
中等理科教育における遺伝学領域の
問題解決学習に関する認知発達論的研究

研究課題番号 08680266

平成8・9年度科学研究費補助金 基盤研究(C)(2)

研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 藤田剛志

(千葉大学教育学部助教授)

は し が き

本報告書は、文部省科学研究費補助金（基盤研究（C）(2)）「中等理科教育における遺伝学領域の問題解決学習に関する認知発達論的研究」の研究成果をまとめたものである。

遺伝は、長い間、生徒・教師の両方から、生物で最も難しい教材であると指摘されてきた。実際、昭和40年代の理科教育内容の現代化の際には、中学生にとって、遺伝は学習がやや高度になりがちであるという理由で軽減・削減された内容である。ところが、平成元年版の中学校学習指導要領において、再び、遺伝が取り扱われるようになった。このことは、遺伝の学習が中学生にとって容易になったことを意味するのだろうか。これが本研究の中心的な問題意識である。

本研究は、この問題を遺伝の問題解決と認知的発達段階との関連から考察し、生徒の問題解決能力を向上させるための学習指導の在り方について検討することを目的としている。

そこで、まず、遺伝教材がどのような問題を抱えているのかを吟味することにした（第1章）。次に、遺伝の問題解決に関する欧米の先行研究を調べ、どのようなことが研究され、何がどこまで明らかにされているのかを整理した。そして、それらの研究から、遺伝の教材構成や学習指導に関する示唆を引き出した（第2章）。さらに、日本の高校生が、遺伝の問題解決においてどのような方略や知識を用いているかを調べた（第3章）。最後に、遺伝の問題解決と認知的発達段階との関連性について考察した（第4章）。

とはいえ、問題解決は非常に複雑な認知的過程である。問題をうまく解けるかどうかは、様々な要因によって影響される。本研究は、その一部についての研究にすぎない。問題解決について考察を深める際の一助として、本報告書をご活用いただければ幸いである。

本報告書の成果は、多くの方々の支援によって成り立っている。特に、千葉大学教育学部の藤田みずほさんには大いに助けられた。4月から郷里の私立女子高校に赴任する彼女に、この場を借りて謝意を表したい。

1998年3月

研究代表者
藤田剛志

1. 研究課題 中等理科教育における遺伝学領域の問題解決学習
に関する認知発達論的研究

2. 課題番号 08680266

3. 研究経費

平成8年度 700千円

平成9年度 700千円

計 1,400千円

4. 研究組織

研究代表者 藤田剛志（千葉大学教育学部助教授）

5. 研究発表

藤田剛志，遺伝の問題解決と発達段階との関連，日本生物教育
学会第64回全国大会（口頭発表）

目 次

はしがき

第1章	遺伝学習に関する問題点	1
1	遺伝学習の困難性	1
2	遺伝学習の重要性	3
第2章	遺伝の問題解決研究	6
1	問題解決のプロセス	6
(1)	問題を理解すること	6
(2)	問題を解くこと	7
(3)	解答を評価すること	8
2	遺伝領域固有の知識	10
(1)	概念的知識と手続き的知識	10
(2)	知識の相互関係	11
3	ミスコンセプション	14
4	問題の文脈	16
5	問題解決研究からの示唆	17
(1)	教材構成について	18
(2)	教授シーケンス	18
(3)	減数分裂に関する用語の精選	18
(4)	減数分裂を示す図の活用	20
(5)	教授方略	20
第3章	我が国の高校生の方略と知識	25
1	方法	25
2	結果及び考察	26
(1)	遺伝問題解決の方略	26
(2)	問題解決における知識	29
第4章	問題解決と発達段階	34
1	問題	34
2	目的	36
3	方法	36
(1)	調査対象及び調査時期	36
(2)	調査内容	37
4	結果及び考察	38
(1)	GALTの結果	38
(2)	発達段階の特定	39
(3)	生物学的文脈の遺伝問題	40
(4)	日常的文脈の遺伝問題	42
資料		45

第1章 遺伝学習に関する問題点

はじめに

平成元年の学習指導要領の改訂により、中学校理科において、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。

昭和44年の改訂では、内容の精選と集約のため、遺伝は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、その一部も削除された。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、平成元年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」⁽¹⁾、再び中学校段階で遺伝が扱われることになった。

ところで、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なわれたときに、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。」⁽²⁾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、遺伝の学習困難を克服するためのカリキュラムや学習指導について語ることができよう。

本章では、遺伝学習に関わる問題点について述べていくことにする。

1 遺伝学習の困難性

ある内容を学習するとき、生徒の学習意欲に大きな影響を及ぼすのは、学習内容に対する生徒自身の評価である。学習内容を難しいと評価する場合、その内容を理解できなくても生徒はあまり不満に思わない。かえって、理解できない内容ならば、学習しても、しなくても同じであると開き直る。あまりにも難しすぎる学習内容は、生徒の学習意欲を喪失させるだけである。

ところで、遺伝の内容は難しいといわれるが、生徒は遺伝を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。この問いから論を進めてく。

Johnstone と Mahmoud 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、生徒はどのような内容を難しいと評価しているかを調査した⁽³⁾。彼らは、教授細目の中から、主要な内容を15項目選択し、大学生、高校生を対象として、各内容を(a)易しい、(b)普通、(c)難しいの三段階で評定させた。その評定に基

づいて各内容項目の難しさの度合が求められた。

この調査によって、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らは、米国で広く用いられている数冊の高校生物の教科書を吟味し、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、それらの内容が高校生にとってどの程度難か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人に尋ねた⁽⁴⁾。困難性の度合は、1から5の5点尺度で評価された。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1-1である。

表1-1 遺伝学習の困難性

順位	項目	平均値
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

(Finley, et al., 1982, p. 533)

難しさの上位15項目のうち、遺伝に関する内容は、6項目(網掛け部分)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。この調査から、教師の多くは、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が示された。

生徒と教師がともに、遺伝が難しい内容であると認めているならば、安易な考えではあるが、その内容については学習しないという考えがあってもおかしくない。現に、我が国の中学校学習指導要領の中では、遺伝は学習困難という理由で削除されていた。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、遺伝学習の困難性ととも、重要性についても同様に、100 人の高校教師に評価を求めた⁽⁵⁾。遺伝に関する内容は、表 1-2 に示すように、重要性の上位 15 項目の中に、3 項目（網掛け部分）含まれていた。

表1-2 遺伝学習の重要性

順位	項目	平均値
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

(Finley, et al., 1982, p. 533)

我が国では、梅埜を中心にして、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明らかにするために、アンケート調査が行なわれた⁽⁶⁾。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。しかし、高校、大学、センターの 3 群ともに、遺伝の内容は、高校生物の学習内容としての必要性が高いという結果であった。教える立場からすれば、遺伝内容は生物教育にとって不可欠の教材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ふ重要な位置を占めている。」⁽⁷⁾

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、遺伝子組み替え、キメラ、試験管ベビー、クローンなど数年前までは、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。これらの現象に対する市民の理解は限られたものである。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、社会的要請が根拠として挙げられる。

さらに、Childs 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を知ることを通して、私たちは人間のメカニズムがどのように機能しているのか、生物種の一員として、私たちがどのように複製し、連続性を維持しているのか、さらには他の生物種との連続性をどのように維持しているのかを学ぶことができる。(p. 46)」⁽⁸⁾

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。

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、知的内容を損ねることなく、学習困難を軽減するためには、どのような学習指導を行えばよいか、である。この問題に取り組むに当たっては、まず、遺伝学習において、生徒がどのような困難に遭遇するのか、そのような困難がどうして生じるのかに関する情報が必要である。これらの情報を現場で生徒を指導する教師は待ち望んでいる。

にもかかわらず、これらの点を明らかにしようとする研究は、最近まで、ほとんど行われていなかった。理科教育研究が現場で必要とすることがらとはかけ離れたものになっているという状況に対して、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 は、次のような提案を行なった⁽⁹⁾。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なうべきである、と。

この提案を一つの契機として、近年、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。次章では、遺伝の問題解決を中心に、どのような研究が行われ、なにがどこまで明らかにされてきているのかを概括する。

註

- (1) 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, p. 185, 1989.
- (2) 同上, p. 185, 1989.
- (3) Johnstone, A. H., and N. A. Mahmoud, "Isolating topics of high perceived difficulty in school biology", *Journal of Biological Education*, Vol. 14, No. 2, pp. 163-166, 1980.
- (4) Finley, F. N., J. Stewart, and W. L. Yaroch, "Teacher's perception of important and difficult science content", *Science Education*, Vol. 64, No. 4, pp. 531-538, 1982.
- (5) *ibid.*, p. 533.
- (6) 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, 1987.
- (7) 山極隆・江田稔(編), 「中学校新教育課程の解説 理科」, 第一法規, p. 151, 1989.
- (8) Childs, B., "Why study human genetics?", *The American Biology Teacher*, Vol. 45, No. 1, p. 46, 1983.
- (9) Stewart, J., "Appropriate research in biology education", *The American Biology Teacher*, Vol. 44, No. 2, pp. 80-84, 89, 1980.

第2章 遺伝の問題解決研究

はじめに

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、生徒に実際問題を解かせ、その解答を分析し、どこでどのようにつまずいたかを調べるという方法である。本章では、これまでに遺伝の問題解決に関してどのような研究が行われ、なにがどこまで明らかにされてきているのかを吟味する。その前に、問題解決という用語について一言述べておきたい。

我が国の理科教育においては、問題解決は伝統的に次のように捉えられてきた。

「現実世界、日常の生活経験の世界に発した問題に出会い、その問題的状況の中にあつて、子どもがその解決のために主体的に取り組むこと」⁽¹⁾

「自然現象の中から問題を見だし、これを解決する」⁽²⁾

このようなデューイ流の問題解決というよりも、ここでいう問題解決は、「練習問題(exercise)」⁽³⁾の解決という限定的な意味で用いられている。すなわち、問題解決とは、子どもが概念、法則、理論等を理解しているかどうかを確かめるテスト問題の解決のことである。

これらの研究のめざすところは多様であるが、Gabel は次のような共通点を指摘している。すなわち、「単に正しい解答を得るための手段としてよりも、むしろ生徒の理解を促すための手段としての問題解決に関心」⁽⁴⁾が持たれているという点である。そこでは、どのようにして問題が解決されるのかを解明することを通して、問題解決学習をよりよく展開するための示唆が探し求められているのである。

1 問題解決のプロセス

(1) 問題を理解すること

問題解決とはどのようなプロセスなのであろうか。Smith は、生物、特に遺伝に関する問題解決研究を批判的に分析し、その分析結果を物理など他の学問領域における問題解決研究の知見と照らし合わせ、生物だけではなく、諸学問にわたって当てはまる問題解決のモデルを示している⁽⁵⁾。このモデルに基づいて、問題解決のプロセスについて検討することにしよう。

問題解決は、解決者が与えられた問題を理解することから始まる。問題の理解には、目標の状態—すなわち、求めるべき解答は何か—を理解すること、および目標がまだ達成されていない現在の状態—すなわち、解こうとしている問題自体が何か—を理解することが含まれる。目標の状態と現在の状態を理解することによって、解決者は両方の状態の違いを埋めるための、すなわち目標を達成するための手段を探し求め、そ

の手段が目標の達成にとって効率的であるかどうかを判断することができるようになる。

目標の状態を十分に理解していないときには、問題解決を達成することはできない。たとえば、生徒にある特定の表現型が子に現れる確率を尋ねたとしよう。確率を尋ねているにもかかわらず、生徒は「3 : 1 です」などと比の形で答えることがよくある。このような形式の正しくない解答、あるいは質問とかけはなれた解答は、解決者が問題の目標の状態を理解していなかったために生じるものである。

現在の状況を理解することは、問題をどう再記述(redescription)するかに深く関わっている。なぜなら、問題を解くのに必要な情報を問題文の中から抜き出し、関連づけ、問題を再記述することによって、解決者は何が問題とされているのかを理解し、問題解決を進めて行くからである。このことは、Stewartらが現実世界の遺伝学の実験データにほぼ近い問題—ある生物集団の観察可能な形質からその形質の遺伝様式を推定すること—を扱った研究によって確認されている⁽⁶⁾。専門家は、形質の名称と数および各形質の変異に基づいて、最初に与えられた集団における表現型のデータを再記述した。そして、この再記述に基づいて、遺伝様式に対する仮説を設定し、問題解決を進めていった。一方、与えられたデータを再記述することは行わなかった初心者は、問題をうまく解決することができなかつたのである。

問題をどう理解するかは、問題解決がうまくいくかどうかにかつ定的な影響を与える。なぜなら、問題の理解の仕方によって、解決者の長期記憶からどのような知識が引き出されるのかが決まるからである。専門家と初学者の問題解決行為を比較したSmithの研究は、最初に問題をどう理解するかに大きな違いがあることを示している⁽⁷⁾。専門家は問題を分析と推論を必要とする課題と見なし、本質的な情報で問題を再記述する。一方、初学者は問題を表面的にしかとらえず、過去に解いたことがある類似の問題のパターン化された記憶に頼って問題を解く傾向がある。

(2)問題を解くこと

問題をうまく解く者は、やみくもに問題を解いているのではない。目標を効率的に達成するために、早い段階から、計画を立て、問題解決に取り組んでいる。この過程をSmithは次のプロトコルで例証している⁽⁸⁾。

被面接者 E04 は、声を出して問題を読んでから、その問題文を黙って見つめた。

I(面接者): 何をしているのか私に教えてください。

E04: 問題をどのように解いていこうかと考えているところです。まず、4人の子どもの可能なすべての組み合わせを決めなければならない。それから、それぞれの組み合わせが生じるパーセント、つまり、確率を計算して、各組み合わせごとの確率を求めることが必要です。そして、最後に、この組み合わせの中で、2人の息子を持つことができるのはどの組み合わせかを確かめなければならない

い。

計画を立て、その計画を実行し、実際に問題を解くための方法は、普通、方略と呼ばれている⁽⁹⁾。方略には一般的な方略と領域固有の方略がある。まず、一般的な方略について述べていく。

一般的方略には、「後向き操作 (working backward)」と「前向きの操作 (working forward)」⁽¹⁰⁾の2つがよく知られている。後向き操作とは、最終的に明らかにしなければならない未知のものが何かを見いだし、その未知のものを求めるためにどのような既知の情報があるのかと、後向きに解いていく方略である。後向き操作の代表的な手法が手段目的分析である。前向き操作とは、問題文中の既知の情報から、求めなければならない未知のものへと前向きに解いていく方略である。

解決者がどちらの方略を使うことができるかは、どのような知識を持っているかによって大きく影響される。Smith と Good によれば、初学者は、手段目的分析のアプローチを採る傾向がある⁽¹¹⁾。より多くの経験を積んだ領域の専門家は前向き操作のアプローチを採る傾向がある。前向き操作によるアプローチの事例として、2つのプロトコルを挙げておく⁽¹²⁾。

E02: ところで、私は、これらのものがどの染色体上にあるのか、また一体それらが伴性なのか連鎖しているのかわかりません。だから、ええーと、そうだ、よし、それらはこのどこかに埋め込まれているだろう。

I: どういう意味ですか？

E02: えーと、問題を解いていけば、連鎖がどのようなものか分かるでしょう。ええと。

E05: 他の問題をやってみましょう、遺伝子型について何かほかの情報が得られるでしょう。

専門家は、前向き操作を進めることによって、既知の情報から問題解決に必要な新しい情報を産出していく。問題解決に必要な新しい情報を得ることは、上に述べた問題の理解に関して言えば、現在の状態が修正されることを意味する。問題をうまく解くためには、解決者は、現在、自分が問題解決のどの位置にいるのかを、常に認識していなければならない。このことは、特に、複雑な手続きを用いて問題を解決するときに重要である。

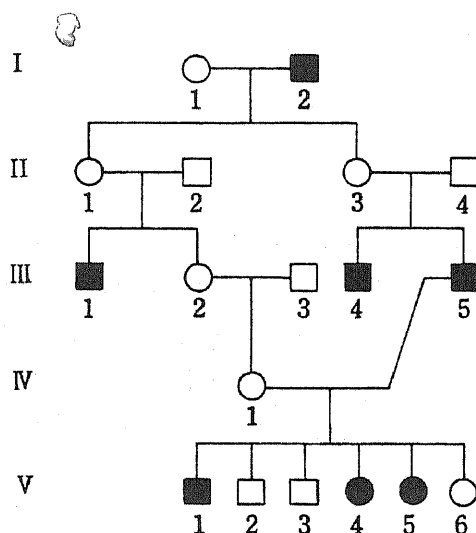
(3) 解答を評価すること

初学者の多くは一つの解答を得ると、そこで問題解決を止めてしまう。しかし、専門家は一つの解答をそのまま受け入れることはしない。解答を評価することが問題解決過程の最後の段階となる。この段階は様々な領域の研究者によって、吟味、検証、

見直し(looking back), チェックなどと呼ばれてきた。解答の評価は, 問題によって様々な形態を取る。たとえば, 到達した解答の合理性(reasonability)についての質的な吟味, 解答者の作業の正確さについてのチェック, 解答と以前に関連する問題で到達された解答との類似性の評価などが含まれる。

Smith は, 下に示すような家系図問題を解く場合における専門家と初学者による解答の評価法の違いを報告している⁽¹³⁾。

尋常性魚鱗癬(ichthyosis vulgaris)は, 希な皮膚病である。その病気が次の家系図のように伝達された。発病するとケラチンの過剰産出あるいは過剰保持により, その人の皮膚は乾燥し, がさついた, 鱗片状の皮膚になる。いまのところ, 適切な医療処置はない。



この形質の遺伝を説明するために, 次の5つの遺伝メカニズムのうち最も適切なもの一つを選びなさい。また, 他のものを選択しなかった理由も説明しなさい。

- | | |
|-------------|-------------|
| (1)常染色体上の劣性 | (2)常染色体上の優性 |
| (3)X染色体上の劣性 | (4)X染色体上の優性 |
| (5)Y染色体上の優性 | |

解決者は, まず, 提示された家系図の中から問題解決のための手がかりを見いだそうとする。この問題では, たとえば, 祖父が発病—母が保因者—息子が発病というパターンが一つの手がかりとなるであろう。解決者はこの手がかりを解釈する。長期記憶の中から, この手がかりに関連する様々な知識が活性化される。そして, たとえば, 遺伝メカニズムとして, 伴性遺伝が示唆されたとしよう。専門家はこれを一つの仮説と見なす。なぜなら, 伴性遺伝のほかにも, このパターンからは, 常染色体上の

劣性遺伝のメカニズムを推定することができるからである。そこで、専門家は遺伝子型を当てはめることによって、これらの仮説を検証する。

ところが、初学者の場合、手がかりから示唆される遺伝様式を仮説とは考えず、そのまま解答として受け入れてしまう。したがって、遺伝子型を当てはめ、その解答を検証することもない。専門家では、一つの問題につき、平均 3.8 個の仮説を検証したが、初学者の場合は平均 0.1 個であったと Smith は報告している。つまり、解答を評価するというプロセスが初学者の問題解決にはほとんど含まれていないのである。

以上をまとめると、問題解決は、

- ① 問題を理解すること、
- ② 問題を解くこと、
- ③ 解答を評価すること

の 3 つのプロセスから構成されているということができよう。これらのプロセスが相互に密接に関連しあって、問題はうまく解決されるのである。

2 遺伝領域固有の知識

(1) 概念的知識と手続き的知識

問題を解決するにはどのような知識が必要なのか。どのような知識が不足あるいは不十分であると、問題をうまく解くことができないのであろうか。

上で述べたように、手段目的分析、前向き操作といった問題解決の一般的な方略を知っていることが必要であろう。しかし、一般的な方略だけでは、遺伝の問題を解くことはできない。対立遺伝子を記号化したり、配偶子型を決定するといった遺伝領域固有の方略が必要となる。これらの方略は、領域固有の知識によって支えられている。ここでは、どのような遺伝領域固有の知識がどのように問題解決に関わっているのかを見ていこう。

Stewart は、遺伝の問題解決行動を概念的知識(conceptual knowledge)と手続き的知識(procedural knowledge)の観点から分析することの有効性を指摘している⁽¹⁴⁾。概念的知識とは、「～である」という命題の形で表現される知識である。Hackling らは、10 学年生が遺伝のメカニズムを理解するのに必要な 18 の命題を明らかにした⁽¹⁵⁾。そのうちの 3 つの命題を概念的知識の例として挙げておこう。

- ・ 遺伝のメカニズムは、生殖の過程で、親の形質を子に伝えることである。
- ・ 遺伝子は生物のすべての遺伝形質を決定する。
- ・ 一つの形質に対する遺伝子はオルタナティブな形で（すなわち、対立遺伝子として）存在する。

一方、手続き的知識とは、「もし～ならば、～する」という条件-行為規則（プロダクションと呼ばれている）の形で表現される知識である。先の家系図問題を解く際に、被調査者が用いた手続き的知識を示しておく⁽¹⁶⁾。

条件： 発病していない 2 人が結婚して、発病した子が生まれた。もし

そうならば、
行為： その形質を劣性と見なす。

この例に示されるように、手続き的知識は既存の情報（条件）から、問題解決を遂行するのに必要な新たな情報（行為）を産出する働きがある。問題をうまく解いていくためには、一つの新しい情報を得た後、次のどのような情報が必要かといった一連の手続き的知識が必要になる。

一連の手続きは、同種の問題を多く解くことによって自動化されていく。自動化された一連の手続きは、アルゴリズムと呼ばれている。Stewart は、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は、次の6ステップからなるアルゴリズムが必要であることを指摘している⁽¹⁷⁾。

- ステップ1： 対立遺伝子に鍵となる記号を与えること
- ステップ2： 両親の遺伝子型を決定すること
- ステップ3： 配偶子型を決定すること
- ステップ4： 子の遺伝子型を決定すること
- ステップ5： 子の表現型を決定すること
- ステップ6： 子の表現型の比を求めること

(2) 知識の相互関係

実際の問題解決においては、手続き的知識だけでは不十分である。どのような手続き的知識をとればよいのかを決定するための情報を与えるのが概念的知識である。概念的知識と手続き的知識は、相互に作用し合いながら、問題解決を遂行していく。しかし、これらの相互作用については十分に解明されているわけではない。ここでは、遺伝問題をうまく解くことができなかつた生徒の問題解決過程をたどることによって、遺伝の問題解決における概念的知識と手続き的知識の相互関係について見ていくことにする。

Stewart は、次の単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⁽¹⁸⁾。

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本指の親とが子どもを産んだ。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。

このような遺伝パターンに関する情報が問題文に示されているこの種の単性雑種や両性雑種問題を解決するためには、上に挙げたアルゴリズムの各ステップを下位目標としてを達成することが必要である。このアルゴリズムに沿って、Stewart は、誤答分析を行った。表 2-1 は、上に示したステップ1、すなわちある形質の対立遺伝子を記号化するという手続きでの段階で、つまりいてしまった3人の生徒の解答を示し

ている⁽¹⁹⁾。

表2-1 単性雑種問題の対立遺伝子の記号化

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

Stewart,1983,p.527より

生徒1は、対立遺伝子を遺伝子の表現型のように表していた。しかも、指の数という一つの形質に対して、6本指と5本指に別々の遺伝子記号を用いていた。生徒2は、問題文中のヘテロとホモの情報に対して、対立遺伝子と同様の記号化を行っていた。生徒3は、指の形質については正しい解答をしていた。しかし、遺伝子の優性と劣性の概念を対立遺伝子と等しい概念であると混同し、記号化した。

確かに、ホモとヘテロの情報は遺伝子型を決定するときには重要な情報となる。また、優性、劣性に関する情報は表現型を決めるときに不可欠な情報である。しかし、対立遺伝子を記号化するという目標の達成に限って言えば、ホモ、ヘテロ、優性、劣性は、非本質的な情報である。対立遺伝子を記号化するという下位目標を達成することができなかった生徒たちは、この目標を達成するために必要な手続きを遂行する際に、その手続きにとって本質的な概念的知識と非本質的な概念的知識を区別することができなかったと考えられる。言い換えれば、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十分に理解していなかったといえる。

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⁽²⁰⁾。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。

ところで、遺伝の問題解決において、生徒にとって最も難しいことは上記のステップ3、配偶子型の決定である。Tolman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、この問題を解いた。そのとき、図2-1に示すような誤りを犯すものが多かったと報告している⁽²¹⁾。

	Mm	Mm
Mm	MmMm	MmMm
Mm	MmMm	MmMm

図2-1 碁盤法でよくみられる誤り
Tolman,1982,p.525より,一部修正

これらの生徒は、この種の問題を解くには、図 2-1 のような碁盤を用いるということパターンとして記憶していたと考えられる。しかし、配偶子型は、Mm と二倍体のままであった。これらの生徒は、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が含まれるという概念的知識を十分に理解していなかったと推定することができよう。

実際、Hackling らの調査によれば、被調査者の 48% は、配偶子は親の体細胞に見られる染色体や遺伝子の対から、両方の染色体および遺伝子を運搬すると考えていたことが示されている⁽²²⁾。従って、Tolman の調査における生徒たちは、パターンとしての碁盤目は覚えていたが、配偶子型の決定に必要な概念的知識を持っていなかったと考えられる。対立遺伝子を染色体/遺伝子の行動—減数分裂の第 1 期の分離とランダムな組合せ—と関連づけることができないことが配偶子決定を誤らせる原因であるといえる。

以上のことから、下位目標を達成するための概念的知識が不足あるいは不十分であると、問題をうまく解決することができないといえる。それでは、この種の問題に正しく答えることができた生徒は、概念的知識に基づいて、問題解決を行っているのだろうか。

Stewart は、このことを調べるために、両性雑種問題で正答を得た生徒たちに、配偶子型決定に関する次のような質問をした⁽²³⁾。「どうして両性雑種の配偶子は対立遺伝子が 1 個、3 個、あるいは 4 個になることはないのですか。」この問いに対して、生徒は、「形質が 2 つのときは、記号は 2 つだから。」あるいは「そのように決まっているから、そうでないときは子は死んでしまうだろう。」と答えた。さらに、「AaBb の親からは、Aa あるいは Bb の配偶子がどうして形成されないのでしょうか。」と質問した。この問いに対する典型的な答は、「交配すると形質の数が正しくなくなってしまうから。」、「子が死んでしまうから。」であった。これらの応答は、生徒が正しく配偶子型を決定できたとしても、必ずしも、生徒が減数分裂に関する概念的知識に基づいて、配偶子型を決定したのではないことを示している。

さらに、Stewart と Dale は、減数分裂における染色体/遺伝子行動に基づいて、生徒が自分たちの解答をどのように説明するのかを分析した⁽²⁴⁾。50 人の高校生のうち、41 人は両性雑種の問題で正答を得ることができた。そのうちの 39 人は染色体/

遺伝子の行動モデルを構成し、自分たちの解答を説明できた。しかし、正しいモデルに基づいて説明できた生徒は、ほとんどいなかった。染色体上に対立遺伝子がどのように存在しているのか、減数分裂の過程で親の対立遺伝子がどのように分配され、配偶子がどのようにして形成されるのかを正しく理解している生徒はほとんどいなかったたのである。

以上をまとめると、次のようにいえるであろう。すなわち、生徒が正しく配偶子を決定することができたとしても、それは遺伝問題を解くための手続きとして単に必要だからであり、なぜそのような手続きをとるのかについては、十分に理解されていないのである。配偶子決定に関する手続き的知識が減数分裂に関する概念的知識によって関連づけられていないのである。遺伝の学習指導においては、減数分裂といった細胞的事象に関する概念的知識を問題解決の手続き的知識に十分に関連づけることが重要である。

3 ミスコンセプション

問題をうまく解決するためには、上に述べたように、多くの知識が必要である。ところが、生徒が用いる知識の中には、科学的コンセンサスによって一般に認められている知識と異なっている、つまり間違っ知識がある。これはミスコンセプション (misconception) と呼ばれている⁽²⁵⁾。遺伝に関して、生徒はどのようなミスコンセプションをもっているのか、それらはどのような特性を持つのか、そしてどのように問題解決と関わっているのだろうか。

Kargbo らは、環境によって生じた形質と純粹に遺伝的な形質を児童がどの程度区別できるのかを調べた⁽²⁶⁾。彼らは、カナダの 7-13 才の児童(n=32)に、いくつかの質問をした。そのうちの一つの質問を下に示す。

メス犬が車にひかれ、片方の足を骨折した。あしの傷はよくなったが、その犬はうまく歩けなくなってしまった。この犬が子どもを生んだ。その子犬はうまく歩けるでしょうか。

この質問に対して、被調査者の 44%は、子犬はうまく歩けないと答えた。同様の結果は、Deadman らがイギリスの 11-14 才の児童、生徒を対象に行った面接によっても、確認されている⁽²⁷⁾。これらの結果は、学校で遺伝について学習する以前の子どもたちの多くが、いわゆる獲得形質の遺伝を信じていることを示している。獲得形質の遺伝は、かつてラマルクが提唱した考えである。このようにミスコンセプションの中には、過去の科学者が提唱した考えと類似しているミスコンセプションが存在する。物理の運動に関しては、中世のインペトゥス理論に類似したミスコンセプションの存在がよく知られている⁽²⁸⁾。

この獲得形質の遺伝に関するミスコンセプションは、学校教育において遺伝の授業が行われる前に形成されている考えである。Hackling らは、さらに、遺伝の授業後、どのようなミスコンセプションが形成されるかを調べた⁽²⁹⁾。主なミスコンセプショ

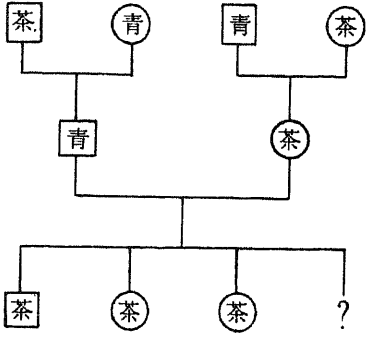
ンを、次に挙げておこう。

- ・ 配偶子は親の体細胞に見られる染色体や遺伝子の対から、両方の染色体／遺伝子を運搬する
- ・ 二人の雑種親から生まれる赤ん坊は、必ず優性の形質を持つ。
- ・ ある特定の雑種親から生まれる4人の子のうち3人は、必ず、優性の形質を持つ。
- ・ 優性の遺伝子は劣性の遺伝子よりも力が強い。
- ・ 遺伝の融合形態（不完全優性）は遺伝子の混合による。

これらのミスコンセプションはどのような特質を持つのであろうか。特定の雑種親から生まれる4人の子うち3人は、必ず、優性の形質を持つというミスコンセプションを例にして、ミスコンセプションの特質について見ていこう。

真下らは、大学生に下に示す問題を与えた⁽³⁰⁾。この問いに対して、多くの大学生は、第4子には青色の目の子が生まれると自信をもって答えた。そこで、遺伝の確率的な性質についての理解を促すために、配偶子カードやコンピュータのシミュレーションを用いた授業を行った。しかし、授業後でも、「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」⁽³²⁾と感想を述べた大学生がいたのである。3：1の遺伝比が確率的というよりもむしろ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。このことは、ミスコンセプションが通常の授業によっては容易に修正されないという特質を持つことを示しているといえる。

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

このような特質を持つミスコンセプションは、問題解決においてどのような影響を及ぼすのであろうか。先の家系図問題を解く際に見られた次のプロトコル⁽³²⁾で検討してみよう。

被調査者：① 家系図の第2世代には発病している人はいない。だから、まず、第一に、それは劣性と考えられる。……

この二人〔発病している人と発病していない人：第一世代〕を掛け合わせても、発病した子は全く見られない。だから、それは劣性であると考えます。理由は、優性な形質によってそれが隠されているからです。……

② それは一方の性〔染色体〕に連鎖していない。〔男子と女子〕両に発病した者が示されているからです。……

③ それは優性であると思います。なぜなら、1人以上の人に現れているからです。〔 〕内：原著者、丸付き数字：引用者

このプロトコルには、①から③の3つのプロダクションがみられる。そして、これらのプロダクションには、それぞれ次のようなミスコンセプションが存在している。①では、親の優性な形質は、必ず子に継承される。②では、伴性の形質は一方の性にしか出現しない。③では、優性の遺伝子をつねにある集団で最も頻度が高くなるといったミスコンセプションである。このようなミスコンセプションによって、生徒は、家系図の手がかりを誤って解釈し、問題解決の達成をかえって困難なものにしてしまったのである。このことから、ミスコンセプションは、プロダクションの過程において、問題解決を妨げていると考えられる。

4 問題の文脈

さて、前節において、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ることが指摘された。なぜこのような考えが生じるのであろうか。

この種の問題を正しく解くには、Hackling が指摘するように、「どの精子が一つの卵子と受精するか、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」⁽³³⁾という概念的知識が必要である。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なことがらなのである。しかし、Hackling の調査では、偶然概念を正しく理解していたのは、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。

この理由として、Kinnear 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、偶然概念の理解に影響を及ぼすと指摘している⁽³⁴⁾。彼は、遺伝学を履修している大学生に、次頁に示す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ない、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⁽³⁵⁾。

Kinnear の用いた問題例

実生活文脈のテスト項目

テイラー夫妻はカールトンに住んでいます。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 人の子どもの性別はどうなっていますか。

遺伝文脈のテスト項目

黒色は黄色に対して優性です。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 匹生まれました。どのような色の子どもが生まれたでしょうか。

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よ。」

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。」

実生活の文脈における問題では、偶然がはたらいっていることを大学生は認めていた。しかし、遺伝学の文脈における問題では、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」⁽³⁶⁾ が、偶然概念の理解を困難にしている。

このような学習困難の原因として、少ない数の子どもを扱う問題がほとんど教科書等で扱われていないことが挙げられる。このことが遺伝比の確率的な性質の混同に関係していると考えられる。また、教師の説明における不用意な発言が生徒の困難を招いているとも考えられる。たとえば、碁盤法を用いて生じた遺伝子型の組み合わせを説明するとき、「4タイプの子」あるいは「4つの可能な配偶子の組み合わせ」という代わりに、不用意に「4人の子」と言ってしまうことがある。このような不正確な表現が生徒の偶然概念の理解を難しいものになっているであろう。

5 問題解決研究からの示唆

以上の問題解決研究から、遺伝学習における困難点およびその原因が次第に明らかにされてきた。ここでは、これらの知見に基づいて、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、どのような点に留意して授業を行なうべきかについて述べていく。

(1) 教材構成について

Mertens 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、メンデルの遺伝の法則を教えた後に、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」⁽³⁷⁾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と採ることにより、顕微鏡下で観察することのできる染色体行動に遺伝子を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。

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、両者は一緒のところでは教えられることがある。しかし、そのような教材構成は、体細胞分裂と減数分裂の混同から、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⁽³⁸⁾、減数分裂は世代交代の文脈で教えるべき⁽³⁹⁾である。

(2) 教授シーケンス

Tolman 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ケンスを提案している⁽⁴⁰⁾。伝統的に用いられている教授シーケンスと Tolman の提案する教授シーケンスを対比したものを表 2-2 に示す。

Tolman の教授シーケンスでは、Mertens が指摘したように、減数分裂がまず教えられる。それから、生徒の理解度の高かった染色体による性決定、伴性形質と続く。これらの学習を行なうときには、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を減数分裂と関連づけながら行なう。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。分離の法則や独立の法則を教えるときにも、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関連づけながら指導することが大切である。

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、人間の伴性的形質に関する遺伝の中で、メンデルの基本的な概念が扱われている。

(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も用いられている。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⁽⁴¹⁾。

表 2-2 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
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。)	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. メンデルのエンドウ豆の実験	2. 性染色体一ヒト (図の中に遺伝子を記入すること一減数分裂にさかのぼって考える)
一遺伝子	3. 性決定一ヒト (同上)
一優性	4. 伴性的形質一ヒト
一劣性	一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。
一独立組合せ	一分離
一遺伝子型	一独立組合せ
一表現型	一優性
一同型接合体	一劣性
一異型接合体	一遺伝子型
一対立遺伝子	一表現型
一蕃盤法	一同型接合体
3. 単性雑種交配	一異型接合体
4. 両性雑種交配	一対立遺伝子
5. 不完全優性 (共優性)	一蕃盤法
6. 性染色体	5. 単性雑種
7. 性決定	6. 両性雑種
8. 伴性的形質	7. 共優性
	8. メンデルのエンドウ豆の実験一用語の発展の歴史に触れる。

生徒の混乱を避けるためには、遺伝学の用語を精選することに加えて、用語を注意深く厳密に用いることが重要である。Radfordらは、教科書や試験問題において遺伝用語が曖昧に用いられていることを指摘している⁽⁴²⁾。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」という曖昧な表現の仕方は、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、むしろ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る。その結果、表 2-1 で示したような誤った対立遺伝子の記号化につながる可能性が増すであろう。曖昧な遺伝用語の使用は、遺伝の学習をますます困難なものにしているのである。

(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示される。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見なし、敬遠する⁽⁴³⁾。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。

(5) 教授方略

生徒の問題解決技能を育成するためには、どのような問題解決学習を展開すればよいのであろうか。Smith は、上に述べた問題解決研究の知見および彼自身の教授経験に基づいて、問題解決学習をどのように展開するかを述べている⁽⁴⁴⁾。そのうちのいくつかを紹介する。

遺伝の問題解決学習を始めるにあたり、まず、教師がしなければならないことは、生徒に次のことを明らかにすることである。すなわち、単なる記憶だけでは遺伝の問題解決を習得することはできないということを生徒に明確に示さなければならない。

問題解決学習を展開するにあたっては、教師はできる限り教材を生徒になじみのある現実世界の現象に関連づけることが大切である。たとえば、家族単位での男女比は、遺伝比の確率的性質を示すのに有効であろう。さらに、コイン投げ、血液型、個人の家系、赤緑色盲の事例など、できる限り身近かな多くの学習活動を提供すべきである。

例題を解くときには、教師は問題解決のプロセスを生徒にモデル化して、はっきりと示すことが重要である。Smith は、次の7つのテクニックを活用することを示唆している。

- ① 対立遺伝子を明確な記号で定義するように生徒を促す。

- ② 各親からどのような配偶子が子に伝えられるのかををはっきりと描くよう生徒に求める。
- ③ 減数分裂の中期Ⅰにおける染色体をその上にある適切な対立遺伝子とともに描くようにさせる。このことによって、遺伝と減数分裂の関連についての理解が促され、碁盤法で記入する配偶子がどのようにして形成されるのかが示されるであろう。
- ④ 生徒の典型的なミスコンセプションあるいは誤答を引き出すことができるような問題を選択する。
- ⑤ 典型的な生徒の誤答を指摘させる。例題を解くとき、わざと間違え、生徒にその誤りを指摘させる。たとえば、一对の対立遺伝子を T, S と 2 つの異なった記号で示したりする。
- ⑥ 碁盤法のアルゴリズム的活用を少なくさせる。遺伝の問題解決に慣れるまでは、アルゴリズム的な手続きを用いて問題解決を行うことは有効である。しかし、ある程度慣れたら、それまでのアルゴリズムでは解くことができない問題を与え、生徒の理解を深めさせていく。
- ⑦ カテゴリー化を促す。単純優性、不完全優性、複対立遺伝子、二遺伝子雑種などの問題をいくつか解いた後、新しい問題にアプローチするとき、「これはどのタイプの問題か」と生徒に尋ねる。これによって、生徒に問題解決の過程を考えさせ、計画を立て、問題解決に取り組むよう促していく。

最後に、生徒の問題解決技能を育成する上で、教師が忘れてならないことは、問題を解く機会と時間を生徒にたくさん与えることである。問題解決がうまく行くかどうかは、どれだけ多くの問題を解いたかに左右される。数多くの問題を解き、経験を積むことによって、生徒は問題解決の技能を習得するのである。

おわりに

問題解決において、どのような知識がどのようにかかわり合っているのかという観点から、これまでの遺伝の問題解決研究を吟味し、遺伝の問題解決学習に関する示唆を述べた。しかしながら、問題解決は非常に複雑な認知的過程である。問題をうまく解けるかどうかは、様々な要因によって影響される。一般的あるいは領域固有の方略を支える知識を検討するだけでは問題解決の全体を見ることはできないであろう。動機づけなどの情意的な側面、その領域の問題をどれだけ解いたことがあるかという経験、さらには認知的発達段階との関連などについて検討することが必要である。さらに、問題が提示される文脈、問題の型といった要因も検討して行かなければならない⁽⁴⁵⁾。

これらの要因が生物の問題解決においてどのような影響を及ぼすのかについては、まだ明らかにされていない点もいくつかある。たとえば、形式的な認知発達は遺伝の問題解決の成功にとって必要条件か十分条件かという問題がある。この問いに対しては、相矛盾する結果が報告されている。遺伝の問題解決の成功における認知発達の役割については、十分解明されていないのが現状である。

しかし、上で述べた遺伝の問題解決研究によって、専門家たちはどのような知識を用いて問題解決を行っているのか、また生徒のどのような誤答、あるいはミスコンセプションを持っているのかが次第に明らかにされている。これらの知見に基づき、Stewartらの研究グループは、生徒の知識および問題解決レベルに適した助言を提供することのできるコンピュータソフトウェア（MENDELと呼ばれている）を開発している⁽⁴⁶⁾。このような知的なチュートリアルシステムは、遺伝学の概念構造、一般的な問題解決の方略、さらには遺伝領域固有の方略を習得するための手段として、最も効果が期待されているものである。こうした知的チュートリアルシステムを開発していくためにも、今後、遺伝の問題解決に関する研究がますます必要とされる。

註

- (1) 鶴岡義彦, 「問題解決学習論の成立と展開」, 日本理科教育学会編 『理科教育学講座4 理科の学習論(上)』, 東洋館出版社, p. 217, 1992.
- (2) 大高泉, 「現代欧米における問題解決学習論」, 日本理科教育学会編 『理科教育学講座4 理科の学習論(上)』, 東洋館出版社, p. 233, 1992.
- (3) 同上 p. 244.
- (4) Gabel, D. L., "Introduction", In Gabel, D. L. (Ed.) "*What research says to the Science Teacher Vol. 5: Problem solving*", Washington, D. C.: National Science Teachers Association, p. 3, 1989.
- (5) Smith, M. U., "A view form biology", In Smith, M. U. (Ed.) "*Toward a unified theory of problem solving: Views from the content domains*", Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 11-14, 1991.
- (6) Stewart, J. and J. V. Kirk, "Understanding and problem-solving in classical genetics", *International Journal of Science Education*, Vol. 12, No. 5, pp. 575-588, 1990.
- (7) Smith, M. U., and R. Good, "Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance". *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 21, No. 9, pp. 895-912, 1984.
- (8) Smith, M. U., *op. cit.*, p. 12, 1991.
- (9) 安西祐一郎, 「問題解決の心理学—人間の時代への発想—」, 中央公論社, p. 174, 1985.
- (10) ガニエ, E. D. (著) 赤堀侃司・岸学 (監訳) 「学習指導と認知心理学」, パーソナルメディア, pp. 200-203, 1989.
- (11) Smith, M. U. and R. Good, *op. cit.*, pp. 902-903, 1984.
- (12) Smith, M. U., *op. cit.*, p. 13, 1991.
- (13) Smith, M. U., *op. cit.*, pp. 417-418, 1988.
- (14) Stewart, J., "Two aspects of meaningful problem solving in science",

- Science Education*, Vol.66, No.5, pp.731-749, 1982.
- (15) 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*, Vol.21, No.2, pp.197-209, 1984.
- (16) Smith, M. U., *op. cit.*, p.414, 1988.
- (17) Thomson, N. and J. Stewart, "Secondary school genetics instruction: Making problem solving explicit and meaningful", *Journal of Biological Education*, Vol.19, No.1, p.54, 1985.
- (18) Stewart, J., "Student problem solving in high school genetics", *Science Education*, Vol.67, No.4, pp.523-540, 1983.
- (19) Stewart, J. *op. cit.*, p.527, 1983.
- (20) Radford, A. and J. A. Bird-Stewart, "Teaching genetics in schools", *Journal of Biological Education*, Vol.16, No.3, pp.177-180, 1982.
- (21) Tolman, R. R., "Difficulties in genetics problem solving", *The American Biology Teacher*, Vol.44, No.9, pp.525-527, 1982.
- (22) Hackling, M. W. and D. Treagust, *op. cit.*, p.206, 1984.
- (23) Stewart, J., *op. cit.*, pp.532-533, 1983.
- (24) Stewart, J. and M. Dale, "High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis", *Science Education*, Vol.73, No.4, pp.501-521, 1989.
- (25) Cho, H., J. B. Kahle, and F. H. Nordland, "An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics", *Science Education*, Vol.69, No.5, p.707, 1985.
- (26) Kargbo, D. B., E. D. Hobbs, and G. L. Erickson, "Children's beliefs about inherited characteristics", *Journal of Biological Education*, Vol.14, No.2, pp.137-146, 1980.
- (27) 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*, Vol.12, No.1, pp.7-15, 1978.
- (28) McCloskey, M., "Intuitive Physics", *Scientific American*, Vol.248, No.4, pp.114-122, 1983.
- (29) Hackling, M. W. and D. Treagust, *op. cit.*, p.204, 1984.
- (30) 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, Vol.3, No.5, pp.15-18, 1989.
- (31) 同上 p.18.
- (32) Smith, M. U., *op. cit.*, p.415, 1988.
- (33) Hackling, M. W. and D. Treagust, *op. cit.*, p.199, 1984.

- (34) 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.
- (35) *ibid.* p. 216.
- (36) *ibid.* p. 223.
- (37) Mertens, T. R., "On teaching meiosis and Mendelism", *The American Biology Teacher*, Vol. 33, No. 7, p. 430, 1971.
- (38) Hackling, M. W. and D. Treagust, *op. cit.*, p. 208, 1984.
- (39) Radford, A. and J. A. Bird-Stewart, "Teaching genetics in schools". *Journal of Biological Education*. Vol. 16, No. 3, pp. 177-180, 1982.
- (40) Tolman, R. R. "Difficulties in genetics problem solving", *The American Biology Teacher*, Vol. 44, No. 9, pp. 525-527, 1982.
- (41) Thomson, N. and J. Stewart, *op. cit.*, p. 60, 1985.
- (42) Radford, A. and J. A. Bird-Stewart, *op. cit.*, p. 179, 1982.
- (43) Longden, B. "Genetics - are there inherent learning difficulties?" *Journal of biological Education*, Vol. 16, No. 2 pp. 135-140, 1982.
- (44) Smith, M. U., "Problem solving in biology-Focus on genetics", In Gabel, D. (ed.) *What research says to the Science Teacher Vol. 5 Problem solving*, Washington, D. C. : National Science Teachers Association, pp. 77-78, 1989.
- (45) Smith, M. U., *op. cit.*, pp. 14-15. 1991.
- (46) Stewart, J., M. Streibel, A. Collins, and J. Jungck, "Computers as tutors: MENDEL as an example", *Science Education*, Vol. 73, No. 2, pp. 225-252. 1989.

第3章 我が国の高校生の方略と知識

はじめに

第2章に概括したように、欧米では生徒の遺伝問題解決がどのような知識に基づいて行われているのか、どのような学習困難に遭遇するのか、仮説の設定、推論の仕方は専門家とどのように異なるのか、などが次第に解明されつつある。そして、このような知見に基づき、遺伝学習の困難を軽減し、生徒に有意義な学習を促すための授業への示唆がいくつか述べられてきている⁽¹⁾。

ところで、我が国の状況はどうであろうか。大塚と小林は、「かつて、現代化によって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(遺伝は)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(括弧内引用者)」⁽²⁾、と述べている。この言葉に象徴されるように、遺伝の学習困難は何か、困難をどう克服するかについては、我が国では、未だ、十分に解明されていないといえよう。

そこで、本章では、我が国の高校生がメンデル遺伝の問題解決において、どのような方略を用いるのか、それらの方略がどのような知識に基づいているのかを明らかにしたい。

1 方法

上記の先行研究では、データ収集の方法として、発語思考法(thinking aloud method)⁽³⁾が広く用いられている。この方法は、被調査者に問題を呈示し、問題を解いている間に頭の中で考えていることをすべて口に出してもらい、それをテープレコーダーに記録する。この記録はプロトコルと呼ばれ、プロトコルの分析を通して、問題解決者の方略や知識などが調べられる。

この方法は、認知科学では、信用できる重要なデータ収集法として、広く用いられている⁽⁴⁾。しかし、データの収集、分析に時間がかかりすぎるため、被調査数が限られてしまうという問題がある。本研究では、ある程度まとまった数の被調査者がどのような方略、知識を用いているのかを明らかにすることを目的とするので、発語思考法は用いなかった。本研究では、高校生にメンデルの遺伝に関する文章題を記述式で答えるように求めた。答えるにあたっては、答えを記述するだけでなく、答えに到達するまでの思考過程を記述するようにとの注意を与えた。また、問題を解く過程で、分からないところがあれば、それらを書き留めておくようにとの指示を与えた。

調査問題は2問用意した。一つは、ヒトの眼の色に関する単性雑種交配の問題、もう一つは、眼の色と色盲に関する両性雑種交配の問題である。

調査対象は、茨城県の私立高校の生徒90人である。その内訳は、高校1年生が43人、2年生が47人である。調査時には、理科Iで、既にメンデルの遺伝について学習していた。調査は、1987年6月に行った。

調査問題

1. ヒトの眼の色は、褐色を優性として、青色を劣性として遺伝する。青色の眼の男子が、褐色の眼の色の女子（その母親は青眼であった）と結婚した。この夫婦から、青色の眼の子どもはどのような割合で生まれるか。褐色の遺伝子を B 、青色の遺伝子を b として、答えよ。
2. ヒトには、フェニル・チオ・カーバマイト (PTC) の味を感じる人と感じないヒトがいる。この形質は遺伝する。味を感じる遺伝子 (A) は、味を感じない味盲の遺伝子 (a) に対して優性である。また、褐色眼の遺伝子 (B) は、青色眼の遺伝子 (b) に対して優性である。いま、両親ともに $AaBb$ の遺伝子型を持つ場合、青い眼生まれるか。

2 結果および考察

まず、それぞれの設問ごとに、被調査者が問題解決で用いた方略について述べる。次に、それらの方略がどのような知識に基づいているのかを検討する。

(1) 遺伝問題解決の方略

① 単性雑種交配の場合

単性雑種交配の問題解決において、どのような方略が用いられたのであろうか。解答を分析すると、問題解決の方略として、次の二つの方略を見いだすことができた。一つは、図 3-1 のように、対立遺伝子を組み合わせるものである（以下、組み合わせ法と呼ぶ）。この方法では、まず、親の遺伝子型が求められた。次に、点線で示すように、片方の親の対立遺伝子対の一つを他方の親の対立遺伝子に順番に組み合わせ

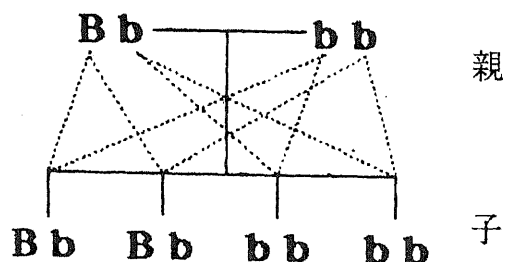


図 3-1 組み合わせ法

て、子の遺伝子型が決められ、表現型の比が求められた。

もう一つは、図 3-2 のように碁盤目を用いる方法である（以下、碁盤法と呼ぶ）。この方法では、親の遺伝子型から、配偶子型が求められた。そして、この配偶子型を碁盤目に配置し、それぞれをかけあわせて、子の遺伝子型が求められた。

♂	♀	B	b
b		Bb	bb
b		Bb	bb

図 3-2 碁盤法

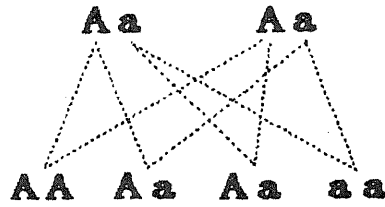
② 両性雑種交配の場合

問題解決の方略として、3種類の方略を見いだすことができた。第一に、碁盤法を用いた解答である。単性雑種の場合と同様に、まず、親の遺伝子型から、配偶子型が求められた。次に、この配偶子型を碁盤目に配置し、それぞれをかけあわせて、子の遺伝子型が求められた。

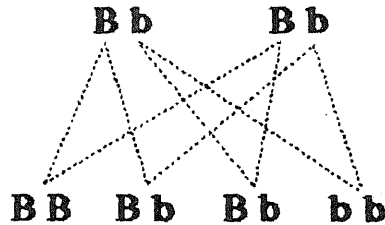
第二の方略は、図 3-3 に示すように、一つの形質に着目して、それぞれの出現する割合を求め、それらが同時に生じる場合の確率を代数的に解く方略である（以下、代数法と呼ぶ）。

第三の方略は、単性雑種交配における組み合わせ法と同様、配偶子型を明確に示さず、親の遺伝子型から、直接、子の遺伝子型を求めるものである（これを両性雑種交配の組み合わせ法と呼ぶ）。この組み合わせ法の方略には様々なバリエーションがみられた。

一つは、樹系図を作り、4つの遺伝子記号の順列を求めることによって、16通りの子の遺伝子型すべてを求めた方略である。第二のバリエーションは、まず、子の遺伝子型の9通りの組み合わせ（これは、後述の図 7 に示した子の遺伝子型と同じものである）を求める。次に、それぞれの場合の数を算出し、あらゆる場合の数を求め、設問で要求された比を求める方法であった。最後は、配偶子型を特定せずに、子の遺伝子型の組み合わせを求めようとするが、組み合わせの数が多いため、最終的には、両性雑種における F₂ の分離比が 9 : 3 : 3 : 1 になることを適用して、表現型の比を求める方略であった。



味盲でない： $\frac{3}{4}$



青眼： $\frac{1}{4}$

$$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

図 3-3 代数法

既に述べたように、Stewart は両性雑種交配の問題解決の方略として、3つの方略があることを指摘していた。しかし、今回の調査で、もっと多くの方略を高校生は用いていることが明らかにされた。

③ 各方略の採用者数

各設問に対して、それぞれの方略を採用した生徒数を表 3-1 に示す（答えのみ記入した者、無答の者は除く）。誤答者の解答は、碁盤目が記述されていれば碁盤法、碁盤目が記述されておらず、親の遺伝子型から、直接、子の遺伝子型を求めた場合は組み合わせ法と分類した。両性雑種問題において、一つの形質に着目し、代数的に解こうとした場合は、代数法と分類した。

表 3-1 方略の採用者数

方 略	単性雑種		両性雑種	
	正答	誤答	正答	誤答
碁 盤 法	15	2	14	15
組 み 合 わ せ 法	19	10	5	13
代 数 法			2	2

単性雑種問題では、碁盤法および組み合わせ法を採用した被調査者は、正答者と誤答者を合計すると、それぞれ17人と29人であった。両性雑種問題の場合、碁盤法、組み合わせ法、代数法を採用した被調査者は、合計すると、それぞれ、29人、18人、4人であった。なお、無答者は、単性雑種問題で16人、両性雑種問題で32人であった。答しか記述しなかった被調査者は、単性雑種問題で26人、両性雑種問題で7人であった。上に挙げた3つの方略に分類できなかったその他の方略を採用した被調査者が単性雑種問題で2人いた。

組み合わせ法を用いた場合、単性雑種問題では、正答に到達する被調査者は19人いたが、両性雑種問題では、5人しかいなかった。一方、碁盤法の正答者数は、問題によって、ほとんど変わらなかった(単性雑種=15人、両性雑種=14人)。ところが、誤答者の数は、単性雑種問題に比べると、両性雑種問題では大幅に増加している(単性雑種=2人、両性雑種=15人)。

問題によって、採用される方略が違ったり、誤答者が増加するのはなぜなのだろうか。次に、被調査者の典型的な誤答を分析することによって、これらの方略の背後にある知識について検討する。この検討を通して、これらの方略はどのような知識に基づいて用いられているのか、逆にいえば、どのような知識が不十分あるいは欠如していると、問題解決をうまく行うことができないのかを明らかにできると考えられる。

(2) 問題解決における知識

① 単性雑種交配の場合

まず、碁盤法にみられた誤答から分析する。誤答者は二人いた。一人は、図3-4に示すように、父親の遺伝子型をb、母親の遺伝子型をBとして、碁盤法を用いて解答した。この生徒の場合、親の遺伝子型がそのまま配偶子型であると混同していた。このことから、一つの形質に対して、遺伝子対になっているという知識が欠如していたと考えられる。さらに、減数分裂によって、遺伝子対の一つが配偶子にはいるという知識の欠如も見られた。

♂	♀	B
b	B b	

図3-4 遺伝子型と配偶子型の混同

もう一人は親の遺伝子型を正しく決定することはできた。しかし、上の場合と同様に、親の遺伝子型をそのまま配偶子型であると考えてしまった。すなわち、配偶子型

がB b, b bの二倍体のままで、両者を交配したのである。その結果、子の遺伝子型は、B b b bの四倍体となってしまった。ここでも、上の場合と同様に、減数分裂によって、対立遺伝子は互いに分かれ、一つずつ異なった配偶子に分配されるという、分離の法則に関する知識の欠如が見られた。

次に、組み合わせ法を用いた場合の誤答を分析する。この方略を用いた誤答者は、10人であった。全員、正しく親の遺伝子型を求めることはできていた。そのうちの7人は、両親の遺伝子型から、配偶子型を決定するという手順を踏まずに、直接、子の遺伝子型を求めようとした。しかし、遺伝子をどのように組み合わせればよいのかわからず、そこで解答が止まってしまった。

他の3人は、どうにか親の遺伝子を組み合わせ、子の遺伝子型を求めた。しかし、その表現型の分離比はB b : b b = 3 : 1であった。解答を見ると、b bが2つ記入されていたにもかかわらず、一方のb bはB bに修正されていた。単性雑種交配の学習において、特に、3 : 1の分離比が印象深く残っていたと考えられる。このことは、誤答者のうち、答えだけ記述した者を含めると、23人が3 : 1と答えていたことから裏づけられる。

このことは、逆に言えば、遺伝のメカニズムについて、生徒は十分に理解できていなかったことを意味するであろう。親から子へ、遺伝子が伝わることは理解していても、それがどのように伝わるのか、すなわち遺伝のメカニズムに関する知識があいまいであったために、3 : 1の記憶に頼り、一方のb bをB bに修正したと考えられる。

② 両性雑種交配の場合

碁盤法の方略を用いた誤答からみていく。誤答には、三つのタイプがあった。第一に、図3-5に示すように、配偶子に一つの対立遺伝子しか含めない誤答である。この種の誤答を示した生徒は、配偶子が形成される時、対立遺伝子が減数分裂によって、それぞれ分離することは理解していた。しかし、分離した対立遺伝子を配偶子と混同していた。すなわち、一つの配偶子の中には、各対の対立遺伝子が分離して、それぞれ独立に、一つずつ分配されることを理解していなかったのである。

	A	a	B	b
A	AA	Aa	AB	Ab
a	Aa	aa	aB	ab
B	AB	aB	BB	Bb
b	Ab	ab	Bb	bb

図3-5 一遺伝子による配偶子の表示

第二のタイプの誤答は、問題文に明記されている親の遺伝子型を真ん中で半分に分

け、配偶子型と考える者がいた (図 3-6 参照)。この生徒は、配偶子型は2つの遺伝子記号を含むこと、交配の結果、子の遺伝子型は四つの遺伝子記号から構成されることは理解していたようである。しかし、どの二つの記号をかけあわせて、四つの遺伝子記号を求めればよいのかを理解していなかった。つまり、どのようにして配偶子が形成されるのか、受精によってそれらの配偶子はどのように組み合わせられるのかに関する知識が不十分であったといえよう。

♂ \ ♀	A a	B b
A a	A A a a	A a B b
B b	A a B b	B B b b

図 3-6 単純分割の配偶子型

最後は、図 3-7 に示すような誤答である。まず、生徒は、単性雑種交配の問題と同様に、一つの形質に対して、子がとりうる遺伝子型の組み合わせを決定した。それらの遺伝子型の組み合わせをそれぞれの形質ごとに碁盤目に配置し、それらをかけあわせて、子の遺伝子型が求められた。確かに、この方略でも、A a と B b がそれぞれ2通りあることを考慮してかけあわせるならば、正しい答えを得ることができる。現に、そうして、いわゆる正答を導いた生徒が2人いた。

	A A	A a	a a
B B	A A B B	A a B B	a a B B
B b	A A B b	A a B b	a a B b
b b	A A b b	A a b b	a a b b

図 3-7 遺伝子記号の組み合わせ

答えだけを求めるような問題では、この誤った方略を用いても、場合の数を考慮すれば正答を得ることはできるであろう。しかし、この方略では正しい配偶子型が求められていない。つまり、減数分裂における配偶子の形成や配偶子のランダムな受精といった現象に関する知識とは無関係に、遺伝子記号の操作が行われていたと考えられる。このことが、上のような誤答を生み出した理由の一つと考えられる。

代数法の誤答者は、一つずつの形質に対しては、それぞれが出現する確率を求めることはできた。しかし、それらの値をかけあわせて、二つの形質が同時に出現する確

率を求めることはできなかった。

なぜ、できなかったのだろうか。単に、独立事象の確率を求める数学的な能力がなかったからであろうか。それとも、能力はあったにも関わらず、それぞれの形質が出現する確率をかけあわせることに躊躇したからなのであるだろうか。躊躇したとすれば、それは、2対の対立遺伝子が互いに独立に配偶子に分配されるということをイメージできなかったからではないだろうか。この点については、さらに詳しく調査する必要がある。

組み合わせ法の方略を採る者によくみられた誤答は、青い眼で味盲でない子どもの割合を $2/9$ あるいは $2/8$ と答えるものであった。子のとり得る遺伝子型の組み合わせのすべての場合の数は、全部で16通りある。しかし、これらの生徒は、図7に示したのと同じ、9通りあるいはそれ以下の数しか求めなかった。確かに、9通りの中で考えるならば、答えは $2/9$ となる。しかし、なぜ、子のとり得る遺伝子型の組み合わせの数は、全部で9通りであると考えたのであろうか。

教科書などでは、遺伝子型は $AaBB$ と表記されている。だが、 Aa については、どちらの両親から継承されたのかによって、2通りの場合がある。上で、場合の数を9通りとした誤答者はこのことを忘れていたのである。彼らは、教科書等に表記されている遺伝子型の可能な組み合わせをすべて挙げれば、それがすべての場合の数であると思いこんでしまっていたと考えられる。配偶子の形成、生殖に関する知識を問題解決の方略に関連づけなかったために、9通りですべての場合の数がついたとってしまったのであろう。

以上の分析から、誤答者に共通していえることは、配偶子がどのように形成されるのかに関する知識が欠如していたり、不十分であったということである。このことは、減数分裂時の染色体分離に伴って、対立遺伝子がどのように配偶子に伝えられるのかに関する知識が遺伝の問題解決に十分関連づけられていないことを意味する。この結果は、第2章で述べたStewartやTolmanらの主張を裏づけるものである。

おわりに

バイオテクノロジーの発達などに伴い、遺伝に関する興味・関心がますます高まってきた。しかし、遺伝は学習者にとって理解困難な内容である。生物教育にとって、遺伝が不可欠な内容である限り、この学習困難を軽減し、生徒たちが遺伝に関することがらを有意義に学習できるように、授業を改善していかなければならない。

本研究は、この課題を解決するための基礎資料として、我が国の高校生が遺伝の問題解決においてどのような方略および知識を用いているのかを明らかにするために行われた。この目的を達成するために、被調査者にメンデル遺伝に関する問題を呈示し、解答に至るまでの思考過程を含めて、記述式で答えてもらった。その結果、次のような知見が得られた。

まず、問題解決の方略に関して述べる。単性雑種交配の問題解決では、生徒は碁盤法および組み合わせ法の方略を用いていた。両性雑種交配の問題では、碁盤法、組み

合わせ法のほかに、代数法が用いられていた。生徒は、先行研究で指摘されていたよりも多様な方略を用いて遺伝の問題解決を行っていた。

遺伝の問題解決に関する生徒の知識に関しては、誤答分析の結果、誤答者に共通していることとして、次のことが明らかにされた。すなわち、減数分裂時の染色体分離に伴って、親の遺伝子が配偶子にどのように伝えられるのかに関する知識が欠如していたり、不十分であった、ということである。

これらの結果から、減数分裂の現象を遺伝学習に関連づけることに、高校生は学習困難を抱えていると考えられる。このような関連づけがあいまいであるが故に、機械的な遺伝子記号の操作を行ったり、3 : 1 や 9 : 3 : 3 : 1 の分離比のみの暗記で終わってしまうのではないだろうか。親の遺伝子が、減数分裂によって配偶子のなかにどのように伝わり、それが受精によってどう子に伝わるのかを理解させることが必要である。そのためには、対立遺伝子の行動を減数分裂時の染色体の行動や受精時のランダムな組み合わせに関連づけて、学習することが重要である。

註

- (1) 藤田剛志 「遺伝学習の困難点とその改善について」 東海女子短期大学紀要, No. 16, pp. 123-134, 1989.
- (2) 大塚誠造・小林学(1989) 「中学校理科 新旧学習指導要領の対比と考察」 明治図書, p. 185, 1989.
- (3) 坂本昂編 「現代基礎心理学7 思考・知能・言語」 東京大学出版会, p. 49. 1983.
- (4) 佐伯胖 「認知科学選書 10 認知科学の方法」 東京大学出版会. pp. 140-141, 1986.

第4章 問題解決と発達段階

1 問題

問題解決は非常に複雑な認知的過程である。問題をうまく解けるかどうかは、様々な要因によって影響される。Smith は、問題解決に影響を及ぼす要因として、次の要因を挙げている⁽¹⁾。この分類に基づいて、前章までにレビューした遺伝の問題解決研究を整理してみよう。

(a) 外的要因

① 問題の文脈(problem context)

出題される問題状況など

② 問題の構造(problem structure)

問題中の語彙、新奇性、複雑さなど

③ 社会的要因(social factor)

友達との共同学習、教師や両親の期待、ピグマリオン効果など

(b) 内的要因

① 情意

自信、忍耐強さ、動機づけ、信念、価値

② 経験

うまく問題が解けたという経験

③ 領域固有の知識

事実に基づく知識、概念的な知識、手続き的知識

④ 問題解決に関する一般的な知識

手段-目的分析、試行錯誤など

⑤ 認知的発達段階

上に述べた遺伝の問題解決研究は、(b)の③及び④に関するものであるといえる。すなわち、問題解決において、どのような知識がどのようにかかわり合っているのかという観点から、遺伝の問題解決学習に関する研究の多くが行われてきたといえる。

ところで、(b)の⑤、内的要因としての認知的発達段階と遺伝の問題解決との関係についても、いくつかの研究が行われている。それらの研究では、形式的操作的思考が遺伝の問題解決の成功にとって必要十分条件となるかが調べられてきた。

たとえば、Walkerらは形式的操作的思考の特徴である組み合わせ論理、確率論理、仮説演繹推論の3つの推論を強調した遺伝の教授を行えば、大学生の遺伝問題解決の成績は向上するだろうという仮説を設定した。そこで、彼らは、大学生が新しい遺伝内容を学習するとき、形式的操作的思考を刺激する学習プログラムを開発した。この学習プログラムに沿って学習すれば、通常の方法で学習するよりも、遺伝をよりよく理解するであろうと考えた。彼らは、69項目からなるポストテストを学習プログラムで教えられた学生(実験群)と伝統的な講義-実験法で教えられた学生(統制群)に実施した。その結果、実験群の得点が統制群の得点よりも優れていることを示した⁽²⁾。

Gipson らも、比例的、組み合わせ的、確率的推論の形式的操作が、碁盤法で比を求めたり、配偶子を組み合わせたり、接合体の遺伝子型を決めたりするのに必要であると仮定した。彼らは、71 人の大学生を対象に、3 つのピアジェ課題（比例的、組み合わせ的、確率的推論）の成績と接合体形成、独立分離(independent assortment)の法則、配偶子と接合体形成の確率を含んだ6 項目の遺伝テストとの関連性を調べた。これらのデータから、ピアソンの相関係数が求められ、さらに、因子分析、分散分析が行われた。その結果、彼らは次のような結論を述べている⁽³⁾。

全体の結果を勘案して、一つの包括的な結論に達した。すなわち、いくつかのタイプのメンデル遺伝問題を解くためには、形式的思考が必要である。しかし、遺伝の問題を解く際に、比例、組み合わせ、確率のうち、どのタイプの推論が重要なのかについては明確にすることはできなかった。たぶん、特定の推論タイプといよりも、形式的操作的思考という一般的能力が遺伝の問題解決には必要であると思われる。

Gipson らは、遺伝問題に正しい答えられなかったのは、形式的推論をその遺伝問題にうまく適用することができなかったでであると考えた。しかし、確率的に、あるいは組み合わせ的に推論したにも関わらず、遺伝に関する概念的知識が不適切であったために、正しく答えることができなかった可能性も考えられる。

Kinnear は、確率的推論に関する二組の問題を作成し、生物を専攻している大学生に実施した。ひとつは、遺伝学の知識を何ら必要としない問題（薬剤問題）である。もう一つは確率的な概念が遺伝学の文脈に組み込まれている問題（馬問題）である。薬剤問題での正答率は 69.3%であったが、馬問題ではわずか 14.8%であった。そこで、問題数（6 つの現実世界の問題と 6 つの遺伝問題）と学生数を増やして調査を行った。結果は同じであった。一般に、大学生は現実世界の問題を解くときには確率的推論を適切に行うことができた。しかし、遺伝問題のときには適切に確率的推論を行うことができなかった。Kinnear は、その違いを次のように説明した⁽⁴⁾。

問題の文脈によって、大学生がこのような矛盾する答えを示すのは、かれらが偶然について 2 つの考えを持っているからである。一つはメンデル遺伝の文脈で適応され、3 : 1 といった比に焦点が絞られ、それを決定的なものとして遺伝問題に当てはめるといふ考えである。もう一つは、遺伝学的ではない「現実世界の」状況に適用される考えである。……大学生は遺伝問題を解くときには、偶然の作用(operation)をほとんど無視している。

この結果から、確率的推論が遺伝問題をうまく解くための基礎であるとの主張が疑わしくなった。この主張に対する挑戦は、Smith と Good によってもなされた。彼らは 11 人の初学者（はじめて遺伝の講義を受けたばかりの学部学生と科学を専攻し

ていない大学生)と9人の専門家(遺伝学専攻の大学院生と遺伝学の教官)を対象に、複雑な遺伝問題を解決していく行為と比例的、組み合わせ的、確率的推論課題の行為とを比較した。そして、次のように主張した⁽⁵⁾。

明らかに、形式的思考は問題解決の成功を決定づける十分条件ではないことが例証された。形式的段階に達していない被調査者が遺伝的組み合わせをうまく取り扱えることも観察された。

以上、生徒の認知的発達と遺伝の問題解決との関連に関する研究を概括した。その結果、認知発達が遺伝の問題解決の成功にとって必要条件か十分条件かという問題は、未だ十分に解明されていないことが示された。Walkerらは、形式的操作段階が遺伝の問題解決に、必要十分な条件であると主張している。一方、Smithらは、全く反対の主張を述べているのである。

本研究は、この問題に答えることによって、遺伝の問題解決学習を認知的発達の観点から捉え直すことを目指している。

2 目的

本研究の目的は、遺伝の問題解決と認知的発達段階との関連を明らかにすることである。問題解決と発達段階との関連を明らかにすることによって、生徒の遺伝学習の困難を軽減し、生徒の興味・関心を喚起し、主体的に問題解決に取り組むことができる能力を育成するための指導法が示唆されると考えている。

本研究では、具体的な目標を次のように設定した。

- ① 生徒の認知的発達は遺伝の問題解決にとって必要十分条件であるのかを明らかにする。
- ② 遺伝問題のタイプを変えた場合(日常的な文脈における遺伝問題と生物学的文脈における遺伝問題)、認知的発達は問題解決の成否にどのように影響するのかを明らかにする。

3 方法

(1) 調査対象及び調査時期

調査対象は、千葉県S市立A中学校の1～3年生、206人、S市立B中学校の3年生、25人、そして千葉県立C高等学校の1～3年生、237人、合計468人である。その内訳を表4-1に示しておく。調査は、1997年12月に行われた。

表4-1 調査対象の内訳

学校	学年	男	女	計
A中学校	1	36	35	71
	2	36	33	69
	3	34	32	66
B中学校	3	12	13	25
C高等学校	1	48	27	75
	2	41	44	85
	3	38	39	77
計		245	223	468

(2) 調査内容

2組の調査問題を用いて調査を行った。一つは、Roadrangka らによって開発された GALT(Group Assessment of Logical Thinking)と呼ばれる調査問題である⁽⁶⁾。もう一つは、遺伝問題である。

GALT の内容は、保存、比例、条件統一、確率、相関、場合の数に関する問題から構成されている。それぞれの内容について、問題が2問用意されている。回答形式は、場合の数を除く各問題について、解答とそのように答えた理由を選択肢の中から選ぶものである。場合の数については、考えられる順列・組み合わせをすべて記号化して記述する。問題には理解しやすいように、すべて挿絵がつけられている。詳しくは本報告書末の資料を参照されたい。

GALT は、Piaget の発達段階と高い相関があることが知られている⁽⁷⁾。このため、GALT の正答数に基づいて、生徒の認知的発達段階を特定した。正答数が0～4までを具体的操作段階、5～7までを移行期段階、8～12までを形式的操作段階とした。

遺伝問題は、日常的な文脈における問題と生物学的な文脈における問題との2種類の問題から構成されている。問題数は、それぞれ6問である。資料の1Aから6Aまでが日常的な遺伝問題、1Bから6Bまでが生物学的な遺伝問題である。問題番号のA、Bは、問題の種類を表している。問題番号の数値が同じである場合は、A、Bの解答内容が同じになるように問題を作成した。

遺伝問題は、Kinneer が作成した調査問題を参考にして自作したものである。自作した理由は、次の通りである。第一に、Kinneer の調査問題は大学生を対象したものであるため、原文を翻訳しただけでは、中・高校生には難しすぎる。第二に、中学校では学習しない語句や記号が用いられている。第三に、日本の生徒には見慣れない語句が多く使用されている。このような理由により、日本の中・高校生用の調査問題を作成した。

調査は、まず GALT について、次に遺伝問題について行われた。それぞれの所要時

間は、20～30分であった。

調査によって得られたデータは、次の観点に基づいて得点化された。

- ① 遺伝問題については、生物学的な問題と日常的な問題に分け、それぞれ採点する。1問正解で1点と、得点化する。全問正解すれば6点となる。
- ② GALT問題は全部で12問ある。そのうち、問1～10までは、解答とその理由がともに正しいものを正答とした。問11と12については、組み合わせがすべて正しい場合のみを正答とする。回答用紙の一つの枠に2つ以上の解答をしたものは、すべて無効とする。1問正答で1点とする。

4 結果及び考察

(1) GALTの結果

図4-1は、GALTの得点に基づいて、中学生の認知的発達段階を特定した結果である。

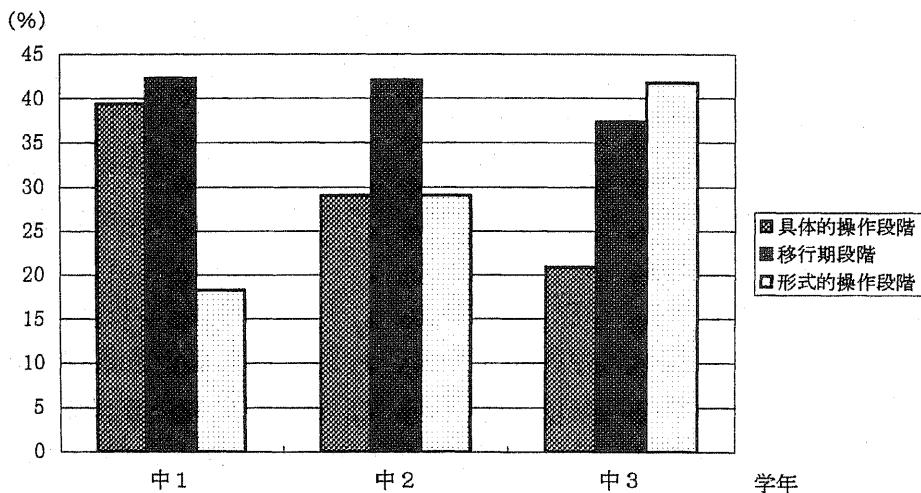


図4-1 GALTからみた中学生の発達段階

中学1年生では具体的操作段階の生徒は40%近くいたが、中学3年生になると約20%にまで減少した。一方、形式的操作段階の生徒は、中学1年生で20%であったが、中学3年生になると40%強にまで増加した。すなわち、学年が上がるにつれて、具体的操作段階の生徒が減り、形式的操作段階の生徒が増えていた。よって、学年が上がるにつれて、認知的発達段階が上がっていく。

図4-2は、高校生におけるGALTの結果を示したものである。

高校1年生には、具体的操作段階の生徒が全体の約75%いたが、高校3年生になると、約45%にまで減少した。形式的操作段階の生徒は、高校1年生では5%強程しかいないが高校3年生になると、約20%にまで増加した。中学生と比べると、具

体的操作段階の生徒が多く、逆に形式的操作段階の生徒が少ないけれども、中学生と同様、高校生も学年が上がるにつれて、発達段階が上がっている。

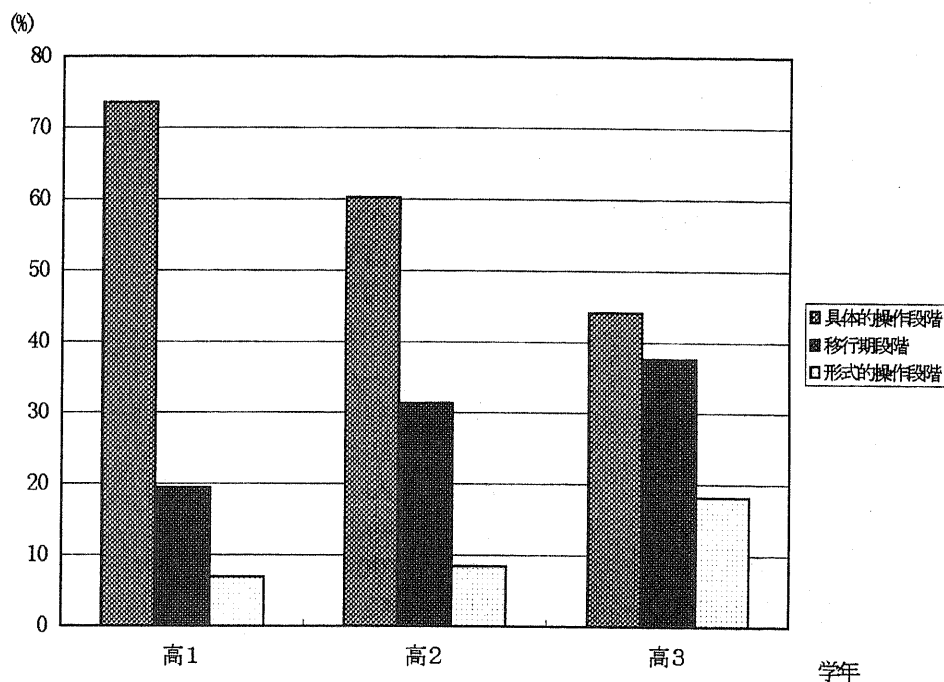


図4-2 GALTからみた高校生の発達段階

(2) 発達段階の特定

表 4-2 は、GALT の正答数に基づいて、学年を問わずに、中・高校生全員の発達段階を特定した結果である。具体的操作段階（正答数 0～4）の生徒は 204 人、移行期段階（正答数 5～7）の生徒は 162 人、形式的操作段階（正答数 8～12）の生徒は 97 人であった。具体的操作段階の生徒が、全体の 4 割以上を占めているのは驚きであった。Piaget によれば、具体的操作段階はほぼ 12 歳までである。本研究における調査対象は中学 1 年生から高校 3 年生までであることを考えると、具体的操作段階の生徒が多すぎるように思われる。

表4-2 GALTによる発達段階の特定

発達段階	人数	%
具体的操作段階	204	44.1
移行期段階	162	35.0
形式的操作段階	97	21.0
合計	463	100

表 4-3 は、発達段階別に GALT の得点と人数を示したものである。形式的操作段階と特定された生徒の中に、満点のものは一人もいない。3点から7点に多くの生徒が集中している。GALT 問題は、その出題量の割に調査時間が短かった。そのために、このような結果となってしまったのかもしれない。

表4-3 発達段階別の得点と人数

発達段階	得点	人数	%
具体的操作段階	0	12	5.9
	1	24	11.8
	2	39	19.1
	3	63	30.9
	4	66	32.4
合計		204	100.0
移行期段階	5	64	39.5
	6	47	29.0
	7	51	31.5
合計		162	100.0
形式的操作段階	8	41	42.3
	9	26	26.8
	10	22	22.7
	11	8	8.2
合計		97	100.0

(3) 生物学的文脈の遺伝問題

表 4-4 は、発達段階ごとに生物学的文脈における遺伝問題の平均値を示したものである。発達段階が上がるにつれて、平均値も高くなっている。

表4-4 生物学的文脈における遺伝問題

発達段階	平均値	標準偏差
具体的操作段階	1.84	0.95
移行期段階	2.09	0.99
形式的操作段階	2.25	1.01
合計	2.01	0.99

そこで、発達段階と生物学的文脈における遺伝問題の正解数との関係を調べるために、図 4-3 を作成した。発達段階があがるにつれて、グラフは少しずつ、右側にずれていた。すなわち、発達段階が上がるにつれて、生物学的文脈における遺伝問題の正

答数が増加している。生物学的文脈における遺伝問題の解決に、認知的発達段階が関係しているかもしれない。

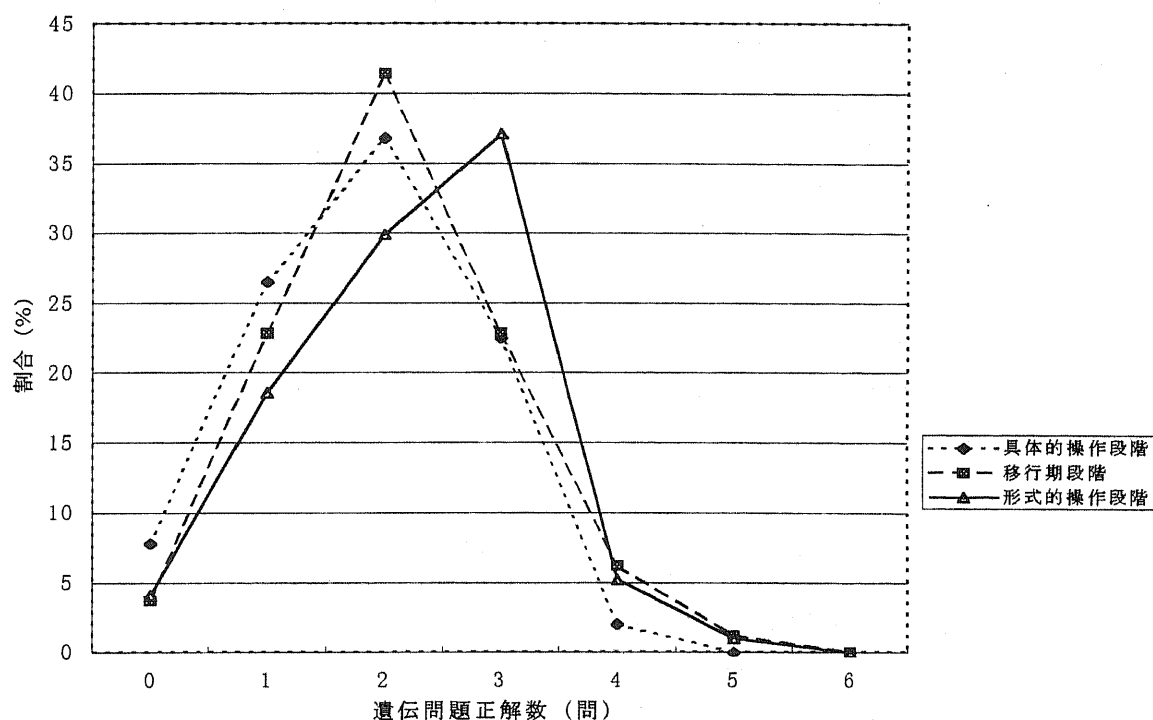


図4-3 生物学的な遺伝問題と発達段階の関係

そこで、発達段階によって遺伝問題の成績に有意な差があるかどうかを調べるために、分散分析を行った。分散分析の結果、表 4-5 に示すように、1%の危険率で、発達段階による遺伝問題の成績に有意な差がみられた ($F(2, 444)=6.36, p<.01$)。形式的操作段階の生徒の方が、生物学的な遺伝問題の得点が高かった。

表 4-5 生物学的文脈における分散分析の結果

要因	平方和	自由度	平均平方 F 値	有意確率
グループ間	12.12	2	6.06	6.36
グループ内	422.83	444	0.95	0.00
合計	434.94	446		

そこで、どの発達段階に有意な差があるのかを調べるために、Scheffe の多重比較を行った。その結果、表 4-6 に示すように、5%水準で、具体的操作段階と形式的操作段階との間に有意な差があることが示された。

表 4-6 生物学的文脈における多重比較の結果

発達段階	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
具体的操作段階	195	1.84	
移行期段階	159	2.09	2.09
形式的操作段階	93		2.25

(4) 日常的文脈の遺伝問題

表 4-7 は、発達段階ごとに日常的文脈における遺伝問題の平均値を示したものである。発達段階が上がるにつれて、平均値も高くなっている。

表4-7 日常的文脈における遺伝問題

発達段階	平均値	標準偏差
具体的操作段階	1.78	0.95
移行期段階	2.20	1.23
形式的操作段階	2.90	1.39
合計	2.16	1.23

日常的文脈における遺伝問題の解決と認知的発達段階との関連を調べるために、分散分析を行った。その結果、表 4-8 に示すように、1%の危険率で、日常的文脈における遺伝問題の成績は発達段階によって有意に異なることが明らかにされた ($F(2, 446)=30.01, P<.01$)。

表 4-8 日常文脈における分散分析の結果

要因	平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
グループ間	79.84	2	39.92	30.01	0.00
グループ内	593.30	446	1.33		
合計	673.13	448			

Scheffe の多重比較を行ったところ、5%水準で、具体的操作段階、移行期段階、形式的操作段階のそれぞれに有な差がみられた (表 4-9)。発達段階が高いほど、平均点は高かった。

表 4-9 日常文脈における多重比較の結果

発達段階	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
具体的操作段階	196	1.78		
移行期段階	160		2.20	
形式的操作段階	93			2.90

以上の結果から、遺伝の問題能力には、形式的操作能力が必要であることが示された。本調査で形式的操作段階の割合が最も高かった中学3年生でも、形式的操作段階に達していた生徒はおよそ40%であった。この点を考慮すると、遺伝はやはり生徒にとって難しい教材であると言える。

問題のタイプ（生物学的文脈における遺伝問題と日常的な文脈における遺伝問題）が異なっても、認知的発達段階の高い生徒の方が遺伝の問題解決の成績は良かった。日常的な文脈における遺伝問題の解決においても、認知的発達段階が影響を及ぼしているものと考えられる。

おわりに

本章では、中・高校生を対象とした調査結果に基づいて、遺伝の問題解決と認知的発達段階との関連について考察した。その中で特に疑問に思ったことは、問題文脈による正答率が、Kinnearの調査結果とかなり異なっている点である。Kinnearは、日常的な文脈における問題では、偶然の作用を認め、正答率が高くなるが、生物学的文脈における問題では、偶然のはたらきを無視してしまうために、正答率が低くなるという結果を示していた。ところが、今回の調査では、Kinnearが示すような問題文脈による大きな差が見られなかったのである。この点については、さらにデータを分析し、検討していきたい。

註

- (1) Smith, M. U., "Toward a unified theory of problem solving", pp14-15, 1991.
- (2) Walker, R. A., J. R. Hendrix, T. R. Mertens, "Sequenced instruction in genetics and Piagetian cognitive development", *American Biology Teacher*, Vol. 43, No. 2, pp. 104-108, 1980.
- (3) Gipson, M., M. Abraham, and J. Renner, "Relationships between formal-operational thought and conceptual difficulties in genetics problem solving", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 26, No. 9, p. 818, 1989.

- (4) 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., p. 89, 1983.
- (5) Smith, M. U., and R. Good, "Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance". *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 21, No. 9, pp. 895-912, 1984.
- Smith, M. U., "Is formal thought required for solving classical genetics problems?", Paper presented at the annual conventions of the Society of college Science Teachers and National Science Teachers Association, ERIC ED267971, 1986.
- (6) Roadranga, V., R. H. Yeany, and M. J. Padilla, "*Group test of logical thinking (Revised 1983)*", University of Georgia, 1983.
- (7) Piaget の発達理論とは、ジュネーブの子どもを対象とした研究によって、発達段階を次のように区分したものである。

- 1 感覚運動期 (0～1歳 から 2～5歳)
- 2 前操作期 (2～5歳 から 7～8歳)
- 3 具体的操作期 (7～8歳 から 11～12歳)
- 4 形式的操作期 (11～12歳 から 14～15歳)

各時期へ移行する年齢については、面接される子どもの数や社会的環境の違いによって、厳密に一致するには至っていない。上記の年齢は標準的なものとして考えられている。このような Piaget の発達理論は、欧米や国内の諸研究を通して検討されてきている。

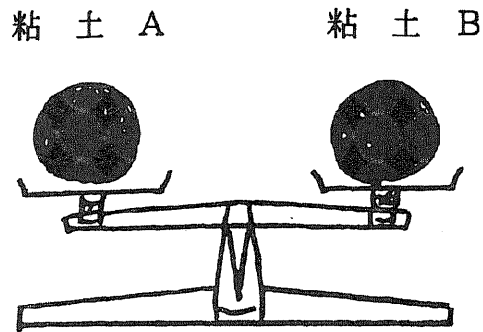
資料

GALT 調査問題

この調査はテストではありません。学校の成績には関係ありません。しかし、皆さんの回答はこれからの理科授業をよりよくするために貴重な資料となるものです。ですから、よく考え、すなおに答えてください。

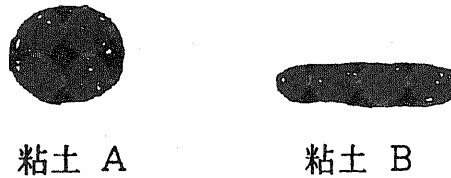
問題をよく読んで、正しいと思う答えを回答用紙に記入して下さい。問題1から10については、正しいと思う答え (a, b, c, ……………) とその理由 (1, 2, 3, ……………) を1つずつ選んで、○で囲んで下さい。問題11と問題12は、(例)にならって答えてください。

- 1) たけし君は粘土で作った球を2個持っています。2個の粘土の球A, Bは大きさも形も同じです。2個の球を上皿てんびんではかると同じ重さです。



上皿てんびん

粘土の球を上皿てんびんからおろして、粘土Bをせんべいのようにたいらにします。



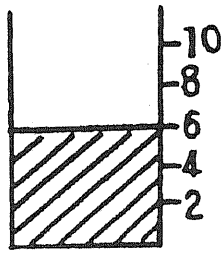
次のうちのどれが正しいですか。

- a. せんべいのような形の方が重い。
- b. 2個の粘土は同じ重さ。
- c. 丸い球の方が重い。

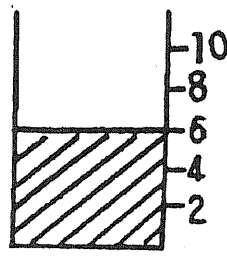
その理由は次のうちのどれですか。

- 1. 粘土をつけ足したり取り去ったりしなかったから
- 2. 粘土Bはせんべいのようにしたとき、面積が広がったから
- 3. たいらにすると重さが軽くなるから
- 4. 丸い球の方は粘土がぎっしりつまっているから

2) けい子さんは2つのビーカーA, Bを持っています。2つのビーカーは同じ大きさであり、形も同じです。それぞれのビーカーには同じ量の水が入っています。



ビーカー A



ビーカー B

けい子さんは同じ体積の2個の金属のおもりを持っています。1個のおもりは軽く、もう1個のおもりは重いものです。

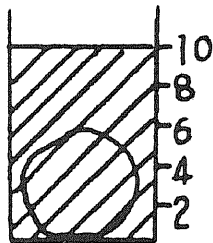


軽いおもり

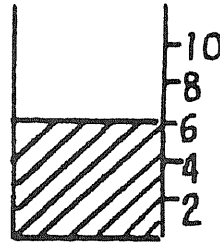


重いおもり

けい子さんはビーカーAに軽い方のおもりを入れました。そうすると、ビーカーAの水面は図のように上がりました。



ビーカー A



ビーカー B



重いおもり

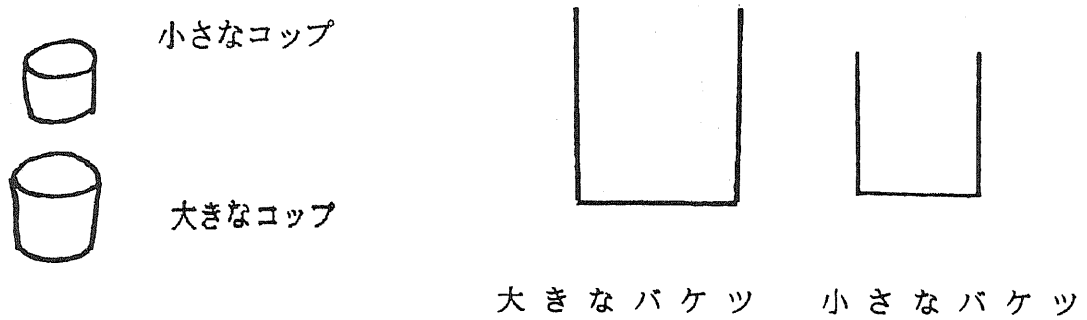
重い方のおもりをビーカーBに入れると、水面の高さはビーカーAに比べてどうなるでしょうか。

- a. 水面の高さはビーカーAよりも高くなる。
- b. 水面の高さはビーカーAよりも低くなる。
- c. 水面の高さはビーカーAと同じになる。

その理由は次のうちのどれですか。

- 1. おもりは同じ大きさなので、同じ水の量だけ増えるから
- 2. おもりが重くなれば、水面は高くなるから
- 3. 重いおもりは圧力が強いので、水面は低くなるから
- 4. おもりが重くなれば、水面は低くなるから

- 3) 下の図のように小さなコップと大きなコップ、また小さなバケツと大きなバケツがあります。



大きなバケツには、大きなコップで9杯の水が入ります。また、小さなコップでは15杯の水が入ります。小さなバケツには、小さなコップで10杯の水が入ります。

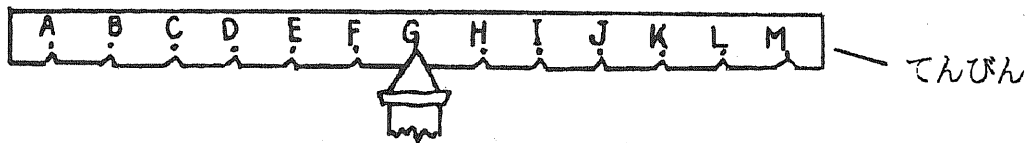
では、小さなバケツには、大きなコップで何杯の水が入りますか。

- a. 4杯
- b. 5杯
- c. 6杯
- d. その他

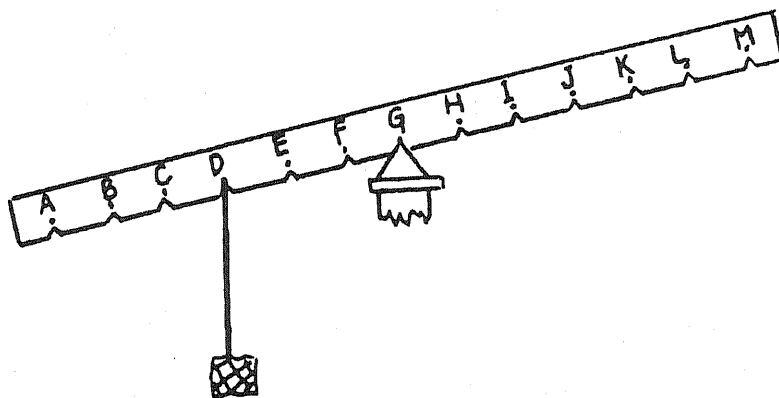
その理由は次のうちのどれですか。

1. 小さなコップで小さなバケツに水を満たすときには、大きなバケツのときに比べて、5杯少なかった。だから、大きなコップで満たすときにも、5杯少なくてよいから
2. 小さなコップと大きなコップに入れる水の量の比は、いつも3:5だから
3. 小さなコップは大きなコップの半分である。それで同じバケツを満たすには、小さなコップの半分の回数でよいから
4. 予想できない

4) 太郎君は図のようなたんびんを持っています。



D点に10gのおもりをつり下げると次の図のようになりました。



10gのおもり

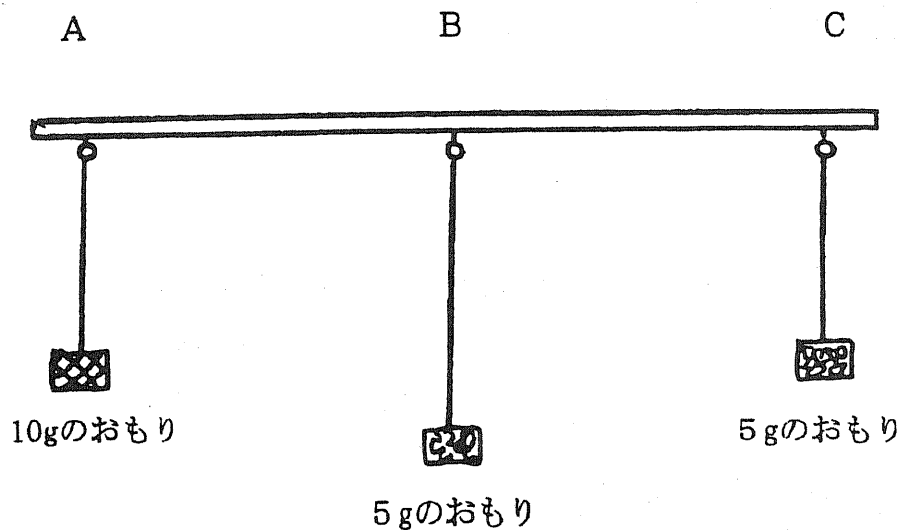
このてんびんをつり合わせるには、5gのおもりをどこにつり下げればよいですか。

- a. J点
- b. K点とL点の間
- c. L点
- d. L点とM点の間
- e. M点

その理由は次のうちのどれですか。

- 1. 半分の重さのおもりだから、2倍の距離の点につり下げればよいから
- 2. 10gのおもりと同じ距離だけ反対側につり下げればよいから
- 3. おもりが小さいので、5gのおもりをさらに遠くにつり下げればよいから
- 4. てんびんをつり合わせるには、はしの方がより力を出せるから
- 5. おもりが軽くなればなるほど、より遠くにつり下げるべきだから

- 5) 棒に3本の糸A, B, Cをつけました。糸Aと糸Cは同じ長さで、糸Bはそれらよりも長くなっています。ひろみさんは、糸Bと糸Cに5gのおもりをつけ、糸Aには10gのおもりをつけて振り子を作りました。



ひろみさんは、振り子の往復する時間が糸の長さに関係があるかどうかを調べようとしています。

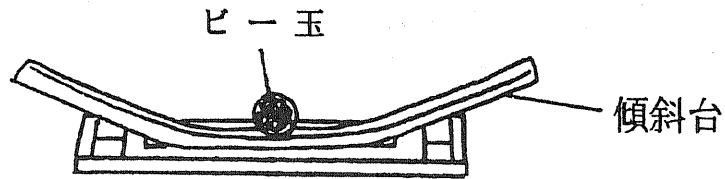
この実験をするためにはどの振り子を使ったらよいですか。

- a. 振り子Aと振り子B
- b. 振り子Aと振り子C
- c. 振り子Bと振り子C
- d. 振り子A, B, C,
- e. 振り子Bだけでよい

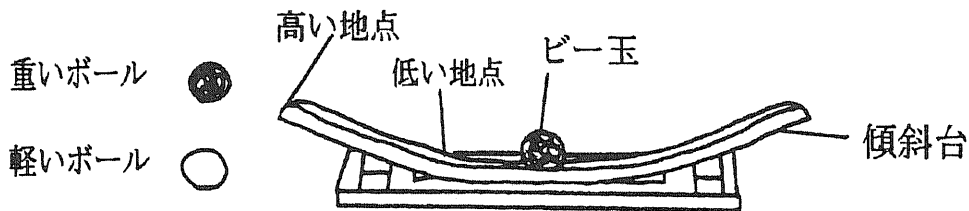
その理由は次のうちのどれですか。

- 1. 糸の長さは同じで、おもりが違わなければならないから
- 2. 糸の長さもおもりの重さも違わなければならないから
- 3. 全部の振り子を使って、すべての場合について調べなければならないから
- 4. 一番長い振り子Bだけで調べればよい。実験で考えに入れるのはおもりの重さではなくて、糸の長さだけだから
- 5. 糸の長さによる違いを調べるのだから、糸の長さをのぞいた他のことは同じにしておかなければならないから

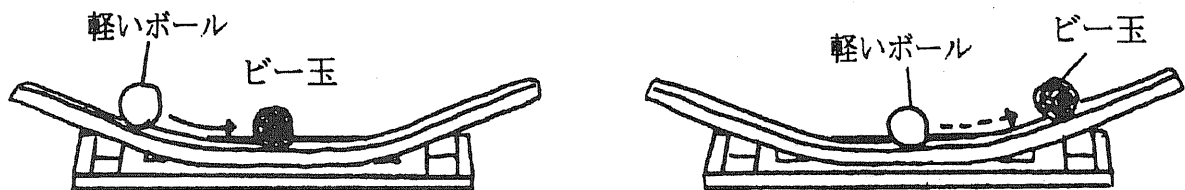
6) 良夫君は図のような傾斜台を持っています。傾斜台の一番低いところにビー玉を置きました。



いま重いボールと軽いボールを持っています。ひとつのボールを傾斜台からころがすとビー玉に当たり、そのビー玉は反対側にくっついていきます。



良夫君は異なる地点からボールをころがすと、どれくらい遠くまでビー玉が動くかを調べようとしてしました。はじめに軽いボールを低い地点からころがすとビー玉に当たり、反対側にそのビー玉は押し上げられました。



次に高い地点からどのボールをころがせばよいですか。

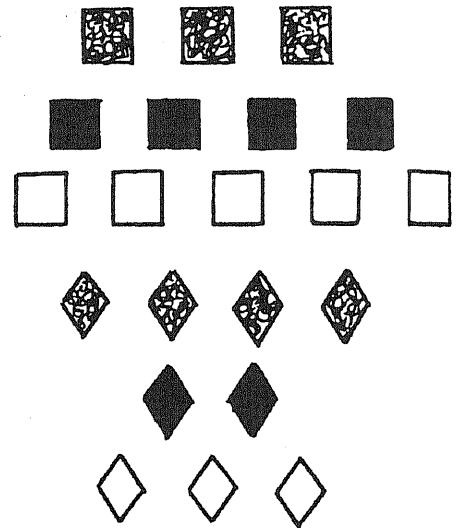
- a. 重いボール
- b. 軽いボール

その理由は次のうちのどれですか。

1. 軽いボールを最後まで使うべきだから
2. 最初は軽いボールを使ったから、次に重いボールを使うべきだから
3. 重いボールはビー玉をより遠くへ動かす力があるから
4. 正しく比較するためには、軽いボールを高い地点からころがすべきだから
5. ボールの重さを考えなくてよいので、同じボールを使えばよいから

7) 袋の中には次のものが入っています。

- ・ 模様のついた木の四角形が 3 個
- ・ 黒い木の四角形が 4 個
- ・ 白い木の四角形が 5 個
- ・ 模様のついた木のひし形が 4 個
- ・ 黒い木のひし形が 2 個
- ・ 白い木のひし形が 3 個



四角形の木片、ひし形の木片はそれぞれどちらも同じ大きさ、同じ形です。

袋の中から木片を 1 個取り出すとき、模様のついた木片を取り出すのは、どのくらいの割合ですか。

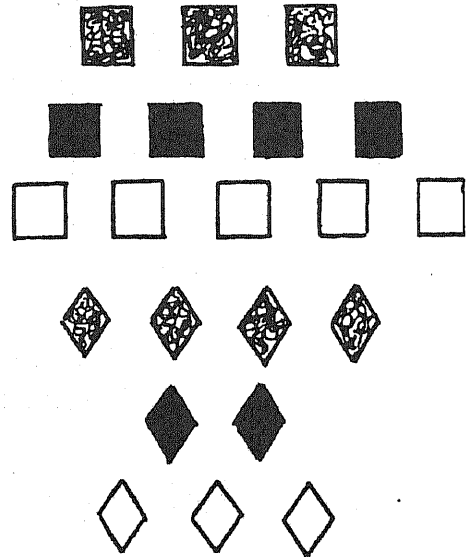
- a. 3 回のうち 1 回
- b. 4 回のうち 1 回
- c. 7 回のうち 1 回
- d. 21 回のうち 1 回
- e. その他

その理由は次のうちのどれですか。

1. 袋の中には 21 個の木片が入っている。1 個の模様のついた木片がこれらの中から選ばれるから
2. 模様のついた木片 7 個の中から 1 個の模様のついた木片が選ばれるから
3. 21 個の木片のうち、7 個の木片に模様があるから
4. 袋の中には 3 組の木片のセットが入っている。それらの組に、模様がついているから
5. 四角形の木片の $\frac{1}{4}$ とひし形の木片の $\frac{4}{9}$ に模様がついているから

8) 袋の中には次のものが入っています。

- ・ 模様のついた木の四角形が 3 個
- ・ 黒い木の四角形が 4 個
- ・ 白い木の四角形が 5 個
- ・ 模様のついた木のひし形が 4 個
- ・ 黒い木のひし形が 2 個
- ・ 白い木のひし形が 3 個



四角形の木片、ひし形の木片はそれぞれどちらも同じ大きさ、同じ形です。

袋の中から木片を 1 個取り出すとき、模様のついたひし形の木片あるいは白いひし形の木片を取り出すのはどのくらいの割合ですか。

- a. 3 回のうち 1 回
- b. 9 回のうち 1 回
- c. 21 回のうち 1 回
- d. 21 回のうち 9 回
- e. その他

その理由は次のうちのどれですか。

1. 21 個の木片のうち 7 個は模様がついているか白いひし形の木片だから
2. 模様のついた木片の $\frac{7}{21}$ 、また白い木片の $\frac{8}{21}$ はひし形だから
3. 21 個の木片のうち 9 個はひし形だから
4. 袋の中に入っている 21 個の木片の中から、1 個のひし形の木片が選ばれるから
5. 袋の中には 9 個のひし形の木片が入っている。これらの木片の中から 1 個が選ばれるから

- 9) ある農夫が彼の畑に住むネズミをよく見ると、ネズミは、太っているか、やせている、尾が白いか、黒いかであることがわかりました。彼はネズミの大きさと尾の色に関係があるかどうか疑問を持ちました。そこで、彼はある場所のネズミをすべてつかまえて、調べたところ、下の図のようになりました。

ネズミの大きさと尾の色の間に関係があると思いますか。(例：ある大きさのネズミはある決まった色の尾を持ちやすいなど)

- a. 関係がある
- b. 関係はない

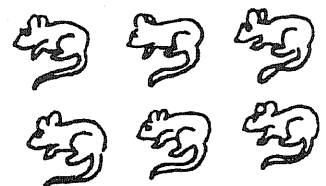
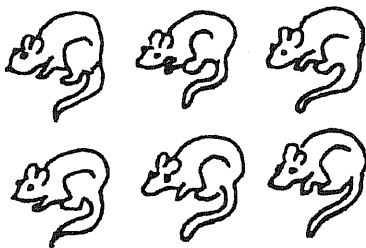
その理由は次のうちのどれですか。

1. 太ったネズミの11分の8は黒い尾を持ち、やせたネズミの4分の3は白い尾を持っているから
2. 太ったネズミとやせたネズミは、黒い尾のも白い尾のもいるから
3. すべての太ったネズミが黒い尾を持っているわけではないし、すべてのやせたネズミが白い尾を持っているわけではないから
4. 18匹のネズミは黒い尾であり、12匹は白い尾であるから
5. 22匹のネズミが太っていて、8匹のネズミがやせているから

黒い尾



白い尾



太ったネズミ

やせたネズミ

10) ある漁師が28匹の魚を釣りました。大きな魚と小さな魚があり、太いしま模様のあるものと細いしま模様のあるものがありました。

彼は、魚の大きさと模様の種類に関係があるか調べたところ、下の図のようになりました。

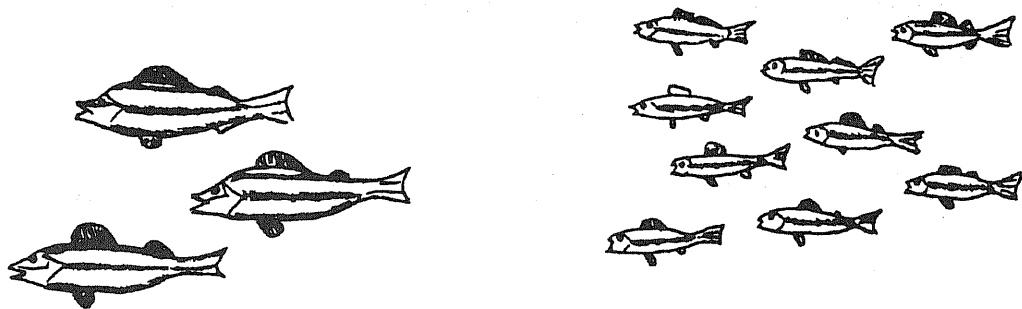
魚の大きさとしま模様には関係があると思いますか。(例：ある大きさの魚はある決まったしま模様を持ちやすいなど)

- a. 関係がある
- b. 関係はない

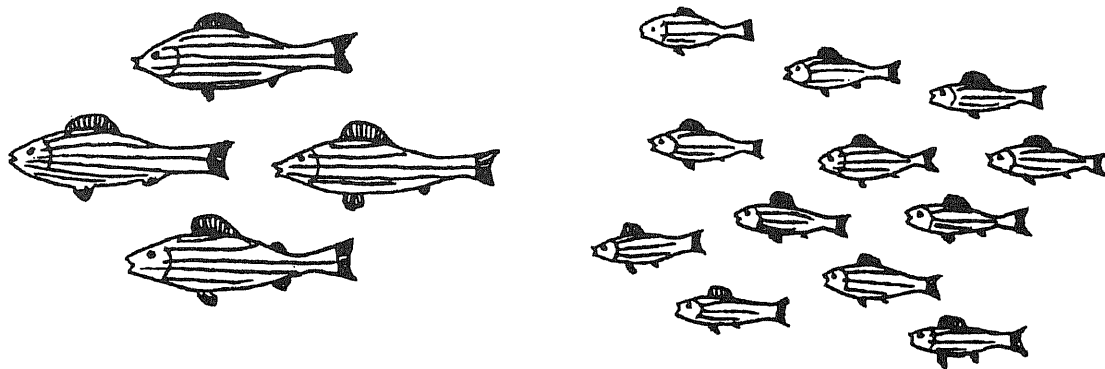
その理由は次のうちのどれですか。

1. 大きな魚にも小さな魚にも、太いしま模様または細いしま模様があるから
2. 大きな魚の7分の3、小さな魚の21分の9には、太いしま模様があるから
3. 7匹は大きく、21匹は小さいから
4. すべての大きな魚に太いしま模様があるわけではないし、すべての小さな魚に細いしま模様があるわけではないから
5. 魚の28分の12には太いしま模様があり、28分の16には細いしま模様があるから

太いしま模様



細いしま模様



大きい魚

小さい魚

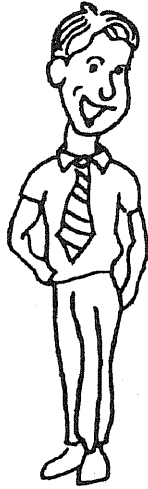
- 11) 6人の子どもたちがおばけやしきできもだめしをすることにしました。参加したのは、アルバート (A)、ボブ (B)、チャールズ (C) の3名の男子と、ルイス (L)、メアリー (M)、ナンシー (N) の3名の女子です。



アルバート
(A)



ボブ
(B)



チャールズ
(C)



ルイス
(L)



メアリー
(M)

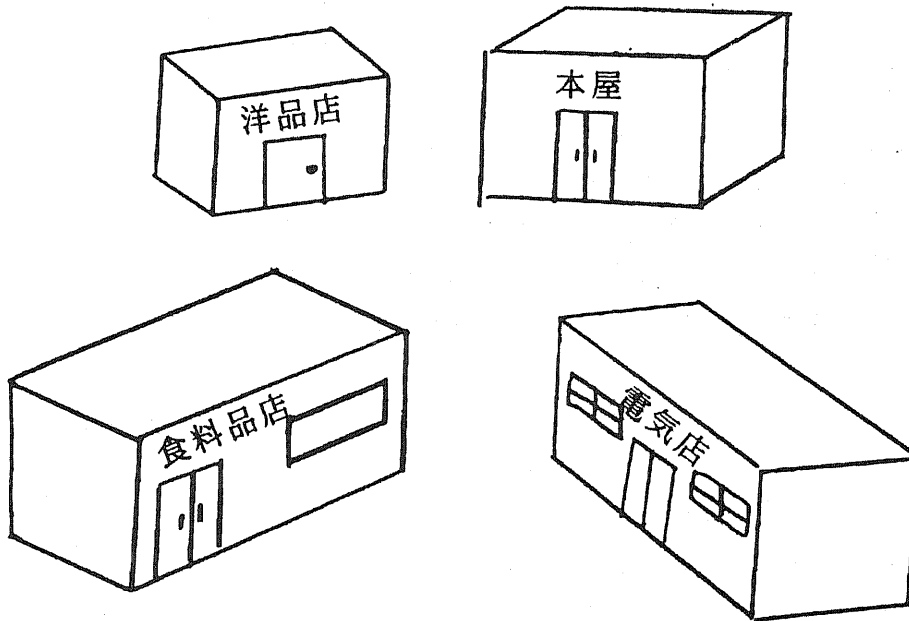


ナンシー
(N)

男子1名と女子1名の2人ずつで、きもだめしをすることにします。すべての組みあわせはどうなるでしょうか。例にならってすべての組みあわせを書きなさい。

(例) アルバートとルイスの組みあわせならば、A-Lと表します。

- 12) 新しくできるショッピングセンターでは、1階に4つの店が1列にはいることになっています。4つの店は、洋品店（ア）、食料品店（イ）、本屋（ウ）、電気店（エ）です。



これらの店が4つに並べられるすべての場合を書きなさい。

(例) 洋品店—食料品店—本屋—電気店の順序ならば、ア—イ—ウ—エと表します。

遺伝についての調査

学校名 _____ 学年 _____ 年 男・女 氏名 _____

この調査は、あなたが日頃、遺伝についてどのように考えているかを知るためのものです。この調査結果から、遺伝分野の学習をよりわかりやすくする手がかりを得たいと考えています。

したがって、今、あなたが考えている正直な回答を求めています。成績とは関係ありません。リラックスしてお答え下さい。

回答は、各問題に対して正しいと思われる番号に○をつけて答えて下さい。

また、みなさんがどのような考えで回答を出しているかということも見させていただきます。メモなどはこのプリントに書き入れ、消さずにそのまま残しておいてください。

よろしくお願ひします。

1A 山本さん一家は、東京に住んでいます。山本さん一家には、お父さん（会社員）、お母さん（小学校の先生）、そして5歳、8歳、10歳、12歳の4人の子どもがいます。さて、4人の子どもの性別はどうなっているでしょう。

- ① 4人とも男子
- ② 3人が男子で1人が女子
- ③ 2人が男子で2人が女子
- ④ 1人が男子で3人が女子
- ⑤ 4人とも女子
- ⑥ その他 ()

2A 山本さんのお父さんは、十円玉を投げ上げ、落ちてきたものを両手で上下にはさみました。はさんだ十円玉を見てみると、十円玉の上側は表でした。もう一度繰り返すと次は裏でした。さらに十円玉の投げ上げを4回繰り返しました。さて、その4回投げた結果はどうなったでしょう。

- ① 4回とも表
- ② 3回が表、1回が裏
- ③ 2回が表、2回が裏
- ④ 1回が表、3回が裏
- ⑤ 4回とも裏
- ⑥ その他 ()



3A 次に父さんは2枚のコインを容器に入れました。

コインAは、表、裏、両方とも赤色です。

コインBは、表が赤色、裏が青色です。

2枚のコインのうちの1枚を選び出しました。そしてそのコインを2Aと同じように、投げ上げ、落ちてきたものをキャッチして色を見てみました。すると、赤が2回、青が2回という結果になりました。

コインはA、Bのどちらだったでしょう。

- ① コインA
- ② コインB
- ③ コインAまたはコインB
- ④ その他 ()



4A 一つの容器に2枚のコインAとB(3Aと同じ)が入っています。

お父さんはそのうちの一枚を選び出し、投げ上げキャッチしました。4回繰り返したところ、4回とも赤になりました。

コインは、A、Bのどちらだったでしょう。

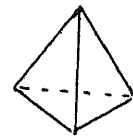
- ① コインA
- ② コインB
- ③ コインAまたはコインB
- ④ その他 ()

5A 4つの面が赤く塗られた正四面体があります。この立体を投げて止まったときの底の面の色を記録しました。3回投げたところ結果は次のようになりました。

1回目・・・赤 2回目・・・赤 3回目・・・赤

それでは、4回目に投げて止まった時、底の面は何色になるでしょう。

- ① 赤色
- ② 黄色
- ③ その他 ()



6A 正四面体には、4つの面があります。3つの面を黄色に1つの面を緑色に塗りました。この立体を投げて止まった時の底の面の色を記録しました。

3回投げたところ結果は次のようになりました。

1回目・・・黄 2回目・・・黄 3回目・・・黄

それでは、4回目は何色になったでしょう。

- ① 黄色
- ② 緑色
- ③ 黄色か緑色
- ④ その他 ()

1B 欧米人には眼の色が茶色(A)の人と青色(a)の人がいます。茶色は青色よりも優性です。眼の色が二人とも茶色(Aa)の男女が結婚をしました。このカップルから4人の子供が産まれました。どのような眼の色の子供が産まれたのでしょうか。

- ① 4人とも茶色
- ② 3人が茶色、1人が青色
- ③ 2人が茶色、2人が青色
- ④ 1人が茶色、3人が青色
- ⑤ 4人とも青色
- ⑥ その他 ()

2B 次に1Bのカップルとは違う、眼の色が茶色(Aa)の男性と眼の色が青い女性が結婚をしました。このカップルから4人の子供が産まれました。どのような眼の色の子どもが産まれたのでしょうか。

- ① 4人とも茶色
- ② 3人が茶色、1人が青色
- ③ 2人が茶色、2人が青色
- ④ 1人が茶色、3人が青色
- ⑤ 4人とも青色
- ⑥ その他 ()

3B エンドウは豆の色が緑色(G)と黄色(g)の2種類あり、緑色が優性です。豆の色が緑色(G?)のエンドウと黄色(gg)のエンドウをかけあわせてとれた4つの種子を育てたところ、2株は緑色、2株は黄色の豆ができました。緑色の豆の親の遺伝子はどのような組み合わせで表すことができますか。

- ① GG
- ② Gg
- ③ gg
- ④ その他 ()

4B 3Bとは異なる緑色(G?)のエンドウと黄色(gg)のエンドウをかけあわせたところ4つの種子がとれました。それを育てると、すべて緑色の豆ができました。緑色の豆の遺伝子はどのような組み合わせで表すことができますか。

- ① GG
- ② Gg
- ③ gg
- ④ その他 ()

5B ネコの尾の長さは長い(L)と短い(l)の2種類があり、長いが優性です。尾の長さが短い(ll)ネコ同士をかけあわせたところ4匹のネコが生まれました。結果、次のようになりました。

1匹目・・・短い 2匹目・・・短い 3匹目・・・短い

それでは4匹目のネコの子の尾の長さはどのようになっているでしょう。

- ① 長い
- ② 短い
- ③ 長いか短い
- ④ その他 ()

6B 次に尾の長いネコ(Ll)同士2匹をかけあわせたところ、4匹のネコが生まれました。結果は次のようになりました。

1匹目・・・長い 2匹目・・・長い 3匹目・・・長い

それでは4匹目のネコの子の尾の長さはどのようになっているでしょう。

- ① 長い
- ② 短い
- ③ 長いか短い
- ④ その他 ()

ご協力ありがとうございました。

研究課題番号 08680266
平成 8・9 年度科学研究費補助金 基盤研究(C)(2)
研究成果報告書

中等理科教育における遺伝学領域の
問題解決学習に関する認知発達論的研究

1998 年(平成 10 年)3 月
発行者 千葉大学教育学部
藤田 剛志
印刷 こくぼ印刷株式会社
