

生物進化の教授価値の検討

—我が国と米国における諸議論を手掛かりに—

Study on Educational Values of Biological Evolution

—Based on Arguments in Japan and the United States of America—

福井 智紀*・鶴岡 義彦**

FUKUI Tomonori TSURUOKA Yoshihiko

1. はじめに

「進化の観点がなければ、生物学において意味をなすことは何もない」。米国の著名な進化学者である T. Dobzhansky がこう題した小論を著したように (Dobzhansky, 1973), 生物学における進化 (evolution) という概念の重要性については、多くの生物学者が認めている。また、*Journal of Research in Science Teaching* 誌の「生物進化の教授・学習」についての特集号 (1994, Vol.31, No.5) に巻頭言を寄せた元編者 R. Good は、先の Dobzhansky の言葉を引用した上で、以下のように文章を結んでいる。「進化の教育は、進化が生物学に対してそうであるのと同じ位、科学 (生物) 教育に対しても重要であるはずだ」(Good, 1994)。米国では、進化は生物学において重要であるばかりではなく、科学教育においても重要と見なされているのである。

一方、我が国では進化は、生物学の分野においては米国と同様に重要と見なされているのかもしれない。しかし少なくとも科学教育においては、以下のように、進化が重要と見なされているとは到底言えない現状が窺える。

我が国の初等・中等教育課程においては、進化は主に、高校生物Ⅱにおける大項目「生物の進化と系統」で取扱われる (この中の中項目「生物の進化」で小項目「生物界の変遷」と「進化の仕組み」が取扱われる)。高校生物ⅠAにおいても、ヒトへ至る生物の進化史が簡単に取扱われるが、進化の仕組み等は取扱われない (文部省, 1989a)。中学校理科においても、第2分野の大項目「生物のつながり」において「いろいろな生物の特徴を比較し、生物同士の類縁関係を見いだすとともに、生物が進化することを知ること」(文部省, 1989b, p.58) とされているが、進化の仕組み等は取扱われない。高校生物Ⅱの履修者は高校生の一部に過ぎないという現状においては、多くの生徒は、たとえ生物が進化するということが自らは漠然と学んだとしても、その仕組み等については学ばないまま、初等・中等教育を終えてしまう (嶋田, 1997)。ひとことで言えば、進化を軽視した初等・中等教育が窺えるのである。このような現状に対しては、一部の教師による危機意識の表明も見られるが (矢島, 1997)、新教育課程の学習指導要領を見る限り、今後も進化が重視されるような状況にはないと思われる (文部省, 1998, 1999)。

なぜ、生物学において重要であること自体には全く疑問の余地がない進化が、初等・中等教育段階の中ではごく限られた取扱いしかされないのであろうか。おそらく直ぐに、進化という概念は非常に高度で複雑な概念だから、様々な科学的概念を学んだ後の最終的段階でしか教授するのは困難である、という回答がなされるかもしれない。実際、このような考え方が、学習指導要領における進化の取扱いの背景にはあるものと思われる。しかしこれは、進化の教授をどの段階で行うかという順序の問題について述べたものでしかなく、履修者の比較的高校生物Ⅱという科目でしか進化が詳しく取扱われない (すなわち多くの者が進化について教授されない) という理由にはならない。筆者は、我が国において進化の教授がこのような軽視されている現状には、大きく見て次の2点の原因があると考え、1. 進化という生物学において最重要にあたる概念の、科学教育にお

* 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科

** 千葉大学教育学部

ける「教授価値」が、我が国においては十分に理解されていない。2, 進化という概念が高度で複雑であるために、教授・学習に様々な困難が伴う。そしてこれに対する具体的な改善策が十分に検討されていない。

本論文では、このうちの前者に焦点を当てる。すなわち本論文の目的は、進化が科学教育においてどのような「教授価値」を持つのかについて、我が国及び米国のこれまでになされてきた諸議論を取上げて、整理・考察することである。

2. 我が国における諸議論

まずはじめに、我が国においてこれまでにどのような議論がなされてきたかを、整理・考察することにする。

我が国においては、「1. はじめに」で述べたことから予想されるように、進化の教授価値について真正面から論じた文献は多くはない。それでも、比較的まとまった議論を展開しているものも見出せる。例えば、真船・鷹取編（1981）『生物指導法事典』における「生物」「進化」及び「生物の歴史」の項の記述、さらに真船（1973）『新訂・理科教授論』、中原（1968）『生物教育論』、及び庄司（1965/1980）『仮説実験授業』、京都理科サークル（1984）『子どもとともに学ぶ生物教育』等が挙げられる。

近年には、『科学』（1997年）、『理科教室』（1999年）、『遺伝』（1998年）の3誌において、進化の教授・学習に関する特集が組まれている。ただし、進化の教授価値について詳細に論じたものは、これらに掲載されたもののうちの一部に過ぎなかった。この中では特に、嶋田（1997）、河田（1999）、鈴木（1999）、及び田幡（1998）が、進化の教授価値について明確に言及しており重要である。

以下ではこれらについて、まずは中原（1968）の議論から見ていくことにする。なお、ここでの彼の議論は、主として小学校高学年と中学校の段階を対象としたものである。

科学教育の重要な任務は、人間が自然の事物に対して、科学的に思考するために不可欠な、物質に普遍的な観点を着実に育て、その観点を思考の武器として、事物に取り組んでいけるようにすることである。このような観点は、最初はごく大ざっぱな、あまり精密でない、低次な形で教えられ、関連するすべての教材の学習の中で、事物に適用され、検証される中でだんだんと精密な、高次な形に育てられていくだろう。〔中略〕

旧来の理科教育では、このような課題が、まったく無視されているように思われる。たとえば、生物の歴史性は、生物を科学的にとらえていくために不可欠な観点であり、全生物教材を貫いて着実に育てられなければならないものであるはずなのに、現在の教科書でみる限り、そのような姿勢はまったくうかがうことができない。それどころか、直接に経験できない進化のような教材は、理科教育からはぶくべきだという見解すらあると聞いている。（中原，1968，pp.33-34）

ここでは、「生物の歴史性」が重要であることが述べられている。中原にとっては、生物を歴史的視点から眺めるという生物観を与えることが重要なのである。彼は本書中で、5つの教材から成る生物学教育の構想を解説しているが、そうした立場はこの中にも現れている。例えば、「[1] 生物とは何か」という教材における「<4>生物の世界（まとめ）」というセクションについて、以下のように解説している。

これまでの学習の中で、個々の教材に関連して、生物の歴史について話してきた。ここでは、ごくおおまかに、全般的な歴史の話をすることによって、これまでの学習のまとめとする。

ここでは、進化の事実を証明することや、その要因を説明することが目標なのではない。現在の地球上にすんでいる生物が、すべて、「食べて、ふえて」生きているという、生物に特有な、そしてすべての生物に普遍的特徴をもっている一方、それぞれの生物の生き方、かたち、しくみは、生物によってまったくさまざまである。このような生物の多様性が、じつは、現在の生物がすべて進化の結果現われたためであるとい

う、生物に対する歴史的なみ方を育てることが、ここでの主眼である。(中原, 1968, pp.130-131)

さらに、進化を直接扱う教材として提示されている「【5】生物界の発展」でも、次のように述べている。

これまでの学習においても、折にふれて、生物のあらゆる諸性質、諸事実の歴史的背景を考えるようにしてきた。

ここでは、今までの学習の総まとめとして、生物の本質を、その起原と発展の過程にさかのぼってたずねることにする。いうまでもないことだが、ここで学ぶのは、生物学の一領域としての「進化論(学)」の解説ではない。生物界がどのようにして生まれ、どのようにして発展して現在の生物界をなしたに至ったかを知ることを通して、「生物とは何か」の本質的理解に迫ろうというものである。

この学習においては、すでに学んだ多くの知識を十分に使いこなさなければならない。それは、今までの学習の復習でもあるが、それだけではなく、それらの知識を歴史的な観点のもとに、みなおし、総合する作業がかわる。「あのとき学んだ、あのようなことは、生物界の発展の歴史の上からいえば、このような意味があったのだな」というような理解を目標とするのである。(中原, 1968, p.177)

すなわち中原の立場では、歴史的観点から生物を体系的に捉えさせることに、進化の教授価値があるとされている。言い換えれば、進化生物学の基礎を教授すること自体はその手段に過ぎず、相対的には重要ではないのである。それは、「あとがき」に次のように述べられていることでも明らかである。

「進化を教える」という場合、「生物学」から考えれば、いわゆる「進化学(論)」の内容を理解させる、というように連想する。しかし、教育で大切なのは、本文中でくりかえしのべたように、生物に対する歴史的なみ方を育て、それによって、生物を科学としてとらえられるようにすることである。(中原, 1968, p.208)

彼のこのような立場は、彼の生物(学)教育の構想全体に及んでいる。実際、「【2】個体維持と細胞のはたらき」の中の「<1>動物と植物」など、進化を直接扱ったのではない部分の指導計画やその解説の箇所などでも、進化の観点が示されている。つまり、生物(学)教育全体を構造化するために、進化の観点が用いられているのである。言い換えると、進化に大きな教授価値を見出す立場からすれば、現在の生物教育は甚だ不十分なものであり、生物教育全体の再編が必要なのである。こうした立場をより明確に示している議論を、次に示そう。

真船・鷹取編(1981)による『生物指導法事典』の中の、「進化」の項には、次のように述べられている。

子どもたちに進化の概念をあたえることは、生物教育の中心課題の1つである。生物の進化についての理解がないと、生物を体系的に教えることはできないからである。そこで、進化をただしく理解し、生物を進化の観点からとらえることができるようにするためには、「進化」の授業を適切に行なうだけではなく、生物教育全体を改善し、つねに進化の概念をあたえるように、教材を組織化しなくてはならない。こうすることによって、生物教育全体の効果をあげることができる。

ところが、現在の生物教育は、進化の概念をふまえて教材をあつかうようにはなっていない。したがって、「進化」を1つの単元で教えるにはどうするかという問題と、生物教材全体を進化の観点からどうあつかうかという問題を、早急に解決しなければならない。(真船・鷹取編, 1981, p.199)

ここでは、生物教育を組織的・体系的に行うためには、進化を理解させる必要があるということが述べられている。つまり、進化の理解が生物界全体についての理解を体系化することに、進化の教授価値があるとされている。また前述の中原と同様に、「生物の歴史性」を理解させることにも、進化の教授価値を見出している。これについては、項目「生物」について示された「内容・教材」の「中学校」部分に、次のような記述が見られる。

④ 最後に、生物のもっとも重要な特徴である「生物の歴史性」、つまり「進化」について理解させる。

進化は「生物」の学習だけではなく、その他の生物現象の学習においても、かならずその基礎にすえて考えるようにしなければならない。それと同時に、進化をただしく理解するためには、遺伝や発生についてもきちんと学習しておく必要がある。そして、生物の学習のしめくくりとして、「生命の起原」や「生物の歴史」をとりあげる（→進化、遺伝、発生、生命の起原、生物の歴史）。(真船・鷹取編, 1981, p.14)

また、進化の教授には次のような副次的価値も見出されている。

子どもたちに生物の進化の話をすると、ひじょうに興味をもつ。思考範囲を数10億年まえまで拡大できるからであらう。とくに、魚類の進化、両生類の出現、爬虫類の進化と恐竜の滅亡には興味をつよくもつようだ。

それにもかかわらず、「生物の歴史」のとりあつかいは、これまで軽視されてきた。それは、生物の歴史を経験的にとらえることができないということによるのだろう。だが、いくつかの事実をもとにして推論をおこない、そこで得られた結論がすでに検証済みの事実と矛盾しないかどうかを調べ、矛盾がなければ、それはただしい結論とみなせるといふ、論理の過程をたどらせることは、だいじである。小学校高学年や中学校ともなれば、こうした思考に関心をもつものである。(真船・鷹取編, 1981, p.228)

ここでは、進化の教授が児童・生徒の興味・関心を喚起するという情意的な教授価値と、進化を取扱うことによって科学的論理がどのようなものを学ばせることができるという、副次的な教授価値が述べられている。

なお、この『生物指導法事典』の編者である真船は、進化を非常に重視する論者のひとりである。例えば、『新訂・理科教授論』において彼は、次のように述べている。

生物分野では、物質およびエネルギーの転化と保存の法則の生物学的なあらわれである物質交代（エネルギー交代）と生物界でとくに重視されなければならない進化の概念が中心概念であらう。(真船, 1973, p.94)

進化の概念は、分類、構造と機能、環境と生物、生物の相互関係、生殖、発生等を学習する場合の基礎とならなければならない。したがって、この概念も可能な限り早い段階に導入して、いろいろな生物現象を考えていく場合に使い、確実に身につくようにすべきだろう。(真船, 1973, p.114)

さて、進化の教授価値について、徹底して子どもの視点から述べたものとして、庄司(1965/1980)における議論が挙げられる。彼は、「いろいろな生物と進化」の学習設計について述べた箇所の中で、進化を学習させる意味について、子どもがどのような点で具体的に「トクする」のかという視点から、次のように述べている。

只今現在、進化を学習することによって子ども自身何をトクするのであるか。“勉強するのは自分がトクをするためだ、それを学習することによって、おのれの能力がまし、オレが有能になった、トクをしたとしみじみ思うような現在主義をとってみなければならん”……このいきかたで。

つまり、この学習において、

- ・多様な生物の世界をシステマティックにみられるようになること
 - ・スジをもってつかむ、そういう「スジ」がえられること
 - ・そしてそういうつかみ方が重要なんだ、と思えるようにしたいこと
- (生物の世界をシステマティックにみる観点は今までに強調されたか)

・ばらばらな習得はつらくておぼえにくいものだ。知が力となりにくい。そればかりではなく、自分の考えを発展せしめて「ママ」いきにくい。—その辺に反発し、進化学習の有効性をつかみとらせたい。

進化を知っていることはスバラシイコトなんだ。

それを知っているとスゴク便利なんだ。

………そういうことを知っている強さを感じるようにしたい。(庄司, 1965/1980, p.370)

子どもからの視点が強調されているものの、「システマティック」「スジ」「ばらばらな習得はつらくて…」そして「便利」という語に着目して要約すれば、彼もまたこれまでの議論と同様、生物を歴史的観点から体系的に捉えさせることに、進化の教授価値を見出していることが判る。

このように、生物の歴史性に着目して、それに基づく体系的な自然観・生物観を与えることに進化の教授価値を見出す立場は、若干の内容の違いこそあれ、我が国において非常に古くから繰り返し論じられてきたのである。例えば、京都理科サークルによる『子どもとともに学ぶ生物教育』でも、次のような記述が見られる。

・・・さらに、生物教育の場合は、人間に関する科学の土台を教えるという意味で特別の配慮が必要です。それは、自然の歴史性の認識・生物進化の認識を深めるということです。人間の今ある姿というのは、もちろん歴史的な産物です。人間がおかれている生物的・無生物的環境もまた、歴史的な産物です。だから生物分野では、生物進化の観点を明確にしなくてはなりません。それを通して自然全体をつらぬいている歴史性を認識する力も養うことができるのです。(京都理科サークル, 1984, p.30)

このように生物の歴史性に着目した議論は、近年にも見られる。例えばそれは、鈴木(1999)のその名も「“進化”なしには生物は理解できない」という小論に、端的に見出せる。ここで鈴木は、次のように述べている。

35億年の、ある特有の歴史があって現在の生物がいる。その歴史がもし違ったものであったならば、今は違った生物が地球上に出現していたかもしれない。だから化石等からわかっている具体的な歴史的事実を学んでいく授業は大切である。それに加えて、進化は大昔に終わってしまったことではなく、現在も現実に起っているということを生徒に印象づけるような授業をもっとやっていきたい。例えば、ある1つの種が多様な環境に進出していき、数万～数百万年という比較的短い時間のうちに、その環境に適応した多様な種が分化していった(適応放散)という事実がいくつもわかっている(ガラパゴス諸島のダーウィンフィンチ類やビクトリア湖のシクリッド類)のだから授業で是非取りあげてみたい。(鈴木, 1999, p.5)

ここでも、これまでの議論と同様に、生物の歴史性に着目している。しかしここでは、生物の歴史性すなわち進化が決して過去のものではなく、現在も進行しつつあるものなのだという点を、生徒に印象づけようとしている点に特色がある。つまり、静的・固定的ではない動的・可変的な自然観・生物観を与え得る点に、進化の教授価値がある。また、彼女は「あらゆる生物学習に進化の視点を」という見出しの下に、次のように述べている。ここでは、歴史的観点から生物を体系的に見るということがいかなるものであるかが、具体的に示されている。

生物の体のづくり、体の中でおこっている働き、行動、他の生物との関係等々、生物現象はすべて歴史的に作りあげられてきたものだから、生物の学習には進化の視点が重要だ。例えば中学の植物学習では、種子植物・シダ植物・コケ植物・ソウ類、それぞれの体のづくりや働き、子孫の残し方を学ぶ。この時それらを羅列的にあげるだけでなく、「4億年前から、植物が水中から陸上へと生活場所をひろげていく過程で、植物は陸上生活に適した体のしくみ(乾燥にたえる、水の確保、体を支える)と子孫の残し方を少しずつ獲得していった」と多くの教師はやってきた。そしてこれは大変重要な学習であった。(鈴木, 1999, p.5)

歴史的観点から生物を体系的に見るということがいかなるものであるかが、具体的に示されているものとして、もうひとつ田幡(1998)を挙げておこう。

生物の学習を構造化する進化の枠組み

生物の斉一性と多様性を説明する進化の学習は、教科書の一部の単元で進化論を理解するだけのものではない。からだのつくりとはたらきを中心に学ぶ生物教育の学習を構造化する、初等・中等教育を通じた作業なのである。

たとえばタマネギの細胞やわたしたちの口腔上皮の細胞をアセトカーミンやメチレンブルーで染色して光学顕微鏡で観察すると、どちらの細胞にも核を見ることができる。動物と植物という個体全体のつくりがまるで異なる生物の細胞がよく似たつくりをしていることは、動物も植物も同一の祖先をもつと考えることによって納得がいく。また、アメーバとして単細胞の状態で活動しながら、餌がなくなると集合して子実体を形成する細胞性粘菌が、細胞の学習の際にしばしば教科書に登場するのは、単細胞生物が集まって多細胞生物になったという進化の過程を彷彿させるためではないだろうか。さらに、同化の学習ではしばしば葉緑体の光合成系と共に、化学合成細菌や酸素を発生しない光合成細菌などの同化も取り扱われているが、これらの内容は地球環境の変遷に伴った光合成系の進化という文脈でとらえると理解しやすい。(田幡, 1998, pp.12-13)

以上を見ると、鈴木の場合は生物の歴史的な変遷に着目しており、田幡の場合は現在の生物の多様性と斉一性に着目している。つまり、前者は進化の垂直的側面に、後者は水平的側面に、それぞれ着目していると言えよう。この両者の区別について、著名な進化生物学者で生物哲学者でもある Mayr は、次のように述べている。すなわち、「垂直進化論は、時間次元における適応的变化を扱い、水平進化論は空間次元における新しい多様性の起源、すなわち生物集団の新しい生態的地位への移動に伴う、新種や新種の起源を取り扱う」(Mayr, 1991, p.35)。進化の教授によって生物を体系的に捉えさせる場合、この二つの側面があり得るということが重要であり、教授においても両者が意識されねばならない。

以上は、歴史的存在であることが生物の本質のひとつであるから、それを理解させるため進化の教授価値が生じるのだという議論である。このことは言い換えると、現在見られる生物の性質を真に理解させるためには、生物の歴史性(進化)の視点が不可欠であるということである。つまり、現在の生物の性質に対する疑問は、必然的に進化生物学的な説明を要求するのである。「・・・進化生物学者が『なぜ』と問うとき、いつもその人の心の中にあるのはつねに、歴史的に『いかにしてそうなるのか』ということである」(Mayr, 1988, p.29)。この点について、進化の教授価値と絡めて明確に述べたものとして、我が国の進化生物学者である河田(1999)が挙げられる。

・・・私の知り合いの生物学者の中には、きちんと現代の進化生物学について教えるべきだと主張する人は少なくない。しかし、現代の生物学の知見が膨大に増加している中で、進化生物学のたくさんの知識を高校や中学で教えることがそれほどの意味のあることとは思わない。生物学は知識を暗記することではない。生物の進化を考えるということが生物を観察したり、生物を理解する上でどのように重要なのかを、考えてみるのが学校教育では重要であると思われる。すべての生物は進化によってつくられたものであり、「なぜ生物はそのような性質をもっているのか?」という疑問は進化のしくみを理解しなければ答えられない問題なのである。(河田, 1999, p.6)

また、彼は次のようにも述べている。

小、中、高等学校において進化について何をどう教えるべきかという問題以上に重要なことがある。「生物や自然を利用した教育をどのように行うのか」、「自然観や生物観をどうとらえさせるのか」、ということすべてに関して、なぜどのように生物は進化してきたか、という問題が関わっているのである。現在、最も問題だと思われるのは、現場の教師の方々だけでなく、多くの教育学者が進化について適切な理解をしていないということである。進化に関わる問題は、教科書の中の進化という項目だけにとどまらない。小学校で

の生活科や道徳の問題にはじまって、さらには教育学者の教育観や人間観に進化の理解のしかたが影響しているのである。(河田, 1999, p.7)

彼によれば、自然や生物に関わる教育活動にはすべて、進化の正しい理解が根底になければいけないのである。しかし実際には、小学校の段階から、不適切な進化の理解が教え込まれていると言う。彼は次のように、現在の教育を批判する。

・・・小学校のころから生徒は、進化メカニズムの不適切な解釈を知らず知らずのうちに教えられ、それによって間違った自然観や生物観が植え付けられているといえるだろう。この問題は、教師の方々の責任というよりも生活科などを推進してきた教育学者らの責任が大きいと考える。教育学者の中には、自分たちの教育論に都合のいいように生物観をつくりだしている人々が少なくないのだ。(河田, 1999, p.8)

つまり、現在の生物の性質を真に理解するために生物の歴史性の視点が不可欠であるにも関わらず、実際にはかなり早い段階から誤った進理解が植え付けられていると彼は指摘するのである。これは、既述の諸議論よりもかなり悲観的なものであるが、進化の観点から生物教育全体を再編する必要があるという立場は共通している。

現在の生物教育を進化生物学者の立場から痛烈に批判したものとしては、嶋田(1997)も重要である。その彼は、進化の教授価値をどのように考えているのであろうか。

それにしても、一般教養人だけでなく生物学者でさえ、いつまでも“進化論”と呼びならわし、“進化は実証できない”などと科学になじまない分野であるかのような認識をもっているようだ。これはぜひ改めていただきたい。現代の進化生物学は科学的事実を基盤とし、その最前線を事実の積み重ねで上げていく実証科学である。そして、進化の理解は現代生物学が掲げる究極課題の一つであるはずだ。それと同時に、科学リテラシーとして、宇宙の姿や遺伝子としての DNA、地球の構造と歴史などと並んで、一般の人々にも知っておいてもらいたい基本的な知識だろう。いまや大多数の子供は高校へ進学する。科学先進国を自認するはずの日本で、その重要な分野の一つが高校レベルで適切に教育できないまま放置されているとしたら、自然科学に対する国民全体のスタンスが問われかねない。(嶋田, 1998, p.22)

進化生物学の最前線を理解するには、もちろん幅広い専門の知識を必要とする。それでも、明らかにしたこと的事实は高校生にやさしく説明できるはずである。もはや現代的価値を失ってしまったような古い学説をいくら説明しても、進化は理解できないのだ。それなのに、なぜこういう古色蒼然としたスタイルが、改善されないままずっと踏襲されているのか。(嶋田, 1998, p.24)

ここに示されている彼の立場は、これまでの諸議論とは若干異なるものである。すなわちこれまでの諸議論は、「歴史性」が生物の本質であるが故に、進化には教授価値があるのだという立場で共通していた。つまり、進化という概念の特殊性が、かなり明確に意識されていた。しかしここに示されている彼の立場は、「科学リテラシー」としても、進化生物学の基礎を理解させる必要がある、というものである。おそらくこれは、彼の議論が主として高校生以降の段階を視野に入れていることにも関係しているだろう。これまでに述べてきたような、進化という概念の特殊性に着目し、そこに進化の教授価値を見出す議論とは若干異なり、科学リテラシーとして現代の科学の基礎・基本を理解させることが必要であるという立場から、進化の教授が不可欠であるという点を指摘していて重要である。

3. 米国における諸議論

上では、進化の教授価値に関して我が国においてこれまでになされた諸議論を整理・考察した。以下では続い

て、米国において進化にどのような教授価値が見出されて来たかを整理・考察する。

進化の教授に関して、米国において特に重要な出版物として、National Academy of Sciences (全米科学アカデミー、以下 NAS, 1998) による『進化と科学の本質についての教育 (Teaching about Evolution and the Nature of Science)』が挙げられる。本書は、NAS の中の進化教育に関する研究グループが、1998 年に出版したものである。

進化の教授価値については、Chapter1 で、「なぜ進化を教えるのか (Why Teach Evolution?)」という表題の下でまとまった議論が展開されている。進化の教授価値について要約された箇所を、以下に示そう。

要約すると、生物進化 (biological evolution) は、我々を取り巻く世界についての最も根本的な特色のうちの3つに対する、原因を説明する。すなわち、生物の間の類似、生物の多様性、我々が住んでいる物理的世界の多くの特色、である。進化の点からのこれらの事象についての説明は、物理学、化学、地質学、生物学の多くの領域、及び他の諸科学の、成果を参考にする。このように進化は、生物学者が世界を理解するのに用いる、中心的な組織化原理である。進化を説明すること無しに生物学を教えることは、生物についての我々の理解に偉大な秩序と首尾一貫性 (great order and coherence) をもたらす強力な概念を、生徒から奪う。(NAS, 1998, p.3)

これを見ると、前節で整理・考察した我が国における諸議論と、基本的な立場は共通しているように見える。しかし、本書ではこれに加えて、いくつかの別の教授価値も示唆している点が注目される。

進化の教授はまた、生徒にとっての大きな実際の価値をも持つ。直接的もしくは間接的に、進化生物学は、社会への多くの貢献をしてきた。〔中略〕そのような例は、いくたびも増やされ得る。進化的研究は、今日、生物学の最も活動的な分野のひとつであり、重要な実際の応用を伴う発見が、定期的に行われる。(NAS, 1998, pp.3-4)

進化生物学の発展とその医学等への応用が、社会に大きな寄与をしてきたことは言うまでも無い。ここでは例として、病原体の薬物耐性への対処、農業の進歩、化石燃料の発見などが挙げられている。しかし、これはいわば進化生物学の「社会的」価値である。ではこれが進化の「教授」価値にどのように結び付くのかという点については、本書では明確に論じられていない。しかし、将来、医学や生物学の分野へと進む可能性を持つ生徒たちにとって、進化の教授は大いに価値がある。また、進化生物学の成果が応用される社会においては、非専門家となる生徒たちにとっても、当然理解しておくべき科学リテラシーとして進化の教授が必要であると言えよう。本書における上記の記述はおそらく、これらを念頭に置いたものであろう。

なお、米国においては、進化の教授に対して、宗教的な立場に基づいて激しく抵抗する人々がいる。こうした人々への反論として、本書では次のように述べられている。

公立学校における進化の教授に反対する人たちは時に、教師たちが「進化に反対する証拠」を提示することを求める。しかしながら、進化が起きたかどうかについての科学者共同体の中での論争は存在しないし、進化が起きなかったという証拠は存在しない。進化がどのように起きたのかについての詳細の幾つかは、依然として研究されている。しかし、科学者たちは、進化に帰着する詳細なメカニズムを論争し続けているのに過ぎないのであって、生物の歴史についての説明としての進化の、全般的な正確さを論争しているのではない。(NAS, 1998, p.4)

そして、宗教的信念との対立を、むしろ積極的に、進化の教授価値に結び付けようとするのである。

進化についての教授は、他の重要な機能を持つ。一部の人々は進化を、広く保持される信念との対立 (conflicting) と見なすので、進化の教授は、科学の本質を明らかにする極上の機会と、科学を他の人間的

努力 (human endeavor) 及び理解の形態と区別する極上の機会を、教師たちに提供する。(NAS, 1998, p.4)

進化の教授に反対する人々は、しばしば、進化は「事実 (fact) としてではなく理論 (theory)」として教えられべきだ、と言う。この言葉は、これらの語の一般的な使用と科学的な使用とを、混同するものだ。科学においては、証拠の蓄積を通して、諸理論が諸事実に変わるのではない。そうではなくて、諸理論は、科学の最終地点である。それらは、広範囲な観察、実験、及び創造的熟考 (creative reflection) から発展する理解、である。それらは、科学的諸事実、諸法則、テストされた諸仮説、及び論理的諸推論の、多数の集まりを結合させる。この意味では、進化は、我々が持つ最も強固で最も有用な科学諸理論のうちのひとつである。(NAS, 1998, p.6)

つまり、進化への宗教的な対立を、科学のもつ本質について教授する機会と見なすのである。しかし、「西欧では人間とそれ以外の動物との連続性が非常に大きな問題となったのに対して、日本や中国ではその点はあまり問題にならず、自然界が調和的なものではなく、きびしい生存競争の過程にあるということが大きな衝撃を与えた」(横山, 1991, p.118) のであるから、上記について我が国においても米国と全く同様に考えることはできないかもしれない。それでも、進化の教授は科学の本質を教授する機会を提供し得る、という論点は重要である。こうした立場は、前節の真船・鷹取編 (1981) においても、これほど明確にはないが示唆されていた。また、前節で河田 (1991) が「間違った自然観や生物観が植え付けられている」(p.8) 例として挙げたものは、実は生活科において自然を都合よく調和的に捉えさせているという場面であった。このことから、横山の述べる進化への日本的な対立感情・葛藤を、米国の宗教的な対立と同等のものと捉えて、これを科学のもつ本質について教授する機会と見なすこともあるいは可能かもしれない。

話を戻すと、NAS (1998) では、Chaper1 を次の記述で締め括っている。

進化の概念は、科学的説明としてのその力を越える、教育における重要性を持つ。我々は皆、変化のペースが加速している世界に生きている。今日の子どもたちは、彼らの両親や教師たちが生涯において直面しなければならなかったよりも、もっと新たな経験及びもっと異なった状況に、直面するだろう。

進化の話は、過去4世紀の大部分を占めてきた科学革命における——おそらく最も重要な——1章である。この革命の主要な特色は、以下のような安定性についての考えが、ひとつまたひとつと放棄されてきたことである。すなわちそれらは、地球は宇宙の中心であるということ、世界の生物は不変であるということ、地球の大陸は元の所に厳密に固定されるということ、などである。流動と変化が、我々を取り巻く世界についての、理解の中心をなすようになった。変化の見込み (probability) を容認することは——そして変化を脅し (threat) としてよりもむしろ機会の動因 (agent) として見ることは——、進化の授業における無言のメッセージでありチャレンジである。(NAS, 1998, p.6)

これは、将来に渡って急激に変化していく社会に生きる生徒たちに、自然界を変化する物と捉えさせるために、自然選択などの変化 (進化) の生物学的メカニズムを教授することが有効であるという点から、進化の教授価値を述べたものと言える。

以上をまとめると、NAS (1998) に示された進化の教授価値は、次の4点である。

1. 進化は、生物学の統一的概念としての教授価値を持つ。
2. 進化は、日常生活に実際に役立つ可能性があり、この点での教授価値を持つ。
3. 進化の教授は、科学の本質を理解するための機会・手段を与える。
4. 進化の教授は、動的な自然観を導く潜在的効果を持つ。

この NAS (1998) では、Chaper4 が「進化と『全米科学教育標準』」と題され、『全米科学標準』における進化

の取扱いが紹介されている。そこで、次に『全米科学標準』について検討しよう。

『全米科学教育標準 (National Science Education Standards)』は、National Research Council (全米学術会議、以下 NRC, 1996) によって作成された。本書には、生徒が科学に関して理解すべき(できるべき)「標準(standards, 基準と訳されることもある)」が示されている。本書の中には、「科学における統合的概念・過程」として以下の5つが示されている。すなわち、「システム、秩序、及び組織」「証拠、モデル、及び説明」「安定、変化、及び測定」「進化及び平衡」「形態及び機能」である。これに関する記述を見ると、進化については以下のように解説されている。

進化は、物体、生物、及び自然的・計画的システムの現在の形態及び機能を説明する、ある程度漸進的かつ散発的な一連の変化である。進化についての一般的アイデアは、現在は過去の素材及び形態から生じるというものである。進化は、共通の祖先からの生物の変化を伴う由来 (descent with modification) の過程を説明する生物学理論に、最も普遍的に関係するけれども、進化はまた宇宙の変化についても述べるものでもある。(NRC, 1996, p.119)

ここでも、これまでの諸議論と同様に、進化を、生物学における様々な概念・原理を統合する統一的概念と捉えていることがわかる。さらに、宇宙の変化についても、生物の進化と同じ枠組みの中で捉えている点が注目される。また本書では、進化についての具体的な教授内容については、9～12 学年に対する「生命科学標準」の中で最も明確に言及されている。

生物進化

種は、時とともに進化する。進化は、次の(1)～(4)の相互作用の結果である。(1)その数を増加させることに対する種の潜在能力。(2)遺伝子の突然変異と組換えによる、子の遺伝的可変性。(3)生命にとって必要とされる資源の限られた供給。(4)より上手に生存して子を残すことができる子の、環境による連続的選択。

生物の大きな多様性は、あらゆる利用可能な生態的地位 (ニッチ) を生物の形態で満たしてきた進化の、35 億年以上の結果である。

自然選択及びその進化的結果は、生きている生物の多様な種の間で観察される、目立った分子的類似に対してだけでなく、古代の生物形態の化石記録に対しても科学的説明を与える。

今日地球上に生きる非常に多数の異なる植物・動物・微生物の種は、共通の祖先からの由来によって関係付けられる。

生物学的分類は、どのように生物が関連付けられるかということに、基礎を置く。生物は、それらの進化的関連を反映する類似に基づいた、グループ及びサブグループの分類体系へと、分類される。種は、分類の最も基本的な単位である。(NRC, 1996, p.185)

上記の記述は、9～12 学年の生徒は、その段階を終える迄に、これらについて理解していなければならない、というものである。ただし本書では、生徒が科学に関して理解すべき内容について列挙されているが、個々の内容の教授価値についてはいちいち言及していない。『全米科学教育標準』は、科学的リテラシーを持った民衆についてのビジョンを提示するものである。それらは、様々な学年レベルにおける、科学的リテラシーを持つために生徒が知るべき、理解すべき、出来るべきものを、概説する (NRC, 1996, p.2) という目的を持つ。だから、本書で列挙された内容はいずれも重要な科学概念・原理であり、したがって教授価値があるものなのである。したがって、進化の教授価値そのものについて特別な記述は前記の他は見出せないが、進化の教授価値はすでに前提されているのである。すなわち、本書において示された進化の教授価値とは、まず、進化の教授は「科学における統合的概念・過程」を教授することであるという点、進化生物学の基礎的概念を科学的リテラシーとして理解・習得させるという点、の2点であると言えよう。

『全米科学教育標準』のように、科学的リテラシーとして生徒の教授すべき内容を列挙し解説したものとして、

次の『全てのアメリカ人のための科学』も重要である。

『全てのアメリカ人のための科学 (Science for All Americans)』は、American Association for the Advancement of Science (アメリカ科学振興協会、以下 AAAS, 1989/1990) が作成した報告書である。「本書は、科学リテラシーについての書である。『全てのアメリカ人のための科学』は、科学と技術によって方向付けられる世界におけるあらゆる市民にとって、どんな理解及び思考方法が不可欠であるかということに関する、一連の勧告 (recommendation) から成る」(AAAS, 1989/1990, p. x iii) と冒頭にあるように、本書は、人々が科学的リテラシーとして理解・取得すべき内容を示したものである。そして、「読者は、特定のコースや各学年レベルにおいて何が教えらるべきかということについて、この報告書の中に勧告を見出そうとするべきではない。本報告書は、学習目標——生徒が学校を出た後に彼らの全学校体験の結果残るものとして、何を記憶し、理解し、出来るべきかということ——のみを扱う」(AAAS, 1989/1990, p. x x) とあるように、ここに示されている概念・原理等はすべて、生徒が当然理解・習得していなければならない重要なものである。したがって、前述の『全米科学教育標準』と同様、個々の科学的概念・原理の教授価値は既に前提されていて、それらについてはあまり詳しい記述は見出せない。それでも、次のような記述が存在する。

進化の現代的概念は、地球上の生物の歴史、あらゆる生物の間の関係、そして生物の物理環境への依存を、理解する統一的原理を提供する。進化が日常の細部においていかに働くのかを明瞭にするには、未だほど遠い。けれども、その概念はよく確立されているので、首尾一貫した理解へと生物学的知識の大部分を組織化する、枠組みを与える。(AAAS, 1989/1990, p.69)

ここから、『全てのアメリカ人のための科学』においても、進化は統一的概念・原理であるということが、進化の教授価値として捉えられていることが判る。また、進化という概念そのものの価値についても、次のように述べられている。

地球の現在の生物形態は、およそ 40 億年前の最も単純な単細胞生物に遡る、共通の祖先から進化したようである。進化の現代的アイデアは、地球上の生物についての主要な 3 組の観察可能な事実に対する、科学的説明を提供する。すなわち、我々が周囲に見出す、莫大な数の異なる生物形態。その多様性の中に我々が見出す、解剖学及び分子化学におけるシステマティックな類似。そして、10 億年以上に渡って形成されてきた岩石の連続層に見出される、化石における一連の変化である。(AAAS, 1989/1990, p.67)

これらの記述を見ても、進化が生物学における様々な概念・原理を統合する統一的概念であることに、進化の教授価値があると捉えていることがわかる。さらに、ここでは前節で述べたような、進化の垂直的側面と水平的側面の両側面が明確に示されている。つまり、進化が生物学の諸概念を統一したり、自然界・生物界を統一的に眺める視点として働く場合には、この両側面が考えられるということである。

このような立場を実際の教科書の作成にまで結び付けた例として、最後に、我が国の理科教育にも大きな影響を与えた BSCS (Biological Sciences Curriculum Study) の教科書を紹介しよう。BSCS では、青版・黄版・緑版のように、幾つかの種類の教科書が出版されている。この中でも特に、黄版『生命の探究』の第 1 章「生物学——なにかに関する学問か」の中には、生物学上の 8 つの主要テーマのひとつとして進化が明示されている。「1. 時間の経過とともに生物が変化していくこと、すなわち、進化」(日本 BSCS 委員会, 1968, p.7) である。また、これらの 8 つのテーマについて、次のように述べている。

・・・これらの基本的なテーマは、縦糸や横糸として生物学的な思考の布地をおりなしており、いたるところで目にふれるであろう。(日本 BSCS 委員会, 1968, p.7)

このように、米国では、進化が統一的概念として重視されているだけでなく、一部の教科書では進化が統一的

概念であることが明示されているのである。近年でも、例えば米国の中高等教育段階で比較的大きなシェアを占めている Prentice Hall 社の *Exploring Life Science* を見ると、各章を貫く7つの統合的観点のひとつとして進化が示され、全29章のそれぞれについて、その章と進化との関連が明記されている (Maton, et al., 1997, 2nd ed., なお7つの統合的観点とは、エネルギー、進化、変化のパターン、スケールと構造、システムと相関、単一性と多様性、安定性である)。

4. 結論——進化の教授価値——

以上、我が国と米国における、進化の教授価値に関わる諸議論について、整理・考察してきた。まず、我が国における諸議論については、次のように要約できよう。

1. 進化の教授価値は、歴史的観点から生物界全体を体系的に捉えさせることにある。
2. 進化の教授によって生物を体系的に捉えさせる場合、垂直的側面と水平的側面の二つの側面があり得る。
3. 進化の教授価値は、進化は現在も進行しつつあるという、静的・固定的ではない動的・可変的な自然観・生物観を導き得る点にもある。
4. 進化の教授価値は、科学的論理が構築される過程を学ばせ得るという点にもある。
5. 科学的リテラシーあるいは科学の基礎・基本の理解という点からも、進化生物学の基礎の理解は必要である。
6. 進化の教授価値は、児童・生徒の興味・関心を喚起するという情意的側面にも見出せる。
7. 現在の生物の性質に対する疑問は、必然的に進化生物学的な説明を要求する。

米国における諸議論については、次のように要約できよう。

1. 進化は、生物学の統一的概念としての教授価値を持つ。
2. 進化の教授によって生物を体系的に捉えさせる場合、垂直的側面と水平的側面の二つの側面があり得る。
3. 進化の教授は、動的な自然観を導く潜在的効果を持つ。
4. 進化の教授は、科学の本質を理解するための機会・手段を与える。
5. 進化生物学の基礎は、科学的リテラシーとして教授されるべきである。
6. 生物の進化は、宇宙の変化と同じ枠組みにおいて捉えさせることも可能である。
7. 進化は、日常生活に実際に役立つ可能性があり、この点での教授価値を持つ。

我が国および米国の諸議論における進化の教授価値に関する論点は、いずれも7点に要約できた。これらのうち1から5の論点は順に、表現こそ若干異なるもののほぼ同様の内容を述べたものであると考えられる。すなわち、我が国および米国において共通に見出されてきた進化の教授価値とは、次のようにまとめられるだろう。

進化の教授価値は、それが歴史的観点から生物界全体（あるいは生物学という学問全体）を統一的に捉えさせることができる点にある。そして、その捉え方には、垂直的側面（時間次元における適応的变化）と水平的側面（空間次元における多様化）の両者があり得る。またそのような進化的変化は、現在も進行しつつあるのであり、そうした動的・可変的な自然観・生物観を導き得る点にも、進化の教授価値はある。さらに進化には、科学とは何かあるいは科学の本質について、生徒に教授する機会を提供するという教授価値がある。そして、現代人の科学（的）リテラシーとしても、進化生物学の基礎は教授される必要がある。

また、我が国と米国における諸議論では、幾つかの異なった教授価値も示された。まず、進化は、児童・生徒の興味・関心を喚起するという情意的側面においても教授価値がある。これには、真船・鷹取（1981）の議論に見られるように、恐竜などの過去の生物やその進化史そのものへの興味と、生物の歴史という経験的には知りえないことを科学的推論によって明らかにしていくという科学的思考過程への興味との、両者が考えられる。また、

現在の生物の性質に対する疑問は、必然的に進化生物学的な説明を要求する。つまり、ヒトも含めた現在の生物について知りたいと思うならば、進化について学ぶことは必須となるのである。生物の進化は、宇宙の変化と同じ枠組みにおいて捉えさせることも可能である。この点に関しては、議論が分かれるかもしれない。生物進化と宇宙の進化を統一的に捉えさせることには、生物史を宇宙史の中に位置付けて捉えさせるという点で意義があるだろう。しかし、生物進化と宇宙の進化は、同じ「進化」という語を用いているものの、両者の意味は異なっているという主張もある (Mayr, 1988, p.19)。最後に、進化は、日常生活に実際に役立つ可能性があり、この点での教授価値を持つ。この点について、我が国においては明確に述べたものが見出せなかった。しかし医学や生物学の分野に進む生徒はもちろん、そうではない生徒も、日常生活における科学的意思決定の様々な行使に際して、進化に関する知識の有無が決定的に影響を及ぼす可能性は大きいだろう。

以上、進化が科学教育においてどのような教授価値を持つのかについて、我が国及び米国のこれまでになされてきた諸議論を取上げて、整理・考察してきた。ごく大雑把に言えば、我が国でも米国でも、進化の教授価値について見出されている内容にそれほど大きな違いはない。しかし、我が国と米国の最も大きな違いは2点ある。すなわち、1、米国ではそのような進化の教授価値が、科学者・科学教育者の団体による出版物の中で公式に明示されている。2、進化を非常に重視した特色ある教科書が作成されている。これらの2点の「遅れ」を克服し、進化の教授価値を実現した生物教育を行なうための具体的な方策の検討と、本論では焦点を当てなかった、進化の教授・学習に伴う様々な困難に対する具体的な改善策の検討は、今後の課題としたい。

引用文献

- 河田雅圭 (1999) 「学校教育の中での進化学」『理科教室』Vol.42, No.9, pp.6-19.
- 京都理科サークル (1984) 『子どもとともに学ぶ生物教育』たたら書房.
- 嶋田正和 (1997) 「高校でどのように進化を教えるか」『科学』Vol.67, No.1, pp.22-31.
- 鈴木綾子 (1999) 「“進化” なしに生物は理解できない」『理科教室』Vol.42, No.9, pp.4-5.
- 庄司和晃 (1965/1980, 8th ed.) 『仮説実験授業 (科学教育研究双書)』国土社.
- 田幡憲一 (1998) 「生物教育と進化の学習—特集にあたって—」『遺伝』Vol.52, No.3, pp.12-13.
- 中原正木 (1968) 『生物学教育論』国土社.
- 日本 BSCS 委員会 (1968) 『BSCS 生物 黄版 日本適用版 生命の探究』学習研究社.
- 真船和夫 (1973) 『新訂・理科教授論』明治図書.
- 真船和夫・鷹取健編 (1981) 『生物指導法事典』むぎ書房.
- 文部省 (1989a) 『高等学校学習指導要領』大蔵省印刷局.
- 文部省 (1989b) 『中学校学習指導要領』大蔵省印刷局.
- 文部省 (1998) 『中学校学習指導要領』大蔵省印刷局.
- 文部省 (1999) 『高等学校学習指導要領』大蔵省印刷局.
- 矢島道子 (1997) 「“進化” の授業がない」『科学』Vol.67, No.1, pp.37-38.
- 横山輝雄 (1991) 「科学史と比較文化」大野誠・小川眞理子編著『科学史の世界』pp.111-126, 丸善.
- American Association for the Advancement of Science (1989/1990). *Science for All Americans*. Oxford University Press.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution, *American Biology Teacher*, Vol.35, No.3, pp.125-129.
- Good, R. (1994). Note from Former Editor. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.31, No.5, pp.443-444.
- Maton, A., Hopkins, J., Johnson, S., LaHart, D., Warner, M. Q., and Wright, J. D. (1997). *Exploring Life Science* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Mayr, E. (1988). *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*. The Belknap Press of Harvard University Press.
- 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.

- Mayr, E. (1991). *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*. Harvard University Press. 養老孟司訳 (1994)『ダーウィン進化論の現在』岩波書店.
- National Academy of Sciences (1998). *Teaching about Evolution and the Nature of Science*. National Academy Press.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. National Academy Press.

要 旨

我が国および米国の諸議論における進化の教授価値に関する論点は、いずれも7点に要約できた。これらのうち、我が国および米国において共通に見出されてきた進化の教授価値は、次のようにまとめられる。

進化の教授価値は、それが歴史的観点から生物界全体（あるいは生物学という学問全体）を統一的に捉えさせることができる点にある。そして、その捉え方には、垂直的側面（時間次元における適応的变化）と水平的側面（空間次元における多様化）の両者があり得る。またそのような進化的変化は、現在も進行しつつあるのであり、そうした動的・可変的な自然観・生物観を導き得る点にも、進化の教授価値はある。さらに進化には、科学とは何かあるいは科学の本質について、生徒に教授する機会を提供するという教授価値がある。そして、現代人の科学（的）リテラシーとしても、進化生物学の基礎は教授される必要がある。

上記に加えて、我が国においては次の2つの論点が見られた。

- ・進化の教授価値は、児童・生徒の興味・関心を喚起するという情意的側面にも見出せる。
- ・現在の生物の性質に対する疑問は、必然的に進化生物学的な説明を要求する

一方、米国においては次の2つの論点が見られた。

- ・生物の進化は、宇宙の変化と同じ枠組みにおいて捉えさせることも可能である。
- ・進化は、日常生活に実際に役立つ可能性があり、この点での教授価値を持つ。

なお、我が国と米国の最も大きな違いは、米国では進化の教授価値が科学者・科学教育者の団体による出版物の中で公式に明示されていること、米国では進化を非常に重視した特色ある教科書が作成されていること、の2点である。