

遺伝学習の困難点とその改善について

藤田 剛 志

(児童教育学科 教育情報)

I はじめに

本稿の目的は、生徒が遺伝を学習するときに遭遇する困難点、その学習困難を生じさせる原因、および学習困難を減らすための指導上の示唆について、先行研究に基づき論じていくことである。

今回の学習指導要領の改訂により、中学校理科教育において、遺伝が取り扱われることになった。昭和44年度の学習指導要領で削減されて以来、20年ぶりの復活である。当時の改訂では、内容の精選と集約のため、理解がやや困難であるとの理由から削減され、そのごく一部だけが扱われていた。昭和52年版では、それも削除された。生徒は、高等学校の理科Iの中で、はじめて遺伝を学習したのである。しかし、今回の学習指導要領の改訂で、高等学校の理科は、すべて選択履修となったため、「生徒が遺伝・進化の学習を必ずしもするとは限らなくなり、国民的教養としての必要性から(大塚・小林; 1989, p.185)」、再び中学校段階で遺伝が扱われることになったのである。

しかし、国民的教養として不可欠だから、という理由で、中学生に遺伝内容を学習させることに何の問題もないのだろうか。大塚・小林は、「かつて、現代化による内容の精選が行われたときに、学習がやや高度になりがちであるという理由で軽減・削除された内容で、そのこと自体はその後改善されているものではない。(p.185)」と述べている。このことは、再び、

中学生に遺伝学習の困難を強いることを予想させる。もし、国民的教養として、遺伝の内容を教えるべきであるとするならば、知的内容を薄めることなく学習困難を減らすために何をなし得るのであろうか。

この課題に取り組むに当たり、まず、次のような問題に直面する。困難であるといってもどのような困難があるのか。どのような場面で困難に遭遇するのか。そのような困難はなぜ生じるのか。これらの問題を解決することにより、はじめて、困難を克服するには、カリキュラムや学習指導をどのように改善すべきかを語ることができよう。

本稿では、これらの問題に焦点を当てながら、先行研究を吟味し、遺伝学習の困難とその改善について述べていく。これらの情報は、既存のカリキュラムをより適切に改訂するのに不可欠であるばかりでなく、授業をどう設計するかにも貴重な示唆を提供するであろう。さらに、今後の遺伝の教授＝学習研究に対する方向づけを示唆するであろう。

まず、遺伝教材の抱える問題点と、遺伝に関する先行研究の概要について述べていく。

II 遺伝教材の持つ問題と先行研究の概要

1. 遺伝学習の困難性

生徒自らが難しいと判断する内容は、その内容を学習する生徒の動機づけに影響を及ぼすと考えられる。内容が難しいのだから、それを理

解できないのは当たり前である。理解できないのだったら、勉強しなくても同じという悪循環をもたらすのである。

遺伝の内容は難しいといわれるが、生徒は、本当に難しいと感じているのであろうか。また、生物の他の内容と比べて、どの程度難しいものなのであろうか。この点から論じていく。

Johnstone と Mahmoud (1980) は、スコットランド大学入学資格試験委員会が定める生物の教授細目のうち、生徒が難しいと感じるのはどのような内容であるかを調査した。彼らは、教授細目の中から、主要な内容を15選択し、各内容を大学生、高校生を対象として、(a) 易しい、(b) 普通、(c) 難しいの三段階で評定させた。その評定を基に各内容項目の難しさの度合が求められた。

この調査結果から、遺伝はエネルギー保存、進化、生体内での水輸送とともに、最も難しい内容の一つであることが示された。この結果は、大学生、高校生の間で一致したものであった。学習主体である生徒自らが、遺伝内容は難しいと感じているのである。それでは、教える側の教師は遺伝内容をどのように捉えているのであろうか。

Finley ら (1982) は、米国で広く用いられている数冊の高校生物の教科書に基づいて50の内容項目を選定した。これらの内容項目を高校生が学習するとき、それらの内容は高校生にとってどの程度難しいものであると考えられるかを、現職の高校生物教師100人を対象にして調査した。困難性の度合は、1から5のスケールで評価された。数値が高いほど困難性が高い。各内容項目の平均値を求め、上位15項目を示したのが表1である。

難しさの上位15項目のうち、遺伝に関する内容は、6項目(表1の*部分)含まれていた。さらに、体細胞分裂/減数分裂という、遺伝内容と密接に関連する内容も上位に位置づけられていた。多くの教師は、遺伝が高校生にとって学習困難な内容であると捉えていることを、この調査結果は示している。

生徒と教師がともに、遺伝は学習困難な内容であると認めているならば、安易ではあるが、

表1 遺伝の困難性 (Finley et al., 1982, p.533)

困難性	
項目	平均
1. 細胞呼吸	3.90
2. タンパク質合成	3.88
3. 体細胞分裂/減数分裂	3.66
4. 生物学の基礎となる化学	3.64
5. 酵素の構造と機能	3.55
6. 光合成	3.46
7. ホルモンによる生殖の調節	3.41
8. 複対立遺伝子*	3.33
9. 遺伝の染色体説*	3.29
10. 遺伝学における確率*	3.26
11. メンデル遺伝学*	3.23
12. 分類学と分類	3.16
13. 両性雑種*	3.13
14. 恒常性のシステム	3.11
15. 集団遺伝学*	3.09

*は遺伝の内容項目(引用者)

教育内容として遺伝を取り扱わない、という考えがあってもおかしくない。現に、わが国の中学校学習指導要領の中では、学習困難という理由で、これまで遺伝は軽減・削減されてきたのである。にもかかわらず、なぜ遺伝について学習するのであろうか。学習困難なものを、無理してまで教えなければならないほど、遺伝は重要なものなのであろうか。

2. 遺伝学習の重要性

Finley らは、先の調査において、困難性ととともに、重要性についても、同様に、50の内容項目について100人の高校教師に評価を求めた。重要性の上位15項目には、遺伝に関する3項目(*部分)が入っていたのである(表2)。

わが国では、梅埜(1987)を中心にして、国民的教養としての高校生物教育では、何をどこまで教えるべきかを追求するために、アンケート調査が行われた。調査対象は、高校教師622名、都道府県教育センター所員44名、大学教師126名であった。アンケートの内容は、教科書の内容分析に基づき455の小項目が選択された。その小項目ごとに、将来の高校生物教育の内容と

表2 遺伝の重要性(Finley et al.,1982, p.533)

重要性	
項目	平均
1. 光合成	4.25
2. 体細胞分裂/減数分裂	4.11
3. 細胞説	4.02
4. 細胞呼吸	3.83
5. 動物の循環系	3.82
6. メンデル遺伝学*	3.77
7. 遺伝の染色体説*	3.77
8. 遺伝子概念*	3.76
9. 動物における消化	3.63
10. ホルモンによる生殖の調整	3.60
11. 生物学の基礎となる化学	3.60
12. 構造と機能の相補性	3.60
13. 葉の構造と機能	3.60
14. 食物連鎖/食物網	3.57
15. 動物の呼吸系	3.46

*は遺伝の内容項目(引用者)

しての必要度が4段階で求められた。回答は、557名(回答率70.3%)から得られた。遺伝の内容に関しては、高度の事項、各論的な事項、目新しい事項には、多少の意見の食い違いが見受けられたが、高校、大学、センターの3群ともに、国民的教養としての必要性が高いという結果であった。

教える側からすれば、遺伝内容は生物教育にとって、不可欠の要素と考えられているのである。その根拠は何か。

国民的教養として取り上げるべきだとの根拠を山極・江田(1989)は次のように述べている。「遺伝と進化は、日常生活でもよく話題となることであるばかりでなく、疾病と形質の根本的相違を理解することは人権尊重の教育の一貫として大切であり、品種改良や今日のバイオ技術の理解にもつながるといって重要な位置を占めている。(p.151)」この記述にみられるように、第一に挙げられるのは、健康・医学的な根拠である。例えば、Rh因子の不一致やダウン症などは、遺伝学だけでなく医学的にも重要なものである。

第二に、社会的要請が挙げられる。細胞融合、遺伝子組換え、キメラ、試験管ベビーなど数年前までは、SF小説のテーマだったものが、遺伝学の急速な発展によって、現実化されている。しかし、これらの現象に対する一般市民の理解は限られたものであり、市民にとって、新しいテクノロジーのもたらす危険性、恩恵について相互に矛盾する種々の主張を評価することが急務となってきている。すなわち、バイオテクノロジーの時代への準備という、社会的要請が遺伝を学習する根拠として挙げられる。

さらに、Childs(1983)は、第三の根拠として、哲学的な理由づけを行っている。彼は、次のように述べている。「遺伝学について何らかのことを知ることによって、私たちは人間のメカニズムがどのように機能するのか、私たち自身の種の一員をどのように複製し、連続性を維持するのか、さらには他の生物種との連属性をどのように維持するのかを学ぶことができる。(p.46)」すなわち、私たち人間が生物的図式の中でどのように存在しているのかを知るためにも、遺伝の学習は重要なのである。

3. 先行研究の概要

以上において、遺伝内容は、教育内容として重要なものであるが、生徒にとっては学習困難な内容でもあるという特質を持つことが確認された。このような特質をもつ遺伝教材は、次のような問題を生み出す。すなわち、どのように指導すれば、知的内容を損ねることなく、学習困難を軽減することができるのであろうか、である。この問題に取り組むに当たっては、まず、生徒は遺伝学習において、どのような困難を持つのか、そのような困難がどうして生じるのかに関する情報が不可欠である。

しかしながら、およそ10年前までは、これらの点を明らかにしようとする研究は、ほとんどなされていなかった。これらの情報は現場で生徒を指導する教師が最も必要とする情報であったにもかかわらず、理科教育研究の多くは現場で必要とすることがらとはかけ離れていたのである(Stewart, 1980)。このような状況に対して、教師は強い不満を感じていた。

このような状況を改善し、研究成果を教師に利用可能な形で提供できるようにするために、Stewart (1980)は、次のような提案を行っている。すなわち、教師も理科教育研究者も生徒が授業に持ち込むプリコンセプションや授業後でも生徒が抱いているミスコンセプションに関する記載的な研究を行うべきである、と。

この提案を一つの契機として、ここ10年ほどの間に、生徒は遺伝学習に対してどのような困難を持つのか、そのような困難がどうして生じるのかを明らかにするための研究が、盛んに行われるようになった。

これらの研究は、大きく二つに分けることができる。一つは、遺伝に関する生徒のオルタナティブな考えを明らかにしようとするものである。これには、遺伝のプリコンセプション(Deadman & Kelly, 1978; Kargbo, Hobbs, & Erickson, 1980)やミスコンセプション(Hackling & Treagust, 1984; Kinnear, 1983; Longden, 1982)に関する研究がある。もう一つは、遺伝の問題解決学習に関する研究である。これには、生徒の問題解決を扱った研究(Costello, 1984; Stewart, 1982a; Stewart, 1983; Thomson & Stewart, 1985; Tolman, 1982)と専門家と初心者の問題解決の比較を行っている研究(Hackling & Lawrence, 1988; Smith & Good, 1984)がある。

本稿では、これらの先行研究のうちで、特に生徒の遺伝学習の困難に関わる文献を中心に吟味していく。Pearson と Hughes (1986)が指摘するように、遺伝学を教授するに多様な方法があり、科学的文献や教育的文献は、それらの豊かな情報源となる、と考えられるからである。

III 遺伝の学習困難点

1. 分析視点としての手続き的知識

遺伝について学ぶとき、生徒はどのような点に学習困難を持つのだろうか。学習困難点を調べる方法として、よく用いられるのは、生徒に実際に問題を解かせ、その解答を分析し、どこでどのようにつまづいたかを調べるという方法である。一見、単純に見える問題を解くにも、

多くの知識が必要とされる。どんな問題を解くにも、いかにして問題の解に到達するのかという手続き的知識(procedural knowledge)と、その手続きに正当な根拠を与える概念的知識(conceptual knowledge)が存在する。Stewart (1982b)は、生徒がどのようにして遺伝の問題解決を行うのかを分析するために、手続き的知識と概念的知識からなる問題解決モデルを示している。

問題解決に必要な情報を含んだ単性雑種や両性雑種の遺伝問題を解決するために、Stewart は次の6段階からなる手続き的知識を示している。

段階1 対立遺伝子に鍵となる記号を与えること

段階2 両親の遺伝子型を決定すること

段階3 配偶子型を決定すること

段階4 子の遺伝子型を決定すること

段階5 子の表現型を決定すること

段階6 子の表現型の比を求めること

これらの手続き的知識に基づいて、生徒がどのような学習困難を持つのかを、次に示していくことにする。

2. 対立遺伝子の記号化の困難

Stewart (1983)は、表3に示すような単性雑種と両性雑種に関する遺伝問題を生徒に与え、その問題解決過程を調べた。被験者は、37人である。そのうち、単性雑種の問題を正しく解けなかったものは、3名(A群)。単性雑種の問題は正しく解けたが、両性雑種の問題を解けなかったものは、7名(B群)であった。

まず、表3の単性雑種問題について見てみよう。A群の生徒は、問題となっている親の対立遺伝子を記号化する段階で、早くもつまづいてしまった(表4)。例えば、生徒2は、ヘテロとホモにも、対立遺伝子と同様に記号を割り当てた。ホモとヘテロの概念は、問題中の生物体における二倍体の状態を記述するのに用いるものであって、形質決定に関わる遺伝子とは異なる概念である。ホモ、ヘテロの概念は、親の遺伝子型を求めるときに用いられる概念である。

また、生徒3は、優性と劣性との概念を対立

表3 Stewartの用いた遺伝問題

(Stewart, 1983, p.525)

<p><u>単性雑種問題</u></p> <p>人の6本指は、5本指に対して優性である。一方が指の数に関してヘテロの親と他方が5本指の親とを交配した結果、子どもはどのような遺伝子型、表現型を持つと考えられるか。</p> <p><u>両性雑種問題</u></p> <p>豚の場合、巻き毛の尾は直毛の尾に対して優性である。ピンク色の皮膚は黒色の皮膚に対して優性である。一方の親は、尾の形及び皮膚の色に対してヘテロであり、他方の親は直毛の尾を持ち、皮膚の色はヘテロである。この親を交配したとき、子どもはどのような遺伝子型、表現型を持つと考えられるか。</p>
--

遺伝子と等しい概念であると混同し、記号化した。優性、劣性の概念は子の表現型がどうなるかを決めるときに関わる概念である。

表4 単性雑種問題の対立遺伝子の記号化

(Stewart, 1983, p.527)

理想的な解答	生徒1	生徒2	生徒3
F=6本指 f=5本指	Cc=6本指 Bb=5本指	A=ホモの6本指 a=ヘテロの6本指 B=ホモの5本指 b=ヘテロの5本指	F=6本指 f=5本指 D=優性 d=劣性

これらの生徒は、対立遺伝子、優性、劣性、ホモ、ヘテロといった授業の中で教えられている概念がどのように関連しているのかを把握することが困難だったと考えられる。このような学習困難によって、彼らは遺伝の問題解決の第一歩である対立遺伝子の記号化ができなかったのである。

同じことが、両性雑種問題についてもいえる。この問題に対して、記号化に手続き的困難を持っていたものはA群、B群合わせて10人のう

ち6人いた。そのうち、B群の3人の解答を表5に示しておく。単性雑種問題では、正しく記号を割り当てることができた生徒も、両性雑種問題になると、ミスするものが多くなる。両性雑種の問題になり、問題が複雑になったことによって、記号化の難しさの度が増したといえよう。

表5 両性雑種問題の対立遺伝子の記号化

(Stewart, 1983, p.530)

理想的な解答	生徒4	生徒5	生徒6
C=巻き尾 c=直毛の尾 P=ピンク色 p=黒色	A=巻き尾 t=直毛 P=ピンク p=黒	C=巻き尾 c=直毛 P=ピンク p=ピンク B=黒 b=黒	C=巻き尾 c=直毛 P=ピンク B=黒

3. 配偶子型決定に関する困難

単性雑種問題に関して、Tolman (1982)は、次のような事例を報告している。彼は、視力に関して、正常視(M)と近視(m)の対立遺伝子をヘテロに持つ親どうしからどのような子どもが生まれるかを生徒に尋ねた。生徒は、碁盤法(Punnett square method)を用いて問題を解いたが、そのとき、図1に示すような誤りを犯すものが多かった。

	Mm	Mm
Mm	MmMm	MmMm
Mm	Mm	Mm

図1 碁盤法でよくみられる誤り

(Tolman, 1982, p.525)

減数分裂の結果、配偶子には、親の対立遺伝子対のうちどちらか一方しか含まれないはずである。ところが、配偶子型は、Mmと二倍体のままであった。このことから、生徒は配偶子型をどう決定するか学習困難を持つと考えら

れる。

両性雑種問題における配偶子決定の困難の事例として、上に挙げた Stewart (1983) の報告の中から、二つ示しておく。一つは、各親から一つの対立遺伝子が配偶子にはいることを認識できていない事例である。この事例の生徒は、親の遺伝子型は正しく、CcPp と ccPp とに表現できた。ところが、CcPp の配偶子型は C、c、P、p と ccPp の配偶子型は c、c、P、p と答えた。そして、子の遺伝子型を求める段階になると、尾の形状と皮膚の色とをそれぞれ別々にして、単性雑種と同じ求め方をした (図2)。この生徒は、両方の形質を組み合わせて考えることはできなかった。

尾の形状：		皮膚の色：			
	C	c		P	p
c	Cc	cc	P	PP	Pp
c	Cc	cc	p	Pp	pp

図2 配偶子決定の誤りに基づいた解法 (Stewart, 1983, p.531)

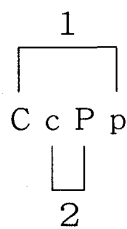


図3 誤った配偶子決定過程 (Stewart, 1983, p.531)

もう一つの事例は、各親から一つの対立遺伝子が配偶子にはいることは認識していたが、配偶子型を決定するプロセスを間違えた事例である。この事例の生徒は、CcPp の遺伝子型を持つ親の配偶子型を Cp、cP、Cp、cP とした。この生徒は、図3に示すように、まず外側2つの対立遺伝子を組合せ、次に内側2つの対立遺伝子を組合せ、その操作を繰り返して、配偶子を求めたのである。この生徒は、2つの形質の

対立遺伝子をどのように組合せればよいのかを理解していなかった。

このような事例から、遺伝学習において、生徒は配偶子決定に関する学習困難を持つことができる。

4. 偶然概念の理解困難

先に挙げた1から5の段階が正しく行われていれば、段階6の子の表現型の比を求めることは、比較的容易にできる。ところが、真下ら (1989) が、大学生に表6のような問題を与えたところ、おもしろい結果がでた。

表6 真下らの調査問題

(真下峯子 他, 1989, p.17)

欧米人には目の色(虹彩の色)が茶色のものと青色のものがある。今、下の家系図のような遺伝を示す家族があり、3人の兄弟が全部茶色の目を持っていた。今、4番目の子供が生まれようとしている。目の色は何色になるだろう。

答えを下から選びなさい。
1. 青 2. 茶 3. 青か茶

表6の問いに対して、第4子は、青色の目の子供が生まれると自信をもって答える大学生が目立って多かったのである。彼らの答えのうち、典型的なものを図4に示す。この答えは、一見、論理的で正しいかのように見える。しかし、肝心なことを忘れていたのである。どの精子が卵子の一つと受精するのかわ、偶然(chance)によって、決定されるのである。従って、第4子は、青色の目とは限らないのである。青色か茶

色のどちらかである。

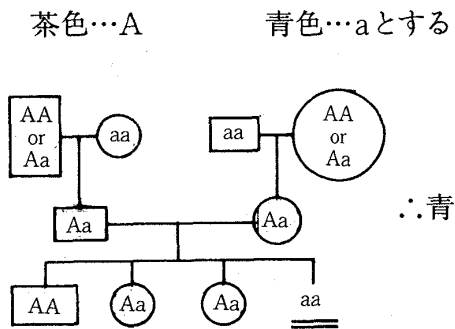


図4 典型的な解答例 (真下峯子 他, 1989, p.17)

授業後でも、被験者となった大学生が、「第4子が、3：1の確率で、茶色の目の子が生まれる確率が高いということは分かったが、3人も子供がいると4人目にはどうしても青い目の子供が生まれて来るように思ってしまう (p.18)」と述べるように、3：1比は決定的なものとして認知構造の中に組み込まれているのである。偶然によって、子の遺伝子型が決まるということは認識されていない。このことから、偶然概念の理解が、遺伝学習の困難点の一つとして指摘できる。

以上において、遺伝学習の困難点として、対立遺伝子の記号化、配偶子型の決定、そして偶然概念の理解の三点を指摘した。次に、これらの学習困難がどうして生じるのかについて述べていく。

IV 学習困難の原因

1. 遺伝用語の混同

前節で述べたように、単性雑種や両性雑種などの遺伝問題を解くとき、生徒が遭遇する第一の困難は、遺伝子を記号化することである。このような学習困難の原因の一つに、Longden (1982)は、遺伝用語の混同を挙げている。ここでは、用語の混同が、対立遺伝子の記号化にど

のように影響を及ぼすのかについて、遺伝子と対立遺伝子の用語の混同を例にして述べていく。

対立遺伝子を記号化するには、この手続きを根拠づけるのに、次のような概念的知識が必要になる。すなわち、一つの形質は一对の遺伝子によって決定される、である。ここでいう、一对の遺伝子の一つが対立遺伝子と呼ばれている。対立遺伝子とは、エンドウの種皮が丸いかしわになっているかというような対立形質に対応する遺伝子である。対立形質が2つあるときには、多くの場合、双方に優劣関係がある。メンデル遺伝では、一般に、対立遺伝子は、優性遺伝子が作り出す形質の頭文字で表現される。例えば、丸い種（優性）はRで表示され、しわのある種（劣性）はrとなる。

表5に挙げた、豚の皮膚の色に関する生徒6の対立遺伝子の記号化を見ると、ピンク色、黒色にそれぞれ別の遺伝子記号が付けられている。ピンク色はP、黒色はBと記号化されたのである。このような記号化の背景には、HacklingとTreagust (1984)が指摘するように、一つの形質は一つの遺伝子によってコントロールされるというミスコンセプションが存在していると考えられる。つまり、遺伝子と対立遺伝子の混同によって、PとBの記号が割り当てられたと考えられる。

このような混同を助長しているのが、教科書や試験問題における遺伝用語の曖昧な使用である (Radford & Bird-Stewart, 1982)。Radfordらは、例えば、エンドウの種子に関する問題で、丸い「遺伝子」、しわの「遺伝子」という曖昧な言い方が、あたかも同じ遺伝子の異なった形態、つまり対立遺伝子というよりも、それらが全く異なった遺伝子であるかのような印象を生徒に与えていると指摘している。こうした曖昧な遺伝用語の使用が、遺伝学習をますます困難なものにしているのである。

2. 減数分裂の不十分な理解

配偶子決定における学習困難がどのようにして生じるのか。前節で、遺伝問題を解くのに6段階からなる手続き的知識を示した。この手続

きの知識に正当な根拠を与えるのが概念的知識である。その概念的知識に照らして、配偶子型の決定に関する学習困難の原因を探ることにする。

Hackling ら(1984)は、遺伝問題を解くのに必要な概念、命題を示している。配偶子型の決定に関わるものとしては、次のものが挙げられている。

- ・配偶子を生じるときには、各形質に対する一对の遺伝子は分離して、一对のうちの一つの遺伝子が配偶子に含まれる。

この概念的知識に対して、子どもたちは、授業後、次のようなミスコンセプションを持っていることが、Hackling らによって示された。すなわち、配偶子は親の体細胞にみられる遺伝子対の両方を運搬する、である。このような考えに基づいて、配偶子型を決定しようとすると、減数分裂の行われていない二倍体の配偶子を考えてしまう(図1参照)。

遺伝の問題解決の手続きを根拠づける概念的知識が間違っていたために、正しく問題を解くことができないのである。配偶子型の決定を根拠づける概念的知識は、減数分裂における染色体/遺伝子行動に関する知識である。これらの概念的知識を遺伝の問題解決に関連づけるところに、遺伝学習の困難の源がある。

それでは、遺伝問題を正しく解けた生徒は、減数分裂を遺伝問題に関連づけているのであろうか。Stewart (1982a)は、図5ような誤った基盤配置を両性雑種問題を正しく答えられた生徒に示し、なぜこのような組合せが起こらないのかを尋ねた。

	Cc	pp
Cc	CcCc	Ccpp
PP	ccPP	PPpp

図5 誤った基盤配置 (Stewart, 1982 a, p.84)

多くの生徒は、「死んでしまうから」と答えるのみで、減数分裂と配偶子型についての統合された知識がないことが示された。減数分裂を

対立遺伝子の分配メカニズムと認めるような答えはみられなかったのである。生徒が正しく配偶子型を決定したとしても、それは、遺伝問題を解くのに必要であり、実世界に存在する出来事に結びつくことはないと答えていた。すなわち、配偶子型の決定に関する手続き的知識が概念的知識によって裏づけられていないのである。

以上のことから、対立遺伝子を染色体/遺伝子の行動と、すなわち減数分裂の第1期の分裂とランダムな組合せに関連づけることができないことが配偶子型の決定を誤らせる原因であるといえる。

3. 文脈による偶然概念の認識の違い

前節で、真下らによる調査結果を示した。ここでは、子の数が考慮されず、3:1比が決定的なものと考えられていた。この種の問題を正しく解くには、Hackling ら(1984)が指摘するように、「どの精子が卵子の一つと受精するか、つまり子の遺伝子型がどうなるかを決定するのは偶然である(p. 199)」という命題が必要である。配偶子形成における対立遺伝子の分離、組合せの過程における偶然概念の理解は、遺伝問題を有意味に解決するのに必要な基本的事柄なのである。しかし、Hackling らの調査では、正しくこの命題を理解していたのは、わずか17%であった。なぜ、このように理解が低いのであろうか。

表7 Kinnearの用いた問題例

(Kinnear, 1983, p.226)

<p><u>実生活文脈のテスト項目</u></p> <p>テイラーさんご夫妻はカールトンに住んでいる。ご主人は会計士、奥さんは小学校の先生です。ご夫妻には5歳、8歳、10歳、12歳の4人の子どもがいます。4人の子供の性別はどうなっていますか。</p> <p><u>遺伝文脈のテスト項目</u></p> <p>黒色は茶色に対して優性である。ともにヘテロで黒色の生物を交配したところ、子どもが4匹生まれた。どのような色の子どもが生まれたのか。</p>

この理由として、Kinnear (1983)は、伝統的な遺伝学の文脈と実生活の文脈という2つの対照的な文脈の違いが、偶然概念の認識に影響を及ぼしていると指摘している。彼は、遺伝学を履修している大学生に、表7のような伝統的な遺伝学の文脈におけるテストと実生活の文脈におけるテストを行い、答えとそれに対する説明を求めた。

この問題に対して、ある生徒は次のように答えた。

実生活文脈の問題に対して：

「男か女のいろいろな組み合わせだよ。だって、これはランダムなできごとでしょ。」

遺伝学文脈の問題に対して：

「黒色が3匹で、茶色が1匹だよ。理由は、 Bb と Bb を交配すると $BB:Bb:bb=1:2:1$ になるからさ。」(Kinnear, 1983, p. 216)

実生活の問題では、偶然がはたらいていることを学生は認めていたが、遺伝学の問題では、標本の数を考慮せず、3:1の比で、子孫が生まれるというルールを、機械的に適用しているものが多かったのである。「遺伝比の確率的性質についての認識の欠如および標本サイズに対する感受性の欠如(Kinnear, 1983, p. 223)」が、偶然概念の理解を困難にしているのである。

V 授業への示唆

以上において、遺伝学習の困難点およびその原因について述べた。本節では、遺伝の学習困難を軽減するには、カリキュラムをどのように改善すればよいのか、授業を行うには、どのような点に注意すべきかについて述べていく。

遺伝学習に関して最も問題とされていたのは、単性雑種や両性雑種の遺伝問題解決に減数分裂時の染色体/遺伝子行動に関する概念的知識を関連づけることができないという点であった。本節では、特に、この点に関する示唆について述べて行きたい。

1. 教材構成について

Mertens (1971)は、大学や高校で使われてい

る生物学と遺伝学の教科書で遺伝がどのように教えられているかを分析した。その結果、メンデルの遺伝法則を教えた後に、減数分裂を教えるという教材構成を採る教科書が多いことに気づいた。この事実は彼にとって驚きであった。彼にとって、「減数分裂における染色体行動を生徒に詳しく教えることなしに、メンデルの法則を教えることなど信じられないこと(p. 430)」なのである。

メンデルの法則を理解するには、減数分裂時における染色体の行動について、充分理解していなければならない。そのためには、まず減数分裂を教え、それからメンデルの法則を教える教材構成にすべきであると Mertens はいう。このような教材構成を採ることにより、顕微鏡下で観察することのできる染色体行動に遺伝子に関連づけることができ、メンデル比の説明が理解しやすくなるのである。

教材構成に関しては、もう一つの示唆がある。減数分裂と体細胞分裂とをそれぞれ別の文脈で、扱うべきであるという示唆である。細胞分裂の一形態ということで、減数分裂と体細胞分裂は一緒のところ教えられることがある。しかし、このような教材構成は、体細胞分裂と減数分裂の混同を導き、ひいては配偶子は両方の染色体/遺伝子を運搬するというミスコンセプションを増すことにつながる可能性がある。それ故、体細胞分裂は成長と発達の文脈(Hackling & Treagust, 1984)、減数分裂は世代交代の文脈で教えるべき(Radford & Bird-Stewart, 1982)である。

2. 教授シークエンス

Tolman (1982)は、人間の性決定に関する子どもたちの理解が通常の遺伝問題の理解に比べて高いという調査結果に基づき、遺伝学習の困難を軽減するための教授シークエンスを提案している。伝統的に用いられている教授シークエンスと Tolman の提案する教授シークエンスを対比したものを表8に示す。

Tolman の教授シークエンスでは、Mertens が指摘したように、まず減数分裂が教えられている。それから、生徒の理解度の高かった染色

表8 教授シーケンスの対比 (Tolman, 1982, p.527)

伝統的な教授シーケンス	Tolmanの提案した教授シーケンス
<ol style="list-style-type: none"> 1. 減数分裂 (図の中に遺伝子を書き入れていない。ふつう、別の章で扱われている。染色体の行動は、あまり強調されていない。) 2. メンデルのエンドウ豆の実験 <ul style="list-style-type: none"> — 遺伝子 — 優性 — 劣性 — 独立組合せ — 遺伝子型 — 表現型 — 同型接合体 — 異型接合体 — 対立遺伝子 — 碁盤法 3. 単性雑種交配 4. 両性雑種交配 5. 不完全優性 (共優性) 6. 性染色体 7. 性決定 8. 伴性的形質 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 減数分裂 (図の中に遺伝子を書き入れ、第一減数分裂期の染色体の行動を強調する。) 2. 性染色体—ヒト (図の中に遺伝子を記入すること—減数分裂にさかのぼって考える) 3. 性決定—ヒト (同上) 4. 伴性的形質—ヒト — 染色体上の遺伝子を再強調する。減数分裂にさかのぼり考える。 — 分離 — 独立組合せ — 優性 — 劣性 — 遺伝子型 — 表現型 — 同型接合体 — 異型接合体 — 対立遺伝子 — 碁盤法 5. 単性雑種 6. 両性雑種 7. 共優性 8. メンデルのエンドウ豆の実験—用語の発展の歴史に触れる。

体による性決定、伴性形質と続く。これらの学習を行うときには、常に、対立遺伝子が親からどのようにして子に伝わるのか、減数分裂と関連づけながら行う。従って、減数分裂を扱うときには、対立遺伝子を染色体上にはっきりと示しておく必要がある。分離や独立組合せを教えるときにも、同様に、各染色体上に仮想的な対立遺伝子を用いて減数分裂に照らしながら扱う。

メンデルによるエンドウ豆の実験は、Tolmanの教授シーケンスでは、最後に扱われ

るだけである。生徒が興味を持って取り組む人間の伴性的形質の遺伝の中で、メンデル遺伝の基本的な概念が扱われている点に、このシーケンスの特徴がある。

3. 減数分裂に関する用語の精選

繰り返しになるが、遺伝の問題を解くには、減数分裂における染色体/対立遺伝子の行動について理解することが不可欠である。従って、減数分裂を教える際に、遺伝子、対立遺伝子の

行動を強調した指導が必要となる。

ところが、減数分裂を教えるとき、多くの場合、細かな用語がたくさん用いられている。例えば、中心体、星状体、紡錘体、紡錘糸、染色分体などの用語である。このように、多くの用語が用いられると、生徒にとっての認知的負担が重くなり、肝心な減数分裂時の染色体／遺伝子の行動についての理解がおろそかになる危険性がある。従って、これらの細かな用語は削除し、染色体の複製と分裂にすべての用語を関連づけるべきである(Thomson & Stewart, 1985)。

また、前節で述べたように、用語の混同を引き起こすような曖昧な用語使用も避けなければならない。遺伝学の中で使われている用語の意味をよく理解し、それらがどのように関連しているのかを把握するには、曖昧な用語使用は、障害になるだけである。

4. 減数分裂を示す図の活用

記載的な内容の多い生物学の中では、遺伝はきわめて抽象的な内容である。遺伝の問題を解くには、多くの記号と、その記号を並べた数式とが必要となる。このような記号、数式を見ただけで、多くの生徒は遺伝を難しいものと思なし、敬遠する(Longden, 1982)。これらの抽象的な内容を、現実的なできごととして結びつけてくれるのが減数分裂の現象である。

そこで、減数分裂を教えるに当たっては、少しでも具体的に教えるために、図を活用することが勧められている。配偶子が対立遺伝子対の両方を運搬するというミスコンセプションを生徒が持たないようにするために、上でTolmanが提案しているように、染色体上に対立遺伝子を示した図が必要となる。このような図の活用は、遺伝の抽象性をいくらかでも和らげる効果があると思われる。

VI おわりに

遺伝は、教育内容として重要なものであるが、生徒にとっては学習困難な内容でもあるという特質を持つ。このような特質をもつ遺伝教

材は、本質的に、次のような問題を含んでいる。すなわち、どのように学習指導すれば、知的内容を損ねることなく、学習困難を軽減することができるか、である。

本稿では、この問題に取り組むに当たり、次の三つの視点から先行研究を吟味した。すなわち、遺伝学習において、生徒はどのような学習困難を持つのか。そのような学習困難はどのようにして生じるのか。そして、生徒の学習困難を軽減するには、カリキュラムや学習指導をどのように改善すべきか、の三つである。

学習困難点としては、(1)対立遺伝子の記号化、(2)配偶子型の決定、(3)偶然概念の三点を指摘した。これらの学習困難を生じさせる原因としては、(1)遺伝用語の混同、(2)減数分裂の不十分な理解、(3)文脈による偶然概念の認識の違いが挙げられた。カリキュラムや授業への示唆としては、次のものが得られた。第一に、減数分裂を遺伝現象と充分関連づけられるように、教材構成を図ることである。第二に、抽象的な遺伝学習を、少しでも具体的なものとするために、図を活用することである。

引用文献

- Childs, B. Why study human genetics? *The American Biology Teacher*, 45(1)42—46, 1983.
- Costello, S.J. Analysis of errors made by students solving genetics problems. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. *ERIC ED244 783*, 1984.
- Deadman, J.A. and P.J. Kelly. What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1)7—15, 1978.
- Finley, F.N., J. Stewart, and W.L. Yaroch. Teacher's perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 64(4)531—538, 1982.
- Hackling, M.W. and D. Treagust. Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2)197—209, 1984.
- Hackling, M.W. and J.A. Lawrence. Expert and novice

- solutions of genetic pedigree problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(7) 531—546, 1988.
- Johnstone, A.H. and N.A.Mahmoud. Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14(2) 163—166, 1980.
- Kargbo, D.B., E.D.Hobbs, and G.L.Erickson. Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2) 137—146, 1980.
- Kinnear, J. Identification of misconceptions in genetics and the use of computer simulations in their correction. In Helm, H. and J.D. Novak (Eds.) *Proceedings of the International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA. pp. 209—227, 1983.
- Longden, B. Genetics — are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16(2) 135—140, 1982.
- 真下峯子他, 「遺伝」指導上の問題点とその改善について, 日本科学教育学会研究会研究報告 3(5)15—18, 1989.
- Mertens, T.R. On teaching meiosis and Mendelism, *The American Biology Teacher*, October 1971, pp.430—431.
- 大塚誠造・小林学, 中学校理科 新旧学習指導要領の対比と考察, 明治図書, 1989.
- Pearson, J.T. and W.J.Hughes. Designing an A-level genetics course: Sequencing the material and developing a strategy for teaching and assessment. *Journal of Biological Education*, 20(2) 133—137, 1986.
- Radford, A. and J.A.Bird-Stewart. Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16(3) 177—180, 1982.
- Smith, M.U. and R.Good. Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9) 895—912, 1984.
- Stewart, J. Appropriate research in biology education. *The American Biology Teacher*, 42(8) 484, 1980.
- Stewart, J.H. Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 44(2) 80—84, 89, 1982a.
- Stewart, J. Two aspects of meaningful problem solving in science. *Science Education*, 66(5) 731—749, 1982b.
- Stewart, J. Student problem solving in high school genetics. *Science Education*, 67(4) 523—540, 1983.
- Thomson, N. and J.Stewart. Secondary school genetics instruction: Making problem solving explicit and meaningful. *Journal of Biological Education*, 19(1) 53—62, 1985.
- Tolman, R.R. Difficulties in genetics problem solving. *The American Biology Teacher*, 44(9) 525—527, 1982.
- 梅埜国夫, 中等教育段階の生物教育におけるミニマム・エッセンシャルズの策定, 昭和60—61年度科学研究費補助金(一般C)研究成果報告書(国立教育研究所), 1987
- 山極隆・江田稔(編), 中学校新教育課程の解説 理科, 第一法規, 1989