンケート結果

表1 SPP 講座への次回参加希望に関するアンケート結果

またこのような講座があれば参加したいと思いますか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	2	3	0	0	0

参加したい ← 参加したくない

2.2.2 SPP 受講による生徒の興味・関心の喚起に関する設問

表2 理科・数学への興味啓発に関するアンケート結果

今回のSPPを受講して、理科・数学についてどのように思うようになりましたか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	2	1	1	1	0

好きになった ← きれいになった

今回の SPP 講座への参加をきっかけに、科学技術や理科・数学に対する興味・関心はどうなりましたか？(高校生)/児童生徒たちは、科学技術や理科・数学に対する興味関心が増加したと思いますか？(教員)

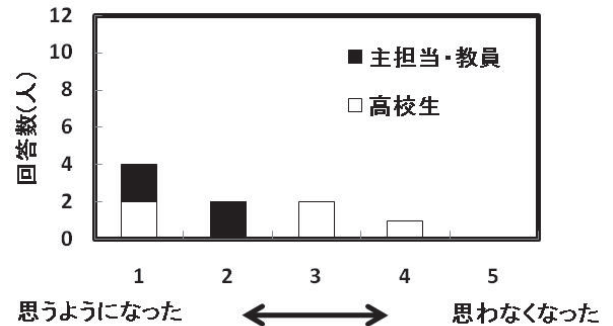


図9 SPP 講座による科学への興味啓発に関するアンケート結果

表3 SPP 講座と職業観に関するアンケート結果

今回のSPPの講座をきっかけに、将来科学に関連する職業に就きたいと思いますか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	1	2	1	1	0

受講後にもっと考えるようになった ← 考えなくなった

2.2.3 SPP 受講による生徒の知的探究心の育成に関する設問

理科・数学について、知りたいことを自分で調べようと思うようになりましたか？(高校生)/児童生徒たちは、理科・数学について、知りたいことを自分で調べようと思うようになったと思いますか？(教員)

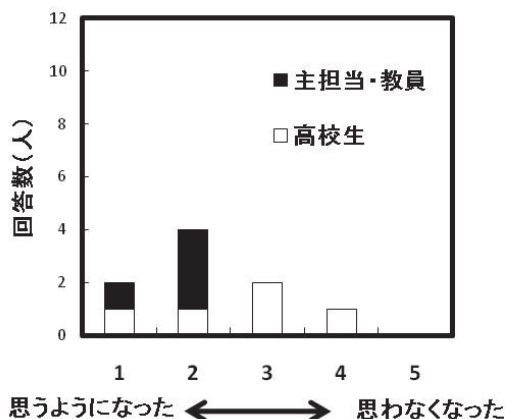


図 10 SPP 講座による知的探求心に関するアンケート結果

2.2.4 SPP 受講による生徒の課題解決能力の育成に関する設問

表 4 SPP 講座と課題発見能力に関するアンケート結果

SPP講座では何が課題であるのかを自ら発見する方法・能力を習得できたと思いますか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	1	4	0	0	0

習得できた (1, 2) 習得できなかった (3, 4, 5)

表 5 SPP 講座と課題解決能力に関するアンケート結果

SPP講座では試行錯誤を繰り返して課題解決につなげる方法あるいは能力を習得できましたか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	3	2	0	0	0

習得できた (1, 2) 習得できなかった (3, 4, 5)

表 6 SPP 講座と意見発表能力に関するアンケート結果

今回参加したSPP講座では、他の生徒の前で意見発表を行う方法・能力を習得できたと思いますか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	4	0	0	0	0

習得できた (1, 2) 習得できなかった (3, 4, 5)

*1 名無回答

2.2.5 SPP 企画者の講座のねらい達成度に関する設問

表 7 SPP 講座の達成度に関するアンケート結果

当初計画していたねらいを達成することができたと思いますか？

選択肢	1	2	3	4	5
回答数	2	2	0	0	0

できた (1, 2) できなかった (3, 4, 5)

2.2.6 自由記述

高校生の感想

- ・タンパク質の話は少し難しかった。とても楽しかったです。ありがとうございました。
- ・今まで普通に受け取っていた出来事もすべてに理由があることが分かり、それを解決する能力も身についたと思うので良かった。
- ・実験するだけではなく、自分で考察する機会がたくさんあったので、その分難しかったけどこれからも忘れずにいると思います。TAの方が優しく話しかけてくれたり、手助けしてくれました。すごかったです。ありがとうございました。
- ・TAの方がわからないことを丁寧に教えて下さったので、たくさんあった実験もスムーズに進めることが出来ました。学校では数多くの実験をする機会がないので良かったです。酵素がどんな働きをしているか知ることができました。ありがとうございました。

TA (大学院生、学部3,4年生)

*TAとして心がけた点

- ・積極的に話しかけるようにした。
- ・ある程度（受講者に）知識があったので、ヒントを与えすぎないようにした。
- ・生徒が何を疑問に思っているか明確にし、生徒なりの答えが出せるように導くようにした。
- ・答えをそのまま教えるのではなく、その答えに生徒自身が考えて少しでも近づけるように会話で誘導するようにした。
- ・今回は生徒が考えるということを大事にするという目的だったので、アドバイスを出して自ら考えさせるようにしました。これからも TA として、わからないことを分かり易く説明できるように心がけたいと思います。

*TA 体験の意義と必要な能力・知識

- ・自分が実験するのと、教えることは違うことがわかった。高校生に通じる話題が必要だと感じました。
- ・年齢の離れた今の高校生の考え方に触れることができた。生徒の発表時におけるサポート能力が必要だと感じました。
- ・先生の目の届きにくいところまで見ることができた。自分の考えを上手に生徒にわかるように表現する能力が必要だと感じました。
- ・TA は知識を教えることも大事な仕事だが、それよりも実験などが良い方向に進むように的確にサポート（助言）することが重要であると考えた。他人に知識を教える場を持ってこなかったのが、分かり易く教えるという点が必要と感じました。
- ・将来につなげられるよい体験だったと思います。生徒の事をもっと聞き出せる能力が必要と感じました。

担当教員（大学・高校教員）

*SPP 実施の意義

- ・高校生を教えることで、また生徒が純粋に科学実験を楽しみ驚く姿に接することで、自分自身の科学に対する純粋な気持ちを感じました。
- ・高校生の視点で、何に興味があり、何が理解可能であり、どういう考え方をするのかについて、大変参考になった。反省点を大学での授業等に

役立てたいと考えている。

- ・大学の先生と交流ができ、また学校以外での生徒の活動（実験）の様子が見られたこと。
- ・実験の進め方（レジュメなど）が参考になりました。

*SPP 実施により、生徒が変化した点

- ・発表がうまくいった場合には、人前で説明することに対する姿勢が変わったと考えられます。
- ・実験を進めていくうちに、目の前で起きる変化（発光）の違いに興味をもつようになったと思います。また、発表は当方が予想していた以上に真剣に取り組み、自分自身で理解しようという姿勢が見受けられました。
- ・教科書や参考書だけではなく、自ら実験を通して科学に接したことで、科学をより身近に感じることができたと思う。
- ・実験を行った時のまとめや考察などに対する重要性に気づいた点。

*SPP の実施方法・手順に対する反省点・改善点

- ・もう少し早い時期の連絡があれば、実施の日程調整や生徒への周知ができたと思う。
- ・考える時間も大切であるが、1日で終われば参加者も募りやすかった。
- ・連携先機関の探索・決定法や実施時期・学生の募集方法が難しかった。採択の時期が6月であり、事前申請書類の煩雑さから、夏休みの実施が困難であった。高校生の長期休暇を利用できるとよいと思う。
- ・SPP の実施手順を簡略化してほしい。講座の内容自体は問題ないと思うが、高校に対しての広報にもっと力を入れるべきであった。

2.3 アンケートの解析と今後の課題

本講座は9月29,30日の両日、徳島県立城東高等学校2年生5名を対象に実施した。SPP 事業では、生徒自らが考え活動する時間を求められるため、企画段階で1日目を実験、2日目をディスカッションおよび発表と区別し、実験結果に対して受講者各々が考えて、理解や考察したことを発表する形式とした。受講者へのアンケート結果

(2.2.6:自由記述) から、講座全体に対しては概ね好意的な意見が多かった。以下、アンケート結果を中心に SPP 講座を総括し、今後の課題について述べる。

まず、「2.2.1 SPP を受講した生徒の意識に関する設問」についてみると、平成 19 年度に実施された全 SPP 講座受講者約 3 万人に対するアンケート調査では、講座内容が「理解できた」「どちらかという理解できた」を合わせると約 74% であり、講座内容が「面白かった」「どちらかという面白かった」は約 85% となっている⁽¹⁰⁾。一方、本講座内容の理解や満足度 (図 7,8 および表 1) を見ると、平成 19 年度調査と同様に、受講者、TA、担当者とも好意的な回答が多かった。このことは、講座の企画・システム面からは、レジュメ内容 (事前学習資料、実習テキスト) および実施手順 (フローチャート、ワークシート等) の精査、TA の事前トレーニング (実験方法、実験内容、教える (つまづきやすい) ポイント、実施方針・コンセプトの統一性、発表スキル、発表内容) を行い、また講座では TA を受講者に対して 1:1 で配置したことで、細かいサポート・指導ができるように配慮した点が、受講者に好印象を与えたと推定される。また、受講者一人一人の関心・知識はさまざまであり、TA も学部 3,4 年生、修士 2 年と裁量も異なるため、グループ間での TA と受講者のコミュニケーション、チームワークが求められるが、TA が受講者と積極的にコミュニケーションを取り、共通のコンセプト (一方的に教えるのではなく、生徒自らの考えを引き出し、尊重する) のもとで TA 自らが考えて実践したことも、受講者が実験および実験結果の意味を十分に理解し、好印象を持つことにつながったと考えられる。

次に、「2.2.2. SPP 受講による生徒の興味・関心の喚起に関する設問」についてみると、先の平成 19 年度に実施された全 SPP 講座受講者約 3 万人に対するアンケート調査では、受講前後の興味の増減に関して「興味が増加した」「どちらかという興味が増した」の合計が約 69% であり、「受講前に興味はなかったが受講後に興味が増した (選択肢 3)」は約 21% であった⁽¹⁰⁾。本講座の場

合にも同様に、理科・科学技術への興味・関心の喚起に対してさまざまな回答が見られた (表 2,3 および図 9)。特に受講前後における理科・科学技術の興味 (図 9) では、受講前にそれらに興味がある (選択肢 1 および 2) 受講者と興味がない場合 (選択肢 3 および 4) 受講者に回答が分散し、そのうち「受講前に興味はなかったが受講後に興味が増した (選択肢 3)」受講者は 2 名であった。このことは、もともと理科・科学技術に興味がある受講者はそのまま興味が維持され、あまり興味のなかった受講者でも、SPP の実施内容によって興味関心の向上に一定の効果がある可能性を示唆するものである。

さらに、「2.2.3. SPP 受講による生徒の知的探究心の育成に関する設問」では、先の平成 19 年度に実施された全 SPP 講座受講者約 3 万人に対するアンケート調査において、理科・数学で知りたいことを自分で調べようと「思うようになった (選択肢 1)」「どちらかという思うようになった (選択肢 2)」は全 SPP 受講者の約 50% にとどまっている⁽¹⁰⁾。本講座でも受講者の回答は分散しており、教員側の認識とは乖離が生じている (図 10)。このことは、先の理科・科学技術への興味喚起の場合と比べ、短期的な SPP 事業のみの効果は低いと考えられ、能動的かつ自発的な学習習慣の有無が影響している可能性もある。

一方、「2.2.4. SPP 受講による生徒の課題解決能力の育成に関する設問」 (表 4~6) では、本年度の SPP 事業から新たに「児童生徒が、観察・実験・実習等の中で、考え、意見を発表する時間」「児童生徒が、観察・実験・実習等のまとめを発表あるいはレポート作成する活動」を重点項目としている。そのため過去のアンケートとの対比はできないが、本講座においてはこれらの重点項目を企画の中心に据えたため、受講者に課題解決能力が身についたとの意見が多く見られた (表 5)。最後に、「2.2.5. SPP 企画者の講座のねらい達成度に関する設問」では、本講座の実施に携わった教員が概ね「ねらいを達成することができた」と感じている (表 7)。先の平成 19 年度に実施された全 SPP 講座実施者約 3 千人に対するアンケート調査でも「達成できた」「どちらかという達成でき

た」をあわせると約90%となっている⁽¹⁰⁾。

受講者にどのような課題解決能力の取得をどの程度求めるかは、全国で実施されている各SPP講座の性質に大きく依存するために、包括的な受講者アンケートのみでは本当に受講者にその能力がついたのかを判断するのは困難である。本講座で設定した課題解決能力は、いわば「誘導型課題解決能力」であり、大学・社会で求められるものは「自立型課題解決能力」である。その意味で、高校生の今後の継続的な解決能力の向上が必要になるが、高校以下の基礎能力を大学教育・職業にどのように連携させるのかについて、金子はコンピテンス（理論的な知識に対する職業や生活での能力：社会人基礎力）の概念を用いて、高大教育と職業との総合モデルを提案している⁽¹⁹⁾。そこでは「基礎能力」「基礎学力や専門的知識」「基礎能力や専門的知識の職場技能への転化」が高校から大学に至る教育課程で形成されることにより、コンピテンスが形成されるとしている。ここで基礎能力とは「論理系」「伝達系」「意欲系」の能力を指しており、高校から大学にかけてのこうした能力の形成は、社会での「中核能力」となりうる。高校生が今後上記の基礎能力を真に身に付け、コンピテンスが形成されるか否かは、高校および大学での継続的な「論理系」「伝達系」「意欲系」の各人の取り組みが必要であると考えられる。この観点から、SPP講座のような「論理的な思考」「意思伝達とコミュニケーション」「自然科学を理解するための体験・意欲」を会得することを目的とする事業は高校生にとって非常に有益であり、このような高大連携事業を数多く実施して高校生が基礎能力を会得する機会を増加させることや、参加人数の確保、高校生への周知方法が今後の課題となる。一方で、TAとして参加した大学生・大学院生にとっても、高校生に教えるためには自分たちのより深い理解と高い能力が求められることから、大学生・大学院生における「基礎能力」習得に対しても教育的効果は大きい。今後さらに高校・大学・地域社会が連携して、多数の高校生や大学生の体系的な「基礎能力」の向上を目指す必要があると思われる。

3. SSH 高大連携事業 「だ液タンパク質（ α -アミラーゼ）の分析～電気泳動による分子量決定と酵素活性の測定～」の実施（徳島大学総合科学部、徳島県立城南高校）

3.1 講座の準備および実施

SSH 事業は、未来を担う科学技術系人材を育てることをねらいとして、理数系教育の充実を図る取組で、大学や研究機関とも連携して魅力的なカリキュラムを開発するなど、科学技術に夢と希望を持つ、創造性豊かな人材の育成が期待されている⁽¹¹⁾。徳島県では徳島県では徳島県立城南高等学校が指定校となっている^(12,20)。本年度、筆者（佐藤）が城南高校のSSH 授業依頼を受け、2009年9月18日および9月25日に城南高校3年生5人を対象に、高大連携事業「だ液タンパク質（ α -アミラーゼ）の分析～電気泳動による分子量決定と酵素活性の測定～」を行った。

まず、事前打ち合わせとして、2009年8月に筆者（佐藤）と城南高校生物担当藤本教諭がSSHで取り扱うテーマおよび実験手法について検討を行った。9月25日に行う実験では、高校では実施が難しい「SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE）」を中心に行うこととした。材料について分析可能な生体試料を検討し、ヒト由来の試料で豊富にあり採取が容易であることや実践例があることから⁽²¹⁾、だ液を用いて①人のだ液中に存在するタンパク質を電気泳動法により検出し、②さらにだ液アミラーゼについてヨウ素—デンプン反応を利用した酵素作用（活性という）の検出を行うことにより、だ液中のタンパク質と酵素（ α -アミラーゼ）のはたらきについて理解を深めることを実験の目的とした。



図 11 城南高校での講義

上記の実験内容に関連して、9月18日に行った講義内容は、徳島大学総合科学部の紹介、佐藤の研究紹介を行った後、アミノ酸、タンパク質の生化学的基礎、酵素の種類と働き、人体にあるタンパク質の説明、タンパク質の検出法、電気泳動の原理について、城南高校生物実験室にて受講者5名に講義を行った。

次に、9月25日に徳島大学総合科学部生物学

実習室にて、人のだ液中に存在するタンパク質を電気泳動法により検出し、だ液アミラーゼについてヨウ素—デンプン反応を利用した酵素作用（活性という）の実験を行った。受講者は5名であった。タンパク質は生物内で種々の働きをしており、主に高校の生物IIで学習する。しかし、タンパク質や核酸のような生体高分子は目に見えないため、高校生がこれらの分子をイメージし、体系的に理解することは難しいと推察される。そこで今回、電気泳動（SDS-PAGE）やヨウ素—デンプン反応といった、「目に見える」形でタンパク質やその働きを体得させるということを主眼に実験を行った。

まず、だ液タンパク質のSDS-PAGEによる検出の実験を行った（図12~14）。各受講者が準備した自分のだ液10 μ lを、試料処理液2 μ lと混合し、沸騰湯浴にて5分間加熱した。この分析試料5 μ lを、15%ポリアクリルアミドゲルを用いたSDS-PAGEにより分析した。電気泳動後のゲル（図12）を染色液で加温染色後、次いで加温脱色を行った。また、その他の試料として、ミルク、するめなども分析した。

その結果、だ液中のタンパク質に由来するバンドが検出され、下記の電気泳動後のゲル（図12）を見た受講者からは、タンパク質を見ることができ、感嘆の声が聞かれた。一方、ミルク試料はタンパク質濃度が高く、するめはタンパク質抽出が困難であったため、解析はできなかった。観察結果はワークシートに記入させ、タンパク質のバンドについて佐藤が解説を行った。この日の電気泳動の実験は時間の都合によりここまでとし、後日、十分に脱色したゲルの画像データ、ミルク試料の電気泳動画像および解説を城南高校に送付した。受講者は事後学習として、分子量マーカーを参考

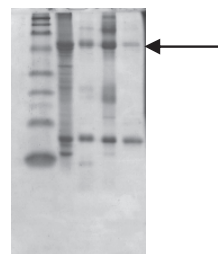


図12 だ液タンパク質のSDS-PAGE
(矢印はだ液アミラーゼ)

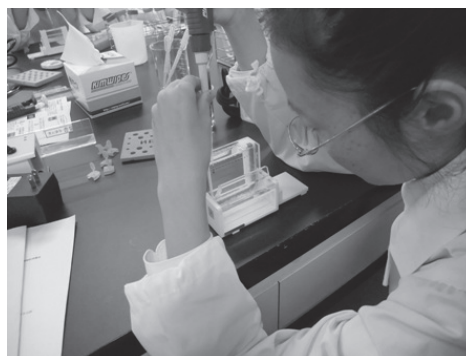


図13 だ液タンパク質の電気泳動実験



図14 だ液タンパク質の電気泳動実験

に、だ液中の主なタンパク質のおおよその分子量を推定した。

さらに、先の電気泳動を行っている時間(約30分)を利用して、だ液アミラーゼのデンプン分解反応の測定を行った。デンプンは身近な多糖類であり、デンプンの所在はヨウ素—デンプン反応で確認することができる。一方のアミラーゼは、ヒトのだ液やすい臓に分泌され、デンプンを麦芽糖に分解する酵素である。ここでは、人体で日常的に行われている酵素（アミラーゼ）のデンプン分解反応を、ヨウ素—デンプン反応の退色を利用して検出した。さらに、酵素の働きがpHによりど

のように異なるのかについても、実験を行った (図 15,16)。

まず、今回各受講者が準備しただ液試料を蒸留水で 10 倍に希釈し、その 0.1ml を試験管 3 本に各々入れた。また、蒸留水 0.1ml を入れた試験管を対照とした。ここに、pH4,7,9 の各緩衝液で溶解した可溶性デンプン溶液 1ml をそれぞれの試験管に加え、37°C、5 分間反応させた。対照液は pH7 のデンプン溶液を加え、同様に加温した。ここに発色液 (ヨウ素液) 1ml を加え、室温で 5 分放置後、660nm における吸光度を測定した (図 16)。対照の吸光度を 100%として、各 pH でのアミラーゼによるデンプン分解率を算出させ、ワークシートに結果を記入させた。



図 15 だ液アミラーゼのデンプン分解実験

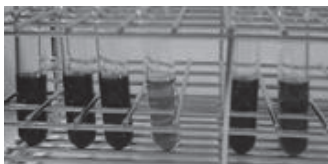


図 16 アミラーゼによるデンプンの分解

3.2 受講者の理解・感想

2009 年 9 月 18 日および 9 月 25 日にわたり実施した SSH 高大連携事業「だ液タンパク質 (α -アミラーゼ) の分析～電気泳動による分子量決定と酵素活性の測定～」では、受講者にワークシートを配布し、実験での観察結果や気づいた点、理解した点などを記入していただいた。今回の実験では、高校の生物の範囲には記載のほとんどない、タンパク質の分析 (電気泳動) に関するものが含まれるため、高校 3 年生に当該内容がどの程度理解されるかは未知数であった。この点に関して、

ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (PAGE) の経験の有無を受講者に聞いたところ、DNA のアガロースゲル電気泳動は経験があるが、タンパク質のポリアクリルアミドゲル電気泳動は、全員初めてであった。一方、酵素の活性 (機能) の検出・測定は、生物 II で肝臓カタラーゼなどを用いた酵素の性質を調べる実験が取り扱われている。そのため、タンパク質の一種である酵素が、様々な反応を触媒することは理解しやすかったものと考えられる。以下、実験項目別の受講者の理解・感想を示す。

3.2.1 SDS-PAGE の実験に対する理解・感想

- ・ SDS-PAGE により、分子量約 60,000 (理論値 56,000) と約 12,000 (理論値 14,000) の二か所にバンドが見られたため、だ液には α -アミラーゼとリゾチームが含まれていることがわかった。ミルクでは異なる場所にバンドが見られたため、同じ生体物質でも異なるタンパク質でできていることがわかった。
- ・タンパク質を電気泳動を用いて分子量をはかることができた。自分のだ液には、分子量 69kDa と 55kDa のものが出てきており、アミラーゼ、リゾチームが検出できた。マイクロペレットの扱いがうまくなったと思う。
- ・ DNA の存在を確認するために前に使ったカントンの機械とは違い、酵素の場合には大きさが小さいので、違う機械を使うことがわかった。
- ・各だ液試料の結果は大体同じだった。牛乳とスルメのタンパク質の性質は似ているかもしれない。
- ・電気泳動装置がよりコンパクトになっており驚いた。

以上より、SDS-PAGE によるだ液タンパク質の分離・検出では、以前に SSH でアガロースゲル電気泳動による DNA の検出を体験した学生が多いことから、電気泳動という手法は同様であるが、用いる担体や条件によって、異なる生体物質が分離・検出されることを理解し、同じだ液でも他人と相違があるか、他の生体試料とのタンパク質の違いはどうかといった観点から、結果を解釈・理

解していることが見て取れる。今回の SDS-PAGE の場合には、タンパク質を分離・検出するだけでなく分子量を決定することもできることや、生物で扱う種々のタンパク質は実際に目で見る(可視化)することができること、同じだ液でも構成する各タンパク質の量(発現量)や比率は各人で異なること、生体試料の違いで構成するタンパク質の種類・分子量などが異なることなどが理解できれば、実験の目的は達せられたと考えている。この目的のためには、種々の生体試料を SDS-PAGE で分析し、受講者が体系的に生体のタンパク質について理解できるように、さらなる検討が必要であろう。

3.2.2 だ液中のアミラーゼ活性の測定に対する理解・感想

- ・だ液を希釈すれば、もっとはっきり違いが出る。
- ・吸光度が低いほどデンプンが分解されて光を通しやすくなっている。よって、吸光度が低いほどアミラーゼが活性していると思う。 α -アミラーゼの活性を吸光度で調べるのは驚いた。
- ・吸光度の高い方が疲れているから、僕は疲れているのがわかった。使用した機会が初めてで楽しかった。吸光度 0.1 の差が他とあるが、それほど疲れにより差が出るのだろうか。
- ・アミラーゼの活性の分析では、見た目の色があまり変わらないのに、吸光度では意外と差が出たことに驚いた。
- ・吸光度が低いほど分解率が高いので、pH7 のときにアミラーゼが最も作用する。だ液は中性に保つべき。

以上より、自分たちのだ液の中にアミラーゼが存在し、中性で最もデンプンを分解することが理解できていると思われる。今回の実験では、各自採取しただ液を 100 倍に希釈して活性を測定したが、いずれの pH(pH4,7,9)でも分解率は 90%以上であった。pH によるアミラーゼの働きの差異を分かりやすくするためには、さらに希釈率を上げ(酵素濃度を下げ)、検討する必要があるだろう。また、今回は生化学では一般的な比色定量法を用いた。この比色定量では、測定物質の特徴を

示す波長における吸光度の差異を用いる。吸光度については前週(9月18日)の講義で説明したが、高校生物では取り扱わない分野なので、分光光度計による光の透過率という概念で説明した。そのため、酵素活性の強弱が見た目の色や様子の変化のみではなく、吸光度により数値化できるということに受講者は驚いたと推察される。アミラーゼの作用はデンプンを麦芽糖単位まで分解するものであるが、だ液以外にもすい臓からも分泌され、我々のデンプンの消化に寄与していることは、高校生物でも取り扱われている。今回、自由由来の試料を用いることで、体内で働く酵素作用の体系的な理解を目的としたが、実際に酵素活性を測定するときには酵素濃度を定量してから行うため、各自のだ液試料をその場で測定するためには、実験内容のさらなる吟味が必要であろう。

4. 今後の高大連携事業

筆者らはこれまでも高校教員と連携し、高校生の生物に対する興味啓発(理科離れ対策)や地域教育連携を目的として、大学における体験入学型の学習プログラムを行ってきた⁽¹³⁻¹⁵⁾。一方で大学全入時代を迎え、大学の初年次教育の在り方も変化してきたため、初年次教育に対する種々の取り組みも行ってきた。このように大学および高校を取り巻く環境変化や科学技術の進展は目まぐるしく、平成 20 年 1 月の学習指導要領改訂についての中教審答申⁽²²⁾では、生命科学の急速な進展に伴い変化した内容については見直しを図ることが述べられている。これを受け、平成 21 年改訂学習指導要領では、ここ 20-30 年の進展で明らかになった生物学の基本的な事項を取り上げること、健康・食物・環境等に関わる実生活に有益な生物学の事項を取り上げること、高大接続や国際的な通用性等が重視されている。この新課程では、現在の「生物 I・II」が、「生物基礎(2単位)」「生物(4単位)」となり、このうち多くの高校生が履修すると推定される「生物基礎」には「生物と遺伝子」「生物の体内環境の維持」「生物の多様性と生態系」が含まれる。つまり、細胞が起点であった高校生物が、遺伝子(DNA)を起点としたセントラルドグマ(遺伝情報の流れ)へと変化する

ことを意味する⁽²³⁾。新課程は2012(平成24)年4月から施行が予定されており、高校教員の新課程への教育対応検討がすでに始められている⁽²⁴⁾。本報告で取り上げた酵素・タンパク質の構造・作用は、「生物基礎」における遺伝情報とタンパク質の合成で取り上げられ、また新「生物」の「生命現象と物質」の基礎となることから、今後の高大連携事業ではDNA/RNAなどの核酸を含む生化学・分子生物学的トピックスを中心に、高校教員との連携を図る必要が生じる。大学側も、理科新課程の学生が平成27年に入学してくるため、今後の入学試験や大学の初年次教育(高大接続)等を見据えた高大連携事業や研修などによる状況の把握と対応が、大学教員にとってますます重要になると思われる。

5. 謝辞

SPPは、独立法人科学技術振興機構(JST)の支援を得て実施した<JSTサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト整理番号AD094034>。また、SPPおよびSSHの実施に当たり、徳島大学総合科学部の石川栄作学部長、大橋眞教授、徳島大学共通教育の横山裕加里技術補佐員、徳島大学大学院人間・自然環境研究科の柴垣明佳氏、同総合科学部自然システム学科の伊藤寛人氏、酒井勇太氏、遠藤陽介氏、影治孝政氏のご協力をいただいた。この場を借りて深謝する。

6. 参考文献等

- (1) 中央教育審議会:初等中等教育と高等教育との接続の改善について(答申)要旨,1999年, <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/12/chuuoc/toushin/991201.htm>
- (2) 畦浩二,鈴木賢一,林靖弘,山本卓,坂本尚昭:高大連携による生命科学教材の開発とその実践的研究、*広島大学学部・付属学校共同研究機構研究紀要*, **36**, 459-462, 2008年
- (3) 佐々木 陽一: 高大連携授業の試み, *J. Higher Education and Lifelong Learning*, **11**, 73-84 (2003)
- (4) 中條安芸子: 高大連携で問われる地域の教育力, *文教大学情報学部『情報研究』*, **41**, 1-10,

2009年

- (5) 石渡嶺司: 最高学府はバカだらけ, 光文社新書, 2007年
- (6) 文部科学省 HP <http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kaikaku/2007/08050801/009.htm>
- (7) 佐藤裕基, 萬木貢, 林要喜知: 旭川医科大学と地元高校によるSPP 高大連携理科教育の取り組みとその有効性の評価, *旭川医科大学紀要(一般教育)*, **25**, 61-84, 2009年
- (8) 山田 洋一, 高梨 里子, 黒鷲 英輝, 鈴木 勲: 高大連携科学実験講座に関するアンケート調査について, *宇都宮大学教育学部紀要第二部*, **58**, 7-14, 2008年
- (9) 大久保 貢, 永井 二郎, 椿山 教治, 小平 俊之: 高大連携による高校の理科教育支援～サイエンス・パートナーシップ・プログラム事業の効果～, *応用物理教育*, **28**, 1, 41-44, 2004年
- (10) 独立行政法人科学技術振興機構(JST) サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト HP <<http://spp.jst.go.jp/index.html>>
- (11) 独立行政法人科学技術振興機構(JST) スーパーサイエンスハイスクール HP <<http://ssh.jst.go.jp/>>
- (12) 徳島県立城南高等学校: スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書(第3年次), 平成21(2009)年3月
- (13) 渡部稔: 高校生の大学研究室への体験入学～「ひらめき☆ときめきサイエンス」プログラム, *徳島生物学会会報*, **59**, 2, 20, 2006年
- (14) 渡部稔, 山城考, 吉川ひとみ, 吉田光昭: 講座型学習活動「サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト」実施報告, *徳島生物学会会報*, **60**, 2, 17, 2007年
- (15) 渡部 稔, 山城 考, 佐藤 高則, 大橋 眞, 間世田 英明, 續木 章三, 英 崇夫: 高大連携事業「高校生の大学研究室への体験入学生学習プログラム」の実施報告, *大学教育研究ジャーナル*, **6**, 85-101, 2009年
- (16) 大橋 眞, 齊藤 隆仁, 大沼 正樹, 佐藤 高則, 桑折 範彦: 徳島大学共通教育における高

大接続のための改革－理数科目の補習的授業の実施と課題－, *大学教育研究ジャーナル*, **3**, 20-29, 2006年

- (17) 大橋 眞, 齊藤 隆仁, 佐藤 高則, 中恵 真理子, 田村 貞夫: 「ものづくり」と大学初年次教養教育における創造力育成プログラム, *大学教育研究ジャーナル*, **4**, 1-14, 2007年
- (18) 佐藤 高則: 大学初年次導入教育における現状と取り組み~生物学・生化学の事例~, *徳島生物学会会報*, **61**, 2, 16, 2008年
- (19) 金子元久: 大学の教育力, ちくま新書, 2007年
- (20) 藤本順子: 城南高校 SSH 高大連携授業と総合的な学習, *徳島生物学会会報*, **61**, 2, 15, 2008年
- (21) とっておき生物実験, 生物の科学・遺伝 (別冊), No.10, (1998)
- (22) 中央教育審議会: 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について (答申), 2008年, <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1216828_1424.html>
- (23) 松浦克美: 高等学校理科「生物基礎」「生物」平成21年改訂学習指導要領および解説における主な変更点について, 高等学校新学習指導要領 (生物分野) に関するシンポジウム (岡山理科大学) 講演資料, 1-24, 2009年
- (24) 東京都生物教育研究会: 都生研会誌臨時増刊号, 2009年