

# 高等学校生物「遺伝子とその働き」における 観察・実験に関する研究

— 遺伝子を扱う教材・教具の開発と活用方法の構築を通して —

## 【研究の概要】

次代の科学技術イノベーションにつながる遺伝子分野の実験を生徒に体験させるためには様々な課題を解決し、現状の実験の在り方を検討し、授業の充実を図ることが必要である。

そこで本研究では、本県のPCR法を中心とした遺伝子分野の実験の実施状況を調査し、それをふまえて、教員の要望に対応した教材・教具を開発した。そして、その効果的な活用方法を検討し、教員が観察・実験を行いやすい環境を整えた。

キーワード：高等学校生物， 遺伝子， PCR法， 実態調査， 教材・教具の開発

平成 31 年 3 月  
岩手県立総合教育センター  
長期研修生  
所属校 岩手県立千厩高等学校  
熊谷 篤

## 《目 次》

I	研究主題	1
II	主題設定の理由	1
III	研究の目的	1
IV	研究の目標	1
V	研究の見通し	2
VI	研究構想	2
1	研究についての基本的な考え方	
(1)	遺伝子を扱う技術に関する社会的な関心の高まり	2
(2)	科学技術イノベーションを担う人材の育成	2
(3)	教員へのアンケート調査から見える課題	2
(4)	本研究の意義と独自性	3
2	教材・教具を開発するための手立て	3
(1)	教科書に示されている遺伝子分野の実験・観察に関する調査	3
(2)	実態調査	4
(3)	実態調査の分析	5
(4)	教材・教具の開発	6
3	検証計画	7
(1)	生徒向け意識調査	7
(2)	授業実践	7
(3)	生徒向け授業アンケート	7
(4)	教員向け調査	7
4	研究構想図	11
VII	教材・教具の開発	12
1	遺伝子技術の有用性への実感を伴う身近な材料の活用	12
2	簡易的な実験器材や、安全性の向上	13
(1)	安全性向上のための抽出法の確立や試薬の検討	13
(2)	サーマルサイクラーを使用しないPCR法の開発	15
(3)	各種実験器具の作成	16
(4)	安価な電気泳動装置の作成	17
3	生徒が遺伝子をより深く学べる工夫	18
4	実験解説書の作成	19
VIII	授業実践	21
1	生徒向け意識調査の結果と考察	21
2	授業実践の概要	22
(1)	実践対象	22
(2)	実践日程と内容	22

3	授業実践の流れ	22
(1)	第1時限	22
	ア 本時のねらい	22
	イ 授業展開	23
(2)	第2時限	24
	ア 本時のねらい	24
	イ 授業展開	24
(3)	第3時限	25
	ア 本時のねらい	25
	イ 授業展開	25
4	結果の分析および考察	27
(1)	生徒向け授業アンケートの結果と考察	27
(2)	教員向け調査の結果と考察	29
	ア 実験解説書に関する意見	29
	イ 授業実践に対する意見	30
	ウ 新しく開発した教材・教具に対する意見	31
	エ 今後遺伝子実験を実施するために必要な支援	32
IX	研究の成果と課題	33
1	研究の成果	33
2	今後の課題	33
X	引用文献および参考文献	34
	資料	36

## I 研究主題

高等学校生物「遺伝子とその働き」における観察・実験に関する研究  
ー遺伝子を扱う教材・教具の開発と活用方法の構築を通してー

## II 主題設定の理由

内閣府の科学技術政策である科学技術イノベーション総合戦略(2017)では、ゲノム\*編集など遺伝子を扱う技術による次世代育種技術の開発や、病原体の遺伝情報をもとにした感染症の迅速な診断法等の開発・実用化など、遺伝子を扱う様々な技術の発展が重点取組事項とされている。また、こうした分野の技術力向上のため、初等中等教育段階から次代の科学技術イノベーションを担う人材を育成することが重要視されている。一方、海外では日本に先行して、次代の人材育成を目的とした遺伝子リテラシー教育が、STEM\*\*教育の一環として行われている(大藤, 2016)。

現行の高等学校学習指導要領解説理科編理数編(2009)においては、「遺伝子を扱った技術については、幾つかの例についてその原理と有用性を扱い、遺伝子の増幅技術に触れる」とされており、平成30年3月に公示された次期高等学校学習指導要領解説理科編理数編(2018)においても同様の内容が踏襲されている。また教科書でも、遺伝子解析や組換え技術の原理や実験例が紹介されている。しかし、貝沼ら(2005)によれば、遺伝子分野の実験(DNAの組換え実験)を実施する上で、「器材がない」、「予算がない」、「経験がない」といった3つの障害があることが報告されている。また、実験の実施例が多いと思われる文部科学省指定のスーパーサイエンスハイスクール(以下SSHとする)指定校を中心とした生物担当教員に対するアンケート(笹川ら, 2009)では、「学校単独での実施例はまだ少なく、実験を行うには連携先となる大学等の理解・支援が重要である」と報告されている。

このように、遺伝子分野の実験の実施には様々な課題があると考えられるが、次代の科学技術イノベーションにつながる遺伝子分野の実験を生徒に体験させる機会を増やすためには、この分野の観察・実験の在り方を構築し、授業の充実を図ることが必要と考えられる。そこで本研究では、本県における観察・実験の実施状況をふまえた教材・教具を開発する。そして、その効果的な活用方法を構築することで、教員が観察・実験を行いやすい環境を整えたい。

## III 研究の目的

次代の科学技術イノベーションにつながる遺伝子分野の実験を生徒に体験させるため、観察・実験の在り方を構築し、遺伝子に関する授業の充実に資することを目的とする。

## IV 研究の目標

本県の遺伝子分野の観察・実験の現状をふまえて、必要とされる教材・教具を開発し、その効果的な活用方法を構築することで、教員が観察・実験を行いやすい環境を整えることを目標とする。

---

\* ゲノムとは、分子生物学的にはタンパク質を作り出している遺伝子を含めた、全てのDNAの塩基配列を示す言葉であり、日本語では「全遺伝情報」と訳される。

\*\* STEMは、Science(科学)、Technology(技術)、Engineering(工学)、Mathematics(数学)の4つの科目を統合し、関連性を持たせて学ぶアメリカ発祥の新しい教育分野である。

## V 研究の見通し

本研究では、本県の生物担当教員に対して、遺伝子分野の授業や実験の実態を調査し、その課題点や教員に必要とされているものを明らかにする。その調査を基に、本県の実態をふまえた遺伝子分野の教材・教具の開発を行う。さらに、授業実践を通して教材・教具の活用方法を構築し、教員が遺伝子分野の観察・実験を実施できる環境を整え、次代の科学技術イノベーションにつながる遺伝子実験を生徒に体験させる機会を増やす。

## VI 研究構想

### 1 研究についての基本的な考え方

#### (1) 遺伝子を扱う技術に関する社会的な関心の高まり

中央教育審議会答申の「新しい時代における教養教育の在り方について」(文部科学省, 2002)では、遺伝子操作技術などが、その使い方をめぐって倫理的課題を含む様々な問題を生み出すと予測している。実際に厚生労働省の意見として、すでにゲノム解析技術の進歩やゲノム情報と疾病リスクとの関連に関する知見の集積、国民の健康意識の高まりを背景に、消費者向け遺伝子検査ビジネスの利用者が増え、その信頼性やプライバシー保護の問題が生じており、社会環境の整備が必要であると指摘されている。しかし、「学校教育や社会教育の中でゲノムリテラシーを醸成する機会がほとんどなく、ゲノム情報をめぐる科学的・倫理的問題を国民一人一人が解釈・解決できる状況とは考えにくい」(厚生労働省, 2016)ことから、その改善が必要であると報告している。

#### (2) 科学技術イノベーションを担う人材の育成

科学技術イノベーションとは、「科学的な発見や発明等による新たな知識を基にした知的・文化的価値の創造と、それらの知識を発展させて経済的・社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」と定義されている(菅ら, 2017)。その実現のための政策として、科学技術イノベーション総合戦略(2017)があり、遺伝子を扱う技術を利用した技術開発も盛り込まれている。例えば、新たな遺伝子組換え技術であるゲノム編集を用いて、品種改良にかかる時間を短縮し、新たな農林水産物の開発・普及を行うこと、病原体の遺伝情報を基に、病気や感染症の迅速な診断と治療法を開発すること、個人の遺伝情報に応じて、より効果的な治療法や投薬を行うことができる、オーダーメイド医療を実現することなどである。

また、このような次代の科学技術イノベーションを担う人材の育成を促進するため、初等中等教育段階から、「その能力・才能の伸長を促すとともに、増えつつある理数好きの児童生徒の一層の拡大を図ること」(内閣府, 2017)が重要とされている。

#### (3) 教員へのアンケート調査から見える課題

貝沼ら(2005)がサイエンスパートナーシッププログラム(SPP)で行った研修会に参加した中学校・高等学校の教員に行ったアンケートにおいて、中・高等学校の理科実験室で組換えDNA実験が2002年以降できるようになったことに対し、賛成であると答えた割合は、中学校教員が63%

であるのに対して、高等学校教員は76%と高い割合を示しており、その興味・関心の高さが窺える。しかし、同調査において「実際に学校現場で教えるだけの設備も予算も不十分である」という意見にもあるように、遺伝子分野の実験に使われる器材には数十万円するものも存在し、実験の実施をより困難にしている実状がある。また、笹川ら（2009）の調査によれば、実験の実施例が多いと思われるSSH指定校であっても、遺伝子に関する実験を実施した学校は、38.3%であり、その中でも高等学校単独での実施はさらに少ないと報告されている。また、急速に進歩するバイオテクノロジーに伴って、教科書の内容が年々変化しており、新しい遺伝子分野に対する教員の知識が追いついていない点も実験が実施されない要因の一つになっていると考えられる。

#### (4) 本研究の意義と独自性

貝沼ら（2003）によれば、中・高校生を対象とした遺伝子組換えの体験学習を通して、DNAに関する理解度を測るテストを行ったところ、知識・理解の向上が見られたと報告されている。同研究では、体験学習に参加した高校生の感想として「学習意欲が湧いてきた」、「この体験学習は私の“生物”に対する視野を広げてくれたと思う」など約80%の生徒が参加して良かったと述べた、と報告している。また、山内ら（2012）の行った高校生物におけるPCR\*法を利用した遺伝子判定実験を大学生に行ったところ、「先端技術に触れた感じがして感動した。高校時代にこのような実験を行いたかった」、「高校生の時は、この単元はただひたすら覚えるだけだったが、遺伝子やDNAを実際に扱うことで効率よく理解できた」、「教科書に書かれていることが実際に目の前で起こると、感動するとともに、もっと詳しく知りたいと思った」という感想が述べられており、遺伝子分野における実験が、この分野の理解や感動、もっと詳しく知りたいという知的好奇心につながることを示唆されている。また、高等学校生物における科学技術の発展を踏まえた実験の在り方についての実践的研究によれば、文理選択をする前の生徒に遺伝子実験を実施したところ、大半の生徒が遺伝子実験を楽しみと感じ、実験体験による科学の学習の有用性や科学技術関連業種（技術者）への興味・関心を高める効果があると報告されている（奥村，2018）。さらに、井上ら（2018）の行った遺伝子を活用する能力を向上させるための遺伝子実験の試みによれば、「遺伝子を扱った実験を体験することによって生徒の興味・関心の度合いが高まると、効果的な学びが達成できる」と報告されている。

こうした理由から遺伝子分野の実験を生徒に体験させるためにも、学校単独で実験ができる効果的な教材・教具を開発し、その活用方法を構築することが必要であると考えられる。

## 2 教材・教具を開発するための手立て

### (1) 教科書に示されている遺伝子分野の実験・観察に関する調査

各出版社の教科書について、遺伝子分野の実験・観察の内容を比較したところ、電気泳動法や遺伝子組換え実験、PCR法が多く取り上げられているが、その内容の取扱い方には出版社毎に差が見られた。また、初めて実験を行う教員にとって必要な、準備や操作について詳細に記載されておらず、単独で実験を実施することが困難であると思われた。これをふまえて、遺伝子を扱う

---

\* PCRとは、Polymerase Chain Reaction（ポリメラーゼ連鎖反応）の頭文字を取った用語で、ごく微量のDNAを短時間で増幅する技術である。

授業や実験での指導方法や特にどんな観察・実験が行われているかという点、それらに必要な教材・教具を明らかにするため、以下に示すアンケートを作成した。

(2) 実態調査

実態調査のため、以下に示すアンケート【図1】を県内の生物担当教員を対象に任意回答で、2018年6月14日～7月6日の期間で行い、51名から回答を得た。その回答の全ての結果を、p.36の【資料1】に示した。また、質問番号12の自由記述欄の全ての回答内容については、p.37の【資料2】に示した。

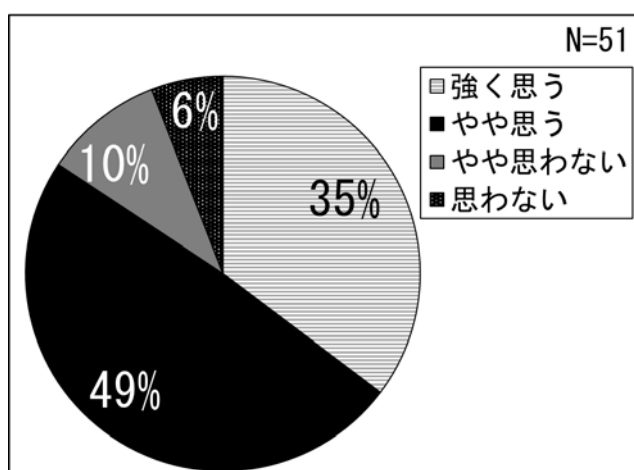
調査目的 遺伝子を扱う授業や実験での指導方法や頻度、実施方法についてお聞きします。					
質問番号	質問内容				
1	該当する年齢層を教えてください。	20代	30代	40代	50代以上
		①	②	③	④
2	担当したことがある科目について教えてください。(複数回答可)	生物	生物基礎	科学と人間生活	該当なし
		①	②	③	④
3	右に書かれている遺伝子分野に関する用語のうち、授業で扱ったことがあるものを教えてください。(複数回答可、該当するものが無い時はノーマーク)	PCR	遺伝子組換え	制限酵素	ベクター
		①	②	③	④
4	PCRや遺伝子組換えなど、遺伝子を扱う技術について、授業の中でどのように指導していますか。(複数回答可)	生徒実験を行う	演示実験を行う	補助教材(写真、映像)	教科書のみ
		①	②	③	④
5	PCRや遺伝子組換えなど、遺伝子を扱う技術の実験を、授業で何回実施したことがありますか。	10回以上	5～9回	1～4回	0回
		①	②	③	④
6	右に書かれている実験のうち、高校教員となってから、生徒に実施、又は御自身が経験したものを教えてください。(複数回答可、該当するものが無い時はノーマーク)	PCR	電気泳動	タンパク質の発現	遺伝子組換え
		①	②	③	④
7	PCRや遺伝子組換えなどの遺伝子分野の実験を、どのようにに生徒に実施、又は御自身が経験しましたか。(複数回答可)	所属校単独で実施	大学等と連携して実施	教員向け研修のみ	経験していない
		①	②	③	④
8	遺伝子分野の実験で使用する器具のうち、所属校でお持ちのものを教えてください。(複数回答可、不明の場合はノーマーク)	サーマルサイクラー	電気泳動装置	マイクロピペット	その他
		①	②	③	④
9	8で、「④その他」と回答した方は、具体的な器具の名称をお答えください。				
10	貴校で遺伝子に関する実験を行う場合、どのような情報や補助が必要だと思いますか。(複数回答可)	器材の貸出	予算確保	教材・教具	指導案
		①	②	③	④
		試薬	詳細なマニュアル	低コスト化の方法	教員向け研修会
⑤	⑥	⑦	⑧		
11	遺伝子分野の技術は、社会的な関心が高まっていますが、今後生徒に対して、遺伝子を扱う技術に実際に触れる機会を増やした方が良いと思いますか。	強く思う	やや思う	やや思わない	思わない
		①	②	③	④
12	自由記述欄(遺伝子を扱う技術に関して、こんな教材や教具が欲しいなど、普段お考えのことがあれば記入をお願いします。)				

【図1】県内における遺伝子を扱う授業や実験の実態調査

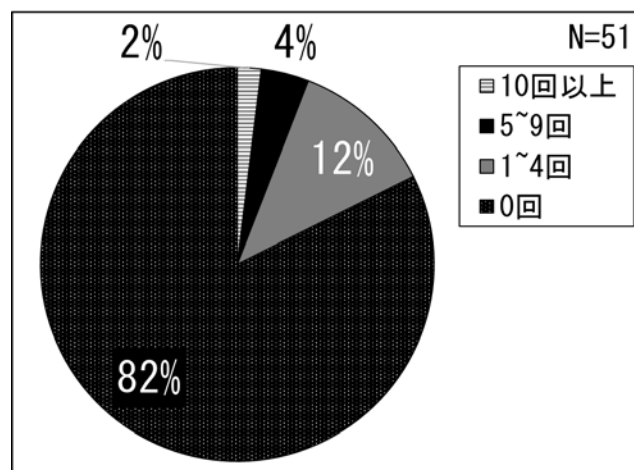
### (3) 実態調査の分析

今回の実態調査において、【図2】のように遺伝子を扱う技術に触れる機会を増やすべきかという質問に対して、84%が「強く思う」、「やや思う」を選択し、この分野を生徒に体験させたいと考える教員の割合の高さが明らかとなった。しかし、授業で遺伝子実験を行っていないと答えた教員は【図3】のように82%であり、93%の教員が、教科書と補助教材を使った授業を行っていることが分かった【図4】。

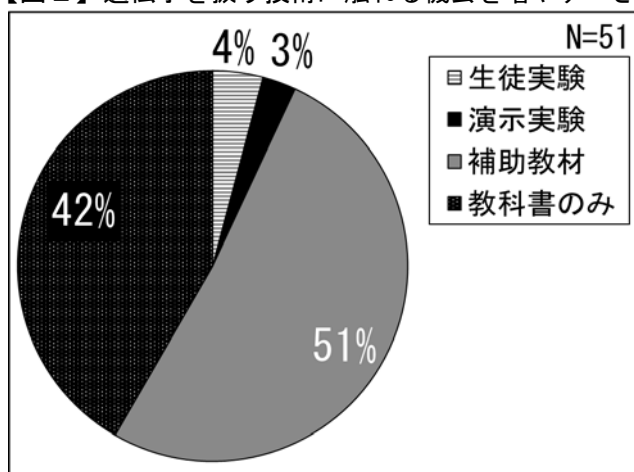
一方で、高等学校教員となってから教員自身や教員が生徒に経験させた実験の種類としては、PCR法と電気泳動において、それぞれ45%が経験したことがあると回答があり、貝沼ら(2005)が10年前に行った調査で報告した、教員の遺伝子実験に対する「経験がない」という状況が、県内では変化しつつあると思われる。この調査から、PCR法や電気泳動は教員や生徒の関心が高い実験であるとも考えられる【図5】。



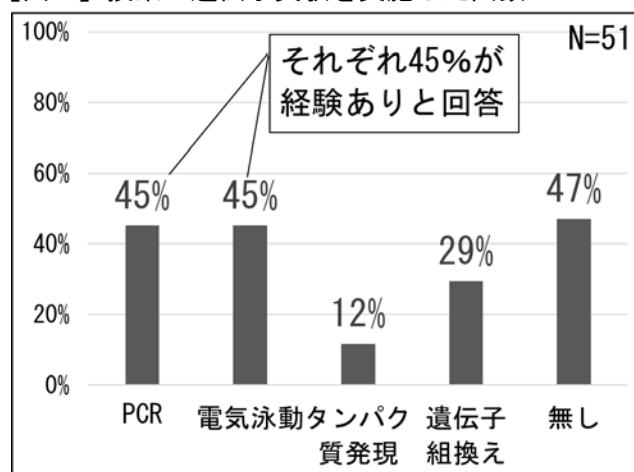
【図2】 遺伝子を扱う技術に触れる機会を増やすべきか



【図3】 授業で遺伝子実験を実施した回数



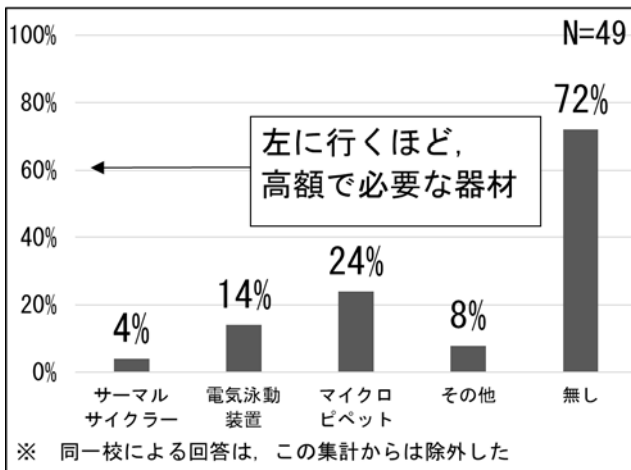
【図4】 遺伝子分野の授業における指導方法



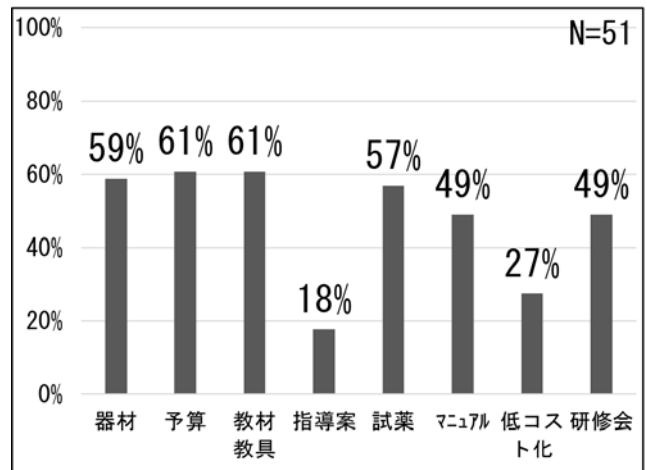
【図5】 生徒や教員自身が経験した遺伝子実験

しかし、【図6】のように、PCR法に必要な温度制御を行う装置であるサーマルサイクラーのような高額な器材であるほど、持っているとの回答は少なく、全てを持っていると回答した高等学校が49校中2校(4%)だけだった点からも「器材がない」、「予算がない」という県内の現状を示していると思われる。





【図6】高等学校で所有している器材



【図7】遺伝子実験実施に必要な情報や補助

また、【図7】のように、今後遺伝子実験実施に必要な情報や補助は何かという質問に対し、指導案や低コスト化と答えた人数が少なかった。このことは、県内の生物担当教員が、指導案を用意する以前に遺伝子分野の実験を行うための予算等を含めた環境がほとんど整備されていない点と、遺伝子分野の実験を行うにはある程度の費用が必要である点を理解しているとも考えられ、まずは実験を行う環境を整えることが重要だと示唆しているとも考えられる。

さらに、自由記述欄にあった回答の中には、単純に実験器具が高額であるからという理由以外にも、実験に何が 필요한のかを具体的に示す資料が不足しているとの指摘もあった。その他にも高校生物は、教えなくてはならない内容が多いため、実験に充てられる授業時間が少なく、できるだけ手軽にできる実験を紹介して欲しい、遺伝子実験を行う際の法律の知識などのガイドラインが不明で、生徒にそれを守って行わせられるか不安である、実験結果に実感が伴わない、実際の実験操作の映像が欲しいなどの意見があり、このような点を考慮し、教科書で扱われている内容を用いて、教員や生徒の経験が比較的多いと思われるPCR法を中心とした教材・教具の開発や授業実践を行う必要があると考えた。

#### (4) 教材・教具の開発

調査結果の分析から以下の点に注目してPCR法中心の教材・教具の開発を行うこととした。

- ① 遺伝子を扱った技術の有用性への実感を伴う身近な材料を使う。
- ② 入手や製作が容易な実験器材や、安全性を向上させる実験の構築を行う。
- ③ 実験を体験した生徒が、遺伝子を扱った技術の有用性を学べる工夫を行う。
- ④ 教員が実施しやすい実験にするため、教科書で取り上げられている実験を基にして実験準備や試薬の入手方法、実験後の処分方法なども加えた、詳細な解説書を作成する。

①に関して、第一学習社「高校生物」の教科書に掲載されているイネの品種判別実験には、「コシヒカリ」、「あきたこまち」、「ひとめぼれ」という3つの品種が用いられており、「金色の風」、「銀河のしずく」といった岩手県産品種は用いられていない。これらの岩手県産品種は、岩手県農業研究センターにおいて開発された品種(岩手県農業研究センター2016, 2017)であり、県産食材の利用を通じて、生徒の農林水産業への理解を進め、遺伝子実験に対する興味・関心を持って

もらう題材としても活用できると考えた。そこで、教科書で扱われている3つの品種の代わりに県産品種が実験に活用可能か検証する。

②については、遺伝子実験に使用されている試薬の中には、フェノールやエチジウムブロマイドなど、高校生の実験で扱う試薬としては危険性が高いものがあるため、そのような試薬を極力用いない方法を検討する。また、電気泳動を行える簡易的な装置を開発し、教員の安全管理や実験実施の準備の負担を減らす。

③の実現のために、遺伝子実験を含めた授業が作業的な内容とならないよう、実験器具操作の練習や遺伝子を扱った技術の安全性や有用性を学ぶ場面を作り、より理解を深められるような資料、テキスト、ペーパークラフトなどを作成する。

④については、第一学習社「高校生物」の教科書で取り上げられている、PCR法を用いたイネの品種判別実験を基に、高額な実験キットを用いない方法を開発し、その詳細な解説書を作成する。解説書によって現場の教員が単独で実験が行われるようになれば、生徒が遺伝子に触れる機会を増やせるものとする。

### 3 検証計画

開発した教材・教具を用いた授業実践を行い、教材・教具のさらなる充実を図るため、下記の通り、授業実践及び事前・事後のアンケート調査を行う。

#### (1) 生徒向け意識調査

対象 岩手県立千厩高等学校 普通科理系 3学年 生物選択者 男 6名 女 10名 計 16名  
内容 生徒のバイオテクノロジーに関わる用語の知識や以前に遺伝子実験を体験しているか、実験に対する不安や楽しみにしていることなどを調査する。詳細を p. 8 の【図 8】に示した。

#### (2) 授業実践

期日 平成 30 年 9 月 26 日～9 月 27 日

対象 岩手県立千厩高等学校 普通科理系 3学年 生物選択者 男 6名 女 10名 計 16名  
内容 PCR法を用いたイネの品種判別実験を題材として、新しく開発した教材・教具を用いた実験方法やその活用方法について3時限の授業実践を行う。

#### (3) 生徒向け授業アンケート

対象 岩手県立千厩高等学校 普通科理系 3学年 生物選択者 男 6名 女 10名 計 16名  
内容 授業実践で行われた遺伝子実験を通して、生徒がどのような知識や感想を得たか、今後も遺伝子実験を体験したいかなどを調査する。詳細を p. 9 の【図 9】に示した。

#### (4) 教員向け調査

対象 岩手県立千厩高等学校のクラス担当教諭及び実習教諭、県内生物担当教員 9名  
内容 事前に配付するPCR法を用いたイネの品種判別実験の詳細な解説書に対する評価及び授業実践の内容に関する感想や意見を調査する。また、県内生物担当教員 9名に授業の映像や資料を見ていただき感想や意見を調査する。詳細を p. 10 の【図 10】に示した。

1. 遺伝子を利用する技術の中で、聞いたことがあるものを(a)～(g)よりすべて選んでください。  
(a) PCR法 (b) 電気泳動法 (c) 制限酵素 (d) ベクター  
(e) 親子鑑定 (f) 遺伝子検査 (g) 遺伝子組換え作物
2. 遺伝子実験を高校生物の実験で行うことについて(a), (b)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) 不安を感じる  
不安を感じる場合、どのような点に不安を感じますか。具体的にお書きください。  
(b) 楽しみにしている  
楽しみにしている場合、どのような点が楽しみですか。具体的にお書きください。
3. これまでに体験したことがある遺伝子に関する実験を(a)～(d)よりすべて選んでください。  
(a) 野菜や果物からDNAを取り出す実験  
(b) 自分の頬の内側の細胞をこすり取ってPCR法を使って調べる実験  
(c) お菓子などから遺伝子を取り出す実験  
(d) 体験したことはない  
その他
4. 遺伝子に関する話題を家族とすることがありますか。(a)～(d)より1つ選んでください。  
(a) 話題になることがあり、家族でも遺伝子に関する話題をよくしている。  
(b) 話題になることがあるが、それほど遺伝子に関する話題を話すことはない。  
(c) 話題になったことはないが、自分は遺伝子に関する話題を気にしている。  
(d) 話題になったことも、気にしていることもない。
5. 自分の体質を調べる遺伝子検査キットが販売されるようになってきましたが、これまでにそのような商品を見たことや聞いたことはありますか。(a), (b)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) 見たことや聞いたことはない。  
(b) 見たことや聞いたことがある。  
上記の質問で**(b)と回答した人**にお聞きします。具体的にどんな体質を調べるものだったかお書きください。
6. 今度行う遺伝子実験にはコメを使う予定です。これまでに聞いたことや食べたことがあるコメの品種について具体的に名称をお答えください。
7. 今度行われる遺伝子実験について、質問や疑問、配慮してほしいことなどを書いてください。

【図8】生徒向け意識調査

1. PCRの原理は理解できましたか。(a)～(c)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) よく理解できた (b) 理解できた (c) 理解できなかった  
上記の(c)と回答した人にお聞きします。どの部分が理解できませんでしたか。
2. 電気泳動の原理は理解できましたか。(a)～(c)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) よく理解できた (b) 理解できた (c) 理解できなかった  
上記の(c)と回答した人にお聞きします。どのような部分が理解できませんでしたか。
3. 遺伝子に関する実験を体験した感想について、当てはまるものを(a)～(e)よりすべて選んでください。  
(a) 科学に対する興味・関心がますますわいてくる内容だった。  
(b) 自分の今後の学習に役立つ内容だった。  
(c) ふだん使うことのない実験器具を使って楽しかった。  
(d) これまで知らなかったことを学べて感動した。  
(e) 内容が難しすぎて、あまり興味がわかなかった。
4. コメの遺伝子に対する新たな発見や知識が得られましたか。(a)～(c)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) とても得られた (b) 得られた (c) 得られなかった  
上記の(a),(b)と回答した人にお聞きします。どのような発見や知識が得られましたか。
5. 今回の授業で、特に印象に残った実験を(a)～(c)より1つ選んでください。  
(a) マイクロピペットの使い方とλマーカの電気泳動  
(b) 人カサーマルサイクラー  
(c) イネの品種判別実験
6. 今回は行いませんでしたが、遺伝子組換え実験のような他の遺伝子に関する実験も体験してみたいと思いますか。(a)～(c)より1つ選び、あなたの考えをお書きください。  
(a) ぜひ体験したい (b) 体験したい (c) 体験したくない  
上記の(c)を選んだ人にお聞きします。なぜ参加したくないか、その理由をお書きください。
7. 今回の授業全体を通して、感じたことや考えさせられたことを書いてください。

【図9】生徒向け授業アンケート

### 1. 実験解説書について

今回の実験解説書は、教科書に記載されている実験を再現し、県産品種を実験に導入するために作成したものです。次のA~Cの質問については、①~④から1つ選び解答欄にご記入ください。Dについては、解答欄に合わせてご記入ください。

#### A. 実験を行うために必要な情報量

- ① 十分 ② どちらかという十分 ③ どちらかという不十分 ④ 不十分

#### B. 内容の見やすさ

- ① 見やすい ② どちらかという見やすい ③ どちらかという見にくい ④ 見にくい

#### C. 補足資料の内容

- ① 十分 ② どちらかという十分 ③ どちらかという不十分 ④ 不十分

#### D. 今回作成した実験解説書について、特に印象に残った部分とその理由、また課題点

### 2. 授業実践について

本研究は遺伝子実験を体験した生徒が、感動し、新たな学びへとつながることを目標の1つとして行っておりますが、今回の授業を通して、評価できる点と課題点について、解答欄にそれぞれご記入ください。

### 3. 新しく開発した教材・教具について

今回の授業実践で使用した新しい教材・教具について、次のA~Eの質問について、良い点と悪い点をそれぞれ（ ）にご記入ください。

#### A. 自作の電気泳動装置を使用した実験器具の練習について

- ・良い点（ ） ・悪い点（ ）

#### B. 人力サーマルサイクラーによってPCRの原理を学ぶ実験について

- ・良い点（ ） ・悪い点（ ）

#### C. 岩手県産品種のコメを題材として用いた点について

- ・良い点（ ） ・悪い点（ ）

#### D. 安全性の高いDNAの抽出法や染色液について

- ・良い点（ ） ・悪い点（ ）

#### E. 実験を効率的に進めるための工夫について(3Dプリンターで作成したチューブ立て等)

- ・良い点（ ） ・悪い点（ ）

### 4. 実施に必要な支援

A. 今後、実験解説書をもとに今回行ったような授業を先生方が行う場合、必要とされる支援について、次の①~⑧の中からお選びください。(複数回答可)

- ①器材の貸出 ②予算確保 ③教材・教具 ④指導案  
⑤試薬 ⑥詳細なマニュアル ⑦低コスト化の方法 ⑧教員向け研修

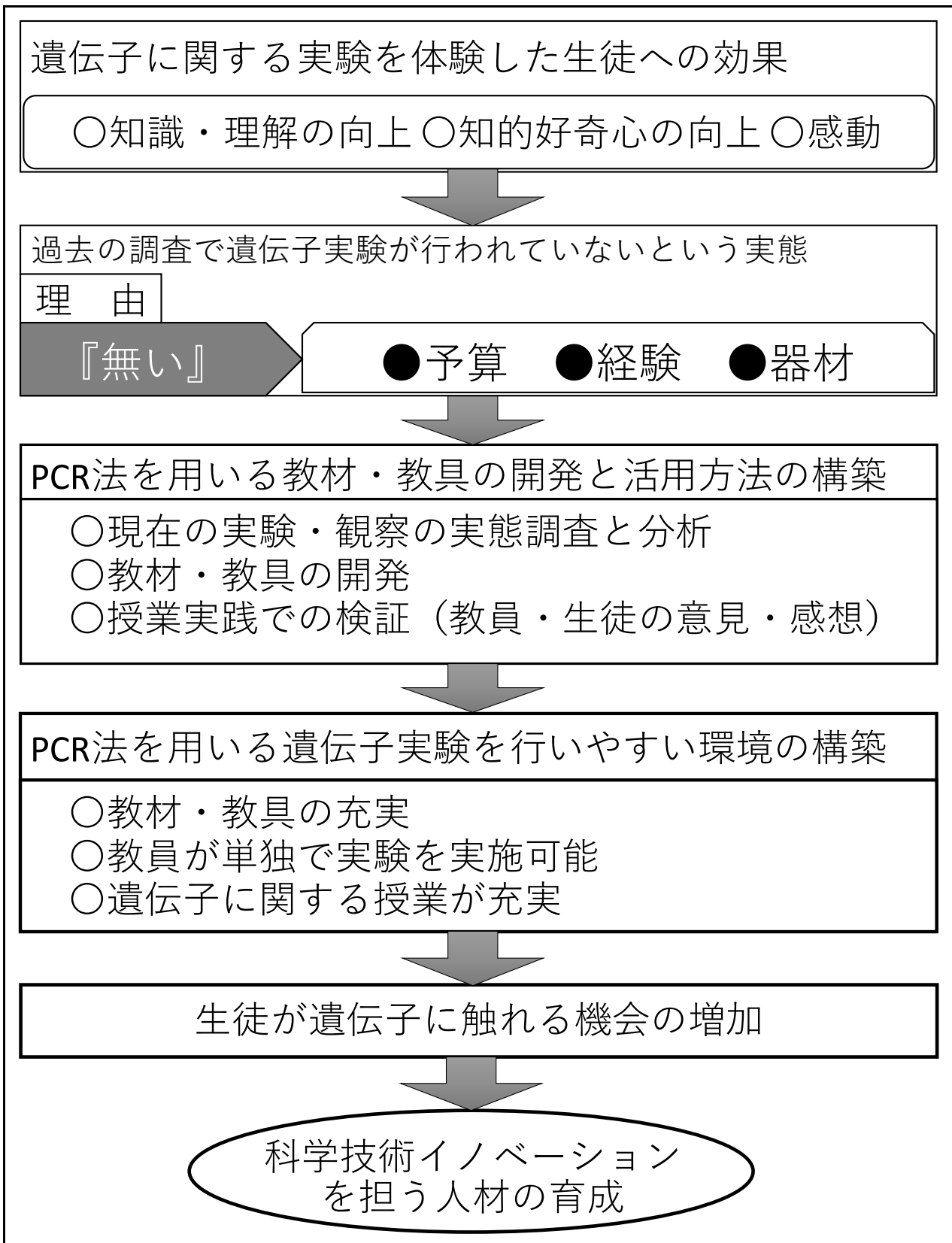
B. 実験解説書の充実のために、遺伝子分野の授業について、他の教育実践の情報や実施例、題材や教材などをご存知であれば、内容を簡単にお書きください。

C. 全体を通して、質問や意見があればお書きください。

【図10】教員向け調査

4 研究構想図

本研究を進めるにあたり，基本的な考え方を【図 11】に示す。



【図 11】 研究構想図

## VII 教材・教具の開発

### 1 遺伝子技術の有用性への実感を伴う身近な材料の活用

第一学習社「高校生物」の教科書に掲載されているイネの品種判別実験では、ひとめぼれ、あきたこまち、コシヒカリの3つの品種を用いて、「いもち病耐性遺伝子 *Pii*」と「コシヒカリ由来の塩基配列」の有無から品種判別を行い、その結果についても解説が行われているため、品種判別を行ったという達成感が得られにくいのではないかと考えた。そこで本研究では、教科書に掲載されていない県産品種である金色の風、銀河のしずくを使用して同様の品種判別実験が可能か検証を行った。その結果、金色の風とひとめぼれ、銀河のしずくとあきたこまちが同様のバンドパターンを示すことが確認された【図 12】。

実際の授業では、県産品種の遺伝的特性を、実験によって生徒自身が解き明かすことで、実際に研究室などで行われている遺伝子鑑定を再現し、県産食材やバイオテクノロジーの有用性への認識を高め、生徒の興味・関心を高める効果があると考えられる。



【図 12】各品種の PCR 法による遺伝子の比較結果と模式図

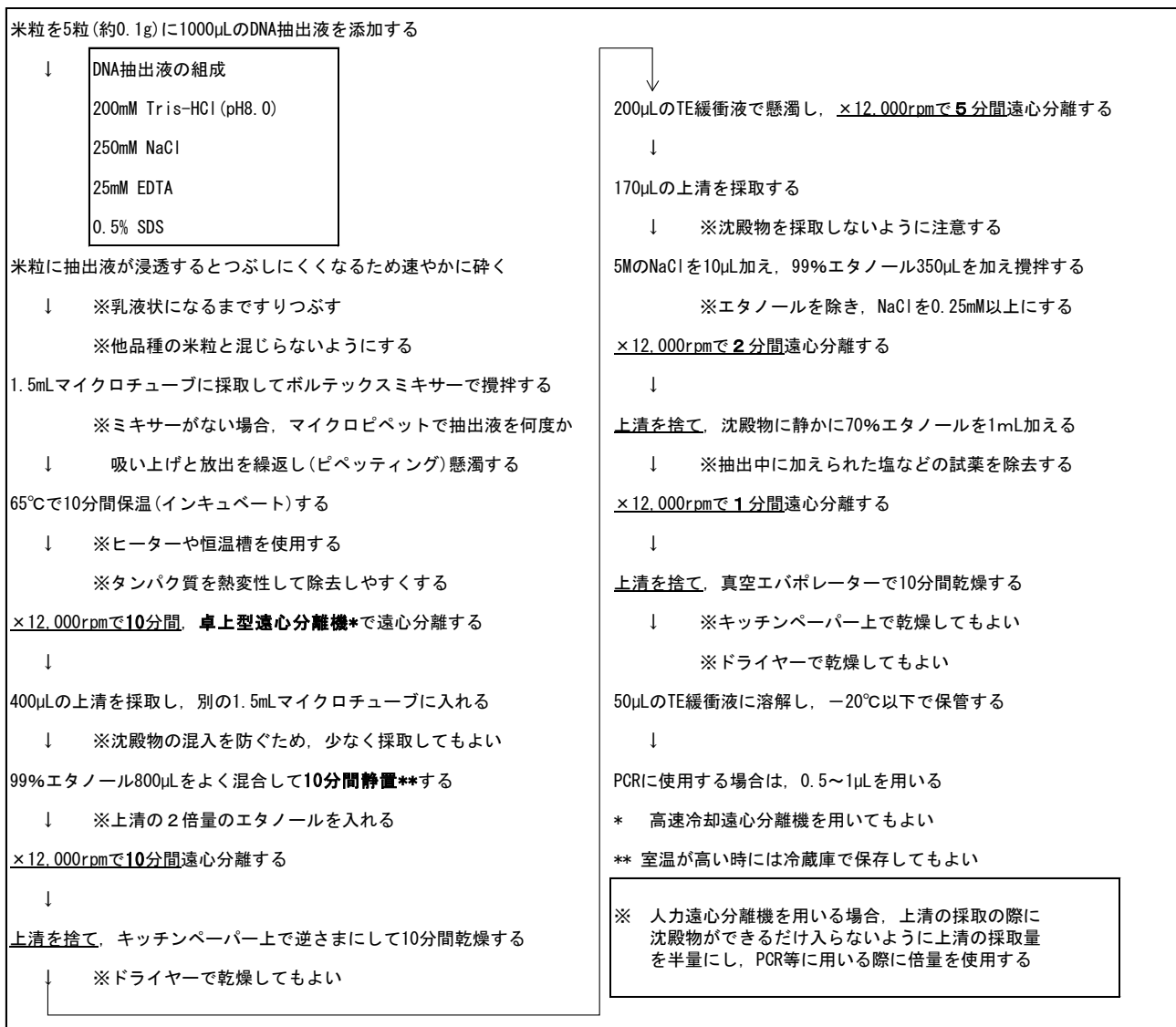
## 2 簡易的な実験器材や、安全性の向上

### (1) 安全性向上のための抽出法の確立や試薬の検討

教科書の実験方法では、実験キットを用いて、直接米粒を削って PCR に用いる方法が使用されている。そこで、このような実験キットを用いない方法の構築を行った。

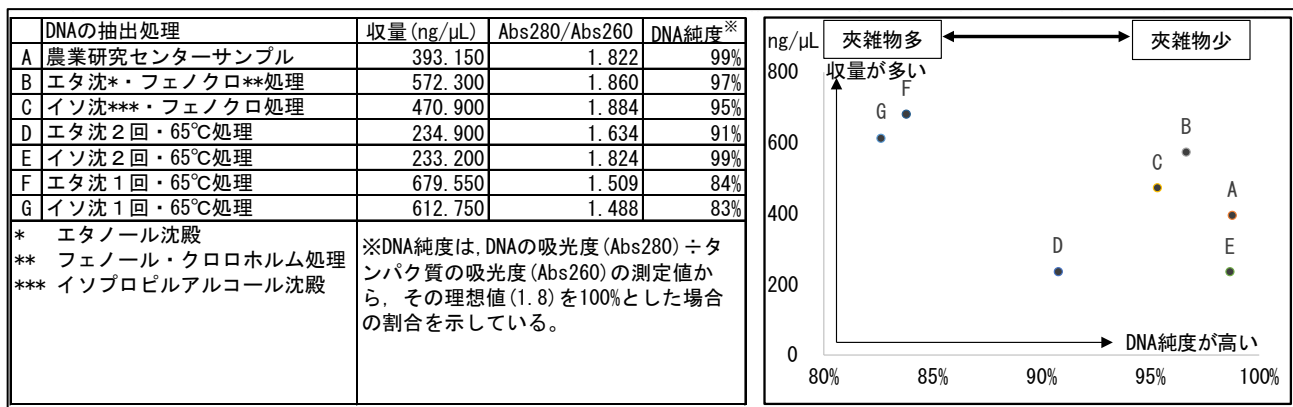
兵庫県農業技術研究センター(2000)の報告を参考に、米粒からの DNA 抽出法を検討したが、この方法では、PCR 反応を阻害する炭水化物や糖質、タンパク質などの夾雑物を除去するために、劇物であるフェノールが使用されていた。フェノールは使用後の処理なども必要であり、実験実施の妨げになると考えられた。そこで、フェノール処理を行わずに、DNA を精製するためのエタノール沈殿を 2 回行ったところ、PCR 法に使用できる状態の DNA が得られた【図 13】。また、岩手県農業研究センターの協力を得て、抽出した DNA の純度を測定したところ、【図 14】に示したように、フェノールを使用した場合よりも DNA の収量が少なくなるものの、精製されていることが確認できた。

この抽出方法では、米粒 0.1g(5 粒)から、50~100 班分の DNA が採取できる。また、DNA 抽出の際に必要な器材は、総合教育センターから借用が可能である。



【図 13】 米粒からフェノールを使用せずに DNA 抽出を行う手順





【図 14】 様々な方法で抽出した DNA の純度 ※岩手県農業研究センターにて測定

教科書に掲載されているイネの品種判別実験では、あらかじめ DNA 蛍光染色液(エチジウムブロマイド)を溶かしたゲルを用いて電気泳動の結果を確認しているが、この染色液には発がん性があるとされている。そのため、多くの班で生徒実験を行う際には、実験操作や処理に関する注意喚起が必要となり実験が煩雑になりやすい。そこで、発がん性がなく同様の結果が得られる試薬の選定を行った【図 15】。

富士フィルム和光純薬株式会社の SAFELook™プレグリーン核酸染色液は、エチジウムブロマイドと同じようにゲルに溶かして使用する「先染め」が可能な試薬であり、発がん性がないとされている。また、エチジウムブロマイドでは、有害な紫外線を照射する UV トランスイルミネーターが必要であるが、この試薬は 490nm の波長の青色光 LED でも発光可能である。

関東化学株式会社の ViewaBlue® Stain KANTO は、発がん性がなく可視光下で DNA の確認が可能な染色液である。そのため UV トランスイルミネーターを必要とせず、最も生徒の安全に配慮できる染色液である。しかし、電気泳動後に染色と脱色を行う、「後染め」を行わないと明瞭な染色結果が得られないため、その場で結果を確認することができない。後日結果を確認する授業展開に向いていると考えられる。全ての試薬を使用してバンドパターンを得ることができた。推奨するわけではないが、エチジウムブロマイドを使用する場合は、生徒全員に手袋を装着させ、染色液に触れた際の対処法を教え、生徒がゲルに触れないように教員が補助する必要がある。

	SAFELook™プレグリーン	ViewaBlue® Stain	エチジウムブロマイド(EtBr)
染色像			
価格	高額	安価	安価
発がん性	無	無	有
結果確認	強力なUVライトか490nmLED	可視光(特別な装置不要)	強力なUVライト必要
観察	泳動後すぐ観察可能	染色・脱色が必要	泳動後すぐ観察可能
扱い易さ	生徒が扱える	後日でも観察可能	様々な配慮が必要

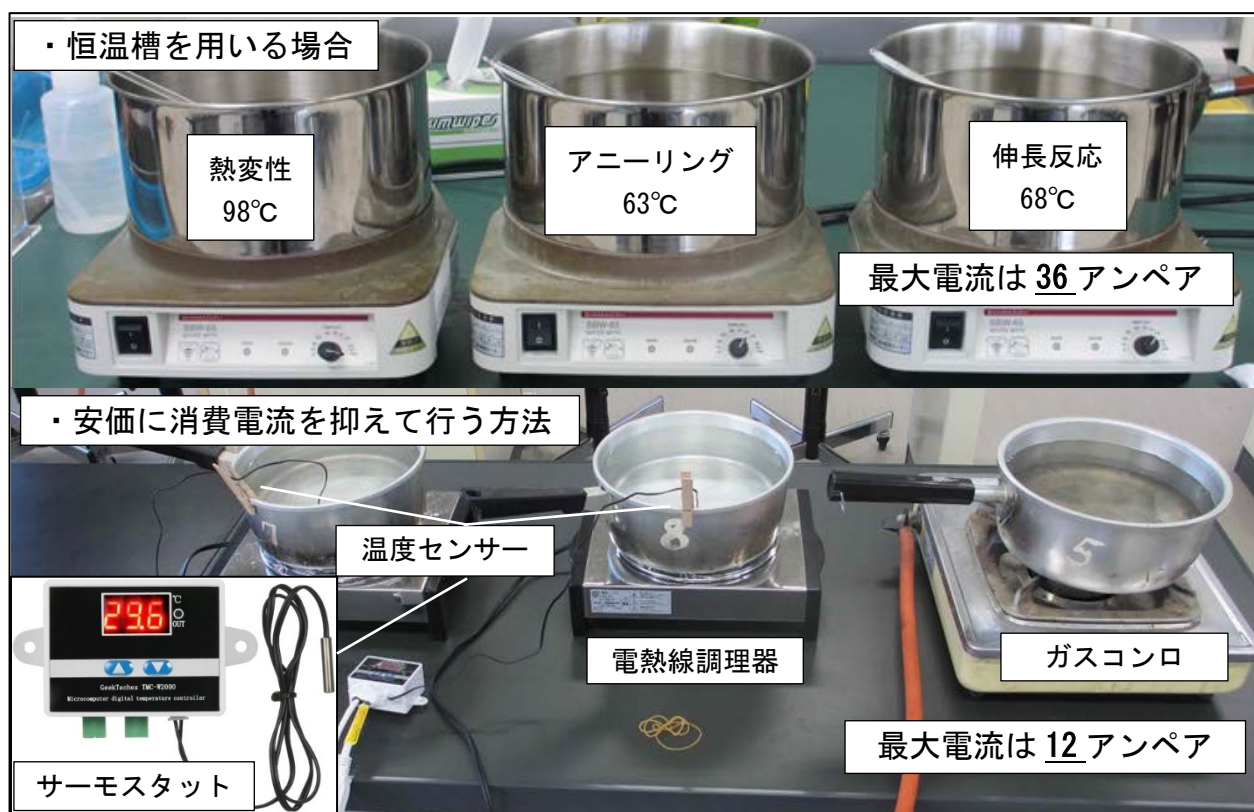
※背景色の違いは、染色液及び光源の違いによる影響

【図 15】 各 DNA 染色液における発色の違い

(2) サーマルサイクラーを使用しない PCR 法の開発

教科書では、サーマルサイクラーを用いた PCR 法が紹介されている。しかし、サーマルサイクラーは高額な実験器具であり、実態調査において 49 校中 2 校(4%)しか所有していないことが明らかになった【図 6】。そこでサーマルサイクラーが行っている温度制御を生徒自身に行わせる「人力サーマルサイクラー」(薄井, 2015)の手法を用いて、サーマルサイクラーがなくても PCR ができる実験方法を構築することにした。

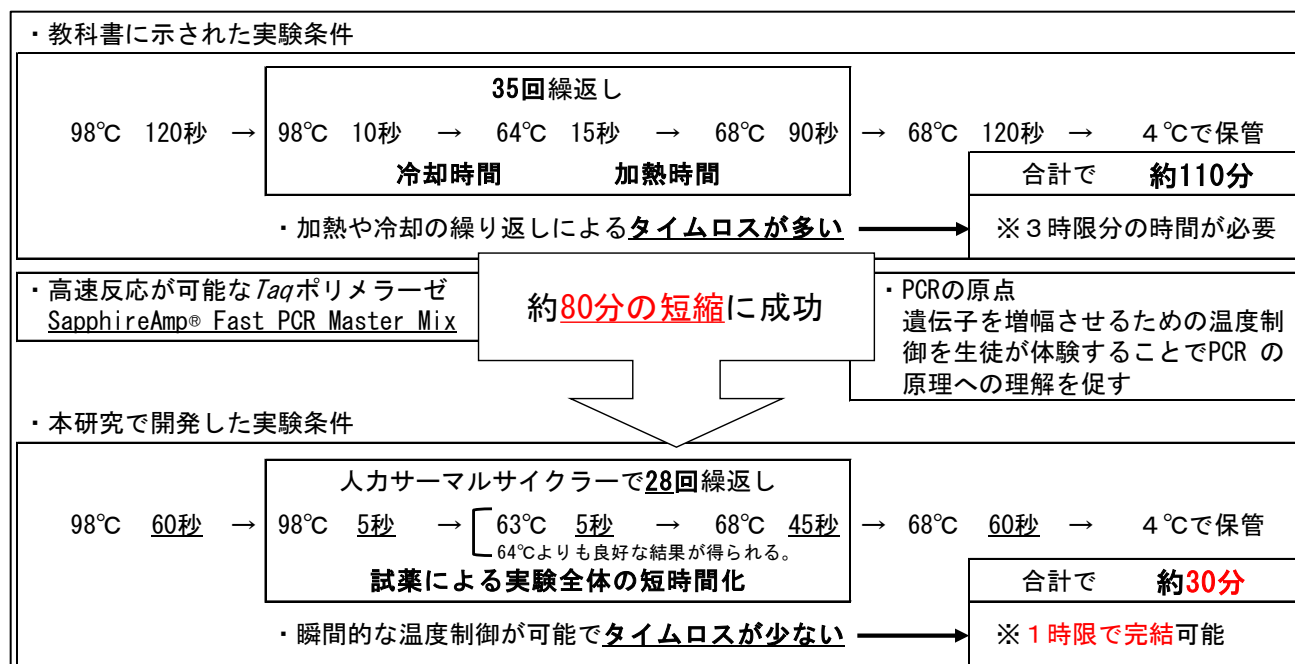
イネの品種判別実験を人力サーマルサイクラーで行う際の問題点として、温度制御に高価な恒温槽を複数用意しなければならず、消費電流が大きいと実験室のブレーカーが落ちてしまうという問題点があった。そこで、【図 16】のような、2,000 円程度で販売されているサーモスタット(温度調整器)と電熱線調理器とガスコンロを用いて、同様の実験が可能となる方法を開発した。サーモスタットは、恒温槽よりも安価で細かい温度設定が可能であり、電熱線調理器以外でも電気で加熱を行う機器であれば、全ての家電製品に利用が可能である。また、最大電流も抑えられるためより実験の実施が容易になると考えられる。



【図 16】 恒温槽を用いる実験装置と、安価に消費電流を抑えて行う方法

次に、50 分授業に合わせた実験が実施しにくいという点である。教科書の方法では、サーマルサイクラーが PCR を行うだけで、110 分の時間を要する。これは、加熱や冷却を行うヒートブロックの温度変化に時間がかかるためである。人力サーマルサイクラーは、直接恒温槽間を移動させて温度変化ができるためサーマルサイクラーよりも短時間で PCR が可能であるという特性がある。しかし、それでも 70 分かかるため、50 分授業で完結させることができなかった。そこで、通常の *Taq* ポリメラーゼ(DNA 合成酵素)よりも反応時間や温度制御の繰り返しを減らすことが可

能な試薬であるタカラバイオ株式会社の Sapphire Amp® Fast PCR Master Mix を用いて実験を行うことで、約 30 分で実験が可能になった【図 17】。



【図 17】 本研究で開発した実験条件における時間短縮の効果

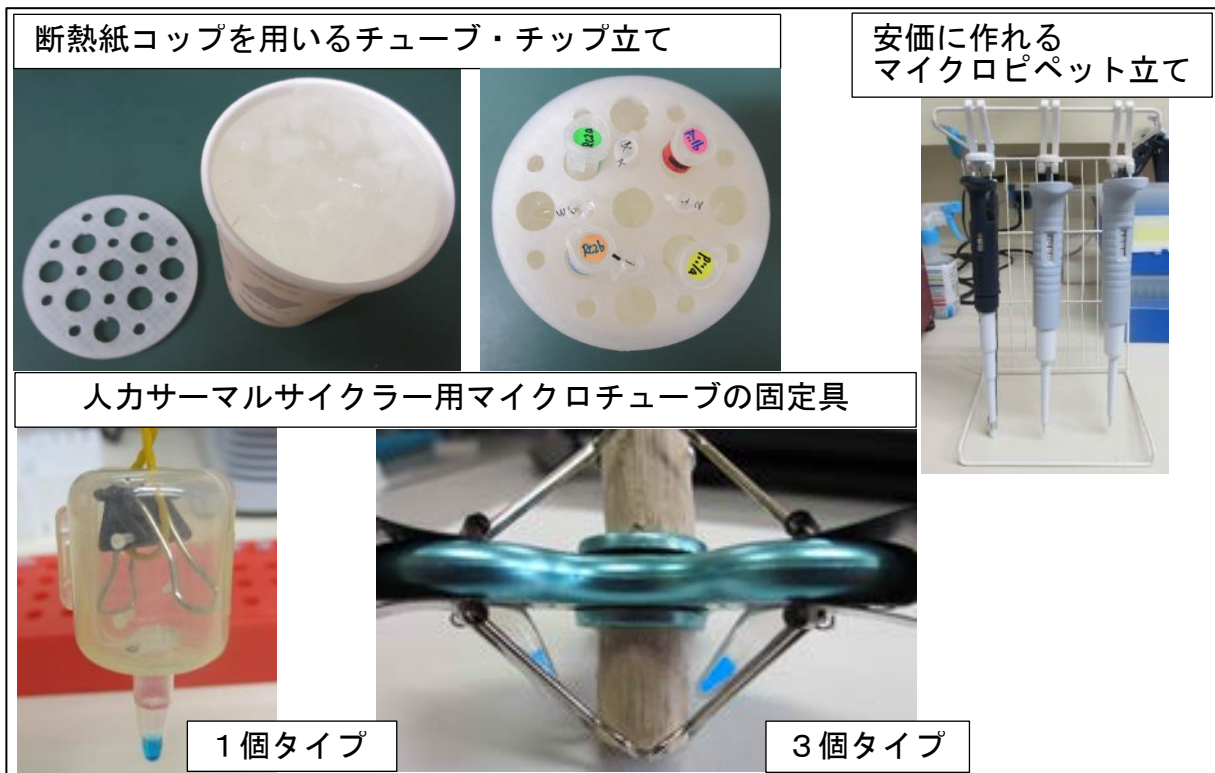
### (3) 各種実験器具の作成

実験を行う際に、班ごとに必要な試薬を冷やしたままで配付できるように、断熱性の紙コップと組み合わせて使用できるマイクロチューブ立てとピペットチップ立てを、3Dプリンターで製作した【図 18】。断熱性紙コップは通常の紙コップよりも強度があり、防水加工されているため再利用も可能で、安価に購入できる。従来は、チューブを発泡スチロール製の容器で氷冷していたが、チューブが容器内で転倒しやすいことや、大量に氷を詰めないと使用できず保管に場所をとる問題があった。しかし、今回作成した器具は、マイクロチューブの転倒を防ぎ、器具と紙コップを重ねれば、場所をとらずに保管が可能である。

また、マイクロピペットは、遺伝子実験に欠かせない実験器具であり、先端部の破損や汚れを防ぐ必要がある。そこで 120 円で作成できるマイクロピペット立てを考案した【図 18】。食器を収納するためのワイヤー棚とワイヤーネット用のフックを使ってマイクロピペットを 2～4 本立てかけることができる。未使用時は収納棚としても活用できる。曲げ伸ばしによって、比較的簡単にサイズを調整でき、一番長い P1000 サイズのピペットも立てかけられる。

さらに、従来的人力サーマルサイクラーでは、PCR 用マイクロチューブを割りばしと輪ゴムで挟む方法で実験を行っていた(薄井, 2015)が、加熱や圧力によってチューブが破損する問題があった。そこで 100 円で販売されている回転式のおもちゃ(ハンドスピナー)や釣り針を保護するケース(エギ用カンナカバー)と防水糸、ダブルクリップ(15, 25 mm)を用いてチューブに圧力をかけずに加熱できる器具を開発した【図 18】。

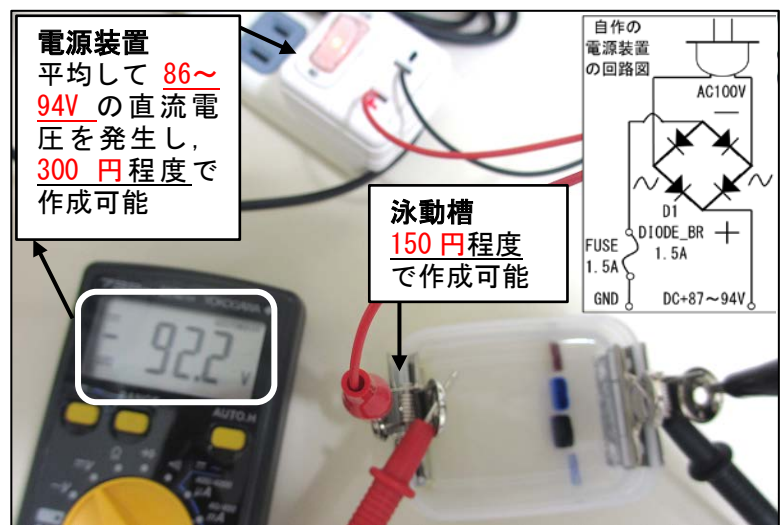




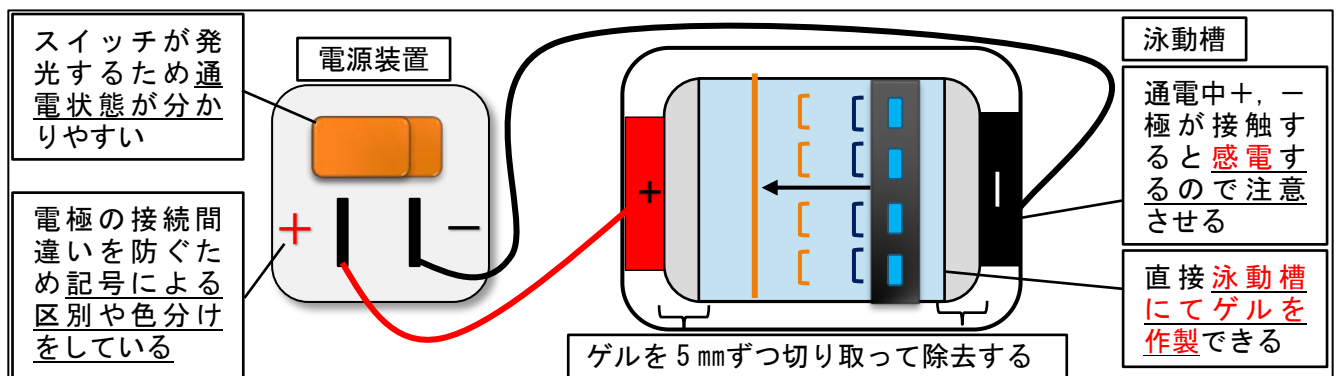
【図 18】 開発した各種実験器具

(4) 安価な電気泳動装置の作成

450 円程度の材料で、半田ごてを使用せずに組み立てられる電気泳動装置を開発した【図 19, 20】。これは電気泳動に必要な 100V 近い直流電圧が得られる電源装置と、直接ゲルを作製可能な泳動槽で構成されている。また、電極にはステンレス線とろ紙を用いることで、電気泳動による緩衝液の温度上昇を抑えている。



【図 19】 安価な電気泳動装置 (電源装置・泳動槽)



【図 20】 安価な電気泳動装置の模式図

### 3 生徒が遺伝子をより深く学べる工夫

【図 21】のように、実験器具の使い方や実験方法、PCR の原理を学ぶことができる生徒向け実験テキスト及びプレゼンテーション資料を作成した。授業実践ではこれを利用して実験方法の説明や実験器具の操作練習、実験の意義や実験技術の応用例について解説を行った。

②生徒向け実験テキスト(教員用に答えが記載されているものです)  
Ver. 2010/11

## やってみよう遺伝子実験！！



### PCR法を用いたイネの品種判別実験 のテキスト

(模範解答付き教員用テキスト)

66

#### 2 実験に必要なテクニックを習得しよう！

☆ まずは制限酵素 (*Hind* III) で λ (ラムダ) ファージの DNA をばらばらにした入マーカーを使って、実験器具の操作に慣れよう！

(1) 今回使用する実験器具の紹介

(ア) マイクロピペット

① マイクロピペット【図 1】は 1.0 mL (= 1000 μL) 以下の液体を測り取る。P200, P20, P2 は、それぞれ① 50～200 μL ② 2～20 μL、③ 0.1～2 μL の容量を測り取ることを示している。

② 目盛り調節ダイヤルを回してセットする(図 2)。ダイヤルはゆっくり回す必要はない。

③ 親指でプッシュボタンとチップイジェクターボタンを押せるようにハンドグリップを握る。




● マイクロピペット各部の名称			● 容量設定目盛りの見方		
容量設定目盛り			P20	P200	P1000
チップホルダー	ピペットチップ	目盛り調節ダイヤル	1	1	0
チップイジェクター	ハンドグリップ	チップイジェクターボタン	2	2	7
		プッシュボタン	3	5	5
			12.5 μL	125 μL	0.75 mL

※注意  
故障の原因となるため、目盛り調節ダイヤルを回す際には、容量の範囲を超えて回さないようにすること。

【図 1】 マイクロピペットの各部の名称と使用上の注意

-2-

品種名	遺伝子名	いもち病抵抗性遺伝子 <i>Pii</i>	コシヒカリ由来の塩基配列
コシヒカリ		×	○
あきたこまち		○	×
ひとめぼれ		○	○

③ 今回調べる品種は、岩手県で開発された品種です！

**A 金色の風**  
2017年に岩手県農業研究センターで開発された。岩手県産高熱品種で食味・食感が優れている。

**B 銀河のしずく**  
2016年に岩手県農業研究センターで開発された。炊き上がりの白さと冷めてもおいしい食味が特徴である。

**概要！** 二つの岩手県産品種が、いもち病抵抗性遺伝子 *Pii* とコシヒカリ由来の塩基配列を持っているか調べてみよう。

(2) どうやって目に見えない遺伝子を判定する？

A. 目に見えるくらい増やせば OK！

☆ その方法を PCR 法(① ポリメラーゼ連鎖反応)という。(参考資料 1)

熱変性 ② 98°C

伸長反応 ④ 68°C

アニーリング ③ 64°C

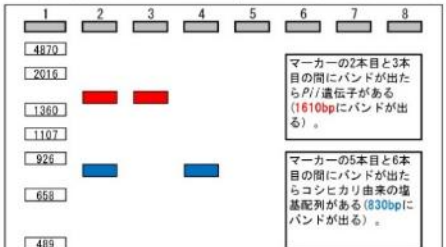
→ 通常はサーマルサイクラーという機械を使う…が、今日は

66

#### 5 実験結果を考察しよう

(1) 電気泳動結果の確認

一番左側にあるサイズマーカー(pHY マーカー)が基準となります！



② 考え方

☆ 実験結果から分かったことを、空欄に書き込んでみよう。

品種名	遺伝子名	いもち病抵抗性遺伝子 <i>Pii</i>	コシヒカリ由来の塩基配列
コシヒカリ		×	○
あきたこまち		○	×
ひとめぼれ		○	○
金色の風		○	○
銀河のしずく		○	×

(3) 自分なりの言葉で結論を書いてみよう。

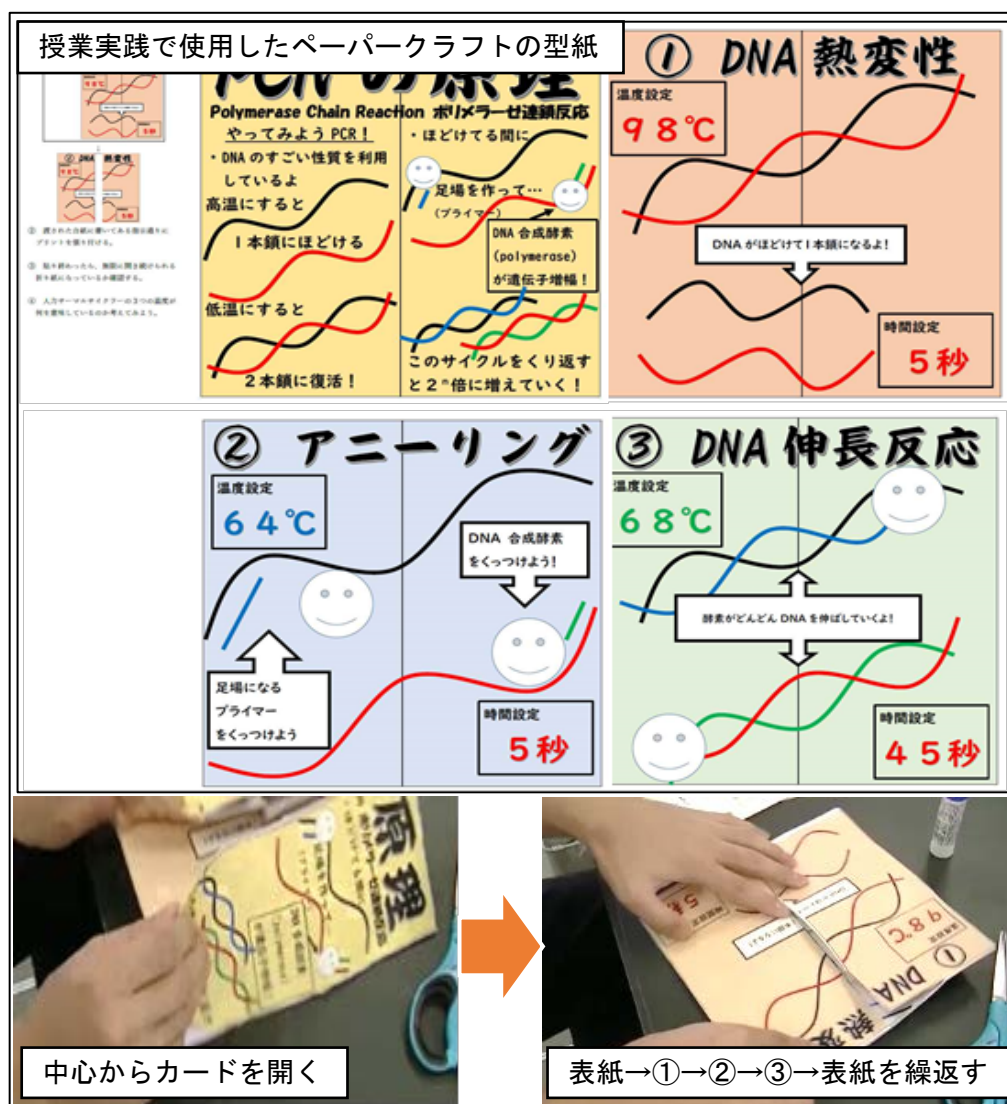
○ 金色の風は、いもち病抵抗性遺伝子を持ち、コシヒカリ由来の塩基配列を持つ。

○ 銀河のしずくは、いもち病抵抗性遺伝子を持ち、コシヒカリ由来の塩基配列を持たない。

-12-

【図 21】 生徒向け実験テキスト

また、PCR の原理を学べるペーパークラフトを作成した【図 22】。これは、無限に開けるカード (endless card) を利用したもので、4 枚の絵が繰り返し現れる特徴に着目し、同じ温度変化を繰り返すサーマルサイクラーが設定温度ごとに何を行っているかを視覚的に学ぶことができる教材である。授業実践では、2 人一組で行った人力サーマルサイクラーにおいて、片方の生徒が人力サーマルサイクラーを行っている間に、もう片方の生徒がこのペーパークラフトの作成を行った。このように時間を有効に使うことができ、作成したものをを用いて、実験中やその後に PCR の原理を何度も確認することが可能である。



【図 22】 PCR の原理を学べるペーパークラフト

#### 4 実験解説書の作成

PCR 法を用いたイネの品種判別実験では、教員も生徒も使用した経験が少ない器材や試薬を数多く使用するため、遺伝子実験の経験の少ない教員が実験を生徒に指導できるように教員用の詳細な実験解説書を作成した【図 23】。解説書は、PCR の原理や実験に使用する器材とその方法、試薬の調整方法や実験方法、本研究で作成された教材・教具、指導のための展開案、理解を深めるための補足資料などで構成した。





# やってみよう！ 遺伝子実験

PCR法を用いる実験の解説書  
～PCR法を用いたイネの品種判別を題材として～



©いらすとや

## ◇サーマルサイクラー

サーマルサイクラーは、プログラムされた温度変化を自動的に制御して PCR に必要な条件を作り、DNAを増幅するための機械です。

この機械には、「サーマルブロック」と呼ばれる PCR 反応液を入れたマイクロチューブをセットする金属ブロックがあります。この金属ブロックにはヒーターが内蔵されており、あらかじめ設定したプログラムの通りに反応液の温度を上下させることができます。

サーマルサイクラーは、現在様々な形状や価格のものが販売されており、年々その価格も下がってきています。しかし、自分で装置を組み立てるキットであっても 10 万円前後なので、この実験のために装置を購入することは難しいと思います。そこで本書では、サーマルサイクラーの構造である、**恒温槽を使って温度制御を人力で行う「人力サーマルサイクラー」**の実験方法を紹介します。詳細については p.34 に示しました。



【図 11】サーマルサイクラーの各部の名称や設定温度について

### 【アニーリングについて】

アニーリングとは、DNA 伸長の基となるプライマーだけを DNA にくっつけることです(p.12)。このときに必要な温度設定をアニーリング温度といい、一般的には 55～65℃に設定します(プライマーによって設定が変わります)。この温度を正確に設定するために、各プライマーの  $T_m$  値(melting temperature・融解温度)を計算する必要があります。

【図 23】実験解説書

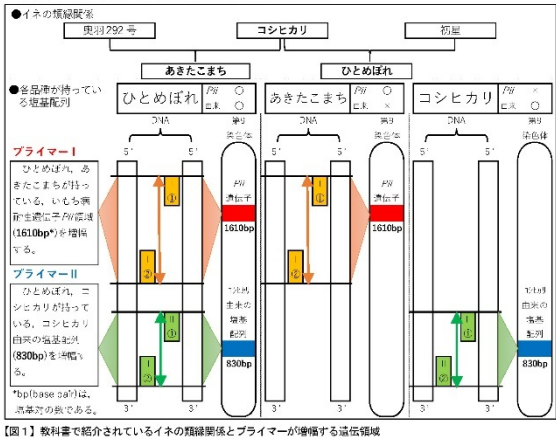
## 本編

### 実験実施の前に

本書では、第一学習社「高校生物」に掲載されている「PCRを用いるイネの品種判別実験」を題材として、知識や設備がなければ行えないとされていた遺伝子実験を、50分授業の中に取り入れるために開発した教材・教具をまとめたものです。

#### ◇イネの品種判別実験とは

イネは日本人の主食として全国で栽培や品種改良が積極的に行われています。しかし、イネや米穀は外見で区別できないため、PCRを用いた品種判別が行われています。第一学習社「高校生物」では、「コシヒカリ」、「あきたこまち」、「ひとめぼれ」について、いもち糖耐性遺伝子 *PstI* とコシヒカリ由来の塩基配列の有無から品種判別を行う実験方法が紹介されています【図1】。この実験によって、PCRや電気泳動が体験できるとも親子鑑定や品種改良など、バイオテクノロジーについてより理解を深められる教材です。



【図 1】教科書で紹介されているイネの系統関係とプライマーが増幅する塩基領域

本書ではこの実験に染色食料を用いることで、生徒の興味・関心をさらに引き出したいと考え、**異産品種のコメである「金色の風」、「銀河のしずく」も実験で使用します。**

## ②人力サーマルサイクラーを用いた PCR

### ・評価の観点

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
人力サーマルサイクラーを用いた PCR の原理と塩基配列の反応を行うことができる。	—	—	異なる温度条件の反応により、DNA が増幅されることを理解している。

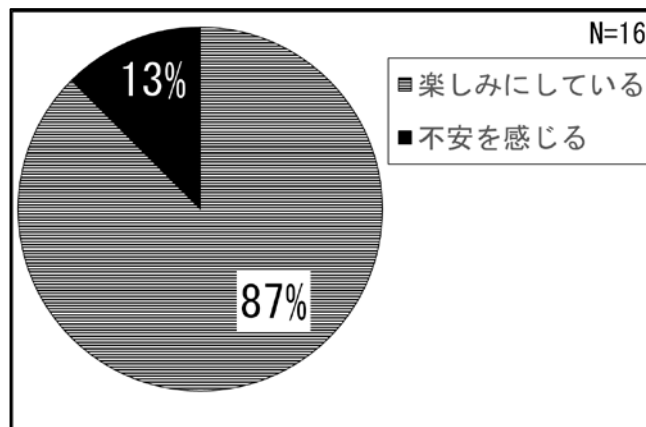
### ・授業展開

	学習活動	指導上の留意点	評価規準(方法)
導入 5分	PCR の原理及び人力サーマルサイクラーが行っている塩基配列の反応を説明する。 - 本時の実験内容を確認する。	3種類のコメの DNA 抽出液と PCR 反応液を準備しておく。 - 恒温槽の水を下部のように加熱しておく。	PCR の原理と塩基配列の反応を行うことができる。 - 本時の実験内容を確認する。
展開 45分	マイクロチューブ 3本にそれぞれ DNA 抽出液、プライマー、Sapphire Amp Taq、薄層液を規定量入れる。 - 3本のマイクロチューブを規定量に調整する。 - マイクロチューブを 98℃ で 1 分間加熱した後、98℃ で 5 秒、62℃ で 5 秒、68℃ で 5 秒の順で恒温槽で 1 分間加熱する。 - マイクロチューブを冷却後、PCR の反応を完了させる。 - 終了後、マイクロチューブを冷却後、PCR の反応を完了させる。 - 使用した道具を片付ける。	試薬をマイクロチューブに正確に入れさせる。プライマーや DNA 抽出液は誤って多く入れても問題なく反応するので注意を促さないようにする。 - 視野が暗くなるので、できるだけ薄層液を注入するようにする。 - マイクロチューブのふたがきちんと閉まっているか確認させる。 - 2人組で行い、アライメントには手を交差させることで全員に人力サーマルサイクラーを体験させる。 - 予定をしないように、特に 98℃ の恒温槽周辺では注意させる。 - ベンチワークを行う生徒に手順を説明する。 - 事前にさみおりのりを貼しておく。	PCR の原理と塩基配列の反応を行うことができる。 - 異なる温度条件の反応により、DNA が増幅されることを理解している。
まとめ 5分	人力サーマルサイクラーで行ったそれぞれの温度条件でどんな現象が起こっていたか発表させる。	PCR の原理と塩基配列の反応を行うことができる。	PCR の原理と塩基配列の反応を行うことができる。 - 異なる温度条件の反応により、DNA が増幅されることを理解している。

## Ⅷ 授業実践

### 1 生徒向け意識調査の結果と考察

授業実践前に、対象の生徒 16 名全員から回答を得られた。全ての回答を、p. 38 の【資料 3】に示した。遺伝子実験を行うことについて生徒の考えを調査したところ、87%の生徒が楽しみにしていると回答した。また、実験の危険性について不安を感じると回答した生徒も実験に反対の立場ではなく、実験内容や実験結果を理解できるかが不安であるという内容であり、多くの生徒は実験することで理解が高まるなどの肯定的な意見であった【図 24, 25】。



【図 24】 遺伝子実験を行うことに対する生徒の考え

#### ① 不安を感じると答えた生徒の意見

- ・ 遺伝子の検査を高校の授業でできること。
- ・ 若干不安もあるが、普段やらない実験を高校で行うことができる点。
- ・ 遺伝子の実物が見れるのではないかと考えている。
- ・ 生物になってから実験したことがなかったから。
- ・ 何をするのかという点。
- ・ 実験の結果が凄いい楽しみですよ!!
- ・ 授業で習ったことを実際に自分の目で見れること。
- ・ 普段座学のため、実験というだけで楽しみ。
- ・ どのような遺伝子実験をするのか楽しみ。
- ・ 実験することでより理解が深まる!
- ・ 体験したことがないので、どのような感じでできるのかが楽しみ。
- ・ 実験と通して分からなかったことが分かるようになる点。
- ・ 実験の結果を教科書からではなく、自分の力で出すこと。
- ・ 実験することが好きなので、どうなるのか楽しみです。

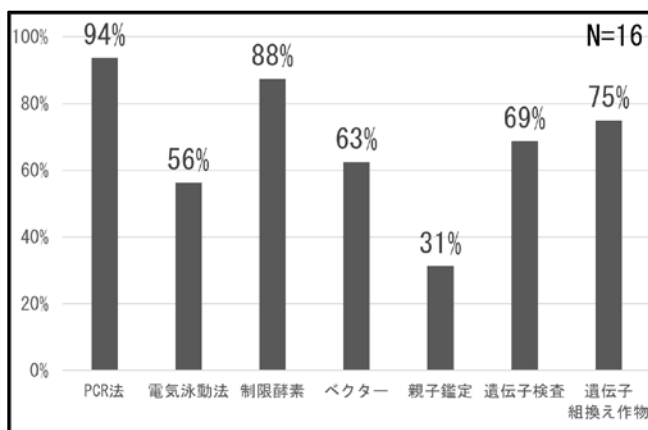
#### ② 楽しみにしていると答えた生徒の意見

- ・ 実験の過程でどういうことをしているのか、何が起きているのかの理解。
- ・ 内容を全然理解できなかったらどうしよう。

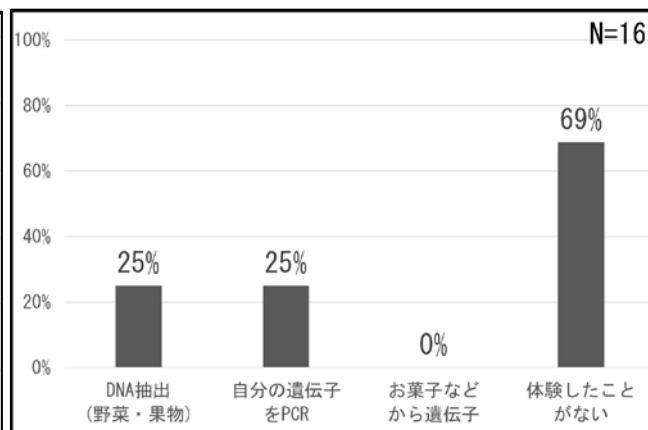
【図 25】 遺伝子実験を行うことに対する生徒の意見



また、聞いたことがある遺伝子に関する用語は何か聞いたところ、最も多かったのはPCR法であった。しかし、その技術を使って行われている親子鑑定に対する認知度が低かった。一方で、遺伝子実験を経験したことがないと答えた生徒は、16名中11名と69%であった。自分の遺伝子をPCRで調べる実験を経験している生徒が25%いたが、大学等が主催する遺伝子実験教室に参加したとの回答であった。多くの生徒が、遺伝子実験を経験していないと回答した【図26、27】。



【図26】聞いたことがある遺伝子に関する用語



【図27】これまでに経験したことがある遺伝子実験

このように事前調査から、生徒の遺伝子実験に対する興味・関心が高い一方で、遺伝子実験を体験する機会が十分ではない現状が示された。

## 2 授業実践の概要

### (1) 実践対象

岩手県立千厩高等学校 普通科理系 3学年 生物選択者 男 6名 女 10名 計 16名

### (2) 実践日程と内容

第1回 平成30年 9月26日(水) 1校時

内容 バイオテクノロジーについての基本事項の確認及び実験器具の取り扱い方の練習

第2回 平成30年 9月27日(木) 2, 3校時

内容 人力サーマルサイクラーによるイネの品種判別実験

電気泳動による実験結果の確認と考察及びバイオテクノロジーの有用性について






## 3 授業実践の流れ

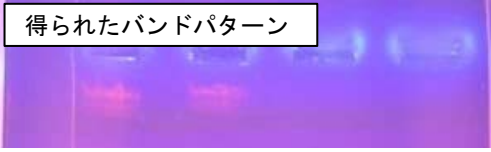
### (1) 第1時限

#### ア 本時のねらい

バイオテクノロジーの根幹となる技術である遺伝子を切断、結合、増幅する方法について学ぶ。また、マイクロピペットの使い方を身に付け、電気泳動装置の使い方を理解する。

イ 授業展開

時間	学習内容	指導上の留意点	資料・教材・教具
<p>導入</p> <p>10分</p>	<p>①バイオテクノロジーと現在の生活との関連性を学ぶ。</p> <p>②遺伝子を切断，結合，増幅する技術について学ぶ。</p>	<p>○遺伝子診断のCMを見せながら，生活との関連性を説明する。</p> <p>○生徒用実験マニュアルを用いてバイオテクノロジーに必要な遺伝子操作技術について説明する。</p> <p>プレゼン資料と実験マニュアルを使用した説明</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・授業用プレゼン資料</li> <li>・授業用映像データ</li> <li>・生徒向けワークシート</li> </ul>
<p>展開</p> <p>30分</p>	<p>③実験準備を通して実験器具や試薬に関する知識を学ぶ。</p> <p>④マイクロピペットを使って液体を移動させる練習を行う。</p>  <p>ピペット操作の練習</p> <p>⑤簡易的な電気泳動装置に作成しておいたゲルに，λ マーカーを注入する。</p>  <p>注入の様子</p> <p>⑥15～20分ほど電気泳動して，電気泳動中の様子を観察する。</p>	<p>○生徒が初めて使用と思われる実験器具が多いため，使用上の注意を実験マニュアルで確認させながら説明する。</p> <p>○ピペットの扱い方や容量が間違っていないか生徒同士で確認させる。また，操作に戸惑う生徒への指導を行う。さらに，開発した実験を補助する器具を用いて，実験が円滑に進むように生徒を助ける。</p> <p>開発した各種実験器具</p>  <p>○高電圧で使用するため，簡易的な電気泳動装置を扱う際の注意事項を，班員同士で念入りに確認させる。</p>  <p>簡易的な電気泳動装置</p> <p>○電気泳動中に原理を説明する。また，電気泳動中のアガロースゲルを観察させる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・授業用プレゼン資料</li> <li>・授業用映像データ</li> <li>・生徒向けワークシート</li> <li>・実験を補助する器具</li> <li>・簡易的な電気泳動装置</li> </ul>

ま と め 10 分	⑦泳動結果を観察し、バンドパターンがどんな意味を持つか理解する。	○電気泳動の結果を観察させ、DNA断片がその長さによって分かれ、バンドパターンになることを理解させる。  得られたバンドパターン	・UV トランスイルミネーター ・生徒向けワークシート
	⑧第2時限の実験について説明を聞き理解する。	○バンドパターンをデジタルカメラやスマートフォン等で記録させてもよい。	

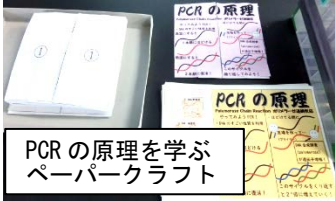
(2) 第2時限

ア 本時のねらい

教科書のPCR法を用いたイネの品種判別の実験を、人力サーマルサイクラーで行い、PCRの原理を理解する。

イ 授業展開

時間	学習内容	指導上の留意点	資料・教材・教具
導 入 10 分	①PCRの原理と各温度における反応を学ぶ。 ②PCRによって調べるイネの遺伝的特性と県産品種の金色の風、銀河のしずくについて学ぶ。	○温度を一定に保つために、事前に恒温槽の水の加熱を始める。 ○PCRが温度変化を繰り返すことでDNAを増幅することや、 <i>Pii</i> 遺伝子とコシヒカリ系統共通塩基配列について説明する。	・授業用プレゼン資料 ・生徒向けワークシート ・実験を円滑にする器具
	<b>学習課題：PCRの原理を理解し、人力サーマルサイクラーでコメの遺伝子を増幅してみよう。</b>		
展 開 45 分	③PCR用マイクロチューブにコメから抽出したDNAを規定量入れる。 ④マイクロチューブ固定具を用いて恒温槽で加熱する準備をする。 ⑤教員の指示に従って、マイクロチューブ固定具ごと温浴槽につける。(5サイクルごとに交代する)	○あらかじめコメから抽出したDNA以外の試薬を入れ、実験時間を短縮する。 ○チューブの蓋が開いていると失敗の原因となるため、蓋の確認や予備の試薬を入れたチューブを作っておく。  マイクロチューブ固定具  下部に固定	・実験を円滑にする器具 ・人力サーマルサイクラー ・マイクロチューブ固定具
	 加熱時の様子	○温度管理と時間の測定をしながら生徒の実験操作を確認する。	

展 開  45 分	<p>⑥交代を待つ間、人力サーマルサイクラーを行っていない生徒は、PCRの原理を学ぶペーパークラフトを作成する。</p>  <p>PCRの原理を学ぶペーパークラフト</p>	<p>○人力サーマルサイクラーの時間を測定しながら、ペーパークラフトの作業状況を観察する。</p> <p>○作業中の時間を有効に使うため、生徒の興味・関心を引く解説を行いながら実験を進める。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PCRの原理を理解するペーパークラフト</li> <li>・授業用映像データ</li> </ul>
ま と め  5 分	<p>⑦人力サーマルサイクラー終了後、固定具からチューブに異常がないか取り外して確認する。</p> <p>⑧第3時限に電気泳動を行うことを確認する。</p>	<p>○チューブに異常が見られた場合は、用意しておいた予備のチューブと交換して電気泳動に用いる。</p> <p>○電気泳動装置に、第1時限に練習したマイクロピペットを使用してPCR産物を注入することを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・授業用プレゼン資料</li> <li>・生徒向けワークシート</li> <li>・実験を円滑にする器具</li> </ul>


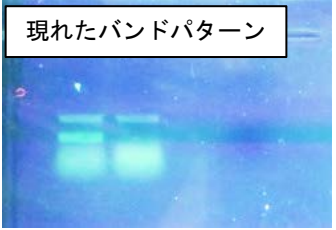

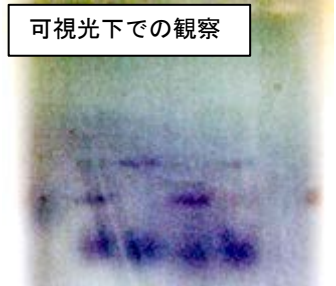
### (3) 第3時限

#### ア 本時のねらい

PCR産物を電気泳動し、その結果から岩手県産品種のイネの遺伝的特性を考察する。また、今回実験した技術の応用例からバイオテクノロジーの有用性について理解する。

#### イ 授業展開

時間	学習内容	指導上の留意点	資料・教材・教具
導 入  5 分	<p>①これまでの実験マニュアルを見ながらこれまでの内容を振り返り、実験方法を確認する。</p>	<p>○実験マニュアルを用いて、これまでに学んだマイクロピペットの使い方や、電気泳動の実験操作について振り返りをさせる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・授業用プレゼン資料</li> <li>・生徒向けワークシート</li> <li>・実験を円滑にする器具</li> </ul>
<p><b>学習課題：人力サーマルサイクラーで増幅したイネの遺伝子を電気泳動で判定をしてみよう</b></p>			
展 開  35 分	<p>②奇数班のpHYマーカーを第1レーンに入れる。第2レーン以降は、金色の風、銀河のしずく、コシヒカリのDNAのPCR産物を入れる。第5レーン以降は偶数班のものを同じ順番で注入する。</p>	<p>○電気泳動装置にアガロースゲルを静置してTAEバッファーを規定量まで入れる。また、マイクロピペットの使い方を机間指導する。ゲルを傷つけた生徒がいた場合、となりのレーンに入れるように指示する。</p> <p>○温度管理と時間の測定をしながら生徒の実験操作を確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験を円滑にする器具</li> <li>・電気泳動装置</li> <li>・マイクロピペット</li> </ul>

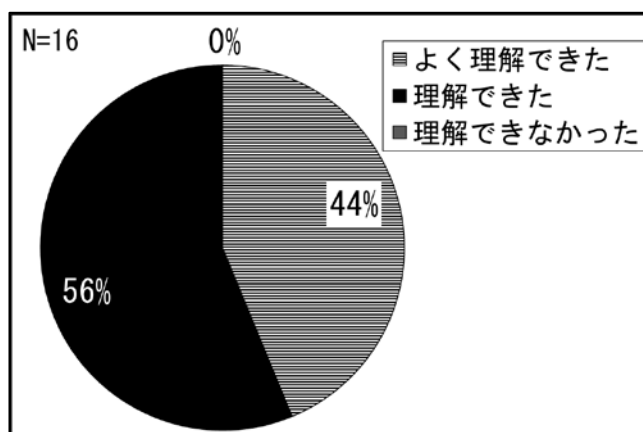
<p>展 開 35 分</p>	<p><b>PCR産物の電気泳動</b></p>  <p>③約 25 分間電気泳動する。</p> <p>④電気泳動の間に、今回行った実験や技術が、社会においてどのように使われているかを学ぶ。</p>	<p>○電気泳動装置が通電しているか確認する。</p> <p>○バイオテクノロジーを用いた農作物の品種改良, 犯罪捜査への利用, 医療への応用, ゲノム編集について解説する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験を円滑にする器具</li> <li>・電気泳動装置</li> <li>・マイクロピペット</li> </ul>
<p>ま と め 10 分</p>	<p>⑤泳動後のゲルを取り出してUV トランスイルミネーターでバンドパターンを観察する。</p> <p><b>現れたバンドパターン</b></p> 	<p>○DNA 染色液には、発がん性がないとされているものを使用しているが、念のためゲルを運ぶ作業は教員が行う。UV トランスイルミネーターが複数台ない場合は、2 班ごとに生徒を装置の前に来させて実験結果を解説する。</p> <p><b>電気泳動結果の解説</b></p>  <p>○人力サーマルサイクラーに時間がかかり、電気泳動の時間が短くなり、観察・考察が不十分になってしまった場合は、可視光下で観察可能な DNA 染色液を用いて染色し、後日観察を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生徒向けワークシート</li> <li>・UV トランスイルミネーター</li> <li>・安全な DNA 染色液</li> </ul>
<p>授 業 後 の 補 足</p>	<p>⑥可視光下で観察可能な DNA 染色液で染め、バンドパターンを観察する。</p> <p><b>可視光下での観察</b></p> 	<p>○可視光下で観察可能な DNA 染色液で染色・脱色を行っておいたものを観察させる。</p> <p>○生徒に記録媒体でバンドパターンを記録させる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全な DNA 染色液</li> </ul>

#### 4 結果の分析および考察

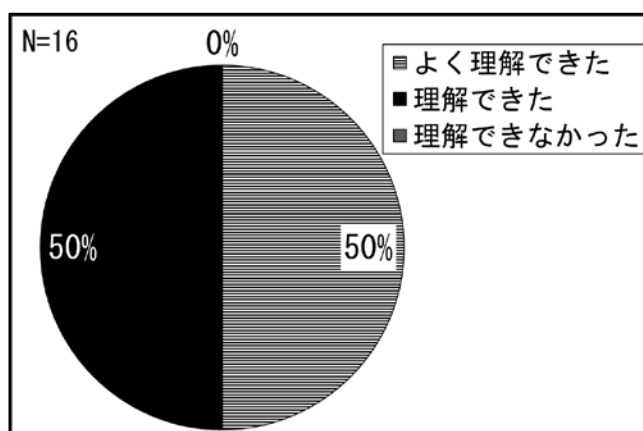
##### (1) 生徒向け授業アンケートの結果と考察

授業実践後に、対象の生徒 16 名全員から回答を得た。全ての結果を、p. 39 の【資料 4】、p. 40 の【資料 5】に示した。今回の授業実践の目標の一つであった、PCR の原理と電気泳動の原理の理解については、全ての生徒が、「よく理解できた」、「理解できた」と回答した【図 28, 29】。このことから、事前調査の【図 25】において、「実験やその結果が理解できるか不安」と回答していた生徒にも理解できる内容であったと考えられる。また、実験を体験した感想を聞いたところ、88%の生徒が、「使ったことがない実験器具を使用して実験することが楽しい」と回答し、56%の生徒が「興味・関心がわく内容、知らないことを学べて感動した」と回答していたが、「内容が難しすぎた」と回答した生徒はいなかった。しかし、「今後の学習に役立つ」と回答した生徒は 31%と他よりも低かった。これは、授業実践において、実験後の考察の時間が十分に取れなかったことが影響したと考えられる【図 30】。これらの結果から、今回行った授業実践における、実験器具の使い方や実験方法、学習内容は、高校生にも十分に理解され、実施可能であることが示唆された。

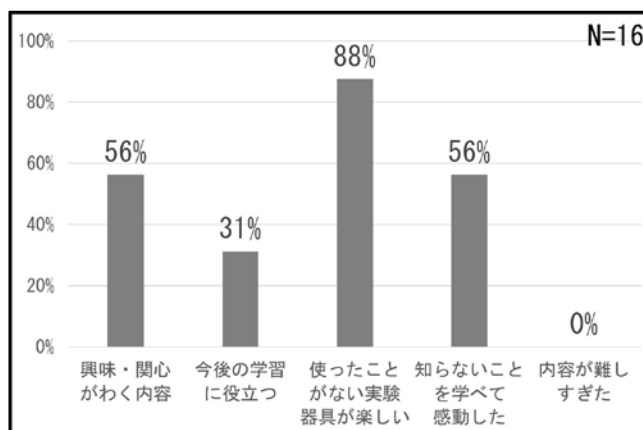
また、「実際に体験してみることで実験の作用なども詳しく分かった。」という生徒の感想から、今回の実験が学習内容の定着にも効果がある可能性が示唆された。



【図 28】 PCR の原理の理解



【図 29】 電気泳動の原理の理解

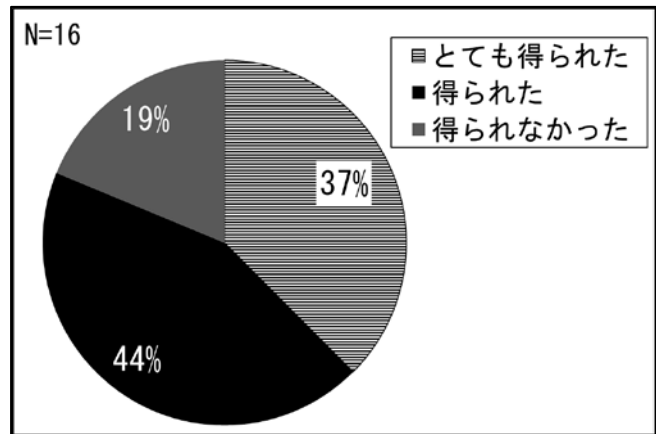


【図 30】 実験を体験した感想

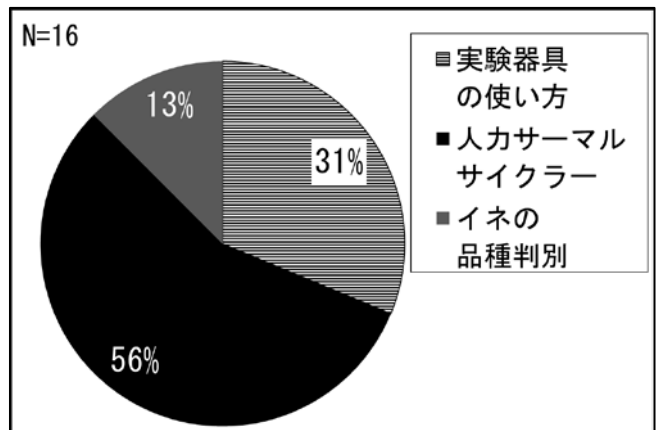
また、【図 31】のように、81%の生徒が、「コメに対する新たな発見や知識を得られた」と回答した。具体的な内容として、「同じ県産米でもコシヒカリ遺伝子の有無があると発見ができた」、「遺伝子には様々な種類があり、それをもっていることによってたとえば病気に強いなどの能力を得られると分かった」、といった回答が見られた。しかし、「新たな発見や知識が得られなかった」を選択した生徒が複数見られた点や、イネの品種判別実験が印象に残った生徒が少なかったことは、p. 27 でも述べたように、結果を確認・考察する時間が十分に確保できなかったためであると考えられる【図 32】。

今後「他の遺伝子実験の機会があれば体験したいか」という質問に対して、体験したくないと回答した生徒は一人もいなかった【図 33】。また、今回の授業実践を通して、遺伝子実験に対する興味・関心が高まり、体験したことによる感動があったという回答が多かった。具体的な感想として、「遺伝子を実際に見たのも、自分たちでやったのも初めてで、学ぶことがたくさんありました」、「科学について、全然知らなかったこと

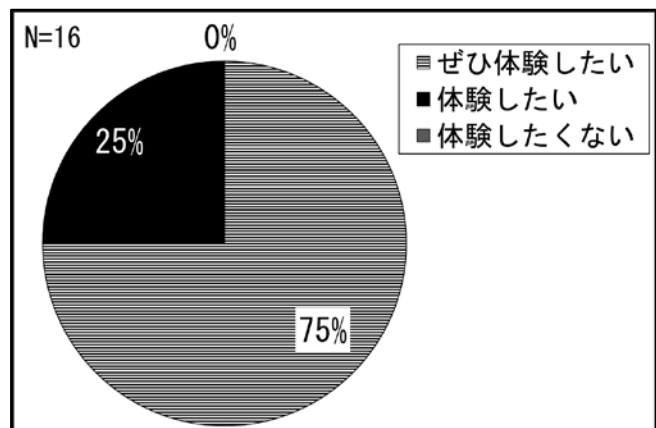
も、この実験を通して『あ、なるほどな』ってなりました」という意見や、「PCR 法の説明が書いてあるプリントは、とても読みやすくて良かったです。ぜひ、機会があるならまたやってみたいです。」といった意見が見られた。これらの結果から、遺伝子実験を通して、普段使ったことのない実験器具を使用して生徒自身の手で実験操作を行うことにより、生徒の遺伝子に対する興味・関心が高まっている様子が窺えた。



【図 31】 コメに対する新たな発見や知識



【図 32】 印象に残った実験



【図 33】 他の遺伝子実験への参加

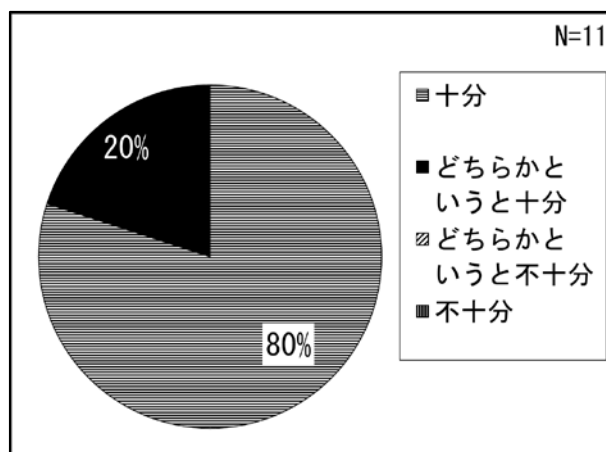


## (2) 教員向け調査の結果と考察

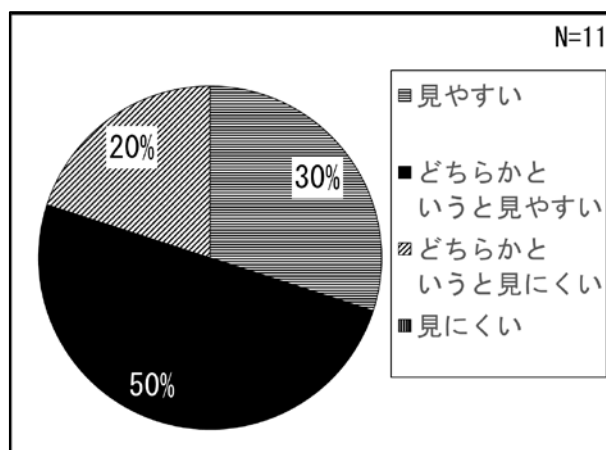
教育実践の内容を見ていただいた教員11名から回答を得た。全ての回答を p. 41 の【資料6】，pp. 42-43【資料7】に示した。

### ア 実験解説書に関する意見

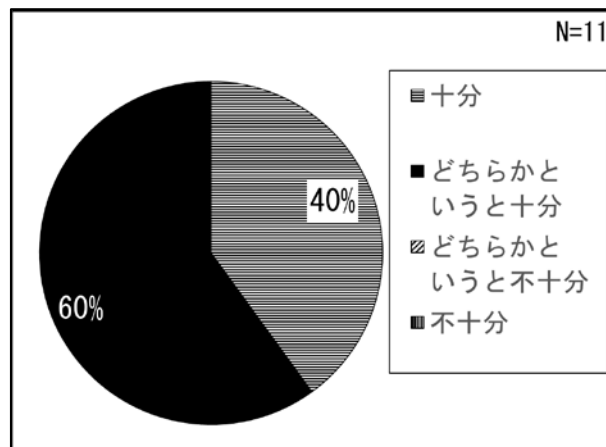
作成した実験解説書について情報量と見やすさ，内容について4段階評価で聞いたところ，全体的には高評価を得た【図34～36】。しかし各評価を比較すると，情報量は80%が「十分」と回答したのに対して，見やすさは30%が「見やすい」，内容については40%が「十分」という回答であった。このことから，見やすさや内容についてはまだ十分とは言えず，工夫が必要であると考えられる。【図37】に示されている通り，実際に実験準備や実験操作などを行っている様子が分かる資料が必要であることや，実験器具や試薬について具体的な金額や購入方法，実験で用いた試薬の廃棄方法などについて実験解説書に記載して欲しいとの要望があった。また，準備の複雑さから，大人数での実施が難しいのではないかという意見があった。今回の実験では，8班分の準備を行ったが，実験準備の負担を軽減するため，教員による演示実験なども取り入れて，大人数でも授業が行えるように授業展開を考える必要がある。



【図34】実験解説書に関する意見(情報量)



【図35】実験解説書に関する意見(見やすさ)



【図36】実験解説書に関する意見(内容)

### 1 解説書 D印象に残った部分(抜粋)

#### ○印象に残った理由

- ・簡易電気泳動装置の作成方法について，カラーの写真付きで詳細に記述されており，模倣可能なものとなっている。低予算で行うことができ，作成する時間さえ確保できれば必要な個数を用意することができる。
- ・実際に手でやることによってPCRの原理をしっかりと学ぶことができる。
- ・視覚的に分かりやすい。教員の準備と生徒の操作が明示されており，実験しやすい。

#### ○課題点

- ・実験の流れを正確に理解するために，実験中の動作を映した動画と解説書のセットがあると予備実験がしやすい。
- ・使用する試薬の名称や購入方法，値段などがまとめてある一覧表があれば，準備の負担が少なく済むと思われる。
- ・少人数の実験にはよいが，大人数の場合どうするか？
- ・エチジウムブロマイドの廃棄方法についての情報が必要。

【図37】実験解説書において印象に残った部分(抜粋)



また、内容が丁寧で見やすいという肯定的な意見の一方で、構成が初心者にとって読みにくいと意見もあり、生徒用実験テキストも含めて改善を行った。PCR の原理が分かるペーパークラフトについては、生徒にも教員にも好評であったが、準備や組み立てが難しかったため、組み立てが容易な型紙を新しく作成した。

#### イ 授業実践に対する意見

授業実践について成果と課題点は何か聞いたところ【図 38】のように、実験器具に実際に触れることが、実感を伴った学習となるという意見や県内産品種のイネを用いた点が更なる興味・関心につながるという意見が見られた。また、開発した教材・教具の操作方法に関して教員に事前講習会を開いてほしいとの要望があった。他には、評価方法について触れられていないとの課題点が指摘されたため、実験解説書の授業展開案に評価規準を掲載した。

簡易的な電気泳動装置を使用し、λ マーカーの電気泳動を行ったが、電源装置のスイッチにランプが付いている本装置は視認性が良かった。また、電気泳動槽は電極のプラスマイナスを表す絶縁テープを貼ったため、装置に関して、生徒の戸惑いや不安は感じられなかった。

人力サーマルサイクラーを使用して、教科書のイネの遺伝子判定実験を行ったところ、約 40 人分で PCR 反応ができると確認できた。また、PCR の原理を理解させるねらいがあったが、生徒の感想には、「初めて体験することが多く、とても楽しかったです。実際に体験してみると実験の作用なども詳しく分かった」、「人の力で行ってみて、大変だったけど楽しかった。体験することで、忘れにくいと思うので良かった」という意見が見られ、遺伝子実験に関する実感とともに PCR の原理の理解や学習意欲も高められたと考えられる。

## 2 授業実践(抜粋)

### ○成果

- ・実際に実験器具に触れ、自分で操作することで、実感を伴った学習(体験)をすることができ、更なる興味・関心を引き起こすものではないかと思う。(進学クラスのその後の学習へとつながるものでもある)
- ・入手可能なイネの品種を用いている点
- ・マイクロピペットの操作方法を映像で時間をかけて丁寧に説明している点
- ・PCR の原理への理解を促すワークシートは、PCR の原理を理解するには適切な教材である点
- ・従来、教科書や資料集では PCR や電気泳動の原理の説明に留まっており、前述の教材だけでは本当に DNA 断片が増加するのかわ確認できなかった。その点、本研究は PCR の基本に立ち返ることで、分かりやすく丁寧な指導ができていたと感じた。また、目的の DNA 断片を調査することが様々な分野の研究に生かされていることも知ることができ、遺伝子工学の意義と重要性を生徒に伝えられていると思った。大学に進学し、生物専攻を考えている生徒にとっては、貴重な体験となるはずである。
- ・岩手県産品種を用いることも興味関心の喚起につながったと思う。
- ・生徒それぞれが作業できる(お客さんにならない)形式になっている。ワークシートを使って、生徒が自主的に進められる。人力サーマルサイクラーでは、班ごとではなく全体でそろえて実施することでペースが揃えられること、および時間管理を徹底できるところ。

### ○課題点

- ・多くの器具を使い、多くの操作が必要で、やはり時間が足りないように感じる。電気泳動後のゲルを観察し、検証するような時間は必要かと思う。
- ・人力サーマルサイクラーを実施するにあたって、予算の関係上、恒温槽もしくはサーモスタットといった器具の準備に時間がかかることが予想される。また、マイクロチューブ固定法や簡易電気泳動装置の工作に不慣れな教員も一定数いることが考えられるため、可能であれば事前講習会を開くなどしてそのノウハウを身に付ける機会がいただければと思う。
- ・評価方法についても考慮した方がよいと思います。各段階で理解すべきポイントや評価の基準について提示してみてもよい。また、実験で用いた試薬や装置がいくらくらいかかるのか提示してもらおうと今後、遺伝子実験を取り入れようとしている学校にとってありがたい情報になると思います。
- ・観点別評価になっているため、本時の目標に到達目標があり、実験しながら達成感が持てると興味関心を喚起するだけでなく、新たな学びのきっかけになると思った。

【図 38】 授業実践に対する意見

## ウ 新しく開発した教材・教具に対する意見

新しく開発した教材・教具に対する意見を聞いたところ、自作の電気泳動装置を用いることで実感を伴った学習ができるという意見や、自作のサーマルサイクラーでは手動で行うことで原理が学べるという意見が見られた。また、DNAの抽出方法についても、フェノールを使用しない方法は、実験実施のハードルを下げることにつながるという肯定的な意見が見られた【図39】。一方で、電気泳動装置に感電の危険性があることから、どの部分に触れると感電するかをきちんと説明するべきだという意見や、廃液の処分方法といった実験の安全性に関わる指摘が多くなされた。また、作成に関しても3Dプリンターを、学校で所有していない場合はどのようにすればよいかという意見も見られた。安全性のさらなる向上のために、装置の改良などが必要になると考えられる。人力サーマルサイクラーで使用した、PCR用マイクロチューブ固定具については、うまく固定することができたものの、マイクロチューブの蓋自体をきちんと閉めているか確認しなかったため、途中で蓋が開いて中身が流れ出してしまう班があった。そこで、実験解説書に、教員への注意事項として「人力サーマルサイクラーを行う前には、マイクロチューブの蓋がしまっているか生徒に確認させる」と記載した。

3Dプリンターで制作したマイクロチューブ立てとピペットチップ立てや安価に作成できるマイクロピペット立てを利用して実験を行った。使い方に生徒が戸惑うこともなく、使い勝手は良かった。また、配付や回収の際にも使い勝手が良かった。しかし、3Dプリンターがないと製作できないとの指摘があった。そこで、設計図や立体図を元に、他の素材を用いて再現ができるように型紙の作成を行った。

### 3 新開発の教材・教具に対する意見(抜粋) 良い点…○, 悪い点…●

#### A 自作の電気泳動装置

- 実感を伴った学習(体験)をすることができ更なる興味・関心を引き起こす。安全性に注意すれば、安価でよい。
- 全体を覆うボックスなど感電防止対策が必要。

#### B 人力サーマルサイクラー

- 1サイクル中の温度変化とDNAの複製過程を関連付けて学べる。操作自体は極めて単純なものであることが実感でき、理解が深まる。
- 電源を気にしなければならない。温度管理にコストがかかる。

#### C 県産品種が題材の実験

- 品種改良の利点や岩手の農作物の優れた点を学ぶいい機会となる。岩手県産品種ということで、身近で興味関心を喚起しやすい教材であった。
- 岩手県で作出した品種数を増やしてみたらどうか。新品種についても、ワークシートに系統樹を載せてはどうか。

#### D 安全性の高い抽出や染色

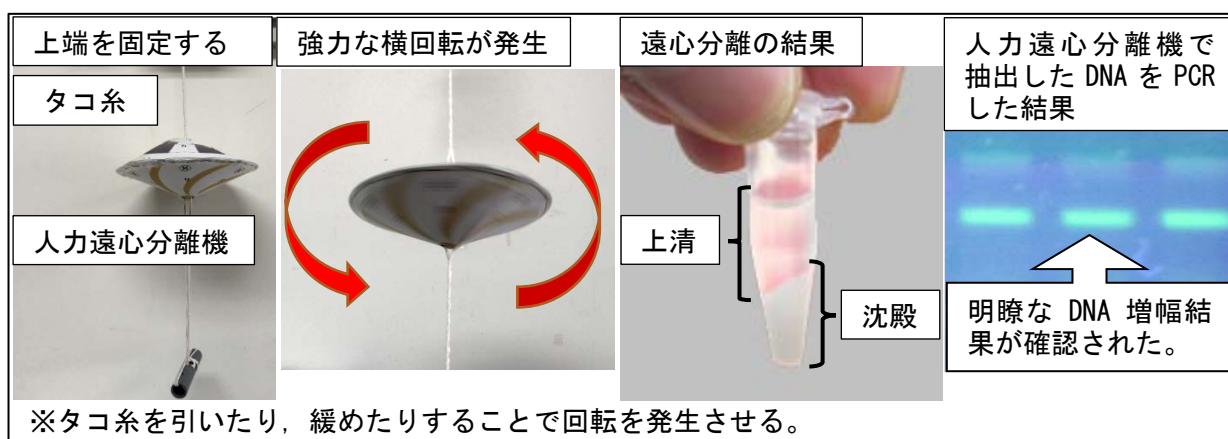
- DNA抽出は、手順が多いが、教育センターの器材を借用できれば可能であると思う。フェノールなどを使わなくてよく、実施に向けてのハードルが低くなってよい。
- ほとんどがキット化されているので、これを利用した方が便利である。廃液の処理等、後片付けについても触れたい。

#### E 効率的に進めるための工夫

- 保管場所・スペースをとらず使いやすい。フロート式ではなく、重いものでPCRチューブを固定することで、チューブ全体をお湯につけやすくしている点が良い。
- 作成する時間や設備の有無がかかわる。3Dプリンターがない場合の道具等の工夫。

【図39】新しく開発した教材・教具に対する意見

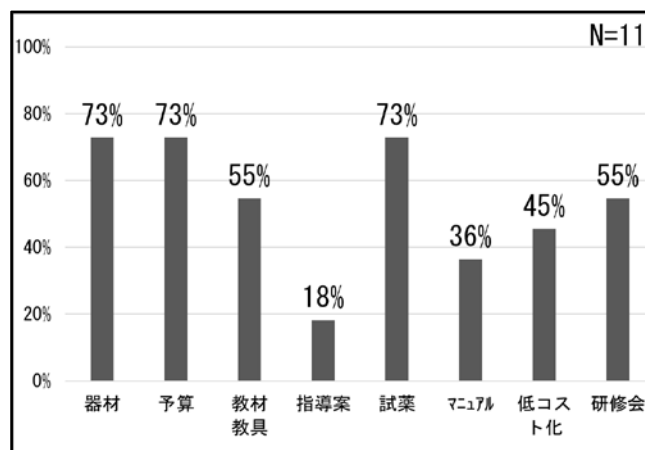
授業実践後の教員向けアンケートの中に、大人数での実験をする場合に不足する器材をどうすればよいかという意見があった。他の器材同様、DNA の抽出や PCR に必要な遠心分離機を所有している学校が少ないことが事前調査からも明らかになっている【図 6】。そこで、海外で開発された人力遠心分離機である「PAPERFUGE」(Bhamla ら, 2017 年)を参考として、マイクロチューブも使用可能な人力遠心分離機を開発した【図 40】。生徒が PCR で行う実験操作には厚紙等で作成したもので十分に遠心分離の効果が得られる。また、型紙を拡大コピーして丈夫な素材で大型化すれば、DNA 抽出にも使用が可能であると確認できた。この装置の普及のため、型紙の作成や使用に関する注意事項、回転方法についても実験解説書に掲載した。



【図 40】マイクロチューブも使用可能な人力遠心分離機

エ 今後遺伝子実験を実施するために必要な支援

本研究で作成した実験解説書をもとに実験を行うために必要な支援は何か聞いたところ、器材の貸出しや予算、試薬など、どうしても実験に欠かせないものの支援が必要であるとする意見が多かった【図 41】。また、【図 42】に示したように、「ぜひとも取り組ませたい教材です」との意見や「自作できない機材については、何セットかを県内で使いまわせるしくみがあればありがたいです」という意見が見られたことから、本研究によって遺伝子実験の実施してみたいという前向きな意見が得られたと考えられる。



【図 41】本研究で作成した実験解説書を基にして実験を行うために必要な支援

#### 4 実験実施に必要な支援(抜粋)

##### B 他の実践例の情報提供

- ・宇都宮大学ではバイオサイエンス教育研究センターを設置しており、高校生などが遺伝子の実験を1クラス単位でできるようにシステム化されている。

##### C 全体を通して質問・意見

- ・実験解説書の方に、最初から最後までの流れと、実験で実際に作業している中身とか起こっている現象とかが理解できるようだと有難いなと思いました。
- ・本研究授業の映像から、本教材は生徒の興味だけでなく大学等の研究機関でも有用となる技能の習得にも生かせることが十分に考えられます。生物学を専攻したいと考える生徒にはぜひとも取り組ませたい教材です。
- ・PCRを授業時間内で実施できるという実験プランが大変良く、ペーパークラフトもユニークな工夫で、生徒の理解につながると思います。また、マイクロピペットなど、自作できない機材については、何セットかを県内で使いまわせるしくみができればありがたいです。生物の授業内容の中で、特に社会とのつながりが深い実験ですので、このようにサーマルサイクラーなしで手軽に実施できるテキストができたことは大変有用であると思います。今後、各校で実験に取り組まれることを期待します。

#### 【図 42】 実験実施に必要な支援

### IX 研究の成果と課題

#### 1 研究の成果

本研究は、本県の遺伝子分野の観察・実験の現状をふまえて、必要とされる教材・教具を開発し、その効果的な活用方法を構築することで、教員が観察・実験を行いやすい環境を整えることを目標としたものである。本研究で明らかになった成果は以下のとおりである。

- (1) 県内の教員の実態に合わせ、教科書に掲載されている実験の実施を行いやすくする教材・教具を開発し、それをを用いた授業実践を行い、教員からの評価を得たところ、実験の実施を行うための環境の整備に関して一定の効果があると示唆された。
- (2) (1)で行った教員からの評価をもとにさらなる教材・教具の開発や改良を行い、その結果を実験解説書にまとめた。

#### 2 今後の課題

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 教員が遺伝子実験を実施できるように実験解説書の普及を行う。
- (2) 遺伝子実験を体験した生徒の興味・関心をより高められるような活用方法を検討する。

<おわりに>

長期研修の機会を与えてくださいました、関係諸機関の各位並びに所属校の先生方と生徒のみなさん、研究に協力いただきました岩手県農業研究センター藤岡智明様、一関第二高等学校長谷川潤二様、大藤道衛博士、アンケートに協力いただきました教員の皆様に心から感謝を申し上げ、結びの言葉といたします。

## X 引用文献および参考文献

### 【引用文献】

- 厚生労働省 (2016), 『ゲノム医療等の実現・発展のための具体的方策について (意見とりまとめ)』  
ゲノム情報を用いた医療等の実用化推進タスクフォース, p. 22
- 内閣府 (2017), 『科学技術イノベーション総合戦略 2017』, p. 79
- 文部科学省 (2009), 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』 実教出版株式会社, p. 90
- 井上陽子・谷口泰史 (2018), 「教育実践学論集第 19 号」『遺伝子を活用する能力を向上させるための  
高等学校「生物基礎」における遺伝子実験の試み』兵庫教育大学, p. 205
- 貝沼喜兵・斉藤淳一・原田和雄・小林興 (2003), 「科学教育研究」『中・高校生を対象とした組換え  
DNA 実験に対する生徒の理解度と体験学習の意義』日本科学教育学会, Vol. 27, No3, p. 219
- 貝沼喜兵・大藤道衛・中島春紫・斉藤淳一・飯田秀利・原田和雄・小林興 (2005), 「科学教育研究」  
『現職教員の中・高等学校生物教育に対する認識と展望—SPP 研修会参加者のアンケート調査より—』  
日本科学教育学会, Vol. 29, No3, pp. 253, 259
- 笹川由紀・小野道之 (2009), 「科学教育研究」『高等学校におけるヒトゲノム・遺伝子解析実験に関  
する現状と教員意識の調査研究』日本科学教育学会, Vol. 33, No3, p. 250
- 山内宗治 (2012), 「平成 24 年度研究報告」『高等学校生物における PCR 法を利用した遺伝子判定実  
験を取り入れた教材開発—遺伝子組換え「青いバラ」を可能にした遺伝子の起源の探求を通して—』  
広島県立教育センター, p. 128
- 菅万希子・鈴木紀子・藤原靖也・吉澤剛・工藤充・加納圭 (2017), 「科学技術コミュニケーション」  
『国民参画型科学技術イノベーション政策形成に向けたセグメンテーションの開発：科学技術イノ  
ベーション政策に関する世論調査をもとに』北海道大学高等教育推進機構オープンエデュケーショ  
ンセンター (科学技術コミュニケーション教育研究部門), No22, p. 4

### 【参考文献】

- 岩手県農業研究センター (2016), 「平成 28 年度岩手県農業研究センター試験研究成果書」『品種極  
良食味の主食用晩生粳水稻「金色の風」』岩手県農業研究センターBull. Iwate Agric. Res. Ctr.
- 岩手県農業研究センター (2017), 『水稻新品種「銀河のしずく」の育成』岩手県農業研究センター  
Bull. IwateAgric. Res. Ctr. 16:pp. 1-22
- 文部科学省 (2018), 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』, pp. 139-140
- 薄井芳奈 (2015), 「授業実践報告 50 分授業で行う遺伝子分野の生徒実験」『人力サーマルサイクラ  
ー～PCR 法で DNA を増やそう～』兵庫県立須磨東高等学校
- 大藤道衛 (2016), 『「教員のための遺伝子組換え実験教育研修会アドバンストコース」遺伝子リテラ  
シー教育と米国の教育教材』
- 奥村仁一 (2018), 「理科教育学研究」『高等学校生物における科学技術の発展を踏まえた実験の在り  
方についての実践的研究』日本理科教育学会, Vol. 59, No1doi:10.11639/sist.17038

Bhamla et al. (2017), 『Hand-powered ultralow-cost paper centrifuge』 Nat. Biomed. Eng. 1: 0009. doi:10.1038/s41551-016-0009

吉田晋弥・李余良・玉木克知・塩飽邦子 (2000), 『米粒からの簡易な DNA 抽出と RAPD 法による兵庫県奨励品種の識別』 兵庫県農業技術研究センター Bull. Hyogo Pre. Agri. Inst. (Agriculture) 48, pp. 1-6

#### 【参考 Web ページ】

内閣府・科学技術政策・科学技術イノベーション総合戦略 2017

<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2017.html> (平成 30 年 6 月 8 日閲覧)

文部科学省・新しい時代における教養教育の在り方について (答申)

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/020203.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/020203.htm) (平成 31 年 1 月 15 日閲覧)

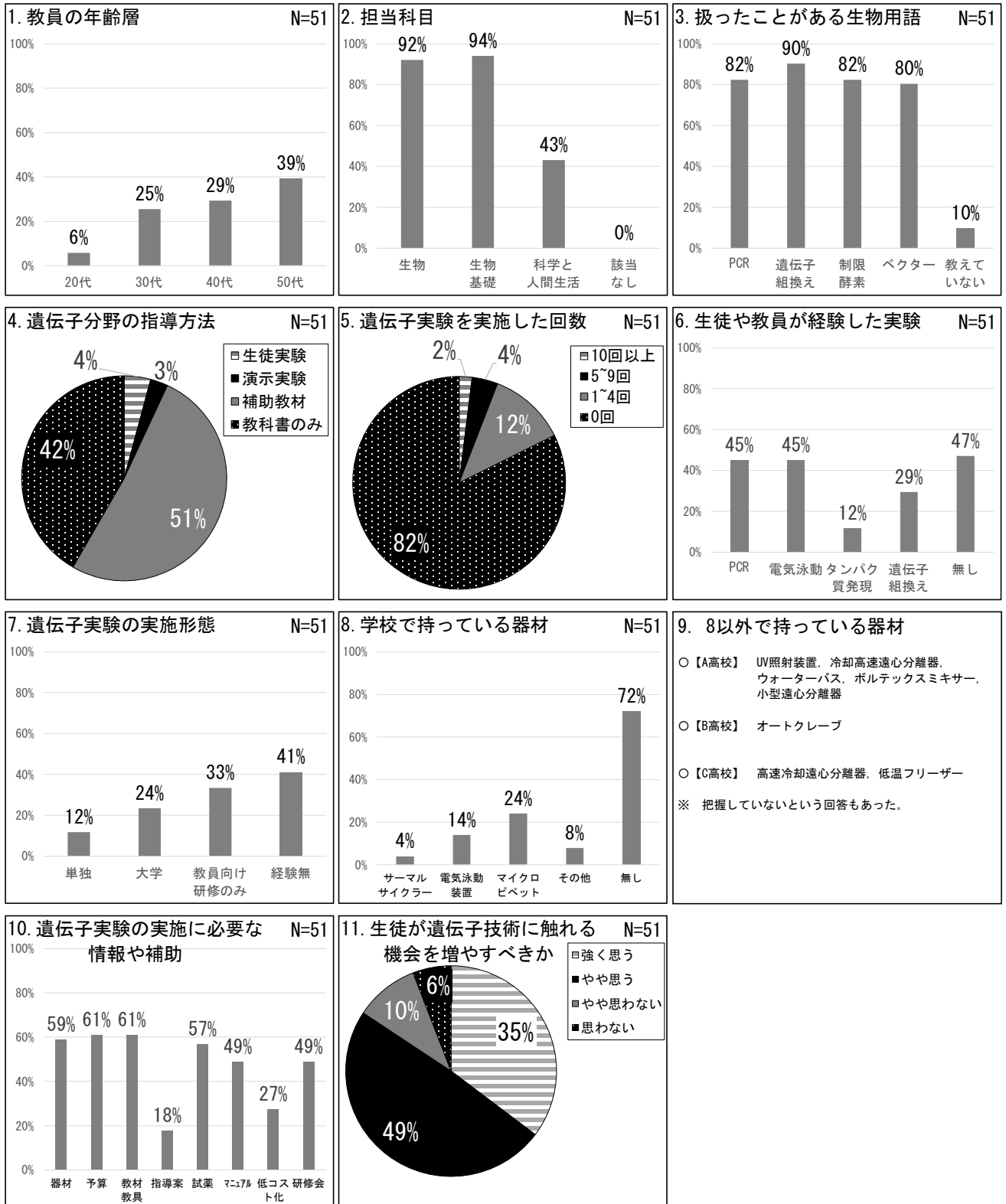
文部科学省 科学技術基本計画・第 4 期科学技術基本計画

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/kihon/main5\\_a4.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon/main5_a4.htm) (平成 30 年 6 月 8 日閲覧)

PAPERFUGE - INDEX : Design to Improve Life®

<https://designtoimprovelife.dk/paperfuge/> (平成 30 年 11 月 21 日閲覧)

【資料1】教員向け実態調査



岩手県内における遺伝子を扱う授業や実験の実態調査

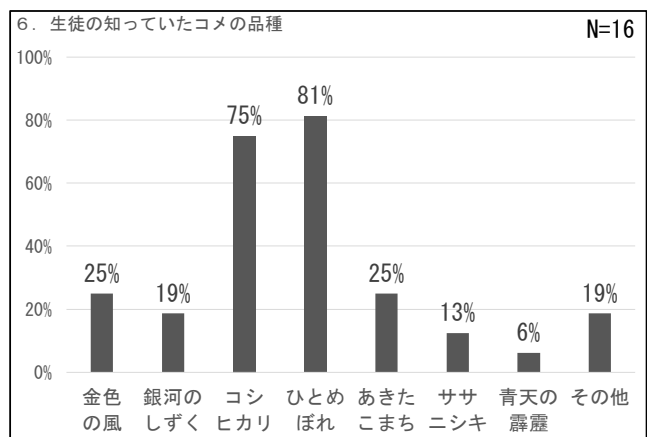
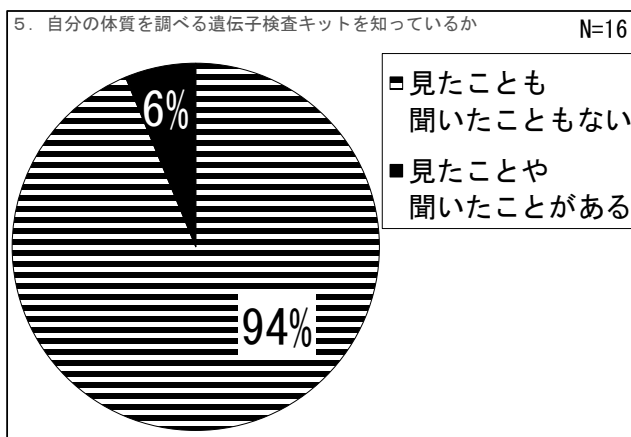
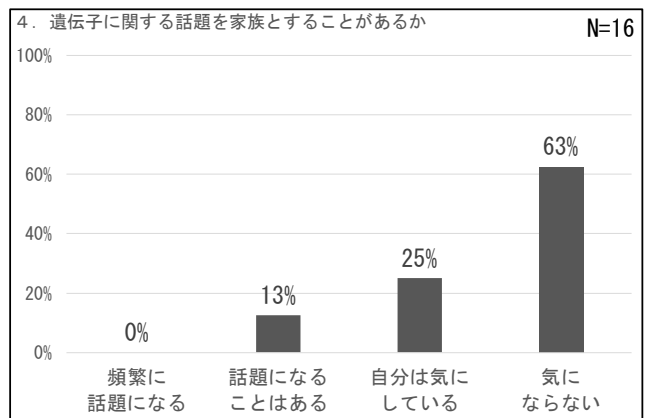
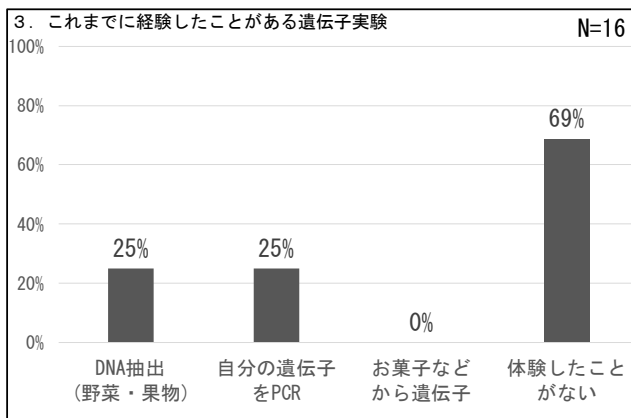
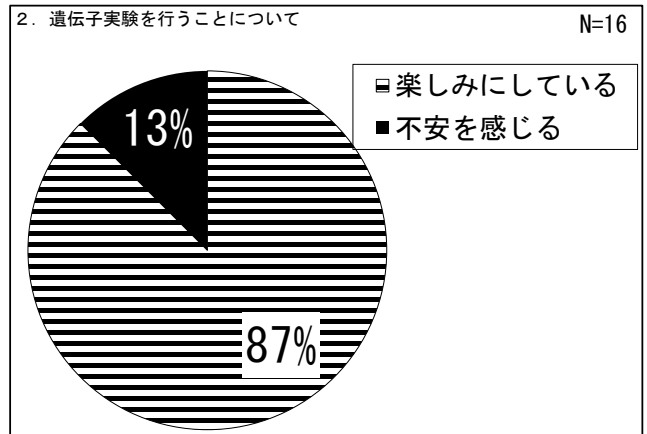
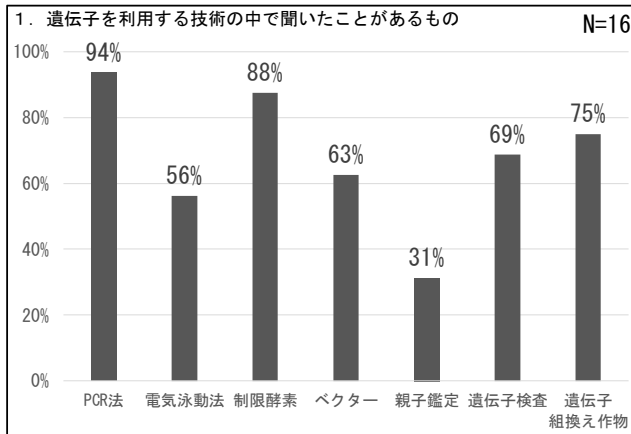
調査対象 岩手県の高等学校に所属する生物部会に登録のある教員 回答51名

## 【資料2】 教員への実態調査における自由記述欄への全回答

- ・次期指導要領では、「遺伝子を扱う技術について、その原理と有用性を理解する」という記述があります。PCR等の実験は「原理の理解」に該当するかと思いますが、消耗品は原則使い回しがきかないものが多く、時間もかかることを考慮するとコストパフォーマンスがあまり良くない印象を受けます。ただ、電気泳動については、視覚的にも分かりやすく原理の理解にも効果的な学習教材であると考えます。これを学ぶことに並行して、倫理的視点の教育も必要だと思われます。
- ・実験結果が実感しにくい分野の実験を少ない授業時数の中にどのように組み込むべきか。
- ・廃棄の仕方が分からず実験を積極的に取り入れることに不安を感じていました。高校教育において遺伝子に関する実験は器材・コスト等依然敷居が高いと思われる一方で教科での重要度は増しています。手軽に行える方法をぜひ提示して欲しい。
- ・2年次に生物基礎を3単位、3年次に生物4単位で実施(自然系列で生物を選択する場合)。生物では教科書をを進めるのが精一杯で実験の時間を確保するのが困難である。
- ・EtBr(エチジウムブロマイド)などの危険な薬品や紫外線装置を使わず、DNAの正しい検出ができればいいと思います。
- ・私は学生の頃に、大腸菌にGFPタンパク質の遺伝子を導入する実験を行った。そこから遺伝子への興味関心が芽生えたこともあるので、やってみたい気持ちはあるが、機材はマニュアルがないので実施できない。また、生徒に「遺伝子組換え実験の禁止事項(実験室外へ持ち出さないこと等)」を徹底できるか不安で踏み切れないでいる。
- ・生徒が行っている実験操作が視覚化して、タイムリーに直感できるものが望ましい。おそらく光学顕微鏡と同じレベルでパソコンが必要な実験分野に感じます。また50分で結果がでるもの。
- ・本年度赴任したゆえ、(まだ未経験ゆえ)お答えするのに限りがあります。
- ・普段の実験として、浸透しにくいものだと思うので、多くの先生方が見て普及が進められるような実験書の作成を頑張ってください。
- ・PCR電気泳動装置遺伝子組換えキットなど機械が高く、手を出せない。また教科書を終わるのに苦労しており実験に時間を多くさけないことも遠ざける要因。
- ・生徒に経験させたいのももちろんだが、自分自身が経験できる機会が少ないので、もっと教員向けの研修会等があると良いと思います。遺伝子を扱う技術については、教員向け研修会などの機会があれば受講したいのですが、校務の多忙に追われ思うように参加できない状況です。
- ・遺伝子分野の技術を、生物受講生徒に安易に触れさせる必要はないと思います。
- ・実験を行った実際の映像。
- ・大学時代も経験がない分野なので、実験の方法などよく分からないため教科書の説明のみで終わってしまいます。
- ・実験結果が実感しにくい分野の実験を少ない授業時数の中にどのように組み込むべきか。
- ・廃棄の仕方が分からず実験を積極的に取り入れることに不安を感じていました。
- ・高校教育において遺伝子に関する実験は器材・コスト等依然敷居が高いと思われる一方で教科での重要度は増しています。手軽に行える方法をぜひ提示して欲しい。



### 【資料3】生徒向け意識調査



2. 遺伝子実験を行うことについての具体的な回答

① 不安を感じると答えた生徒の意見

- 実験の過程でどうしているのか、何が起きているのかの理解
- 内容を全然理解できなかったらどうしよう。

② 楽しみにしていると答えた生徒の意見

- 遺伝子の検査を高校の授業でできること
- 若干不安もあるが、普段やらない実験を高校で行うことができる点
- 遺伝子の実物が見れるのではないかと考えている。
- 生物になってから実験したことがなかったから
- 何をやるのかという点
- 実験の結果が凄く楽しみです!!
- 授業で習ったことを実際に自分の目で見れること。
- 普段座学のため、実験というだけで楽しみ
- どのような遺伝子実験をするのか楽しみ。
- 実験することでより理解が深まる!
- 体験したことがないので、どのような感じでできるのが楽しみ
- 実験と通して分からなかったことが分かるようになる点。
- 実験の結果を教科書からではなく、自分の力で出すこと。
- 実験することが好きなので、どうなるのか楽しみです。

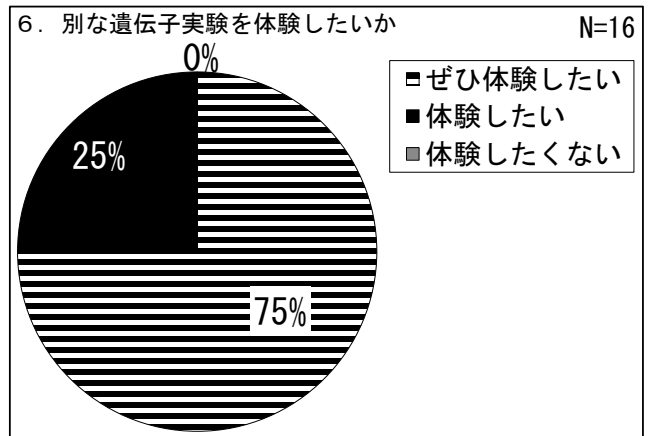
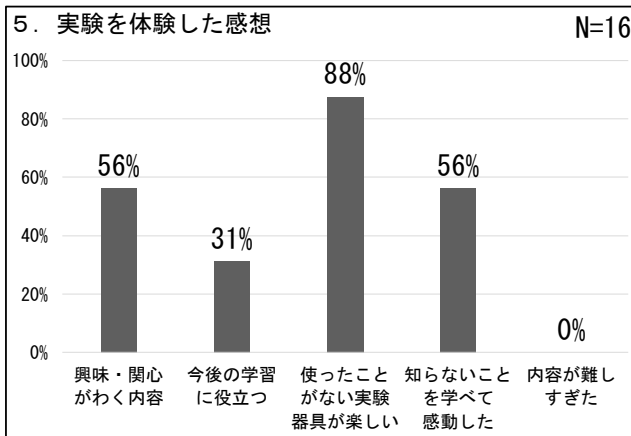
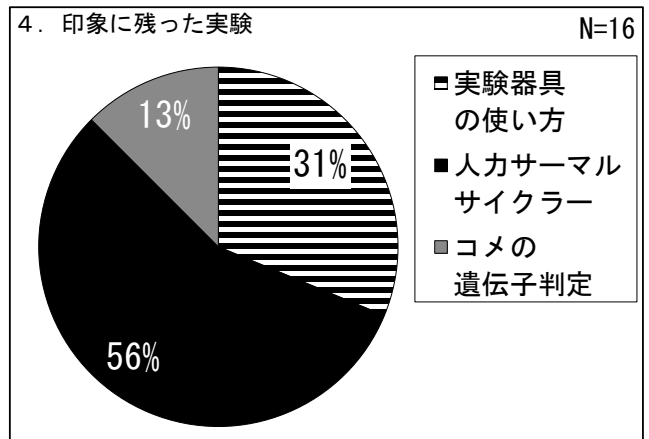
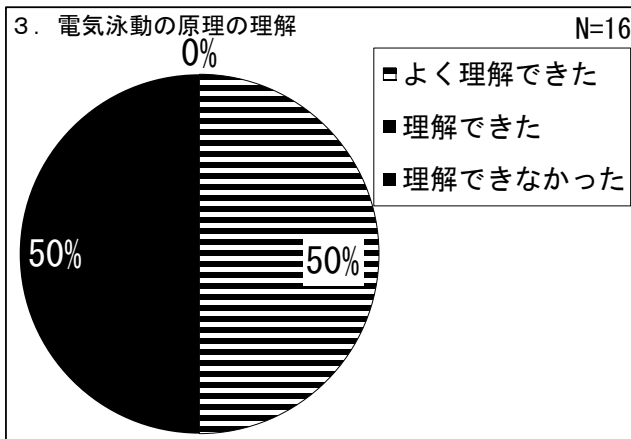
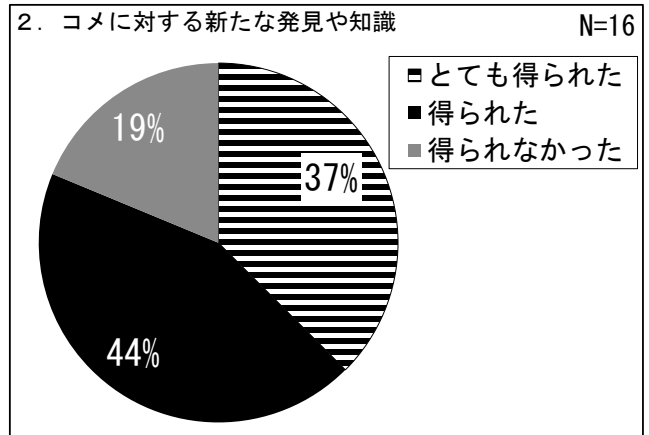
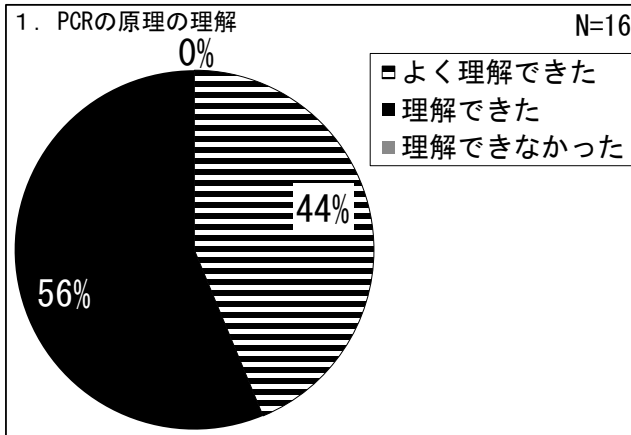
3. その他に経験したことがある実験の具体的な回答

- 鼻の穴をこする。体毛を使う。血液

7. 遺伝子実験について、質問や疑問、配慮してほしいことに対する具体的な回答

- ゲノム編集
- 実験の過程での細かい注意点があれば教えてほしい。
- 実験の過程で、何が起きているか、何を調べたいのかを詳しく知りたい。
- 楽しくやりたい!
- 安全に楽しく実験をしたい。
- 実験楽しみです。
- 特になし。

【資料4】生徒向け授業アンケート



2. コメに対する新たな発見や知識

○どんな新たな発見や知識が得られたか

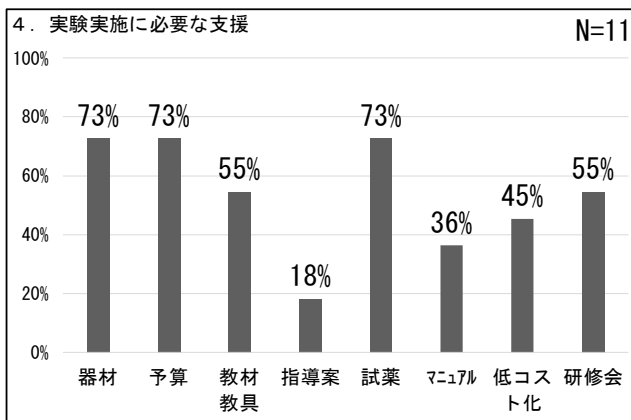
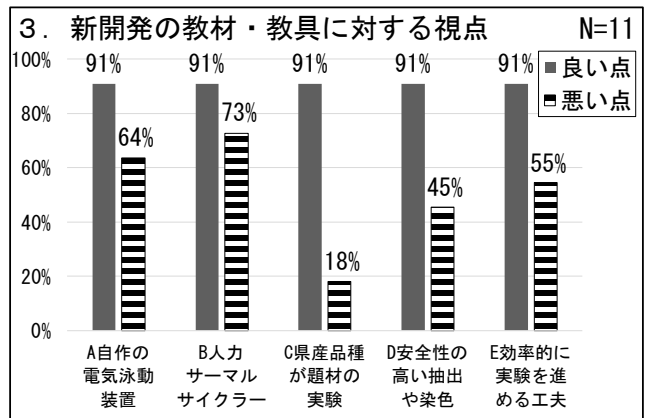
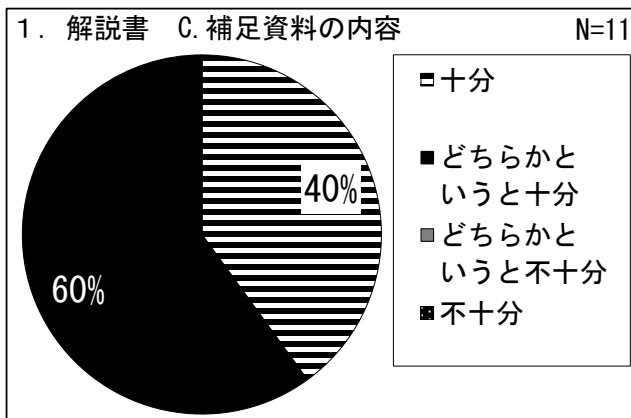
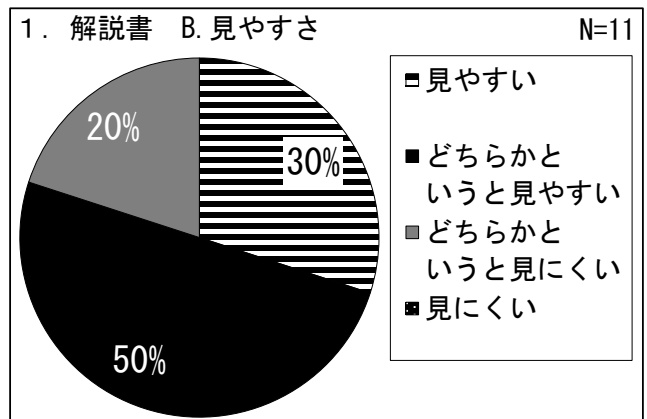
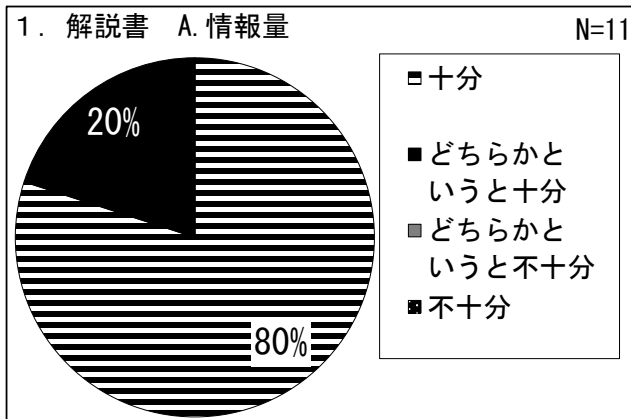
- ・ 銀河のしずくがコシヒカリ系統だということ。
- ・ いもち病抵抗性遺伝子とコシヒカリ系統遺伝子で品種が分かる。
- ・ それぞれの米でもっているものが違うこと。
- ・ 遺伝子には様々な種類があり、それをもっていることによってたとえば病気に強いなどの能力をゲットすること。
- ・ ひとめぼれはコシヒカリ系統共通遺伝子をもっていること。
- ・ コシヒカリ系統共通遺伝子を持っている品種が多い。
- ・ 同じ岩手から育てられている米でも、コシヒカリの遺伝子が入っているのか入っていないのかという発見ができた。

## 【資料5】生徒向け授業アンケート(生徒の感想や考え)

### 7. 感想や考えたこと

- ・人力サーマルサイクラーを使って機械の行う操作を行うことが楽しかった。また高校で PCR 法できると、より理解が深まると思った。
- ・普段使ったことがない器具を使っての実験だったので、不安は少しあったものの、協力しながら楽しく実験をすることができ、いい経験ができた。自分たちの身近にある米についての新たな発見があり、今後の見方が変わってくると思う。
- ・コメの種類は、今回は金色の風と銀河のしずくとコシヒカリを用いたが、また違った種類のコメで実験を行うとどうなるのかが気になった。
- ・PCR 法は何をしているのかいまいち分からなかったが実際に体験して理解を深められた。DNA を増やす際には温度と時間が大切だと分かった。また、実験をやってみて、作業を1つミスれば結果がでないのが難しいなと思った。
- ・ほとんどシンプルで分かりやすかったしおもしろかった。
- ・身近なもので作成された器具や普段使うことのない器具での実験は楽しかった。
- ・日本人の祖先の話をしていた時に、チリとか結構遠い外国からも遺伝子が見つかったりしていると知った時は、衝撃を隠せませんでした。米について調べた時は、米自体の種類とかは知っていたけど、遺伝子について全然分からなかったのが、今回の授業の実験で深く知ることができたので良かったです。少し遺伝子について興味がわいてきたので、また、今回のような事を違うもので調べたいと思いました。
- ・新しい器具を使ったり、細かい作業があったりしてとまどいましたが、全ての実験が楽しく電気泳動や PCR 法について知ることができました。たくさんのが進化してきて、今のたくさんの食材があるのだと思い時代とともに進化は必要だと思いました。
- ・実験はすごく高い機械を使ったり、私たちの身の周りにはないもので行うものだと思っていた。しかし、なべとお湯があれば、遺伝子を複製できることを知り、先生の知恵で、カンタンにできることはすごいと思った。とても楽しかったし、マイクロピペットを極めたくなった。
- ・普段は座学でノートに書き写したものを覚えて問題を解いていたので、忘れる速度が速かったけど、今回自分の手を使い実験することで理解が深まった。これから自分の進路に直接関わりがあるかは分からないけれど、どちらにせよ PCR 法について学べたので、とても良い体験ができた。毎回授業で実験するのは不可能だが、実験をやったときくらい、他の分野も知識を深めたい。
- ・遺伝子判定をするのはとても細かい作業で、正しくマイクロピペットで判定するのは難しかったが、とても楽しく品種改良にも興味がわいた。なかなか学校では体験できないような実験をすることができて良かったと感じた。ありがとうございました。
- ・遺伝子判定をする作業はとても細かかった。機械を使うところも、手作業で代用できる。今回使ったピペットは、分量を正確に抽出できるものであり、初めて体験することが多く、とても楽しかったです。実際に体験してみることで実験の作用なども詳しく分かった。

【資料6】教員向け調査



## 【資料7】教員向け調査(文章回答)

### 1 解説書 D印象に残った部分

#### ○印象に残った部分

- ・試薬の調整ページ。
- ・参考資料。
- ・岩手県で作出したイネの品種を実験材料としたところ。
- ・PCR・電気泳動の原理, 実験に必要な器具の説明。
- ・プライマー注文時の分析書の見方, プライマーの保存法の説明。
- ・試薬調製のプロトコル。
- ・人力サーマルサイクラー。
- ・簡易的な電気泳動装置。
- ・操作解説のイラスト。
- ・自作実験機材の工作方法。
- ・量が多い。難しい。
- ・人工サーマルサイクラーや自作の電気泳動装置を用いたこと。また, 今回の技術が社会でどのように利用されていること。

#### ○理由

- ・本当に自分で調整する際には, とても丁寧で, 成功にたどり着けるのではと感じたから。
- ・簡易電気泳動装置の作成方法について, カラーの写真付きで詳細に記述されており, 模倣可能なものとなっている。低予算で行うことができ, 作成する時間さえ確保できれば必要な個数を用意することができる。
- ・岩手県で作出したイネを材料としてモデル実験を設定したことは, 大変興味深いです。サブタイトル(いもち病耐性遺伝子よる比較)は, 今回はいもち病耐性遺伝子が「金色の風」, 「銀河のしずく」の両方が持っていることを証明するにはいいのですが, 1個の遺伝子比較ではサブタイトルが合わないような感じがします。
- ・写真・図が多く, 遺伝子を扱う分野を専攻してこなかった生物教員でも対応可と思われるため。
- ・教員が分析内容や保存手順をその都度作成する手間を省略しているため。
- ・教員が各液量に応じた試薬の調製量を計算する手間を省略しているため。
- ・実際に手動でやることによってPCRの原理をしっかりと学ぶことができる。
- ・コスト削減とともに簡易的な装置で十分な結果を出すことができる。
- ・視覚的に分かりやすい。教員の準備と生徒の操作が明示されており, 実験しやすい。
- ・機械・器具の使い方が詳細にイラスト付きで書かれており, 経験の少ないものにも理解しやすい作りになっている。スタンダードな方法の解説→参考として人力サーマルサイクラーの解説など, 説明の順番が分かりやすい。
- ・実験の解説書が, 何を狙っているのかに関わってくるかと思いますが, 授業でPCR法を広く実施させることが目的の解説書であるならば, 試薬等を9個調製することは実施の難易度を上げているように感じました。本文中「すでに調整されたものが販売している」とあるが, これがどのようなものなのか。キットではなく試薬だけが購入できるのであれば, この情報をメインにすると見やすくなると思いました。
- ・情報量が多くて読むのが大変だったのが率直な感想です。「実験を行うために必要な」というのであれば, むしろもっと簡素化されないと読む(実験を行う)気が湧きません。p11 試薬の調整～p21 実験操作の手順が特に読むのが大変でした。専門用語が多すぎて, 遺伝子分野の専門家でなければ解説するだけで一苦勞です。一人でも多くの先生に「やってみたい」と思わせることを目的とするならば, 極力専門用語を減らし, 括弧書き程度にすべきと考えます。例えばアプライも教科書では”注入”と記載されています。そのように誰でも分かる言葉に置き換えて書かれていないと, 解説にならないと思います。
- ・増幅の作業を自分の手で行っていることで作業の大変さが分かった。器具の問題を解決できたこと。
- ・今回の技術が何に役立つのか興味を持った。

#### ○課題点

- ・中身ではないですが, せっかくこの形で製本されているのであれば, 真ん中をホッチキスで止めると取り扱いが楽だと思います。枚数が多いので。
- ・容器にゲルをセットした状態のカラー写真も掲載されていた方が, より視覚的に理解しやすいと感じる。
- ・銀河のしずくはいもち耐病性があり, コシヒカリ遺伝子を持たない。これは不正確でコシヒカリの一部の遺伝子は持っていないなどの表現にする。

- ・実験の流れを正確に理解するためにも、実験中の動作を映した動画と解説書のセットがあると予備実験がしやすい（特に、簡易電気泳動装置の作成風景と人力サーマルサイクラーの実験風景）。
- ・使用する試薬の名称や購入方法、値段などがまとめてある一覧表があれば、準備の負担が少なく済むと思われる。
- ・少人数の実験にはよいが、大人数の場合どうするか？
- ・ゴム手袋の着用は必要ないのか？染色したゲルも含めて廃液処理は要注意だと思います。（エチジウムブロマイドは使用しない方がよいと思います。図 30 の表題はこれでよいですか？）
- ・かなり分かりやすく解説してあったが、準備の負担が大きいと思われる。人力 PCR でウォーターバスがない、もしくは少ない場合に温度の管理が難しいのでは（特に 64℃と 68℃）。本実験では、20 人程度と思うが、大人数での実験が難しいのではないか。
- ・エチジウムブロマイドの廃棄方法についての情報が必要。
- ・補足資料でよいので、目的とするプライマー間の DNA 断片が得られるのは PCR 2 サイクル目からなどの情報も欲しい。
- ・文章は分かりやすく書かれているが、まだ推敲できる部分がある。
- ・試薬の調製は大きな項目 3 ではなく、参考資料（電気泳動装置の作り方などと一緒）の方が、見やすくなると感じました。また、調製に必要な薬品はどこで購入できるか（エチジウムブロマイドなど無資格の人間でも購入できるか）などの情報が知りたいです。サポート資料とは違い実験の実施を目的にしているのではないかと思います。そのように感じました。
- ・試薬の調整は全ての試薬を購入して調整する人向けに紹介していると書かれていますが、実際何も買った経験がない立場の者を見ると、どこまで調整されているものが売っていて、どこから自分でやらなければならないのか全く分かりませんでした。できれば、一番簡単な方法を書いていただき、「一から自分でやりたい人はこちらを参照（URL 等）」として飛んでもらった方がよいと思います。（個人的には、野菜の下ごしらえから説明されたレシピを読んで一から料理するのは手間です。料理好きの人には詳しくて良いでしょう。カット野菜を買ってきて袋の裏を見て調理、もしくはレトルトで温めれば完成、くらいな手軽さだと手が出しやすいです。そんなイメージです。）
- ・作業が単調なので、雑になってくるのではないか。湯浴槽につける時間が数秒ずれることもあったので、結果に影響しないのか。あとは、待っている間の時間の使い方を今回のように考える必要がある。

※誤字脱字等の指摘に関しては、掲載を割愛させていただきました。

## 2 授業実践

### ○成果

- ・本実験の前日に、ピペットの使い方やウェルへの注入を練習していたため、当日は自信を持って作業できていたし、結果にもつながり感動できたと思うので、練習は必要だと思った。
- ・実際に実験器具に触れ、自分で操作することで、実感を伴った学習(体験)をすることができ、更なる興味・関心を引き起こすものではないかと思う。（進学クラスのその後の学習へとつながるものでもある）
- ・実用化されている遺伝子（DNA）操作・技術を高校の実験でできるように工夫されている点。
- ・入手可能なイネの品種を用いている点。
- ・マイクロピペットの操作方法を映像を用いて時間をかけて丁寧に説明している点。
- ・PCR の原理への理解を促すワークシートは、PCR の原理を理解するには適切な教材である点。
- ・従来、教科書や資料集では PCR や電気泳動の原理の説明に留まっており、前述の教材だけでは本当に DNA 断片が増加するののかを確認できなかった。その点、本研究は PCR の基本に立ち返ることで、分かりやすく丁寧な指導ができていたと感じた。また、目的の DNA 断片を調査することが様々な分野の研究に生かされていることも知ることができ、遺伝子工学の意義と重要性を生徒に伝えられていると思った。大学に進学し、生物専攻を考えている生徒にとっては、貴重な体験となるはずである。
- ・パワーポイントを用いて、分かりやすく、生徒が興味を持つようによく工夫された説明でした。
- ・プレゼンテーション、ワークシート、説明の仕方が分かりやすく、生徒の興味・関心・理解度は高まったと思う。
- ・遺伝子と聞いただけで難しいと身構える生徒が多い中、マイクロピペットの使い方等を丁寧に説明し指導されており、生徒も使いこなせるようになっていた。
- ・岩手県産品種を用いることも興味関心の喚起につながったと思う。
- ・生徒それぞれが作業できる（お客さんにならない）形式になっている。ワークシートを使って、生徒が自主的に進められる。人力サーマルサイクラーでは、班ごとではなく全体でそろえて実施することでペースが揃えられること、および時間管理を徹底できること。

- ・PCR法を高校の授業で体験できること。大学の学生実験レベルの実験が体験できることは大きな事だと思います。私自身、大学の学生実験で、実験器具の使用の仕方を知らずに教授から怒られた経験があるので、マイクロピペット、遠心分離機、電気泳動装置など触れる機会があることは、理系の大学へ進む生徒にとっては本当に価値がある授業になると考えます。
- ・遺伝子実験を身近なものとして体験できること。
- ・教科書に登場するPCR法や電気泳動について、実際に体験して理解を深めることができること。
- ・身近なイネを用いたことがすごいアイデアだと思った。種ごとにDNAに違いがある材料を知っていないといけないと感じた。また、自作の器具を使用して電気泳動を行ったことで、身近にもできる実験になってきたのだなど敷居の高さが少し解消された感じがした。

#### ○課題点

- ・マイクロチューブから中身が抜けていた班は残念感が大きい。泳動結果をじっくり考察する時間がなかったこと。
- ・多くの器具を使い、多くの操作が必要で、やはり時間が足りないように感じる。電気泳動後のゲルを観察し、検証するような時間は必要かと思う。
- ・実験を実施するための機材、試薬の購入・指導教員の技術・経験。
- ・人力サーマルサイクラーを実施するにあたって、予算の関係上、恒温槽もしくはサーモスタットといった器具の準備に時間がかかることが予想される。また、マイクロチューブ固定法や簡易電気泳動装置の工作に不慣れな教員も一定数いることが考えられるため、可能であれば事前講習会を開くなどしてそのノウハウを身に付ける機会がいただければと思う。
- ・評価方法についても考慮した方がよいと思います。各段階で理解すべきポイントや評価の基準について提示してみてもは。また、実験で用いた試薬や装置がいくらくらいかかるのか提示してもらおうと今後、遺伝子実験を取り入れようとしている学校にとってありがたい情報になると思います（ちなみに高速冷却超遠心機、ディープフリーザーも必要だと思います）。
- ・時間内に終わらせることが難しいと感じた。人力でも20サイクル程度で十分にDNA増幅される場合があるようなので、検討してみてもどうでしょうか。
- ・観点別評価になっているため、本時の目標に到達目標があり、実験しながら達成感が持てると興味関心を喚起するだけでなく、新たな学びのきっかけになると思った。
- ・PCRの原理については、アニメーション等を使っての解説があると分かりやすいのではないかな。
- ・マイクロチューブの開け方解説（コツ、ふたの裏側に触れてのコンタミを防ぐ方法も含め）などがあってもよかった。時間があれば泳動後のバンドの解釈も生徒にさせたい。
- ・実験器具をそろえること。やはり、高価な薬品や器具が多いためそろえることが難しいと思います。また、自作の電気泳動装置も作る時間と労力。何個か用意しなければならないところに難しさを感じます。
- ・時間がかかること。普通の学校の授業で、ただでさえ受験までに教科書を終わらせる時間が厳しいのに、2日間も丁寧に時間を掛けて実験をできる余裕は現場には皆無である。
- ・「体験した」ということは記憶に残ると思う。しかし、今やっている作業がどのような意味を持ちどの原理とどう繋がっているのかについて、教員が思うほど深い理解には結びついていないかもしれない。初めて知る言葉や覚えることが多くて、頭で消化しきれないまま作業をしている生徒は、思っているより多いのではないかなと思う。
- ・うまく判別できなかったときに、慣れない作業（マイクロピペットでの作業や増幅の作業、ウェルへの注入など）が多いため、どこの作業が悪かったのか振り返るのが難しいと感じた。また、今回用いたイネのように類縁関係が分かると品種の判別ができて良いが、そのような材料を準備できないときに心配される。
- ・このアンケートの「県産品を実験に導入する」という趣旨とかけ離れてしまうかもしれないが、品種判別を体験させるためなら品種を伏せて材料を提示し、電気泳動の結果で判別させた方が興味がわくのではないかな。

### 3 新開発の教材・教具に対する意見

#### A 自作の電気泳動装置

##### ○良い点

- ・安価に作成でき、事前の練習に適している。
- ・実感を伴った学習(体験)をすることができ、更なる興味・関心を引き起こす。安全性に注意すれば、安価でよいものである。
- ・低コストで作成できる。
- ・コストが少なくすむ。
- ・電気泳動用ゲルのウェルに試料を注入する操作を会得しやすい。
- ・意外と単純な仕組みであることを実感でき、理解が深まる。
- ・安く実験器具が手に入ること。
- ・原理が分かりやすい。
- ・自作の器具でできるのだと分かり、実験に取り組みやすくなった。

##### ●悪い点

- ・ハンダ付けなどは、生徒ができるかどうか。
- ・人によって作成に時間がかかる。
- ・自作の電気泳動装置を作成する時間的余裕がない。
- ・全体を覆うボックスなど感電防止対策が必要。
- ・マニュアルにどこを触ると感電するか書くなども。
- ・工作をする時間がない。ショートなどの危険。
- ・扱いに注意が必要。
- ・自作の器具ということが、結果の精度には影響はないのか。

#### B 人カサーマルサイクラー

##### ○良い点

- ・45秒の待機時間に生徒同士でコミュニケーションが取れたところが良い。
- ・手動で行うからこそ原理が学べる。時間を短縮できる。
- ・PCRの原理を学習するには良いと考える。
- ・1サイクル中の温度変化とDNAの複製過程を関連付けて学べる。
- ・原理を理解するためにはよい。
- ・PCRを体験することで、遺伝子工学への興味関心を喚起できる。
- ・操作自体は極めて単純なものであることが実感でき、理解が深まる。
- ・機械に任せきりではなく、原理を体感できるところ。
- ・原理が分かりやすい。時短にもなる。
- ・大変な作業だと理解できて良い。スクリーンでのタイマーも見やすかった。

##### ●悪い点

- ・空調がない学校では、夏の暑い時期の実施は厳しい(とても暑くなることが予想される)。
- ・電源を気にしなければならない。
- ・サンプルチューブ内の温度がそれぞれの設定温度になるかは、疑問である。
- ・温度管理にコストがかかる。
- ・手間がかかる。
- ・ウォーターバスが用意できないときに、温度管理が難しい。
- ・各温度での反応のアニメーション、たとえば68℃ではDNAが伸長する・・・などを表示するなどはどうか。
- ・準備に時間かかりそう。
- ・手間がかかる。
- ・単調な作業なので、興味が薄れてしまわないか。時間がズレても問題ないか。



### C 県産品種が題材の実験

#### ○良い点

- ・身近だということに加えて、消費拡大効果が期待できる。
- ・身近な材料を用いることで、より実感が伴った理解のしかたとなると思う。
- ・イネを材料としたことは身近に農業を感じることができる。
- ・品種改良の利点や岩手の農作物の優れた点を学ぶいい機会となる。
- ・身近な題材でよい。
- ・岩手県産品種ということで、身近で興味関心を喚起しやすい教材であった。
- ・親しみやすさや、地元の農業・農産物を知るなどの点で優れている。
- ・生徒が、親しみやすいのではないのでしょうか。
- ・教科書の話から身近な話に変わる。地域への関心にもつながる。購入も容易。
- ・コメというだけで身近な材料なのだが、岩手県産品というところが大変良かった。

#### ●悪い点

- ・岩手県で作出した品種数を増やしてみたらどうか。
- ・新品種についても、ワークシートに系統樹を載せてはどうか。
- ・安定して結果が得られれば、特に悪い点は無い。

### D 安全性の高い抽出や染色

#### ○良い点

- ・DNA抽出は、手順が多いが、教育センターの器材を借用できれば可能であると思う。
- ・ほとんどがキット化されているので、これを利用した方が便利である。
- ・生徒への危険に配慮されている。
- ・高校生が実験する上で安全性は大切。
- ・安全性を担保できる。
- ・フェノールなどを使わなくてよく、実施に向けてのハードルが低くなってよい。
- ・安全に実験が行える点
- ・生徒に扱わせやすい。
- ・可能な限り危険な作業を生徒にやらせない方法であったので良かった。

#### ●悪い点

- ・エチジウムブロマイドは生徒実験には使用しない方がよい。
- ・廃液の処理等、後片付けについても触れたい。
- ・エチジウムブロマイドも使用は非推奨とし、補足程度にすべきでは。
- ・時間がかかる？
- ・PCRの経験が無いと、危険な作業が理解できていないので、しっかりと知識を得る必要がある。

### E 効率的に進めるための工夫

#### ○良い点

- ・保管場所・スペースをとらず使いやすい。
- ・丁寧な取扱いが必要な器具や、無くしてしまいそうな小さなチューブ等を扱うので、マイクロピペット立てやチューブ立ては、活用性が高いと思う。
- ・可能な限り、実験器具は安価に準備できればよい。
- ・コストが抑えられる。
- ・コスト削減のため工夫することはよい。
- ・ワークシートが分かりやすい。チューブ立ては使いやすいそうだった。
- ・フロート式ではなく、重いものでPCRチューブを固定することで、チューブ全体をお湯につけやすくしている点が良い。
- ・便利だと思います。
- ・用具を扱いやすくなる。
- ・実験が進めやすくなるため有効だと思う。また、湯浴槽が3つずつ準備されていた。

#### ●悪い点

- ・作成する時間や設備の有無がかかわる。
- ・3Dプリンターは各学校に整備されているのか。
- ・3Dプリンターがない場合の道具等の工夫。
- ・ハンドスピナーを使う点はおもしろいが、もっと安価に作りたい。
- ・自作できないと感じる。
- ・現場で誰でも作れるわけではない。
- ・準備や温度管理が大変だと思う。

#### 4 実験実施に必要な支援

##### B 他の実践例の情報提供

- ・材料となる生米は、一食分ずつの小分け(一人用)でも販売している(生協)ので、それを用いることで費用を削減できる。
- ・宇都宮大学ではバイオサイエンス教育研究センターを設置しており、高校生などが遺伝子の実験を1クラス単位でできるようにシステム化されている。
- ・各大学や研究機関、関連企業等でバイオテクノロジーに関する参加型講習会が企画されています。
- ・安価に遺伝子導入・形質転換実験ができる教材があればよいのですが。

##### C 全体を通して質問・意見

- ・やはり試薬の準備が大きな鍵を握る気がします。どの実験もそうですが、準備には時間がかかりますね。あと、食味の実験をできればなお良いと思います。
- ・実験解説書の方に、最初から最後までの流れと、実験で実際に作業している中身とか起こっている現象とかが理解できるようだと有難いなと思いました。
- ・本研究授業の映像から、本教材は生徒の興味だけでなく大学等の研究機関でも有用となる技能の習得にも生かせることが十分に考えられます。生物学を専攻したいと考える生徒にはぜひとも取り寄せたい教材です。
- ・PCRなどのバイオテクノロジーの理解や習得も大切ですが、これからは次世代コンピューターの時代で、バイオインフォマティクスに関わる情報処理技術も必要になってくると思います。
- ・生物部会の研修の一貫として熊谷先生の実践報告をしていただくというような、生物部会との連携があるとアンケートを取りつつ、こちらも勉強になると感じました。丁寧に作りこまれた資料、授業実践だと思えます。アンケートに参加できていろいろ勉強になりました。ありがとうございました。
- ・PCRを授業時間内で実施できるという実験プランが大変良く、ペーパークラフトもユニークな工夫で、生徒の理解につながると思えます。また、マイクロピペットなど、自作できない機材については、何セットかを県内で使いまわせるしくみができればありがたいです。生物の授業内容の中で、特に社会とのつながりが深い実験ですので、このようにサーマルサイクラーなしで手軽に実施できるテキストができたことは大変有用であると思えます。今後、各校で実験に取り組まれることを期待します。
- ・お疲れ様です。先ほども記入させていただきましたが、私の勉強不足のため解説書だけでは、何を指した解説書なのか分かりにくいところがありました。「PCR法を授業の実験で取り入れてもらう」サポート資料的なことが目的なのか、「市販のキットではなく、自分たちで工夫して試薬から調整し、PCR法と電気泳動を実施しました。」という方向なのか迷いました。後者であるならば、基本的な方法(実験器具の説明、マイクロピペットの扱い等)はいらないのかなとも感じました。教科書の実験を非常に丁寧に解説されており、今まで、技術面でも安全面でも授業で扱うことが難しいと感じていた実験でしたが、生徒に取り組ませたいと感じました。教員向けの研修と併せて行うことで、現場でも行う事ができるようになると感じました。
- ・今回は研修に参加させていただいたので、解説書等もある程度理解することができましたが、研修に参加していなければ、この解説書は全く理解することができなかったと思います。今回のアンケートの回答のために、資料の確認・理解・アンケート回答まで含めてトータル8時間くらいはかかりました。そのくらい、遺伝子の専門家ではない人間にとって負担がかかる内容です。これを利用して自分が授業で実践するために準備もしなければならぬとなれば・・・正直無理です。やる側(生徒)以上にやらせる側(教員)は入念に準備が必要だと思います。「全てのお膳立てができていて、あとは用意されたものを使って生徒を動かすだけでOK」であれば、分かりやすく解説しながら取り混ぜることくらいはできると思います。率直に厳しい意見を書いてしまい、申し訳ありません。たくさんご準備されて、現場に代わって研究いただいていることに感謝いたします。
- ・目には見えない反応であるため、何が起こっているのか理解させないと、単なる作業で終わってしまうし、成功しないのが当たり前なのだが、時間をかけたわりに結果がうまく出ないと大変残念に感じてしまう。
- ・PCRの知識が無いと、取り組みにくい実験であったが、このように授業に生かすために研究して頂いていることがありがたいです。