

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03169

研究課題名(和文) 遺伝に関わる実習の制約を解決する教材としての子のう菌類の研究

研究課題名(英文) Fungi as a teaching tool for solving constraints of practical training on genetics

研究代表者

伊藤 靖夫 (Itoh, Yasuo)

信州大学・学術研究院総合人間科学系・准教授

研究者番号：70283231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「遺伝子によって決定される形質が世代を通じて伝達される様子を実感できる実習プロトコル」を作成し、中学校、高等学校、及び大学において実践することによって、遺伝リテラシーの向上につなげることを目的とした。それぞれの状況で直面する様々な制約に対応して実習を行った結果、多くの生徒・学生から「驚いた」「予想外だった」というキーワードを引き出すことができた。また、中学校では、普段の授業では意欲を示していなかった生徒が熱心に取り組む様子が認められた。ただし、これから広く普及するためには生育温度の問題が課題であり、室温で生育速度を維持した系統の選抜を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、中学校での遺伝の学習と並行して交配と後代の観察を行うための実習計画を確立できた。さらに、内容を後代の分離比の統計的解析や連鎖、組換えの観察まで拡張し、大学の教養科目での実習としても十分な質を備えたものとなった。受講生の反応やアンケート調査の結果から、中学生から大学生まで年代を問わず、生き物に触れ、観察した際の驚きを通じて遺伝現象への関心を誘導できることが示された。また、他の生物の生活環との関連や生化学実習への接続等、様々な実習のハブにもなる。近年のICTの発展により、学校は聴講の場から経験の場へと変貌しつつある。その点で、本研究は他の教材の開発と整備の端緒となるものである。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study was to improve genetic literacy by creating a "practice protocol that enables students to realize how traits determined by genes are transmitted through generations" and implementing it in junior high schools, high schools, and universities.

As a result of the practical training, we were able to elicit key words such as "surprised" and "unexpected" from many students and teachers, in response to the various constraints faced in each situation. In addition, at the junior high school, it was observed that students who had not shown motivation in their usual classes were enthusiastic about the program.

However, the growth temperature is an issue for the popular practice of this protocol, and selection of stains that maintain growth rate at room temperature is underway.

研究分野：分子遺伝学

キーワード：理科教育 実習・実験 遺伝リテラシー 交配 子のう菌類 アスペルギルス

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

- (1) ゲノム編集と細胞工学によるヒトの遺伝子操作技術、及び出生前を含む遺伝子診断技術が大衆化されようとしている現在、優生学がもたらした災禍に対する省察にたち、これらの技術を社会に肯定的に定着させるためには、遺伝リテラシーの向上が求められていた。
- (2) 現行の学習指導要領（現課程）の理科（生物）では、分子的な内容の充実が図られた。一方、遺伝学に関しては、メンデルの研究のうち単性交雑が中学校に移され、連鎖、組換えにつながる両性交雑は高校「生物」で扱われる。生徒の発達段階に即した教科内容を、先行する学習経験を踏まえて適切に配置するスパイラル構造を反映したものであるが、旧課程では一体的に学習していた内容が分断されたとも言える。現課程の指導計画では、中学校で遺伝子について「触れる」ものの、DNAの構造および遺伝子発現の詳細には至らないので、メンデル遺伝学の基礎となる対立遺伝子と形質の関係について、正しく解説することは難しい。また、高校「生物」の履修率は2割程度であり、遺伝の基本的なしくみを学ぶ機会が十分に担保されていない現状があった。
- (3) 生徒が遺伝のしくみを自分自身の問題として理解するためには、ヒトにおける形質の伝達を観察することが一番であるが、後代の個体数の問題と差別や偏見につながる可能性に対して細心の注意が必要であり、難しい。それに対し、植物や昆虫を教材とする実習は多くの実践報告があり、ファストプランツ(*Brassica rapa*)のように商品化されているものもある。しかし、交配に必要な時間が長いこと、生体の扱いや維持が難しいこと、および設備の制約から、ほとんど実施されていなかった。

2. 研究の目的

最終的な目標は、中学校から大学を通じて、「遺伝子によって決定される形質が世代を通じて伝達される様子」を実感できる交配実習が広く実施され、そこで誘起される遺伝への関心を通じて、社会的な遺伝リテラシーが向上することである。

具体的には、学校での学習と並行して有性生殖、交配における対立遺伝子の分離と伝達、及び対立遺伝子の相互作用による形質の決定機構を観察できる交配実習のプロトコルを作成する。そのうえで、中学校、高等学校、及び大学での実践を通じたフィードバックを得て、普及の足がかりとする。

3. 研究の方法

(1) 子のう菌 *Aspergillus nidulans* を教材とする実習プロトコルの開発

A. nidulans は1950年代からのモデル生物種として、管理機関から栄養要求性や色素生成の変異系統を入手できる。これらは紫外線等によって得られたものであり、遺伝子組換えを行っていないので、バイオセーフティーレベル（BSL）1として、通常の実験室で扱うことができる。本菌では、基本的な実験手技として日常的に交配が行われているが、大学を始めとする研究機関では様々な設備や試薬が整えられており、また、科学的な研究として、作業、及び結果の再現性と精度も維持されている。中学校、高等学校で交配を行い、後代を観察するにあたり、研究機関と同等の設備を想定することはできず、また、求められる結果の精度も研究のための交配とは異なる。そこで、中学校で行うことを前提として、必要な機器、試薬、作業を全面的に見直し、交配実習を行うためのプロトコルを開発した。現課程の中学校の指導計画案では、遺伝の法則と生殖、DNAについて、3年次に14時間（約1ヶ月）配分されている。したがって、この学習期間と並行して交配実習を行うために、観察の連続性も念頭において2～3日間隔で作業が続く計画を立てた。

高校において、「生物基礎」では遺伝は扱われず、約2割の生徒が選択する「生物」の「有性生殖と染色体の分配」に8時間（約2週間）が配分されている。より多くの生徒が正課の授業内で実習を行うために、「生物基礎」の学習内容と関連付け、酵素活性の検定等の内容も盛り込んだプロトコルについて検討を進めた。大学で実習を行う場合、90分間の講義で15週間の開講期間の中での計画となる。また、実験室ではある程度の設備、機器が設置されており、ティーチングアシスタント等のサポートも受けることができる。そのため、後代の分離比の統計的解析、連鎖と遺伝的組換えの観察、形質転換や核酸の抽出と観察等、より発展的な内容を組み込んだものとした。このように、中学校でのプロトコルをコアとして、それぞれの状況に応じて、生徒、学生の関心を誘起するプロトコルを作成した。

(2) 普及を目的とした遺伝のしくみを学ぶ実習の実践

中学校、高等学校、及び大学において交配実習を実践した。受講生へのアンケート調査等によって生徒、学生の理解度に応じた教育効果を評価し、様々な環境での実施可能性について実証した。

4. 研究成果

本研究課題に関して以下の成果を得るとともに、学術論文（査読誌）1報，学会発表2件を通して公表した。

本研究の核心は中学校，高等学校，及び大学において交配実習を実践し，将来的な普及の端緒とすることであった。そのために，2019年度中に交配に供試する系統の生育条件や，中学生が行うことを前提とした，現場に即した手順を詳細に検討し，2020年度から本格的に学校での実践を行うための準備を進めた。しかし，2019年末からのコロナ禍により，2020年度は当初，学校自体が閉鎖される事態に陥り，その後も移動が制限された。2021年度も状況は大きくは変わらず，長野県内での感染状況の悪化に伴い，中学校での実習が直前に中止になることもあった。そのため，研究計画を1年間延長した。

一方，コロナ禍を奇貨として，中学校でのICTの普及が進み，生徒が手もとに端末を備え，授業を受けることが日常となった。大学でも，講義はウェブに接続していることが前提となり，講義や実習の様態，進行は様変わりした。

これらの状況の変化に対応するとともに，中学校，高校の教員の協力を得て，それぞれ3回，2回の実習を行うことができた。大学では2020年度以降3回，計66名の学生を対象として交配実習を行った。これらの実践の過程で行ったアンケート調査や講義分析等の結果から，この実習が「観察時の驚きを通じた遺伝現象への関心の誘導」という点で当初の目的を達成するものであることが示された。

(1) 学校で実施可能な交配実習のプロトコルの確立

交配には白および黄の無性胞子を形成する *A. nidulans* の栄養要求性変異体を用いた。これらの系統を親として非選択的条件で共培養すると菌糸が融合し，その中で核融合がおこる。続いて選択条件に移して培養を続けると，約1週間で，融合核において減数分裂がおこり，子のう胞子（＝有性胞子，配偶子）を含む閉子のう殻（子実体）が形成される。閉子のう殻は実体顕微鏡下で観察，操作可能で，子のう胞子はそれ自身が分裂するため，3日後には培地上で形質を観察できる。つまり，約2週間で，細胞融合と核融合（接合），交配と対立遺伝子の分離を視覚化できた。菌糸を融合させることで2倍体の形質も観察できるので，対立遺伝子の相互作用としての形質の決定機構を考察することもできた。

計画当初，管理機関から入手した系統を用いて準備した親系統では，融合菌糸を選択的条件で共培養したとき，一方の系統が優勢に生育する問題が生じた。交配自体には問題はなく，遺伝の法則に則った分離が確認されたが，中学校で交配実習を行う際には，不要な混乱や誤解のもととなる。そのため，異なる栄養要求性マーカーや菌糸の融合法等について検討し，この問題を解決した。

無性胞子の色の違いは連鎖していない遺伝子座における変異によるものであり，交配によって，次世代で野生型の緑の系統が得られる。ただし，本菌は relative heterothallism の特性を示すため，同じ遺伝子型の核間でも融合がおこる。異種の核間における交配の確率はそれぞれの遺伝的背景の影響を受けるが，今回構築した親系統間では，後代の1/2で観察された。以下に示す学校での実践において，異種の核間での交配の確率が非常に低くなり，検討段階の結果との齟齬が生じた。この問題の解決のために，親系統における栄養要求性変異の組合せについて検討を行い，ほぼ全ての後代が異種の核間の融合によって生じる交配系を得たが，学校での実践に供試するには至らなかった。

これらの結果，最短14日間で，交配と後代の形質の観察を行うことができるコアプロトコルを確立した。さらに，前後に数日間ずつの日程をとることにより，親系統における栄養要求性の確認や，後代の分離比の統計的解析も含めた発展プロトコルも作成した。また，個々の試薬の必要性や水の純度，滅菌法等の細部にいたるまで検討を行い，設備や費用の問題についても詳細に対応策を示した。ただし，2週間で実習を行うためには30℃での培養が必要であり，広く普及することを考え，室温で生育速度を維持した系統の選抜を進めている。

(2) 遺伝のしくみを学ぶ実習の実践

2020，2021年度に長野県内の中学校の第3学年，いずれも生徒数5名の学級で18日間の間に計4回，通常の教育活動内で交配実習を実施した。生殖・遺伝の単元は事前に終えており，実習時には運動とエネルギーについて学習していた。地学を専門とする中学校教員が進行し，大学を含む他校の教員がオブザーバーとして同席した。中学校では授業時間が50分間であり，実質的には35分間程度の作業時間という制約の下でも問題なく実習を実施できた。作業の各段階でアンケート調査を行ったが，特に，最終回の調査では交配後の後代を観察した際に，全ての生徒が「驚いた」「予想外だった」というキーワードを記しており，この実習が「観察時の驚きを通じた遺伝現象への関心の誘導」という点で当初の目的を達成するものであることが示された。2022年度には，別の中学校で，生徒数38名の通常規模のクラスにおいて実践を行った。実体顕微鏡の数等，制約のある状況下ではあったが，教材やデモンストレーションの試料を工夫することによって円滑に実施でき，普及への見通しがたつた。交配後の後代を観察した際のアンケート調査では，前年度までと同様に多くの生徒から「驚いた」，「予想外だった」というキーワード引き出し

ただけではなく、普段の授業では意欲を示していなかった生徒が熱心に取り組む様子が認められた。実習を進行した教員はこの点を特に高く評価し、「教材としての力」という言葉で、本研究計画の意義、重要性を表現した。

高等学校では、約9割の生徒が選択する「生物基礎」でメンデルの遺伝が扱われていないこともあり、正課の授業内で交配実習を行うことはできなかった。しかし、異なる高等学校で、科学部、理科部の課外活動として、少数の生徒を対象とした実習を2020年度と2022年度に行った。時間の制約も緩く、設備、機器も十分に準備して行うことができ、生徒からは遺伝のしくみに関する興味関心が湧き、理解が深まったとの反応を得た。その結果を踏まえ、今後、「生物基礎」の正課の授業内で行うための検討を始めることになった。

2020年度から3年間、信州大学の一年次共通教育科目「遺伝学入門ゼミ」の一部として実施した実習では、交配後の後代の分離比の統計的解析までを含め、大部分の学生が想定した結果を得ることができた。アンケート調査を通じて、生物学が専門分野に直接関わる学生だけではなく、社会科学系の学生をも含めて、遺伝学への関心と理解を深める実習としての有用性が確認できた。

これらのことから、各段階での対応、調整は当然必要なものの、中学校から大学まで、幅広い生徒、学生に対して、遺伝学への関心を誘起し、理解を深める実習教材としての有用性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊藤 靖夫, 矢口 紘史, 小山 茂喜	4. 巻 64
2. 論文標題 実習教材としての糸状菌Aspergillus nidulansの教材化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生物教育	6. 最初と最後の頁 140-146
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤 靖夫
2. 発表標題 交配を体験するための糸状菌Aspergillus nidulansの教材化
3. 学会等名 日本生物教育学会 第105回 全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 靖夫, 小山 茂喜, 矢口 紘史
2. 発表標題 中学校及び大学での糸状菌Aspergillus nidulansの交配実習
3. 学会等名 日本生物教育学会 第107回 全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小山 茂喜 (Koyama Shigeki) (10452145)	信州大学・学術研究院総合人間科学系・教授 (13601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------