

# 生物教育に新しい内容を取り入れる場合の諸問題

——遺伝学習を例として——

三 橋 一 夫

## まえがき

現代における科学・技術の進歩はいよいよ加速度を加えつつあり、爆発的膨張、とさえ形容されている。この増大する知識内容をどのように教えていくかということが現代の教育の最大の課題の一つであり、教育の現代化へと結びついてくる。それがアメリカにおける自然科学教育改革運動となり、イギリスのナフィールド計画を始めとする世界的な運動へひろがり、OECDでもこの問題についてのセミナー・レポートが行われている。

こうした事態は生物学についても顕著なものがあり、分子生物学的研究などの新しい知見が次々に発表され内容は深まりまた広まって学問的領域も次第に化学や物理学と融合する部分がふえてきている。

これに対し学習者の側に立って考えると、高等学校への進学率は80%を越えようとしており、多層化的傾向と学習内容の不消化がいよいよ大きな問題となってきた。

この両面をどのように調和させていくかということが理科教育の現代化への一つの道であり、それには量的に増大する知識のどの部分を学習内容として取り入れ、どの部分を割愛するかという問題になってくる。

生物教育におけるこうした試みとして遺伝学習に例をとって次に考察を進めてみたいと思う。

## 問題の設定

分子生物学の発達により遺伝学は分子のレベルで研究され、従来の記号遺伝学的性格からより生命現象の本質へ迫る極めて重要な分野の一つになりつつある。一方学習者にとっては遺伝の学習は難解なものを受けとられ勝ちであり、高度化する学問的水準とそれを学ぶ生徒との間のギャップが特に大きく、それをうめるための努力工夫が払われなければならないように思われる。

また中等教育における生物学の持つ大きな問題点として、内容が雑然と羅列しているだけで相互の関連が少く系統化されにくいので、学習者としては暗記に力をそそがざるを得なくなるということがある。この点を改めていくには、ブルーナーが「教育の過程」で述べているように学問的知識の構造的に立脚した教育内容

とプログラムを用意し、学問的知識の系統性と順次性すなわち教科の構造に基礎をおいて学習者に体系的知識を習得させ、その内的発展として一般化・高度化を期待するほかはない。それによってブルーナーも述べているように、第一に学習内容が次に学習したり経験するものへと通ずる一般化ができ、第二に知的興奮という報いを得て教科に対する興味がわき、第三に獲得した知識が相互に結合し組織化して長く記憶されるものとなる。生命現象が複雑であるだけに学問としての系統性を生物学に求めるのは、物理・化学の場合よりはるかにむづかしいと思われるが、分子生物学的見方が少くともその大きなよりどころになることは確かであろう。

そこで分子生物学的知識を取り入れながらどう生物学の内容を系統化できるか、又それに学習者としての生徒がどのように反応していくかを遺伝分野で調べてみた。

## 遺伝学習の難解性について

高等学校の新入生134名に対して中学校で学習した生物的分野について難解であったところと、特に興味を感じたところを尋ね入学時の成績の上・中・下位別にまとめると次のような結果を得た。

### 難解であったところ

	上位・中位・下位 (計)		
発生と遺伝	8	8	17 (33)
生物の種類	10	11	9 (30)
人体のつくりとはたらき	9	9	3 (21)
生物の環境	6	3	4 (13)
植物のつくりとはたらき	2	6	3 (11)
食物の成分と栄養素	0	3	2 (5)

### 興味をもったところ

発生と遺伝	20	14	9 (43)
人体のつくりとはたらき	5	6	5 (16)
植物のつくりとはたらき	4	2	2 (8)
生物と環境	3	1	2 (6)

この結果から遺伝を難解とする者も多いかわりに興味を感じる者も大変多いことがわかり、上位グループに興味を持つ者が多く下位グループに難解とする者が多いことは、基本的内容の理解がむづかしいが、その

理解の上に立てばあとは理論的に結果を説明したり予想したりすることができて生物の他の分野には少い筋道の立った面白さがでてくるのではないかと考えられる。これと同様なことが物理分野で力学のところにており、中学生高校生となると本当の興味というものはある程度の理論的な難解さを越えてその原理的思考方で新しい場面を説明できていく過程に本当の面白さを感じていくのであろう。従って生物学の新しい知識を取り入れる場合も高度だという理由でいたづらに敬遠しないで、それが生命現象を解く上にどんなに根本的・基本的なことであるかに主眼をおいて取捨選択すべきであろう。

ただ上の結果でも明らかな通り学習の最初につまずいたりすると系統的である為に学習者はその後非常にむつかしきを感じてしまう。従って特に基本事項の徹底を留意すべきでプログラム学習なども考えられてよいだろう。

### 遺伝学習における生徒の疑問点

高1で遺伝学習をするうえで生徒がどのような点に疑問を持つかを次にあげてみる。これは表題の内容の授業を終ったところで自由に質問事項を紙に書いて提出させたもので、一般的な内容のものについては次の時間の最初に解説した。数字は133人の生徒中似たような質問をしたものの合計数である。

(1) 導入, メンデルの成功の理由, メンデルの3法則, 碁盤目法・掛け算法による説明	
両性遺伝における4種類の配偶子のでき方	16
遺伝子が分離することについて	11
優性と劣性を生ずる理由	7
遺伝子というのは仮説か, 本当にあるのか, その証拠は	6
遺伝子が対になっていることに関して	4
分離比の意味(理論値について)	2
(2) 連鎖とくみかえ, くみかえ率	
くみかえ率の数字はどうしてきまるか	12
くみかえ率の求め方がわからない	11
独立と連鎖のちがひ(関係)について	6
遺伝子と染色体のつながり	5
遺伝子は本当に存在するか, どんなものか	3
配偶子のできる比にはどんなものがあるか	2
(3) 遺伝子と染色体, 遺伝子の所在, 連鎖地図, だ腺染色体の観察	
連鎖・くみかえと染色体の関連について	9
分離の法則と減数分裂における染色体のうごきについて	6
くみかえ率50%が独立であることについて	5
二重くみかえがおけるとみかけのくみかえ率が	

小さくなることについて	4
どんな遺伝子が連鎖するか	2
見えない遺伝子でどうしてこんなことまで云えるのか	2
(4) いろいろな遺伝(中間遺伝, 補足遺伝子, 同義遺伝子, 致死遺伝子, キセニア)	
それぞれの遺伝における遺伝子の動きについて	15
どうして遺伝子がこうした働きをあらわせるか	12
遺伝子にはどうしていろいろなタイプがあるか	8
数の上での説明はついたが, 遺伝子の本体は何か	6
キセニアについて	3
(5) 伴性遺伝, 性染色体	
性決定の4つの型について	13
伴性遺伝の例題の解き方について	7
Y・W染色体の意味について	5
遺伝子が性を決定するしくみについて	5
性染色体が性を決めるか遺伝子が性を決めるのか, この両者の関係は	3
(6) 変異(個体変異, 遺伝的変異——交雑変異と突然変異)	
突然変異がおこる機構について	8
X線と遺伝子の関係について	5
突然変異のおこる頻度について	4
優性の突然変異と劣性の突然変異はどちらがうか	4
以上の結果を見ても明らかなように, 学習が進むにつれて遺伝の本質的なところに生徒の質問が多くなっていくのに感心する一方, それがかじつけにならないのかという素朴な疑問でもあり, またより原理的なものを指向する探究的な疑問でもあると思う。	
そこでこれに答えるにはやはり最小限の分子生物学的説明が加わられねばならず, 次のように授業を進めた後で生徒に感想を書かせた。	
(7) 遺伝子とそのはたらき——DNAとRNA, 肺炎菌(生きたR株+死んだS株→生きたS株), バクテリオファージ, DNAの構造とその分裂のしかた, アカンカビの栄養要求性の突然変異, DNA(RNA)のA, G, C, T(U)の3連子の排列がアミノ酸の種類に対応すること, DNA→メツセンジャーRNA→転移RNA→アミノ酸→蛋白質→酵素→生化学反応→形質	

遺伝子の本体が追求されていく様子が  
興味深い 49  
難解である 34  
複雑である 17  
程度が高い 8  
やさしい 3

(1)から(6)までの間に出ていた遺伝の本質に関する疑問が(7)の話で大分解決され、それに対する興味・喜びを感じず生徒が多数いることは、生徒が表面的な理解だけでは満足せずより根本的なことへ迫っていく力を持っていることを物語っていると云えよう。従って我々は新しい生物学の知識の中でこうした生命現象の本質へ迫るものをもっと取り入れてよいのではなからう

か。しかし一方でこれを難解・複雑であると感ずる者も多いことは注意を要する点で指導法に十分の工夫がなされねばならないだろう。例えば模式化・記号化・省略など大胆にとり入れられるべきと思われる。

### 遺伝学習の分子生物学的扱い

#### 中学3年生 理科第2分野、

中学校における遺伝の内容は下に示すようにメンデルの法則を中心としたもので遺伝子の本質的説明には全く触れず、遺伝子と染色体の関係も演習的に頭から述べてしまっている。そこで次にあげたように遺伝子が染色体上にあると考えられる根拠のいくつかと遺伝子の本体についての極く基礎的な話を加わえてみた。

教科書の内容

遺伝のしくみ→形質、遺伝、遺伝子、単性遺伝(優性の法則、分離の法則)、両性遺伝(独立の法則)、中間遺伝  
遺伝子と染色体→(減数分裂には教科書では触れていない)「遺伝子は染色体の中に一定の配列をしている。染色体の数は生物の種類でさまざまであり、またその形もさまざまである。からだのふつうの細胞では、同じような形の染色体が1対ずつあり、それぞれ受精のときに父親から来たものと、母親から来たものである。そして、花粉・精子・卵細胞ができるときには、対になっている染色体はまた分かれて、それぞれ別の細胞にはいる。」

#### 〔調査〕

授業後の質問 /45人	遺伝子は仮説か、本当にあるものか	2	ヒトなら46本の染色体にそれぞれ別の	
	遺伝子は何からできているのか	1	遺伝子があるのだろうか	1
	見えない遺伝子の所在がどうしてわかるか	1	AaBbの植物の花粉に[Aa][Bb]はできないか	1
	どんなものが優性の形質になるか	6	形質に優劣のちがいがあらわれるわけ	2
	両性遺伝の組み合わせについて	4	三つの性質の遺伝はどうなるだろうか	2
	人間などの形質にも皆優劣があるか	3	奇形はどうしてできるか	1
	独立の法則について	3	丈の低い遺伝子に肥料を十分にやったら、	
	人間の遺伝について	2	丈が高くなるのだろうか	1
	AAとAaは外見は完全に同じだろうか	2	その他 多数	(以下省略)

補足I

遺伝子と染色体→遺伝子はどこにあるか→細胞(花粉・精子・卵子)→核(雄方からは細胞質は殆んど与えられないこと、ポベリーの実験)→染色体(体細胞分裂の復習、減数分裂の説明、分離の法則・独立の法則と減数分裂のときの染色体の行動の類似性、模型による両者の関連の確認)

#### 〔調査〕

(調査の内容)	「遺伝子は染色体にある」といわれているが、その理由として考えられるものを記しなさい。 〔実験学級では減数分裂の説明が終わったところで、また対照学級では教科書の上記内容を終ったところで行なった〕 ◎遺伝子の独立まで考えた ○遺伝子の分離だけ考えた		◎	○	×
		実験学級	4	31	8
		対照学級	0	18	25

補足II

遺伝子の本体→DNAの重要性(肺炎菌……生きたR株+死んだS株→生きたS株)→DNAの働き(バクテリオファージの細菌細胞内における増殖)→DNAの構造(デオキシリボースとリン酸と4種の塩基:アデニン, グアニン, シトシン, チミン)→DNAの暗号(A, G, C, Tの配列によることだけ云うにとどめる)→酵素→体内の化学反応→形質

#### 〔調査〕

授業後の感想	(大部分の者) むっかしかったが、興味深かった。
内容のむつかしさ	DNAの構造>DNAの暗号>DNAのはたらき>DNA→形質>DNAの重要性
興味深いもの	DNAのはたらき>DNAの暗号>DNA→形質>DNAの重要性>DNAの構造
理解	中間考査の問題として、バクテリオファージによるDNAの研究について尋ねた。正答76%

生物教育に新しい内容を取り入れる場合の諸問題

調査の結果から明らかなように前に記した高校生の場合にくらべて遺伝子の本体といったことについての疑問が極めて少い。これは内容のとりあげ方の相異もあるだろうが、この1年間の知的発達の大きさをも見のがしてはならない。したがって新しい生物学の内容を取り入れる場合にも生徒の側の受け入れ体制をよく考え最も適切な時期に与えるということが特に大切であると思われる。

高校1年生「生物」

高校における遺伝は中学の場合と非常に内容が変りより高度になりDNAを中心とした分子生物学的説明

も大分とり入れられてきたが、やはり従来の記号遺伝学的方向が柱になっており、例えば「いろいろな遺伝」の項では致死遺伝子、同義遺伝子、補足遺伝子、複対立遺伝子、抑制遺伝子などをとりあげている。こうした枝葉に当たるところは思い切って削減してもっと遺伝子染色体説がとられるようになった学問的経過とか、遺伝子の本体と働きとかに力を注ぐべきではなかろうか。そのためBSCSの行き方が大変参考になると思われるので、特にその黄版を軸として次のように遺伝を扱い、毎時授業後に下に記す調査をして生徒の反応を調べてみた。

遺伝学習についての調査 (1クラス)	1. 特に興味をもてたところを記しなさい。	3. まだ理解できないところがあれば記しなさい。
	2. むつかしいと感じたところを記しなさい。	4. 今日の授業についての感想を記しなさい

〔内容〕 (1時間)

遺伝学とは何か、遺伝と環境、選択的育種の実験、メンデルの仕事

〔調査〕

1. 温度がショウジョウバエの翅に影響を与えること	18	1卵性双生児	7
メンデルの業績	16	発見にはその下地が熟すことが必要	6
メンデルの法則の再発見について	11	遺伝と環境	4
2. ショウジョウバエの翅の性質が温度の影響でかわるのはなぜか			10
3. ショウジョウバエの翅の遺伝に温度がどうして影響するか			14
4. 興味がある	21	実例の多いのがよい	7
やさしい、よくわかった	12	遺伝はややこしくなりそうだ	3

〔内容〕 (2時間)

単性遺伝(遺伝子型による説明)、遺伝における確率(掛け算法)、メンデルの結果の解釈(碁盤目法)、  
〔もどし交雑で練習〕

〔調査〕

1. 練習にもどし交雑をやったこと	14	メンデルの偉大さ	4
F <sub>2</sub> のできるところの説明	10	掛け算法による確率の計算	4
碁盤目法による考え方	8	分離の法則	3
メンデルの仮説の立てかた	5	遺伝子に優劣があること	2
2. ホモ・ヘテロの見分けかた	9	掛け算法	3
遺伝子型について	4	分離の法則	2
3. 分離の法則の意味	6	なぜ優性・劣性があるのか	5
1/2R, 1/2rというあらわしかた	5	もどし交雑について	5
4. 興味がある	14	中学の復習みたい	6
やさしい、よくわかった	14	メンデルに感心した	6
むつかしくなってきた	7	中学と説明のしかたがちがいがい迷った	3

〔内容〕 (2時間)

単性遺伝のその他の例(複対立遺伝子→血液型)、両性遺伝(掛け算法、碁盤目法→独立の法則)、連続的に変化する形質(ヒトの背丈、知能、皮膚の色)

〔調査〕

1. 血液型の遺伝	27	独立の法則	3
両性遺伝	6	中間遺伝(AB型の血液とは)	2

2. 独立の法則	7	両性遺法の配偶子のできかた	3
両性遺伝の碁盤目法	4	分離の法則	2
3. 分離・独立の法則の内面的意味	4	血液型の遺伝	3
4. 興味がある	13	やさしい, よくわかった	8
むつかしい	9	問題をいろいろ解いてみたい	2

## 〔内 容〕 (2時間)

遺伝の染色体説→遺伝子はどこにあるか, 染色体と遺伝的連続性(減数分裂, 染色体の独立性, 染色体の乗りかえ, 生殖細胞の形成), 遺伝の染色体説(サトンの仮説, 遺伝子連鎖群の推定), 科学的証明の性質  
性染色体の発見→性の決定

## 〔調 査〕

1. 性の決定	26	遺伝子の所在(染色体説)	4
遺伝子と染色体の類似性	8	染色体の交叉・乗りかえ	4
2. 染色体説	14	細胞分裂と乗りかえ	6
3. 染色体説	6	メンデルの3法則の染色体説的説明	2
遺伝子も分裂するか, どうして分裂するか	3	染色体の交叉・乗りかえ	2
4. むつかしい	10	よくわかった	5
興味がある	9	遺伝子の本体を知りたい	3

## 〔内 容〕 (2時間)

性染色体の発見→伴性遺伝(ショウジョウバエの赤・白眼を例とし, ヒトの色盲と血友病で練習) 連鎖と交叉→既出の染色体の交叉から簡単に触れる。染色体説に対するブリッジの証明→染色体不分離, ヒトの染色体不分離の例

## 〔調 査〕

1. 伴性遺伝(全般に, 色盲, 血友病)	39	染色体地図	4
2. 連鎖とくみかえ	9	伴性遺伝	5
くみかえ率	6	染色体不分離	3
3. くみかえ率	6	染色体地図	5
連鎖・交叉・くみかえ	5	染色体不分離	4
4. むつかしい	13	遺伝子は仮説なのに, これだけ分ったのか	3
興味がある	11	こじつけみはい(遺伝子の本体は)	2

## 〔内 容〕 (2時間)

遺伝子その働き方→遺伝子の化学的性質(肺炎菌のDNAによる形質転換, ウィールスの遺伝物質, 核酸分子の役割, DNAのワトソン・クリックのモデル, DNAの自己増殖) 遺伝子はどう働くか(遺伝子の二つの働き: 個体発生と種族維持, アカパンカビにおける遺伝子の働き, 遺伝子と酵素, 人間における遺伝子の働き), DNAとRNAの役割, 発生における遺伝子

## 〔調 査〕

1. 遺伝子の本体がDNAとわかる過程	18	遺伝子→酵素→形質	5
ウィールスの本体と働き	9	遺伝子と細胞質(発生における遺伝子)	3
2. DNAと酵素との間のしくみ	8	アカパンカビの例	4
DNAとRNAの関連	6	ウィールスの例	2
3. DNAと酵素及びRNAのつながり	8	DNAのつくりとふえ方	5
4. 興味がある	19	程度が非常に高い感じ	4
むつかしい(複雑である)	15	科学の追求のしかたがわかった	3

## 〔内 容〕 (1時間)

集団のなかの遺伝子→集団のサンプリング, 遺伝子プール, ハーディ・ワインベルの法則, 集団内の遺伝

生物教育に新しい内容を取り入れる場合の諸問題

子の頻度の変化, 遺伝系統の改良, 人類の遺伝。

〔調査〕

1. 集団遺伝学の考え方・重要性	15	人類の遺伝について	12
2. 統計的考え方	6	ハーデイ・ワインベルの法則	5
3. ハーデイ・ワインベルの法則	4	遺伝子プール	2
4. よくわかった (急にやさしくなった) 興味がある	25	まとめてみる見方がまあらしい	4
	7	興味がうすい (平凡)	3

これらの調査によって, 『遺伝の染色体説』や『遺伝子とその働き方』のあたりは複雑でむつかしいとする者も多い反面関心を持つ生徒も多いように思われ,

もっと遺伝教材のなかにこうした内容がとり入れられる工夫がされてよいのではないかと考えられる。