

自然選択説の理解状況に関する調査研究

Mayrモデルを用いて

*Analysis of Student's Understanding on the Natural Selection Theory
by Means of Mayr Model*

福井 智紀

麻布大学・環境保健学部、神奈川県相模原市淵野辺 1-17-71

Tomonori FUKUI

College of Environmental Health, Azabu University, 1-17-71 Fuchinobe, Sagamihara, Kanagawa 229-8501, Japan

Abstract: The purpose of this research was to investigate the understanding of the natural selection theory in detail. A questionnaire was made based on the Mayr model. That model was composed of five facts and three reasonings, based on the natural selection theory of Darwin.

When we showed a eight paragraphs composed of correct components based on the model, the average approval rating was 70–80%. But, for Fact 5 (individual variation), the approval rating was about 40%. The coefficients of correlation between each component wasn't strong. However, correlation was found between some components. Especially for the reasonings placed on the high rank (back side) in the model, the relations of the facts and reasonings were comparatively clear. But, the result of the path analysis showed that the model didn't strictly correspond to students' understanding.

The Mayr model is useful for assessing student's understanding of the natural selection theory.

Key words: Natural Selection, Mayr Model, Darwin, History of Biology, Philosophy of Biology, Path Analysis

はじめに

自然選択説は、生物の進化が生じるメカニズムを説明する仮説・理論として、C.Darwinにより提唱された。Darwin自身は1838年にこの説を着想したが(Mayr, 1988; 邦訳 1994)、世間に広く知られるようになったのは1859年の『種の起原』公刊以降である。

Darwin自身は『種の起原』の中で、「自然選択」という語の意味について次のように述べている。

……種の群は、いかにして生じるのであろうか。これらのことはすべて、……生活のための闘争の結果として生じるのである。この生活のための闘争によっ

て、変異は、いかに軽微なものであっても、またどんな原因から生じたものでも、どの種でもその一個体にいくらかでも利益になるものであったら、他の生物および外的自然にたいする無限に複雑な関係において、その個体を保存させるようにはたらき、そして一般に子孫に受けつがれていくであろう。子孫もまた、これと同様に、生存の機会をめぐまれやすくなる。というのは、どの種でも周期的に多数の子がうまれるが、そのうち少数のものだけが存続していかれるからである。どんな軽微な変異も有用であれば保存されていくというこの原理を、それと人間の選択の力との関係をあらわすために、私は<自然選択>の語でよぶことにした。(Darwin, 1859; 邦訳 1990: 86-87)

このように自然選択というプロセスに基づき進化の動因を説明する理論が、自然選択説と呼ばれるものである。この説の厳密な意味ないし現代的内容は後述するとして、上記の引用からも明らかなように、この説を適切に理解するためには、いくつかの前提となる事実の理解やそれに基づく高度な推論を必要とする。そのため、この学説の誕生には Darwin のような偉大な科学者の永年にわたる地道な努力が必要であったのである。

ところが、現代の理科教育においては、生徒はこの高度・複雑な理論を、わずかな時間とわずかな説明によって理解しなければならない。これは、非常に困難なことであろう。実際、例えば米国では、進化の教授・学習の際に教師や生徒が多くの困難に直面することや、進化に関する生徒の様々なミスコンセプションが存在することが、多数報告されている（例えば、Brumby, 1984 や Bishop & Anderson, 1990 など）。さらに、我が国のように『学習指導要領』の存在しない米国において科学教育における指針としての役割を果たしている『全米科学教育標準』においても、次のような記述を見出せる。

生徒は、進化に関する基礎的概念の理解に関して困難を有している。例えば、生徒たちはしばしば、自然選択を理解していない。なぜなら、彼らは集団における新たな変異の出現と、それらの変異が種の長期的な生存に与える潜在的効果との間に、概念的関係を作り損ねるからである。教師が直面する1つのミスコンセプションは、生徒たちが新たな変異を、生物の必要・環境条件・使用のせいにするというものである。〔後略〕(National Research Council, 1996: 181-184、訳出にあたって邦訳、2001: 178 も参考にした)

かつて筆者は、進化に関するミスコンセプションが、我が国の生徒の間にも諸外国と同様に存在するかどうかを調査した。その結果、進化を学習した後の高校生でも、「自然選択」という語の意味を不適切に単純化して理解していることや、自然選択が起こるための条件について十分に理解していないことなどが、明らかとなった(福井、2000)。さらに、中学生・高校生では一般に、自然選択説よりも用不用・獲得形質遺伝説(いわゆる Lamarck 説)の方が、支持率が高

いことが明らかとなった。自然選択説の立場から一貫して回答した生徒は、中学生 5.9%、高校生 4.4%、大学生 24.1%に過ぎなかったのである(福井・鶴岡、2001)。

Darwin の時代においても、生物が進化するというアイデアは(少なくとも科学者には)広く受容されていたが、その動因を説明する理論としての自然選択説は、なかなか多くの支持を得られなかったことが明らかとなっている。20 世紀の最初の四半世紀には「五割をはるかに超える生物学者、実際、進化生物学者についても同じくらいがネオラマルク主義、さまざまな定向進化説、あるいは跳躍主義に同意していた」のである(Mayr, 1988; 邦訳、1994: 210)。このように、現代の理科授業においても、学説の提唱時の社会においても、進化のメカニズムを説明する中心的理論であるはずの自然選択説は、理解され難いという状況が見えてくる。

1. Darwin の思考過程： 生物学史・生物哲学からの示唆

Darwin 当時とはともかく、現在ではその妥当性についても科学的に一応の決着が付いているはずの自然選択説を、どうすれば生徒に理解させられるのだろうか。

ひとつの方法として、生物学史や生物哲学から有益な示唆を得ることが考えられる。例えば「光合成」概念に関して、Wandersee (1986) はその題名も「科学史は理科教師たちが生徒たちのミスコンセプションを予期するのを助け得るか?」という論文で、過去の(現在では否定された)学説と生徒のミスコンセプションとの比較を試みている。我が国では例えば真船ら(真船、1970 および真船・望月、1970)が、光合成研究の歴史を分析して、そこから教育上の知見を得るとともに、それに基づく教材開発を行っている(この他、生物学史・科学史を活用した研究の詳細については福井・鶴岡、2003 を参照されたい)。

このような先行事例を本研究に敷衍すると、自然選択説を提唱した Darwin 自身の思考過程は、教育上の示唆を与えるかもしれない。例えば、Darwin 自身が自然選択説をどのように着想したのかという生物学史的な知見から、生徒の自然選択説に関する理解

状況を、新たな視点から分析できるかもしれない。また、自然選択説は、前述のように複雑な構造をもつ理論である。そこで、この自然選択説をいくつかの下位構造の結びつきと捉えてモデル化し、そのモデルに基づいて生徒の理解状況を分析することからも、有益な示唆が得られるかもしれない。こちらは謂わば、生物哲学（生物学に関する科学論）から示唆を得ることになる。

これらの目的に、まさに最適な研究が存在する。それは、進化生物学者としても生物哲学者としても著名な、E.Mayrによるモデルである（1988、邦訳1994）。なお、Mayr, 1991；邦訳1994にも同じ論文が掲載されているが、訳者・訳文が異なっている。今回は前者を採った）。Mayrは図1に示したように、Darwinの自然選択説を5つの事実と3つの推論とから成るものとして整理しなおした上で、それぞれの提案者・推論者は誰なのかを検討している。図1にも示されているように、モデルの構成要素は、「事実1：個体群の指数的増加の潜在的可能性（多産性）」「事実2：観察される個体群の定常的な安定性」「事実3：資源の有限性」「事実4：個体ごとの唯一性」「事実5：個体変異の多くが遺伝すること」という5つの事実と、「推論1：個体間の生存闘争」「推論2：差別的な生き残り（自然選択）」「推論3：多数の世代の経過による進化」という3つの推論である。この図に基づく、例えば「事実4：個体ごとの唯一性」などのように、Darwin本人が明らかにしたものではなく、当時すでにある程度は知られていた事実や推論が多いことが明確になる。つまり、Darwinの偉大さとは、進化のメカニズム・動因を明らかにしたいという動機に基づく永年の研究の末に、これらの事実と推論をモデルのように結びつけることに成功した、ということにあることがわかる。

以上から、本研究では、生徒の自然選択説の理解状況をこれまでの研究とは異なる観点から分析・検討するために、このMayrのモデルを手掛かりにした調査を実施することにした。

2. 調査の実施

調査方法は、実施・分析の利便性の観点から、大学生を対象とした質問紙調査法とした。以下、調査問題

の内容と実施方法について述べる。

(1) 被験者

被験者は、麻布大学「教育学概論」受講生189名（主に1・2年次生）である。これは、学芸員課程として開設されており、筆者が担当している講義である。

(2) 調査時期

2005年12月に、筆者自身が講義時間内に実施した。

(3) 調査問題

調査問題は、以下の3部分から構成される。

① 被験者の属性に関する質問項目

被験者の所属学部・学科、学年、性別、高等学校時代の履修科目（進化に関するもののみ）、のそれぞれを尋ねる項目である。

② Mayrモデルに関する質問項目

図1に示したMayrモデルの各構成要素について、対応する文を作成し、各々への肯定度を尋ねる項目である。事実が5つ、推論が3つであるので、【文1】～【文8】の8項目で構成される。

まず、冒頭で次のように質問文を示す。

以下の各文章の内容について、あなたはどの程度正しいと考えますか。まったく誤りであると考え場合には0%、まったく正しいと考える場合には100%として、10%きざみで○をつけてください。

上記のように、今回の調査では、回答スケールは理解状況を詳細に探るため、10%きざみの11点尺度（0～100%）とした。各文章の詳細は結果の節で紹介したいが、例として【文1】を以下に示す。

【文1】

自然界では、動物や植物は一般に、実際に生き残って成長すると予想されるよりも多くの子や種子をつくる。したがって、もし生存や繁殖を制約する要因がまったくはたらかない場合には、その動物や植物の個体数は急激に増加すると予想される。

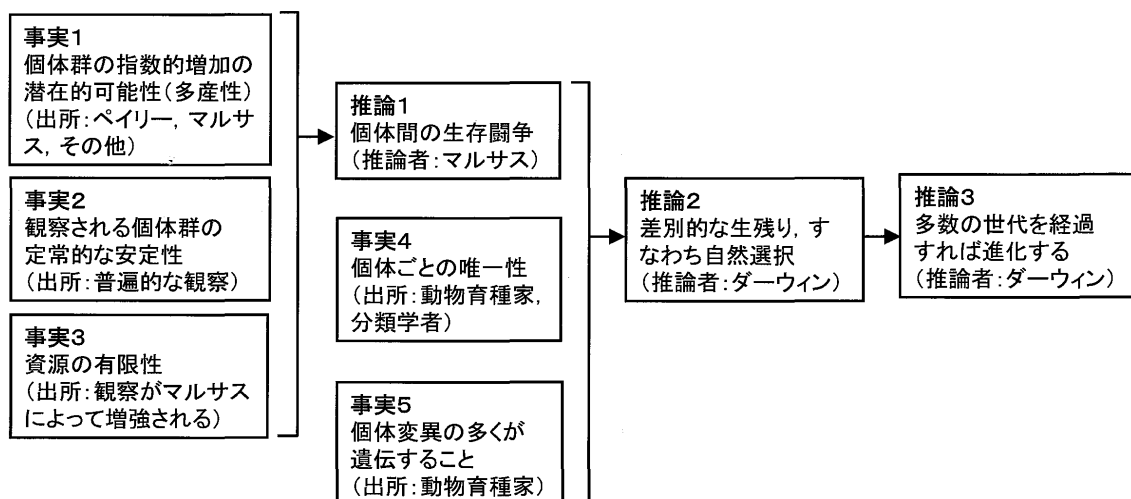


図1 Darwinの自然選択説を構築した5つの事実と3つの推論
(Mayr, 1988; 邦訳1994:243より)

この文は、Mayr モデルの事実1「個体群の指数的增长の潜在的可能性(多産性)」に相当するものである。このように、Mayr モデル中の各構成要素に対応する文を順に示していき、それぞれについての肯定度を尋ねる。このとき、各文はすべて科学的に妥当な文(すなわち100%に○をつけて欲しい文)とした。文の作成に当たっては、すでに述べたように、図1に示したモデル(Mayr, 1988; 邦訳1994:243による)中の各構成要素を、可能な限り実際の例も示しながら、より具体的な文にした。各文の詳細については、「3. 結果と考察」の節において示す(表5)。

③ 自然選択説と他の学説との比較選択

自然選択説を含む4学説から、1つを選択させる項目である。今回の被験者がどの程度自然選択説を支持しているかを探るために設けた。進化現象を異なる学説の立場に基づいて説明している4つの文から、1つを選択させる。この項目は、福井・鶴岡(2001)で用いた問題の1つを改変したものである(そのため本稿では問題作成にあたっての予備的検討や参考文献は紙幅の都合上略する)。

以下では、「キリンの長い首」についての＜疑問＞に対し、その回答として【仮説A】～【仮説D】が示されています。それぞれの仮説をよく読んで、あなたが一番正しいと考える仮説を、ひとつ

だけ選んでください。

わたしが一番正しいと考えるのは、仮説()です。

＜疑問＞

アフリカにすむキリンは、約6メートルの高さにまでとどく長い首をもっています。キリンは、この長い首のおかげで、乾燥して地面に草の少ないところでも、高い木の上の葉を食べて生きることができます。でも、キリンの祖先(むかしのキリン)の首は、あまり長くなく、せいぜい馬やロバと同じくらいでした。それでは、キリンが今のようにとっても長い首をもつようになるまでには、いったいどのようなことがあったのでしょうか。

各仮説は、以下の立場に基づいた、疑問への回答文である。【仮説A】は、Eimer による「定向進化説」である。これは、進化の動因を生物に内在する力に求める。【仮説B】は、Lamarck による「用不用・獲得形質遺伝説」(いわゆる Lamarck 説)である。これは、器官の使用(不使用)や生物個体にとっての必要性(必要性)による器官の発達(退行)と、その結果として獲得された(失われた)形質が遺伝するという、2段階のプロセスによって進化の動因を説明する。なお、こうした説は通常 Lamarck が提唱したと捉えられているが、厳密に言えばこれは Darwin の自然選択説へ

の対抗学説として Lamarck 説が「復活」したことに由来している。Lamarck 本人が実際に提唱した学説は、これとはやや異なっていることが明らかとなっている (Bowler, 1984; 邦訳 1987)。**【仮説 C】**は、De Vries による「大突然変異説」である。進化の動因をすべて突然変異に帰する。**【仮説 D】**は、Darwin による「自然選択説」である。「自然選択」と呼ばれるプロセスによって進化の動因を説明する。なお、これも厳密に言えば、Darwin 自身は、仮説 A～C のような動因も否定してはいなかった。

例として、「用不用・獲得形質遺伝説」に基づく文である**【仮説 B】**を示す。

【仮説 B】

アフリカは乾燥していて草が少ないので、キリンの祖先は木の上の葉を食べるしかなくて、首をのばして葉にとどくように、毎日ががんばらなければならなかったのです。毎日ががんばったので、少しだけ首が長くなって、少し高い木の上の葉にもとどくようになりました。首が少しだけ長くなったキリンを両親にもつ子どもは、両親の努力のおかげでうまれつき首が少し長くて、少し高い木の上の葉にもとどきました。そしてその子どもも、両親と同じように、首をのばして葉にとどくように、毎日ががんばらなければならなかったのです。こうしたことが長い間にくりかえされて、キリンの首は少しずつ長くなって、とうとう、今のようにキリンはとて首が長くなったのです。

3. 結果と考察

(1) 被験者の属性

まず、被験者の属性について述べる。表1に、被験者の所属学部・学科を示した。今回の被験者はすべて、学芸員課程に登録している学生である。環境政策学科所属が約 25% いるので、理系色の強い被験者ではあるが、ある程度は文系の被験者も含まれていると言えるだろう。動物応用科学科が 6 割近くを占めていることも踏まえると、生物分野について比較的強いタイプの被験者が多いことが予想される。学年

表 1 被験者の所属 (N = 182)

所属		人数 (%)
獣医学部	獣医学科	16 (8.8)
	動物応用科学科	105 (57.7)
環境保健学部	健康環境科学科	12 (6.6)
	衛生技術学科	4 (2.2)
	環境政策学科	45 (24.7)

表 3 被験者の性別 (N = 182)

性別	人数 (%)
男	63 (34.6)
女	119 (65.4)

表 2 被験者の学年 (N = 182)

学年	人数 (%)
1 年	76 (41.8)
2 年	102 (56.0)
3 年	2 (1.1)
4 年	2 (1.1)

表 4 高等学校時代の履修科目 (N = 182, 複数回答)

前課程		現行課程	
科目名	人数 (%)	科目名	人数 (%)
綜合理科	1 (0.5)	理科基礎	0 (0.0)
生物 I A	16 (8.8)	理科総合 A	0 (0.0)
生物 I B	178 (97.8)	理科総合 B	0 (0.0)
生物 II	142 (78.8)	生物 I	2 (1.1)
		生物 II	3 (1.6)

※上記の科目のみについて尋ねた (生物の進化に多少とも関連のある科目のみ)。なお、人数の括弧内%は、全被験者に占める履修者の割合を示す。

は表 2 から、1 年次と 2 年次の学生がほとんどである。つまり、卒業研究などによって専門分野を本格的に学ぶ以前の学生が、ほとんどであると言える。表 3 を見ると、性別は女性の方が多いが、男性も約 35% いるので、性比が著しく偏っているとは言えないであろう。

次に、被験者の高等学校時代の履修科目を、表 4 に示す。ただし、ここでは生物の進化に多少とも関係のある科目のみを尋ねた。進化のメカニズム・動因については、旧課程・新課程ともに主として生物 II において取り扱われる。旧課程の生物 II の履修率が約 8 割近くを示しており、多くの生徒は高等学校時代に進化のメカニズム・動因について学んできたと言える。この率は、実際の高校生全体における履修率よりもかなり高く、生物分野について比較的強いタイプの被験者が多いことが、ここからも裏付けられよう。ただ、進化の単元は生物 II の後半に位置づけられて

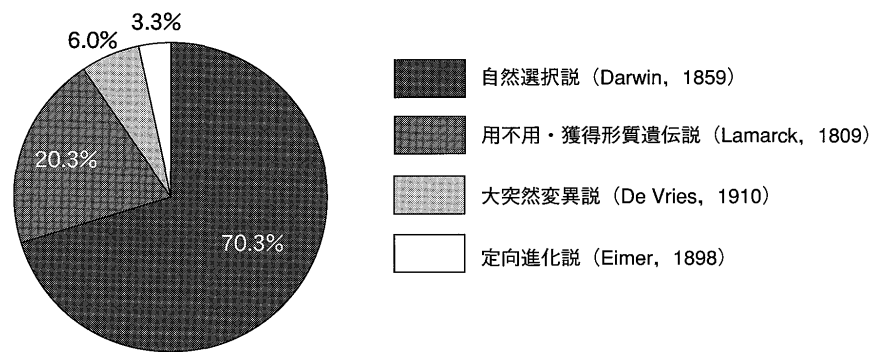


図2 各進化説の支持状況

おり、生化学や分子遺伝学に代表されるミクロ生物学に比べて進化学や生態学のようなマクロ生物学の内容は大学入試において出題頻度が低いこともあり、高等学校の現場では省略したり簡単な扱いに留めたりすることがあるらしい。つまり、進化のメカニズムや動因について「しっかりと学んでいる」かどうかを、明確に知ることは実際には難しい。

(2) 自然選択説と他の学説との比較選択

Mayrモデルに関する質問項目(②)の結果について述べる前に、まず自然選択説と他の学説との比較選択(③)の結果について述べておく。

図2に、この質問項目に対する回答結果を示した。この結果から、約7割が「自然選択説」に基づく説明を支持していることがわかる。ただし、約2割が「用不用・獲得形質遺伝説」に基づく説明を支持しているなど、約3割は現在科学的には妥当とされていない学説を支持したことがわかる。高等学校時代の生物Ⅱ履修者が約8割いたにもかかわらず、自然選択説以外の学説を支持する者も少なくないのである。

(3) Mayrモデルに関する質問項目

さて、いよいよ本研究における主眼である「② Mayrモデルに関する質問項目」の結果について述べる。Mayrモデルの各構成要素とそれに対応する質問項目としての提示文、およびその平均支持率を、まとめて表5に示す。なお、平均支持率を算出して示したが、これは10%刻みの回答(11点尺度)から割り出した平均値であるので、厳密な意味での「支持率」とは若干数値がずれているだろう。それでも、各々の構成要素(すべてが科学的には妥当)を生徒がどの程度支持し

ているのかを知るためには、この数値で十分である。

全体的に見ると、概ね平均支持率が高い(7割前後)が、事実4(個体変異)のみが目立って低くなっている。その理由はわからないが、提示文の末尾に「このように、同じ種であっても個体ごとにさまざまな違いが見られる現象を、『個体変異』という」というように、この提示文のみ語句の定義を明確に示す形の文となっていたことも、影響したかもしれない。

他の各構成要素についても、平均支持率は7割前後とはいえ、そもそも10割(100%)を期待する提示文であるのだから、決して満足な結果とは言えないだろう。特に、自然選択というメカニズムを示した文(推論2)と、それに基づいて進化がおこるという推論を示した文(推論3)の平均支持率が7割台というのは、自然選択というメカニズムや進化の動因としてのその役割を、十分に理解していない生徒が少なくないことが、示唆される結果である。

それでは、各々の構成要素はどのように相互に影響し合っているのだろうか。これを推測するために、各構成要素の回答間の関係を相関係数(Spearmanの順位相関係数)として算出し、表6に示す。表中では、構成要素間の相関が5%水準で有意であったもののみについて数値を示している(有意差なしはN.S.と表記した)。ただし、たとえ相関が有意であったとしても、相関係数が小さければ(通常は概ね0.2が判断の目安とされる)、その相関の程度はわずかに過ぎないということになる。この点を考慮し、考察を容易にするため、ある程度の相関が見られると判断できるもののみを両矢印で結んで図示したものが、図3である。

この図3を見ると、平均支持率が特に低かった事

表5 Mayrモデルと対応する提示文、およびその平均支持率

Mayrモデル	提示文	平均支持率
事実1 個体群の指数的増加の潜在的可能性（多産性） （出所：バイリー、マルサス、その他）	自然界では、動物や植物は一般に、実際に生き残って成長すると予想されるよりも多くの子や種子をつくる。したがって、もし生存や繁殖を制約する要因がまったくはたらかない場合には、その動物や植物の個体数は急激に増加すると予想される。	68.9%
事実2 観察される個体群の定常的な安定性 （出所：普遍的な観察）	実際の自然界では、動物や植物の集団の個体数は、さまざまな要因によって増えたり減ったりする。しかし、ふつうその増減は一時的なものにとどまり、長い目で見ると個体数は一定のレベルに保たれていることがほとんどである。	73.8%
事実3 資源の有限性 （出所：観察がマルサスによって増強される）	動物にとって、エサとなる食物や、巣を作るのに適した場所は、限られている。植物にとっても、水や日光を十分に得られるような、生存に適した場所は、限られている。動物や植物にとって、生存や繁殖のために必要な資源は、十分に存在している訳ではないのだ。	74.1%
事実4に相当 個体ごとの唯一性 （出所：動物育種家、分類学者）	動物や植物は、たとえ同じ種に属している個体であっても、わずかず異なっている。例えば動物は、同じ両親から産まれた子であっても、エサを見つけたり天敵から逃れたりする能力などについては、わずかではあるが少しずつ違いがある。また、植物も、同じ花から得られた種子であっても、成長後の大きさや気候の変化に耐える能力などについては、わずかではあるが少しずつ違いがある。このように、同じ種であっても個体ごとにさまざまな違いが見られる現象を、「個体変異」という。	41.2%
事実5に相当 個体変異の多くが遺伝すること （出所：動物育種家）	動物も植物も、各個体が産まれながらに持っている性質の多くは、次の世代にも遺伝する。例えば、生まれつき足の速い馬どうしをかけ合わせてできた子どもは、他の馬よりも多少とも足が速い可能性が大きい。	69.7%
推論1 個体間の生存闘争	動物は、同じ種に属する個体のあいだで、食物や繁殖相手をめぐって競争を行っている。植物も、動物のように目に見えやすいではないが、水や日光などの資源が得やすい環境をめぐって、競争を行っている。同じ種に属する個体との競争は、同じ環境を利用することになるので、厳しいものとなる。	69.0%
推論2 差別的な生存残り、すなわち自然選択 （推論者：ダーウィン）	ある環境において少しでも有利な遺伝的性質を持った動物や植物の個体は、生き残ったり繁殖に成功したりする可能性が、そうでない個体よりも大きい。つまり、有利な遺伝的性質を持った個体とそうでない個体の間には、生存や繁殖の成功率に、差が生じることになる。	77.9%
推論3 多数の世代を経過すれば進化する （推論者：ダーウィン）	動物や植物の集団において、ある特殊な遺伝的性質を持つ個体が有利な状況が、何世代にもわたって続けば、そうした遺伝的性質は、その集団の中に広まってゆくだろう。それが非常に長い期間続けば、もとの種とは異なった新しい種が誕生することもあるだろう。	77.1%

表6 文1～8の相関係数

	事実1	事実2	事実3	事実4	事実5	推論1	推論2	推論3
事実1（多産性）	—	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	.295	N.S.
事実2（安定性）	N.S.	—	N.S.	N.S.	.180	.189	N.S.	.232
事実3（有限性）	N.S.	N.S.	—	N.S.	N.S.	.300	.301	.270
事実4（個体変異）	N.S.	N.S.	N.S.	—	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
事実5（遺伝）	N.S.	.180	N.S.	N.S.	—	N.S.	.218	.199
推論1（生存闘争）	N.S.	.189	.300	N.S.	N.S.	—	.252	N.S.
推論2（自然選択）	.295	N.S.	.301	N.S.	.218	.252	—	.380
推論3（進化）	N.S.	.232	.270	N.S.	.199	N.S.	.380	—

※ Spearman の順位相関係数、5%水準以上で有意（両側）のもののみ係数を表示。

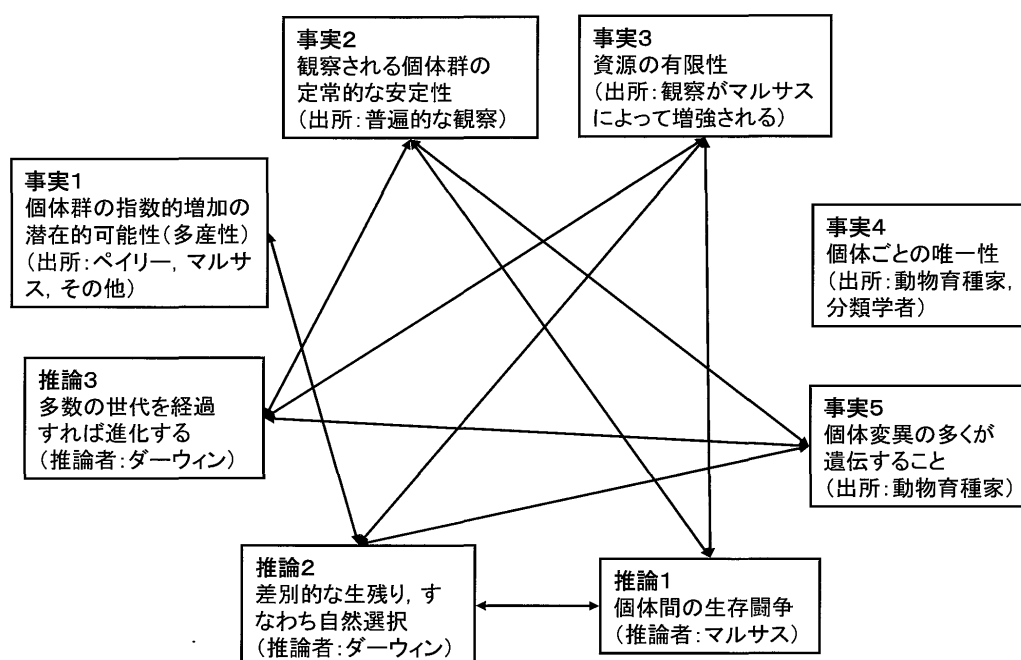


図3 文章1～8の相関関係

実4のみが他と分離されており、他の構成要素に対する回答にあまり関係していないことが示唆される。また、それ以外の各構成要素は、相互に結びつきを形成していることもわかる。さらにこの図では、推論2（自然選択）や推論3（それに基づく進化）のような、モデルのより上位・最終段階に位置づけられた要素が、他の多くの事実・推論との関わりが大きいことが、ある程度裏づけられていると言えよう。

しかし、表6の個々の相関係数を詳細に検討すると、それらはあまり大きくない。このことから、各構成要素のどれかの一の理解を促進しても、全体としての自然選択説の理解促進にはそれほど貢献しないのではないか、と推察される。言い換えれば、自然選択説に基づく進化の理解を促進するためには、個々の構成要素のそれぞれを十分に理解させることによって、その構成要素のネットワーク全体としての理解を促進していくしか、方法はないのであろう。

いずれにせよ、ここまでの調査・分析によって、自然選択説に基づく進化について、生徒の理解状況を新たな視点から捉えることができた。したがって、Mayrによるモデルは、生徒の理解状況をより詳細に探る上で、ひとつの手掛かりになると言えるだろう。

(4) Mayr モデルを用いたパス解析

分析の最後に、Mayrモデルと同様の因果関係を設定し、モデル全体として、生徒の理解状況を捉えるのにどの程度妥当なものであるかを、確かめてみることにした。具体的には、Mayrモデルについてパス解析と呼ばれる手法を用い、パス係数（標準化推定値）を算出・図示した（図4）。

まずデータ入力・整理をSPSS (version12.0J)で行った上で、Amos (version5.0)を用いて最尤法による共分散構造分析を行った。その際、Mayrモデルにおける8つの構成要素を観測変数とし、Mayrモデルと同様にパスを引いた（因果関係を仮定した）。図4では、各矢印の上に表示された数値がパス係数（標準化係数）、ブロックの右肩の数値が決定係数（重相関係数の平方）、円で囲まれた「e」が誤差変数を示している。なお、分析に先立って、誤差変数から観測変数へのパス係数は1とした。

この図を見ると、一部の標準化係数が有意になっているものの、決定係数が概ね非常に小さく、モデルとしてはあまりよくない（生徒の理解状況との適合がよくない）ことがわかる。つまり、各構成要素について、因果関係や歴史的な登場順序まで厳密に理解状況に当てはめようとする、必ずしも被験者の理解

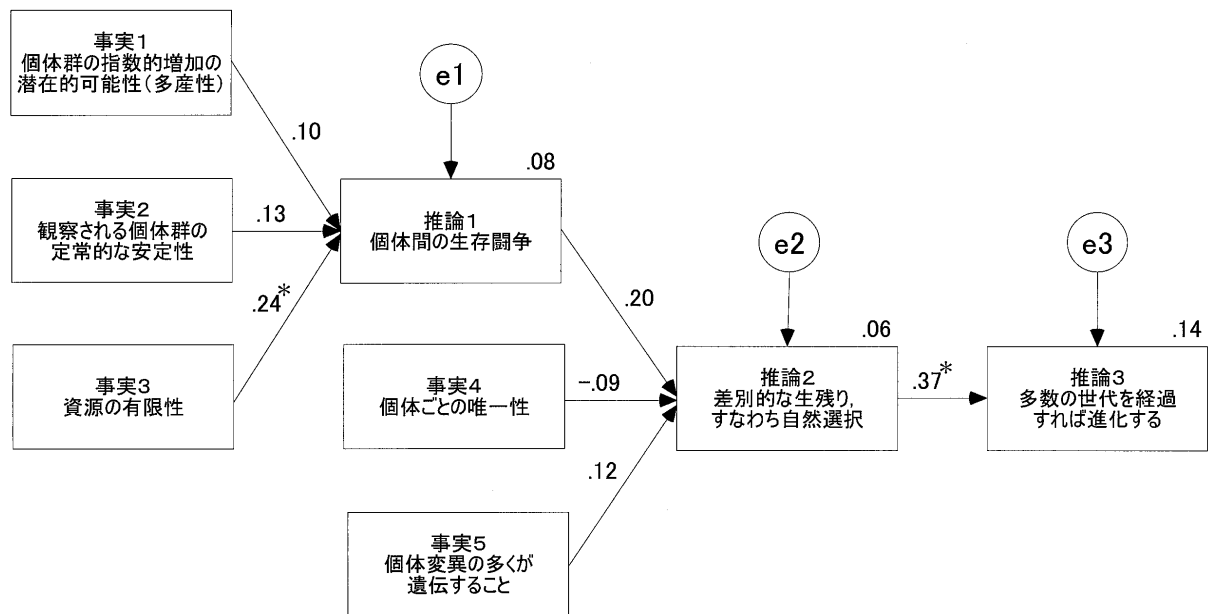


図4 因果関係 (パス解析)

※各文間の相関を無視して単純にAmos5.0にかけたもの(標準化推定値)。
標準化された偏回帰係数のうち有意なものは*を付した。

状況をうまく捉えられないことがわかる。

4. まとめと今後の課題

自然選択説の教授・学習も含めて、生物進化の教育は理科教育においてもっと重視されてもよい、と筆者は考えている。進化の教育の意義やそこでの留意点については、福井(2006)で理論的な検討をした。しかし、生徒の理解状況を実際に明らかにしたり、それをどのように改善するかという、実践的な研究も重要である。

本研究では、Mayrによる「Darwinの自然選択説を構築した5つの事実と3つの推論」モデルに基づいた質問項目を中心に、自然選択説に基づく進化についての理解状況を探った。その結果から判断すると、Mayrのモデルは、生徒の理解状況をより詳細に探る上では、有効であると思われる。しかし、各構成要素の因果関係や歴史的な登場順序までは、被験者に対して厳密には当てはまらない。これは考えてみれば当然のことかもしれない。ある人物の思考の中でさまざまな要素が高度に結びつくことで、全体としての理解が成り立っている場合、その要素のどれが主(原因)でどれが従(結果)かということは、それほど

明確なわけではないだろう。むしろ、さまざまな要素をそれぞれ深く理解することで、全体としての理解が成立するのである。したがって、進化の教授・学習においては、個々の要素をひとつずつ丁寧に理解させていくことと、さらにそれらの要素の関係に意識的に目を向けさせることの、2つが鍵となるだろう。

実は、現在はこの視点に立った具体的な教材開発を進めている最中である。この教材の試行結果も併せて、自然選択説についての生徒の適切な理解を促す方策について、さらに研究を深めていくことを、今後の課題としたい。

※本稿は、日本生物教育学会第80回全国大会(平成18年1月28・29日、神奈川県立青少年センター)において口頭発表した内容に加筆・修正したものである。また、本研究は、平成16～18年度科学研究費補助金・若手研究(B)(課題番号16700543)による支援を受けた。

文献および注

Bishop, B.A. and Anderson, C.W. (1990) Student Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution,

- Journal of Research in Science Teaching*, Vol.27, No.5, pp.415-427
- Bowler 著, 鈴木善次ほか訳 (1987)『進化思想の歴史』朝日新聞社〔原書: Bowler, P.J. (1984) *Evolution, The History of an Idea*, The Regents of the University of California〕
- Brumby, M.N. (1984) Misconceptions about the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students, *Science Education*, Vol.68, No.4, pp.493-503
- Darwin 著, 八杉龍一訳 (1990)『種の起原 (改版)』岩波書店〔原書: Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*〕
- 福井智紀 (2000)「高校生の進化概念についての調査研究」『生物教育』Vol.40, No.3・4, pp.122-138
- 福井智紀・鶴岡義彦 (2001)「主要な進化学説についての生徒の捉え方に関する研究」『理科教育学研究』Vol.42, No.1, pp.1-12
- 福井智紀・鶴岡義彦 (2003)「理科教育における科学史の活用について—我が国における研究の概観と今後の課題—」『東京水産大学論集』No.38, pp.55-65
- 福井智紀 (2006)「進化教育の歴史と展望: 進化の教授価値と今後の進化教育のあり方」『理科教室』Vol.49, No.11, pp.8-15
- 真船和夫 (1970)「光合成研究の歴史と光合成の学習」『科学史研究Ⅱ』No.9, pp.6-10
- 真船和夫・望月嘉美 (1970)「光合成研究史よりみた光合成学習の欠陥と改善について」『東京学芸大学紀要 (第4部門)』No.22, pp.94-104
- Mayr 著, 八杉貞雄・新妻昭夫訳 (1994)『進化論と生物哲学—進化学者の思索』東京化学同人〔原書: Mayr, E. (1988) *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*, The Belknap Press of Harvard University Press〕
- Mayr 著, 養老孟司訳 (1994)『ダーウィン進化論の現在』岩波書店〔原書: Mayr, E. (1991) *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Harvard University Press〕
- National Research Council (1996) *National Science Education Standards*, National Academy Press. [邦訳: 長洲南海男監修, 熊野善介・丹沢哲郎ほか訳 (2001)『全米科学教育スタンダード』梓出版社]
- 日本動物学会・日本植物学会編 (1998)『生物教育用語集』東京大学出版会
- Wandersee, J.H. (1985) Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.23, No.7, pp.581-597

資料

理科教育に関する調査問題

この調査は、理科の授業をよりよくするために行うものです。成績にはまったく関係ありませんので、あなたの考えた通りにお答えください。

【学部・学科】 獣医（獣医・動応） 環保（健環・衛技・環政）

【学年】 （ ）年

【性別】 （男・女）

【高校時代の履修科目（一部のみに）】

※履修した科目すべてに○をつけてください。

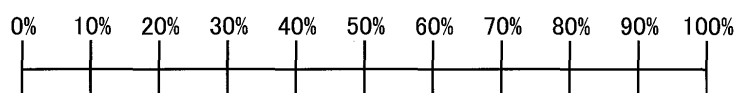
<旧課程> 生物ⅠA 生物ⅠB 生物Ⅱ 総合理科

<新課程> 生物Ⅰ 生物Ⅱ 理科基礎 理科総合A 理科総合B

以下の各文章の内容について、あなたはどの程度正しいと考えますか。まったく誤りであると考える場合には0%，まったく正しいと考える場合には100%として、10%きざみで○をつけてください。

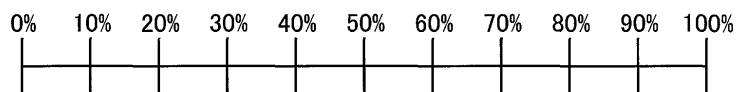
【文章1】

自然界では、動物や植物は一般に、実際に生き残って成長すると予想されるよりも多くの子や種子をつくる。したがって、もし生存や繁殖を制約する要因がまったくはたらかない場合には、その動物や植物の個体数は急激に増加すると予想される。



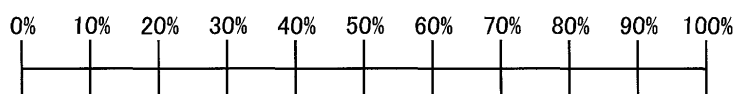
【文章2】

実際の自然界では、動物や植物の集団の個体数は、さまざまな要因によって増えたり減ったりする。しかし、ふつうその増減は一時的なものにとどまり、長い目で見ると個体数は一定のレベルに保たれていることがほとんどである。



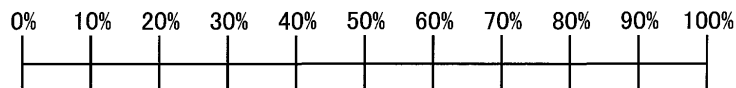
【文章3】

動物にとって、エサとなる食物や、巣を作るのに適した場所は、限られている。植物にとっても、水や日光を十分に得られるような、生存に適した場所は、限られている。動物や植物にとって、生存や繁殖のために必要な資源は、十分に存在している訳ではないのだ。



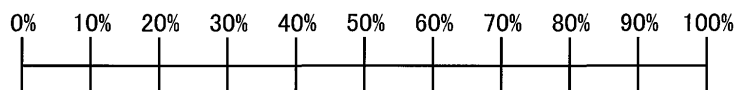
【文章4】

動物や植物は、たとえ同じ種に属している個体であっても、わずかつ異なっている。例えば動物は、同じ両親から産まれた子であっても、エサを見つけたり天敵から逃れたりする能力などについては、わずかではあるが少しずつ違いがある。また、植物も、同じ花から得られた種子であっても、成長後の大きさや気候の変化に耐える能力などについては、わずかではあるが少しずつ違いがある。このように、同じ種であっても個体ごとにさまざまな違いが見られる現象を、「個体変異」という。



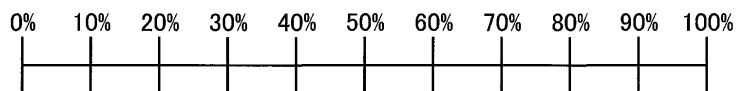
【文章5】

動物も植物も、各個体が産まれながらに持っている性質の多くは、次の世代にも遺伝する。例えば、生まれつき足の速い馬どうしを掛け合わせてできた子どもは、他の馬よりも多少とも足が速い可能性が大きい。



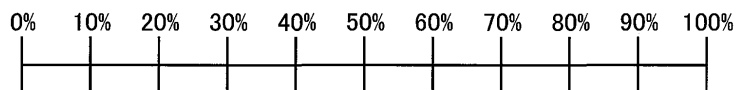
【文章6】

動物は、同じ種に属する個体のあいだで、食物や繁殖相手をめぐって競争を行っている。植物も、動物のように目に見えやすくないが、水や日光などの資源が得やすい環境をめぐって、競争を行っている。同じ種に属する個体との競争は、同じ環境を利用することになるので、厳しいものとなる。



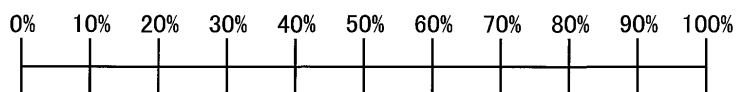
【文章7】

ある環境において少しでも有利な遺伝的性質を持った動物や植物の個体は、生き残ったり繁殖に成功したりする可能性が、そうでない個体よりも大きい。つまり、有利な遺伝的性質を持った個体とそうでない個体の間には、生存や繁殖の成功率に、差が生じることになる。



【文章8】

動物や植物の集団において、ある特殊な遺伝的性質を持つ個体が有利な状況が、何世代にもわたって続けば、そうした遺伝的性質は、その集団の中に広まってゆくだろう。それが非常に長い期間続けば、もとの種とは異なった新しい種が誕生することもあるだろう。



以下では、「キリンの長い首」についての＜疑問＞に対し、その回答として【仮説A】～【仮説D】が示されています。それぞれの仮説をよく読んで、あなたが一番正しいと考える仮説を、ひとつだけ選んでください。

わたしが一番正しいと考えるのは、仮説（ ）です。

＜疑問＞

アフリカにすむキリンは、約6メートルの高さにまでとどく長い首をもっています。キリンは、この長い首のおかげで、乾燥して地面に草の少ないところでも、高い木の上の葉を食べて生きることができます。でも、キリンの祖先（むかしのキリン）の首は、あまり長くなく、せいぜい馬やロバと同じくらいでした。それでは、キリンが今のようにとても長い首をもつようになるまでには、いったいどのようなことがあったのでしょうか。

【仮説A】

生き物はすべて、よりよいものへと向かっていく「力」をもっています。キリンの祖先も、首が長くてよりすぐれたキリンへと向かって変わっていく「力」をもっていました。だから、キリンは少しずつ首が長くよりすぐれたキリンへと変わってきました。こうして長い間に、とうとう、今のようキリンはとても首が長くなったのです。

【仮説B】

アフリカは乾燥していて草が少ないので、キリンの祖先は木の上の葉を食べるしかなくて、首をのばして葉にとどくように、毎日ががんばらなければならなかったのです。毎日ががんばったので、少しだけ首が長くなって、少し高い木の上の葉にもとどくようになりまし。首が少しだけ長くなったキリンを両親にもつ子どもは、両親の努力のおかげでうまれつき首が少し長くて、少し高い木の上の葉にもとどきました。そしてその子どもも、両親と同じように、首をのばして葉にとどくように、毎日ががんばらなければならなかったのです。こうしたことが長い間にくりかえされて、キリンの首は少しずつ長くなって、とうとう、今のようキリンはとても首が長くなったのです。

【仮説C】

キリンの祖先の中に、あるときとつぜん、今のキリンと同じように首がとても長い子どもがうまれました。こうした首の長いキリンは、同じときにたくさんうまれました。そうした首の長いキリンは、それ以前にいたキリンの祖先とは、まったくちがっていました。そして、この新しいキリンこそ、今のキリンなのです。このように、あるときとつぜんに、今のような首のとても長いキリンがアフリカにあらわれたのです。

【仮説D】

キリンの祖先の中には、うまれつき少し首の長いものがいました。首が少しだけ長いキリンは、首の長さがふつうのものや短いものよりも、木の上の葉を食べやすかったので、厳しいアフリカの草原でも、生き残ることが多かったのです。また、うまれつき少し首の長いキリンからは、親によく似た少し首の長い子どもがうまれやすいのです。うまれつき少しだけ首の長いキリンが生き残りやすく、少しだけ首の長いキリンをうむので、首の長いキリンが少しずつふえていきます。こうしたことが長い間にくりかえされて、とうとう、今のようキリンはとても首が長くなったのです。

ご協力ありがとうございました。