

科学的な思考力・表現力を育成する理科学習指導のあり方
—生物 「思考・判断」の指導と評価を通して—

県立薩摩中央高等学校
教諭 飯田 史郎

1 単元の概要

(1) 単元名

第3章 遺伝

第3節 遺伝子と染色体

(2) 単元の目標

遺伝子が染色体上に存在することを減数分裂及び体細胞分裂における染色体の動きと関連させて扱い、連鎖と組換え、染色体地図について理解させる。

(3) 生徒の実態

普通科文系コースのクラスであり、多くの生徒が進学を考えている。進学希望は大学・短大・専門学校などそれぞれである。休み時間などは元気であるが授業中は落ち着いた学習態度である。授業中の発問に対し、積極的に発言する生徒が数人いるが、多くの生徒はあまり発言しない。実験などでも指示を待っている生徒が多く、興味をもって自ら進めていく生徒は比較的少ない。

「生物」の科目は好きであると答えた生徒は「そう思う」「どちらかといえばそう思う」をあわせて、78%になり、生物の科目は好意的に感じているようである(図1)。しかし、「生物」の科目は得意であるという質問になると、「そう思う」は0%になり、「どちらかといえばそう思う」が44%であり、不得意と感じている生徒のほうが多い(図2)。

今まで習ったところでよく分からない分野はどこかを挙げさせたところ、発生の仕組みや生殖を挙げている生徒もあり、新しい語句が多数出てきて、複雑なものを苦手としていると思われる。また、「遺伝」が分からないとする生徒もあり、「遺伝」の分野を苦手を感じる生徒も多い。

「図で表現する問題はできる」という質問については、78%は「あまりできない」または「できない」と考えている(図3)。図で表現する問題にあまり慣れていないこともあると考えられる。

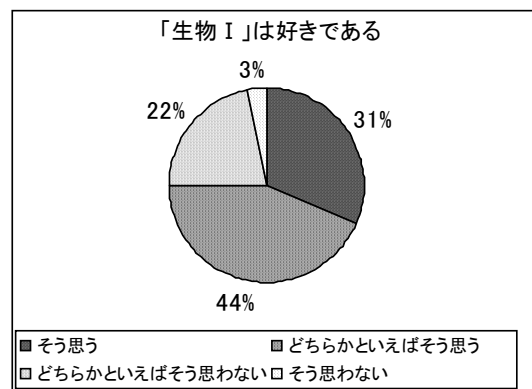


図 1

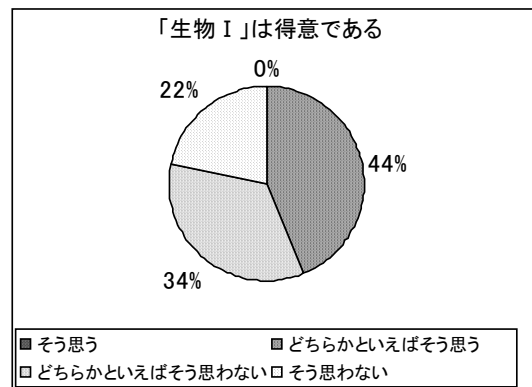


図 2

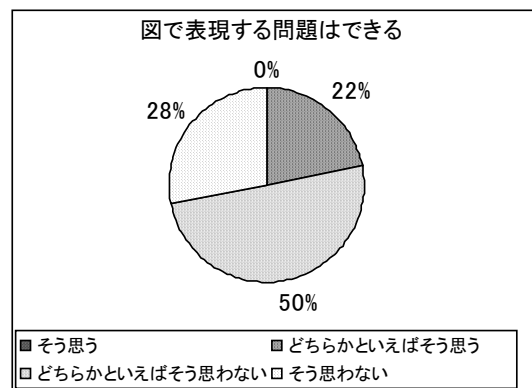


図 3

(4) 評価計画

ア 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断	観察・実験の技能・表現	知識・理解
遺伝子と染色体に関する事象に関心を持ち、意欲的にそれらを探究しようとする。	遺伝子が染色体に存在することを染色体の動きと関連付けて考察する。 組換え価と染色体上の遺伝子間の距離の関係について考察し、染色体地図を作成できる。 だ腺染色体の特徴について、遺伝子と関連付けて考察する。	だ液染色体を顕微鏡で観察する技能を習得し、その観察結果を的確に表現する。	遺伝子が染色体上にあることを染色体の動きと関連させて理解し、知識を身に付けている。 連鎖と組換え、染色体地図について理解し知識を身に付けている。

イ 単元の評価計画

時間	学習の内容・ねらい	評価
1	遺伝子の連鎖 染色体における遺伝子の存在の仕方について、生物がもつ染色体の数と遺伝子の数から「連鎖」について理解する。 遺伝子が「連鎖」する場合、メンデルの法則に従わないことを理解する。	【知識・理解】 遺伝子の「連鎖」について理解している。 2種類の遺伝子が「独立」する場合と「連鎖」する場合の遺伝子の動きを理解しており、配偶子の分離比及び雑種第二代の表現型の分離比を求めることができる。
2	組換えと乗換え 遺伝子の「組換え」について、検定交雑の結果と関連付けて理解する。 組換えが起こる場合の次世代の表現型の分離比の求め方について理解する。	【知識・理解】 「組換え」について理解している。 連鎖する2種類の遺伝子に組換えが起こる場合と起こらない（完全連鎖）場合の遺伝子の動きを理解しており、配偶子の分離比及び雑種第二代の表現型の分離比を求めることができる。
3 (本時)	「組換え」が生じる際の遺伝子の動きを減数分裂と関連付けて思考し、遺伝子の「組換え」と染色体の「乗換え」について理解する。 「組換え」が生じる際の第一分裂、第二分裂後の遺伝子の状態を思考し図に表す。 「組換え」が生じる際の遺伝子と染色体の動きをモデルを用いて思考し表現する。	「乗換え」について理解している。 【思考・判断】 遺伝子の「連鎖」と「組換え」について、減数分裂における染色体の動きと関連付けて考察することができる 【関心・意欲・態度】 遺伝子の連鎖と組換えに関する事象に興味・関心を持ち、図やモデルを用いた思考を伴う活動に意欲的に取り組んでいる。
4	組換え価 雑種第一代を検定交雑することにより求められる「組換え価」の意味を理解する。 組換えが起こる場合の、次世代の表現型の分離比を求めることができる。	【知識・理解】 「組換え価」について理解している。 雑種第一代を検定交雑した結果から、組換え価を求めることができる。 組換え価を用いて、組換えを起こす個体の交雑により生じる子の、表現型の分離比を求めることができる。 自家受精により生じた子の分離比から、個体の組換え価を求めることができる。

5	組換え価と遺伝子の配列 組換え価と染色体上における遺伝子間の距離との関係を理解する。 〔 ・ モデルを用いた思考により遺伝子間の距離と組換え価の関係を理解する。 〕 三点交雑により染色体地図を作成する方法について理解する。	【知識・理解】 三点交雑を用いて、連鎖する遺伝子の配置を決定することができる。 【思考・判断】 遺伝子の距離と組換え価の関係について、モデルを用いて思考し説明することができる。
6	だ腺染色体の観察 アカムシ（ユスリカの幼虫）のだ液腺細胞に存在する巨大染色体の観察を行う。 観察される縞模様と遺伝子との関係について考察する。	【関心・意欲・態度】 だ腺染色体の観察に興味関心をもち、意欲的に取り組んでいる。 【思考・判断】 だ腺染色体の観察の結果から、その特徴について、遺伝子との関連付けを含めた考察ができる。 【観察・実験の技能・表現】 だ液腺染色体を顕微鏡で観察する技能を習得し、その観察結果を的確に表現できる。

(5) 思考力・判断力・表現力を育成するための工夫について

ア 思考させる場面の設定

単元「遺伝子と染色体」で学習する「遺伝子の連鎖と組換え」は、観察、実験の設定が困難である。単元に設定されている「だ腺染色体の観察」も遺伝子の連鎖と組換えに直接結びつくものではない。そのため、実際の授業においては「知識」重視の展開になりがちである。しかしながら、遺伝子の連鎖と組換えは、染色体の動きと関連付けて理解することが求められており、教科書の記述や図の意味を理解するだけでなく細胞内での遺伝子や染色体の動きを具体的にイメージできることが重要である。そこで、学習の内容「組換えと乗換え」、「組換え価と遺伝子の配列」において、生徒自身が図やモデルを用いて思考し、互いの考えを確認しあう場面を設定した。

イ 図やモデルを用いて思考する活動の充実

「生徒の実態」にあるように、図で表現することを苦手としている生徒が多い。このことから、学習内容の理解が表面的な部分にとどまり、生物内で起きている事象を具体的にイメージできるところまで至っていないことが分かる。

本時では、前単元で学習した減数分裂における染色体の分離の過程（複製→相同染色体の対合→第一分裂→第二分裂）と前時に学習した遺伝子の組換え（AとBが連鎖、aとbが連鎖→Aとbが連鎖、aとBが連鎖）を関連付けて、遺伝子の組換えが起こる際の細胞内における遺伝子と染色体の動きを思考させる。その際、ポイントとなる2つの時期（第一分裂終了時、第二分裂終了時）の遺伝子と染色体の様子を図に表す活動と、一連の染色体と遺伝子の動きを粘土のモデルを用いて表現する活動を行うことで、具体的イメージの確立を図ることとした。

ウ 生徒の思考の評価

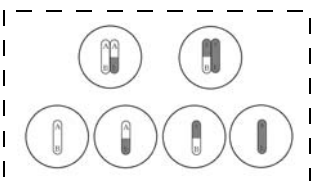
生徒の「思考」は見えないため、評価は「思考」を表現した図やモデルによって行う。そのうち、モデルを使って行う思考は染色体の「動き」であるため、今回設定する「判断基準」において、染色体の一連の動きの中で特に押さえておきたいポイントを設定し、その視点から評価を行うこととした。

2 検証授業の実際

(1) 本時の目標

作図やモデル操作を通して、組換えが起こるときの遺伝子の動きを、減数分裂における染色体の動きと関連付けて思考し、遺伝子の組換えや染色体の乗換えについて理解する。

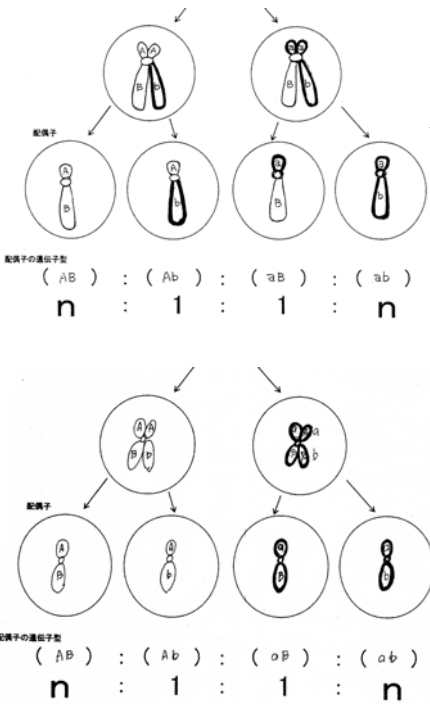
(2) 評価規準と判断基準

評価規準【思考・判断】	
遺伝子の連鎖と組換えについて、減数分裂における染色体の動きと関連付けて考察することができる。	
評価の場面・評価の対象	
遺伝子の組換えを染色体の動きと関連付けて思考し、図に表現する学習活動 組換え時における染色体の動きをモデルを用いて思考し表現する学習活動	
判断の要素	
ア 遺伝子の連鎖と組換え イ 減数分裂における染色体の動き ウ 組換えと染色体の動きの関連	
尺度	判断基準
B	評価の場面 ア 第一分裂，第二分裂終了時の遺伝子の状態について思考し，表現できる。 イ・ウ 遺伝子の動きと関連付けながら，第一分裂，第二分裂終了時の染色体の状態について思考し，表現できる。 【予想される生徒の表現例】 第一分裂終了時の対合面から分裂した染色体と，その上に存在する遺伝子の様子及び配偶子における染色体とその上に存在する遺伝子の様子を正しく表現している。 
	評価の場面 ア 連鎖，組換えにおける遺伝子の動きを思考し，表現できる。 イ 減数分裂における染色体の動き（対合）を思考し，表現できる。 ウ 組換えにおける染色体の動き（乗換え）を思考し，表現できる。 【予想される生徒の表現例】 組換えが生じる際の，連鎖する遺伝子と染色体の動きをモデルを用いて思考し，「連鎖」「対合」「乗換え」の様子を正しく表現している。 
C 状況 の生徒 への補 充指導	評価の場面 ア 連鎖と組換えの概念を振り返らせる。 イ・ウ 減数分裂における染色体の動きを振り返らせるとともに，発問により遺伝子が染色体上にあることを確認し，両者が連動することに気付かせる。
	評価の場面 ア 連鎖と組換えの概念を振り返らせる。 イ 減数分裂の第一，第二分裂における染色体の動きを想起させる。 ウ 遺伝子が染色体上にあることを想起させ，組換えに必要な染色体の動きを思考させる。

A	評価の場面 (判断基準 B に加えて) 組換えが起きている場合の配偶子の分離比について着目し, ワークシートにある「 $n : 1 : 1 : n$ 」の意味についても考察している。
	評価の場面 (判断基準 B に加えて) 染色体の動きを立体的に捉え, 対合と乗換えの様子を表現している。
B 状況 の生徒 への深 化指導	評価の場面 配偶子形成全体の視点から遺伝子の組換えが起こる状況について想起させ, ワークシートにある分離比の「 n 」の意味について考えさせる。
	評価の場面 相同染色体の「対合」について確認し, 発問により染色体の動きを立体的に考えるよう促す。

(3) 指導の実際

ア 本時の実例

過程	学習活動	指導上の留意点・生徒の表現	評価の観点
導入 5分	- 遺伝子の「連鎖」と「組換え」, 染色体の「乗換え」について確認する。 - 本時の学習内容を確認する。	- 発問により「連鎖」「組換え」「乗換え」とは何であったかを発問する。 - ワークシートとモデルを使って遺伝子と染色体の動きについて考える。	
展開 15分	- 遺伝子型 $AaBb$ (遺伝子 A と B (a と b) が連鎖) の個体が配偶子を形成する際の減数分裂における遺伝子と染色体の動きを思考し, 第一分裂及び第二分裂終了時の様子を, 「自分の考え」のワークシートに図示する。 - 互いの考えを確認しあう。 - 代表の生徒が発表する。 	- 生殖母細胞の染色体の様子 ($n = 2$) を示し, その後の動きを思考させる。 - まず, 自分の考えをかかせる。その際, 机間指導をしながら生徒の状況を把握する。 生徒の表現 	【関心・意欲・態度】 遺伝子の組換えに関心をもち意欲的に思考している。 【思考・判断】 「判断基準 B」 遺伝子の状態 → ○ 染色体との関連 → ○ B 状況と判断 「判断基準 B」 遺伝子の状態 → ○ 染色体との関連 → × 遺伝子と染色体が関連付けられておらず C 状況と判断

	・ 「まとめ」のシートに遺伝子と染色体の様子をかく。 ・ 配偶子の分離比にある「n」の意味について考える。	・ 代表の発表を基に，B状況に到達させるための補充指導を全体に行う。 ・ 自分の考えがC状況にある生徒に対し，必要に応じて机間指導による補充指導を個別に行う。 ・ 前時の「完全連鎖」を振り返りながら，判断基準Aに基づく深化指導を行う。	
展開 25分	・ ワークシートに記入した遺伝子と染色体の様子を基に，減数分裂における遺伝子と染色体の動きをモデルを用いて思考し，表現する。 ・ 互いの考えを確認しあう。 ・ 代表の生徒が発表する。  ・ 減数分裂における遺伝子と染色体の動き及び遺伝子の組換えが起こる際の染色体の乗換えについて確認する。 ・ 染色体の動きを立体的に考える。	・ 粘土と遺伝子記号を書いた紙を配付し，染色体に連鎖する遺伝子の様子を表現させる。 ・ 第一分裂及び第二分裂における染色体の動きを思考させる。 ・ 机間指導をしながら，生徒の状況を把握し，状況に応じて補充指導を行う。 生徒の表現 第一分裂前期における相同染色体の対合が完成した時点の様子   ・ 状況に応じて補充指導を行う。 ・ 判断基準Aに基づき深化指導を行う。 	【関心・意欲・態度】 組換えにおける染色体の動きに関心をもち意欲的に思考している。 【思考・判断】 「判断基準B」 遺伝子の動き →○ 染色体の対合 →○ 染色体の乗換え →○ B状況と判断 「判断基準B」 遺伝子の動き →○ 染色体の対合 →× 染色体の乗換え →○ C状況と判断 【知識・理解】 染色体の乗換えについて理解している。 判断基準から想定されるA状況
まとめ 5分	・ 本時のまとめを行う。		

イ 補充・深化指導の実際

図4は評価場面において「C状況」と評価した生徒の表現例である。表現では遺伝子の組換えは表現できているが、色分けした染色体はそのまま分離されており、遺伝子Bとbが別の染色体上に移動した形になっている。「遺伝子」が「染色体上にある情報である。」という認識が弱く、遺伝子と染色体の関連付けが十分なされていないと考えられる。そこで、想定した補充指導「イ・ウ 減数分裂における染色体の動きを振り返らせるとともに、発問により遺伝子が染色体上にあることを確認し、両者が連動することに気付かせる。」により、遺伝子と染色体の関係について思考させることでB状況への改善を図った。

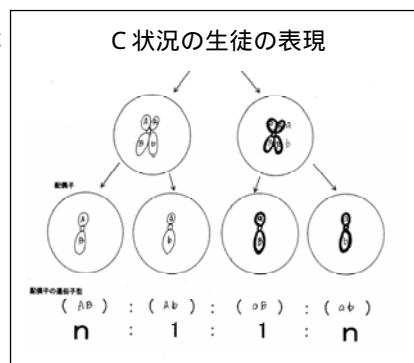


図4

図5は評価場面において、生徒が「第一分裂前期で相同染色体が対合した状態」を表現したものである。上段の表現を判断基準Bに照らし合わせると、組換えにおける遺伝子の動き（判断基準Bのア）と染色体の乗換え（判断基準Bのウ）は表現されているが、染色体が複製面から分離してしまっており相同染色体の対合（判断基準Bのイ）が正しく表現されていないことから、C状況と判断される。そこで、想定したC状況の生徒への補充指導「イ 減数分裂の第一、第二分裂における染色体の動きを想起させる。」により、教科書やノートの減数分裂の部分を確認させながら補充指導を行った。これにより、分離していた複製された染色体がつながり、B状況への改善が見られた。

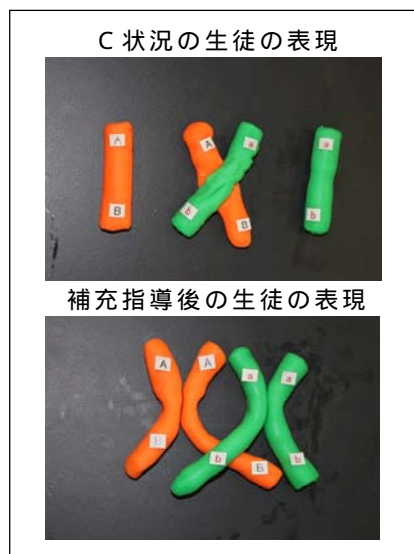


図5

これらの補充指導は、生徒が思考している間の机間指導に加え、設定した代表の生徒が発表する場面において、発表内容を基にした解説において、発問するなどして全体に対して行い、全ての生徒がB状況となるようにした。また、生徒が互いの考えを確認し合う活動において、B状況の生徒がC状況の生徒に対し、教師の補充指導と同様の的確なアドバイスをしている場面も見られた。

深化指導については、生徒が思考している間の机間指導では、補充指導を優先したため行うことができなかった。そこで、先に述べた生徒の発表の際の補充指導に加え、全体に対して判断基準Aに基づく深化指導を行った。

ウ 評価に基づく「判断基準」及び指導の改善

評価の場面では判断基準Bのイ、ウで「対合」「乗換え」の表現に焦点を当てていたが、生徒の活動ではB状況と判断される生徒が染色体の分離の場面で全ての染色体を半分に切断している様子が見られた（図6上段）。実際は下段のように対合面から分離することで遺伝子の組換えが行われるのであり、全ての染色体が切断されることはない。そこで判断基準Bのイについては「減数分裂における染色体の動き（対合や分離）を思考し、表現できる。」が望ましいと考えた。それに併せて、指導のあり方も、染色体の分離のしかたについてしっかり考察できるようにする必要がある。今回の授業では、生徒発表の際に分離の様子について全体に対して発問し、指導を行った。

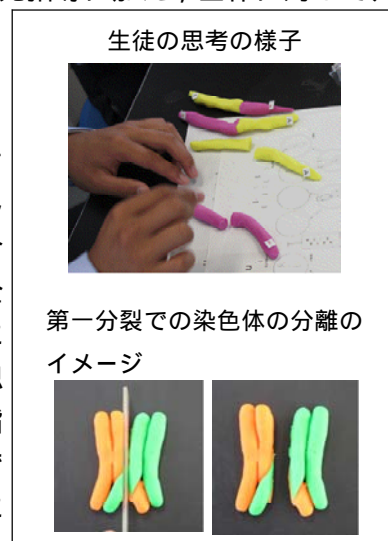


図6

3 成果と課題

(1) 成果

ア 生徒に「思考」させる場面を具体的に設定できた。

遺伝の問題，特に連鎖と組換えの問題を考える場面では，染色体と遺伝子を図示して，その動きをイメージすることが大切である。そこで，図とモデルを用いて思考する学習活動を設定した。その際，判断基準を考えることで，

- 図では，第一分裂と第二分裂終了時点での遺伝子と染色体の状態について思考し，表現させる。
- モデルでは減数分裂における一連の染色体と遺伝子の動きについて思考し，特に対合や乗換えに注意して表現させる。

というように，それぞれの活動のポイントを明確にすることができた。

イ 判断基準を基に，効率よく評価することができた。

評価規準を基に判断基準を設定し，生徒の「思考」を見取るポイントをあらかじめ明確にしておくことで，自らの「思考」に基づいた生徒の表現に対して，評価規準と照らした評価を効率よく実施することができた。特にC状況の表現に対しては，判断基準があらかじめ設定されていることで生徒がつまづいているポイントを速やかに把握し，補充指導ができた。

また，判断基準で想定しなかった問題点にも気付かされた。それにより，判断基準の見直しやそれに基づく指導の工夫など，授業の改善を図ることができた。

ウ 補充指導・深化指導により生徒の理解を確かなものにすることができた。

補充指導をあらかじめ想定しておくことで，生徒の状況に応じて，既習事項の振り返りや，思考のポイントについて具体的に示すことができ，効率よく指導ができた。

また，今回A状況と判断した生徒の表現はなかったが，あらかじめ想定した深化指導を全体に対して行うことで，生徒の理解を深めることができた。

エ 図やモデルを用いた活動により生徒の「思考」を促すことができた。

図やモデルを用いることで，生徒が遺伝子や染色体の構造と動きをどう捉えているのかが見えてきた。授業ではわかったつもりでも正しく図に表すことができなかつたり，図で表現するときには理解している思われた生徒が実は勘違いして正しく理解していなかつたりすることもあった。特に，粘土のモデルを用いて染色体の動きを表現することは，紙の上で図示することよりも，染色体の立体的構造などを正確に理解していないと難しいことが分かった。

生徒については，教師の説明を聞くだけでなく図やモデルを用いた思考により，遺伝子と染色体の関係や組換えが起こる仕組みについて理解が深まったと考える。以下，授業後の生徒の意見をいくつか紹介する。

- ・ 染色体の乗換えで入れ替わった部分から分離し，その時残ったものがくっつくことになることが分かった。
- ・ 私は染色体がクロスした形だと思っていたが，そうではなく2本の染色体がくっついていることが分かった。
- ・ 粘土で作るのは間違いもあったけど，楽しかった。
- ・ 実際に作ってみることで，とても分かり易かった。染色体は複雑だなと思った。
- ・ 粘土で染色体を作ってみて，乗換え，組換えがイメージしやすかった。

(2) 課題

それぞれの生徒がどこで間違えているのか，授業者が気付かず参観の教師が気付く場面もあった。普段の授業ではそれを見過ごすことも多いと思う。生徒がプリントに図や考察を記述することで，教師が生徒の間違いに気付くことができるであろう。