

メダカを活用した小中学校理科の授業づくり：
高大接続プログラムの開発とその実践から

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-04-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西沢, 徹, 多田, 禎秀, 大山, 利夫 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/10395

メダカを活用した小中学校理科の授業づくり — 高大接続プログラムの開発とその実践から —

福井大学教育学部 西 沢 徹
福井大学大学院教育学研究科 多 田 禎 秀
福井大学教育学部 大 山 利 夫

高大接続改革の動向をにらみ、福井県教育委員会が主催する「福井プレカレッジ」に福井大学も参加した。教育学部が提供したテーマは「小中学校理科の新しい観察・実験を開発しよう」で、小学校または中学校理科の教員養成を目的とした大学教育カリキュラムの一端を、2日間かけて高校生に体験してもらうプログラムであり、観察・実験を主体とする教材開発とその教材を活用した模擬授業から構成されている。生命領域では、素材とする生物としてメダカを採り上げ、内容の系統性を表す柱の一つである「生命の連続性」に関連する単元に的を絞り、「遺伝の規則性」に関する理科授業での活用を想定した教材研究と授業づくりを行った。本稿では、この生命領域での取り組みの内容を報告するとともに、メダカがもつ生物教材としての意義や課題について考察した。また、参加した高校生へのアンケート結果から、実施内容と高校生の進路選択における意識との関連性についても考察した。

キーワード：メダカ、生物教材、初等中等教員養成、高大接続、小中連携カリキュラム、内容の系統性

I. はじめに

平成29年3月に公示された次期学習指導要領の改訂の中で、高等学校の教育は、知識基盤社会の中で新たな価値を創造していく力を育てることや、学力の3要素をバランスよく育むこと、アクティブ・ラーニングの視点から生徒の学びの質を高めていくことなどを目指している¹⁾。また、高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の在り方について、一体的な改革を目指して、高大接続改革も進められている。この高大接続改革の一つの柱である大学入学者選抜では、高等学校教育を通じて育まれた生徒の力（学力の3要素）を多面的に捉え、評価していくための改革が進められている¹⁾。

こうした教育改革の動向の中で、今年度（平成29年度）、福井県教育委員会が主催する、第2回目となる「福井プレカレッジ」が実施され、福井大学も参加した。これは、県下の高校生に、福井大学の教育内容や研究の最前線について深く知ってもらう機会を提供し、進学先を決める際の一助として考えてもらえるように計画されたプログラムである。文京キャンパスからは、アドミッションセンター、教育学部、国際地域学部、工学部の4部局から8つのテーマで募集を行った。これらのテーマは、福井大学で行われている特色ある教育研究に関連した実験や実習、中期計画のミッションの中で進められているプロジェクトの一端などについて、2日間にわたって体験するもので、特定のテーマについて、高校生の主体性を尊重しながらより深く取り組む点で、オープンキャンパスや開放講義とは性格が異なるものである。この「福井プレカレッジ」の概要や教育学部の実施内容全体については、本号

に掲載の、教育学部プログラムの代表教員との共著²⁾で詳述しているので、そちらを参考にして頂きたい。

この次期学習指導要領（平成29年3月公示）の改訂に際しては、子どもたちに必要となる資質・能力の確実な育成のために、学校段階間の接続についても、より重視していく方向性が示されている。この中では、小学校教育と中学校教育の接続に関して、義務教育学校や小中一貫教育校における特色ある教育課程の編成が効果的な取り組みの一つとして挙げられている¹⁾。また、育成を目指す資質・能力をより具体的なものとして示す中で、「理科の見方・考え方」についても検討が行われ、理科を構成する領域ごとの特徴的な視点から、「理科の見方」が整理された。生命領域では、「生命に関する自然の事象・現象を主として多様性と共通性の視点で捉えること」と整理されている。さらに、指導内容の示し方の改善事項として、「内容の系統性と共に、育成を目指す資質・能力のつながりを意識した構成、配列となるようにする必要」が指摘されている^{3,4)}。

内容の系統性については、現行の学習指導要領（平成20年3月公示）の改訂に際して重視された基本方針の一つであり、基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化が図られている⁵⁾。生命領域では「生物の構造と機能」、「生物の多様性と共通性」、「生命の連続性」、「生物と環境の関わり」の4つの概念から、発達段階を通じた学習内容の整理が行われている。

現行の学習指導要領（平成20年3月公示）に引き続いて、次期学習指導要領（平成29年3月公示）においても、発達段階を通じた系統的な理解を目指している点に変更はない。むしろ今後は、学校段階間の接続を考慮した教育課程を編成していく中で、例えば義務教育の9年間を通じた指導の中で、複数の単元に跨がって汎用的に活用できる生物教材の活用がより一層求められてくると考えられる。

平成29年度に実施した「福井プレカレッジ」の教育学部のテーマは「小中学校理科の新しい観察・実験を開発しよう」である。エネルギー(物理), 粒子(化学), 生命(生物), 地球(地学)の4領域から、それぞれ教材開発と模擬授業に取り組む単元を提示し、参加した高校生にこの中から希望する項目を選択してもらう形式とした。生命領域では、内容の系統性に則した概念として「生命の連続性」に焦点を当て、小中学校における理科教材として馴染み深いメダカを材料にテーマを設定した。本稿では、教材としてのメダカ特性と、それを活用して実施した、福井プレカレッジ生命領域の活動について報告する。

II. 学校教育におけるメダカの位置付けと魅力

II-1. メダカの生物学的な特徴

ニホンメダカともよばれるメダカは卵生の淡水魚で、北海道の大部分を除く日本列島に広く分布している。かつては、身近な里山の池や小川、水流の穏やかな河川などに普通に見られたが、人為的な環境変化に伴い、野生の状態を目にする機会が減っている。一方で、ヒメダカがペットショップやホームセンター等で広く販売されていることから、飼育下の個体を目にする機会はそれなりにある。

日本に生育するメダカは、かつてはメダカ（ニホンメダカ *Oryzias latipes*）1種と考えられてきたが、アロザイム多型やミトコンドリアDNA多型の解析から、遺伝的に分化した2群が認められることが明らかとなり、近年、ミナミメダカ *O. latipes* とキタノメダカ *O. sakaizumii* の2種へと分割されている⁶⁾。したがって“メダカ（ニホンメダカ）”とは、厳密にはミナミメダカとキタノメダカの2種を合わせた総称であるが、本稿ではこれらの区別をせず“メダカ”の呼称を用いるものとする。体表の形質を議論する場合には、黒褐色である野生型を「クロメダカ」、緋色型を「ヒメダカ」とよぶことにする。

地域によっては野生のメダカを入手することが難しい場合もあるが、市販されているヒメダカは容易に入手することができる。どちらのタイプも飼育は比較的簡単で、条件を整えれば飼育下で一年中産卵させることも可能である。孵化に必要な時間は温度によって異なるが、一般的には10日前後であり、標準的な飼育条件下では、2~4ヶ月で成魚となる。遺伝的系統が明らかになっているものも多く、成熟するまでの時間が比較的短いことから、発生や遺伝学の研究材料としても重宝するモデル生物の

一つともなっている⁷⁾。

メダカには様々な色調の種類が存在するが、これは体表の真皮層にある色素胞の働きによる。色素胞内には色素顆粒が沈着しており、顆粒を構成する色素の違いによって色素胞の色調が異なってくる。野生のメダカはクロメダカともよばれるように、茶色がかった灰色をしている。これは黄色の色素胞に加えて黒色の色素胞をもつことによって起こる。一方、ヒメダカは色素胞内に黒色の色素を欠いており、黄色の色素胞と血液の色でオレンジ色の体色が現れたものである。この体色の形質は遺伝的に決定され、その遺伝様式はメンデルの法則に従うことが知られている。クロメダカ（黒褐色）がヒメダカ（緋色）に対して優性であり、純系同士の掛け合わせでは、雑種第一代（F₁）にクロメダカ（黒褐色）の形質のみが現れる。したがって、クロメダカとヒメダカは、体表の表現型形質が異なるのみで、生物学的には同じ種である。

II-2. 小中学校における理科教材としてのメダカ

平成20年3月に公示された、現行の学習指導要領下では、小中学校における次の3つの単元でメダカが教材として採り上げられている。

小学校第3学年の「B 生命・地球 (2) 身近な自然の観察」の単元では、学校の敷地や校区内の身近な環境で生き物の観察を行う⁸⁾。一般的に教科書では、植物の芽吹きや開花、昆虫などの動物の活動が盛んとなる、春の自然観察を想定した記述内容となっている。この中で学校の周りの池の中で観察することができる生物の例として「メダカ」が登場している。福井県下の公立小学校で使用されている東京書籍の教科書では「メダカ」という生物名の記載はなく、池の中にメダカと思われる小さな魚の姿が描かれている⁹⁾。一方、写真と共に「メダカ」という生物名が明記された教科書もある¹⁰⁾。この単元では、野外に出掛けて実際の生物に直に触れ、諸感覚から確認できる生物の姿を捉えることに主眼が置かれており、必ずしもメダカに限定した扱いとはなっていない。

小学校第5学年「B 生命・地球 (2) 動物の誕生」では、魚の雌雄の特徴、受精卵の発生過程及び魚が食べる水中の小さな生き物について学習する⁸⁾。この単元で教材として教科書で採り上げられている“魚”がメダカである¹¹⁾。成体の体の特徴について学習する内容に加えて、産卵や摂食の行動などについても観察の対象としていることから、理科室や教室の水槽で飼育しているメダカを継続して観察する。したがって「メダカの飼育方法」も指導内容に含まれていることを意味しており、指導者にとっては教室で飼育するメダカ水槽の維持管理能力も求められていることになる。

中学校第2学年「第2分野 (3) 動物の生活と生物の変遷 イ 動物の体のつくりと働き」では、生命を維持する働きの一つとして「血液の循環」について学習する¹²⁾。生体のからだに血液が流れている様子や血球の存在を観

察するために、生きたメダカをチャック付の袋に入れて魚体を横にし、尾びれを顕微鏡で観察する方法が教科書では紹介されている¹³⁾。この単位における教材としての活用は古くから行われており、スライドガラスに生きているメダカを載せて、尾びれ以外の部分を濡れたガーゼで包んで固定し、尾びれの毛細血管を顕微鏡で観察する操作が紹介されている^{e.g. 14,15)}。

ここまで述べてきた活用事例では、メダカは、異なる学校段階や単元でそれぞれ独立して登場している。一方、「メダカの食べ物」という視点に着目すると、小中学校の複数の単元に跨がって採り上げられていることが分かる。中学校第1学年「第2分野 (1) 植物の生活と種類 ア 生物の観察」では、顕微鏡をはじめとする観察器具の操作方法を習熟させることが一つの目的となっている¹²⁾。この中では、池の中の微小な生物を観察する内容が含まれている¹⁶⁾。この微小な生物は、一般的にはプランクトンと総称されるもので、多くがメダカなどの小さな魚の餌となるものである。この点で、小学校第5学年の学習内容「魚の食べ物」と結びつく。さらに、中学校第2学年「第2分野 (3) 動物の生活と生物の変遷 ア 生物と細胞」の単元では、細胞の体制や動植物細胞の構造の違いについて、顕微鏡観察に基づいて学習する¹²⁾。ここでも、ミジンコやアメーバ、ゾウリムシなど、便宜的に「原生動物」と総称される水中の微小な生物の観察が含まれている。したがって、メダカの生活に関わりをもった対象として捉えれば、内容の系統性に即した、学校段階を跨がった教材としての活用が見いだせる。

遺伝に関する学習は、中学校第3学年「第2分野 (5) 生命の連続性 イ 遺伝の規則性と遺伝子」の単元において、染色体に含まれている遺伝子の存在と有性生殖における分離の法則の理解を目的としている¹²⁾。

遺伝に関する規則性を説明する題材として中学校の教科書で扱われている内容は、メンデル (独, Gregor Johann Mendel, 1822-1884) がエンドウマメを用いて行った、実際の交配実験の内容である¹⁷⁾。メンデルの実験結果から、親 (P) の形質の組み合わせと、そこから得られる雑種第一代 (F_1) の形質と分離比の関係を学習する。中学校における遺伝の学習では、親の形質が次世代に伝わる際に、どのような規則性があるかを学ぶことを目的としている。ところが、遺伝現象を直接観察するためには、実際に交配実験を行い、子である次世代 (雑種第一代, F_1) が得られるまで待つ必要がある。有性生殖を行う生物において、誕生から子を産めるようになるまでに長い成長期間を必要とする生物の場合には、次世代が得られるまでに数ヶ月から1年近く、あるいはそれ以上かかることもある。エンドウマメの場合には、播種から収穫まで5ヶ月程度必要となる。したがって、中学校理科の教育課程の中で、エンドウマメを用いた交配実験を伴う授業は実施が難しいのが実情である。

既にII-1で述べてきたように、メダカの体色はメン

デルの遺伝の法則に従った遺伝様式を示し、受精卵 (胚) の段階で子世代の形質を判断することができる。つまり、交配実験の結果を得るまでに、長い時間を必要としない。水温を25℃前後に保ち、日長を14時間以上確保する条件を維持してやれば、年間を通じて産卵することから、比較的容易に教材を確保することができる。したがって、中学校の時間割の中でも、交配実験を伴う授業展開に活用することが十分に可能な遺伝教材である。

III. プレカレッジ生命分野の実施内容

III-1. 実施計画と参加者へのプレゼンテーション

教育学部の理科コースには11名が参加を希望し、当日都合により1名が欠席したことから、最終的に10名が参加した。募集に際して、生命領域で実施する予定の内容として、小中学校理科の単元内容に対応した3つの項目を事前に公表した。それがII-2で述べた、メダカの活用が見込まれる単元である「魚のたんじょう (小学校)」、「魚の食べ物および生物と細胞 (小中学校)」、「遺伝の規則性と遺伝子 (中学校)」である。オリエンテーションにおけるグループ分けに際しては、図1に示すレジメを配布し、この3つの項目の中から1項目を選択して、メダカに関する教材開発と模擬授業を行うことを説明した。その結果、4名が生命分野の教材開発と授業づくりを選択した。

福井プレカレッジ 生命 (生物) 領域
メダカを活用した小中学校理科の授業づくり!

国立大学法人 福井大学 教育学部 Faculty of Education | 福井大学教育学部 中等教育コース/理科 (生物学) | 西沢 徹 多田 稔 秀
福井大学大学院 教育学研究科 学校教育専攻

メダカ (*Oryzias latipes*) は、野生の状態で見かける機会は減りましたが、飼育環境も含めると、皆さんにとって身近な生き物の1つではないでしょうか。生命 (生物) 領域ではこのメダカに改めて注目します。小学校や中学校における理科の教材として、どのような活用ができるのか、“生きている”生物教材としてのメダカの活用方法と、その教材を用いた理科授業を皆さんと一緒につくっていきましょう!

現行の学習指導要領では、生物分野に関する学習内容を扱った「生命」領域は「生物の構造と機能」、「生物の多様性と共通性」、「生命の連続性」、「生物と環境の関わり」の4つの概念に細分されています。今回のプログラムでは、この中から「生命の連続性」に関連する単元を対象に、メダカを活用した小学校または中学校 (あるいは接続型内容) の観察型実習教材と理科授業づくりを目指します。

◇「生命の連続性」に関連する単元とその内容◇ 小学校と中学校の学習内容の中で、「生命の連続性」には関わりがあり、「メダカを活用できる」単元とその内容は次の通りです。生命領域を選択された皆さんには、これらの中から1つを選んで実習教材と授業づくりに取り組んでまいります。

○【小学校5年】魚のたんじょう
この単元では文字通り、メダカの飼育と発生の観察を通じて、動物の有性生殖のしくみを学ぶ導入となる単元です。
●メダカを飼う
●たまごの変化
●魚の食べ物
受精卵の発生の様子や、メダカの餌となる微小生物の顕微鏡観察などが含まれています。

○【中学校3年】生命の連続性
この単元では、親から子へ形質が伝わることによって、生命の連続性が保たれていることを学びます。教科書では、メンデルが遺伝に関する規則性を見いだしたエンドウ豆の遺伝現象を例に、遺伝の規則性を学習します。今回のプログラムでは、実際に交配を行ったメダカの卵を材料に、メンデルの遺伝の法則 (優性の法則と分離の法則) を学習する教材とその授業づくりを目指します。 ●遺伝の規則性と遺伝子

【引用文献】
毛羽衛・黒田玲子 (他 32名)。新編 新しい理科 5年。東京書籍株式会社。2014.3.7。文部科学省検定済。
岡村定矩・藤嶋昭 (他 49名)。新編 新しい科学 3。東京書籍株式会社。2015.3.6。文部科学省検定済。
© E. Nishizawa

図1 生命領域における実施内容を説明した配布資料。

全体でのガイダンスとグループ分けが終了した後は、各領域に分かれての活動となり、生命領域は総合研究棟 I の9Fにある生物学大実験室および生物学第1実験室で活動を行った。

メダカに関する学習に入る前に、教材研究と授業づくりの指針となる学習指導要領について、大学教員（筆頭著者）が講師となり、次の3点にポイントを絞って解説を行った。(1)学習指導要領とは何か：教育課程編成の根拠となる性格を有するものであることや、約10年ごとに改訂が行われていること、校種及び教科毎に目標や内容が示されていることを概説した。(2)現行の学習指導要領（平成20年3月公示）の特徴：内容の系統性を中心に解説を行い、生命分野では4つの柱から成り立っていることを示し、今回の活動では主に「生命の連続性」に関連する内容を扱うことを説明した。さらに、博物館や科学館等の理科学習関連施設との連携の重要性が盛り込まれていることにも触れ、今回体験しているような、学校以外の施設との連携による探究的活動の意義についても言及した。(3)次期学習指導要領（平成29年3月公示）について：生きる力と学力の3要素、対話的・主体的な深い学び、改訂に関する今後のスケジュール及び現行の科目の一つである「理科課題研究」に代わる「理数探究」について、などを中心に解説した。

引き続き、学校の先生が日々の授業をどのように計画的に進めているのかについて理解してもらうために、学習指導案について説明し、本プログラムでも翌日の模擬授業に際して、指導案に倣った実験授業の指導計案を作成してもらうことを述べた（図4、後述）。

Ⅲ-2. メダカに関する理解と教材研究

野外で実際のメダカを目にする機会は、自然環境の改変と共に減少しており、児童や生徒にとっては、Ⅱ-2で述べてきたような、小中学校の理科で学習する機会がメダカとの数少ない接点になっている。生命領域を選択した4人の高校2年生にとっても、メダカに触れる機会は小中学校の理科学習以来であった。そこで、メダカを授業に活用する教師役を務めるにあたり、メダカについて深く理解してもらう目的で、飼育や繁殖のために必要なスキルを身に付ける体験活動を充実させた。教材研究や授業づくりを行う単元を決めた後に、飼育下におけるメダカの生態や飼育環境、日常の飼育方法や繁殖のさせ



図2 メダカの理解を目指した教材研究。模擬授業を行う単元をTAと共に検討中（左図）；メダカを飼育する“小さな生態系”を製作中（右図）。

方などについて、実習形式で学びながら、メダカを教材として活用する視点を養った（図2）。以下に紹介する(1)～(3)は第1日目に、(4)は第2日目の午前中に実施した。

(1) 教材開発を行う単元の選定

大学教員による学習指導要領に関する講義後、全体ガイダンスで概要を説明した3つのテーマ「魚のたんじょう（小学校）」、「魚の食べ物および生物と細胞（小中学校）」、「遺伝の規則性と遺伝子（中学校）」の中から、この2日間の授業づくりで採り上げる単元を選ぶ活動に移った。この際に、検討材料の資料として、該当する単元の小・中学校教科書の写し^{11,17)}と小・中学校理科学習指導要領（平成20年3月公示）解説^{8,12)}の抜粋を配布した。ここでは、TAの大学院生（学校教育専攻修士2年）が牽引役となり、4人の高校生の主体性に任せて議論させ、採り上げる単元を検討した。その結果、中学校3年生で学習する「遺伝の規則性と遺伝子」の単元を扱うことになった。

(2) メダカ胚の観察

標準的な飼育環境下では、メダカの卵は産卵（受精）から10日後に稚魚が孵化する。採卵した受精卵は、低温環境下におくことで胚発生の進行過程を調節することが可能で、観察を実施する日程に合わせて、観察に適した胚を準備できるメリットがある。今回は、プログラムの当日まで各領域を選択する参加者数が不明であったことと、表現型の分離比を観察に基づいて求めるためにはある程度の試料数（今回の場合は胚の数）を観察する必要があったことから、プログラムの当日までに、観察可能な胚を予め確保する処置を行った。平成29年7月16日～30日にかけて採卵を行い、採取した受精卵は15℃のインキュベータ内で発生させ、孵化間近の胚を予め準備しておき、今回のプログラムに供与した。

メダカの胚を中学校第3学年「遺伝の規則性と遺伝子」の単元で活用するねらいの一つは、体色がメンデルの遺伝の法則に従って遺伝する形質の一つであり、孵化前の胚の観察から稚魚（子世代）の形質を容易に判定でき、子が成長するまで待つことなく親との間で形質を比較できる点にある。さらに、遺伝に関する“規則性”のみを単純に議論する場合には、「黒色と白色」や「丸形としわ形」など、対立形質を機械的に採り上げれば一応の目的は達せられるであろう。しかし、メダカの様々な体色が「色素細胞の存在や色素顆粒の沈着」というメカニズムによって規定されていることが、生物学的な本質として重要な点である。本単元においてメダカを活用することは、「色素顆粒の分布」という生物学的な現象が基になって「黒褐色」という体色形質の発現が起きていることへの理解にも結び付けることができる。そこで、先生役となる4人の高校生自身に、胚の観察に基づいて子世代の体

色を判定できるスキルを身に付けてもらうために、双眼実体顕微鏡による胚の観察を行った。

(3) メダカの飼育方法に関する実習

採卵用に雌雄のペアを飼育している水槽は、168×168×高さ180 mm (4.7 L) の小型のプラスチック製で、メダカの飼育用に市販されている容器である。店頭では扱われていない場合もあるが、インターネット通販では容易に入手が可能である。遺伝学の研究の場合には、交配形質の実験計画に基づいて、目的とする形質をもった両親種のペア毎に繁殖用の水槽を分けて飼育する必要がある。その点、この水槽は小さく場所も取らないことから、実験台の上に複数並べて設置することができる。さらに、持ち上げて容易に移動させることもでき、水替えの手間もかからない。価格は1個あたり600円程度と、比較的安価である点も魅力的である。サイズが小さく、メダカの行動空間を限定することができるため、子どもが顔を近づけて間近でメダカを観察することにも向いている。したがって、教材研究の用途だけではなく、小学校第5学年で扱うメダカの飼育と観察の単元でも重宝する製品である。

メダカは、このような小さな水槽でも容易に飼育することができる。逆に言えば、このような小さな水槽で飼育する場合でも、メダカの生存に必要な適切な環境を整えることが、長期間にわたって安定的に飼育を継続し、繁殖を成功させるために必要となる。そこで、メダカの適切な飼育方法を学ぶことを目的に、今回使用した水槽をモデルに、メダカの飼育環境を製作する活動を行った(図2)。①水槽の底に底床材となる砂を5 cm程度の厚さとなるように敷く。②予め汲み置きをして一晚程度放置し、カルキ抜きをするとともに室温と同程度の水温に調整した水を適量注ぐ。③長さ10～20 cm程度に切ったオオカナダモを2,3本入れる。④雌雄1対のメダカを入れる。水槽の組み立ての操作はこれで完了であるが、この後、メダカが安定して生存していくためには、この水槽の中に“小さな生態系”が成立することが必要であることを説明した。その内容は、プランクトンや硝化細菌などの、メダカの排泄物や食べ残しを無機物に分解する微生物が水中や砂利の隙間になどに十分繁殖すること、微生物の活動によって生じた無機物はオオカナダモの肥料となり、そのオオカナダモの光合成によってメダカや微生物の呼吸に必要な酸素が供給されること、プランクトンなどの微生物がメダカの餌になること、などである。

(4) 受精卵の採卵実習

生物学第1実験室には、今回のTAを務めた修士課程院生の研究材料として、交配実験と採卵を目的に常時メダカを飼育している。(3)で紹介した小型水槽にオオカナダモと雌雄1対のペアを入れ、24時間の空調で室温を

25℃に維持しながら、連続点灯時間が14時間になるようにタイマーを設定した蛍光灯を用いて日長を管理しており、年間を通じて産卵するように環境を整えている。

一般的にメダカの産卵は明け方に行われる。産卵直後の場合にはメスの腹部に卵塊が付着している他、水槽に入れてあるオオカナダモやホテイアオイなどの根、水槽の壁面や底に敷いた砂利などに卵が産み付けられている。学校現場におけるメダカの飼育において、失敗が多い事例の一つが、産卵後の受精卵の管理である。小さな水槽の場合には、自然界の池や水路、飼育用の貯水池などの場合に比べて生息空間が小さく、水草などの繁茂状態も疎らなことから、産卵後の卵や孵化した稚魚が親個体に捕食される危険性が非常に大きい。そこで、午前中の早い時間に、産み付けられた卵を繁殖用の水槽内から回収し(採卵)、親個体とは別な水槽(ここではシャーレ)に隔離することがポイントとなる。生命領域の活動では、産卵された卵を繁殖用の水槽内から採取する作業も実際に体験してもらった。プログラムの第1日目はガイダンスや実施内容に関する説明等に時間を要したことから、採卵の実習は2日目の冒頭を実施した(図3)。



図3 受精卵の採卵実習。メスの腹部に付いている卵塊を面相筆で絡め取る(左図)；キムワイブ上で受精卵を指で転がし、付着毛を除去している(右図)。

腹部に卵塊を抱えているメスを探し、網で個体をすくい上げて魚体を横にし、腹部に付着している卵塊を面相筆で絡め取ってシャーレに移した。水槽内のオオカナダモやアオミドロに産卵されている卵も同様に、面相筆でシャーレに移した。この際に、面相筆で絡め取った卵を一度キムワイブ(紙製のウエス)上に置き、指で軽く押しながらか紙の上を転がし、卵の表面にある微細毛を除去した。キムワイブは主に研究目的の実験室などで広く使われている製品で、丈夫で、濡れても毛羽立たず破れにくい。理化学教材店などから容易に入手できるが、学校現場で代用できるものとしては、キッチンペーパーなどの厚手のペーパータオルが適している(ティッシュペーパーは不適)。受精卵の表面には、水草などに付着しやすいように、微細毛が多数存在している。この微細毛は、この後のステップで行う受精卵(胚)の観察を妨げることから、ここできれいにクリーニングしておくこともポイントとなる。受精卵は丈夫で比較的堅く、指で押しとかなり弾力があり、紙上でゴロゴロと転がしても壊れない。一見大胆に思えるこの操作や、小さいながらも意外と堅い卵の丈夫さには、参加した4人のいずれもが驚い

ていた。

Ⅲ-3. 模擬授業の実際と省察

(1) 授業のねらいと展開案

飼育の開始から実際に交配を行うまでの順番とは前後した部分もあるが、2日目の冒頭で採卵の実習を行ったことで、1日目の生息環境づくりに始まる、メダカの飼育と繁殖に関する一連の操作を経験させたことになる。これらの経験を踏まえた上で、模擬授業の詳細な進行計画と生徒役の参加者に行ってもらい観察操作の検討へと移った。

福井プレカレッジ2017 (福井大学教育学部 理科)		
理科学習指導案		
授業者 (チーム名): _____		
題材名 (開発した実験・観察のタイトル): 遺伝の規則性の真理		
対象の校種と学年: 中学3年生		
教科書の単元名: 遺伝の規則性と遺伝子		
目標: 観察の結果に基づいて、親の形質が子に伝わる際の規則性を見いださせること。		
展開 (20~25分)		
展開	学習活動	指導上の留意点
5分	・遺伝の規則性の説明 ・黒板(例も使う(図は示す)) ・観察の説明	図を使って分かりやすく説明する
15分	・生徒に観察させ	
5分	よとの 数をさく(10年) Aa:aaの1:1であることを確かめる	

図4 生命領域の授業チームが作成した授業展開案。

模擬授業は、各分野20～25分とし、授業の展開計画を明確にさせるために、簡略化した学習指導案のフォーマットを配布し、授業の目標と進行計画を記入してもらった(図4)。このフォーマットは、各領域で共通のものを使用している。その結果、生命領域の授業の題材名は「遺伝の規則性の真理」、目標は「観察の結果に基づいて、親の形質が子に伝わる際の規則性を見いださせること。」となった。この単元でメダカを活用することの意義の一つは、生の試料(メダカの胚)を実際に観察することによって、学習者(実際の学校現場で活用するには中学生、今回のプログラムでは他分野を選択した、生徒役となる受講生)自らが得た結果に基づいて遺伝の規則性に気付かせることである。ここまでの、授業者となる4人に対する実習の中では、メダカがもつ教材

としての魅力ばかりではなく、生物が示すある現象(ここでは体色の発現)の本質について考えることの大切さや、生物教育における実物を観察することの意義についても解説を行ってきた。授業タイトルや目標に「真理」や「観察の結果に基づいて」という文言が含まれたことは、企画した私たちの意図を高校生なりに汲み取ってくれた結果であろう。

模擬授業の時間が25分と短いことから、生徒役となる受講生が既存の知識として持っている、中学校3年生の学習内容と関連させて、「親の遺伝子型の組み合わせによって、雑種第一代(F_1)の表現型分離比は3:1もしくは1:1となる」現象について、観察結果に基づいて検証させる展開とした。今回のプログラムで使用したメダカの胚は、ヘテロ接合体のクロメダカ(遺伝子型Aa)と純系のヒメダカ(遺伝子型aa)との交配によって得られたもので、理論的には黒褐色の胚(クロメダカ)と白色の胚(ヒメダカ)が1:1の分離比で生じる。模擬授業では、①胚の観察から卵色の分離比を求める、②求めた分離比の結果から、親の遺伝子型の組合せを推定する、という二段階の展開で臨むことになった。ここで「ヘテロ接合体」とは、2倍体の生物で、異なる対立遺伝子を対でもつ状態を指している。例えばある遺伝子に注目したとき、遺伝子記号Aで表される対立遺伝子とaで表される対立遺伝子があった場合、遺伝子型がAaである場合をヘテロ接合体という。逆に、同じ対立遺伝子を対でもつ場合、この例ではAAやaaという遺伝子型の場合を「ホモ接合体」という。

準備したものは、昨日の実習で製作した、メダカペアが入った繁殖用の水槽(Ⅲ-2-(3))2台、双眼実体顕微鏡(生徒の人数分、5台)、ピンセット(5本)、ペーパータオル、映像出力モニターに接続した教師用顕微鏡一式である。説明に必要な情報や結果集計用の表は、予め黒板に板書した。試料となるメダカの胚は、1日目に授業者となる4人が観察を行ったものと同じで(Ⅲ-2-(2))、1個のシャーレに20～40個程度の胚が入っている。このシャーレを生徒1人あたり2個配布し、1人あたり平均して合計50個程度の胚を観察してもらうことになる。2日目の午前中までに授業の計画と準備を終え、昼食後、2～3回のリハーサルを行った後、本番の模擬授業に臨んだ。

(2) 模擬授業の実際

2日目は1名の参加者が欠席したことから、生命分野の授業を行う4名を除くと、生徒役は5名となった。そこで、実験室中央の学生実験台に5名一班という配置で着席してもらい授業を開始した。説明は4人の教師役が1人ずつ順番に担当し、説明者以外が板書を担当するといった具合に、事前に綿密に役割分担がなされていた。

胚の観察に入る前に事前の説明が行われた。生徒の目の前に置かれた、メダカのペアが入った水槽を横から覗

きながら、雌雄の見分け方や飼育のポイントについて説明があった。生命分野の授業を担当した4人と同じように、生徒役の5人も小中学校以来なのか、メダカの実物に興味津々の姿が印象的であった。遺伝の規則性については、予め板書しておいた情報を利用しながら、雑種第一代 (F_1) および雑種第二代 (F_2) の場合と、優性ヘテロと劣性ホモの交配 (検定交雑) による表現型分離比について解説が行われた。次に、発生中の受精卵 (胚) を観察すると子の体色が判ることと、その体色の遺伝様式はエンドウと同じようにメンデルの遺伝の法則に従うことが説明された。最後に胚の観察の仕方についての説明があり、実際の観察に移った (図5)。



図5 模擬授業の様子。板書を基に染色体上の対立遺伝子の分布様式や、メンデルの分離の法則について説明 (左図)； 双眼実体顕微鏡で胚を観察して、体色の色調を判定 (右図)。

胚の観察は双眼実体顕微鏡で行った。肉眼でも卵色のおおよその色調は判断できるが、色素顆粒の密度がメダカの体色を規定しているという形質の本質にも気付いてほしいことから、発生中の胚を詳細に観察できるように双眼実体顕微鏡を使用した。大学教員の目から見ると、双眼実体顕微鏡の使用に慣れておらず、扱い方に戸惑っている生徒は一目瞭然であった。しかし、緊張や実習指導の経験がないこともあってか、教師役の4人の高校生にとって、双眼実体顕微鏡の扱い方の指導までは荷が重すぎた感があった。この場面では必要に応じて、TAの院生が直接、生徒役の高校生に指導する場面も見られた。ごく僅かな時間ではあったが、この院生の行動を見ることもまた、教師役の4人にとっては、実験や観察を伴う授業の中で教師がどのように生徒の支援を行うのかを知るよい機会になったと感じる。TAの院生はさらに、双眼実体顕微鏡を覗く操作と平行して、教師用顕微鏡で捉えている胚の様子をモニターに提示し、色素顆粒の密度と体色の判断方法について説明した。

生徒は、配布された2個のシャーレに入った胚を順次観察しながら、個数とその卵色を判断し記録していった。計数が終わった生徒から結果を聞き取り、予め黒板に作成してあった整理用の記録表に結果を記入し、全員の結果が出そろったところで合算し、表現型とその分離比を求めた (表1)。しかし結果は、意図していたような1:1の分離比とはならず、授業者も困惑していた。ここでほぼ時間を使い切ったことから、本来は「1:1の比になる」ということを伝えた所で、授業は終了となった。

表1 胚の観察結果と表現型の分離比

試料番号	黒色 (Aa)	白色 (aa)	全体
1	11	12	23
2	22	20	42
3	16	17	33
4	12	31	43
5	6	18	24
6	13	28	41
7	5	15	20
8	6	8	14
9	8	16	24
10	4	12	16
合計 (割合)	103 (0.37)	177 (0.63)	280

IV. 考察

IV-1. メダカの教材としての活用における課題

計画した授業のねらいは、「交配によって得た胚を観察し、その結果に基づいて雑種第一代 (F_1) の表現型分離比が1:1となる現象を見いだすこと」であった。しかし、生徒役となった5名の受講生が導き出した結果は0.37:0.63となり、期待値である1:1からは乖離した値となった (表1)。予備実験の過程では、模擬授業で生徒に提供した試料の一部を、先生役の4人自身が実際に観察し、期待値である1:1に近い分離比が得られることを確認していた。このため、授業者の4人が、この結果に最も困惑していた。

色素胞における色素顆粒の沈着の程度や、黒色顆粒の分布密度には個体変異があることから、黒褐色となる胚の色調にもバラツキがある。黒色顆粒の密度が高く、体色が黒色と容易に判定できる場合は問題ない。しかし、黒色顆粒の密度があまり高くなく胚の場合には体色の判断が難しい場合もある。授業を担当した4人は、事前の教材研究の過程で時間をかけて胚を観察し、その色調の判断基準を感覚的に掴むことができていた。一方、本番の模擬授業は25分と非常に限られた時間であったことから、生徒各自が胚の色調を判断する感覚を十分に掴めないまま、胚の計数と色調の判断に駆け足で取り組まざるを得なかった。このことから、胚の色調を一定の基準で判断できておらず、期待値との乖離が大きくなったと考えられる。

一方、観察に入る前の説明では、既習内容の復習として、メンデルが行った掛け合わせの内容とその表現型分離比について板書で説明を行っている。この際には、後代の表現型分離比として3:1と1:1のパターンを紹介していた。また、受講生自身が中学生の時には、雑種第二代 (F_2) では遺伝子型の分離比が1:2:1となり、この場合には表現型の分離比が3:1となることを学んでいる。したがって、既存の知識に断片的に残る3:1や2:1になるという思い込みも、正確な色調判断に影響を与えたものと考えている。今回の模擬授業内では時間的な制約から十分に実施することができなかったが、遺伝の学習を目的に卵色を判定する観察の前には、胚の色調を

判断する学習者のトレーニングを十分に行うことがこの教材を活用する上で不可欠である。この際には、胚の体色を判断する際に参考となる写真資料を配布したり、教師用顕微鏡の視野を提示しながら説明を行ったりすることが有効であろう。先生役の4人が教材研究の時に胚の観察を行った際には、教師用顕微鏡の視野を提示したモニターを見ながら、TAによる解説を受けている。模擬授業の際にも、胚の顕微鏡拡大像をモニターに提示していたが、活用されていなかった。高校生の主体性に任せた授業づくりを進めてきたが、教師役の授業づくりの際には、もう少し実施側の講師(大学教員やTA)が介入し、ICT機器を活用した授業展開の重要性についても学んでもらうべきであったと考えている。

メダカの体色遺伝の現象を高等学校における教材として活用した実践例では、優性の法則や分離の法則の理解において、効果的であったとする報告がある¹⁸⁾。今回の模擬授業では、ねらいとしたような、期待値の検証までは到達できなかった。しかし生徒役となった5人の様子からは、教科書で採り上げられているエンドウマメ(メンデルが行った実験の結果)以外の生物でも遺伝の法則が成り立つことや、身近な生物でその規則性を観察することに驚いている様を見て取ることができた。したがって、中学校で学習する遺伝に関する教材として、メダカを活用する意義に手応えは感じており、今回の実践を通じて明らかになった課題も踏まえて、さらに改良を図っていきたいと考えている。

IV-2. アンケート結果の分析とテーマ設定について

各領域の模擬授業が全て終了したのち、再び全体で集合して省察を行った。その際に、図6に示すアンケートを記名式で実施した。プレカレッジ全体を踏まえての、アンケート結果の分析と考察については、本号に掲載の共著に詳しいのでそちらを参照して頂きたい²⁾。ここでは、生命領域を選択した4名を対象を限定し、アンケートの結果を基に、実施内容と受講後の高校生の意識の関係について考察する。

受講前の意識に関する質問の中で、理科の科目の中でどの分野に興味があるのかを聞いた質問では、3名が「生命」のみを挙げ、1名が「粒子」と「生命」の2領域を挙げていた。履修教科(既習・予定も含む)についてみると、「生命」のみを挙げた3名は、いずれも「生物基礎」を履修していたのに対し、2領域を挙げた1名は「生物基礎」と「生物」は履修していなかった。一方、「化学基礎」は4名とも履修していた。その他の科目では、各人で組合せは異なるものの、「物理」、「物理基礎」、「化学」、「生物」、「地学基礎」を履修していた。今回、生命領域を選択した生徒は、生物分野に元々関心が高かったことに加えて、高等学校で履修している科目との関連も領域選択の判断材料にある程度関係していると思われる。一方で、採り上げた材料が「メダカ」であり、高等

学校の教材としての位置付けは、既に述べてきたような小中学校理科における扱いに比べて、ずっと限定的である。したがって高校生にとって、実際にメダカに触れるのは恐らく義務教育以来となることから、メダカを扱うテーマにどこまで興味を抱いてくれるのか未知数であった。しかし、ガイダンスの際に行ったプレゼンテーションで、「改めて教材として、よく知っている生物に注目する目的」を丁寧に説明したことが功を奏したのか、受講生10名中4名が生命領域を選択した。

福井プレカレッジ 理科教育 参加者アンケート				
氏名:	学年:	文系	理系	高校:
今回のプログラムで選択した領域(該当に○):		エネルギー	粒子	生命 地球
高等学校で履修した、履修中あるいは履修予定の理科学科目(該当に○、複数選択可):		科学と人間生活		
物理基礎		物理	化学基礎	化学 生物基礎 生物 地学基礎 地学 理科課題研究
次の各質問には、該当の番号(5段階評価)や該当項目に○を付ける、あるいは記述にて回答して下さい。				
■[主に受講前の意識について質問します]				
■「理科」という教科に興味や関心がありますか。				
5 (高い関心がある) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心はない)				
■「理科」という教科の中では、どの分野に興味や関心がありますか。(該当に○、複数選択可)。				
エネルギー 粒子 生命 地球 いずれにも関心がない				
■教育学部のコースを選んだ理由は、「教育学部」や「教員養成」に興味や関心があったから。				
5 (高い関心があった) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心はなかった)				
■将来の進路選択の一つとして、学校の先生に関心があった。				
5 (高い関心があった) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心はなかった)				
※少なからず「関心がある」と回答をされた方は、学校の先生について、どのような関心がありましたか? keywordをいくつか挙げて下さい(例:保育士、幼児教育、生涯学習、小学校の先生、高校理科など...)。				
.....				
■現在進学を考えている学部名、または進学先として				
.....				
■将来なりたい職業を教えてください(複数可)。				
.....				
■[主に受講後の意識について質問します]				
■今回のコースを終えて、「教育学部」で学ぶことへの関心や興味が深まりましたか。				
5 (高い関心が持てた) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心は持てなかった)				
■今回のコースを終えて、「理科」という教科への関心や興味が深まりましたか。				
5 (高い関心が持てた) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心は持てなかった)				
■今回のコースを終えて、「授業づくり」や「教材研究・教材開発」への関心や興味が深まりましたか。				
5 (高い関心が持てた) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心は持てなかった)				
■今回のコースを終えて、「学校の先生」という職業選択への関心や興味が深まりましたか。				
5 (高い関心が持てた) — 4 — 3 — 2 — 1 (ほとんど関心は持てなかった)				
※少なからず「関心がある」と回答をされた方は、どの校種や教科の先生になりたいと思いましたが、(例:幼稚園教諭、小学校の先生、中学校理科など...)。				
.....				
■2日間のプログラムで、どのようなことを学びましたか?自由記述して下さい(裏面も使用可)。				
.....				
.....				
.....				

図6 企画の最後に実施したアンケートの様式。

将来なりたい職業として、受講前に考えていた職種を尋ねたところ、研究者、先生、保育士、幼稚園教諭が挙げられていた。一方、受講後に、「学校の先生」という職業選択に関心を持たたと回答した生徒に対して、どの校種や教科の先生になりたいのかについて尋ねた。その結果、中学校、高等学校、幼稚園教諭、保育士、小学校の先生となった。質問として校種を問うているので、学校段階に関する具体的な回答は当然の結果とも考えられるが、小・中・高等学校という複数の校種に関心が向いている点が興味深い。教材開発と模擬授業を行った単元は中学校第3学年の内容であったが、2日間のプログラムの中では、メダカに関する単元内容について、小学校と中学校のそれぞれの教科書を見ながら授業内容の検討を行い、メダカに関する教材研究を一通り経験してもらった。このことが、授業づくりの対象とした中学校以

外の校種にも関心が向けられたことに結びついたのではないかと考えている。校種を超えて、内容の系統性という視点から、教材や教育内容について統一的に考えさせたいという、企画側のねらいの一部が達成されたものと考えたい。

また、受講前には、幼稚園教諭と保育士をそれぞれ1名が挙げていた。受講後にこの2名の生徒は、それぞれ受講前と同じ職種に加えて、「小学校の先生」を追加して挙げていた。受講前に挙げられていた希望職種から、子どもとの触れ合いが元々好きであったろうことが推察されるが、本プログラムの受講によって、初等教員養成についても関心を抱いてくれたのであれば、この企画を実施した意義は大きい。

V. おわりに

教員養成をテーマとした実施の初年度であり、受講する高校生がどのような生命現象や理科に関する内容に関心があるのか不明であった。また、高校生の主体的な探究活動としての位置付けもあったことから、生命領域では3つのサブテーマを提示し、この中から1つのテーマを選んでもらった。その結果、中学校第3学年で扱う「遺伝」に関する単元が選ばれた。参加した高校生2年生にとっては、2年あまり前に学習した内容である。さらに、3名が履修していた「生物基礎」では、「遺伝子とのはたらき」の単元で、分子レベルでの遺伝現象の仕組みについて学習する。中学校で学んだ表現型レベルの遺伝現象（メンデルの遺伝の法則）を、より深く掘り進めて学習しているので、遺伝に関する内容には関心が高く、サブテーマへの選択に結びついたのではないかと考えている。しかしアンケート結果から、小学校の先生への関心も見いだされたことから、小学校で扱う単元に限定し、初等教員の養成について、より焦点をあてたテーマ設定でも、高校生に対するニーズに応えることができると思われる。今後は、小中連携を見据えたカリキュラムへの貢献（今回のサブテーマの一つである、メダカの食べ物と細胞のつくりなど）や幼小連携を想定した自然認識に関する内容（野外観察やもの作り体験など）もテーマとしては面白いと考えている。

VI. 引用文献

- 1) 文部科学省、教育課程部会、次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて（報告）、次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ（第2部）（幼児教育、小学校、中学校、高等学校、特別支援学校、学校段階間の接続）、(2016). : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo_3/004/gaiyou/1377051.htm（2017年11月30日現在確認）。
- 2) 浅原雅浩・清水脩平・西沢徹・山本博文・三好雅也・栗原一嘉、教員養成系学部における高大接続プログ

- ラムの開発とその実践 —高校生による小中学校理科教材研究と模擬授業：粒子領域を例として—、福井大学初等教育研究、第4号、(2017). (*in press*).
- 3) 文部科学省、小学校学習指導要領解説理科編、99 pp. (2017). : http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afldfile/2017/10/13/1387017_5.pdf（2017年11月30日現在確認）。
 - 4) 文部科学省、中学校学習指導要領解説理科編、125 pp.(2017). : http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afldfile/2017/10/13/1387018_5.pdf（2017年11月30日現在確認）。
 - 5) 文部科学省、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). : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo_0/toushin/1380731.htm（2017年11月30日現在確認）。
 - 6) Asai, T., H. Senou, and K. Hosoya. *Oryzias sakaizumii*, a new ricefish from northern Japan (Teleostei: Adrianichthyidae). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, vol.22, No.4, pp.289-299, (2011).
 - 7) 岩松鷹司、新版 メダカ学全書、大学教育出版、473 pp.(2006).
 - 8) 文部科学省、小学校学習指導要領解説理科編、大日本図書、107pp. (2008).
 - 9) 毛利衛・黒田玲子・他32名、新編 新しい理科3年、東京書籍、pp.2-11 (2015).
 - 10) 癸生川武次 監修、新編 楽しい理科6年、信州教育出版社、pp.24-37 (2013).
 - 11) 毛利衛・黒田玲子・他32名、新編 新しい理科5年、東京書籍、pp.36-49 (2015).
 - 12) 文部科学省、中学校学習指導要領解説理科編、大日本図書、153pp. (2008).
 - 13) 岡村定矩・藤嶋昭・他49名、新編 新しい科学2、東京書籍、pp.86-95 (2015).
 - 14) 近角聰信・他41名、新編 新しい科学2分野上、東京書籍、pp.170 (1988).
 - 15) 上田誠也・他52名、新しい科学2分野上、東京書籍、pp.103 (1996).
 - 16) 岡村定矩・藤嶋昭・他49名、新編 新しい科学1、東京書籍、pp.10-17 (2015).
 - 17) 岡村定矩・藤嶋昭・他49名、新編 新しい科学3、東京書籍、pp.87-101 (2015).
 - 18) 岩松鷹司・森隆、生物教材としての野生メダカとヒメダカの体色遺伝の研究、愛知教育大学教科教育センター研究報告、第18号、pp.199-210 (1994).

Japanese rice fish, a novel material and contents for science education in elementary school and junior high school: development and practice of educational program in connective education between high schools and universities

Toru NISHIZAWA, Tomohide TADA, and Toshio OHYAMA

Key words : Japanese rice fish, materials for biological education, fostering of teachers for elementary and secondary education, reform of the association between high school and university, consecutive curriculum in elementary school and junior high school, systematic alignment in educational content