

DNA 鑑定を題材とした大学院生中心の出前授業

— 企画と実施, 留意事項について —

末本 哲雄^{1)*}, 田中 清裕²⁾, 金井 俊輔¹⁾, 笠原 茂佳¹⁾, 石上 歩¹⁾, 池田 紘美¹⁾

¹⁾ 広島大学大学院生物圏科学研究科, ²⁾ 広島県立呉三津田高等学校

Delivery-Experiments Dealing with DNA Typing by Graduate Students

— Plan, Practice and Considerations —

Tetsuo Suemoto^{1)**}, Kiyohiro Tanaka²⁾, Syunsuke Kanai¹⁾,
Shigeyoshi Kasahara¹⁾, Ayumu Ishigami¹⁾, Hiromi Ikeda¹⁾

¹⁾ Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, ²⁾ Kuremitsuta High School

Abstract — If a specialist, especially someone belonging to a university, visits a high school or a school of lower stage and gives lectures about his or her specialty (resp. classes by experiments), such lectures (resp. experiments) (or such an activity) are called *delivery-lectures* (resp. *delivery-experiments*). We report the results of the trial of the delivery-experiments planned and practiced by graduate students. The experiments were conducted to promote friendly exchanges between high school students and graduate students. The experiment comprised DNA typing of the MCT118 locus through DNA extraction, PCR and polyacrylamide gel electrophoresis. In this paper, our purpose is to promote graduate students' activities as teachers in delivery-lectures and/or experiments instead of busy professors. We describe (1) the procedures from before to after the experiments and experimental circumstances, (2) comments from the high school students, effective points and improvements, (3) considerations for planning and practice by graduate students in the future.

(Revised on 13 May, 2007)

1. はじめに

近年, 高大連携が普及し, 全国の高校および大学で様々な取り組みがなされている。高大連携が進んだ直接的な理由は平成 11 年 12 月 16 日の中央教育

審議会答申において「初等中等教育と高等教育との接続の改善のための連携の在り方」に関する提言がなされたためといわれている。この中には, 高校・大学の多様化と個性化および大学に入学する学生の能力や履修歴等の多様化が進んでいること, それゆ

*) 連絡先 : 260-0028 千葉県千葉市中央区新町 3-13 WDB 株式会社

**) Correspondence: WDB Co., LTD. 3-13, Shin-machi, Chuo-ku, Chiba-shi, Chiba, 260-0028, Japan

え高校と大学の連携を拡大して個性や能力を効果的に伸ばすことが強く求められる、というような内容がみられる。

高大連携を一言で表すと、「高校と大学が、それぞれの教育資源を活用しつつ、連携協力して行う教育活動の総体」である(勝野 2003d)。高大連携での専門的講義や実習の体験、大学生活に関する情報は高校生の進路選択に対する大きな動機づけとなっている(勝野 2003b; 2004b)。このように専ら大学から高校に向けての実施が多いため、高大連携は狭義の「高校生を対象として、大学の教育資源を活用して行う高校の教育活動」という意味合いが強い。高大連携における高校の主たるねらいは生徒の進路指導であるものの、大学が提供する専門的・先端的講義や実習に対する期待も少なからず高い(勝野 2003b; 2003c)。高大連携は実施場所によって「大学内」と「大学外」での取り組みに分けられる。本稿で扱う出前授業は高校に出張して授業を行うため、「大学外での取り組み」にあたる。これは1回限りや大学での学問研究の一端に触れるといった入門的なものが多いが、現在最も普及している高大連携の実施形態である(勝野 2003a; 2003d)。そして出前授業の実施件数は今後も増加していくと考えられている。

一方、出前授業には様々な課題が残っており、その中のひとつが多忙な大学教員の日程調整である。そこで、これまで補助的役割であった大学院生に企画から実施まですべての過程を担当させ、出前授業の中心的人材として活用していくことを考えた。本稿では、大学院生が中心となって企画・実施した実習例を基に、手続きと操作、実施状況、実習に対する生徒の感想および良かった点と改善すべき点、大学院生が出前授業を企画・実施する上での留意事項を報告する。本稿を大学院生が企画する出前授業の前例とし、今後の多様な高大連携を活性化の一助としたい。

2. 実習内容

本出前授業は、高校生に分子生物学的操作の体験を通して教科書を越えた範囲にも興味をもってもらうことを目的に、広島大学大学院生物圏科学研究科

の大学院生5名が自主的に企画したことに端を発する。この企画を面識があった高校教諭に持ち掛け、大学生と高校生との交流の一環として実現に至った。企画は「DNA鑑定～犯人は誰だ?～」と銘をうち、架空の捜査現場において生徒がそれぞれの口腔粘膜よりDNAを抽出し(番号をふり匿名化)、PCR、電気泳動を行い、犯人のDNA型と一致するサンプル番号の特定を行う実験実習である。DNA鑑定を題材に選んだのは、テレビや新聞などで取り上げられることがあり、高校生にとって興味のある内容と考えたためである。鑑定には、実際の科学捜査にも使用されているMCT118法を用いた(Nakamura et al. 1988; 笠井 1990; 笠井ら 1992)。本実習は2006年2月25、26日に広島県立呉三津田高等学校で16名の高校2年生を対象に行われた。

2.1 事前準備

高校との打ち合わせ

大学院生が企画書類(実習計画書(例1)、実験計画書(例2)、実験方法(例3)、使用機器・試薬一覧(例4)、同意書(例5)、実験内容に関する参考資料)を高校に提出し、理科担当教諭の会合において企画の採否がとられた。実験計画書は3種類あり、場所・実習日数・所要時間がそれぞれ異なっている(例1以外は省略)。本実習では例1に示した実験計画が採択された。

実施が決定すると、高校教諭との実習に関する具体的な打ち合わせを行った(日時、受講定員、教科書の進行状況、生徒の興味や要望、使用教室の電流・電圧、高校での使用可能な設備(冷蔵庫、AV機器、給湯器、スライドスクリーン)、DNAバンド観察時の暗闇条件など)。安全面、倫理面において十分に対処できるよう討議し、実験計画書(例2)、実験方法(例3)および実験の復習プリントを生徒に配布してもらった。

インフォームド・コンセント

実習では生徒のDNAを扱うため、同意書の文面(例5)と担当教諭により十分な説明がなされ、生徒と保護者に同意書の記入・捺印をしてもらった。自身のDNA使用を望まない生徒も実習に参加できるよう、別のDNAを準備し、どちらかを自由選択で

きるようにした。

実習指導員（大学院生）との打ち合わせ

実習には5名の大学院生が指導を行った（博士課程3年1名, 修士課程2年3名, 修士課程1年1名）。企画書類や予備知識を共有し, 実習内容, 実験スケジュール, 安全管理, 服装について確認した。高校に生徒16名を4人1班となるように編成してもらい, 各班に大学院生を1人ずつ配置した。また, 状況に応じて指導補助ができるように担当班をもたない大学院生1人（博士課程）を割り当てた。実習方針として, 生徒との交流を深めるため積極的に話しかけること, 操作手順に関しては大学院生からの積極的アドバイスを避け実験操作資料（例3）を見ながら生徒が主体的に行動してもらうことを取り決めた。

研究科への申し立て

高校訪問にあたり, 研究科の学生支援室に留意事

項（例6）を提出した。

機器・試薬

必要な実験機器・試薬（例4）については, 大学院生がすべて大学より車で運搬した。試薬は班ごとに分注し, ラベルを貼っておいた。衝撃を抑えるため, 実験機器はダンボールに新聞紙や緩衝材と共に梱包し, チップ箱や小物はラップで包みコンタミや紛失を防ぎながら運搬した。試薬はラップとテープで密封・固定し漏れを防いだ。当日までに一度, 高校に訪問して機器の正常作動を確認しておいた。

2.2 実習1日目

以下の記述は, 実際のタイムテーブルと併せて参照のこと（図1）。

実習前準備

まず55°Cの恒温水槽をセットし, 70°C以上の

図1. 実際のタイムテーブル

図 2. 実習風景

熱湯を高校に手配した。次に DNeasy Tissue Kit (QIAGEN 社) の ATL Buffer に Proteinase K を混合したものを溶解液として作成し、生徒数のマイクロチューブに 200 μ l ずつ分注しておいた。生徒の要望および進行について高校教諭と最終確認を行った。

開講あいさつ、粘膜の採取

開講にあたり、大学院生の簡単な自己紹介を行った。自己紹介後は実習説明に先立ち、すぐに綿棒を使った口腔内粘膜の採取を行った。これは次項の実験への導入、DNA に関する講義、マイクロピペットの操作練習の時間と平行して細胞溶解を行い、マイクロピペットの操作練習が終わるとすぐに DNA 抽出操作に移れるように時間を組んだためである。

実験への導入、DNA に関する講義

粘膜の採取後、実験への導入を行った。架空の捜査現場で犯人のものと思われる毛髪を採取したという設定から始め、犯人を特定するためにどうすればよいかを生徒に発問した。「DNA 鑑定をする」という回答はすぐに得られたが、生徒は高校生物 II で DNA について学習したばかりであったため、本実験に必要な知識を講義形式で 10 分程度復習をした。

マイクロピペットの操作練習

本項以下の進行と説明は各班の大学院生に任せさせた。これによって各班の進行速度が大きく異なることはなかった。図 1 に示した時間は 4 班すべての操作を終えた時間である。

生徒はマイクロピペットを扱った経験がなかったため、まず操作練習を行った (図 2A)。電子天秤に乗せたビーカーに 1000 μ l の蒸留水を測り入れ、毎回同じ重量を測りとれるように練習した。持ち方、チップの取り方、チップ先端に手を触れないこと、プッシュロッドの第 1 ストップで吸引すること、液体吸引の速度に注意を払わせた。操作練習は各担当の大学院生の判断で 30 分間ほど行った。

DNA 抽出

抽出には、スピンカラム式で有機溶媒を使用しない DNeasy Tissue Kit を用いた。具体的操作は例 3 の「1. DNA 抽出」を参照。抽出時間は 90 分と予定

の 65 分より時間を大幅に超過した。この理由として、初めての分子生物学実験となった高校生が操作をひとつひとつ確認しながら行っていたこと、加えた試薬の働きやカラム内の状態、機器の原理に関する高校生の質問に対して大学院生が丁寧に回答していたことなどがあげられる (図 2B)。

PCR

PCR には GE ヘルスケア社の puRe Taq Ready-To-Go PCR Beads を用い、プライマーには MCT118 プライマー F (5'-GAAACTGGCCTCCAAACACTGCCCCGCG-3') と MCT118 プライマー R (5'-GTCTTGTGGAGATGCACGTGCCCTTGC-3') を使用した。具体的操作は例 3 の「2. PCR」を参照。時間の都合上 DNA の濃度測定は行わず、前項で抽出した DNA 溶液から 5 μ l とり PCR 溶液を調製させた (図 2C)。また、大学院生が準備した犯人用の DNA を用いて PCR 溶液を秘密裏に 2 本調製した (犯人の基準用サンプルと特定用サンプル)。PCR については高校の教科書に記述があるが、大学院生がそれぞれの進行の中で 15 分程度の説明を行っていた。PCR を開始させ、1 日目の操作を終えた (図 2D)。

片付け、解散

試薬・物品を回収し、明日の開始時刻の確認をとった後、解散とした。1 日目の所要時間は約 3 時間であった。

2.3 実習 2 日目

1 日目の復習

1 日目の作業は (1) 何をし、(2) 現在どのような状態にあり、(3) 2 日目は何をするのか、の 3 点を確認した上で実験を再開した。

電気泳動

PCR を終えたチューブにゲルローディングバッファを加え、混合液のうち 10 μ l をゲル板にアプライさせた (図 2E)。具体的操作は例 3 の「3. 電気泳動」を参照。PCR 産物の分離には大学で作成済みの 4.5% ポリアクリルアミドゲルを使用した。生徒の注入操作を容易にするため、ガラス板にマジックでウェルの形状を記しておいた。また、ウェル内

にゆっくりと注ぎいれるよう指導した。大学院生が100bp分子マーカーと犯人の基準用サンプルを生徒に公言してからアプライし、生徒のサンプルが続いた。生徒の操作の途中、大学院生が秘密裏に犯人の特定用サンプルを注入しておいた。生徒16人の操作が完了するのに20分程度の時間を要した。泳動バッファーには1×TBEバッファーを使用し、30mA/ゲルで約1時間電気泳動を行った。

大学生生活・研究等の紹介

電気泳動とそれに続く染色の待ち時間の合計は約90分である。この時間を利用して、大学生生活や研究等の紹介を行った。本実習では5人の大学院生が1人当たり約15分の持ち時間で、対話ゲームや研究発表や学生生活の話題・生徒からの自由質問に回答しながら交流を深めた(図2F)。この合間に休憩やゲル染色への移行作業を行った。

染色操作

電気泳動後のゲルは、エチジウムブロマイド溶液(0.5 μg/ml)で染色を行った。エチジウムブロマイドは発がん性物質であるため、染色操作は大学院生が行った。安全のため生徒に染色液から1mの距離を保つよう指示した。染色は30分間行った。

DNAバンドの観察

染色したゲルをラップに包み、320nmの紫外線照射によってDNAバンドを検出した(図2G)。PCR産物の電気泳動結果を図3に示す。通常MCT118

型の検出では2本のバンドが観察されるが、本実験においては3本以上のバンドが出現するレーンが多数確認された。主要バンドとして同じ組み合わせに見えるものが何組かあった中、これらの非特異的バンドが生徒の比較検討を容易にした。

10番と15番には血縁関係がないが、約420bpに一本のバンドとして観察され偶然にも一致した例と考えられた。11番のレーンでは増幅が検出できなかった。ある生徒が自身のレーンを思い違えたために騒然とすることがあったが、最終的には誤りに気づいて落ち着いた。

犯人の特定と繰り返し数の計算

本実習において犯人のDNA型(0番)と一致するDNA型は14番である(図3)。4番と答える生徒も半数ほどいたが、定規を用いて厳密に位置を確かめさせると答えを改めた。

次に自身の繰り返し数を計算させた。増幅断片内の繰り返しは16塩基ごとに存在すること、繰り返しに関係しない塩基数は147bpであることから、以下の式で計算できる。

$$(x - 147) / 16 = \text{繰り返し数 (n)}$$

x : 電気泳動の結果より読み取った
DNAの塩基数

このときMCT118周辺の塩基配列図(笠井・向山1990)を配布したが、生徒は塩基配列図の読み

図3. PCR産物の電気泳動図

方を知らなかったために説明に戸惑いをみせた。これを高校教諭によって指摘され、各班の大学院生が図の読み方や繰り返しに関係する塩基と関係しない塩基を丁寧に説明すると式の意味は生徒に理解された。

また、繰り返し数によって親子鑑定が可能であることを説明し、実際の鑑定結果例を示しながら判定とその理由を生徒に問いかけた(図 2H)。その結果、「父、母と同じバンドをそれぞれ 1 本ずつ受け継いでいるものが双方の子供である」という鑑定の理論は生徒たちによく理解された。

片付け、閉講のあいさつ

1 日目と同様に試薬・物品の片づけを行った。最後に 2 日間の実験に対して大学院生 5 人、担当教諭、生徒代表があいさつの言葉を述べた。各生徒たちの感想は宿題として提出してもらったこととした。2 日目の所要時間は 3 時間 40 分であった。

3. 生徒の感想

- ・ 普段触れることのない器具や薬品に触れ、普段関わることのない理系の大学生とかかわり、普段することのない実験と、初めてづくしの貴重な 2 日間でした。
- ・ 2 日がかりのとても長い実験は初めてだったので、とても疲れたという反面、すごくおもしろかったです。
- ・ 自分の DNA という普段とても近くにあるのに自分では見られないものを、自分の手で見ることができたので興味深かったです。
- ・ これまで DNA というものは漠然としていて、今ひとつ理解しにくいものでしたが、今回の実験を通して身近に感じることができました。
- ・ 自分の DNA を見ることで感動し、また人それぞれ違うのを見て、1 人の自分という存在を実感しました。
- ・ テレビドラマで犯人の DNA 鑑定をしているところはすごく簡単にやっているようだったけど、本当はとても大変で、いろいろ作業をしなければならんだなと思いました。
- ・ DNA 操作をさせることで興味を刺激するのは、

単なるきっかけである。しかしその興味がもっと知りたいという意欲につながり、生物学の面白さを見出させ、結果「好きになる」ということへつながっていくように思う。そしてその好きという気持ちこそ最も大切なものであると考える。これは生物学に限らず全ての教科に共通しているのではないだろうか。

- ・ 将来、大学で DNA を扱う研究をしてみたいと思っていたので、今回の実験はそのためのよい経験となったと思います。
- ・ 大学生活のことなどについて聞けたのもすごく参考になりました。
- ・ 実験だけでなく、大学院生と交流させていただくことも貴重な体験でした。

4. 考察

以上の感想から、本実習は生徒にとって有意義なものであったと考えられる。そこでこれに至る経緯として実習前と実習中について良かった点、改善すべき点をふり返った。

実習前

DNA 鑑定が生徒にとって興味ある題材であり、実習に対するモチベーションが高かった。堤・徳田 (2004) は高等学校教諭に対するアンケート結果から出前授業における題材選択の重要性を強調し、教科書に載っているような内容の実験だけではなく、生徒の興味を十分に引くような内容、身近な素材を出発点にするような内容、あるいは最新の技術などを体験できるような内容を推奨している。今回の DNA 鑑定および大学の実験装置や器具の使用は、実習前から生徒に強い動機付けを与えていたと思われる。さらに本実習の生徒は主体的に参加を申し出た者達で、もともと参加意欲が高かった。そして、このモチベーションは実習の最後まで維持されていた。

実習中

実習中の良かった点はコミュニケーションのとり方に集約される。大学院生は班編成によって「身の丈にあった指導」をしており、さらに必要以上に介

入せず「生徒の主体性」に配慮した指導を心がけていた。

生徒4人に大学院生1人という班編成を行い、積極的に話しかけて対話しやすい雰囲気を作るよう努めた。少人数の班編成は高校生への指導経験の乏しい大学院生でも気負いや過剰な負担を減少させ身の丈にあった指導を可能にし、生徒にとって打ち解けやすい環境をつくることができた。これによって早い段階で大学院生と生徒との緊張が解けており、生徒同士で気兼ねすることなく、思いついたらすぐに質問できる雰囲気をつくることができた。さらに少人数であると目が届きやすく、生徒に対する操作技術や資料提示もタイミングよく行えた。一方、担当班をもたない大学院生も教室内をまわり、生徒の質問などに対応した。この存在は、説明中の大学院生(班担当)を中断させなくてもよく、生徒にとって質問しやすかったようである。大学院生5人を活用した今回の班編成は、状況と個に応じた具体的指導が可能というティーム・ティーチングのメリット(山極・江田 1994)をよく反映していた。

1班4人という生徒の人数は、1組のマイクロピペットを持ち回りで扱うにも適当な編成であった。操作の進行は各班の大学院生に委ねており、生徒が周囲と自身の進行を比較して焦りを感じたりしなかったようである。実際に1班を何人編成が適当かについては、担当の大学院生の力量や実施内容、マイクロピペットの組数に依存する。人数が少ないと見張られているようで緊張したり、逆に多いと手持ち無沙汰となり実習に飽きたりする。大学院生の感想からは、本実習と同じ内容で、指導員が高校生への指導経験が浅い大学院生、各班1組マイクロピペットの場合、生徒3～6人の班編成が適当と思われた。

大学院生は「教える」というよりは専ら生徒の「質問に応える」形で接していた。大学生活や高校時代の体験談などの話題や習熟した操作の手本やコツの披露が大学院生の信頼獲得に大きく貢献したようである。一般的に教育実習生にとって生徒との距離感やコミュニケーションは難しい問題である(田嶋 2004など)。教育実習生の場合、「教師」として何十人も平等にコミュニケーションをとることが求められるが、本実習では担当生徒4人に集中できる。その点で気が楽だったと大学院生から感想を聞かされた。それでも担当班以外の生徒とも活発に交流を

深めている場面も自然に見られ、限定的なコミュニケーションとしていなかった点は高く評価できる。

操作手順に関して大学院生はあまり口出ししない方針をとっており、生徒はプロトコルを見ながらひとつひとつ操作を行った(試薬の量によってどのマイクロピペットを選択するかといった判断や他者のマイクロチューブと区別するためにラベルをつけることなど)。これによって生徒は実験器具・試薬と向き合いながら操作をすることとなり、主体的な学びが保障された。生徒たちにとって分子生物学的操作は初めての経験であり、多少の不安を感じながらも新鮮な体験として生き生きと取り組む姿勢が維持されていた。

このように実習全体としては、生徒とのコミュニケーションも取れており、うまく生徒と作り上げた実習であったように思う。大学院生の感想によると、始めは「どう教えようか」と気を張っていたが、実習が進むにつれて交流を楽しんでおり、高校生の感じ方や教えるということについて勉強になったという。

改善すべき点

生徒の感想において本実習は高い評価を得ることができた。しかし、高大連携において受講生の反応は概ね良好であるし(勝野 2003b)、また、宮永・根来(2002)はフレンドシップ事業での感想を取り上げ、「このような感想で『いやだった』との感想を書く子どもは少ないし、これは非日常のイベントであるので、よほど悪くない限り『楽しかった』との感想を持つのは当然とも言え」、大切なのはあまり面白くない者や状況を「学生がどこまで察知し、対応したかが問題である」と述べている。

事実、2日目の電気泳動の待ち時間で大学院生の1人が行った対話ゲーム(科学や読書などをテーマに30秒間で人に説明し、分かりやすさと興味深さを競う)によって、翌日生徒1人が辛かったと訴えていた経緯があった。ゲーム中は全体的に活気があり、なごやかに行われていたが、個への対応の悪さがみつかったことは大きな反省点である。

また、実習全体を通しては進行の遅れと説明・大学院生によるプライバシー過敏に関して課題が残った。実習の進行は予定より大幅に遅れており、指導経験の浅い大学院生の指導力不足を露呈したよ

うにも思える。通常、高校生は数時間にわたる実験を行わないため、実習時間の遅れは生徒の心身に多大な疲労を与えると予想される。指導側は主体的関与の保障と予定通りの進行を両立させるよう心がけなければならない。そのためには、密度の高い学びが得られるように構成を練る必要がある。例えば、今回マイクロピペットの操作練習において蒸留水 1000 μ l を測り取る練習を行った。初めのうちはマイクロピペットの扱いに慣れるため、この練習を行う必要はある。しかし、しだいに「マイクロチューブ A から 600 μ l をとってマイクロチューブ B に加え、その中から 20 μ l とってマイクロチューブ C に移す」という様に、マイクロピペットの扱いから実験操作を意識した練習法に切り替えていくとよいだろう。

大学院生の説明に関して、全体的に丁寧で分かりやすかったとの感想を多数得ている。しかし、PCR など数段階を要する説明では、うまく伝わらない場面があった。自分では理解をしている大学院生でも説明となると、理解した通りに同じ内容を何回も繰り返してしまうこともあった。根気強い説明よりも、生徒の理解を妨げている部分を感じ取り、角度を変えた説明としていきたいものである。説明に関して高評価であったのは、疑問を代弁したり誘導を行う高校教諭の援助も反映されていると考えられる。生徒の評価に慢心せず、さらによい表現や論理構成を迫及していかなければならない。対象や状況に応じた説明の工夫は実習の進行やコミュニケーションにも関わるため、事前・事後の指導を行うにあたり特に重要視すべきだろう。

各個人のプライバシーを守るという意味で、ゲルに注入するレーンは各個人で覚えてもらうことにした。しかし、ある生徒が自身のレーンを 14 番 (犯人の番号) と思い違えたために一時的に騒然とする場面があった。生徒の同意を得て生徒のサンプル番号と注入したレーンの対応関係を記録する配慮が必要であった。これは予定外に進行を遅らせないためにも必要な措置であろう。

教育現場と出前授業の多様化

本実習で気づいた改善すべき点に加え、「教育現場」を意識した問題についても考慮することが重要である。指導経験の浅い大学院生は、自分が経験し

た高校生活を標準に考えてしまうことが多い。しかし、教育現場は「いろいろなことがある」ため、実施時期や生徒の様子によって多様な対応を行われなければならない。

本実習は高校 2 年生が DNA について学習し始めた時期に実施された。出前授業における学習効果として考えると、DNA の学習が一段落つくか、もしくは山場に達する頃が最適な実施時期といえるのではないだろうか。高校の行事や教科カリキュラムとの関係も考慮し、生徒にとって最も効果的な時期に日程が調整されるとよい。むしろ教科カリキュラムの進行状況に応じた多様化した企画が用意することができれば望ましい。

また、生徒の学力、学習意欲、雰囲気に対しても企画の多様化は必要である。実習は生徒とのコミュニケーションによって作り上げるものであり、生徒の基礎知識、需要可能な情報密度と情報量に応じた説明、生徒の主体的取り組みを誘導する題材選択や指導法について工夫がなされていなければならない。題材選択に関しては、特に学校や生徒の雰囲気に対する配慮が必要である。本実習の場合、生徒の関心を強く引きつけられる内容との判断から、架空の捜査現場を想定しての DNA 鑑定を採用した。しかし、学校や教師・保護者によっては、教育現場で犯罪や犯人を想定する内容に強い抵抗感を示したり、いじめに発展する可能性に危機感を表すことも否めない。このような雰囲気をもつ高校・生徒に対して DNA 鑑定は不適であり、本実習と同様な操作 (DNA 抽出～PCR～電気泳動) を行うにしても遺伝子組み換え食品の検出や植物品種の特定など抵抗感の少ないと思われる題材の方が相応しい。出前実験の価値は単なる「大学レベルの実習体験」ではなく、もっと鳥瞰的な意味で「知的刺激の享受」にこそあると著者は思う。よって題材の取捨選択は明確な基準を作るのではなく、高校と綿密な打ち合わせによって柔軟に決定されるべきである。

今後、多様な実習例を収集することにより、出前実験の体系的な整理が可能となるであろう。例えばマトリックスシートを用いて、「高校側要素 (時期、学力、学習意欲、生徒と学校の雰囲気、ねらい) × 大学院生側要素 (題材、指導法、実施形態)」という様に一覧に表せば、単なる教材メニューとしてだけでなく高校側の要望や生徒の関心に即した選択が容易

となる。現在はまだ人材として大学院生の中心的活用を推奨する段階である。多様な出前授業を展開するためには、高校からの要望提示と大学院生の多彩な発想が不可欠である。高校生の刺激となる教材開発はどんなものであれ、出前授業に多様性を与えるという点でそれぞれに価値がある。

5. 出前授業の実施にあたって

出前授業は内容や形態の面で多種多様であり、現在もなおその在り方や意義が問われ続けている。そのような中、まず企画段階で大学院生が留意しなければならないのは以下の点である。

- 1) 高校生を指導するという自覚をもつ：大学院生は学生といえど生徒にとっては大人である。
- 2) 高校と生徒の要望に合わせる（題材・日時）：高校生に寄り添った題材を用意する。また高校・生徒は常に多忙であると知っておく。
- 3) 出前授業に求められることを理解する：重視されるのは体験か学習補完か。
- 4) 学びに行く：教えるに行くという発想は単なる傲慢である。
- 5) 経費について：高大連携事業全体としても重要な課題であるが（勝野，2005），化学担当の高校教諭に対するアンケート調査では生徒1人当たり500円程度までが妥当な金額という意見が多く出されている（堤・徳田，2004）。実施内容や規模によって異なるので高校側とよく検討する必要がある。
- 6) よく勉強しておく：他人に教えようとするときに初めて自身の不理解に気づくものである。また、生徒の学習状況を把握しておかなければ適切な指導はできない。

実施段階では次の点である。

- 7) 積極的に話しかける：コミュニケーションは交流を深める上で最も重要な問題である。
- 8) 生徒を主体として進行する：指導側の自己満足ではなく、「学習者にとっての学びがい」がなれば本来の教育実践とはいえない。
- 9) 分かりやすい話をする：伝わらなくては意味がない。言葉の難易度よりも例えと論理的明

確さを心がける。

- 10) 対応する生徒数に無理をしない：高校生への指導は、研究室での後輩指導やプレゼンテーションとは全く異なる能力が必要である。
- 11) 全体をみるサポート役をつける：説明時は対象者に集中し、視野が狭くなる傾向にある。このため、常に全体をみわたせるサポート役を配置しておくべきである。さらに生徒の「どこが分からないか分からない」気持ちを代弁したり、質問に誘導できる高校教諭や参観者の援助は不可欠である。
- 12) 憧れる存在となる：大学生（大学院生）としての身近な将来像であり、カッコ悪いのは大問題である。
- 13) 予定外のことがおこる：実験計画を段階的に切断し、そのとき起こりそうな出来事について対応策を用意しておく。さらに病気や事故などの対応も検討しておく。
- 14) いろいろな生徒がいる：生徒は多感な時期であり、何気ない発言で不用意に傷つけてしまうことが多々ある。

一見当然なようだが、指導経験の浅く教育的視点を身につけていない大学院生では盲点となっているものが多い。予習をかねて教育実習やフレンドシップ事業に関する資料を調査しておくとういだろう。高校と生徒の要望、予定外の対応、参加生徒に関しては高校教諭と綿密な相談を行っておく必要がある。

事後連携

持続可能な関係を構築するためにも事後連携は重要である。勝野（2004a）は高大連携を定着させるため、高校に求める5つのポイントを示している。

- 1) 実施に際して、あらかじめ学校や生徒の実態等を多角的に分析し、高大連携に対するニーズや自校にとっての意義、目標等を見極めること。
- 2) 地理的な条件や日常的な交流、生徒の進学状況、大学からの提案等を総合的に考慮して、連携先の大学を選定すること。
- 3) 通学しやすい時間帯に、生徒が興味・関心をもちやすい科目を中心に、高大連携の内容を構成することである。

- 4) 教員が生徒の受講を適切に支援するような校内の協力体制を確立すること。
- 5) 日頃から校外の学習機会や教育資源に対する生徒の関心を高めるとともに、高大連携の成果を還元し、受講者の開拓につなげる循環システムをつくること。

これらは学年制高校での高大連携（特に大学における聴講）より考察されているが、実施側の参考にもなる。大学院生は事後連携において可能な範囲で上記に対する高校の取り組みを援助するとともに、高校からのフィードバックを受け質の高い出前授業へ発展させることができる。高校からのフィードバックも大学教官に対してだと気兼ねする内容があるかもしれない。しかし、大学院生だと臆することなくフィードバックでき、対等な関係を構築が可能となるだろう。これも大学院生中心の出前授業の大きなメリットであり、出前授業（高大連携）の質的向上にもつながると考えられる。

指導や交流によって大学院生が得るものは多い。また、大学院生は指導者としての視点と学生としての視点を併せ持つ貴重な立場である。少数指導、親近感、将来像の面では大学教官を上まわる活躍が可能である。今後、大学院生の特徴が生きた出前授業の企画・実施、多様な教材開発、そして有益な交流関係に発展することを期待したい。

謝辞

本実習の実施にあたり、広島大学大学院生物圏科学研究科の西堀正英助教授には実験計画の作成について貴重な御助言をいただいた。また、広島県立西条農業高等学校の福井行雄教諭には教育現場の視点から有益な御意見と励ましをいただいた。この場を借りて感謝申し上げる。

参考文献

笠井賢太郎 (1990), 「シングルローカス VNTR 部位を用いた PCR 法による個体識別」, 『実験医学増刊』, 8, 1197-1200

笠井賢太郎・坂井活子・吉田日南子・向山明孝 (1992), 「MCT118 座位の PCR 増幅による血痕及び体液斑からの DNA 型検出法」, 『科学警察研究所報告 法科学編』, 45, 24-35

笠井健太郎・向山明孝 (1990), 「PCR 法の法医学への応用」, 『蛋白質 核酸 酵素』, 35, 3150-3156

勝野頼彦 (2003a), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望～第 1 回 高大連携の現状」, 『月刊高校教育』, 36 (5), 70-75

勝野頼彦 (2003b), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望～第 2 回 高大連携に対する高校の意識 (1)」, 『月刊高校教育』, 36 (7), 96-103

勝野頼彦 (2003c), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望 (3) 高大連携に対する高校の意識 (2)」, 『月刊高校教育』, 36 (8), 90-98

勝野頼彦 (2003d), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望～第 4 回 高大連携の類型と体系化」, 『月刊高校教育』, 36 (10), 68-74

勝野頼彦 (2004a), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望～第 10 回 先進校の取り組み (3)」, 『月刊高校教育』, 37 (1), 60-67

勝野頼彦 (2004b), 「高大連携～高校教育から見た課題と展望～第 11 回 高大連携の課題」, 『月刊高校教育』, 37 (2), 66-73

勝野頼彦 (2005), 「高大連携の現状と課題」, 『月刊高校教育』, 38 (1), 58-60

宮永建史・根来武司 (2002), 「フレンドシップ事業『児童の実験観察指導実習』を通しての、実践的指導力の育成」, 『和歌山大学教育学部教育実践総合センター紀要』, 12, 105-114

Nakamura, Y., Carlson, M., Krapcho, K. & White, R. (1988), "Isolation and mapping of a polymorphic DNA sequence (pMCT118) on chromosome 1p [D1S80]", *Nucleic Acid Research*, 16, 9364

田嶋一 (2004), 「教育実習は学生たちにとっていかなる経験か (高等学校編)」, 『國學院大學教育学研究室紀要』, 39, 145-175

堤宏守・徳田尚三 (2004), 「高大連携—出前講義・実験の実施で大学教官が気をつけるべきこと—」, 『化学と教育』, 52, 118-119

山極隆・江田稔 編 (1994), 『中学校理科ティーム・ティーチングの授業』, 明治図書

付 録

例 1. 実習計画書

出張実験（高校） 実習計画書

講座名	DNA 鑑定 ～犯人は誰だ？～		
指導員	氏名	所属	連絡先
	1 ○○ ○○	○○研	○○ - ○○○○ - ○○○
	2 ○○ ○○	○○研	—
	3 ○○ ○○	○○研	—
	4 ○○ ○○	○○研	—
	5 ○○ ○○	○○研	—
	6 ○○ ○○	○○研	—
日時	1 日目： 平成○○年 ○月 ○○日 ○○：○○ ～ (3 時間) 2 日目： 平成○○年 ○月 ○○日 ○○：○○ ～ (3 時間)		
定員	20 名		
講座の目的	高校生に分子生物学的操作の体験を通して、 教科書を越えた範囲にも興味をもってもら		
実習内容	架空の捜査現場を想定し、DNA 鑑定をもとに犯人を特定する。		
生徒参加費	無料、または ○○○○円 (○○費)		
実験計画	別紙参照		
評価の方法	実験に取り組む姿勢および復習プリント・感想をもとに評価する		
備考			

例 2. 実験計画書

DNA 鑑定 (高校出張・15 人・2 日)

(1 日目: DNA 抽出 ~PCR まで)

事前準備〇日・実験機器・試薬搬入

〇:〇〇 ~ 電源の確認、担当教師との打ち合わせ (〇〇 教諭)

0 : 00	<ul style="list-style-type: none"> ・来室した生徒に順次うがいさせ、 口腔粘膜の採取をしてもらう。 ・あいさつ・指導員紹介・班の編成 	(20 分)
0 : 20	<ul style="list-style-type: none"> ・実験への導入 <p style="margin-left: 20px;">テーマ:「犯人は誰だ？」</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 「犯人の毛髪が残っていた」という設定 2. 「さて、どうする？」→生徒に問う 3. 「DNA を調べれば分かる」という答えを期待 4. 「それを具体的にどうやって調べるか？」→これは答えられない 5. 実験の方向性の説明し、それから各操作の原理を説明する <p style="margin-left: 20px;">原理をイメージしやすく説明する。 生物図表や身近なものを使う。 この段階での完全理解は求めず、 生徒には操作と結果(何をみるのか?)に注意を向けさせる。 指導員は説明過多を避け、双方向コミュニケーションを意識する。</p>	(10 分)
0 : 45	<ul style="list-style-type: none"> ・本実験前の「マイクロピペット」の使い方 	(15 分)
1 : 00	<ul style="list-style-type: none"> ・実験スタート <p style="margin-left: 20px;">(操作はすべて別紙のプロトコールに従い生徒が行う。 各グループに指導員 1 名がつき、ピペットの扱いに注意をほらう。 なんでも質問に答えるが、操作手順の関する指導は行わない)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.DNA 抽出 (65 分) 2.PCR 溶液の調整 (15 分) 3.PCR 開始 	(80 分)
2 : 20	<ul style="list-style-type: none"> ・片付け: 試薬を戻して、机をふく (5 分) ・プリントで今日何をしたかを再確認させる。(5 分) 	(10 分)
2 : 30	<ul style="list-style-type: none"> ・解散 	

例 2. 実験計画書 Continued.

DNA 鑑定 (高校出張・15 人・2 日)

(2 日目：電気泳動～分析まで)

0:00		
0:05	<ul style="list-style-type: none"> ・昨日の復習 (昨日の操作、いまどのような状態にあるか?) <li style="text-align: center;">↓ <li style="text-align: center;">(生徒に考えさせる) ① 「犯人の毛髪の DNA と容疑者の DNA を比較する、PCR で DNA 断片を増やしている」 ② 「いま DNA が増やしており、今日は電気泳動で分離し、バンドを比較するところ」という答えを期待 	(15 分)
0:15	<ul style="list-style-type: none"> ・実験スタート 	(10 分)
0:25	<ul style="list-style-type: none"> 1. PCR 産物にゲルローディングバッファーを混ぜる 2. ゲルに PCR 産物をアプライし、電気泳動を始める (泳動時間は約 60 分) 待ち時間に <ul style="list-style-type: none"> ・片づけ ・研究紹介・大学生活の紹介など ・大学院生への質問 	(80 分)
1:45	<ul style="list-style-type: none"> 3. ゲルを回収し、エチプロ染色をする (指導員が行う) (染色時間は約 30 分) 	(30 分)
2:15	<ul style="list-style-type: none"> ・暗室で UV 照射し、バンドパターンの観察を行う ・写真をスキャナで取り込み、パソコン・プロジェクターで大画面表示し、討論をする 	(20 分)
2:45	<ul style="list-style-type: none"> ・犯人のサンプル番号を特定、その理由 ・感想を復習プリントに記入 	(30 分)
3:15	<ul style="list-style-type: none"> ・解散 	

例 3. 実験方法

1. DNA の抽出

(QIAGEN 社 DNeasy Tissue Kit を使用)

< 方法 >

- (1) 綿棒でほほの裏をしっかりとかき (15 秒以上), 口腔粘膜を採取する。これを溶解液に溶かし込む。(溶解液には”溶解バッファーとタンパク質分解酵素”が入っている)
- (2) 粘膜が完全溶けるまで 55°C の恒温槽で約 30 分 ~ 1 時間放置する。溶解を早めるために, たまによく混合する。(細胞を分解する)
- (3) チューブを取り出す。(このとき水槽にお湯を入れて 70°C に上げる。)溶解しない組織片があれば, マイクロピペットでかき出す。
- (4) AL Buffer を 200 μ l 加える。(沈殿ができるが次の 70°C で溶けるので気にしない) 70°C で 10 分間放置する。(タンパク質分解酵素を失活させる)
- (5) 100% エタノールを 200 μ l 加える。
- (6) 2ml のコレクションチューブがセットされた カラムにサンプル溶液を移し, 6000 \times g, 20°C で 1 分間遠心する。(DNA がカラムのシリカゲル膜に吸着する)
- (7) 新しい 2ml のコレクションチューブと交換し, 500 μ l の AW1 Buffer を加えて, 6000 \times g, 20°C で 1 分間遠心する。(DNA の洗浄その 1)
- (8) 新しい 2ml のコレクションチューブと交換し, 500 μ l の AW2 Buffer を加えて, 14000rpm, 20°C で 3 分間の遠心をする。(DNA の洗浄その 2)
- (9) 遠心後, エタノールの匂いが残っていたら, 再度遠心する。
- (10) 新しい 1.5ml のマイクロチューブにラベルを書く。このマイクロチューブにカラムをセットし, 100 μ l の AE Buffer を直接膜に滴下する。
- (11) 室温で 1 分間以上放置する。(DNA が溶出している)
- (12) 6000 \times g, 20°C で 1 分間遠心し, DNA 溶液として分離する。
(\rightarrow 2. PCR へ進む)

2. PCR

(GE ヘルスケア社 puRe Taq Ready-To-Go PCR Beads を使用)

< 方法 >

- (1) 0.5 μ l 用のマイクロチューブに白いビーズ入っていることを確認する。

\rightarrow このビーズには, 25 μ l の液体に溶かしたときに丁度よくなるように, 以下のものが含まれる。ビーズには元になる DNA と増幅場所を決めるプライマーが入っていない。

- ・ dNTP(DNA の材料。A, T, C, G の種類がある)
- ・ バッファー試薬 (反応が起こりやすい液体環境をつくる)
- ・ DNA ポリメラーゼ (dNTP をくっつけて DNA にまとめあげる酵素)

- (2) 以下の分量を加えて 25 μ l の PCR 反応液を調製する。
蒸留水 (10 μ l)
MCT118 プライマー F (5 μ l)
MCT118 プライマー R (5 μ l)
Human DNA (5 μ l)
(合計: 25 μ l)
- (3) PCR を行う。
95°C, 5 分 \rightarrow [95°C, 1 分 \rightarrow 64°C, 1 分 \rightarrow 72°C, 2 分] \times 40 回 \rightarrow 72°C, 7 分
(1 日目終了)

3. 電気泳動

< 方法 >

- (1) PCR の済んだマイクロチューブに 5 μ l のゲルローディングバッファーを入れ, よく混合する。
- (2) ゲルの溝に 100bp サイズマーカーを流し込む。
- (3) 各自の PCR 溶液 10 μ l を入れる。
- (4) ふたをして, 30mA / ゲルで電気泳動する。(約 1 時間)
・ 待ち時間は, 大学院生が大学生活や研究についての発表を行う。
- (5) BPB の青色がゲル末端 1cm まで行ったら, 電源を切り電気泳動を終える。
- (6) ガラス板からゲルを取り出し, エチジウムブロマイド溶液で染色する。(エチプロは発がん性物質なので, この操作は絶対に指導員が行う)(約 30 分)
・ 待ち時間は, 大学院生が大学生活や研究についての発表を行う。
- (7) 染色したゲルはラップに包み, 紫外線照射下でバンドの観察・写真撮影を行う。(紫外線は有害であり, 目や皮膚に炎症を起こすことがあります。長時間見すぎないように注意してください)
- (8) バンドの観察を行い, 犯人を特定する。
- (9) 繰り返し数の計算と親子関係の実例図を観察する。

(実習終了)

例 4. 実験機器・試薬 (大学院生が大学から運搬する)

1. 全般

- ・マイクロピペット (大, 中, 小) × 4 組
- ・ピペットスタンド × 4 個
- ・チップ (大, 中, 小) × 4 組
- ・マイクロチューブ × 1 リットル
- ・チューブスタンド × 4 個
- ・廃チップ入れ × 4 個
- ・指導員名札 × 5 個
- ・秤 × 4 台
- ・50m ビーカー × 11 個 (1 個は綿棒用)
- ・配布資料 × 20 枚
- ・ラベル用 黒マジック × 5 本
- ・キムワイプ × 4 箱
- ・ペーパータオル × 4 袋
- ・ビニール袋 (器具・試薬持ち帰り用)
- ・ゴミ袋 × 4 枚
- ・延長コード × 2 本 (125V15A)
- ・タコ足コネクタ × 2 個
- ・3 つ足電源の変換コネクタ × 8 個
- ・エタノール霧吹き
- ・サランラップ・アルミホイル

2. DNA 抽出

- ・恒温水槽
- ・チューブ浮き・・・4 枚
- ・遠心器
- ・Proteinase K
- ・DNeasy Tissue Kit(QIAGEN 社)
- ・100% エタノール
- ・うがい用紙コップ × 20 個以上
- ・ペットボトル (うがいの水を運ぶ)
- ・綿棒 × 20 本以上

3. PCR

- ・サーマルサイクラー
- ・puRe Taq Ready-To-Go PCR ビーズ (GE ヘルスケア社)
- ・MCT118 プライマー F と R
- ・蒸留水

4. 電気泳動

- ・電気泳動装置
- ・ポリアクリルアミドゲル × 2 枚
- ・1 × TBE バッファー × 1 リットル
- ・パワーサプライ
- ・お好み焼のへら
- ・ゲルローディングバッファー
- ・100bp 分子マーカー

5. バンド分析

- ・エチジウムブロマイド溶液
- ・染色用アルミ容器
- ・使い捨て手袋
- ・ポラロイドフィルム × 2 箱
- ・予備の成功データ
- ・UV 発生器
- ・ポラロイドカメラ
- ・スキャナ
- ・パソコン
- ・液晶プロジェクター

高校で使わせていただきたいもの

- ・給湯器 (70°C 以上の熱湯 :DNA 抽出で使用)
- ・コピー機 (電気泳動の結果を拡大コピーして配布)

例 5. 同意書

DNA 実験実習申し込み書

〇〇高等学校 〇〇〇〇

〇〇大学大学院 〇〇研究科 〇〇〇〇

平成〇年〇月〇日、〇日、〇〇高校生物教室において「DNA 実験実習」を行います。指導員として〇〇大学大学院〇〇研究科〇〇〇〇を中心に〇〇大学の大学院生の方々に指導にさせていただきます。

実習参加者は以下の説明を読み、保護者の許可を得て同意書を提出してください。同意書にあるように実験に使用する DNA(自分のもの・準備したもの)の選択をして、署名・捺印をして、〇月〇日までに〇〇へ提出してください。

1. 実習内容

実習は、生徒が自身の口腔粘膜より抽出した DNA を PCR によって増幅し、電気泳動で分離、そのバンドパターンを他人のものと比較するという内容です。この操作を通し、血痕や毛髪などから人物を特定する DNA 鑑定を体験していただきます。

2. 個人情報の保護

生徒の DNA サンプルは番号でつけ匿名化して扱います。しかし、遺伝情報は個人のプライバシーに関わることであり、自身の DNA を用いることを望まない方には、こちらで DNA を用意します。

3. 本実習以外での DNA の使用

本実習の目的は DNA の操作を体験することであり、抽出した DNA は本実習以外の目的に使用しません。なお、実習の最後に全員の前で使用した DNA を破棄します。

4. 実習に参加することへの利益・不利益

本実習への参加に対する利益は分子生物学的操作の体験です。一方、参加に対する不利益は、自身の遺伝的多型解析結果を他の実習者に見られること、および解析結果が外部に漏洩した場合、親子関係などに問題が生じる可能性があることです。しかし、DNA サンプルは番号で扱い、疾患等に関係した遺伝子を対象としていないため、仮にデータを見られたり、漏洩されたりしても具体的な損害が発生する恐れはまずないと考えられます。

解析結果は実習の記録として保存されますが、個人を特定できる形として保存しませんので、これによる不利益を受けることはありません。なお、DNA 染色に用いる危険なエチジウムブロマイド(発がん性物質)の取り扱いが指導員が行います。また染色した DNA を検出するために紫外線を放射しますが、装置にカバーが付いているので直接照射されることはありません。

私は上記のインフォームドコンセントを受け、個人の自由意志において実習に参加します。実習では(ア.自身の・イ.用意された)DNAの使用を希望します。

平成〇年〇月〇日

〇〇高校 _____年 _____組 _____印
保護者 _____印

例 6. 留意事項

平成〇〇年〇月〇日

〇〇学部学生係 御中

留意事項

この度、〇〇高校の学生(計〇名)の課外実習を指導するため、以下のとおり大学院生〇名が高校に訪問します。ご留意いただくようお願いいたします。

記

日時 : 平成〇〇年〇月〇日, 〇日

場所 : 〇〇県立〇〇高校

大学院生	:	氏名	(所属)	
		〇〇 〇〇	(〇〇)	修士〇年
		〇〇 〇〇	(〇〇)	修士〇年
		〇〇 〇〇	(〇〇)	修士〇年
		〇〇 〇〇	(〇〇)	修士〇年

実習内容 : DNA の抽出, PCR, 電気泳動を通し, 分子生物学操作を体験する。

備考 :

- ・生徒および保護者が実験内容を理解し, 同意書を署名したことにより実習参加を認める。
- ・生徒が直接扱う試薬の中に劇物は含まれていない。
- ・DNA の染色に発がん性物質である臭化エチジウムを用いるが, 大学院生が扱い, 高校生が触れないように配慮する。

高校連絡先 : 〇〇県立〇〇高等学校 生物担当
 〇〇 〇〇 教諭 (Tel 〇〇〇〇 - 〇〇 - 〇〇〇〇)

以上

〇〇科学研究科 〇〇研究室
 〇〇課程〇年 〇〇 〇〇