

生物の階層性と系統進化による統一的理解を図る 中学校理科カリキュラムの提案

—現代生物教育の動向と誤概念分析から見据えた「生命」領域—

名 倉 昌 巳
岩手大学

松 本 伸 示
兵庫教育大学

Proposal for a Life Science Curriculum towards a Unified Understanding of Biology by Hierarchical Level of Biology and Evolution

Masami NAGURA*¹, Shinji MATSUMOTO*²

*¹Iwate University

*²Hyogo University of Teacher Education

Despite the accidental and purposeless nature of “biological evolution,” there is no end to the “Naturalistic Fallacy” borrowed for value judgment during social change. A previous study shows that elementary school students hold many misunderstandings concerning “biological evolution”; for example, several misconceptions such as “Lamarckism” and “teleology” (which are frequently applied even by university students). It has been pointed out that modern biology, which floats in a great sea of knowledge, should be integrated by “biological evolution.” Therefore, in this study, based on this “unified understanding of biology,” lower secondary school science was integrated from the viewpoints of “acquisition of scientific evolutionary concepts” and “elimination of misconceptions,” in order to examine the learning content and structure of biology education. By analyzing the data obtained from descriptions of the two tasks in the classes of two units (genetics and ecosystem) among lower secondary school students, it was suggested that a “unified understanding of biology” contributes to avoiding misuse of “evolution”. In conclusion, we proposed a curriculum that uses evolution as an overarching theme to integrate five units (classification, cells, genetics, evolution, and ecosystem) to create a new biology course.

Key words: Unified Understanding of Biology, Hierarchical Level of Biology, Genetic Variation, Modern Synthesis

1. 問題の所在

1. 現代生物学の統一的理解

巨大な知識の海に漂う複雑化した現代生物学の統一的理解には、「動物行動学者ニコ・ティンバーゲンが提唱した生物学上の4つのなぜ（至近要因・究極要因・発達要因・系統進化要因）と、生物の階層性（遺伝子・細胞・個体・個体群・生態系）、及び種による整理」、並びに「進化による生物教科書の統合化」が必要であるという指摘がある（長谷川，2020a）。

例えば、なぜ、キリンの首は長いのか？と問いかけたとき、その回答は以下の「4つのなぜ」の1つに分

類されるであろう（①～④）。

①「首が長い方が水を飲むときに、7個の頸椎だけでなく、第1胸椎も動くように変化したため可動域が大きく首が下げやすくなるから」というのは、そのメカニズムを説明した「至近要因」による回答である。

②「高い所の木の葉を食べたり、遠くの敵をいち早く見つけたり、雌をめぐる雄間闘争で首をぶつけ合ったりするのに、長い方が役に立つから」というのは、機能を説明した「究極要因」による回答である。

③「キリンの子は母胎内において、その成長の過程で7つの頸椎が次第に縦に並び、同じ頸椎の数である他

の哺乳類よりも長くなるから」というのは、個体発生の過程を説明した「発達要因」による回答である。

④「突然変異などで偶然に生まれた首の長いキリンが、高木の多い環境では生存と繁殖に有利なため生物集団に広がり、首の短い祖先種から枝分かれし、現在のキリンの姿となったから」というのは、進化史の「時間の流れ」で説明した「系統進化要因」による回答である（この場合は「自然選択説⁽¹⁾」を中心とした「進化の総合説⁽²⁾」による回答例である）。

以上の「4つのなぜ」を生物学者でさえ明確にしないまま議論していたため、ニコ・ティンバーゲンは4つすべてを統合的に見ようとする態度が重要となることを指摘し、その後の生物学者らにより表1のように整理された（Tinbergen, 1963 ; Mayr, 1982）。特に、④の「系統進化要因」は4つの回答の中では、そのように答えることが困難であることは、先の生物学者らも指摘しているところである。このような「系統進化要因」による説明のアプローチが今後、特に重要になってくると思われる。

一方、先の長谷川（2020a）は「種」・「階層性」・「機能」の3つの軸、すなわち3次元立方体で位置付けることを提案し、このような位置付けによって「情報多寡となった現代生物学の諸現象を関連付け、整理することができる」と述べている（ここでの「階層性」を「遺伝子～細胞～個体～個体群～生態系」などで捉えている）。生物学を興味深いものにしていくのは多様性であり、その多様性の原因は進化にある。長谷川は、生物学の研究が進めば進むほど多種多様な情報が増えてゆくばかりであり、生物現象のすべてをまとめる地図を知れば、巨大な知識の海に漕ぎ出してゆくことも可能であると主張し、その内容について言及しているが（長谷川, 2020a）、具体的なカリキュラムの提言はない。情報の海に漂う生物学の「地図」としての役割を「進化」に担わせるように、我が国の「生命」領

域のカリキュラムを構築することが喫緊の課題である。

本研究においては以上の論考を総括・発展させて、「生物多様性⁽³⁾」をマイクロからマクロへの「階層性（Y軸：空間軸）」で捉え、さらに「進化（時間軸）」の結果としての「種（X軸）」の多様性や、進化のよって獲得される「機能（Z軸）」として捉えたのが図1である。本研究においては、「4つのなぜ」と「生物学の統一的理解」に関する両理論を包括し、図1のように生命現象を新たに4次元（種・階層性・機能・進化）で捉え、中学校理科「生命」領域の学習内容の検討とカリキュラムの構築を試みた。

例えば、海外の多くの大学や国際生物学オリンピックの標準として採用されている米国の教科書では、「分類（種：X）⇒細胞⇒遺伝⇒進化⇒生態系」の「階層（性）：Y」順に配列され、進化を統一テーマに据えて、編纂されているからである（Simon et al., 2016 ; Urry et al., 2017 ; Singh-Cundy et al., 2012）。その他、2003年から2010年に出版されたアメリカの高校生物教科書9種類の調査によると、「生物教育内容の構成については、生物の基本概念を階層化し、教科書の単元・章・節の先頭に記載してある」こと、加えて「進化を共通項とするような生物の分類の取り扱いがある」ことが突きとめられている（渡邊, 2013）。

日本学術会議生命科学作業分科会（2010）は、小・中・高等学校を通じて発達段階に応じ、生命の進化に従って、生物の誕生、生体の基本構造、生命現象、系統・多様性、生態系とその保全などを体系立てて教え、それに基づき医療、環境、食料等の問題へ展開させる生物学・生命科学の教科書と教育システムの抜本的な見直しが肝要という提言を行った。いずれは中学校のカリキュラムもこれに準ずることが予想される。

表1 生物学上の質問と説明による4領域：The Four Areas of Biology（Tinbergen, 1963 ; Mayr, 1982より改変）

	現在の形態	時間の流れの中での形態
①至近要因： Proximate	機構・仕組み： Mechanism	③発達要因： 個体発生 Ontogeny
②究極要因： Evolutionary	適応・機能： Adaptation	④系統進化要因： 系統発生 Phylogeny

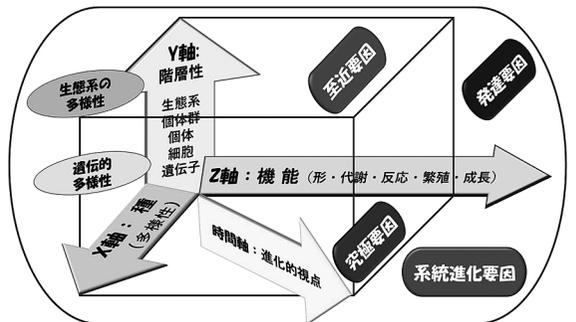


図1 生物教科内容の「統一的理解」を図る構造図

2. 平成29年告示学習指導要領からの問題提起

平成20年告示の中学校学習指導要領では、「生物の変遷と進化（以下「進化」と略記）」単元は第2学年で扱われていたが（文部科学省，2008），平成29年告示の中学校学習指導要領では、「生物の種類の多様性と進化（以下「多様性の進化」または「進化」と略記）」と単元名を変えて第3学年に移行し、「遺伝の規則性と遺伝子（以下「遺伝」と略記）」単元や、「生物と環境（以下「生態系」と略記）」単元と同じ第3学年で学習することになった（文部科学省，2017）。

平成29年告示の新学習指導要領の第4節「理科」，「(5) 生命の連続性」における「(イ) 遺伝の規則性と遺伝子」の「内容の取扱い」には「遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあることにも触れること」と付記されている。すなわち，新学習指導要領ではランダムな「遺伝的変異」をきっかけにして進化が生じることを扱えるように改訂され、「遺伝」単元と「多様性の進化」単元は関連付けられた（図2）。

しかし，新学習指導要領の第4節「理科」，「(7) 自然と人間」における「(ア) 生物と環境」単元の中には、「生態系の多様性」と「多様性の進化」との関連は明記されず（文部科学省，2017），我が国の中学校理科カリキュラムにおいては，両者は同学年で学ぶにもかかわらず，関連付けられていない。ダーウィンはどの種も単体では存在しえないこと，種同士は密接に関わり合っており，1つの種の絶滅が多くの種に影響を与えてしまうことを解明した（佐倉・山野井，2010）。そして，ヒトは生態系から多くの恩恵を受けているため，他種の絶滅による環境変化に困るのはヒトである。地球環境保全の立場を重視するには，「生

態系」単元においても「進化による生物学の統一的理解」の視点で，カリキュラムに検討を加える時期に来ている。

その他，第2学年に配置されていた「動物の体の共通点⁽⁴⁾と相違点（動物の分類）」は第1学年へ，第1学年に配置されていた「植物のつくりと働き」は第2学年へ移り，第1学年では動物・植物両方の「分類」を扱うように改訂された。これに伴って，第2学年ではカリキュラム上は「共通性」の視点は残ったが，進化的な視点，すなわち「多様性」や「時間的視点」が薄まったことになる。

以上をまとめると，我が国の新しい中学校学習指導要領における「多様性の進化」単元は，図2のように「遺伝」単元と関連付けられたが，依然として「生態系」や他の「生命」領域の単元とは関連付けられていない。「共通性と多様性」の視点を保持しつつ，先にも述べた「生物学の統一的理解」を中心に据えた生物教育内容の新たな統合化が待たれる現状である。

3. 進化の素朴理論と先行調査からの問題提起

最近の「自然主義的誤謬（科学の知見がある特定の価値観を正当化しない）」として，「最も強い者が生き残るのではなく，最も賢い者が生き延びるのでもない。唯一生き残ることが出来るのは，変化できる者である」を改革の論拠にした事例がある。これは経営学者レオン・メギンソンによる「種の起源」の一解釈に過ぎないが，ダーウィンの名言として流布している誤用例である（長谷川，2020b；松永，2009）。進化は偶然かつ無目的な自然現象にもかかわらず，進化論はナチスをはじめ人々を社会変革に誘うときの価値判断の論拠にされることが多い（佐倉，2002）。

小学生においては進化を「目的論的説明（～のために進化したなど）」、「ラマルキズム⁽⁵⁾」，「擬人的説明」で捉える傾向があり，それらの素朴理論（誤概念）は大学生にも保持されていたという先行調査がある（杉本，2014）。杉本は小学校3～6年生と大学生を対象に，エッセイ形式の進化課題に対する回答結果について，その記述内容を7つの「進化理論の枠組」で整理・分析し，進化に関する正式な授業の必要性を提言している。しかしながら，この調査研究は授業実践によるものではなく，さらに中学生と高校生に対する調査は実施していない。すなわち，小学生～中学生・高校生～大学生という各発達段階を経て，どのように誤

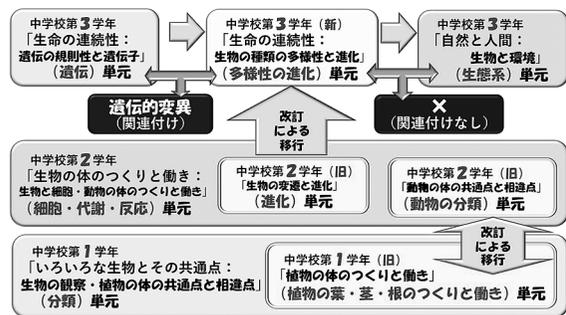


図2 中学校学習指導要領改訂による移行と各単元における「進化」との関連付け

概念から科学的進化概念に至ったかについては、その経緯を明らかにしていない。

また、名倉・松本 (2020a; 2020b) は、中学校第3学年「遺伝」と「生態系」両単元における授業実践前・後において、誤概念の払拭を支援する「進化の総合説」を用いた課題設定の有用性を示唆している。これは、上記の杉本の調査結果を補完するようにも思われるが、「ラマルキズム」などの誤概念からどのような経緯を辿って科学的進化概念に至ったのかについて、中学生個々の記述内容における概念変化からは検証していない。加えて、払拭が困難であった「優勝劣敗 (優れた者が生き残り、劣ったものは淘汰される)」や「適者生存 (適した者だけが生き残る)」などの誤概念に関する中学生の回答についても、上記の「進化的理論の枠組」から記述内容を整理した上での分析もない。

進化に関する「素朴 (誤) 概念」が多く想起されるのは、環境に有利なものが生き残る進化のメカニズムを、「自然選択」から「適者生存」と言い換えたときから進化論は徐々に曲解され、ヒト社会に乱暴に当てはめて考えられるようになったのが、その要因であるという (佐倉・山野井, 2010: 88)。「適した者が生き残る」を「適さない者を排除する」へすり替えることにより、不適合の烙印を押された者を虐げる根拠に進化論は悪用されてきたという歴史がある。「適者生存」は生物学的な場面から、次第にヒト社会に当てはめて使われるようになり、社会に適さない者が困窮しても、それは「自然の摂理」であるとされた。適者を決めるのはヒトではなく、あくまでも環境であり、環境をヒトの支配下に置けると考えるのも誤りである。

以上が、進化的理論上の誤概念から科学的概念への転換を促すような生物教育におけるカリキュラムの改善が望まれる理由である。すなわち、「科学的進化概念」の獲得を統一テーマとした生物教育を推進し、そのような実践研究の知見を積み重ね、継続・発展させていく他はないと思われる。

II. 研究の目的と方法

1. 研究の目的

本研究では、先の図1に基づき、「科学的進化概念の獲得」と「誤概念の払拭」の観点から、特に中学生の持つ「各進化的理論の枠組」が、小学生や大学生などの他の世代と比較・分析することによって、「科学的進化的理論」へどのような経緯で推移していくのかを明

らかにすることを目的とした。さらに、その分析を踏まえて、生物進化を中心に据えた「生物学を統一的に理解」するための中学校「生命」領域カリキュラムの在り方を提案することをめざした。

2. 研究の方法

中学校「生命」領域における2つの授業実践 (平成20年告示の学習指導要領準拠の第3学年「遺伝」と「生態系」の2単元) における中学生の課題回答結果を (名倉・松本, 2020a; 2020b), 誤概念から科学的進化概念へ概念変化する過程を中心に再分析した。すなわち、先行研究における「進化に関する誤概念の枠組」を参考にして (杉本, 2014), 中学生の「誤概念払拭」と「科学的概念獲得」に資するカリキュラム改善の観点から再分析及び検証を行った。

3. 調査対象生徒

大阪府内の公立中学校第3学年の生徒55人 (2クラス: 男25人・女30人) について、2単元にわたり同一の生徒について調査を行った。調査対象生徒は、第2学年において「進化」単元についての学習を終え (使用した教科書にはダーウィン「自然選択説」に関する記述あり)、第3学年においては「メンデル遺伝の法則」について既に学習済みである。「遺伝」及び「生態系」両単元共に課題提示の直前においては、異なる種の出現は「一生の間に生じる変化の積み重ね」か、それとも「子どもが生まれるときに生じる変化の積み重ねで起こるのか」のどちらが正しいかを協働的に話し合う学習活動⁶⁾も行っている。ただし、どちらが正解かを明示しなかった。さらに、「生態系」単元の課題提示の直前には、「メンデル遺伝」や「進化」についても簡単に復習を行っている。

4. 調査課題と整理・分析方法

「自然選択説」を含む「進化の総合説」を用いて仮説を立てる課題、すなわち表2の(1)「遺伝」単元及び(2)「生態系」単元において、それぞれの回答事例について記述内容から整理・分析した。

この整理・分析に当たっては、「中学生」の調査結果と比較するため、「小学生と大学生」に対する「テーマの走力が進化した課題」の回答結果 (エッセイ形式) を分析した先行研究を参考に、表3のように設定し (杉本, 2014), 本研究における調査結果と比較し

表2 中学校第3学年「遺伝」・「生態系」単元における「科学的進化概念」をみる課題

<p>(1)「遺伝」単元における課題 (2018年5月：第7限目 / 全8時限)</p> <p>キリンの首はなぜ長いのか？進化仮説をつくろう。「自然選択説」を中心に、「突然変異」によって生じる「遺伝的変異」を含めた「進化の総合説」を用いて、「文」で説明しよう。</p> <p>(2)「生態系」単元における課題 (2019年2月：第6限目 / 全8時限)</p> <p>ゾウの鼻はなぜ長いのか？進化仮説をつくろう。その際には、「適応」「遺伝的変異」「自然選択」の3点を含めた「進化の総合説」を用いて、「前期・中期・現在⁹⁾」を「絵」と「文」で説明しよう。</p> <p>※ただし、「遺伝」と「生態系」の両単元を比較するためにどちらも「文」のみで分析を行った。</p>

表3 本研究の整理・分析において採用した7つの「各進化理論枠組」とその概要(杉本, 2014)

<p>① ブラック・ボックス：進化の事実だけでメカニズムの記述のない説明。</p> <p>② ラマルキズム：ラマルクの進化説の1つ「獲得形質の遺伝」による説明。</p> <p>③ 目的論的説明：「～のために」「～しなければならない」などの目的や必要性を含んだ説明。</p> <p>④ 有利な形質発展説：自然選択説を考慮せず、有利な形質の出現・蓄積による進化の説明。</p> <p>⑤ 組み合わせ説：ラマルキズムとダーウィニズム（自然選択説）が混在している説明。</p> <p>⑥ 遺伝的変異や生存確率を考慮しない自然選択説：有利なものは全て生き残り、他は全て死滅するような表現。</p> <p>⑦ ネオ・ダーウィニズム：科学的進化理論（ここでは「進化の総合説」と同意）としての説明。</p>
--

た。つまり、表3のように6つの「進化に関する誤概念の枠組」に、科学的進化理論である「ネオ・ダーウィニズム⁷⁾」を加え、7つの「各進化理論枠組」によって整理した。このうち、⑦はダーウィンの「自然選択説」を基本に「突然変異」や「集団遺伝学⁸⁾」などの諸理論を統合した正統派の進化理論である。先の杉本はコレスポンデンス分析によって、小学生の素朴理論（②ラマルキズム）から大学生の科学的進化論（⑦ネオ・ダーウィニズム）へ次第に発展・推移していくことを明らかにし、その途中の中間点には、③「目的論的説明」や④「有利な形質発展説」があり、④の方が「遺伝的変異」を考慮している点で、より科学的な説明であると考察している。本研究においてもこのような知見に基づき分析を進めるものとする。また、⑥の「遺伝的変異や生存確率を考慮しない自然選択」とは、生存に有利な形質を持つ個体は全て生き残り、そうでない個体は全て死滅するような「全か無

か」の表現など、つまり、説明が不十分と思われる「自然選択説」などはこのカテゴリーに含めた。ただし、後述する表4や表5には、先の杉本に倣い、単に「自然選択説」として簡略化して記載したことを断っておきたい。

尚、杉本の理論枠組を採用した根拠は、唯一我が国において、進化に関する素朴理論を分類し、調査した研究であるからである。すなわち、杉本は欧米の少なくとも30以上の文献をレビューし、我が国の小学生と大学生の予備調査によって尺度構成し、妥当性（内容的妥当性・構成概念妥当性など）を吟味した上で、最終的に7つの「進化理論の枠組」を紡ぎだしている。

数少ない我が国の類似研究として、中学生・高校生・大学生を対象に「チーターの走力・キリンの長い首」などについて、予め準備した4つの主要な進化学説の「答え」に対し、4件法で「賛・否」を問う調査研究がある（福井・鶴岡, 2001）。しかしながら、本研究のように中学生による記述内容を素朴誤概念に基づき質的分析を試みた研究は、我が国には見当たらない。このため、調査数や調査対象など課題は残るとはいえ、分析結果から見えてくるものが、今後の生物教育を示唆する知見を含んでいる可能性は否めない。

III. 研究の結果

1. 2つの課題回答結果と先行調査との比較・分析

「遺伝」と「生態系」の現行2単元に及ぶ中学生による課題回答結果を、表3の「各進化理論枠組」から整理したところ、表4のような結果が得られた。

表4より、中学生は「小学生」から「大学生」へと、科学的進化概念が形成されていくちょうど中間的な位置にあると考えられる。すなわち、小学生において中心を占めていた「ブラック・ボックス」や「ラマルキズム」から、中学生（おそらく低・中学年時）では次第に「目的論的説明」や「有利な形質発展説」が増え始め、「進化」や「遺伝」を学習した後の中学校高学年に至っては「自然選択説」や「ネオ・ダーウィニズム」が増えていくことが推察される。そして、高校での生物の履修状況によっては、その後大学生においては「ネオ・ダーウィニズム」が増加していくことが推察される。

以上は、先行研究として参考にした杉本（2014）による「進化の正式な授業を受ける前の小学生は素朴理論を保持していて、正式な授業を受けた後の多くの

大学生は科学的進化理論を身に付けている」という調査結果を支持するものであった。ただし、本研究で調査対象となった中学校3年生は、進化は「一生の間に生じる変化の積み重ね」か、「子どもが生まれるときに生じる変化の積み重ね」かを考えさせる協働的な学習や、「進化の総合説（ネオ・ダーウィニズム）」を用いた進化仮説を考える課題を、「遺伝」単元と「生態系」単元の2度にわたって学習していたため、この傾向が顕著に出たのかもしれない。通常は「生態系」単元におけるカリキュラムは「進化」とは関連付けられておらず、高等学校における「生物」学習後の調査結果を待たなければならないかもしれない。ここでは、上記の推論のように、『『進化』に関する正式な授業を経ることによって、小学生～中学生～大学生における『各進化理論枠組』が、『ブラック・ボックス』や『ラマルキズム』～『目的論的説明』や『有利な形質発展説』～『自然選択説』や『ネオ・ダーウィニズム』へと推移、発展していくのではないか」という仮説が導き出され、その検証の必要性が浮かび上がってきた。

2. 中学生における「各進化理論枠組」の分析

本研究における「各進化理論枠組」で捉えた表4のような調査対象の生徒の個人個人の回答結果が、中学校第3学年「遺伝」単元から「生態系」単元までに、どのような理論からどのような理論へと変化していったのかを辿るため、表5を作成した。

表5から「遺伝」単元を実施した5月に「ラマルキズム」を主張していたにもかかわらず、「生態系」単

表4 「各進化理論枠組」における度数及び学年内の割合〔人〕(括弧内%)

	ブラック・ボックス	ラマルキズム	目的論的説明	有利な形質発展説	組み合わせ説	自然選択説	ネオ・ダーウィニズム	関係なし
小学校5年生	36 (50.7)	20 (28.2)	14 (19.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.4)	0 (0.0)	0 (0.0)
小学校6年生	42 (36.5)	34 (29.6)	31 (27.0)	3 (2.6)	3 (2.6)	2 (1.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
中学校3年生(遺伝)	13 (23.6)	8 (14.5)	9 (16.4)	7 (12.7)	1 (1.8)	9 (16.4)	8 (14.5)	0 (0.0)
中学校3年生(生態系)	1 (1.8)	2 (3.6)	10 (18.2)	10 (18.2)	1 (1.8)	10 (18.2)	21 (38.2)	0 (0.0)
大学生	15 (8.3)	12 (6.6)	13 (7.2)	2 (1.1)	4 (2.2)	14 (7.7)	121 (66.9)	0 (0.0)

元実施時の翌年2月には「有利な形質発展説」や「自然選択説」へ、さらに「ネオ・ダーウィニズム」に移行した者も5人存在した。これは上記の仮説をほぼ指示する結果であった。ところが、「ネオ・ダーウィニズム」への推移は「ラマルキズム」だけでなく、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」などすべての枠組から発展的に科学的進化理論へ移行してきている事実が見られ、漸進的に素朴理論から科学的進化理論へ推移するとは限らないことが明らかになった。しかも、5月に「自然選択説」や「ネオ・ダーウィニズム」など比較的科学的な進化理論で回答していた生徒が、その後再度2月に「進化」の学習をしたにもかかわらず、「目的論」「有利な形質発展説」「ブラック・ボックス」「組み合わせ説」などの素朴進化理論へ退行した生徒が9人も存在し、先の杉本による考察とは一致しなかった(表5)。

3. 「遺伝」単元における課題の記述内容分析(2018年5月:第7限目/全8時限)

「遺伝」単元において、7つの「各進化理論枠組」で整理した回答の典型事例を、表6に掲載した。

表6において、自然科学の誤謬に繋がる「誤概念」の立場から述べると、「目的論的説明」が多く目立った(9人/55人)。特に「生き残る競争に勝つため」に進化が起こったとする説明が目をついた(S・N男)。進化は優れた者によってゆき、反面、劣ったものは敗北する運命にあるという「優勝劣敗」の考え方を彷彿とさせる記述である。さらに、あたかも遺

表5 「遺伝」～「生態系」単元における各進化理論枠組の推移(2018年5月～2019年2月 N=55〔人〕)

	生態系(2月)	ブラック・ボックス	ラマルキズム	目的論的説明	有利な形質発展説	組み合わせ説	自然選択説	ネオ・ダーウィニズム	遺伝単元(5月)合計
遺伝(5月)									
ブラック・ボックス		0	1	2	3	0	1	6	13
ラマルキズム		0	1	1	1	0	0	5	8
目的論的説明		0	0	1	1	0	3	4	9
有利な形質発展説		0	0	2	1	0	2	2	7
組み合わせ説		0	0	1	0	0	0	0	1
自然選択説		1	0	2	2	1	2	1	9
ネオ・ダーウィニズム		0	0	1	2	0	2	3	8
生態系単元(2月)合計		1	2	10	10	1	10	21	55

伝子の変化がプログラムされているように形態が変化してゆくとする表現もあった（E・T女）。「突然変異」は偶然かつ無目的で、必ずしも有利な変異が起きるとは限らない（多くは不利な変異であり、そのほとんどは細胞内のチェック・ポイント機構によって排除されてしまう）。つまり、「ラマルキズム」的な「努力・意志」の力で有利な変異を生じさせることができると信じている生徒がいることを示している（N・N女, N・S男, K・K男）。「突然変異」などによって

生じた個体差は、ある環境下では有利でも、他の環境下では不利であることが多い。

4. 「生態系」単元における課題の記述内容分析（2019年2月：第6限目／全8時限）

「生態系」単元における7つの「各進化学理論枠組」で整理した典型事例について、表7に掲載した。

表7においては、「自然選択」が「二者択一的」な「選択」になっているような回答があった（A・N女）。しかも、「選択」するのはゾウ自身であるかのような文言もあった（S・O男, N・N女）。まるで「適応進化」することが目的化しているようである（A・K女）。つまり、「社会不適応」などの「適応」と混同していることが考えられる。しかしながら、ことは単純ではなく、ヒトは絶えず周りの環境に適応し、「自分たちが変わらないと、生きてゆけない」と思っていた（M・T女）。言い換えれば、不適応な「弱者は肉食動物（強い者）によりなくなっていく（淘汰されてしまう）」という進化学理論の曲解に繋がる危険性も孕んでいる（M・T男）。そこで、ヒトは「ラマルキズム」的に「頑張る努力」し続ければ、その優れた形質は子孫に代々遺伝させることが可能である（獲得形質の遺伝）。そして、優れた形質を持つ者が生き残り、劣った形質は淘汰されて当然とみなす「優生思想」に繋がることも懸念される。その論拠として、「自然選択」や「適応進化」の結果、よりよい方向に進化するという説明もあった（S・S男）。これは一方で、社会が変わっていくための「変革の価値判断の論拠」にされる可能性も懸念される。冒頭の「問題の所在」に話を戻すと、先の「遺伝」単元での分析と同様に、本研究における課題設定はニコ・ティンバーゲンの「4つのなぜ」のうち、長大な時間的な流れによる「系統進化要因」で回答を求めるものである（表1）。

ところが、分析した中学生による回答結果のうち特に素朴（誤）概念の回答には、「ゾウの鼻が長いと食物を口に運びやすくするために（目的論的説明）」とか、「生き残るのに有利な鼻の長い方のゾウが進化した（有利な形質発展説）」など、現在の適応的な機能で説明する「究極要因」による回答が目立った（表1）。日常でもある動物の形態の「なぜ？」を問うとき、「～のために役立つ機能だったから（そのように進化した）」という「究極要因」による答え方をする場面が多いように思われる。1つの仮説ながら、進化

表6 「各進化学理論枠組」における回答の典型事例（「遺伝」単元：2018年5月 N=55 [人]）

<p>【ブラック・ボックス】：13人</p> <p>◆キリンは足が長いので首が短かったら、地面の食べ物も高い木の食べ物も食べられない。メスを取り合うケンカでも長い足で戦うと不安定で危険なので、長い首で戦った方がいい。などの理由で首が長くなったと思う（H・Y女）。</p> <p>【ラマルキズム】：8人</p> <p>◆自分たちのものを探すために上を見ることが多く、より上を見ようと意識しているとそれがくせになって首が少し長くなって、そのくせが遺伝してキリンの首は長くなった。首が長い方が視野を高く見わたせ、敵からすぐ逃げられるし、雌のキリンを雄のキリン同士が争う際に首が長い方が有利だから（N・N女）。</p> <p>◆あるキリンが高い木の葉を頑張って取ろうとして、そのキリンの首は少し首が長くなった。さらに、そのキリンも高い木の葉を頑張って取ろうとして、そのキリンの子の首が少し長く生まれた。それを繰り返して、長い世代の間に少しずつ首が長くなっていった（N・S男）。</p> <p>【目的論的進化】：9人</p> <p>◆昔、キリンはそれほど首が長くなかったが、高い木の葉をとるためには、もっと長い首が必要となった。その環境に適応できる遺伝子に変わって次世代の子が生まれた（K・K女）。</p> <p>◆キリン同士のエサをめぐる生き残る競争に勝つために、だんだんと首が長くなった個体が生き残った（S・N男）。</p> <p>【有利な形質発展説】：7人</p> <p>◆代を重ねるごとに遺伝子の組み合わせが変わり、突然変異で首の長いキリンが生まれ、その子孫からだんだん遺伝子が変わって首が長くなっていった（E・T女）。</p> <p>【組み合わせ説】：1人</p> <p>◆ある時にたまたま突然変異で首の長いキリンが生まれ、そのキリンは木の上の方の葉を取りやすいことに気づいた。その首の長い形質を次の世代へ遺伝させて、しだいに今のような首の長いキリンが生まれた（K・K男）。</p> <p>【自然選択説（遺伝的変異や生存確率などを考慮しない）】：9人</p> <p>◆首の長い個体がより高いところの木の葉を食べられるから、より多くの餌を得ることができる。首の長い個体の方が生存に有利なため、結果的に首が長い個体が生き残り、キリンの首が長くなった。また、首の長い方が雄同士の戦いにも、敵を見つけるときにも有利だから（H・Y男）。</p> <p>【ネオ・ダーウィニズム】：8人</p> <p>◆たまたま突然変異で生まれた首の長いキリンは、首の短いキリンよりも生き残りやすく、首の長いキリン同士の生殖によって子どもに遺伝していき、首の短いキリンより長いキリンが多くなり、今の姿になった（M・M男）。</p> <p>◆たまたま他のキリンより首の長いキリンが生まれ、肉食動物などが来たときに、首が長い方が危険を早く察知できるし、木の上の方の葉を食べれるから、首が長い方がだんだん増えていってキリンは首が長くなった（M・T女）。</p>
--

（下線は筆者による）

表7 「各進化学理論枠組」における回答の典型事例（「生態系」単元：2019年2月 N=55〔人〕）

<p>【ブラック・ボックス】：1人 ◆鼻の短いゾウが生まれた。その鼻のびて適応した。それから長い鼻を選択して、今のゾウになった (S・O男)。</p> <p>【ラマルキズム】：2人 ◆初期の鼻は短く牙の方が長くて、口に食物を含むのに苦労していた。一生懸命顔を地面に近づけているうちに、鼻がむずむずして伸びて牙よりも長くなった。ゾウの親が鼻で食物をとるのを見て、子どもも鼻が発達していき、それが遺伝して長くなった。大きい体がかむのが苦しいので、鼻でつかんで口に含むという選択をした (N・N女)。</p> <p>【目的論的進化】：10人 ◆ゾウは初め牙がなく鼻も長くなかったが、雌の取り合いや縄張り争いで牙が必要だったため、たまたま鼻の長いゾウが生まれた。大きな牙なので大きな体が必要になった。しかし、大きな牙のせいで草や果実が食べにくかったため、鼻で食物をとって口に運ぶために、鼻が長い方が有利だった。さらに、肉食動物のねらわれやすくなったために牙がもっと発達したが、それに伴って鼻がもっと長くなっていった (A・K女)。</p> <p>◆色んな季節や環境に適応するために、鼻のびた。環境は自分で選べないから、自分たちが変わらなくて生きていけないので、ゾウたちは変わっていった。ゾウの祖先は牙が大きくて鼻が短いため、地面に生えている草が食べづらくて、どんどん環境に適応するために鼻のびていった (M・T女)。</p> <p>【有利な形質発展説】：10人 ◆初期はまだ鼻が短くであり、生きるのに不利であった。どんどん適応進化の結果鼻が長くなっていった。突然変異により生き残りやすいように変わっていく。その中期の形態のときの変化が続き、自然選択によってよりよく変わっていき、ここからもその変化が続いていくと思う (S・S男)。</p> <p>◆初期のゾウは草が生える場所にいたが、突然鼻の長いゾウが生まれて、そいつがどんどん成長していった。鼻の長いゾウの方が適応しているため、体の大きさに合わせてゾウの鼻が長くなった。草が得やすいように変異した。鼻が長いものと短いもので、長いものが生き残っていき今に至る (A・N女)。</p> <p>【組み合わせ説】：1人 ◆初期の体は今ほど大きくなかったが、太くて少し鼻の長いゾウが生まれた (変異)。偶然、体が大きくなって鼻が長いゾウが生まれた (突然変異)。下草が多かったため、物をつかんだり、食べたりに有利な長い鼻が生き残った。食料をさがすために歩き続けるから、体も少しずつ大きくなった。当時は生き残るのに長い鼻と大きな体が重要となり、それが有利なため、その変異が遺伝によって少しずつ受け継がれて、今の状態になった (選択) (H・H女)。</p> <p>【自然選択説 (遺伝的変異や生存確率などを考慮しない)】：10人 ◆初期は鼻が短くて牙があまりなく、弱い者は肉食動物によりなくなっていたが、たまたま牙が長いゾウが生き残って牙が長くなった。中期は植物を食べやすい鼻が真っ直ぐのびたゾウが生まれた。その頃木の実とかを食べるようになり、生き残って増えていった。木の実がなくなり、それに適応して鼻のびたゾウが下草を食べるようになった。今はさらに鼻のびてどこの草でも食べられるように進化した (M・T男)。</p> <p>【ネオ・ダーウィニズム】：21人 ◆初期の象は鼻が短かったので、口から直接草を食べていた。しかし、成長すると足が長くなり、地面の草を食べるのに困っていた。たまたま、少し鼻の長い象が生まれた。その象は鼻が長いので地面の草を鼻で取れるようになった。鼻の長い食物を得るのに有利なため、生き残りやすくなった。よって、中期は鼻の短い象は減り、長い象が増えていった。その傾向が少しずつ生物集団に広がっていき、鼻の長い象が現在に姿になっている (S・A女)。</p>

(下線は筆者による)

が「偶然」に生じた遺伝的変異が原因となって起こることが理解しにくい可能性がある。そのための一案として、高校での履修内容である「系統進化」と共に、有利でも不利でもない中立的な変異がほとんどであるとみなす「中立進化説⁽¹⁰⁾」の紹介が必要かもしれない。

1859年に進化のメカニズムを説いたダーウィンの「自然選択説」が発表され、1900年のメンデル「遺伝の法則」の再発見後、それらに「突然変異説」や「集団遺伝学」の成果などが統合され、さらに「中立進化説」とも両立し、ラマルキズム的世界観からネオ・ダーウィニズム的世界観へと進化学上のパラダイム転換が過去に何度も起こってきた。しかし、進化が当然の事実とみなされる今日の我が国においても、「科学的進化概念」の獲得と「誤概念」払拭を支援する「生命」領域における学習内容には、「系統進化」を重視した生物教育の必要性が示唆される。

IV. 研究の成果とカリキュラム提言

1. 研究結果から浮かび上がる学習内容

以上のように、本研究における中学生の回答記述による整理・分析結果と、小学生と大学生における先行調査結果を比較したところ、以下の4点の学習の重要性が浮かび上がってきた。

- ①「遺伝的変異」：目的や意志の力ではなく、無目的かつ偶然に起こる突然変異などのメカニズム。
- ②「多様性の進化」：「遺伝的変異」によって生じた適応進化の結果としての生物多様性。
- ③「進化の総合説」：一生の間に起こるラマルキズム (獲得形質の遺伝) に対峙し、長大な時間経過の中で起こる進化が説明可能。
- ④「系統進化」：有利な形質への直線的進化に相反し、多様性の進化につながったことが説明可能。

これらの4点を、中学校理科「生命」領域におけるカリキュラムや学習内容に含ませることが、今後の「生物学の統一的理解 (系統進化・多様性の進化)」や、「生物の階層性 (空間的視点)」と「生物多様性」に根ざす生物教育においては重要であり (図1)、未来の生物教育の動向を占う視点としても有効であると思われる。

その証左として、米国のミドルスクール (日本の小学校第6学年～中学校第2学年の3年間) で使用している3社の生物教科書には、この4観点すべてが記載されていた。しかも、このうち Pearson 社の日本語翻

訳版（5分冊A～Eを合本）は「①分類⇒②細胞⇒③遺伝⇒④進化⇒⑤生態系」の順に配列されていた（Padilla et al., 2011）。また、同様に合本で McGraw-Hill 社の教科書は「①生命の構造と機能（分類→細胞→遺伝→進化）⇒②細菌・植物⇒③動物⇒④人体⇒⑤生態系」の順に配列され（Biggs et al., 2017）、Houghton Mifflin Harcourt 社の教科書は分冊ながらアルファベット順に配列すると、「A 細胞・遺伝⇒B 生物の多様性（進化→分類）⇒C 人体⇒D 生態系」となっていた（DiSpezio et al., 2017）。この配列順は大単元項目（章）としては、平成29年告示の新しい中学校学習指導要領と類似している。因みに平成20年告示の学習指導要領では、先の図2に示すように「①植物（分類含む）⇒②細胞（代謝・反応含む）⇒③動物（分類・進化含む）⇒④遺伝（発生・生殖含む）⇒⑤生態系」の順であった。我が国のカリキュラムも、米国に準じて転換しつつあるようである。

本研究ではこのような「生物の階層性」に、「系統進化要因」を加味した生物カリキュラムの構成を提案するものである。「生徒になぜ？」と質問したとき、表7の分析結果から「目的論的説明」など、既に獲得された「適応・機能（現在の形態）」で説明する傾向がある。つまり「究極要因」での回答は得やすいが、「時間の流れ（時間的視点）」から形態の進化を説明する「系統進化要因」による回答は引き出しにくいのである（表1）。したがって、誤概念の払拭を支援するような「系統進化要因」による回答を得るためには、この「系統進化」のきっかけとなる「遺伝的変異」の仕組みを理解する必要がある。その上で、「適応進化」した結果としての「生物多様性」を理解、すなわち「多様性の進化」も理解する必要があると考えられる。

以上のような知見から、先の表1・図1及び本研究における分析・検討結果と照らし合わせ、表8のような中学校理科「生命」領域カリキュラムにおける単元構成と学習内容の提案を試みた（名倉・松本, 2020d）。

表8は生物の「階層性（空間的視点）」や「多様性」と「共通性⁽¹¹⁾」の視点、及び「生物学を统一的に理解する」ための「4つのなぜ」の視点、並びに「時間の流れ」としての「進化」の視点（時間的視点）などから多次元で捉える試みである（表1・図1）。

表8 「生物の階層性と進化による統一的理解」を図る中学校「生命」領域における単元構成の提案（名倉・松本, 2020d より改変）

生物の階層性 (空間的視点)	生物 多様性	生物の 共通性	生物学上の 4つのなぜ	時間的 視点
③ 3年 遺 伝	遺伝的 多様性	遺伝子・ DNA など	遺伝・遺伝的変異の仕組みなどの 至近要因	
② 2年 細 胞	種 の多様性	代謝・ 発生など	個体発生・成長などの 発達要因	
① 1年 分 類 ④ 3年 進 化		形態・ 繁殖など	類縁関係・多様性の進化などの 系統進化要因	
⑤ 3年 生態系	生態系 の多様性	食物網 など	環境適応・獲得した機能などの 究極要因	

※①～⑤は本研究で提案する単元の履修順（米ミドルスクール教科書や平成29年告示中学校学習指導要領の配列順を勘案）

2. 提案する具体的なカリキュラム例

前節1. で述べた海外教科書や新学習指導要領などの配列順を、表8の各単元①～⑤の「統一的理解」に照らし、履修順に解説すると以下ようになる。

①第1学年「分類（動・植物など）」:

学習内容は動・植物の外面的な「形態」や「繁殖（殖え方）」など。視点は「種の多様性」と「共通性」にある。ここでは生物の「分類」から「類縁関係」を教示し、「種の多様性」の原因である「進化」を示唆する展開が考えられる。例えば、在来種と外来種のタンポポの交雑による種の分化に気づかせ、現在の形態も「時間的視点」による「多様性の進化」の結果であることを発見する学習が考えられる（名倉・松本, 2019）。

②第2学年「細胞（人体などを含む）」:

学習内容は動・植物の「代謝・反応・発生・成長」など。視点は階層性のうちの「細胞」レベルであり、機能・メカニズムを中心とした「至近要因」による理解が求められる。「細胞分裂」から「個体発生」、「成長」など、「時間的視点」である「発達要因」による理解も求められる。ここでは「生命の誕生」、「個体発生」から「系統発生（進化）」を気づかせる展開、ミトコンドリアなどの細胞内小器官が他の生物の共生によること（細胞内共生）を示唆する展開が考えられる（名倉・松本, 2020c）。

③第3学年「遺伝（遺伝子含む）」:

学習内容は「遺伝の法則（優性・分離・独立）・遺伝子・DNA」など。視点は階層性のうちのミクロな

「遺伝子」レベルであり、「突然変異」から生じた「遺伝的変異」が個体差を生み出す仕組みに焦点化し、「至近要因」で捉えた授業が考えられる。例えば、「遺伝的多様性」を「時間的な視点」から捉えた「系統進化要因」による理解を求める授業として、「有性生殖という仕組みを獲得したことが、その組み合わせによる変異が長い世代を経て多様性を生み出した」という展開が考えられる(名倉・松本, 2020a)。

④第3学年「(多様性の)進化」:

学習内容は「類縁関係」「化石証拠」「相同器官」など。「遺伝的変異」から生じるわずかな個体差が、大きな「時間的」変化により、異なる種へと分岐していく過程、すなわち「系統進化要因」による「多様性の進化」の理解が求められる。ただし、「そもそもなぜキリンは長い首という形態・機能を獲得したのか」という「究極要因」で考察しながらも(適応進化)、「長い首の方が生存と繁殖に有利なため集団に広がっていった」という「自然選択」を中心とした「進化の総合説」での理解も求められる(名倉・松本, 2018)。

⑤第3学年「生態系」:

学習内容は「食物連鎖・食物網・生態系のピラミッド・食性・環境との相互作用」など。視点は「生態系の多様性」であり、階層性はマクロな空間的視点での「生態系」である。ここでは、「変異」のうち当時の環境に食性などが適合した者が「選択」され、進化していくプロセス(適応)を捉えた展開が考えられる。例えば、「ゾウの鼻が長いのは、ゾウの生育するサバンナなどの環境では、長い鼻が下草などを食べるのに役立つから」という「究極要因」での理解が求められる(名倉・松本, 2020b)。

加えて、第3学年での「遺伝・進化・生態系」の総括する課題として、「生命の樹(系統樹)」を提示しながら、「多様な自然環境の存在が生物進化にどのように関連しているか」という自分たちの存在を環境から問う課題や、「自然と人間が共存していくためには何が必要か、次世代を担う自分たちでできることを考えよう」など、方策を問う発展課題が考えられる。

3. 「生命」領域カリキュラム提言

先の表8と図1・図2を組み合わせると、第1学年から第3学年まで少しずつスパイラルに「生物」を学んでいくように配列すると、図3のような単元構成モデルによって、カリキュラムを示すことができる。

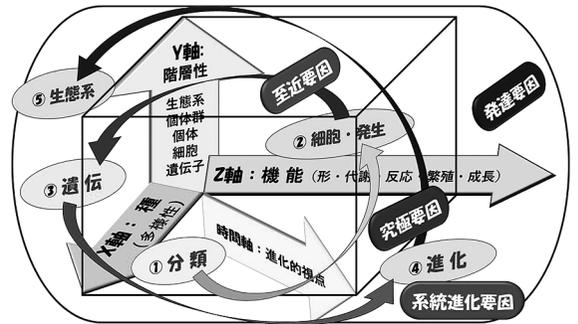


図3 「生物の階層性と進化による統一的理解」を図る中学校「生命」領域における単元構成モデル

※ ①～⑤のスパイラルな矢印が単元の履修(配列)順

今後、我が国の中等教育における「生命」領域の学習内容とカリキュラムは、表8と図3のような「生物学の統一的理解」の枠組みと「生物の階層性」で捉えた改善の必要性が示唆される。そして、本研究が提案するカリキュラム改善により「科学的進化概念」の理解が期待され、さらに一般社会にも浸透し、進化理論の人間社会への誤用回避も見込まれる。

しかしながら、本研究では限られた中学生における調査結果による分析であるため、より確かな提言には、同様の調査結果を蓄積し、実践と検証を継続してゆくことが今後の課題として残されている。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科学研究費補助金(課題番号20H00779)の助成を受けて行われたものである。

附記

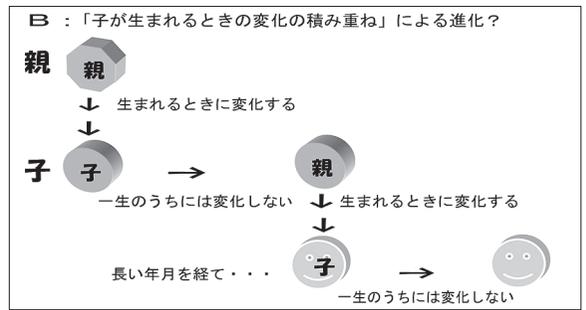
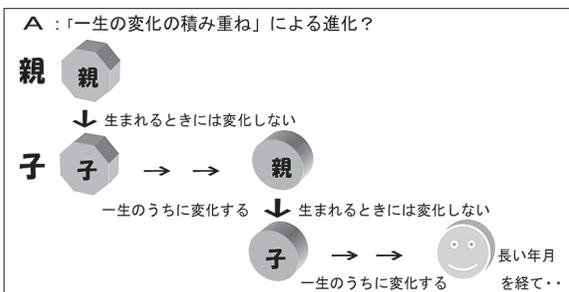
本研究は、日本科学教育学会第44回年会における発表内容(2020)、「生命領域における全単元を統合する中学校理科カリキュラムの構築—『生物多様性(空間軸)』と『進化(時間軸)』による生物教育体系化の試み—」を、新たな観点から再分析し、大幅に加筆・修正を加えたものである。

注

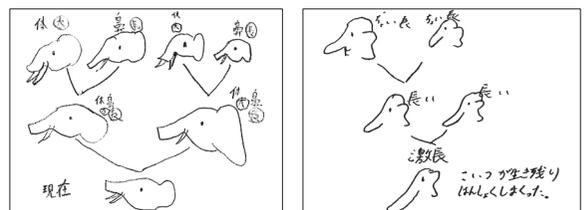
(1) 平成20年告示学習指導要領準拠の中学校理科教科書には、「自然選択説」を扱ったものがあり、「同じ種類の生物でも、少しずつ性質はちがっています。その中でより生き残りやすい性質を持つ個体は、多くの子孫を残す可能性が高くなります。すると、その性質は、親から子へ

と伝えられます。このようなことが何世代もくりかえされ、その性質がその生物集団の中へ広がり、生物は進化すると記載されている（塚田ほか，2018:57）。

- (2) 「進化の総合説」は「ネオ・ダーウィニズム」と呼ぶこともあるが、厳密には「ネオ・ダーウィニズム」はワイズマンが提唱した「自然選択説のみで進化を説明する立場」を指す（横山，2002）。「進化の総合説」の根底にはダーウィンの「自然選択説」があり、進化の素材としての「遺伝的変異」が個体に生じ、その小さな変異に「選択」が働いて漸進的変化をもたらすことが骨子であり、このとき「獲得形質の遺伝」は否定された（長谷川，2005）。当初、このダーウィンの「連続説」は、メンデル遺伝の法則（不連続説）や突然変異説と対立するとされたが、集団遺伝学の成果である「自然選択の遺伝学的理論」により矛盾なく合体し、「進化の総合説」が成立した。
- (3) 一般に生物多様性は、「遺伝的多様性」、「種の多様性」、「生態系の多様性」の3つに大別されている。
- (4) 中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編には、「生命」領域では「生命に関する自然の事物・現象を柱として共通性・多様性の視点で捉えること」が記載され、第1学年で「生物の共通点」である「分類」が学習できるように改訂されたことがわかる（文部科学省，2018）。
- (5) ジェン・バチスト・ラマルクの学説の1つで、「努力や意志の力によって生存中に獲得した形質が、子孫に遺伝して進化が生じる」という「獲得形質の遺伝」を指すことが多い。よって、「獲得形質の遺伝」を認める立場が「ラマルキズム」「ネオ・ラマルキズム」で、認めない立場が「ダーウィニズム」「ネオ・ダーウィニズム」として対立してきた経緯がある。正確にはラマルク説の中心は「漸進的進化」にあり、環境の変化に適應する過程では「用不用説」も含まれる（横山，2002）。しかしながら、本研究では分析方法で参考にした杉本（2014）の立場をとり、「獲得形質の遺伝」＝「ラマルキズム」とした。
- (6) この協働的な学習では、以下の描画カードを用いてAかBかを選び、その理由を考える課題を出題した（名倉・松本，2018；森本・甲斐・森藤，2006より改変）。



- (7) 上記 (2) でも述べたが、「ネオ・ダーウィニズム」とは、遺伝様式から「獲得形質の遺伝」を完全否定し、「自然選択説」のみで進化を説明する主義であるが、本研究では分析方法を参考にした杉本（2014）に準じ、「進化の総合説」＝「ネオ・ダーウィニズム」とみなした。
- (8) ダーウィン理論の特徴の1つとして、偶然性の重視と統計的集団思考がある。自然選択を進化の中心概念とし、さまざまな変異をもった種の全体を、統計的にあるいは集団としてとらえていくダーウィンの考え方は、後の「集団遺伝学」へ発展した。すなわち、ランダムに生じた遺伝的変異がメンデル遺伝によって次第に生物集団に広がっていくことを意味する。換言すれば、フィッシャーらの「集団遺伝学における数学的理論」によって、メンデル遺伝とダーウィン理論が両立することを示した（横山，2002）。
- (9) 表2の課題提示にあたっては、祖先種から次第に現在の姿に至る過程、すなわち「遺伝」単元で学習したダーウィンの系統樹を踏まえた「系統進化」を想定し、「絵」で考えてから、その後「文」で記述するように指示した。下図は2人の生徒（左：A・K女，右：T・H男）の「絵」による回答例である（杉本に倣い「文」のみで分析し、両者共に「ネオ・ダーウィニズム」に含めた）。また、キリンの課題を含めて回答には「適応・遺伝的変異・自然選択」の3つの目標を含み、正解（進化仮説）は1つではないことも示唆している（名倉・松本，2018）。



- (10) 木村資生の「中立説」では、DNAに蓄積される生物の変異の多くのものは適応-不適応に無関係で、自然選択にとってどちらでもない「中立的」なものがほとんどである。しかし、それは分子レベルにおいてであり、わずかに生存に有利な変異は形態レベルでの進化に寄与し、そこには自然選択が働いているとみなすのが一般的

であり、「進化の総合説」に含まれる。

- (11) 「多様性」と「共通性」という概念は一見かけ離れて見えるが、同じ生物の異なった側面を見ているに過ぎないから、両者を「進化」という概念で統一的に理解することができる。現在見られる多種多様な生物は、1つの同じ祖先から枝分かれすることによって生み出されてきたのであるから、極めて多様でありながら根本には共通性を持っていることが矛盾なく理解できる(深津, 2002)。

文献

- Anderson, M. et al. (2017): *Life Science (Glencoe Edition)*, Columbus, OH, McGraw-Hill Education.
- DiSpezio, M. A. et al. (2017): *Science Fusion (First Edition)*, Orland, Florida, Houghton Mifflin Harcourt.
- 深津武馬 (2002): 共生と共進化, 石川統編著「生命環境科学 I 一環境と生物進化」(放送大学大学院教材), 128-139, 放送大学教育振興会.
- 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, 42, 1, 1-12.
- 長谷川真理子 (2005): 進化論の歴史, 石川統ほか3名編「進化学の方法と歴史」, 7-31, 岩波書店.
- 長谷川真理子 (2020a): 生物をどのように教えるか, 日本教科内容学会誌, 6, 1, 3-12.
- 長谷川真理子 (2020b): 進化をめぐる誤謬, 「次代の風」(2020年6月28日朝刊), 毎日新聞.
- 松永俊男 (2009): チャールズ・ダーウィンの生涯, 朝日新聞出版.
- Mayr, E. (1982): *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.
- 森本信也・甲斐初美・森藤義孝 (2006): 理科授業における学習者の科学概念変換に関する一考察, 理科教育学研究, 47, 2, 51-63.
- 文部科学省 (2008): 中学校学習指導要領 (平成29年告示), 東山書房.
- 文部科学省 (2017): 中学校学習指導要領 (平成29年告示), 東山書房.
- 文部科学省 (2018): 中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編, 学校図書.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2018): 中学校理科「生物・地学」領域を通じた科学的進化概念形成に関する授業開発, 理科教育学研究, 59, 2, 205-215.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2019): 中学生に「生物多様性」の理解と「進化思考」を促す理科授業開発, 理科教育学研究, 60, 2, 397-406.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020a): 中学校「生命の連続性」における科学的進化概念の理解をめざす単元開発, 理科教育学研究, 60, 3, 589-601.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020b): 中学校3年「生物と環境」における「生態系の多様性」と「生物進化」を結ぶ単元開発, 理科教育学研究, 60, 3, 603-613.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020c): 生命領域における全単元を統合する中学校理科カリキュラムの構築, 日本科学教育学会年会論文集, 44, 293-296.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020d): 生物学を統一的に理解するための理科カリキュラムの構想, 日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集, 1.
- 日本学術会議 日本の展望委員会 生命科学作業分科会 (2010): 日本の展望—生命科学からの提言, 23.
- Padilla, M. J., Miaoulis, I., & Cyr, M. (2011): *Prentice Hall Science Explorer book A~E (International Edition, Student Edition)*.
- 西山徹監修 (2019): カラー生物・生命科学大図鑑, 西村書店.
- 佐倉統 (2002): 進化論という考え方, 講談社.
- 佐倉統・山野井貴浩 (2010): 知識ゼロからのダーウィン進化論入門, 幻冬舎.
- Simon, E. J., Dickey, J. L., Reece, J. B., & Hogan, K. A. (2016): *Campbell Essential Biology (6th Edition)*. 池内昌彦ほか2名監訳 (2018): エッセンシャル キャンベル生物学 (原書6版), 丸善出版.
- Singh-Cundy, A., Cain, M. L., & Dusheck, J. (2012): *Discovery Biology (5th Edition)*. 上村慎治監訳 (2014): ケイン生物学 (第5版), 東京化学同人.
- 杉本明子 (2014): 日本の大学生と小学生の進化に関する素朴理論, 明星大学研究紀要, 4, 33-50.
- Timbergen, N. (1963): *On Aims and Methods in Ethology*, *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20, 410-433.
- 塚田捷ほか61名 (2018): 未来へひろがるサイエンス3 (中学校理科教科書), 新興出版社啓林館.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2017): *Campbell Biology (11th Edition)*. 池内昌彦ほか3名監訳 (2018): キャンベル生物学 (原書11版), 丸善出版.
- 横山輝雄 (2002): 生物学の歴史—進化論の形成と展開, (放送大学教材) 放送大学教育振興会.
- 渡邊重義 (2013): 近年のアメリカの高校生物教科書の内容と教材構成の特色, 理科教育学研究, 53, 3, 535-545.

(受付日2020年11月5日; 受理日2021年2月26日)

[問い合わせ先]

〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-33
岩手大学教育学部理科教育科
名倉 昌巳
e-mail: mmears@iwate-u.ac.jp