

平成21年度（第53回）
岩手県教育研究発表会資料

理 科

高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた 教材の開発に関する研究

平成 22 年 2 月 18 日
岩手県立総合教育センター
長期 研 修 生
所属校 岩手県立大槌高等学校
八 尾 晃 一

目次

I	研究目的	1
II	研究の方向性	1
III	研究の内容と方法	1
1	内容と方法	1
2	授業実践の対象	1
IV	研究結果の分析と考察	1
1	高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想	1
(1)	高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本的な考え方	1
(2)	「遺伝子」の学習における生徒と指導の実態	2
(3)	「遺伝子」の学習としてシロイヌナズナを教材に取り入れる意義	3
(4)	高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想図	4
2	基本構想に基づく教材の開発	5
(1)	種子の入手と栽培	5
(2)	光条件による発芽実験	6
(3)	DNAの抽出実験	7
(4)	遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察	7
(5)	野生型と遺伝子変異体の観察	8
3	基本構想に基づく手だての試案の作成	11
(1)	遺伝子に関する理解のためのシロイヌナズナを用いた教材を位置付けた手だての試案	11
(2)	検証計画	11
4	シロイヌナズナを用いた教材を利用した授業実践及び実践結果の分析と考察	12
(1)	授業実践の概要	12
(2)	実践結果の分析と考察	16
5	高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関するまとめ	19
(1)	成果	19
(2)	今後の課題	19
V	研究のまとめと今後の課題	19
1	研究のまとめ	19
(1)	高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材開発	19
(2)	開発した教材を用いた授業実践	19
2	今後の課題	19
<おわりに>		19
【引用文献】，【参考文献】		20

I 研究目的

高等学校生物において、新しい学習指導要領が公示され、目的意識をもった観察や実験を行い、生物学の基本的な概念や原理・法則を理解させることが求められている。さらに、各内容の探究活動において、学習活動と関連させながら観察や実験を行うことが必要とされている。

しかし、「高等学校生物教育に関する全国調査」（国立教育政策研究所，2006）によると、観察や実験の実施率の低い単元があることが指摘されている。特に「遺伝子と染色体」、新学習指導要領における「生物と遺伝子」の単元で扱われる教材としては、微生物などを用いた例があるが、手にとったり生活環を意識したりしながら遺伝子の存在を認識することができないため、生徒は学習を深めることができない現状がある。

このような状況を改善するためには、生育が速く栽培が簡易であり、様々な実験を提示でき、生物における遺伝子の存在や働きを理解できる具体的な生物素材を用いた教材を開発する必要がある。その素材の一つとして、シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.; 被子植物門アブラナ科) があげられる。本種は、植物の基礎研究材料として世界的に多く取り上げられており、播種から開花までの時間が非常に短く、ゲノムの全 DNA 塩基配列が解読されているモデル種として知られている。

そこで、本研究は、高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材を開発し、それに基づいた授業を実践することで、教材の効果を明らかにし、本県生徒の学習指導の改善に役立てようとするものである。

II 研究の方向性

遺伝子に関する理解を深めるため、種子植物のなかで遺伝子の働きの解明の研究に利用されているシロイヌナズナを用いて高等学校生物の教材開発を行う。

III 研究の内容と方法

1 内容と方法

- (1) 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想の立案(文献法)
- (2) 基本構想に基づく教材の開発(開発法)
- (3) 基本構想に基づく手だての試案の作成(文献法)
- (4) 授業実践及び実践結果の分析と考察(授業実践, 質問紙法, テスト法)
- (5) 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する研究のまとめ

2 授業実践の対象

岩手県立大槌高等学校普通科第3学年文理コース生物Ⅱ選択者 18名(男子4名, 女子14名)

IV 研究結果の分析と考察

1 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想

- (1) 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本的な考え方
ア 学習指導要領の改訂

現行の学習指導要領の目標には、生物や生命現象に関して観察や実験を行うことが示されている。さらに、平成24年度から理科は、他教科に先駆けて新しい学習指導要領が適用される。理科の目標の中では、「目的意識をもって観察、実験を行い、」と明記されている。高等学校生物領域における内容の改訂に関しては、次頁【表1】に示したように、「生物Ⅰ」「生物Ⅱ」が、「生物基礎」「生物」と変わるとともに、内容が大きく変わった。特に「生物Ⅱ」の内容を多く含む「生物と遺伝子」の単元については、「この科目の導入として位置付け、以後の学習においても、生物についての共通性と多様性の視点を意識させるよう展開すること」とされている。あわせて生物学が学問的に最も大きく刷新されているため、「遺伝子の形質発現の仕組み」や「植物の器官の分化」など新しい知見を踏まえた内容を扱えるよう改善されている(文部科学省, 2009)。これらのことから、遺伝子に関する理解を深めるための観察や実験などの教材を開発することが、急務である。

【表1】 生物領域における学習指導要領の内容の比較

現行学習指導要領（平成15年度～）	新学習指導要領（平成24年度～）
生物Ⅰ（3単位） ・細胞、生殖と発生、遺伝 ・環境と生物の反応の間に見られる仕組み	生物基礎（2単位） ・生物と遺伝子 ・生物の体内環境の維持 ・生物の多様性と生態系
生物Ⅱ（3単位） ・生物体内の化学変化やエネルギー変換、様々な生物現象を支えるタンパク質や核酸 ・生物の分類と系統及び進化の過程とその仕組み ・個体群の構造と維持、生物群集と生態系 ・課題研究	生物（4単位） ・生命現象を支える物質の働き ・生物の生殖や発生 ・生物の環境応答 ・生物の個体群と群集及び生態系

イ 「高等学校生物教育に関する全国調査」による観察や実験の実施状況

「高等学校生物教育に関する全国調査」（国立教育政策研究所，2006）が示した観察や実験の実施調査によると，生物Ⅰの細胞に関する観察や実験は10項目であり，実施率は80%であった。それに対して，遺伝に関する観察や実験は，DNAの抽出実験の1項目のみで，実施率30%に留まっている。また，生物Ⅱの遺伝子に関する実験は，10%以下の実施率であった。このことから，遺伝子に関する観察や実験の実施が不十分であることがわかる。

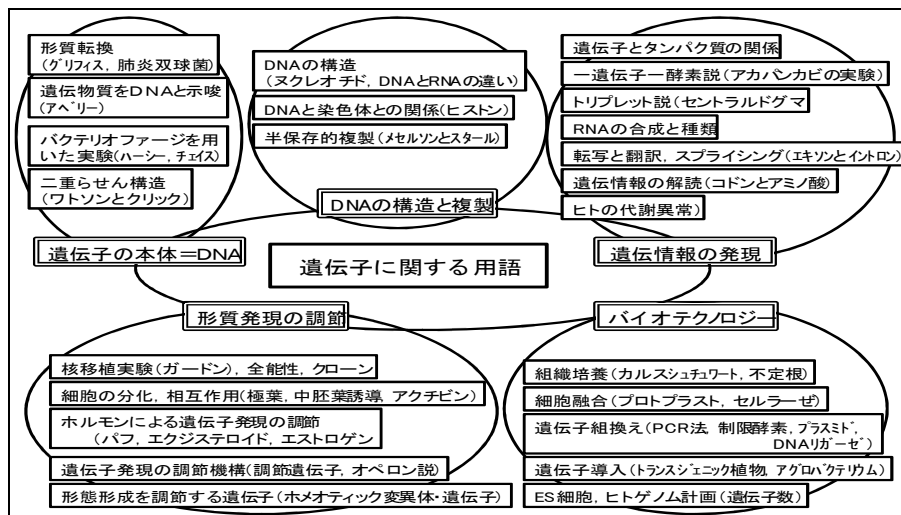
(2) 「遺伝子」の学習における生徒と指導の実態

ア 生徒の実態

遺伝子の本体であるDNAは，化学物質であり，DNA塩基配列による遺伝情報から形質や生物の働きを考えるには，分子レベルの視点が必要である。そのため，生徒は遺伝子を実感して学習しにくい状況にある。様々な生物種で，DNAの情報が働き，同じ物質や同じ遺伝子も存在するといった共通性を認識しにくい。

イ 指導の実態

生物の学習では，どのような生物材料を教材とするかが，重要である。しかし，授業で扱う生物や生物現象は多様であり，遺伝子に関する教材として適したものが少ない。さらに，授業で扱う遺伝子に関する用語は，下の【図1】で示したように非常に多く，知識の習得に偏りがちで，観察や実験を通して実際の生物や生物現象での遺伝子の働きを，実感させる指導が不十分になりやすい。そのため生物や生物現象と遺伝子を関連付けにくい指導になりがちである。



【図1】 遺伝子に関する用語

(3) 「遺伝子」の学習にシロイヌナズナを教材として取り入れる意義

遺伝子の学習にシロイヌナズナを教材として取り入れる意義は、シロイヌナズナという一種の植物でDNA、形質発現、変異体の観察や実験などを行うことができることである。従来の指導では、【表2】に示したように、多種多様な植物を扱っているため、生物の多様性にとらわれ、遺伝子のような生物の共通性に目を向けることが少ない。そこで、遺伝子を生物の共通性としてとらえさせ、一つの生物のみで観察や実験を行うことで、遺伝子に関する理解を深める効果を目指した。

シロイヌナズナは、ユーラシア大陸から北アフリカ原産の、アブラナ科の草丈30cm程の小さな植物であり、食用や観賞用として利用されていない帰化植物である。しかし現在、植物学において大きな役割を果たすモデル種とされている。その理由は、種子から結実まで簡易な栽培で行うことができること、ゲノムサイズが被子植物の中で小さいこと、自家和合性のため同一の個体でかけあわせた遺伝子の保存ができること、などが挙げられる。シロイヌナズナをモデル種とした研究により、「植物の遺伝子研究は飛躍的に進歩」（塚谷，2007）している。この原因は、研究者が自由な材料を使い多様な遺伝子の働きを解明するのではなく、シロイヌナズナという共通材料で多くの情報を共有できたことが理由とされている。

【表2】植物に関する生物Ⅰ、生物Ⅱの主な内容と観察や実験で扱われる植物

科目	主な内容	植物【科名】
生物Ⅰ	細胞	タマネギ【ユリ科】
	植物の組織	ツバキ【ツバキ科】
	減数分裂	ムラサキツユクサ【ツユクサ科】
	重複受精	サクラ【バラ科】、ナズナ【アブラナ科】
	遺伝の法則	エンドウ【マメ科】、スイートピー【マメ科】、アサガオ【ヒルガオ科】
	屈性、水の移動	マカラスムギ【イネ科】、セコイヤ【ヒノキ科】
	光周性、花芽形成、光発芽種子植物ホルモン、光-光合成曲線	コムギ【イネ科】、オモナミ【キク科】、レタス【キク科】、バナナ【バショウ科】
生物Ⅱ	アミノ酸の検出	レタス【キク科】、ダイズ【マメ科】
	植物の光合成色素	シロツメクサ【マメ科】
	DNAとRNAの分布	タマネギ【ユリ科】
	プロトプラストの作成と細胞融合	ムラサキキャベツ【アブラナ科】、ホウレンソウ【アカザ科】
	植物体の構造比較	ミズゴケ【ミズゴケ科】、スギナ【トクサ科】、スギ【ヒノキ科】
	個体群の成長	ウキクサ【ウキクサ科】
	大気汚染調査	マツ【マツ科】

以上のことから、シロイヌナズナの高等学校生物における教材としての特徴とそれを取り入れた観察や実験などを、下の【表3】のとおりとした。

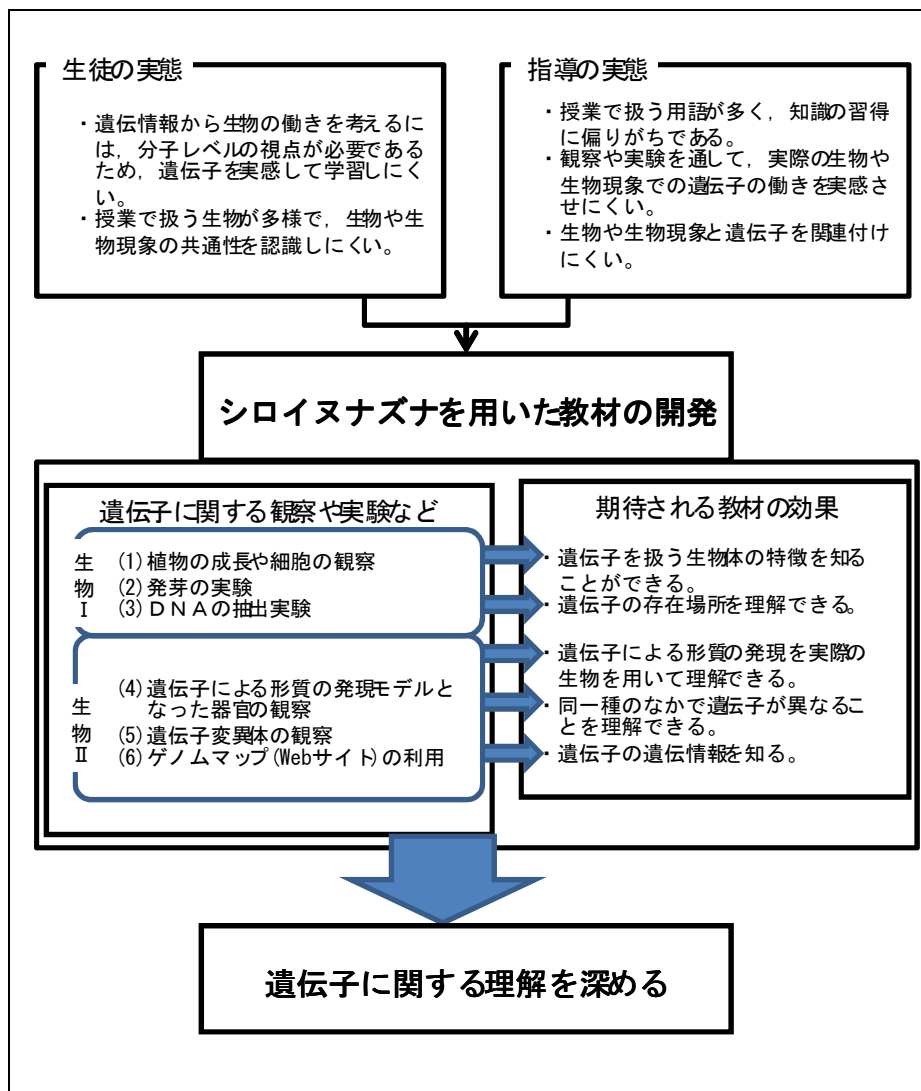
【表3】シロイヌナズナの教材としての特徴とそれを取り入れた観察や実験など

シロイヌナズナの教材としての特徴	特徴を取り入れた観察や実験など
生育条件を整えることで、発芽から開花・結実までの生活サイクルが短くできる。	植物の成長や細胞の観察
発芽に関して、光を要求する光発芽種子の系統が存在する。	発芽の実験
栽培方法や栽培用具が簡単で、教室内で常に栽培が可能である。	DNAの抽出実験
被子植物の花の遺伝情報による器官形成を表す、ABCモデルに用いられた種である。	遺伝子による形質の発現モデルとなった器官の観察
多くの遺伝子変異体が存在し、原因遺伝子が明らかになっている。	遺伝子変異体の観察
全DNA塩基配列が解明され、多くの遺伝子が同定され、Web上に掲載されている。	ゲノムマップ（Webサイト）の利用

これらの観察や実験をとおして、生物Ⅰでは、シロイヌナズナの特徴や遺伝子の本体であるDNAの存在場所の理解が期待できる。生物Ⅱでは、遺伝情報による形質の発現や同じ種の生物でも遺伝子が異なると形質が異なることの理解が期待できる。さらに、Web上のシロイヌナズナのゲノムデータベースを利用し、遺伝子の情報を提示できる。

(4) 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想図

高等学校生物での遺伝子の学習において、シロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想図を【図2】に示した。



【図2】 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関する基本構想図

2 基本構想に基づく教材の開発

基本構想に基づき、シロイヌナズナの種子を入手し、栽培することから始めた。以下に、種子の入手と栽培と、栽培したシロイヌナズナを材料とした観察や実験の内容や留意点を述べる。

(1) 種子の入手と栽培

ア 種子の入手

シロイヌナズナは全国に分布する植物であるが、岩手県では局所的に自生しているものの野外で見つけるのは難しい。本研究で使用した種子は、岩手大学農学部附属寒冷バイオフロンティア研究センター上村松生教授と独立行政法人理化学研究所バイオリソースセンター（以下、BRC）の御協力をいただき入手した。

入手の際は、BRCと「種子の取扱いに関する趣意書」を取り交わすことで野生型や遺伝子変異体の種子を入手できる。実験用のシロイヌナズナの種子の扱いには、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」などに示された条件があり、高等学校の授業では、条件に留意して種子や植物を利用しなければならない。また、シロイヌナズナが外来種という点からも種子の野外への拡散は避けなければならない。

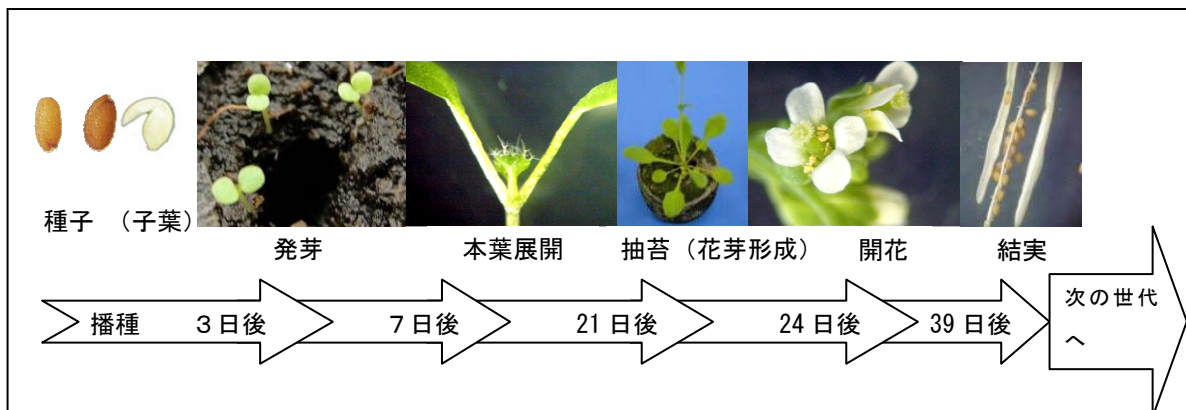
イ 栽培

(ア) 器具 バーミキュライト(培土), 微粉ハイポネックス®(500倍~1000倍), 育苗用ポット, バット(水受用), OHPシート, 茶漉し, 封筒, マイクロチューブ

(イ) 栽培方法

I 播種	播種後の低温処理（5℃前後）により発芽時期を揃えることができる。恒温26℃、恒湿60%、24時間白色蛍光灯の照射で栽培を行った。シロイヌナズナの種子は、微小のため取扱いには注意が必要である。マイクロチューブなどで冷蔵保存することで発芽率が保持できる。光発芽特性をもつことから、覆土はできるだけ少なくするとともに、光の照射で発芽が促進される。
II 成長	長日条件（明期16時間以上）にすることで成長は、促進される。バーミキュライトを育苗用ポットに入れたものを使用し、バットなどで液肥を底面吸水することで結実まで栽培可能。市販の播種用の栽培ポットなどに直播すると鉢上げした場合より栽培期間が2~3日短縮できる。かん水と施肥は、底面が乾燥する前に施す（週2~3回程度）。播種10日後で本葉が形成される。さらに早い個体で播種20日後に花芽の形成が確認できる。15cm程度までは自立しているが、成長とともに匍匐し採種しづらく種子が拡散するため、OHPシートなどを円筒状にし覆い、倒伏を防ぐ。
III 採種	播種30日後以降で採種段階を確認でき、開花から14日程度で種子は成熟する。栽培を継続することで、一株で数千の種子を得ることができる。種子が乾燥したら刈り取り、茶漉しで鞘や花弁を取り除き、封筒などで乾燥させる。常温で採種後1週間程度で再び播種可能となる。

下の【図3】に、24時間照射26℃恒温による、種子から結実までのシロイヌナズナの様子と播種後の日数を示した。



【図3】シロイヌナズナの種子から結実までの様子

本研究で開発したシロイヌナズナを用いた教材とその効果を【表4】に示した。

【表4】シロイヌナズナを用いた教材による効果

教材	教材による効果
a 光条件による発芽実験	植物の光発芽特性と遺伝子の関係を理解できる。
b DNAの抽出実験	遺伝子の本体であるDNAを、同じアブラナ科の植物と同様の方法で抽出し、観察することでDNAの特徴を理解できる。
c 形質発現の調節を考察する花の観察	花の各部位を同一プレパラートで検鏡することで、遺伝子による形質発現調節のABCモデルを理解できる。
d 野生型と遺伝子変異体の観察	実物の遺伝子変異体の観察を通して、遺伝情報と形質発現の関係を理解できる。

(2) 光条件による発芽実験 【配当2時間：実験とまとめにそれぞれ1時間】

ア 教材開発に関する考え方

光が発芽条件となる光発芽種子に関しては、生物Iの「植物の反応と調節」で扱われ、光が発芽を促進することやレタスにおける赤色光・遠赤色光による発芽の可逆性を学習する。

しかしながら、レタスと同じ光発芽特性を持つシロイヌナズナを用いた発芽に関する実験に関する報告は少ない(後藤, 2005)。そこで、シロイヌナズナの野生型を用いて、簡易に光発芽実験を行う際の実験方法をまとめた。

イ 教材の内容

(ア) 材料：シロイヌナズナの野生型 Columbia

(イ) 器具：シャーレ、ろ紙、蒸留水 3ml、恒温器、ラップフィルム、人工気象器

(ウ) 実験方法

- I シャーレを五つ準備し、それぞれにろ紙を敷き、蒸留水 3ml を加え、種子をピンセットでそれぞれ 20 粒播種する。種子が小さいので水で流さないよう、あらかじめ濡らしたろ紙に播種すると種子が動かない。また、ピンセットでつまむことは困難であるため、ピンセットの先に水をつけ表面張力を利用して播種するとよい。
- II 水分の蒸発を防ぐため、ラップでシャーレを覆い、一つは終始明所条件とした実験区を人工気象器に入れ、それ以外四つの実験区は、光が入らないように恒温器内の暗箱に入れる。
- III 1日後から、順次一つずつ暗所からとりだし人工気象器に移し、毎日一定時刻に、発芽している種子数を記録する。
- IV グラフやレポートにまとめ、結果から発芽に必要な条件や遺伝子を考察する。

【表5】光条件による発芽実験区

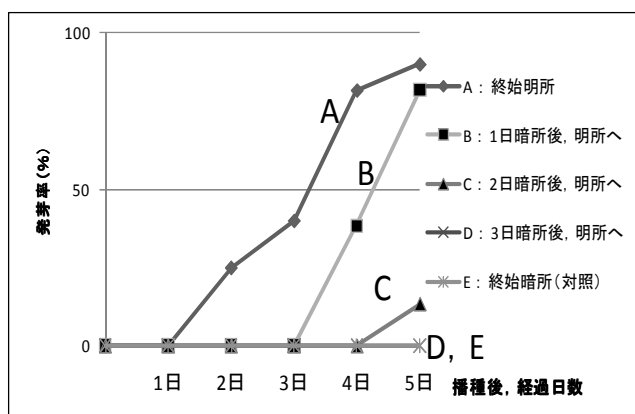
A：終始明所	C：2日暗所後、明所へ
B：1日暗所後、明所へ	D：3日暗所後、明所へ
	E：終始暗所(対照)

(エ) 実験の補足

上の【表5】のA～E、五つを実験区として、発芽実験を行った結果を、

【図4】に示した。グラフで示した通り、野生型 Columbia では、2日後から発芽種子が観察できる。また、赤色光・遠赤色光による発芽の可逆性に関与するフィトクロムに関する遺伝子は、シロイヌナズナを基に発見されている。

この点から、遺伝子と発芽の関わりを関連付けることができる。



【図4】シロイヌナズナの光条件による発芽実験の結果

(3) DNAの抽出実験【配当1時間】

ア 教材開発に関する考え方

高等学校生物のDNAの抽出実験は、魚類の精巣や植物の花蕾といった細胞数の多い器官や組織を用いて遺伝子に関する理解の導入とすることが一般的である。成長段階を観察したり、飼育や栽培したりした生物から直接DNAを抽出するものではないため、成長過程における分化やホルモンなどと関連づけた実験とはならなかった。そこで、DNAを観察するだけでなく、生物現象との関わりを考えさせる観察や実験の材料として、シロイヌナズナによるDNAの抽出実験を試みた。高等学校におけるDNAの抽出実験は、DNA鑑定や遺伝子操作を目的としたものとは異なる簡易型の抽出が知られており（伊佐治ら，2005），それを参考とした。

イ 教材の内容

(ア) 材料：シロイヌナズナの本葉（5 g以上，10枚以上が必要）

(イ) 器具試薬等：蒸留水100ml，NaCl(食塩)12g，中性洗剤数滴，無水エタノール，ビーカー，乳鉢，ガラス棒，乳棒，ガーゼ，ろ紙，ピンセット，酢酸オルセイン

(ウ) 実験方法

- | |
|---|
| I 蒸留水100mlに食塩・中性洗剤を加え，DNA抽出液を作成する。 |
| II 材料を，乳鉢にいれ乳棒で細胞を粉砕する。
(シロイヌナズナは，細胞が小さいため入念に行う) |
| III DNA抽出液をIIの乳鉢に入れ，10分間静置する。 |
| IV IIIの液をガーゼでビーカーに濾しとる。 |
| V IVの液と混合しないよう，ガラス棒を用いて，静かにエタノールを注ぎ，二層にする。
(エタノールを冷凍庫などで冷やしておく，析出しやすい) |
| VI 下側のDNA抽出液から，エタノールの層にDNAが析出してくる。 |
| VII 抽出されたDNAをピンセットでつまみ，ろ紙に付着させる。 |
| VIII 酢酸オルセインを数滴たらし，DNAを染色する。 |
| IX ろ紙をお湯で流し，脱色することでDNAの存在を確認する。 |

(4) 遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察【配当1時間】

ア 教材開発に関する考え方

生物Ⅱの単元「遺伝情報とその発現」の植物の形態形成と調節遺伝子の働きでは，シロイヌナズナの花のABCモデルが実例として用いられている。ABCモデルとは，被子植物の花を形成する4つの部位（がく片，花弁，雄しべ，雌しべ）が，A，B，Cという三つの遺伝子群により調節されて形質発現することを表したものである。そこで，実際のシロイヌナズナの花を観察しながら遺伝子の働きを学ぶことで，すべての遺伝子は常に発現しているのではなく，調節されていることを理解させる。高等学校において授業内で真核生物の遺伝情報による形質発現の調節を示した観察や実験の事例は数少ないこと，生物Ⅰでの被子植物の重複受精との関わりからも有効な教材である。

イ 教材の内容

(ア) 材料：野生型のシロイヌナズナの花

(イ) 器具：光学顕微鏡，ピンセット，柄つき針，スライドガラス，カバーガラス，蒸留水

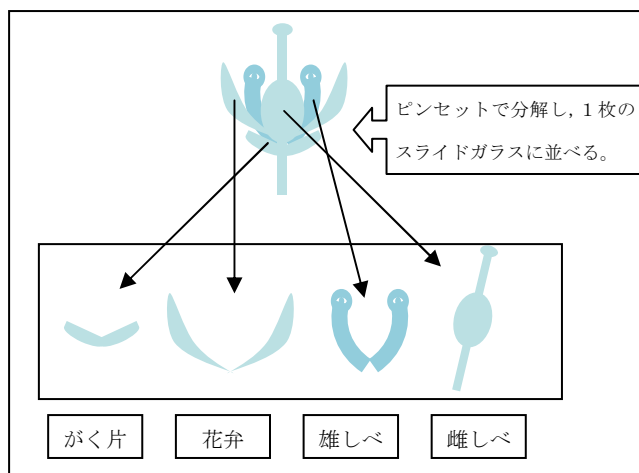
(ウ) 観察方法

- | |
|--|
| I シロイヌナズナの開花している花をピンセットでつまみ，観察した後，スライドガラスの上で，ピンセットを用いて「がく」・「花弁」・「雄しべ」・「雌しべ」の4つの部位に分解する（次頁の【図5】）。 |
| II それぞれをスライドガラスの上に置き，水で封じて低倍率で観察し，スケッチする。 |
| III 調節遺伝子と花の器官形成であるABCモデルを理解させる。 |

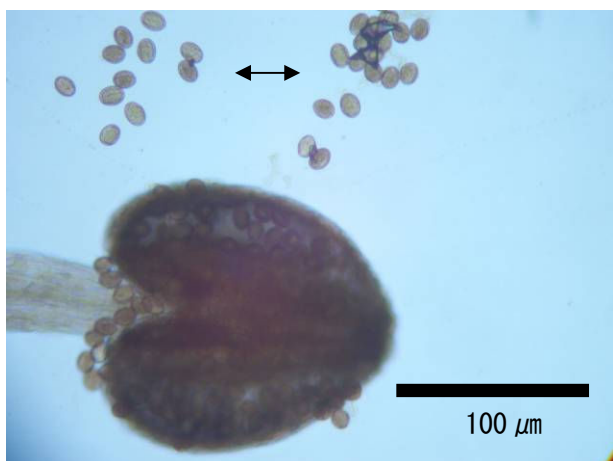
(エ) 観察の留意点

シロイヌナズナの花は、2～3mmと小さく、それぞれの部位ごとに分解したあと、1枚のスライドガラス上に載せ、光学顕微鏡をとおして観察することで、花が4つの部位で構成されていることを意識できる。実際に遺伝子と関わりのある部位ごとにわけ、それぞれを詳細に観察しながら遺伝子と器官形成の関わりを学ぶことができる。

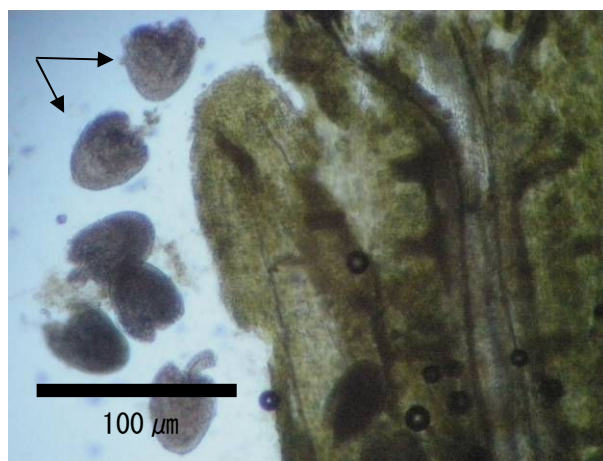
雄しべ、雌しべは、観察だけでなくカバーガラスをかけ、水で封じたあと柄付き針やピンセットなどで叩くことで、雄しべでは【図6】のように花粉の飛散が、雌しべでは【図7】のように子房内に十数個の胚珠が確認できる。雄しべや雌しべの構造や受粉受精と関連付けることもできる。



【図5】シロイヌナズナの花の観察時の工夫



【図6】雄しべの葯から飛散する花粉



【図7】雌しべの子房から飛散する胚珠

(5) 野生型と遺伝子変異体の観察【配当2時間】

ア 教材開発に関する考え方

シロイヌナズナの野生型と遺伝子変異体を比較しながら観察させ、遺伝子の働きを捉えさせるために開発した教材である。高等学校生物の授業において、微生物以外の生物材料を用いた遺伝子の働きに関する観察や実験例は、ほとんどなく、遺伝子が特定された遺伝子変異体の成長を観察できるものはなかった。そこで、シロイヌナズの比較的形質が観察しやすい遺伝子変異体と野生型と遺伝子変異体を観察することで、遺伝情報による形質発現の理解が深まると思われる。

イ 教材の内容

(ア) 材料

遺伝子変異体は、形質の違いがわかりやすいSJM09900と植物体に植物ホルモンの影響を考察させるためのSJK00200、また野生型の種子も同様にBRCより入手し、同一条件で栽培管理を行った植物体を材料とした。

(イ) 観察器具

光学顕微鏡、ピンセット、柄つき針、スライドガラス、カバーガラス、蒸留水、スポイト

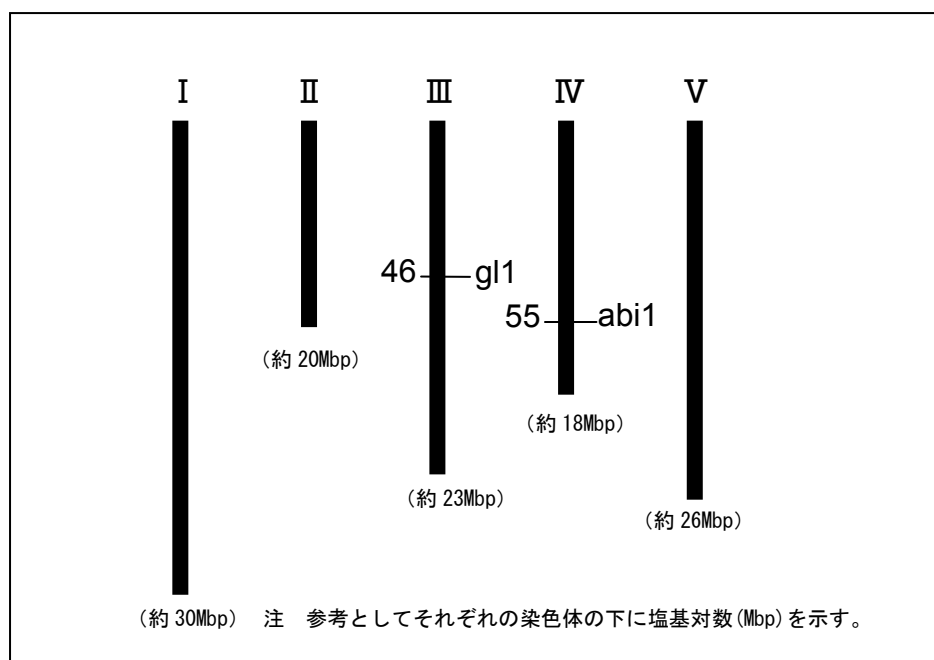
(ウ) 観察方法

- I 野生型と遺伝子変異体のシロイヌナズナの草丈，葉の大きさ，葉や茎のトライコームの有無，ロゼットの大きさ，花序などの形質を比較しながら肉眼で観察し，スケッチする。
- II それぞれの葉を摘み，葉の裏面の表皮を，ピンセット2本を用いて，直接剥離し，水で封じて高倍率（対物レンズ40倍）で検鏡する。（葉が小さく，柔らかいので，スライドガラス上で，はぎとるとよい。また，1時間程度暗所条件の個体を観察すると気孔の開閉状態が明瞭となる。）
- III 形質の違いを意識しながら，トライコームや気孔をスケッチする。
- IV 野生型と遺伝子変異体の同じ部位について，肉眼や顕微鏡での観察を通して，形質の違いをまとめ，遺伝子がシロイヌナズナに及ぼす影響を考察する。

(エ) 遺伝子変異体についての補足

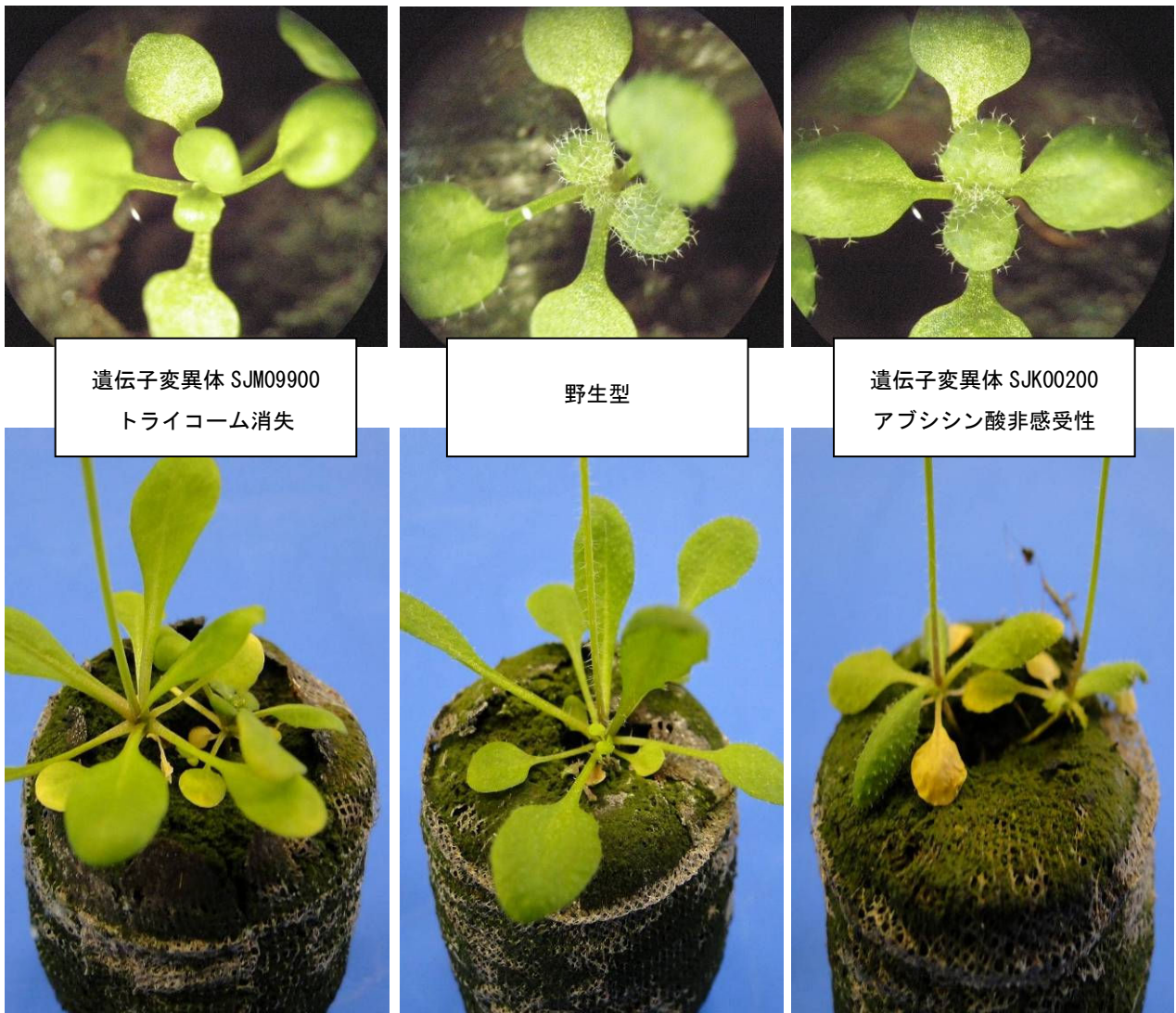
変異体 SJM09900 は，野生型と比較し，違いが明らかな形質として遺伝子群 *gl1* が関与し，トライコームが消失している。トライコームは，葉の表皮細胞が分化した単一細胞であり，細胞の運命を決定する仕組みの解明に用いられている。なお，遺伝子群 *gl1* 以外にトライコーム形成において，他の原因となる遺伝子も多く存在している。

変異体 SJK00200 は，植物ホルモンであるアブシシン酸に対して非感受性となる。アブシシン酸は，種子の休眠維持と気孔の閉鎖に関与する植物ホルモンである。原因となる遺伝子群 *abi1* は，植物ホルモンであるアブシシン酸がどのように細胞に働きかけ，どのような反応につかながるかというシグナル伝達経路に関わりをもつ。この部分に異常を持つことから，野生型と比較して，わい性で送風や乾燥に弱く，野生型に比べロゼット葉も小さく，花序も異なる形質が見られた。さらに，栽培における発芽率も低かった。このように植物の成長過程や形態形成に遺伝子の働きによる植物ホルモンが関わることを実感させることができる教材である。観察に用いた遺伝子変異体の原因となる遺伝子群の染色体上の位置を下の【図8】に示した。さらに，次頁に野生型と遺伝子変異体のトライコームやロゼットの状態を比較した画像を次頁【図9】に，野生型と遺伝子変異体の気孔の顕微鏡像を次頁【図10】に示した。

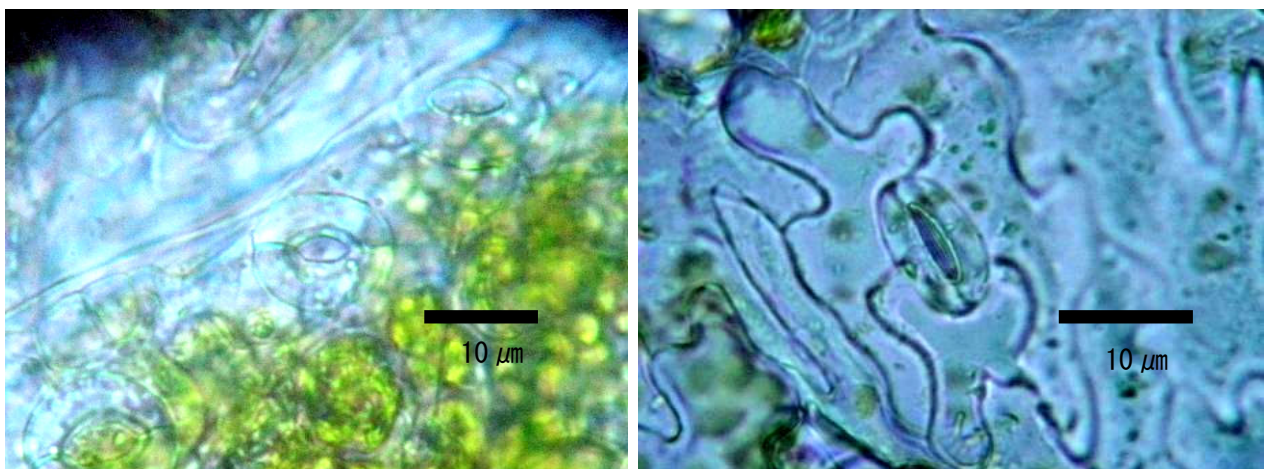


【図8】観察に用いた遺伝子変異体の原因となる遺伝子群の染色体地図上での位置

(染色体の長さは Linkage map of *Arabidopsis thaliana*, Koornneef et al. (1983) を，遺伝子群の位置とモルガン単位 (cM) は classical MAP を参考にした)



【図9】野生型と遺伝子変異体の比較



【図10】アブシシン酸非感受性の遺伝子変異体（左）と野生型（右）の気孔
（暗所条件に1時間置いた後、観察）

3 基本構想に基づく手だての試案の作成

(1) 遺伝子に関する理解のためのシロイヌナズナを用いた教材を位置付けた手だての試案

教材の有効性及び生徒の意識の変容について調べるため、シロイヌナズナを用いた開発した教材を利用した授業実践を行う。生物Ⅱ「遺伝情報とその発現」の単元における、手だての試案を【表6】に示した。

【表6】手だての試案

学習内容	指導上の留意点	開発した教材	教材により期待される効果
①生物Ⅰでの学習の確認 ②DNAの観察	生物と遺伝子に関して学んだ内容を正しく理解させる。	DNAの抽出実験	遺伝子の本体であるDNAを簡易的に抽出し観察することで、遺伝子に興味や関心がもてる。
③遺伝子研究の材料としてのシロイヌナズナ	観察を通して、モデル種とされている理由を考えさせる。	植物成長段階の観察	種子から開花・結実までの成長の観察が確認でき、遺伝子に関する実験生物の特徴が、理解できる。
④DNAの構造 ⑤遺伝情報の発現とタンパク質合成の過程	塩基の相補的關係と転写、翻訳には、図を用いる。		
⑥遺伝情報による形質発現の調節	すべての遺伝子が常に働いているわけではないことを理解させる。	遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察	花の各部位を同一プレパラートで検鏡することで、器官形成に遺伝子が関係し、遺伝子による形質が発現調節されていることを理解できる。
⑦遺伝情報による形質の発現	遺伝情報の違いが形質の違いに結びつけて考えさせる。	野生型と遺伝子変異体の観察	野生型と変異体の遺伝情報を確認しながら、実物の遺伝子変異体の観察を通して、遺伝情報と形質発現の関係を理解できる。
⑧バイオテクノロジーに関する光と影 ⑨バイオテクノロジーに関する小論文	単元の学習が、身近な生活や社会と関連があることを意識させる。		

(2) 検証計画

授業実践で得られた資料をもとに、教材の有効性、生徒の意識の変容、学習内容の習得状況を分析、考察する。検証計画を【表7】に示した。

【表7】検証計画

検証項目	検証内容	検証方法	処理・解釈の仕方
教材の有効性	教材を利用した学習活動に関する意識	質問紙法 自由記述	・事後アンケート及び実験レポートより分析・考察する。
生徒の意識の変容	生物の授業や本単元に関する関心・意欲	質問紙法 自由記述	・事前、事後アンケートより分析・考察する。
学習内容の習得状況	遺伝子に関する知識・理解	テスト法 自由記述	・事後の単元テストより考察する。 ・事前、事後の自由記述より分析・考察する。

4 シロイヌナズナを用いた教材を利用した授業実践及び実践結果の分析と考察

(1) 授業実践の概要

授業実践は、岩手県立大槌高等学校普通科3学年文理コース生物選択者17名（男子3名，女子14名）を対象として，平成21年9月28日（月）～10月5日（月）に10時間，実施した。授業実践日と学習内容を【表8】に示した。

【表8】 授業実践日と学習内容

時	授業実施日	学 習 内 容
1 2	9月28日	①生物Iでの学習の確認 ②DNAの抽出実験
3	9月29日	③遺伝子研究での実験材料としてのシロイヌナズナ
4 5	9月30日	④DNAの構造 ⑤遺伝情報の発現とタンパク質合成の過程
6	10月1日	⑥遺伝情報による形質発現の調節を理解するための 花の観察
7 8	10月2日	⑦野生型と遺伝子変異体の観察
9 10	10月5日	⑧バイオテクノロジーに関する光と影 ⑨バイオテクノロジーに関する小論文

【表8】の学習内容のうち，シロイヌナズナを用いた教材を利用した以下の授業実践の概要を次頁からの【資料1】に示した。

②DNAの抽出実験 ⑥遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察 ⑦野生型と遺伝子変異体の観察
--

【資料1】授業実践の概要

シロイヌナズナを用いた教材を利用した授業実践

科目名：生物Ⅱ， 単元名：「遺伝情報とその発現」 場所：生物実験室

②DNAの抽出実験

本時の目標

シロイヌナズナの葉，ブロッコリーの葉・花蕾からのDNAの抽出実験を通して，生物内のDNAの存在を確認し，生物において共通の化学物質であることを理解する。

<本時の流れ>

生徒の活動	指導上の留意点
<ul style="list-style-type: none"> ・ 本時の目標を確認した。 ・ 抽出されるDNAに関して材料ごとに，色や形などの予想を立てた。 ・ 実験材料と器具の確認を行った。 ・ DNA抽出液の作成と材料の粉碎を行った。 ・ DNAの抽出と観察と他の材料との比較をした。 ・ 抽出したDNAをろ紙に付着させ，酢酸オルセインで染色した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ DNAという言葉としてはよく耳にしているが，科学的な用語としてDNAを理解させるよう努めた。 ・ DNAの抽出だけを目的にせず，予想を立てさせることで生徒の理解状況を確認した。 ・ 二人一組で材料を選択させ，他の組と比較することで時間を短縮させた。 ・ 異なる種でもDNAは共通することを理解させるため，材料を複数用意した。 ・ DNAの存在場所や特性を過去の観察や実験と関連づけて説明した。

2
時

<本時の様子>

- ・ 生徒たちは，以下に記述の様子を示すとおり，DNAは，生物の種類により色や形，含まれる量が大きく異なると，予想していた。

【予想】抽出されるDNAの予想を立てよう！

材料名	予想される色	予想される形	予想される量
ブロッコリーの花蕾	紫	丸い フカフカ	5%くらい
ブロッコリーの葉	青	ピンと張ってる かんぴ	5%
シロイヌナズナの葉	黄	心臓型 ぷにぷに	2~3%くらい

生徒のプリントへの記述例



抽出したDNAを観察する様子

生徒の感想より

- ・ 初めての実験で驚いた。神秘的だと思った。見たいと思っていたので見れてよかった。ロマンを感じた。
- ・ 遺伝について興味がわきました。この一本一本にたくさんの情報がつまっていると思うと本当に神秘的だと思った。今日，生物が楽しいって思った。
- ・ DNAが思ったより普通に見えるもので驚いた。興味がすごく感じました。他の生物でもやってみたいと思いました。

⑥遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察

本時の目標

シロイヌナズナの花の観察を通して、被子植物における器官形成の調節遺伝子の働きであるABCモデルを例とし、調節遺伝子による形質発現の仕組みを理解する。

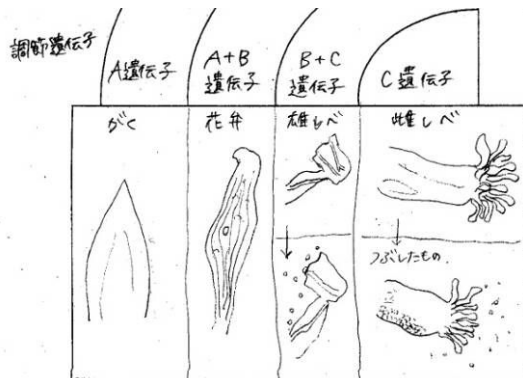
<本時の流れ>

生徒の活動	指導上の留意点
<ul style="list-style-type: none"> ・学習課題を確認した。 ・観察材料と器具の確認を行った。 ・花を採取し、肉眼で観察した。 ・ピンセットで花をプレパラート上で、がく片・花弁・雄しべ・雌しべに分解し、本数を記入した。 ・雄しべ、雌しべにカバーガラスをかけ、水を端から入れ、光学顕微鏡で低倍率で観察した。 ・調節遺伝子に異常が起きた変異体の花の構造をプリントに記述した。 ・被子植物の花の器官形成における遺伝子の働き(ABCモデル)の説明を聞く。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遺伝子のなかには、他の遺伝子の発現を調節する調節遺伝子があること理解させた。 ・肉眼と顕微鏡との違いを意識させた。 ・カバーガラスの上からピンセットで軽く叩かせることで、花粉の存在、子房のなかの胚珠の存在を確認させた。 ・生物Iで学んだ被子植物の花の構造との関連を説明した。 ・それぞれの調節遺伝子に異常が起きた突然変異体の花の構造を考察させた。 ・すべての遺伝子が、常に働いているわけではなく、調節されていることを理解させた。

6時

<本時の様子>

・花が小さいことに戸惑いはあったが、顕微鏡で確認することで、花を構成する部位の理解に役立った。さらに、花を構成している部位毎に分解することで遺伝子との関わりを理解する手助けとなった。



生徒のスケッチ



シロイヌナズナの花を分解している様子

生徒の感想より

・図でしか見たときのものを肉眼で見れて、感動した。これから植物を見るときイメージしながらみていきたい。

⑦野生型と遺伝子変異体の観察

本時の目標

シロイヌナズナの野生型と遺伝子変異体を比較しながら観察し、遺伝子による形質発現のかかわりを理解する。

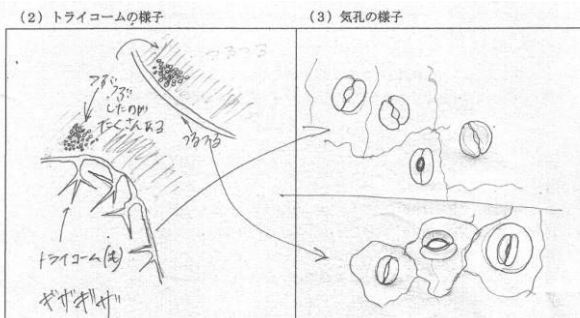
＜本時の流れ＞

生徒の活動	指導上の留意点
<ul style="list-style-type: none"> ・学習課題を確認した。 ・野生型と変異体の遺伝情報や形質の特徴をプリントに記述した。 ・野生型と変異体を肉眼で観察し、気付いたことを自分の考えとして皆に述べたり、他者の気づきをプリントに記述した。 ・観察材料と器具の確認を行った。 ・毛や気孔を光学顕微鏡により、高倍率で観察し、スケッチした。 ・遺伝情報により形質が発現されることを実感する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・生物の形態や機能は、遺伝情報や環境条件をもとに決定していることを理解させた。 ・野生型と変異体の遺伝情報を、Web上のデータベースをプロジェクタで提示し、説明した。 ・形質の違いに気付くよう、観察の視点を与えたり、既習事項を説明した。 ・生徒たちが自分たちで意見を出したり、考えたりする時間を設けた。 ・野生型と変異体の葉を配布し、毛や気孔の観察方法やスケッチの指示を行った。 ・遺伝子の働きを解明するため変異体を用いることにより遺伝子の違いが明らかになることを説明した。

7
・
8
時

＜本時の様子＞

- ・遺伝子の違いが形質の違いであることに理解を示した。
- ・トライコームの違いは、わかりやすく感じていたが、アブシシン酸との関連には、説明されてから理解していた。



生徒のスケッチ



遺伝子変異体と野生型の形質の違いを話し合いしている様子

生徒の感想より

- ・野生型と変異体を観察して、違いを見分けるのが難しかった。でも、なぜこのような形になったのかということ自分たちで考えるのが楽しかった。
- ・同じ植物でも、遺伝情報がどこか異なるだけで、みためなどが変わるんだなと思った。
- ・トリアコームがあるものもないもの、気孔が通常のものや異常なものそれぞれを見比べてみると、ただそのまま観察するよりもよく構造が分かったし、遺伝子が形質発現に関係することが体感できた。

(2) 実践結果の分析と考察

検証項目は、「教材の有効性」、「生徒の意識の変容」、「学習内容の習得状況」の3点である。教材の有効性と授業の習得状況に関しては事後、生徒の意識の変容に関しては事前・事後に調査した。

ア 教材の有効性について

授業実践後、各教材に関して「授業理解に役立ったか」と「教材に関する意見や要望」を生徒に調査した。

「授業理解に役立ったか」という教材を利用した学習活動に関する意識を【表9】に示した。その結果、「どちらかという」と、「いいえ」と

【表9】教材を利用した学習活動に関する意識

設問：各教材は、授業理解に役立ちましたか (n=16)				
教材名	はい	どちらかという と、はい	どちらかという と、いいえ	いいえ
植物成長段階の比較	11人	4人	0人	0人
DNAの抽出実験	10人	5人	0人	0人
形質発現の調節を考察する花の観察	11人	4人	0人	0人
遺伝子変異体の観察	11人	4人	0人	0人

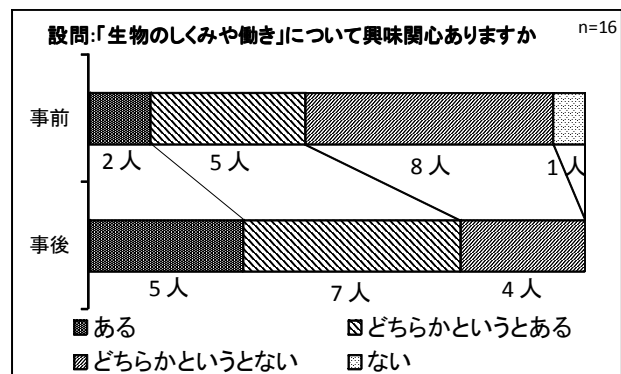
いった否定的な回答は皆無であり、すべての生徒が教材に対して授業理解に役立ったという肯定的な評価であった。教材に関する意見や要望を自由記述で調査したところ、「DNAを初めて見ることができて、近くに感じることができた。」「少しでも通常と違う遺伝の所があるだけで、形質を見てさわって感じることができた。」という遺伝子に対して実感的に理解できたとする回答を得た。また、「シロイヌナズナ以外の生物でDNAや花を観察してみたい」という回答もあった。これらの記述から、遺伝子を生物の共通性としてとらえ、生物の多様性に着眼させる上で、この教材は有効であったと考えられる。

イ 生徒の意識の変容について

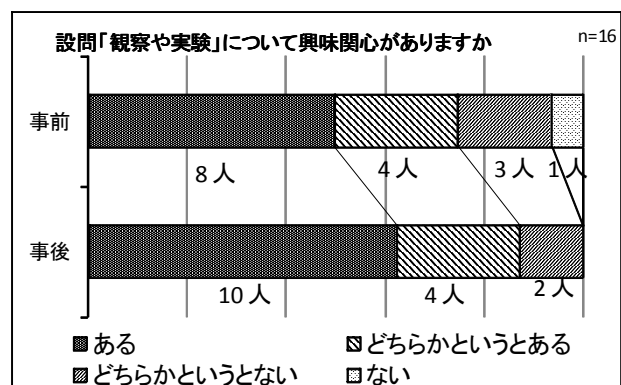
生物の授業や本単元に関する関心・意欲について、シロイヌナズナを用いた教材が有効であったかを考察するため、事前、事後アンケートを行った。すべての設問項目において、肯定的な回答が事後で増加した。

次に、設問項目ごとに詳細に見ていく。「生物のしくみや働き」に関する興味関心の変化を【図11】に示した。肯定的に回答した生徒は、事前7名から事後12人に増えた。これは、実物の観察や実験を通して遺伝子の働きを実感し、生物のしくみや働きを考察する時間を与え、生物Iの内容と関連させて学習したことで、既習内容とのつながりを意識する生徒が増加したためと思われる。

「観察や実験」に関する興味関心の変化を【図12】に示した。事前12名から事後14名の生徒が肯定的な回答になった。観察や実験に関して、否定的な回答を肯定的な意識に変容させることができた。どちらの回答でも、興味関心について「どちらかという」とない



【図11】生物のしくみや働きに関する興味関心の変化



【図12】観察や実験に関する興味関心の変化

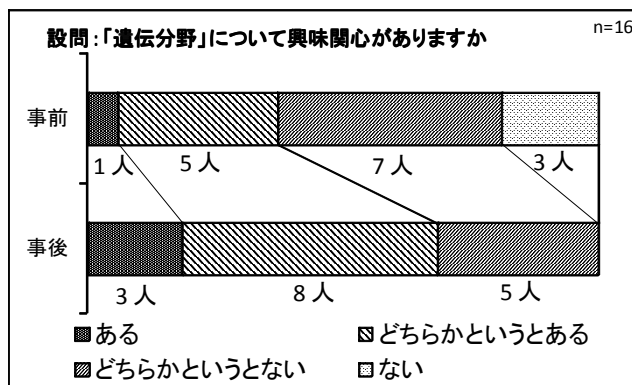
「ない」と答えていた生徒を4名から2名と半減させることができた。これらのことは、シロイヌナズナを用いた教材が、観察や実験に対する生徒の興味関心を向上させ、生物のしくみや働きに関心を持たせることができる教材であったことを示す。

「遺伝分野」に関する興味関心の変化を右の【図13】に示した。授業実践の約1カ月前に実態調査を行った際、半数以上の生徒が否定的な回答をしていた。さらに担当教員から生物Iの遺伝分野に対して苦手意識があると聞いていた。しかし、事後では、半数以上が肯定的な回答になり、興味関心が「ない」と回答していた生徒が見られなくなった。

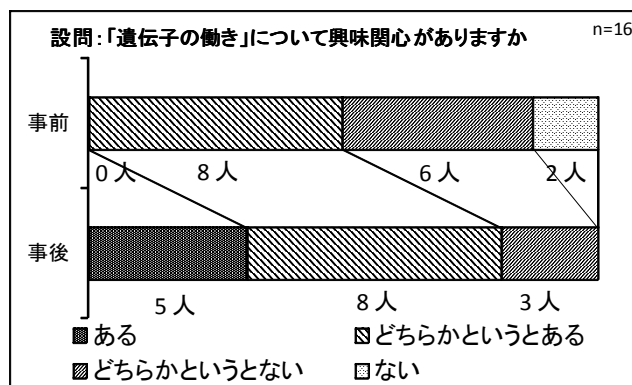
「遺伝子の働き」に関する興味関心の変化を【図14】に示した。遺伝分野に関する設問と同様に興味関心が「ない」という回答がなくなり、13人が肯定的な回答であった。また、事前には「ある」という回答がなかったが、事後では5名に増加した。

記述回答の「遺伝子について、より深く学びたいと思うか」という設問では、事前で「将来使わない」と答えていた生徒が「形質の遺伝は面白いと感じた」と意欲を示す回答がある一方、「遺伝とかが面白そう」と答えていた生徒が「深く学びすぎると頭が混乱しそう」という、分子レベルでの遺伝子の働きを学ぶことに対して困難であるという回答があった。

単元の授業全体に対する感想を【資料2】に示した。



【図13】 遺伝分野に関する興味関心の変化



【図14】 遺伝子の働きに関する興味関心の変化

【資料2】 単元の授業全体の感想

生徒の感想より

- ・授業ですごいとかなんで?!って思うことがたくさんあった。
- ・普段の授業では、生物の語句を覚えるだけで、語句本来の言葉の内容を理解できずにいましたが、丁寧に片付けていくことで、理解力を増すことができました。
- ・特に強く興味を持った事なかった遺伝子について実験を通し、実際に見て感じた事によって、前より遺伝子を理解でき、興味を持つことができました。
- ・もっと時間をとっていろんな植物での実験をしたかった。人間のDNAも見てみたかった。

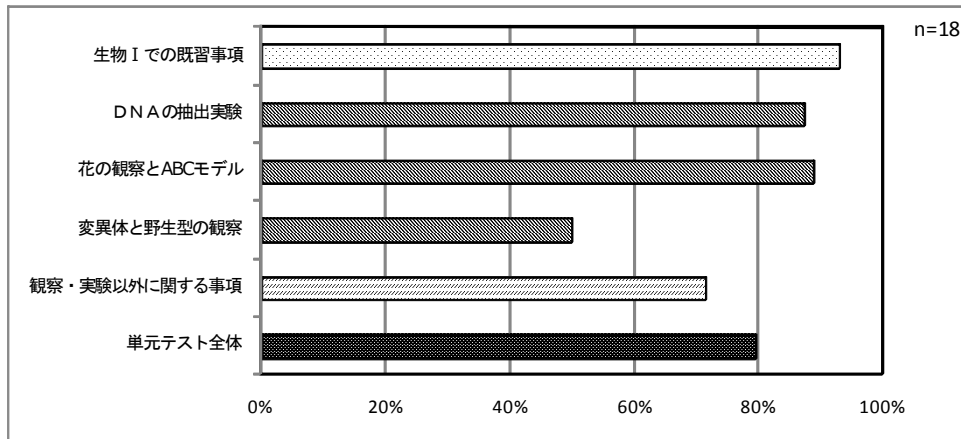
教材を用いた学習により、生物に対する「すごい」や「なぜ」といった驚きや興味を生徒にもたせることができたことが、アンケートの記述から窺える。さらに、用語本来の内容を理解できないと感じていた生徒から「理解力を増すことができた」という回答を得た。一方で「他の植物でも実験をしたい」、「人間のDNAも見てみたい」といった記述があった。遺伝子に対する理解が深まったため、他の生物への興味や関心を持たせることができたと考える。

ウ 学習内容の習得状況について

学習内容の習得状況を遺伝子に関する知識理解で検証するため、単元テストと自由記述を実施した。

(ア) テスト法の分析と考察

単元テストの内容は、生物Iでの既習事項、【資料1】で示した教材を用いた授業に関する事項、その他の遺伝子やDNAに関する事項とした。正答率を次頁の【図15】に示した。



【図 15】 単元テストの正答率

教材を用いた授業に関する正答率は、「DNAの抽出実験」が87%、「花の観察とABCモデル」が89%であり、観察や実験以外に関する事項の正答率の72%を上回った。「変異体と野生型の観察」は50%であった。単元テスト全体の正答率は79%であった。

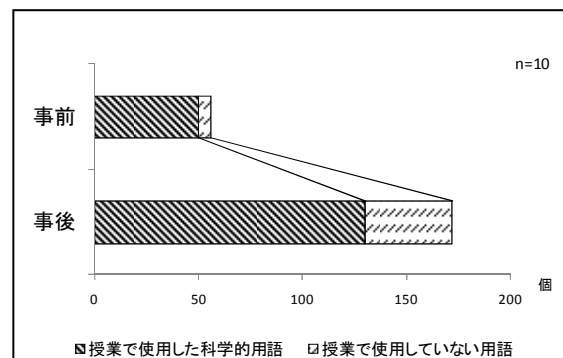
シロイヌナズナ教材を用いた学習内容に関して「DNAの抽出実験」や「花の観察とABCモデル」の学習内容のように、一つの生物事象に関する事柄に関しては効果的に理解を深めることができた。しかし、「変異体と野生型の観察」のように、既習事項と関連して探究する内容では課題が残った。原因として、遺伝子と生物現象の関わりを広義に説明したことや、生物現象と遺伝子の関係を考察することを中心に支援し、図表などを用いずに実践を行ったことが挙げられる。

(イ) 遺伝子に関する自由記述の分析と考察

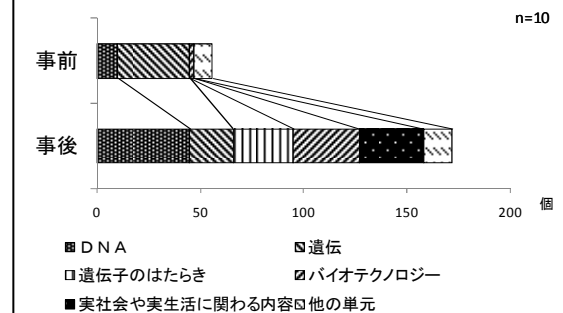
遺伝子に関して自由記述を、授業実践前と授業実践後に行った。事前事後の両方に回答した10名について遺伝子に関連する用語の個数の変化を【図 16-a】に示した。用語の数は、事前が56個に対して、事後では172個と約3倍に増加した。

さらに、回答された用語を教科書の「DNA」、「遺伝現象」、「遺伝子の働き」、「バイオテクノロジー」、「実社会や実生活」、「他の単元」に分類したときの変化を【図 16-b】に示した。「DNA」に関する割合は、大きな変化がなかったが、「遺伝現象」に関する用語の割合が38.5%から6.3%に減少し、「遺伝子の働き」、「バイオテクノロジー」などに分類される事前でない用語が増加した。

事後では一つの用語で遺伝子を説明するだけでなく、今回の実践で学んだ遺伝子の働きに関する用語と関連付けながら遺伝子について説明するとともに、授業で扱っていない医療やDNA鑑定、プライバシーの問題や食糧事情などに関連した用語を使用していた。このように授業実践後には、説明に使用する用語が増加し、多種多様となったことで、生徒の遺伝子に関する理解を深めることができたと考える。



【図 16-a】 遺伝子に関連する用語の個数の変化



【図 16-b】 単元毎に分類したときの変化

5 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材の開発に関するまとめ

教材を利用した授業実践に関する成果と課題は、以下のとおりである。

(1) 成果

高等学校生物では今まで用いられることのなかったシロイヌナズナを材料に、四つの教材を開発し、生物Ⅱの「遺伝情報とその発現」の単元で「DNAの抽出実験」、「遺伝情報による形質発現の調節を理解するための花の観察」、「野生型と遺伝子変異体の観察」を含めた授業実践を行い、その効果を確認した。その結果、教材が授業理解に役立ったという肯定的な評価を生徒から得た。質問紙を分析した結果、「生物のしくみや働き」や「観察や実験」、「遺伝子の働き」に関する関心や意欲を高めることができた。教材を利用した学習活動により、遺伝子に関する理解を深めたことが、遺伝子に関する自由記述から確認できた。

(2) 今後の課題

今回開発した教材は、観察を基に考察することを中心としたが、さらに改良を加え、栽培条件の比較や人工交配による次世代の表現型を調べる観察や実験が考えられる。さらに発展的な教材として、遺伝子を分子レベルで分析し、遺伝子の働きを解析する方法もある。そのためには、解析装置や実験装置など設備に関して克服しなければならないことがいくつかある。

V 研究のまとめと今後の課題

1 研究のまとめ

本研究は、高等学校生物において遺伝子に関する理解を深めるため、シロイヌナズナを用いた教材の開発とそれに基づいた授業を実践することで、教材の効果を明らかにし、本県生徒の学習指導の改善に役立てようとするものである。研究の成果は、次の2点である。

(1) あ 高等学校生物におけるシロイヌナズナを用いた教材開発

新しい学習指導要領に向け、遺伝子に関する学習における観察や実験が不足していることから、生物基礎「生物と遺伝子」と現行学習指導要領の生物Ⅱ「遺伝情報とその発現」の単元で活用できる教材を開発した。

(2) あ 開発した教材を用いた授業実践

開発した教材を用いて授業実践を行い、教材の有効性の検証と生徒の意識を調査、考察を行った。シロイヌナズナを用いた教材は、遺伝子の働きにおける教材として有効性があり、生物や生物現象に対して理解が深まったという成果が得られた。

2 今後の課題

シロイヌナズナを用いた教材に関しては、入手や設備の問題もあるが、様々な観察や実験の方法が考えられる。そのために、多くの先生方の意見を聞き、検討を加えたい。さらに、教材を利用した授業実践を通して、遺伝子に関する最先端の知見と高等学校生物における基礎・基本的な学習内容をバランスよく取り入れ、多様な生物の遺伝子の理解を深める教材の開発を進める必要がある。

<おわりに>

種子の提供や生育や栽培に関する御指導をいただきました独立行政法人理化学研究所バイオリソースセンターと岩手大学農学部附属寒冷バイオフロンティア研究センターの各位に感謝とお礼を申し上げます。

また、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、並びに所属校である岩手県立大槌高等学校の先生方と生徒達に、心から感謝とお礼を申し上げ、結びの言葉といたします。

【引用文献】

- 文部科学省（2009），『高等学校学習指導要領』，pp58-62
国立教育政策研究所（2006），『高等学校生物教育に関する全国調査』
文部科学省（2009），『文部科学時報平成21年5月号』，pp22-24
塚谷裕一「植物の軸と情報」特定領域研究班編（2007），『植物の生存戦略「じっとしていると
いう知恵」に学ぶ』，朝日新聞社，pp31-50

【参考文献】

- 文部科学省（2009），『高等学校学習指導要領解説 理科編』
伊左治錦司，松本省吾（2005），『高等学校におけるDNA簡易抽出実験に関する教材開発』，岐
阜大学研究報告 7，
後藤伸治（2005），『生物の科学 遺伝 別冊No.18』，裳華房，pp131-134
Koornneef et al., (1983), 『Linkage map of Arabidopsis thaliana 』, *Oxford Journals, Life
Sciences, Journal of Heredity*, **74**(4), pp265-272
TAIR(The Arabidopsis Information Resource), <http://www.arabidopsis.org/servlets/mapper>,
2009/6/24 アクセス
理研バイオリソースセンター，<http://www.brc.riken.go.jp/>，2010/1/5 アクセス