

博 士 論 文

科学的進化概念形成を基軸とした理科カリキュラム
開発とその授業実践に関する研究

2020

兵庫教育大学大学院
連合学校教育学研究科
教科教育実践学専攻
(兵庫教育大学)

名 倉 昌 巳

目 次

序 章	問題の所在と研究の目的・方法	8
第 1 節	問題の所在	8
第 1 項	学習指導要領の改訂の視点から	8
第 2 項	生物多様性の視点から	11
第 3 項	アメリカの「生命科学教科書」から	13
第 4 項	科学的進化概念と誤概念の視点から	14
第 2 節	研究の目的と方法	16
第 1 項	研究の目的	16
第 2 項	研究の方法	17
第 3 節	本論文の構成	18
第 1 項	第 1 章：第 1 学年「生物」領域 「生物の観察」における単元開発	18
第 2 項	第 2 章：第 1 学年「地学」領域 「地層の重なりと過去の様子」における単元開発	18
第 3 項	第 3 章：第 2 学年「生物」領域 「生物の変遷と進化」における単元開発	18
第 4 項	第 4 章：第 3 学年「環境」領域 「生物と環境」における単元開発	19
第 5 項	終 章：本研究のまとめと今後の課題	19
註及び引用・参考文献		20

第 1 章 中学校第 1 学年「生物」領域

	「生物の観察」における単元開発	23
第 1 節	問題の所在	23
第 2 節	本章の目的	26
第 3 節	開発したカリキュラム	26

第1項	「進化思考」によるカリキュラム設計	26
第2項	開発した授業計画	29
第4節	授業評価の方法	32
第1項	課題分析による授業評価	32
第2項	質問紙調査による授業評価	32
第5節	結果と分析	34
第1項	各課題による質的分析	34
第2項	各課題による質的分析の総括	39
第3項	質問紙調査による分析	40
第6節	本章のまとめ	42
	註及び引用・参考文献	43

第2章 中学校第1学年「地学」領域

	「地層の重なりと過去の様子」における単元開発	45
第1節	問題の所在	45
第2節	本章の目的	46
第3節	開発したカリキュラム	47
第1項	「逆向き設計」論に「形成的評価」を加味したカリキュラム設計	47
第2項	開発した授業計画	49
第4節	授業評価の方法	52
第1項	パフォーマンス課題による授業評価	52
第2項	質問紙調査による授業評価	54
第5節	結果と分析	55
第1項	パフォーマンス課題による分析	55
第2項	質問紙調査による分析	58
第6節	本章のまとめ	60

註及び引用・参考文献	61
------------	----

第3章 中学校第2学年「生物」領域

「生物の変遷と進化」における単元開発	64
第1節 問題の所在	64
第2節 本章の目的	66
第3節 開発したカリキュラム	67
第1項 「逆向き設計」論に「形成的評価」を加味したカリキュラム設計	67
第2項 開発した授業計画	68
第4節 授業評価の方法	70
第1項 パフォーマンス課題による授業評価	70
第2項 質問紙調査による授業評価	71
第5節 結果と分析	73
第1項 パフォーマンス課題による分析	73
第1 到達人数からみたパフォーマンス課題の評価・分析	73
第2 回答事例からみたパフォーマンス課題の評価・分析	74
第2項 質問紙調査による分析	74
第6節 本章のまとめ	79
註及び引用・参考文献	80

第4章 中学校第3学年「環境」領域

「生物と環境」における単元開発	82
第1節 問題の所在	82
第1項 平成29年改訂学習指導要領からの問題提起	82
第2項 科学的進化概念・誤概念からの問題提起	84

第2節	本章の目的	85
第3節	開発したカリキュラム	85
第1項	「生態系の多様性」と「生物進化」を結ぶカリキュラム設計	85
第2項	開発した授業計画とルーブリック・パフォーマンス評価	85
第4節	授業評価の方法	91
第1項	対象と期間	91
第2項	各課題による授業評価	91
第3項	質問紙調査による授業評価	92
第5節	結果と分析	94
第1項	各課題による授業評価・分析	94
第1	【パフォーマンス課題⑦】における評価・分析	94
第2	【課題⑧】におけるルーブリック評価・分析	95
第2項	質問紙調査による分析	97
第6節	本章のまとめ	100
	註及び引用・参考文献	101

終章 本研究のまとめと今後の課題 103

第1節	研究の成果	103
第1項	各章の課題分析による検証成果	103
第2項	質問紙調査による検証成果	105
第2節	4つの単元開発からみたカリキュラム設計	108
第1項	各章の課題分析による検証成果からみたカリキュラム設計	108
第2項	質問紙調査による検証成果からみたカリキュラム設計	109
第3節	カリキュラム開発に関する提言と今後の展望	110
第1項	2つの検証成果からみたカリキュラム設計に関する提言	110
第2項	カリキュラム設計に関する提言から得られた本研究の知見と問題点	112
第1	教授・学習過程におけるカリキュラム開発から	112
第2	「生物多様性」の理解に関するカリキュラム開発から	113
第3項	今後のカリキュラム設計に関する展望	114

註及び引用・参考文献 115

附 記 116

謝 辞（あとかき） 117

序 章 問題の所在と研究の目的・方法

第 1 節 問題の所在

第 1 項 学習指導要領の改訂の視点から

生物の進化に関する学習は、平成 20 年告示（現行）の中学校学習指導要領では第 2 学年で扱われていたが、平成 29 年告示（新）の中学校学習指導要領では第 3 学年に移行することになり、「(5) (イ) 遺伝の規則性と遺伝子」の単元に続いて学習するように改訂された。平成 20 年告示の現行学習指導要領では、「(3) エ 生物の変遷と進化」の単元目標（第 2 学年）には、「現存の生物や化石の比較などを基に、現存の生物が変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けてとらえること」と記載されていた（文部科学省，2008）。しかし、平成 29 年告示の新学習指導要領では、「(5) (ウ) 生物の種類の多様性と進化」の単元目標（第 3 学年）には、「現存の生物及び化石の比較などを通して、現存の多様な生物は過去の生物が長い時間の経過の中で変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けて理解すること」と記載されている（文部科学省，2017）。さらに新学習指導要領では、探究の学習過程の例として「生命の連続性について、観察、実験などを行い、その結果や資料を分析して解釈し、生物の成長と殖え方、遺伝現象、生物の種類の多様性と進化についての特徴や規則性を見いだして表現すること。また、探究の過程を振り返ること」と付記されている。

どちらもほぼ同様のことを述べているようであるが、新学習指導要領には「多様な」と「過去の生物が長い時間の経過の中で」という文言と、「生物の種類の多様性と進化についての特徴や規則性を見いだして表現する」という探究学習に関する附記が、現行の学習指導要領と異なっている。つまり、新学習指導要領の目標においては、「現存の多様な生物は過去の生物の進化の結果であること」を、「化石」を含めた学習の中で、探究の過程を通じて理解することが一層強調されているように思われる。換言すれば、移行期間を含めた今後の中学校第 3 学年における「(5) (ウ) 生物の種類の多様性と進化」の学習においては、「(5) (イ) 遺伝の規則性と遺伝子（第 3 学年）」の学習と関連付けて、「化石」が登場する「(2) (イ) 地層の重なりと過去の様子（第 1 学年）」の復習を含めた中で、「生物多様性」に関する体系的な科学的概念が獲得されるように改訂されたと捉えることができる。

現行の中学校第 2 学年理科教科書（3 社：平成 28 年度採択率合計 93.1%）には、「類縁関係」「相同器官」「中間化石」などの進化の証拠が記載され、進化のしくみについても読み物として「自然選択説」に触れられていた。しかし表 1 のように、現行の中学校理科教科書における「生物進化の定義」は、中学生向けに最小限の基本的な要素を取り入れて熟慮の上に定義されているが、新学習指導要領における改訂の観点から見ると不足している

表 1 中学校第 2 学年理科教科書における「生物進化の定義」

啓林館 (塚田ら, 2017)	生物は長い年月をかけて世代を重ねる間にしだいに変化し, 新しい生物が生じること。
大日本図書 (有馬ら, 2016)。	生物が長い時間をかけて変化すること。
東京書籍 (岡村ら, 2016)	生物のからだの特徴が, 長い年月をかけて代を重ねる間に変化すること。

感が否めない。特に, 以下の第 2 項で詳しく述べるが, 「生物多様性」の時間的視点である「現存の多様な生物は長大な年月にわたる進化の結果であること」は示されているが, その教授・学習過程は明記されていない。これが第一の問題点である。

したがって, 今後は「生物多様性」に関する体系的な理解を含み, 「進化」のプロセスが系統的に把握でき, かつ科学的な進化概念の形成をめざす理科カリキュラムの開発が必要となる。これが第一の問題点に対する回答である。

繰り返しになるが, 平成 29 年告示の新学習指導要領における第 3 学年の目標に, 「現存の生物及び化石の比較などを通して, 現存の多様な生物は過去の生物が長い時間の経過の中で変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けて理解すること」という目標が掲げられている。このように第 3 学年においても「化石の比較」について学習するように改訂されたが, 現行・新学習指導要領ともに, 「化石」を学習するのは第 1 学年の「地学」領域に配置されたままである。また, 現行学習指導要領においては, 「脊椎動物の体のつくり」も「進化」も第 2 学年に配置されていた。一方, 新学習指導要領においては, 「脊椎動物の体のつくり」を学習するのは第 1 学年, 「進化」を学習するのは第 3 学年に移行した。すなわち, それら 2 単元を履修する学年が分断され, 第 3 学年において「進化」を「生物多様性」の視点から体系的に学習する際に, 第 1 学年での「地学」領域や「生物」領域の学習を復習しながら学習する必要性が生じる。これが第二の問題点である。

したがって, このような履修学年の問題から勘案して, 「化石」と「脊椎動物の体のつくり」を関連付けて考察するには, 第 1 学年の「(2) (イ) 地層の重なりと過去の様子」の単元や, 同じく第 1 学年の「(1) (イ) 生物の体の共通点と相違点」の単元においても, 「進化」の基本について触れることが必要になってくると思われる。つまり, 今後は第 1 学年の「地学」領域や「生物」領域においても, 「進化」の視点を加味することが重要になってくると思われる。これが第二の問題点に対する回答である。

平成 29 年告示の学習指導要領では「(イ) 遺伝の規則性と遺伝子」の後に, 「(ウ) 生物の種類の多様性と進化」を扱うように履修順が改訂されたことも先にも述べた。すなわち, 中学校第 3 学年の「(5) 生命の連続性」の (大) 単元において, 「遺伝の規則性と遺伝子」と「生物の種類の多様性と進化」が同じ学年に配置されたことになる。現行では, 第 2 学年で「生物の変遷と進化」を学んだ後, 第 3 学年で「遺伝の規則性と遺伝子」を履修していた。今後も従来のように, 「遺伝」と「進化」の 2 つの単元を並列的に並べ, 関連付けられない学習で済まされるのであろうか。「進化 (ダーウィニズムが主流)」は微小な変異が

「連続」的に起こるが、「遺伝（メンデルズム）」において変異は「不連続」であり、両者は対立する概念である。そして、この2つの対立概念は生物学史上において統合を果たし、「進化の総合説（ネオ・ダーウィニズム）」が成立することになる（現代的総合¹⁾）。当然ながら、平成29年告示の学習指導要領ではその経緯について扱うことは明記されていない。しかしながら、学習指導要領の「内容の取扱い」の中には「進化の証拠とされる事柄や進化の具体例について扱うこと・・・（中略）・・・また、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。加えて、「中学校新学習指導要領展開理科編」における「生物の種類の多様性と進化」単元の解説の中に、「・・・遺伝では、遺伝子が親から子に伝えられることを学んだが、長い時間で見ると遺伝子に変化が起きて形質が変化することにも触れる。これらの学習を通して、現存する多様な生物は長い時間の経過の中で変化して生じてきたものであることを理解させ、生命の歴史の長さを認識させることにより・・・」という文言が見つかる（田代，2017，p.85）。すなわち、「進化」を学ぶ上で、今後は「遺伝的変異²⁾」と関連付けたカリキュラム設計が必要であると捉えることができる。これが第三の問題点である。

したがって、中学校第3学年の理科において、「遺伝」と「進化」を同じ（大）単元「生命の連続性」で学ぶことになる中学生が、「遺伝の規則性と生物進化の結果、生物が多様化したことを理解する」何らかの授業計画を策定する必要がある。換言すれば、「生物多様性」の本質を理解するためには、それに「遺伝（の規則性）」と「進化（のプロセス）」を関連付けた（統合した）カリキュラム設計が移行期間を含めて今後、必要になってくることは必至であろう。これが第三の問題点に対する回答である。

新学習指導要領に準拠した中学校理科教科書（2020年採択予定）では、「遺伝の規則性と遺伝子」、「生物の種類の多様性と進化」、「生物と環境」の3つの単元が1つの学年（第3学年）にまとめられることになった。つまり、それぞれ順に「遺伝的多様性」、「種多様性」、「生態系の多様性」という3つのレベルの多様性の概念が、中学校第3学年の1年間で学べるように改訂された。しかしながら、このような「生物多様性」の3つのレベルを解説する文言は新しい学習指導要領（「(7)(ア) 生物と環境」）には明記されていないため、次期教科書においてもそのような記載は望めない。すなわち、生物は無機環境も含めた「生態系」の中で、相互に関連しながら「進化（共進化）」しながら、「種多様性」を生じさせてきたことが教科書に記載され、環境問題を「進化」の時間的視点から記述される可能性は皆無であろう。現在、3つのレベルの「生物多様性」の保全が叫ばれているのは、長大な38億年の年月をかけて「進化」を遂げてきた約150万種類の生物が、数年単位の短い期間に絶滅の危機にさらされているからである。これが第四の問題点である。

したがって、「生物多様性（生態系の多様性）」の理解を図る上で、中学校第3学年「生物と環境」単元における「生物進化（時間的視点）」で捉えたカリキュラム設計が必要になってくると思われる。これが第四の問題点に対する回答である。

以上の4つの問題点に鑑み、平成29年の中学校学習指導要領の改訂から言えることは、今後の中学校第3学年においては、「生物の種類の多様性と進化」の単元では「多様な現存の生物は生物進化の結果であること」を理解するカリキュラム、さらに「遺伝の規則性と遺伝子」の単元では「遺伝的変異」で「進化」と関連付けたカリキュラム、並びに「生物

と環境」における単元では「生態系の多様性」と「進化」を結び付けたカリキュラムが必要であると考えられる。ただし、このように複合的な観点に立つカリキュラムを、最終の第3学年のみに集中して行うだけでなく、第1学年の「地学」領域の「地層の重なりと過去の様子」の単元や、「生物」領域の「生物と観察」の単元においても、「進化」の基本的な学習からスパイラルに積み重ねていく計画を策定することが最適であると考えられる。よって、本研究においては以下の第2項から第4項を踏まえた上で、中学校理科における5つの単元開発をめざし、本論文ではそのうち4つの単元開発（第1～4章）における実践結果から、「科学的進化概念」の形成過程の分析によってその有効性を検証した。

第2項 生物多様性の視点から

今日において同定可能な生物の総数は約150万種ともいわれているが、実際に現存する生物種はその10～100倍と推定されることが多い。およそ30数億年前のたった一つの原始生命体より生命の起源が始まり、各地質時代の環境に適応し、各自の遺伝子を少しずつ変化させ進化してきたことが、現存の「多様な生物」につながったとされている。すなわち、「生物多様性」は「生物進化」の所産であり、「種多様性」や「遺伝的（遺伝子）多様性³⁾」及び「生態系の多様性」を包含する概念でもあるというのが、定説になっている。

本川（2015）は「生物多様性の大切さ」を理解する困難さについて述べ、その理解には「生物を取り巻く環境や、生物と環境の関わり合いである生態系」、さらに「遺伝子から生態系まで、さまざまなレベルの生物学」の理解が必要であると指摘している。特に、「生物が進化によって生じた価値」、すなわち「生物多様性の価値」について論じている。そのためには、初学年における各単元から「進化」に関する概念理解をスパイラルに積み上げ、その思考の仕方をスモールステップで習得していく必要があると思われる。

進化生物学者の三中（2010）によれば、多様性のパターンを解析する思考法には「分類思考」と「系統樹思考」の2つがあり、その包括的な体系的思考が基盤をなし、「進化思考：三中の造語」が形成されてきたと主張する。加えて、「分類思考」は「分類科学」にその起源があり、「類似性に基づく分類を目指す」分野であり、「系統樹思考」は「古因科学」にその起源があり、「歴史的因果を研究する」分野であると、ヒューウェル（William Whewell）やトール（Patrick Tort）の知見を引き合いに出して論じている（表1）。換言すれば、「進化思考」とは「ある対象物がたどってきた歴史のパターンを復元し、それに基づいて因果的なプロセスを考察しようとする思考法である」という。

この論考から、「分類思考」はある時点での「種」の同定を志向し、「系統樹思考」はその「種」がたどってきた歴史的な時間経過を志向するアプローチであると推察される。ダーウィンが種・亜種・変種・品種は連続し、「種」は個体差の延長であると考えたことから（長谷川，2015）、三中の論は支持される。つまり、先の第1項で述べた平成29年におけるの学習指導要領の改訂によって、生物学の中心概念である「進化」を、さらにはそ

表1 「進化思考」の形成（三中，2010,p107より改変）

ヒューウェル： 学問の分類体系	トール： 修辞学からみた推論様式	三中： 生物多様性の解析手法	
分類科学： 体系植物学など類似 度の研究分野	目に見える表面的な類似 性に基づくグループ分け	分類思考	進化思考 の形 成
古因科学： 地質学など歴史的因 果の研究分野	断片的な知見から全体的 ストーリーを復元する思 考	系統樹思考	

の体系的思考である「進化思考」を，中学校における生物教育の中核に据えてきたのではないかと解釈し得る。この論拠として，平成29年版の「学習指導要領解説理科編」には，理科における「見方・考え方」の記載がある（文部科学省，2017b，p.12）。そこでは，「自然界の事物・現象を，質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え，比較したり，関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」と整理されている。特に，「生命」領域における理科の「見方」の例として，「多様性」と「共通性」の視点で捉えるという文言がある（同，p.11）。すべての生き物は「歴史の産物」であり（長谷川，2015），何度も述べるが，「共通」な祖先から現存の「多様」な生物が出現してきたのは「進化」の結果である。換言すれば，「生物多様性（空間的視点）」には，「進化（時間的視点）」がその根底にある。そして，すべての生物は「遺伝」情報を受け継ぎ，複製することにより生命を維持してきたという「共通性」を保持している。

そこで，本研究における第1章では「(身近な)生物の観察」の単元において，中学校の新入生が「生物多様性」を解析する「進化思考」の一端を垣間見るような授業計画を策定した。現行の平成20年告示中学校学習指導要領では「生物の変遷と進化」の単元は第2学年に配置されている（第3章）。そのような上級学年における学習（平成29年告示の新学習指導要領では第3学年「生物の種類の多様性と進化」に移行）を経ることによって，「生物多様性」の1つの概念である「種多様性」が，「進化（時間的視点）」の結果として生じたことが理解されるであろう。さらに，第4章における第3学年「生物と環境」の単元においては，「生態系の多様性（空間的視点）」と「進化（時間的視点）」を結び付けたカリキュラムも開発した。加えて，本論文には掲載が間に合わなかったが，第3学年「遺伝の規則性と遺伝子」の単元においては，「遺伝的多様性（変異）」によって「遺伝（不連続説）」と「進化（連続説）」を関連付け，その相反する2つの理論を統合するカリキュラムもすでに開発を終え，その実践結果を分析し，学会誌にまとめたところである（名倉・松本，2020b）。

よって，これら中学校理科における「生物・地学・環境」の3領域における5つの単元開発によって，中学生が「生物多様性」の3つの概念と，「進化」のかかわりについて正しく理解できる全カリキュラム開発が完成することになる（第1章第3節図1）。

この他，第2章では第1学年の「地学」領域「地層の重なりと過去の様子」の単元において，「時間的視点」である地史上の古生物の変遷について，特に「水中から陸上への進化」を取り上げることによって，基本的な進化のメカニズムに関する理解をねらった。なぜな

ら、先の第1節第1項でも述べたように、「化石」を中学校で最初に学習するのは、第1学年（現行・新共に）の「地学」領域であるにもかかわらず、「脊椎動物の体の特徴」を学習するのは現行第2学年・新第1学年であり、「生物の種類の多様性と進化」について学習するのは現行第2学年・新第3学年であり、履修の時期にずれが生じたからである。すなわち、「化石」と「脊椎動物の体の特徴」を「進化」と結び付けて考察するのは、この第1学年に配置された「地層の重なりと過去の様子」が最適であり、そのため第2章のようなカリキュラム設計による単元開発を行った訳である。

本研究のように「生物多様性」の3つの概念と「進化（時間的視点）」を結び（本章第3節図1及び、第4章第1節図1）、中学校における「生物・地学・環境」領域の4つの単元カリキュラムを開発した例は、我が国のこれまでの実践研究では皆無であると思われる。そして、このような本論文における試みは、我が国の理科カリキュラム開発に一つの指針を与える研究になり得ると考えられる。

第3項 アメリカの「生命科学教科書」から

ドブジャンスキーが「進化に照らさなければ、生物学は何も意味をなさない（Nothing in biology wakes sense except in the light of evolution）」という名言を唱えたことは有名である（Dobzhansky, T., 1973）。ドブジャンスキーは「遺伝学と種の起源」を1937年に著し、メンデルイズムとダーウィニズムを結び付け、「進化の総合説（ネオ・ダーウィニズム）」の成立（現代的総合）に貢献した学者の一人である（横山, 2002）。現代生物学の体系は「細胞・生理・発生・遺伝・生態を縦糸」に、「進化の視点を横糸」として織り上げられている。生物の多様性を「空間的」のみならず、「時間的」に把握するには「進化」の考え方が不可欠であり、アメリカの大学教科書はこの論で統一されている（Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A, Minorsky, P. V., 2017 ; Singh-Cundy, A., Cain, M.L., Dusheck, J., 2012）。中でも、大学の初等生物学教科書として採用されている「Discover Biology（ケイン生物学）」は、全6部構成のうち第4部がすべて「進化」に当てられており、他の各部・各章でも進化について触れている個所が以前から数多くあった（Cain, M. et al., 2005）。

加えて、ミドルスクール（日本の小学校第5学年から中学校第2学年にあたる）の生命科学教科書「Life Science: Life Over Time」でさえ、「進化のメカニズム」がダーウィンの「自然選択説」に基づいてわかり易く説明されている。具体的には、Variation（変異）、Adaptation（適応）、Selection（選択）の主に3点が進化をもたらした要因であることが明記されている（Trefil, J. et al. Eds., 2007）。言い換えれば、偶然の「遺伝的変異」が時代の環境に「適応」し、その生存に有利な変異が「選択」され、このプロセスが長い世代を経て繰り返されることによって、「生物進化」が起こったことが解説されている。このように正しく「生物進化」のメカニズムを理解し、そのことによる「科学的進化概念」形成の重要性がうかがえる。

高橋・磯崎（2014）は「BSCS（高校生物）」教科書の特色を、「進化」に焦点化して調査し、「Connection（統合原理）」の具体例を52例導き出している。そのうち「遺伝に関するメンデルの理論は、遺伝的変異がどのように進化に導くことになるかを説明する方法」になること、つまり「メンデル遺伝の法則」と「進化論」の関係の重要性を指摘している。その上で、「進化の学習は現実的な問いかけから深めていくことができる効果的な教材であり、科学の本質を指導するよい機会ともなりうる」と提言している（高橋・磯崎，2014）。

そこで、本研究では、上記のように生物学の中心概念の1つである「進化（時間的視点）」によって、中学校理科第2分野における「生物・地学・環境」領域において、上記の第1項及び第2項で述べた5つの単元を関連付けるカリキュラム開発を提案した（本章第3節図1）。そのうち、本論文においては4つの単元開発の有効性を、その単元前・後における科学的進化概念の形成過程から検証した。このような中学校理科における4つの単元を、「進化」的視点を中心に据えてカリキュラムを設計し、単元開発を実践した先駆的な事例は、少なくとも我が国の先行研究には見当たらないと思われる。

第4項 科学的進化概念と誤概念の視点から

現代進化学では否定されているが、「一生の間に起こる変異が次世代に伝わる」とする「ラマルク説（獲得形質の遺伝）」の支持者が中学生から大学生までのどの段階でも多く、特に高校生物を学んだ後も保持されやすい誤概念であるとする研究報告がある（福井・鶴岡，2001；森本・甲斐・藤森，2006；中井，2004）。また、小学校高学年の児童が持つ中心的な素朴進化理論は「ラマルキズム（獲得形質の遺伝）」と「目的論的説明（進化は本来無目的）」であり、この2つは少数ながら大学生も保持していたという調査報告もある（杉本，2014）。

その他、「進化」は「成長」「変身」「発達」「進歩」などと誤解されやすいとする先行授業実践も数多く存在する（桐生，2004；宮本，2008；正本・西野，2011）。

一方、一般社会に目を移すと、進化の「進んでいる」という語が「進歩」や「優れている」と想起され、誤解・差別・偏見を生む学習内容であるとする見解もある（石川・森，2002）。例えば、「自然選択」説は「自然淘汰」とも表現され、「生存競争」や「生存闘争」さらには「弱肉強食」などと解釈され、社会進化論としばしば混同されてきた。我が国では、「進化論」が社会的生存競争による「優勝劣敗」として受容された歴史があり（渡辺，1991）、この延長線上には、「劣った遺伝子は淘汰」すべきとする「優生思想」が垣間見える。DNA鑑定や遺伝子スクリーニングが可能となった現在、「反社会的あるいは暴力的な遺伝子などという、生物学のレベルとは対応関係のないありもしない遺伝因子を想定」し、「人間の社会的行動を説明づけようとする」近未来社会の到来が懸念されている（米本，2004）。「弱肉強食」に代表されるような集団内の個体間の生存競争は「自然選択」の本質ではない（颯田，2012）。科学的な進化概念の形成と、正確な生物進化のメカニズムの理解

が待たれる分野でもある。

先の第3項で述べたように「進化は生物学の中心概念」でありながら、上記のような「誤概念」を多く含み、その概念理解に課題の多い分野である（長谷川，2015）。それ故に、しばしば「進化を教えることは難しい」という指摘にもつながり（長谷川，2004）、過去の学習指導要領では「進化」や「遺伝」が削減された時期も存在する（名倉，2007）。

しかも「学校現場で生徒の活動（実験・観察，課題研究や探究活動など）を通して進化を取り扱うことは特に困難であり，特に実験・観察による帰納推論的な指導は時間的にも困難なものが多い」と指摘されてきた（佐藤・大鹿，2005）。結果として，中学校における「進化」の学習を効果的に進める実験は少なく，資料をもとに個々の教師の力量で進められることが多いのが実情である（森本，2009；西野・佐竹，2013）。このため，中学校における「進化」に関する授業実践事例の蓄積は少なく，先行実践研究も数えるほどしか存在しない。しかもその多くは単発的なものに限られ，単元全体を線で結ぶようなカリキュラム設計はほとんど存在しない。

そこで，本研究においては，中学校理科における「生物・地学・環境」領域の4単元にわたる授業計画を，生物学の中心概念である「進化」で統合することを試み，「科学的進化概念」の形成や「誤概念」の保持の様相から，各単元開発の有効性を検証した。

本研究のように，中学生の「科学的進化概念」の形成過程や「誤概念」の保持の様相を，「生物多様性」や「進化のメカニズム」の理解を踏まえたカリキュラム開発と，その授業実践によって明らかにし，新たな知見を紡ぎ出すことは，我が国の理科教育・生物教育において，有用なカリキュラム改善に関する提言に貢献するものと考えられる。

第2節 研究の目的と方法

第1項 研究の目的

本研究の目的は、中学校理科第2分野「生物・地学・環境」3領域4単元にわたる授業計画において、生物学の中心概念である「進化」的視点を導入することによって、「生物多様性（遺伝的多様性・種多様性・生態系の多様性）」の理解を促し、「科学的進化概念」の形成過程における分析から、カリキュラム開発した各単元の授業計画の有効性を明らかにすることである。

本研究における第1章～第4章にわたる各単元開発の目的を概観すると、以下のようになる。

第1章（第1学年「生物」領域：「生物の観察」単元）では、中学校の新入生に「生物多様性」の理解を促すための手段として、「進化思考」すなわち「分類思考」と「系統樹思考」を柱においた授業計画を策定した。すなわち、多様性の解析手法である「進化思考」を導入することによって、「科学的進化概念」の形成過程における分析から、開発した授業計画の有効性を明らかにすることを目的とした。

第2章（第1学年「地学」領域：「地層の重なりと過去の様子」単元）では、中学生に対する「科学的進化概念」形成に向けて、「水中から陸上への進出」を例に、生物進化の基本的なしくみ（変異・適応・世代性）を理解させる授業計画を開発し、その有効性を検証することを目的とした。

第3章（第2学年「生物」領域：「生物の変遷と進化」単元）では、「進化の総合説」の中心メカニズムである「自然選択説」に基づく仮説推論などを通して、中学生に科学的な生物進化のしくみ（適応・遺伝的変異・選択）を理解させること、すなわち「科学的進化概念」の形成をめざした単元開発を行い、その有効性を検証することを目的とした。

第4章（第3学年「環境」領域：「生物と環境」単元）では、「生態系」の学習（空間的視点）において、過去の生物が「生物進化」による「多様な生物種（種多様性）」に至った経緯（時間的視点）を取り入れた単元開発を行い、その学習過程における中学生の「生物多様性」の理解、及び「科学的進化概念」の形成、並びに「誤概念」保持の様相を検証することを目的とした。

第2項 研究の方法

本研究におけるカリキュラム設計の中心理論は、ウィギンズらの「逆向き設計 (Backward Design)」論を用いた。「逆向き設計」とは、求められている結果 (goal) を明確にし (第1段階)、そのことを承認できる証拠 (課題や評価方法) を決定してから (第2段階)、学習経験と指導を計画する (第3段階) という3段階で構成され、計画の前に評価の構想を行うという点が、従来のカリキュラム設計とは逆になっているためにこう呼ばれる (第2章表2)。すなわち、「到達目標 (goal)」を明示した「パフォーマンス課題 (performance tasks)」を生徒に提示し、「ルーブリック (rubric)」で評価する手法を導入した単元開発を行った (Wiggins & McTighe, 2005)。

それに加えて、ブランズフォードらの「学習環境 (Learning Environment)」論の立場から、「学習者中心 (Learner-Centered)」の学習形態を重視し、何度も「到達目標」と「ルーブリック」を参照しながら、課題を「再考・修正できる機会」をその教授・学習過程の中に適切に組み込んだ。つまり、時宜を得た「生徒発表」・「相互評価」・「自己評価」・「教師による評価」などの「形成的評価 (Formative Assessment)」の要素を加味し、その即時的フィードバックを強化した授業計画を設計した (Bransford, Brown & Cooking, 2000)。

そして、上記の3領域4単元にわたる単元開発による授業計画を、上記の「パフォーマンス課題」や「単元を貫く本質的な問い (essential questions)」の記述内容による分析、並びに「ルーブリック評価」による分析 (以上、主に質的分析)、「科学的進化概念・誤概念」に関する「質問紙調査」による統計的分析 (主に量的分析) を行い、これらを各単元における授業評価として用いた。

つまり、4つの単元開発における「生物多様性」や「科学的進化のメカニズム (適応・遺伝的変異・選択) の理解度」、「科学的進化概念の形成」や「誤概念の保持の様相」などにおける分析結果からカリキュラム設計した授業計画の有効性について検証した。尚、各単元における「授業評価」の具体的方法については、各章における「授業評価の方法」などに記したため、ここではその詳細には触れない。

第3節 本論文の構成

本論文は、序章（本章）「問題の所在と研究の目的・方法」を除き、5つの章から成り立っている。以下の第1項（第1章）から第5項（終章）において各章を概観し、その構成について簡単に述べる。

第1項 第1章：第1学年「生物」領域「生物の観察」における 単元開発

第1章では、中学校理科第2分野第1学年「生物」領域（「植物の生活と種類」大単元）において、「進化思考」による「生物の観察」についての単元開発を行なった。そして、その開発した授業計画を実践によって検証するため、「生物多様性」の理解をめざすカリキュラム設計の有効性と「科学的進化概念」形成から論じた。

第2項 第2章：第1学年「地学」領域「地層の重なりと過去の様子」における単元開発

第2章では、中学校理科第2分野第1学年「地学」領域（「大地の成り立ちと変化」大単元）において、「形成的評価」と「逆向き設計」を組み合わせた「地層の重なりと過去の様子」についての単元開発を行なった。そして、その開発した授業計画を検証するため、「脊椎動物の陸上進出」を取り扱った「パフォーマンス課題」や、「形成的評価」を加味したカリキュラム設計の有効性、並びに「科学的進化概念」の形成について論じた。

第3項 第3章：第2学年「生物」領域「生物の変遷と進化」における単元開発

第3章では、中学校理科第2分野第2学年「生物」領域（「動物の生活と生物の変遷」大単元）において、第2章と同様に「逆向き設計」論を中心に据え、それに「形成的評価」を加味した「生物の変遷と進化」についての単元開発を行った。そして、その開発した授業計画を実践によって検証するため、「キリンの首」の進化仮説を推論する「パフォーマンス課題」を含んだカリキュラム設計の有効性、並びに上記の第1学年「地学」領域を含んだ中学校2学年2領域にわたる「科学的進化概念」の形成と、保持されやすい「誤概念」の払拭について論じた。

第4項 第4章：第3学年「環境」領域「生物と環境」における 単元開発

第4章では、中学校理科第2分野第3学年「環境」領域（「自然と人間」大単元）において、「生態系の多様性」と「生物進化」を結ぶ「生物と環境（自然界のつり合い）」についての単元開発を行った。そして、その開発した授業計画を実践によって検証するため、「ゾウの鼻」の進化仮説を推論する「パフォーマンス課題」、及び「多様性を理解する課題」などを組み込んだカリキュラム設計の有効性、並びに「科学的進化概念」の形成過程と、「誤概念」保持の様相について論じた。

第5項 終章：本研究のまとめと今後の課題

第5章では上記の4つの単元開発による実践研究における検証結果を総括し、その研究成果から中学校理科「生物（地学）・環境」領域におけるカリキュラム設計のあり方に関する提言を行い、今後の理科カリキュラム開発についても論じた。

以上の第1章～第4章までの構成を図に示すと、図1のようになる。

図1は、先の本章第1節「問題の所在」の第2項で述べた「生物多様性」の3つの構造（遺伝的多様性・種多様性・生態系の多様性）に基づき、平成29年告示の新学習指導要領（新課程）を見据えながらも、現行の学習指導要領（平成20年告示）に則した授業実践の立場で、本論文の構成をモデル化して示したものである。本論文においては、現行の学習指導要領の履修順（中学校第1学年～第3学年）に基づき、以下の各第1章～第4章を構成した。現行の学習指導要領では、図1のように「遺伝的多様性」→「種多様性」→「生態系の多様性」とボトムアップ的に履修するようにはなっていない。しかし、新学習指導要領（新課程）における中学校第3学年においては、この履修順（「遺伝の規則性と遺伝子」→「生物の種類多様性と進化」→「生物と環境」）になるように改訂されている。

また、本論文においては、図1の縦軸である「空間的視点」のみならず、横軸（横糸）である「時間的視点」、すなわち「進化（進化思考）」の視点を基本において授業計画を設計した。このような視点によって、中学校理科における各単元のカリキュラムを開発した実践研究は、我が国には存在しない。以下の各章における実践研究では、各種教材やパフォーマンス課題・本質的な課題、形成的評価などの評価方法・ルーブリック、観察・実習方法など、それぞれについてオリジナルティが存在する。

しかしながら、特に本研究の独自性は、図1のような構造的視点を用いて、中学校理科における「生物」に関する各単元を「生物進化」で全て統一したカリキュラム開発を行った点にある。本章第1節第3項でも述べたように、アメリカの大学教科書などは生物各論を「生物進化」で統一して編纂されているが、日本の教科書では今のところ見当たらないし、さらにそのようなカリキュラムを実践・検証した研究は我が国では皆無と思われる。

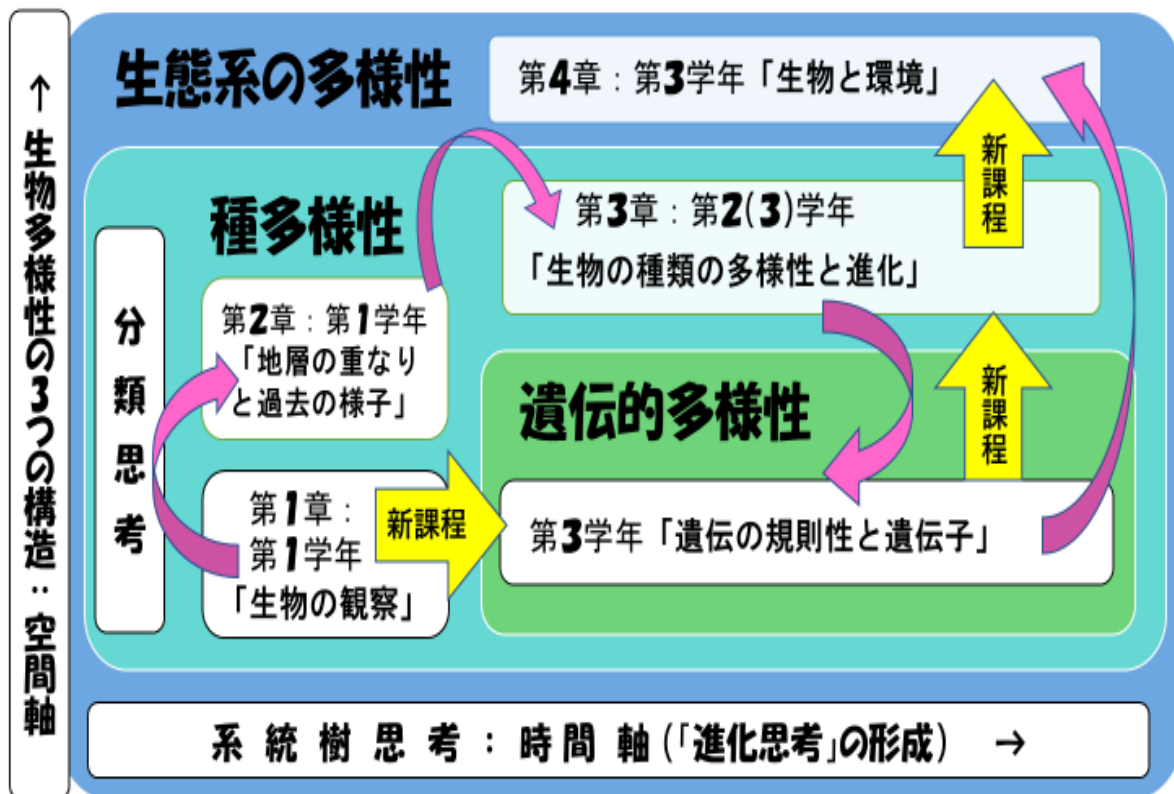


図1 「生物多様性」の3つの構造（空間的視点）からみた本論文の構成図
 (黄色の矢印は新課程における履修順, 赤い矢印は現行学習指導要領における履修順を示し, この構成図は第1章の図1, 及び第4章の図1などを包含するものである。)

註及び引用・参考文献

- 1) 生物学史上において、一般に「現代的総合」の称するが、これについて「ジュリアン・ハクスレーは、1920年代から、メンデル遺伝学とダーウィン進化論との統合を考えていた。さらに、当時までに知られていた生物学領域の成果を動員し、1942年に『進化－現代的総合 (Evolution, the modern synthesis)』を発表した。進化の総合説の名称は、この著作名に由来する」という記述がある(溝口・松永, 2005, p.90; 横山, 2002, p.88)。ちなみに、「synthesis」は「総合」とも「統合」とも訳される。よって、本研究においてはこの「現代的総合」を援用して「遺伝と進化の統合」を図る単元開発もめざしたが、本論文ではその実践検証結果を記載しなかった(本章第1節第2項でも述べた)。尚、この場合は「単元の統合」を「単元の総合」とは表現していない(名倉・松本, 2020b)。
- 2) 本研究において、「遺伝的変異」や「生物多様性」をキーワードに各単元開発におけるカリキュラム設計を行った論拠として、「(前略)・・・総合説に基づいて生物進化を説明すると次のようになる。生物集団には特定の方向に向かわない突然変異や遺伝子, 染色

体の異常などから起こる遺伝的変異が存在する。この遺伝的変異は自然選択を受けて漸進的進化が起こる。一つの種の集団内に生殖隔離が生じて複数の種が形成されると考える種分化から生物多様性が生じる。この種分化が長い期間継続されて大進化も起こる。総合説は、生物進化の要因を説明するものとして1940年代半ばに成立し、生物学界に受け入れられるようになった」と記載されているためである(溝口・松永, 2005, p.91)。ちなみに、「進化の総合説」は英訳で「modern evolutionary synthesis」と表現され、上記の註1)の「現代的総合(the modern synthesis)」とほぼ同じ意味で用いられる。

- 3) 1992年にリオデジャネイロで開催された「地球環境サミット」では、「生物多様性条約」が採択された。この「生物多様性条約」において、「生物多様性はすべての生物の間の変異性を指すものとし、種内の多様性、種間の多様性、および生態系の多様性を含むものとする」と定義された。この定義に則り、「生物多様性は、生態系、種、遺伝子といった3つのレベルで把握できる」という見解が一般的である。しかしながら、3つめの「遺伝子レベルの多様性」については、「種個体群内における遺伝的な多様性のことである。自然界では個体間でさまざまな遺伝的な変異があり、決して均一ではない。同じ種であっても生息地域が異なると、さまざまな形質に多少の変異があったり、また、同じ生息域にいても、個体によって形態や遺伝的形質に微妙な違いが見られるのは普通である」という見識がある(松本, 2005, p.12)。本研究ではこの見識に基づき、「遺伝子(レベルの)多様性」よりも「遺伝的多様性」という用語を用いる。特に、上記の註2)で述べたように、本研究では「遺伝的変異」と「生物多様性」の関連性が重要になるため、一般的な「遺伝子多様性」よりも「遺伝的多様性」を用い、以下の章もこれに準じた。

有馬朗人ら(2016)『新版 理科の世界2』大日本図書。

Bransford, J. D., Brown, A.L., & Cooking, R.R.(Eds.). (2000). *How People Learn Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, DC: National Academy Press.

Cain, M. et al. (2005) *Discovery Biology (2nd Edition)*. 石川 統(監訳)(2005)『ケイン生物学(第2版)』, 東京化学同人。

Dobzhansky, Th. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in Light of Evolution, *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.

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』第42巻, 第1号, 1-11.

長谷川真理子(2004)「進化を教える難しさー進化の正しい理解の普及に向けてー」『遺伝』第58巻, 第4号, 78-81.

長谷川真理子(2015)『ダーウィン種の起源(100分で名著)』NHK出版。

石川聡子・森一夫(2002)「理科教育に現れる時代思潮の影響」『大阪教育大学 教科教育学論集』創刊号, 1-9.

金井康恭・小池啓一(2012)「高校生物Ⅱにおける『生物の進化』の扱い」『群馬大学教育実践研究』第29号, 45-49.

桐生尊義(2004)「中学校でどのように進化を教えるか?」『遺伝』第58巻, 第4号, 35-39.

正本安心・西野秀昭(2011)「中学校理科における植物を中心とした生物進化授業の展開」『福岡教育大学紀要』第60巻, 第3号, 43-54.

松本忠夫(2005)「『生命環境科学Ⅰ』のねらい, 生物多様性について」松本忠夫(編著)『生命環境科学Ⅰー生物多様性の成り立ちー』(放送大学大学院教材)放送大学教育振興会, 第1章, 11-26.

- 三中信宏 (2010) 『進化思考の世界ーヒトは森羅万象をどう体系化するかー』 NHK 出版.
- 宮本俊彦 (2008) 「中等教育段階の生徒における生物進化に対する認識の現状と進化概念形成への人類学学習の効果」『日本人類学会』第 116 巻, 第 2 号, 194-198.
- 溝口元・松永俊男 (2005) 『改訂新版 生物学の歴史』放送大学教育振興会.
- 文部科学省 (2008) 「平成 20 年告示 中学校学習指導要領」
- 文部科学省 (2017) 「平成 29 年告示 中学校学習指導要領」
- 文部省 (1999) 『中学校学習指導要領』
- 本川達雄 (2015) 『生物多様性ー「私」から考える進化・遺伝・生態系ー』中公新書.
- 森本弘一 (2009) 「体験活動を通して生物好きにする手立て」理科教育研究会編『新学習指導要領に定める理科教育』東洋館出版社, 160.
- 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ー中学生の進化に関わる概念変換を事例にしてー」『理科教育学研究』第 47 巻, 第 2 号, 51-63.
- 名倉昌巳 (2007) 「進化教育の必要性についての一考察ー特に戦後中学校理科教育の変遷及び進化論・優生学に関する時代思潮を中心としてー」平成 18 年度放送大学大学院文化科学研究科環境システム科学群修士論文.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020b) 「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ー『遺伝の規則性』と『生物進化』を統合した学習計画の提案ー」『理科教育学研究』第 60 巻, 第 3 号, 589-601.
- 中井咲織 (2004) 「小学生でもすぐわかる進化の教え方ー中等教育での発想の転換に向けてー」『遺伝』第 58 巻, 第 4 号, 56-66.
- 西野秀昭・佐竹晃一 (2013) 「中学校理科生物領域における進化概念を取り入れた実践的授業の構築」『福岡教育大学紀要』第 62 号, 第 3 分冊, 27-49.
- 岡村定矩ら (2016) 『新編 新しい科学 2』東京書籍.
- 佐藤崇之・大鹿聖公 (2005) 「教科書分析と教材研究から見た高等学校生物における進化の単元に関する一考察」『広島大学大学院教育学研究科紀要』第 2 部, 第 54 号, 17-24.
- 颯田陽子 (2012) 「進化生物学は何を教えるべきか」『遺伝』第 66 巻, 第 3 号, 289-293.
- 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.
- 田代直幸 (2017) 「生命の連続性」後藤頭一・田代直幸・小林辰至・江崎士郎編著『中学校新学習指導要領の展開理科編』明治図書.
- 高橋一将・磯崎哲夫 (2014) 「BSCS における進化学の特色」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 3 号, 369-381.
- Trefil, J., Calvo, A. R., & Cutler, K. et al. (Eds.). (2007). *Life Over Time: McDougal Littell Science*, Evanston: Houghton Mifflin Company.
- 塚田捷ら (2017) 『未来へひろがるサイエンス 2』新興出版社啓林館.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A, Minorsky, P. V. (2017). *Campbell Biology (11th Edition)*. 池内昌彦・伊藤元己・箸本春樹・道上達男 (監訳) (2018) 『キャンベル生物学 (原書 11 版)』丸善出版.
- 横山輝雄 (2002) 『生物学の歴史ー進化論の形成と展開ー』放送大学教育振興会.
- 米本昌平 (2004) 「生命科学の世紀はどこへ向かうのか」米本昌平・松原洋子・櫛島次郎・市野川容孝『優生学と人間社会』講談社現代新書, 238-275.
- 渡辺正雄 (1991) 「進化論への対応ー日本的受容の諸段階ー」『文化としての科学』丸善, 293-299.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design 2nd ed.*, ASCD. 西岡加名 恵 (訳) (2012) 『理解をもたらすカリキュラム設計』日本標準.

第 1 章 中学校第 1 学年「生物」領域

「生物の観察」における単元開発

本章では、中学校第 1 学年における「生物多様性」の理解と、その多様性の解析手法である「進化思考」の形成過程を探るため、「身近な植物」としてのタンポポの「分類」を手始めに、雑種タンポポ出現による「多様化」や、水中の小さな生物の「系統的分類」を事例に、進化の入門編を意図したカリキュラムを開発し、その有効性について検討を加えた。

第 1 節 問題の所在

現行（平成 20 年告示学習指導要領準拠）の中学校第 1 学年理科教科書では、「生命編」の最初に登場するのは、「自然の中に生命の営みを見つけてみよう」という小単元である（塚田ら，2016）。平成 20 年告示（現行）の中学校学習指導要領を見ると、「生物の観察」の目標は「校庭や学校周辺の生物の観察を行い、いろいろな生物が様々な場所で生活していることを見いだすとともに、観察器具の操作、観察記録の仕方などの技能を身に付け、生物の調べ方の基礎を習得すること」とある（文部科学省，2008）。換言すれば、いろいろな環境に生息する「身近な生物」や「水中の小さな生物」を観察しながら、顕微鏡やルーペの使い方・スケッチの仕方など、観察の基本的技能と、調べ方の基礎を習得することがこの単元の目標と思われる。ところが、平成 29 年告示の学習指導要領では「生物の観察と分類」となり、「校庭や学校周辺の生物の観察を行い、いろいろな生物が様々な場所で生活していることを見いだして理解するとともに、観察器具の操作、観察記録の仕方などの技能を身に付ける」、加えて「いろいろな生物を比較して見いだした共通点や相違点を基にして分類できることを理解する・・・」とある（文部科学省，2017）。新・旧共に類似した内容であるが、新学習指導要領では「多様な生物種」が「多様な環境」に生息するのを見つけただけでなく、特に生物種の「分類」、すなわち「種多様性」の理解に力点が置かれていると思われる。中でも、中学校第 1 学年における「種多様性」の理解は、次学年の単元である「生物の種類の多様性と進化」へのステップアップには欠かせない観点である。

しかしながら、都会の学校では、校庭などでの身近な「生物の観察」も通り一遍で終わられることが多い。そこで、中学校へ入学してきた生徒が初めて観察の仕方を学ぶ授業として、科学的な見方・考え方という観点を踏まえた授業を展開した。さらに、平成 29 年告示の学習指導要領には「科学的に探究する活動を通して、多様性に気づくとともに規則性を見いだしたり課題を解決したりする力」、「生命を尊重する態度」や「自然環境の保全に寄与する態度」という第 2 分野の最終目標も掲げられている（文部科学省，2017）。このような最終目標と、科学的な見方・考え方を働かせた探究活動をめざすために、中学校初年度の理科入門編としてふさわしいカリキュラム開発が望まれる。これを第 1 の問題点に挙げた。

一方、今日において同定可能な生物の総数は約 150 万種ともいわれているが、実際に現存する生物種はその 10~100 倍と推定されることが多い。30 数億年前に一つの原始生命体より始まり、各地質時代の環境に適応し、各自の遺伝子を少しずつ変化させ進化してきたことが、現存の「多様な生物」につながっている。すなわち、「生物多様性」は進化の所産であり、「種多様性」や「遺伝的（遺伝子）多様性」及び「生態系の多様性」を包含する概念である。本川（2015）は「生物多様性の大切さ」を理解する困難さについて述べ、その理解には「遺伝子から生態系まで、さまざまなレベルの生物学」、すなわち「進化」や「遺伝」などの習得が必要であると指摘している。しかしながら、「進化」はこのように生物学の中心概念でありながら、誤概念を多く含み、その概念理解に課題の多い分野であり（長谷川，2015）、その教授には慎重さが必要である。そのため、初学年からスパイラルに進化に関する概念理解と、その思考の仕方を習得していく必要があると思われる。これが第 2 の問題点である。

進化生物学者の三中（2010）によれば、多様性のパターンを解析する思考法には「分類思考」と「系統樹思考」の 2 つがあり、その包括的な体系的思考が基盤をなし、「進化思考：三中の造語」が形成されてきたと主張する。加えて、「分類思考」は「分類科学」にその起源があり、「類似性に基づく分類を目指す」分野であり、「系統樹思考」は「古因科学」にその起源があり、「歴史的因果を研究する」分野であると、ヒューウェル（William Whewell）やトール（Patrick Tort）の知見を引き合いに出して論じている（表 1）。換言すれば、「進化思考」とは「ある対象物がたどってきた歴史のパターンを復元し、それに基づいて因果的なプロセスを考察しようとする思考法である」という。

この論考から、「分類思考」はある時点での「種」の同定を志向し、「系統樹思考」はその「種」がたどってきた歴史的な時間経過を志向するアプローチであると推察される。ダーウィンが種・亜種・変種・品種は連続し、「種」は個体差の延長であると考えたことから（長谷川，2015）、この論は支持される。この知見に依拠すれば、平成 29 年告示の学習指導要領において、中学校第 1 学年の学習から「分類」を重視し、「生物の種類多様性と進化」を現行第 2 学年から第 3 学年に移行させた意義が類推できる。つまり、生物学の中心概念である「進化」を、さらにはその体系的思考である「進化思考」を、生物教育の中心に据えてきたのではないかと解釈される。その根拠の 1 つとして、ドブジャンスキーの「進化に照らさなければ、生物学は何も意味をなさない」という名言からも推察しうる（Dobzhansky, T., 1973）。

そこで、本章（第 1 章）における実践研究では、中学校第 1 学年の序章「自然の中に生命の営みを見つけてみよう（小単元）」において、身近な「タンポポ」や「水中の小さな生物」を対象に、生徒の興味・関心を持続しながら「進化」のプロセスを学ぶ入門編を企画した。諸学問の根幹となる「分類思考」や「系統樹思考」を重視した授業を展開することによって、生徒の科学的な思考を促進しようと考えた訳である。然るに、「タンポポは身近な教材としては適しているが、分類一つをとりあげても学問的に論議のある材料である」という（山田，1988）。また、「集合花であり、標準的なつくりでないこと」「在来種と外来種との競合の問題」など教材としての問題点も指摘されている。さらに、近年では DNA 分析による「3・4 倍体雑種の出現による分類上の複雑さ」も付け加わっている。これ

らの生物教材としての問題点は、「結果が予測できないテーマは思考力や想像力を養う探究学習に適している」という逆説にもなる（山田，1986）。そこであえて、「在来種と外来種、及びその雑種の遺伝的特性」の問題を取り上げ、「新たなタンポポ（雑種・変種）の出現がどのように環境変化や変異，遺伝的多様性に関わっているのか」というオープンエンドな課題を提起して，生徒たちが「生物多様性」を解析する「進化思考」の一端を垣間見られるような授業計画を提案した。つまり，先の2つの問題点を克服した上に，「生物多様性」の理解を含んだ単元カリキュラムを開発した。

表1 「進化思考」の形成（三中，2010,p107より改変）

ヒューウェル (William Whewell) : 学問の分類体系	トール (Patrick Tort) : 修辞学からみた推論様式	三中 (Nobuhiro Minaka) : 生物多様性の解析手法	
分類科学： 体系植物学など類似度 の研究分野	目に見える表面的な類似性 に基づくグループ分け	分類思考	進化思考： この2つを 包括した体 系的思考
古因科学： 地質学など歴史的因果 の研究分野	断片的な知見から全体的ス トーリーを復元する思考	系統樹思考	

第2節 本章の目的

本章（第1章）における実践的研究（「生物」領域「生物の観察」における単元開発）の目的は、中学校第1学年の生徒にもわかりやすく、「生物多様性」の理解を促すことである。それには、「生物多様性の解析手法」である「進化思考」、すなわち「分類思考」と「系統樹思考」を柱においた基本的な進化プロセスの理解が必要であると考えられる。換言すれば、多様性の解析手法である「進化思考」を中学校新入生の授業計画に導入することによって、科学的進化概念の形成過程における分析から、開発したカリキュラムの有効性を明らかにすることが本研究の目的となる。

第3節 開発したカリキュラム

第1項 「進化思考」によるカリキュラム設計

中学校への入学当初、最初の理科授業となる「身近な生物の観察」においては、「校庭などの生物の観察を通して、いろいろな生物が様々な場所に生活していることに気づかせること」が主目的である。ここでは、一步進めて「タンポポ」に焦点を当て、その形態の特徴の違いを認識することから、次第に「環境適応」や「生物多様性」などの科学的概念に気づき、「進化」を考える入門編として表2のような計画で実施した。この「(身近な)生物の観察」の小単元は、次の「植物の体のつくりと働き」の単元へとつながる前段階である。通常は5時間程度が見込まれているが(塚田ら, 2016)、本章における実践研究において提案した授業計画は表2のように最大7時間程度である。中学校初年度にしてはやや高度な内容を含めたが、生物の変化と由来を考察する「進化思考」によって、科学的な思考力を育成するには必要である。

授業展開としては、身近な野草であるタンポポを解剖して、調べていくことから「集合花」の事実気づき、20年間のタンポポ調査の図から都市化が進むにつれ外来種が増加していること(タンポポ調査・西日本委員会, 2015)、都市の「環境に適応」したものが増加していくことを学ぶ授業を第1~3時限に配置した。ここには、タンポポの在来種と外来種の形態や生息環境と、仲間分けに関する「分類思考」の要素を絡ませた。また、次の「植物の体のつくりと働き」の学習につながるように、タンポポの1つの小花には、花弁・おしべ・めしべ・がく・子房があり、受粉後に子房は果実になることにも言及した。しかし、根・茎・葉のつくりと働きについては、本授業計画以降の本来のカリキュラムで扱った。

第4~5限では、2010年以降市街地の一部で外来種の減少が起こり、「外来種による在来種の駆逐説に疑問」が生じていること(小川, 2001)、さらに近年その存在が明らかとなっ

た雑種（主に単為生殖）が「環境に適した遺伝的特性を雑種化によって獲得し、拡大してきた可能性」も含めて考えさせるようにした（伊東，2015）。そして、「雑種出現の意味」を問う学び合いや仮説づくり，ダーウィン進化論の紹介を通して、「生物多様性」を少しずつ理解していく授業計画を設定した。すなわち，有性生殖による組み合わせが「遺伝」的変異を生み出し，その変異のうち生存に有利なものは次世代へと引き継がれ，その種内の変異が時間の経過とともに積み重なり，新たな「種」の分岐が生じる。すなわち，「種（間）多様性」が生じる（「種」概念については交雑可能で次世代に受け継がれるものと教示した）。本章では，このような時間軸での連続的変化として捉えた「進化思考」の入門編を意図している。本授業計画はタンポポが分岐し，多様化していく可能性を秘めた仮説を推論する「系統樹思考」の前段階として，中学校第1学年の生徒には十分手ごたえのある内容であると思われる。

第6～7限は通常の教科書の内容に，「分類思考」と「系統樹思考」の2つの要素を加味した。前半の第6限は，「水中の小さな生物」の観察から，その植物性プランクトンと動物性プランクトンの相違点・共通点を考察する【課題⑥】を設定した。ここではまだ，時間軸を伴わない「分類思考」のみである。後半の第7限には，ミドリムシなどの藻類が進化の「系統図（5界説など）」から考察して，「原生生物」に由来することを問う【課題⑦】を設定した。すなわち「分類思考」に加えて「系統樹思考」の要素も組み込んだ。

以上の中学校第1学年における本授業計画と他の学年・領域における授業計画との関連は，図1に示すとおりである。そして，この第1学年における「進化思考」の入門編が，次単元である第1学年「地学」領域における授業計画（第2章），第2学年「生物」領域に

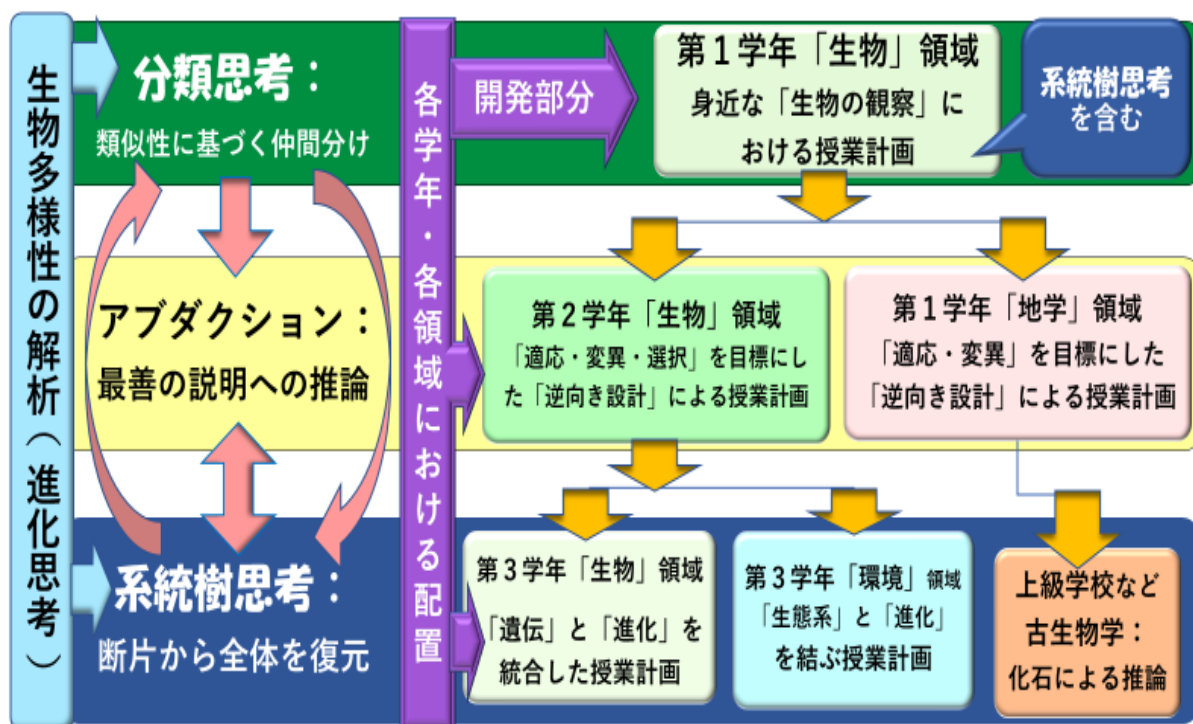


図1 生物多様性の解析手法を基軸にした各学年・各領域における授業計画との関連

における授業計画（第3章）へと進展していくように構想（両者共に目標から計画を「逆向き設計」する方式）した（名倉・松本，2018a：2018b）。ここでは詳しく述べないが，この第2段階の2つの授業計画の評価課題として，「適応・変異・選択」を用いて仮説を推論するパフォーマンス課題を設定し，その推論様式には進化学のアプローチと同様に「アダクション（最善の説明への推論）」を用いた（森田，2010）。

さらに，この中学校第1学年における新入生に対する授業計画は，図1の最下段にある第3段階の本格的な「系統樹思考」による学習に発展していく。すなわち，「遺伝」的変異が生存に有利ならば，長い世代を経て次第に積み重なり，「進化」に至る過程については，中学校第3学年における「遺伝と進化を統合した授業計画（分析中）」，及び「生態系と進化を結ぶ授業計画（第4章）」で扱う。つまり，序章でも述べたが，図1のように中学校3学年3領域5単元にわたるカリキュラム開発をめざし，これらの一連の「生物多様性の解析手法」を柱にした各授業計画が，学年を超えて「線」としてつながるように構成したのが，本研究（第1章～第4章）の特長である。そして，その第一段階を担うため，「分類思考」から「系統樹思考」に導く展開を，身近なタンポポを事例にわかりやすく授業計画に取り入れたのが，本章における実践研究（身近な「生物の観察」における単元開発）である。

第2項 開発した授業計画

表2の授業計画を2017年4月～5月にかけて、大阪府にある公立A中学校第1学年2学級在籍61人（男39人・女子22人）に対して実施した。本授業計画における毎時の指導方略として、4～5人のグループ活動による話し合いを主とした学習形態をとった。また、班で話し合った内容は全体でも発表し、意見交換による相互評価も行った。各課題の最終回答に対する評価（教師による評価）は次時に返却した。

また、本章における「進化思考」を促す単元開発の構造図として、図2にまとめた。すなわち、第1～3限までは「分類思考」が主で、第4～5限にかけて「系統樹思考」が次第に必要になり、最終第6～7限には2つの思考を共に使う課題を組み込み、各時限における授業を構成した。

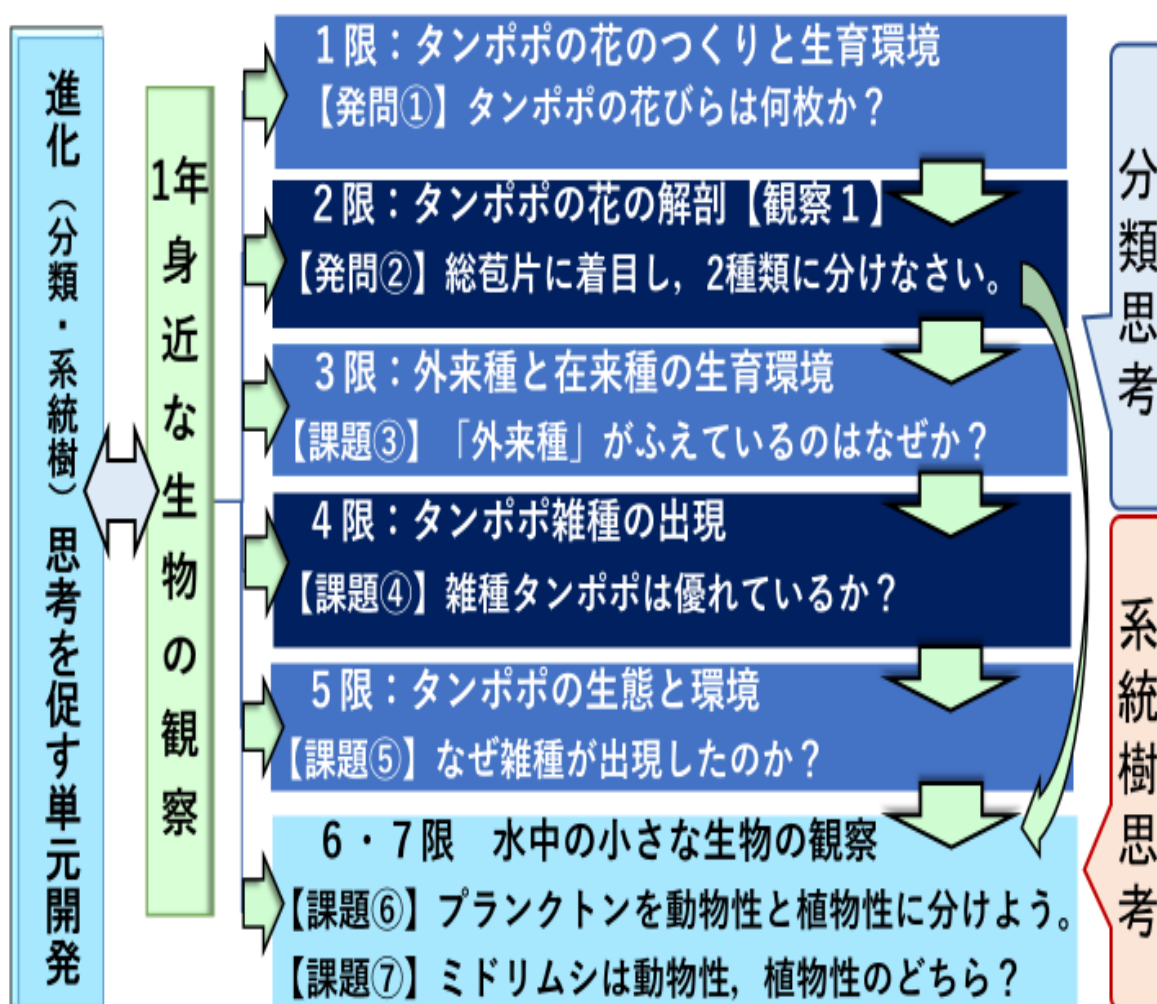


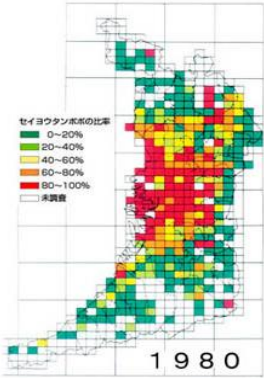
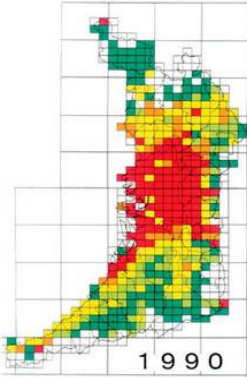
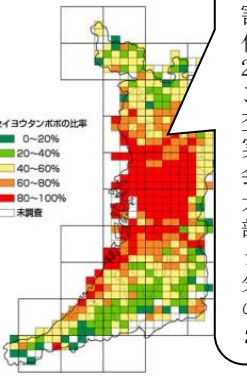


図2 中学校第1学年「生物」領域における授業計画の構成と「進化思考」との関連（主に前半部の第1限～第3限までが「分類思考」、後半部の第4限～第5限までが「系統樹思考」を示すが、2つの思考が混じった時限もあり、明確な区分ではない。）

表 2 第 1 学年「(身近な) 生物の観察」における授業計画:全 7 時間 (名倉, 2016 より改変)

時	学習活動 (【 】は各時に設定した課題など, ※は支援上の留意点など)	評価の観点
1	<p>◆「タンポポの花のつくりと生育環境」(教室): 第 1 学年「生命偏: 自然の中に生命の営みを見つけよう」(塚田ら, 2016, pp.2-13)</p> <p>【発問①】タンポポの花びらは何枚か?</p> <p>※グループ活動で, 具体的に何枚かを話し合わせる。</p> <p>【課題①】本時の各自の予想結果 (タンポポの花びらは何枚か) を家に持ち帰り, 次の 3 つの方法で調べてみよう。(1)図鑑: 著者・書名・出版社・発行年を記入。(2)Web: URL を記入。(3)実物の観察: 見つけた場所や天気・日時を記入。</p>	<p>【発問①】正解するよりも「予想」して, 自分たちなりの考えを持っている。</p> <p>【課題①】積極的に調べようとする態度・意欲がある。</p>
2	<p>◆「タンポポの花の解剖」(理科室)</p> <p>【観察 1】採取したセイヨウタンポポ (大阪市長居公園) とカンサイタンポポ (吹田市桃山台公園) を解剖し, 花びらの数を数える。※85~100 の小花が集まって, 「集合花」をつくっていることを示す。</p> <p>【課題②】タンポポの花弁は何枚か (その形態をルーペや顕微鏡で観察)? ※1 つの小花には花弁 5 枚・おしべ・めしべ・がく・子房もあり, 受粉後には果実ができることも示す。</p> <p>【発問②】集合花の外側の「総苞片」に着目し, 2 種類に分けなさい。</p>	<p>【課題②】タンポポの花を解剖し, 小花をスケッチし, 形態が説明できる。</p> <p>【発問②】2 種類のタンポポを形態上の特徴によって「分類」できる。</p>
3	<p>◆「外来種と在来種の生育環境」(教室) 授業前質問紙調査 (表 3) 記入</p> <p>【発問③】2 種類のタンポポはそれぞれ, どんなどころに生えていたか?</p> <p>A: 吹田市桃山台駅付近路上のセイヨウタンポポ</p> <p>B: 吹田市桃山台公園のカンサイタンポポ</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>左: 外来種・セイヨウタンポポ (総苞片が反り返っている)</p> <p>右: 在来種・カンサイタンポポ (総苞片が反り返っていない)</p> </div>  </div> <p>【課題③】しだいに「外来種」がふえているのはなぜか? 「在来種」を駆逐しているため? 「大阪府内のタンポポ調査の資料 (1980~2000 年)」から考察しよう。※下図「外来種の割合の変化」から考察。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>外来種の割合の変化 (1980~2000): タンポポ調査・西日本実行委員会 (2015) 大阪府中央部の濃いメッシュの部分が外来種の生育域 2000</p> </div>	<p>【発問③】前時に学んだ「総苞片」による分類ができる。また, 同じ地域でも, 場所によって在来種と外来種がすみ分けしていることが指摘できる (在来種が主に 2 倍体の有性生殖・群生, 外来種は主に 3 倍体の単為生殖・単独株, 小花が多いなどの特徴も教示する)。</p> <p>【課題③】3 つの時期における地理的分布図から, 環境変化とタンポポの生育域の因果的プロセスを推論することができる。</p>
4	<p>◆「タンポポ雑種の出現」(教室)</p> <p>【発問④】タンポポが変化したのか, まわりの環境が変化したのか?</p> <p>【解説】近年, 外来種でも在来種でもない雑種が出現。加えて, 在来種の巻き返しが起こっていることを解説。さらに, 2010~2015 年のタンポポ調査では, 都市部のある地域での外来種減少という逆行が起こっていることも示す。</p> <p>【課題④】雑種タンポポは主に単為生殖で殖える (子は親と全く同じ遺伝子)。これは優れているか, 劣っているか? ※雑種の特徴として, 形態は中間的なものも多く, 総苞片はやや反り返り, DNA 解析では西日本で外来種とされたうちの 59% は雑種であった。</p>	<p>【発問④】大阪が都市化し, それにより外来種の生育域が拡大。外来種が優勢? などの説明ができる。※外来種は郊外, 在来種は都市部に多い点に着目することができる。</p> <p>【課題④】優れているとも, 劣っているとも言えない。その環境に適応した生物が生き残ることを述べている。※生存に有利な視点から考えることができる。</p>

5	<p>◆「タンポポの生態と環境」(教室)</p> <p>【解説】「適応」概念を中心に、「ダーウィン進化論」を紹介。※「進化論」と「タンポポ雑種出現」の関連、生物は多様な方が生き残りやすいことを「恐竜」などの例を挙げて説明。</p> <p>【課題⑤】なぜ、雑種が出現したのか？自分の仮説をつくろう！</p> <p>※環境が激変する現代では、外来種・在来種・雑種のどれが生き残りやすい性質かを考察させる。</p>	<p>【課題⑤】生物は環境に適応した者が生き残ることを説明できる。仮説に由来と変化に関わる「進化思考」の萌芽がある。</p>
6	<p>◆「水中の小さな生物」(理科室)(塚田ら, 2016, p.10-11)</p> <p>【観察2】顕微鏡の使い方を習得,「水中の小さな生物」を観察。観察した生物をスケッチ。※「生物検索表」から、見つけた生物の名まえを推定させる。</p> <p>【課題⑥】水中に小さな生物(プランクトン)を動物性と植物性に分けてみよう。</p> <p>【解説】2界説・5界説などの系統図を紹介し、共通祖先からの由来を説明する。</p>	<p>【課題⑥】「共通性」としては、動物性には鞭毛など「運動器」、植物性には「葉緑体」があることを指摘し、分類することができる。</p>
7	<p>◆「水中の小さな生物:【観察2】のつづき」(理科室)</p> <p>【解説】藻類をその表面的な「類似性」から「植物界」に以前は分類してしたが、現在はその「由来」から「原生生物界」に分類している。※単細胞の鞭毛藻類である「クラミドモナス」などの例をあげて解説する。</p> <p>【課題⑦】ミドリムシは動物性、植物性のどちらか？</p> <p style="text-align: center;">授業後質問紙調査(表3)記入</p>	<p>【課題⑦】水中の小さな生物の共通性が理解できる。ミドリムシは動物性にも、植物性にも類似点がある。進化的・系統的な由来によって、現在の多様化につながったことを類推することができる。</p>

第4節 授業評価の方法

第1項 課題分析による授業評価

授業評価の目的は、表2の【課題①】から【課題⑦】までの生徒が記述した、考察のプロセスを詳細に追うことによって、中学校新入生における「科学的思考力」の育成に関する、本授業開発の有効性を明らかにすることである。言い換えれば、「生物多様性」の理解度を測定するツールとして、「分類思考」と「系統樹思考」という2つの思考法を包含する「進化思考」を指標として、本章の実践研究における授業評価を試みた。尚、表2の【発問①】から【発問④】については、その記述を回収できていないため、ここでの分析はおこなっていない。

第2項 質問紙調査による授業評価

表3の質問紙調査（真偽法：○×式）によって、単元前・後における科学的進化概念及び遺伝概念の理解度に関する調査分析を行った。すなわち、単元前・後にそれぞれ質問紙を配布・回収し、その正答数と誤答数を集計することによって、本章における単元開発の有効性を検証した。表3の5つの質問項目の概念抽出にあたっては、著者らの先行実践研究に準拠した。

表3 質問紙調査（真偽法）：単元前・単元後調査

<p>「タンポポ」などの生物について、次のア～オのうち、正しいと思われるものには○を、まちがっていると思うものには×を書きなさい。</p> <p>ア. 生物の世界ではかならず強いものが弱いものに勝ち、強いものが生き残っていく。</p> <p>イ. まわりの環境が変化すると、それにあつた性質をもつ生物が生き残っていく。たとえば、恐竜は寒い環境に「適応」できなかつたので、絶滅したと言われている。</p> <p>ウ. どんな生物でも、長い年月のあいだに優れた性質をもつものに「進化」してゆく。</p> <p>エ. 生物は、必ずしも優れた性質をもつものに「進化」してゆくとはかぎらない。</p> <p>オ. 「進化」は一世代で起こる変化ではなく、長い世代をへて起こる変化である。</p> <p style="text-align: right;">(以上5問)</p>
--

そして、その先行実践と本調査との差異を示すため、表 4 にその質問項目を掲載した(名倉・松本, 2018a)。

ここでは、アは「弱肉強食」、イは「環境適応」、ウは「優勝劣敗」、エは「退化も進化」、オは「世代性」をそれぞれ表し、これら 5 つのうちアとウは誤概念である。さらに、イとオは科学的進化概念である。アの質問は表 2 の【課題③】に、イの質問は【課題③】と【課題⑤】に、ウの質問は【課題④】と【課題⑤】、エの質問は【課題④】に、オの質問は【課題⑦】にそれぞれ関係した項目である。

表4 先行実践における質問紙調査(真偽法):単元前・単元後調査(名倉・松本, 2018a)

- | |
|--|
| <p>ア. 生物の世界では、かならず強いものが弱いものに勝ち、強いものが生き残っていく。</p> <p>イ. 昆虫では幼虫→さなぎ→成虫と、ヒトでは赤ん坊→少年→大人と、「進化」して成長していく。</p> <p>ウ. 「鈴木一朗」選手は、プロ野球入団後 2 年目に、「イチロー」と名乗ってから活躍が始まり、さらに大リーグ移籍後も彼の能力は進化し続けている。</p> <p>エ. 地球上の生物は何億年も大昔から「進化」し、動物では地質年代の順に三葉虫、恐竜、マンモスと変遷(変化)してきた。</p> <p>オ. 電話はグラハム・ベルが発明してから、手回し式→ダイヤル式→プッシュホン→ケータイ電話→スマートフォンと「進化」し続けている。</p> <p>カ. 「進化」とは一世代で起きる変化ではなく、長い世代をへて起きる変化である。</p> <p>キ. どんな生物でも、長い年月のあいだにすぐれた性質をもつものに「進化」してゆく。</p> <p>ク. まわりの環境が変化すると、それにあった性質をもつ生物が生き残っていく。たとえば、恐竜は寒い環境に「適応」できなかつたので、絶滅したと言われている。</p> <p>ケ. 生物の「変異」は生きている間に起こり、その「変化(変異)」が次世代に受け継がれていくことにより「進化」が起こる。</p> <p>コ. 生物の「変異」は新しく生まれ出るときに起こり、その「変化(変異)」した生物がその時代の環境に「適応」し、数多く生き残ることにより進化していく。</p> |
|--|

(以上 10 問)

第5節 結果と分析

第1項 各課題による質的分析

本授業計画の【課題①】～【課題⑦】における集計結果及び評価結果を、表5～表11にそれぞれまとめて掲載した。課題はすべて協働的な学習形態で、生徒同士が討論しながら、全体発表も加味しながら進めているため、各課題で議論したプロセスが分かるように、その記述内容の典型事例を各表に掲載した。そして、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所には、アンダーラインで示し、その箇所の解説を加えた。

表5の【課題①】から表6の【課題②】にかけての記述から、最初はタンポポの花弁の数を多数に予想していた生徒もいた（SK女・MA女）。しかし、各自の調査や理科室でのルーペによる観察の結果、タンポポが「集合花である」ことを理解した（YK女・SI男・MI女）。タンポポの1つの小花に「5枚の花弁・めしべ・おしべ・がく」などが付いていることを、中学校第1学年の生徒が実際にタンポポの花弁の観察を行い、検証したことで、理解が促進したことが分かる（AY女・UT男）。

表5 【課題①】の記述：タンポポの花弁の数（2017年4月～5月2学級：N=60）

YK女：自分で公園へ行き、写真をとって花びらの数を数えた。 <u>めしべが1本ずつと、おしべがそれぞれあったから、花が集まっていることに気づいた。</u>
MA女：私たちの班は <u>最初 30 枚ぐらい</u> と考えたが、 <u>おしべと花びらの数は同じはず</u> という他の班の意見を聞いて、途中でもっと少ないと思い、修正した。
SK女：タンポポの花びらの枚数を 45 枚ぐらいと予想したが、 <u>インターネットで調べたら、花びらのように見えるものが1つの小さな花になっていて、それが 150～200 位集まって1つの花構成している</u> ことがわかった。

(※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所を示す。)

表6の【課題②】では、タンポポの「共通点」である「集合花」などのつくりを、新入生が認識していた。この【課題②】は、次の【発問②】の理解を助けるための準備段階となっていた。すなわち、「在来種」と「外来種」における形態上の「相違点」を見つけて、総苞片による「分類(思考)」を行う【発問②】の理解を促すことに役立っていたといえる。

実際に、生徒は第2時限目の【観察1】を行った後、全員が路上に生育する「総苞片」の振り返っているものが、セイヨウタンポポであることを理解していた。

表 6 【課題②】の記述：タンポポの形態（2017年4月～5月2学級：N=60）

<p>S I 男：<u>見た目には5枚以上あると思ったけど、「集合花」ということがわかり、理解できた。</u></p> <p>M I 女：<u>花びらに見えた1つ1つが、実際は1つの小さな花で、その中に花弁・おしべ・めしべ・がく・子房などたくさんのもが入っていることがわかった。</u></p> <p>A Y 女：<u>1つの小さな花の中に、花弁は1枚と思ったが、5枚がくっついているのがルーペで見えた。</u></p> <p>U T 男：<u>タンポポの花弁が5枚であること、集合花であることが、今までの自分の常識を覆すようでびっくりした。</u></p> <p>(※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できると思われる箇所を示す。)</p>

表 7 【課題③】の記述：外来種増加の根拠（2017年4月～5月2学級：N=60）

<p>R N 女：<u>弱肉強食の今は、生物でさえも環境に適応できなければ減る。地球温暖化や都市化が進み、在来種のすめる広い土地がなくなり、適応できない在来種の生育場所が減ったから。</u></p> <p>Y T 男：<u>人口が増えて、排出ガスなどの影響を受け、カンサイタンポポが減ってしまったから。</u></p> <p>N N 男：<u>都市に高いビルなどがどんどん建ってきて、カンサイタンポポの育つ土地がなくなっていく、その環境変化についていけなかったため。</u></p> <p>K T 男：<u>都市が近代化して行って、人が増え、交通量も増えているから、外来種が多くなっている。人口に比例すると思う。</u></p> <p>Y M 男：<u>人や鳥などの生物、風や温度のなどの気候の変化により、在来種の適応が追い付かなくなって、外来種が増殖していると考えられる。</u></p> <p>T Y 男：<u>強いものが勝ち、生き残るのが自然だと思う。高度経済成長の影響で、カンサイタンポポの進化が間に合わず、今の環境に耐えられなかったから。</u></p> <p>R K 女：<u>環境が急激に変化したせいで、鳥や虫の多い郊外に生えていた在来種が減り、綿毛の数が多く、都会のビル風にも強い外来種が増えた。</u></p> <p>M K 女：<u>時代と共に生態系が変わっていくから、それに適応できる外来種の方が繁殖しやすいと思う。</u></p> <p>M I 男：<u>媒介する昆虫などの影響によりカンサイタンポポは都会では生息できないため、数が減っている。</u></p> <p>S N 女：<u>虫・土・生命力に関係すると思う。蝶などの虫が減ると、花粉を運ぶことができなくなる。タンポポの根の部分に何らかの成分があり、土が少ない都会では吸収できなくなる。</u></p> <p>S A 女：<u>セイヨウタンポポの方が小花の数が多く、綿毛の数も多く、その綿毛一つ一つから種ができ、セイヨウタンポポの方が多くの種を付けるので、繁殖が早く年々増えてゆくから。</u></p> <p>(※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できると思われる箇所を示す。)</p>
--

表7の【課題③】より、生徒たちは「都市化・地球温暖化・排気ガス(RN女・YT男・KT男)」など何らかの環境変化を根拠に、「変化に適応できない在来種(NN男・YM男)」が減少したことを考察していた。また、気温変化など無機的な環境ばかりでなく、「媒介する昆虫などの影響(MI男・RK女・SN女)」「生態系の変化(MK女)」つまり「共進化」を思わせる表現もあった。さらに、外来種が「多くの種を付ける(SA女)」という形態に着目して有利さの根拠を述べるものもあった。ただし、「弱肉強食(RN女)」「強いものが勝つ(TY男)」など、外来種による在来種の駆逐説を思わせる表現も多かった。外来種と在来種の「混植」実験や、「実生の定着率」調査などから、「外来種が単為生殖で種子の生産量が多いから優位とはいえない」し、「在来種と外来種の競合の結論へは結びつけ難い」ことから(山田, 1986; 1988),「駆逐説」には疑問が生じているが、生徒の多様な意見を引き出すため、外来種優位の意見は否定しなかった。

表8 【課題④】の記述：雑種の優劣と根拠(2017年4月～5月2学級：N=60)

<p>TY男：そもそも雑種タンポポは、外来種と在来種が交雑することによってできたのだから、<u>どちらの優れた性質もあわせ持つから優れている</u>と思う。</p> <p>YK男：<u>クローンは優れている</u>と思う、なぜなら、成長の早さが2倍3倍と早いものが多いから、<u>繁殖しやすい</u>と思う。</p> <p>SF男：クローンは交雑なしで殖えるから、花粉を飛ばし、<u>受粉する必要がないから優れている</u>と思う。</p> <p>MA女：雑種タンポポには花粉がないので、単為生殖しないといけない。<u>単為生殖は同じ悪い性質ばかりを受け継ぐこともあるので、劣っている</u>と思う。</p> <p>KO男：クローンは増えやすいが、<u>全部同じ性質になり、その花が弱い病気が広がった時、絶滅する</u>と思うので、優れているとは言えない。</p> <p>AY女：新種のタンポポがクローンだとわかり、<u>優劣どちらとも言えない</u>思ったが、他の班で「<u>適応できなくなったら消える</u>」と聞き、劣っていると思った。</p> <p>RN女：<u>雑種タンポポは優れている</u>と思う。なぜなら、染色体さえあれば仲間を増やせるし、増殖が速いから。<u>しかし、環境が変わってしまうと、同じ遺伝子をもつものしかいないので、適応できずに滅んでしまうところは劣っている</u>。</p> <p>MY女：雑種タンポポにはすぐれているところも、<u>劣っているところもある</u>ので、どちらとも言えない。</p> <p>KR男：雑種は総苞片のめくれ方がやや小さく、花粉がなくクローンで殖える。染色体の数が在来種の1.5倍あるなど、それぞれ<u>優れている理由も劣っている理由も書くことができる</u>ので、どちらとも言えない。</p> <p>(※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所を示す。)</p>

表8の【課題④】では、外来種と在来種の交雑による雑種タンポポの出現を提示した。つまり、最初は、雑種は主に単為生殖のため「繁殖しやすい(YK男)」「受粉の必要がない(SF男)」「両方の優れた性質を受け継ぐ(TY男)」などを根拠に「優れている」とする意見

が趨勢を占めた。しかし、その後「同じ性質ばかり (K0 男)」になるため、「劣っている (MA 女)」という意見に変化した。そして、考察が揺れながら「適応できなくなったら消える (AY 女)」という意見に傾倒していき、最後に雑種は「優れているとも、劣っているともいえない (RN 女・MY 女・KR 男)」という考えに収束していった。ここに至って、在来種・外来種など現時点におけるタンポポの「分類」ばかりでなく、それらの交雑によってできた子世代の雑種タンポポとの比較を迫られ、世代を経て受け継がれる遺伝的性質や、環境の時間的変化を加えて考察していた。つまり、変異や分岐を考察に加えつつあることが分かる。

表 9 【課題⑤】の記述：雑種出現の根拠 (2017 年 4 月～5 月 2 学級：N=60)

<p>S N 女：<u>環境破壊の大きい現代では、寒い環境に応じた雑種が生まれてきている。</u></p> <p>M I 女：<u>タンポポの花がその時代に合わせて子孫を残すために、努力して進化した</u>と思う。</p> <p>D K 男：<u>在来種・外来種のどちらも、今の環境に適応できなくなってきたので、新しい雑種のタンポポが出現した。</u></p> <p>A Y 女：<u>セイヨウタンポポとカンサイタンポポの変化する間もないくらいのスピードで、環境が変わってきたため、新しい種類 (雑種) をつくった。</u></p> <p>H W 女：<u>セイヨウタンポポとカンサイタンポポがこの環境に適応しきれなくなった時に、全滅しないため、雑種ができた。</u></p> <p>T Y 男：雑種は花粉が出来ないため、<u>子孫にバラツキが生じないので、今の環境には最適である。</u></p> <p>M W 女：2 つのタンポポの<u>良いところが混ざって生命力の強い雑種ができたから。</u> (※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所を示す。)</p>

表 9 の【課題⑤】では、雑種タンポポの出現の根拠、すなわち仮説を考えさせた結果、在来種でも外来種でもない雑種の出現は「生き残り作戦」であることを思わせる表現が存在した。つまり、「環境破壊の大きい現代に応じて (SN 女・AY 女)」「その時代に合わせて (MI 女)」「今の環境に適応しきれなくなって (DK 男)」「子孫にバラツキが生じない (TY 男)」「全滅しないため (HW 女)」などを根拠に、雑種ができたことを記述していた。よって、外来種による在来種の「駆逐説」に揺らぎが生じていることが推察される。「数十年間に及ぶ環境の変化が、異種間の交雑による遺伝的変異を生じさせ、雑種・変種の出現を引き起こした可能性」という (伊東, 2015)、近年の仮説に近い考察を導き出していることが見て取れる。ただし、一方では「主に単為生殖する 3 倍体雑種の花粉が、在来種と戻し交配 (有性生殖) ができ、継続的種間交雑による花粉の進化を示唆する」報告もあり (Mitsuyuki, C., Hoya, A., Shibaïke, H., Watanabe, M., Yahara, T., 2013)、環境変化を含まない変異を記述している意見も尊重した (例えば「良いところが混ざって生命力の強い雑種ができた (MW 女)」など)。しかしながら、環境適応は「努力の結果 (MI 女)」であるとする擬人的な表現もあり、科学的な進化のメカニズム (変異や選択は意志に無関係) としては、未だ問題の残る表現ではある。それでも、雑種出現の由来や因果関係に着目し

た見方、いわゆる「系統樹思考」に接近していることが推測される。

表 10 【課題⑥】の記述：プランクトンの分類（2017年4月～5月2学級：N=60）

<p>MI女：アメーバやミジンコは足のようなものがついているので、動物だと思う。<u>べん毛</u>などがないものは<u>植物</u>に入ると思う。</p> <p>MT男：ツリガネムシは動くから動物プランクトン、<u>アオミドロ</u>は<u>緑色（葉緑体）</u>だから<u>植物プランクトン</u>。</p> <p>MY女：ミジンコは脚のようなものがあるから、動物と思ったが、<u>アメーバ</u>に<u>脚のようなものがある</u>とは気づかなかった。</p> <p>KD男：<u>ツリガネムシ</u>は、<u>触覚</u>のようなものが見えたから<u>動物プランクトン</u>であると思う。</p> <p>（※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できると思われる箇所を示す。）</p>

表 10 の【課題⑥】においては、水中の小さな生物を数多く観察することにより、「緑色の葉緑体（MT 男）」を持つ植物性と、それを持たず、「べん毛（MI 女）」や「脚・触覚のようなもの（MY 女・KD 男）」をもつ動物性プランクトンに「分類」できたことがわかる。

次の表 11 では、「5 界説」など系統図の提示によって、その両方の性質を持つミドリムシ（ユーグレナ）が、「原生生物」に由来することを理解した。そのため、「ミドリムシは葉緑体もべん毛もある（RK 男）」「緑藻なのに 1 本の毛のようなもので動いている（MW 女）」など、「生物多様性」の理解を示唆する表現が確認できる。さらに、単細胞の「クラミドモナスからユードリナへ多細胞化（KH 男）」、同じ原生生物である「ゾウリムシが繊毛で動く（MW 女）」ことへの言及もあった。本実践により、「分類思考」や「系統樹思考」などに代表される、「進化思考」など科学的思考力が育成できたとは断言できないが、少なくともその萌芽は何える。

表 11 【課題⑦】の記述：ミドリムシの分類（2017年4月～5月2学級：N=59）

<p>ES男：動物プランクトンは<u>脚</u>のようなもので動く、植物プランクトンは<u>葉緑体</u>があるが、それらを<u>両方持っている</u>生物もいる。これは <u>30 億年前</u>からいた原生生物に<u>分類</u>できる。</p> <p>RK男：<u>緑色のプランクトン</u>は<u>光合成</u>ができる<u>植物系</u>であるが、<u>ミドリムシ</u>は<u>葉緑体</u>も<u>べん毛</u>もあるからどちらでもない。</p> <p>MW女：ミドリムシは<u>緑藻</u>なのに<u>どうして動くことができるのか</u>。<u>ゾウリムシ</u>は<u>繊毛で動く</u>ことから、<u>1本の毛</u>のようなもので動いているのではないかと思う。</p> <p>KH男：<u>クラミドモナス</u>や、それが集まった<u>ユードリナ</u>のような生物を、<u>学者</u>はどのように考えているのか、<u>気になった</u>。</p> <p>（※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できると思われる箇所を示す。）</p>
--

第2項 各課題による質的分析の総括

以上、各課題の記述内容についての質的分析結果から、中学校第1学年の新入生たちが、都市化による環境変化から外来種が増えたことを学習した（【課題③】）。その後、主に無性生殖（単為生殖：クローン）する雑種タンポポの紹介により、「外来種による在来種の駆逐」や「外来種の優位」説に揺らぎが生じた（【課題④・課題⑤】）。次の時代では環境の変化に対応できないかもしれない、「多様化」に逆行¹⁾するような単為生殖の雑種が出現した意味は何か。その矛盾を克服する推論を行うために、現時点での考察だけでは足りず、時間的・世代的な因果を含む「系統樹思考」をしていたことがわかった。

一人の生徒の質問紙の自由回答欄（表12）には、「他の人の仮説を聴き、それならこうも言える、これは無理だなと、自分の仮説をありえそうなものに変えることができた（MT男）」と記されていた。彼らの仮説を再現する術（実験手続き）は今のところ皆無だが、「断片的な知見から全体的なストーリーを復元する」際に、「最善の説明への推論：アブダクション」を用いていたことから、中学校第1学年の生徒が立てた仮説ながら、それなりに妥当な推論も存在し得ると考えられる。

また、原生生物の観察と、動物性や植物性の「分類」、加えて「系統」図を用いた学習から、進化による「生物多様性」の由来（時間的視点）を理解したことも、【課題⑥】や【課題⑦】における質的分析から明らかとなった。

表12 質問紙における自由記述（2017年4月～5月2学級：N=59）

<p>I I 男：今までタンポポをずっと同じように見ていたけど、クローンでふえたり、花粉がないようなタンポポがあることを知り、身近な植物にも変化があるのだと思った。</p> <p>M K 女：考えは1つだけでなく、いくつもの考えがある事に気づき、理科の授業が小学校より好きになりました。</p> <p>Y H 女：普段なら絶対に興味のないものだけど、すごく興味を持てた。道端に咲いているタンポポを見るようになった。</p> <p>M T 男：タンポポの仮説は無限に立てることができ、<u>他の人の仮説を聴き、それならこうも言える、これは無理だなと、自分の仮説をありえそうなものに変えることができた。</u></p> <p>A Y 女：小学校では結果だけを発表することが多かったように思うけど、中学校では予想やなぜそうなるのかなども発表するので、すごくいいなと思った。</p> <p>M W 女：タンポポがどこに咲いているのか、今まで考えたことがなかった。<u>その環境が崩れたとしても、さまざまな性質を持っていると、生き残ることができることがわかった。</u></p> <p>（※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所を示す。）</p>

さらに、これらの課題追究において、中学校第1学年の生徒たちは、本単元開発における授業計画に対して最後まで興味・関心を持ってグループ学習や全体発表、観察などに取

り組んでいたことが、表 12 からわかる。中でも、遺伝的多様性の概念である「さまざまな性質を持っている (MW 女)」こと、その「遺伝子を未来に残すことが将来の環境激変に必要である」ことを理解することができたと思われる。換言すれば、これらの学習によって「生物多様性」の理解、中でも最も難解と思われる「遺伝的多様性」の理解が促進されたのではないかと考えられる。さらに、中学校第 1 学年の生徒ながら、彼らの中に「生物多様性」の理解を主眼に置いた環境教育への下地が育ちつつあると思われる。

第 3 項 質問紙調査による分析

単元前・後における質問紙調査 5 項目 (表 3: 真偽法) の正答数と誤答数を表 13 に集計し、マクネマー検定により各進化概念の形成過程、及び授業効果を分析した。ア～オの 5 項目のうち、ウ・エにおいては 5% 水準で有意に差が生じた。

ウの「優勝劣敗」は、以前の著者らの研究では有意差が出なかった項目であり (名倉・松本, 2018a; 2018b), 特筆に値すると思われる。この有意差の原因は、もう一つの有意差が生じた概念であるエの「退化も進化」の存在が大きい。なぜならば、ウの「優勝劣敗」と、エの「退化も進化」はその文面 (表 3) から明らかなように、対立概念であるからである。

エの「退化も進化」の質問項目は、以前の質問紙調査 (表 4) ではなかった。この有意差の原因も、対立概念であるウの「優勝劣敗」にあると考えられる。もちろん、「タンポポ雑種」の単為生殖は同じ遺伝子をコピーするため、「必ずしも優れたもの」にはならないという、【課題④】の有効性も示唆される結果であった。

表 13 質問紙調査による分析結果 (2017 年 4 月～5 月 2 学級: N=59)

各質問項目	単元前〔人〕		単元後〔人〕		マクネマー検定結果
	正答数	誤答数	正答数	誤答数	
ア 弱肉強食(誤)	22	37	27	32	n.s.
イ 環境適応(正)	52	7	52	7	n.s.
ウ 優勝劣敗(誤)	26	33	38	21	*
エ 退化も進化(正)	35	24	46	13	*
オ 世代性(正)	47	12	52	7	n.s.
合計	182	113	215	80	

df=1 $\chi^2_{.05}=3.841$ (* $\alpha < 0.05$) $\chi^2_{.01}=6.635$ (** $\alpha < 0.01$)
 ※各項目の()内の正・誤はそれぞれ科学的概念・誤概念を示す。

イの「環境適応」については有意差がなく、この原因は天井効果と考えられる。先行実践でも同様の傾向があり（名倉・松本，2018a；2018b），本研究における分析結果も同様の傾向が現れたと言える。

オの「世代性：進化は一世代で起こる変化ではなく、長い世代をへて起こる変化である」については、5%水準での有意差は見られない。しかしながらオの「世代性」の正答数が52人に達し、正答率が10%弱増加する傾向があった。この点において（ χ^2 値：2.273），は一定程度の成果が認められ、これ以上の正答率上昇はないと考えられる。

アの「弱肉強食」については一般的によく使われる4字熟語であり、正答と思われがちである。今後は質問紙の問いかけ方を工夫する必要があると思われる。

今回、有意差の出なかったオの「世代性」や、アの「弱肉強食」については、より上級学年における「生物の変遷と進化」や「遺伝の規則性と遺伝子」の単元での学習が必要であると思われる。

第6節 本章のまとめ

本章（第1章）の中学校第1学年「生物」領域（「生物の観察」単元）における実践研究によって、次のことが明らかになった。

各課題の記述内容についての質的分析結果から、明らかになったことは次の3点である。

- (1) 単為生殖の雑種が出現した意味を問う【課題⑤】において、世代的な因果を含む「系統樹思考」をしていたことがわかった。
- (2) 原生生物の観察と、動物性や植物性の「分類」、加えて「系統」図を用いた学習から、進化による「生物多様性」の由来を理解したことも、【課題⑥】や【課題⑦】における質的分析から明らかとなった。
- (3) 本授業計画における一連の課題追究によって、新入生の進化的な思考を促進したことがわかる。

次に質問紙調査による分析から、明らかになったことは次の2点である。

- (1) 想起されやすい「優勝劣敗」と、その対立概念である「退化も進化」に有意差が生じた。これは本授業計画における「タンポポ雑種の出現に関する仮説推論」など、一連の課題追究による一定程度の効果と考えられる。
- (2) 「弱肉強食」や「世代性」の理解については、第2学年における「生物の変遷と進化（2020年度より第3学年『生物の種類の多様性と進化』）」や、第3学年における「遺伝の規則性と遺伝子」の単元での学習によって、その払拭の成果が期待される。

本章（第1章）におけるカリキュラム開発による実践研究が、中学校第1学年の身近な「生物の観察」において、「分類」と「系統」を思考体系とする「進化思考」の入門編としての役割を果たしたと自負する。しかし、進化は目的を持ったものではなく、偶然その環境に適合したものが生き残ることを理解するには、より上級学年での学習が必要である。また、「進化思考」の入門編として企画した本章における授業計画は、誤概念の保持やカリキュラム・マネジメントの立場からまだまだ改善の余地も多く、研究は緒についたばかりである。

註及び引用・参考文献

1) 岩槻 (2002) は「生物の進化の速度が急速に促進」された要因として「有性生殖」を取り上げ、「ごく低い確率」ながら「環境の変化が形質をより有利なものに変えること」があり、このような遺伝子が「急速に生物集団に拡大される」からだとして述べている。一方で、「有性生殖による進化」は「偶然に有利な突然変異が生じる確率と比べるとはるかに大きな数字が期待」されることも指摘している。しかしながら、近年のシダ植物などが、遺伝的多様性として不利な 3 倍体を主とする「無融合生殖 (中学校第 3 学年では『無性生殖』, この単元は『単為生殖』と教示)」をし、2 倍体有性生殖をしなくなった理由を次のように説明している。「無融合生殖種は、生物が進化を促進するために育て上げてきた有性生殖による進化を放棄している。数千年単位の植物の生活にとっては、それは、緊急対応として評価されるべきものかもしれない。しかし、進化は当面の課題であるとともに、永遠であるべき生命の持続性を保証するものでなければならない。性を放棄した植物たちには、100 万年単位の正常な進化の機会が乏しい。それなら、今の環境にとにかく対応したとしても、そのまま億年単位の時間を待たなければならないとしたら、これは地球と生物の進化の大きな流れから取り残されてしまうことになる。それだけの犠牲を払ってもなお今に対応した進化を演じることは、植物にとって、本当に有効なのだろうか。もっとも、植物は有効と判断してその進化の道を選んでいるのではないが(岩槻, 2002, p.99)」と推論している。本単元における授業においても、「多様化に逆行」した 3 倍体の単為生殖する雑種タンポポを取り上げて、近年の大阪府における都市化、環境の変化から考察を促したのは、このような知見からである。

Dobzhansky, Th. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in Light of Evolution, *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.

長谷川眞理子 (2015) 『ダーウィン種の起源 (100 分で名著)』 NHK 出版.

伊東明 (2015) 「遺伝解析と生態特性把握による雑種タンポポの起源地と拡大経路の推定」 Retrieved from <https://kaken.nii.ac.jp/file/KAKENHI-PROJECT-24510330/24510330seika.pdf> (accessed 2019.05.01)

岩槻邦男 (2002) 「文明が育てた植物たち」 岩槻邦男 (編著) 『生命環境科学 I - 生命の多様性 -』 (放送大学大学院教材) 放送大学教育振興会, 第 7 章, 90-99.

三中信宏 (2010) 『進化思考の世界 - ヒトは森羅万象をどう体系化するか -』 NHK 出版.

Mitsuyuki, C., Hoya, A., Shibaike, H., Watanabe, M., Yahara, T. (2013). Formation of a hybrid triploid agamosperm on a sexual diploid plant, *Plant Systematics and Evolution*, 300(5), 863-870.

文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領』

文部科学省 (2017) 『中学校学習指導要領』

森田邦久 (2010) 『理系人に役立つ科学哲学』 化学同人.

本川達雄 (2015) 『生物多様性 - 「私」から考える進化・遺伝・生態系 -』 中公新書.

名倉昌巳 (2016) 「中 1 理科 環境教育としてのタンポポ教材化の試み - アクティブ・ラーニングとポートフォリオ評価による思考・表現力養成 (1) -」 大阪教育大学実践学校教育講座 (編) 『実践学校教育研究』 第 19 号, 51-60.

- 名倉昌巳・松本伸示（2018a）「形成的評価を加味したパフォーマンス課題を取り入れた理科授業開発」『理科教育学研究』第 58 巻，第 4 号，355-365.
- 名倉昌巳・松本伸示（2018b）「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』第 59 巻，第 2 号，205-215.
- 小川清（2001）『日本のタンポポとセイヨウタンポポ』どうぶつ社，99-112.
- タンポポ調査・西日本実行委員会(2015)「みんなで調べた西日本のタンポポ」 Retrieved from <http://gonhana.sakura.ne.jp/tanpopo2015/>(accessed 2019.02.04)
- 塚田捷ら（2016）『未来へひろがるサイエンス 1』（平成 27 年 3 月検定済中学校理科用）啓林館.
- 山田卓三（1988）学校教育におけるタンポポの研究および教材化に関する諸問題．生物教育，第 28 巻，第 1 号，19-28.
- 山田卓三（1986）タンポポの観察実験．ニュー・サイエンス社．第 3 章，39-81.

第2章 中学校第1学年「地学」領域 「地層の重なりと過去の様子」における単元開発

本章では、中学校第1学年「地学」領域において開発した「進化」に関する授業計画によって、中学生の科学的進化概念がどの程度形成されたかを検証した。すなわち、進化に関する「本質的な問い」、総括的評価としての「パフォーマンス評価」、パフォーマンス課題の作成前後に加味した「形成的評価」などによって、本章における単元開発を検討した。

第1節 問題の所在

現行中学校第1学年理科教科書（塚田ら，2016a）における「地層の重なりと過去の様子」の単元には、古生代から新生代に至る進化の証拠である化石資料が登場する。ここでは「どのように生物が進化してきたのか」の説明がないまま、進化の事実だけが列挙されている。進化に関する解説，すなわち類縁関係などの進化の証拠は，現行学習指導要領（平成20年告示）では中学校第2学年，新学習指導要領（平成29年告示）では第3学年にゆだねられている（文部科学省，2017）。しかも「学校現場で生徒の活動（実験・観察，課題研究や探究活動など）を通して進化を取り扱うことは特に困難である」と指摘され（佐藤・大鹿，2005），中学校での「生物進化」の学習を効果的に進める実験は少なく，結果として資料をもとにして，個々の教師の力量で進められることが多い（森本，2009；西野・佐竹，2013）。さらに，現代進化学では否定されている「ラマルク説（獲得形質の遺伝）」の支持者が中学生から大学生までのどの段階でも多く，特に高校生物を学んだ後も保持しやすい誤概念であると指摘する知見もある（福井・鶴岡，2001；森本・甲斐・森藤，2006；中井，2004）。その他，「進化」は「成長」「変身」「発達」「進歩」などと誤解されやすいとする先行実践も多く存在する（桐生，2004；宮本，2008；正本・西野，2011）。

一方，一般社会に目を移すと，進化の「進んでいる」という語が「進歩」や「優れている」と混同され，誤解・差別・偏見を生む学習内容であるとする見解もある（石川・森，2002）。例えば，自然選択は「自然淘汰・断種・生存競争・弱肉強食」など社会進化論と解釈される。それ故，「進化を教えることは難しい」という指摘につながる（長谷川，2004）。

平成20年告示の中学校学習指導要領では，中学校第2学年における「生物の変遷と進化」の単元目標には「現存の生物や化石の比較などを基に，現存の生物が変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けてとらえること」と書かれている（文部科学省，2008）。また，平成29年告示の中学校学習指導要領では，中学校第3学年における「生物の種類の多様性と進化」の単元目標には「現存の生物及び化石の比較などを通して，現存の多様な生物は過去の生物が長い時間の経過の中で変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けて理解すること」と書かれている（文部科学省，2017）。どちらも

ほぼ同様のことを述べているが、新学習指導要領（平成 29 年告示）には、「多様な」と「長い時間の経過の中で」という点が現行学習指導要領（平成 20 年告示）と異なっており、上記の「成長・変身・発達・進歩」などの誤概念と、科学的進化概念との相違点が一層強調されているように思われる。

第 2 節 本章の目的

本章（第 2 章）における実践研究では、中学生に対する「科学的進化概念」形成に向けて、生物進化の基本的なしくみを理解させる授業計画を開発し、そのカリキュラムの有効性を検証することを目的とした。

この第 1 学年「地学」領域における「生物進化」に関する単元目標は新・旧学習指導要領には元々存在しない。そのため、中学校第 2 学年理科教科書の「生物」領域に掲載されている「進化の定義：生物が長い時間の間にしだいに変化し、新しい生物が生じること」を基本に置いた（塚田ら，2016b）。そこにアメリカのミドルスクール（日本の小学校第 5 学年から中学校第 2 学年に該当し、中間学校と和訳されることもある）の教科書¹⁾を参考に（Trefil, J. et al. Eds., 2007）、中学校第 1 学年の生徒でも十分に理解可能な「適応：Adaptation」と「変異：Variation」を加えて、表 1 のような第 1 学年「地学」領域における「到達目標」を設定した。

表 1 到達目標：中学校第 1 学年「地学」領域（名倉，2017 より改変）

- | |
|---|
| <p>① 生物は環境の変化に適応して進化する。</p> <p>② 生物進化は一世代で起こらず、長い世代を経て起こる変化である。
（変異は新しく子が生まれるときに起こる）。</p> |
|---|

第3節 開発したカリキュラム

第1項 「逆向き設計」論に「形成的評価」を加味したカリキュラム設計

具体的な学習内容には、「何が進化か、非進化か」「進化は一世代か、数世代か」「変異は一生の間（獲得形質の遺伝）か、子が生まれるとき（遺伝的変異）か」など、二項対立による「本質的な問い (essential questions)」を準備した。そして、そのような単元を貫く「本質的な問い」を対話的な学び²⁾ (collaborative learning) によって解決し、「自己評価」や「教師による評価」などをほぼ毎時にわたって実施し、その中心に「パフォーマンス課題 (performance tasks)」を組み込んだ授業計画を立案した。

その授業計画を立案するにあたり、本章(第2章)では「逆向き設計(Backward Design)」によるカリキュラム開発手法を用いた。「逆向き設計」とは、求められている結果を明確にし(第1段階)、そのことを承認できる証拠を決定してから(第2段階)、学習経験と指導を計画する(第3段階)という3段階で構成され、計画の前に評価の構想を行うという点が、従来のカリキュラム設計とは逆になっているためにこう呼ばれる(Wiggins & McTighe, 2005; 遠藤, 2005; 西岡, 2005)。

以上の3段階を表2のようにまとめ、加えて、図1の左にその各段階を簡略化して図示した。そして、図1の右側には「逆向き設計」において、従来から通常捉えられている要素(目標⇒本質的な問い⇒総括的評価としてのパフォーマンス課題)を右上部に、本研究において加味した「形成的評価(Formative Assessment)」の要素を右下部に、それぞれ枠で囲んで示した。つまり、ここでの特長は1つめの「パフォーマンス課題(絵)」実施直後に、「生徒発表：自己評価・相互評価など」、及び「作品再考・修正の機会：教師による評価など」を設定したことが通常の逆向き設計との違いである。

ブランスフォードらは「理解のフィードバックが形成的評価には不可欠で、そのためには生徒に友だちの作品や自分の作品を評価させることが必要であり、例えば個人のパフォーマンスをその場でモニターし、評価結果を直ちに生徒にフィードバックすることが重要である」と報告している(Bransford, Brown & Cooking, 2000, p140)。この知見を踏まえ、図1のように2つのパフォーマンス課題を挟んで「教授・学習過程」を確保し、これを本研究では特に「加味した形成的評価」として、以下に議論を進めていくことを断っておく。

これらのプロセスを経ることによって、1つめの「パフォーマンス課題(絵)」で生じた「フィードバック」を、次の2つめの「パフォーマンス課題(文)」に直接的に生かすことが可能となると考えられる。つまり、生徒たちが到達目標(goal)を確認しながら、学習のプロセスと結果を自己評価し、すなわち自己調整(Self-regulated)³⁾ 的により高い段階に進めるものと考えられる。

表2 Wiggins & McTighe (2005) による「逆向き設計」の3段階

【第1段階】	(求められている結果)
①	めざしている理解は学問の中心にあり, 永続的
②	深い思考と転移を促進する本質的な問い
③	本質的な問いは刺激的で論争的
【第2段階】	(評価のための証拠)
①	実際の社会の中で使えるパフォーマンス課題と評価
②	生徒や教師にフィードバックできる評価
③	自己評価の機会
【第3段階】	(授業計画)
①	重大な概念の掘り下げに引き込まれる活動
②	作品を再考し, 修正し, 洗練する十分な機会
③	本質的な問いを軸にしたカリキュラム設計

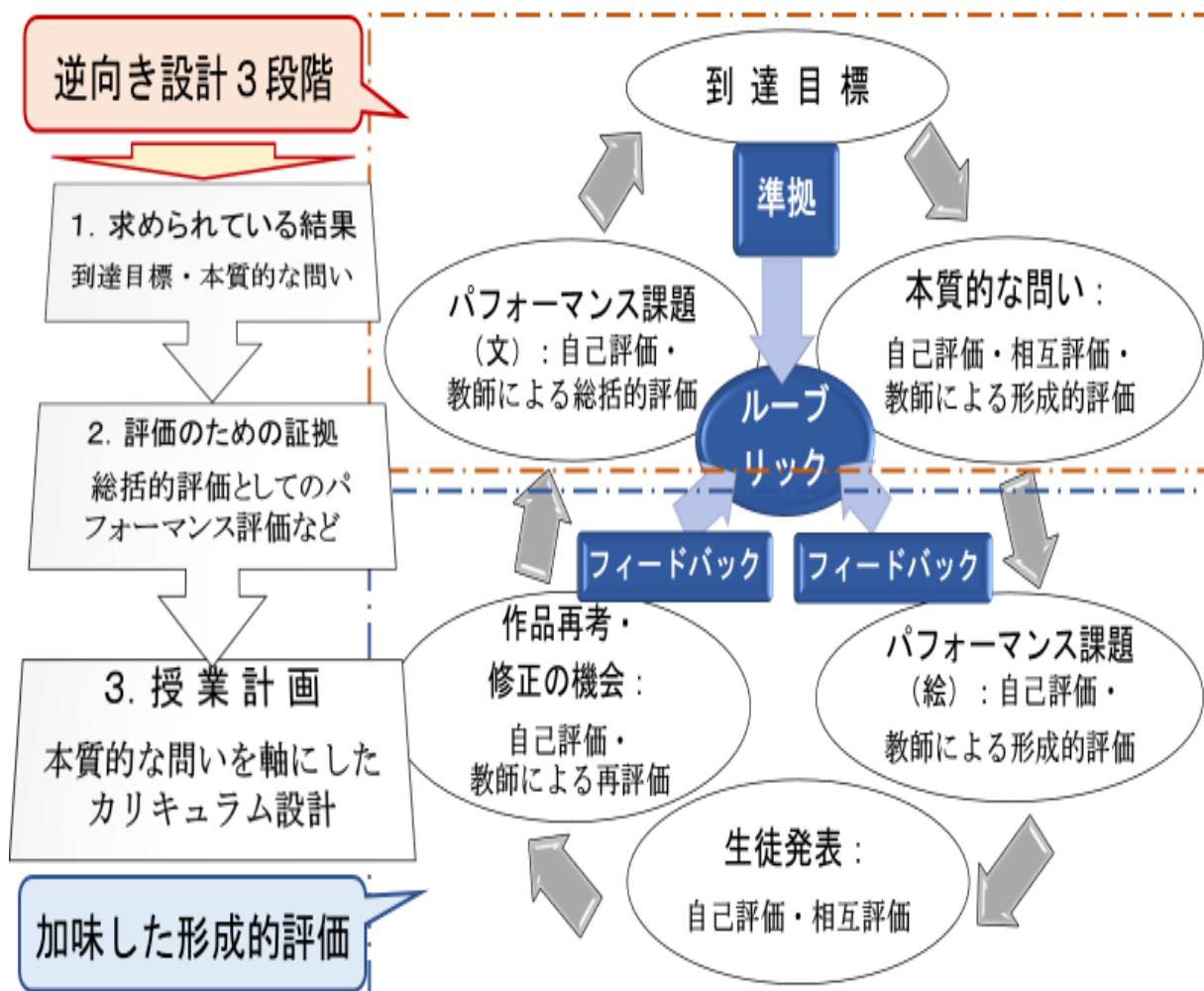


図1 形成的評価を加味した教授・学習過程

第2項 開発した授業計画

「地層の重なりと過去の様子」の単元の、「歴史を語る化石（塚田ら，2016a）」は生徒たちが最も興味を持つ分野である。この中学校第1学年の学習を第2学年「生物の変遷と進化」につながる進化の導入編として、表2の「逆向き設計の3段階」に基づいて表3のように計画し、通常の中学校理科カリキュラムに組み込んだ（追加したカリキュラムは表3の左欄に下線で示した）。この中学校第1学年「地学」領域における実践は、2017年4月28日～5月12日に公立A中学校2学級在籍70人（男子38人・女子32人）に対して実施した。尚、この2学級の学級編成にあたっては、前年度の5教科成績に基づいて行われており、ほぼ等質とみなすことができる（2017年度に4回実施した理科定期テストの2学級の平均点は、それぞれ63.2点と61.7点であった）。

本章（第2章）の目的は「到達目標（表1）」にあるように、「環境への適応」、「進化は世代を超えて起こる変異」についての基本的な進化概念の習得である。この2点を踏まえて表2の【第1段階】や【第3段階】にある、「本質的な問い」を各時限に設定した。例えば、表3の【設問①～⑥】のように進化に関する「深い思考を引き起こし、転移を促進する」、「刺激的で論争的な」課題を設定している。この課題のうち2題、【設問⑤】と【設問⑥】は二者択一の形式をとり、答えは一見単純である（例えば【設問⑤】では、「昆虫の変態は進化か、非進化か」など）。しかしながら、その二者にカテゴライズするに際して、そこに含む「根拠」を考えさせることで、「二項対立による認知的不協和」を引き起こすという意図がある（森本ら，2006）。進化の学習は、現実的な問いかけから深めていくことができる効果的な教材であり、科学の本質を指導するよい機会ともなりうる（高橋・磯崎，2014）。「生物進化」は社会的な進化と紛らわしいものが多い。ここでも、日常の「進化」と「生物進化」とを明確に区別するため、その契機として【設問⑤】を与えて、対話的な学びによって解決していく方略を採用した。

もう1つの例として、【設問⑥】のAはラマルクの「獲得形質の遺伝」を示し、一生の間の変異が次世代に遺伝することを意味している。これは現代進化生物学では完全否定されているが、高校・大学生でも根強く保持している誤概念である（福井・鶴岡，2001）。

一方、Bはド・フリースの「遺伝・突然変異」を示し、現代進化学における学問の中心概念であり、ダーウィンの「自然選択説」を包含する「進化の総合説」に依拠する科学概念である（Mayr, E., 1991; Charlesworth, B.& D., 2003; 粕谷，2005）。このように相反する両者を対峙させることによって、学習者が「認知的不協和」を引き起こし、その矛盾の解決過程が生徒間の論争を促し、概念理解を促すように意図したものである（湯沢，2004）。表3には、各評価の【観点】と共に【設問①～⑥：回答例】として、生徒たちから出てきた意見を参考のため簡略化して掲載した。

表3 第1学年「地学」領域における授業計画：全6時間（名倉，2017より改変）

（◆は教科書の学習内容，⇒は支援上の留意点， は追加した授業）

時	学 習 活 動	評価（形成的評価など）の観点，及び設問の回答例
1	<p>「歴史を語る化石（塚田ら，2016a）」 ◆各時代の示準化石（三葉虫：古生代・恐竜：中生代・マンモス：新生代）の3つの古生物の写真資料を提示，説明。 ⇒その後グループ（4人程度）による「対話的な学び」を実施（以下，同様）。 【設問①】「代表的な示準化石と現生の生物の体のつくりを比較し，どんなことに気づいたか？」 【設問②】「時代によって体のつくりが大きく違うのは，どういうことが考えられるか？特に地球環境とのかかわりから考察せよ」 ⇒【設問】における記入内容について，<u>自己評価・教師評価</u>（この2つの評価を毎時実施する）</p>	<p>【設問①：観点】現生の生物との共通点・相違点をあげることができる。 【設問①：回答例】三葉虫はカブトガニに似て硬い殻に覆われているが，多足である。恐竜はワニやトカゲに似ていてウロコに覆われているが，大型のものが多し。マンモスはゾウに似て鼻が長く，牙が湾曲し，体毛が長く，やはり大型である。 【設問②：観点】地質年代によって栄えた生物の種類が代わるのは，各時代の境界で地球の環境が大きく変化したためであることに気づくことができる。 【設問②：回答例】中生代末の寒冷化によって大型の恐竜が絶滅し，小型の体毛のある哺乳類が生き残った。新生代には大型哺乳類のマンモスが出現するが，温暖化により長い体毛はなくなり，大型の湾曲した牙も生存には有利ではなくなり，現在のゾウに進化していったと考えられる。</p>
2	<p>「化石から学ぼう（塚田ら，2016a）」 先ず，前時の各地質時代の環境を代表する生物を例示（何が分かったか復習） ◆【各時代の示準化石（フズリナ：古生代・アンモナイト：中生代・ビカリア：新生代）の化石標本を提示・回覧，簡単に説明。 【設問③】「これからどんなことに気づいたか？」 ◆【示相化石】の提示・回覧・説明（地層から出てきた化石には，過去の環境を推定することができるものがあり，現存する生物のため地質年代不明） 【設問④】「生物と環境との関連をどう考えるか？」 ⇒「事前質問紙調査（表5）」の記入。</p>	<p>【設問③：観点】3つの古生物共に海洋に生息し，各時代によって形態が違い，その時代にだけ，すんでいたことに気づくことができる（現在，それらによく似た生物が生き残っているのは，少しずつ環境に適応して形態を変化させたことに気づく）。 【設問③：回答例】フズリナは1cm以下で小さく，石灰岩化している。アンモナイトは現代のオウムガイに似ていて，巻貝である。ビカリアは現代ではウミナナに似ていて，尖った巻貝である。 【設問④：観点】シジミ（汽水域）などの示相化石から，どんな生物も環境に適応して生きていること，さらに，示相化石は示準化石（その時代に限定される古生物）とは異なり，ほとんどが現代まで生き残ってきた生物の化石であることに気づく。 【設問④：回答例】どんな生物も環境の変化に適応したものが生き残ることができる。</p>
3	<p>「進化とは何か」その1 【問題提起】「進歩・変態・成長・変身」などを例示した8枚の描画カード提示： ①昆虫の変態， ②イチローの進化， ③ヒトの進化， ④ポケモンの進化， ⑤ユーステノプテロンからイクチオステガの進化， ⑥ガンダムの変身， ⑦ケイタイの進化， ⑧ヒトの成長 【設問⑤】「以上の8枚から『進化』と『非進化』の2グループに分け，その理由も考える。」 ⇒各グループでの議論⇒<u>グループ発表</u> （黒板などへの貼付）⇒<u>相互評価</u></p>	<p>【問題提起】特に聞きなれない描画カード⑤における「ユーステノプテロン（魚類：肉鱗類）」、「アカントステガ（両生類）」、「イクチオステガ（両生類）」は，描画からその形態・特徴の概略を解説する。 【設問⑤：観点】「対話的な学び」によって，積極的に意見を交換・発表し，かつ日常における進化には誤用が多いことに気づくことができる。 【設問⑤：回答例】③と⑤が正解で，他は誤用である（理由：「一世代」または「無生物」であるため，生物進化であるとは言えない）。 【結果】「進化」と「非進化」の正解はあえて教示しなかった。その結果，ほとんどのグループは正解に至るが，⑦の「ケイタイ」を正解に含めるグループがいた。その理由として「ケイタイは数世代を経て，変化が起きるから進化に含む」と主張するグループがあった。</p>

<p>4</p>	<p>「進化とは何か」その2</p> <p>【設問⑥】「2枚の描画カード（A. 一生の間か、B. 生まれる時か）のどちらが正しいか？特に『変異はいつ起こるか』について考察し、その理由も考える。」（森本ら、2006）</p> <p>A) B) </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>A) 「獲得形質の遺伝」誤概念</p> <p>B) 「遺伝・突然変異」科学的概念</p> </div>	<p>【設問⑥：観点】「対話的な学び」の中から、A（獲得形質の遺伝）の矛盾点を導き出し、Bが正しいあり方であることを説明したり、発表したり、記述したりすることができる。ただし、教師はあえて正解を示さない。</p> <p>【設問⑥：回答例】 答え：B) が正解。理由：A) は一世代での変化であり、それは「成長」で、例えば、親が「商売上手」になったからと言って、必ずしもその性質が子に伝わり、同じ能力を持つとは限らるので、Bが正解である（このような反証事例をあげて説明）。</p> <p>【結果】グループ討議や発表ではBが正解という意見に、どのグループも収束していくが、個人的なワークシートの記入内容などの回答割合では、A：B=17：83 [%] でAを支持する生徒も尚かつ残った。</p>
<p>5</p>	<p>「進化とは何か」その3</p> <p>【パフォーマンス課題（絵）】「魚類から両生類への進化においてその前・後の生物の絵を描こう（図2）」</p> <p>⇒オープンエンドな仮説課題設定。先に、「到達目標（表1）」と「ループリック（表4）」を生徒に明示してから、各自の課題解決を開始する。</p> <p>※開始後、「ユーステノプテロン」と「イクチオステガ」のぬいぐるみ（図2）を、各グループに回覧し、その形態の特徴の変化を議論し合う際の補助教材とした。☆記入内容⇒自己評価⇒教師評価</p>	<p>【パフォーマンス課題（絵）：観点】ループリック（表4）による。</p> <p>【課題（絵）：回答例】<u>ユーステノプテロン以前</u>：何億年前の「海の環境」と形態が妥当なことが分かるように描かれていること。例えば、深海に生息するため、水圧に耐える硬いウロコなどがある。<u>イクチオステガ以後</u>：何億年前の「陸上の環境」と形態が適応的に妥当に描かれていること。例えば、生息域が砂漠なら日照に強い甲羅に覆われ、森林地帯なら体毛があるなど。</p> <p>【結果】以上のように、「ループリック」にある2観点とその根拠を含み、長い年月の間に進化したことが描かれているものをA評価とした。</p>
<p>6</p>	<p>「進化とは何か」その4 （この第6時限の前半部分が、図1の「形成的評価を加味した教授・学習過程」にあたる。）</p> <p>【パフォーマンス課題（絵）】返却・再チャレンジ。</p> <p>⇒生徒発表：優れた作品をプレゼンする。</p> <p>⇒相互評価：互いの作品を交換・批評し合う。</p> <p>⇒再考の機会：自己作品と「到達目標」とのギャップを埋める作業。</p> <p>⇒作品修正：ループリックを参照し、パフォーマンス課題（絵）を修正。</p> <p>⇒教師再評価</p> <p>⇒【パフォーマンス課題（文）】「絵に基づき進化のストーリーを文章化してみよう（図2）」⇒回収した記入内容を自己評価・教師評価</p> <p>「事後質問紙調査（表5）」を記入・回収。</p>	<p>【パフォーマンス課題（文）：観点】ループリック（表4）による。ただし、「変身などの一世代での変化」は記入内容に含まないこと。回答例は表8を参照。</p>

第4節 授業評価の方法

第1項 パフォーマンス課題による授業評価

本授業計画（表3）における最終第6限目の総括的評価としての「脊椎動物が水中から陸上へ進出した」ことを「文」章化する「パフォーマンス課題（文）」を準備した。しかし、長文での表現は生徒が苦手とする課題であり、その「文」課題に先立つ第5限目に、図2のように「絵」で表現する「パフォーマンス課題」を開発し、その採点ツールとして表4の「ルーブリック（rubric）」も策定した。

表4 ルーブリック：中学校第1学年「地学」領域（名倉，2017より改変）

評価	評価指標
A	表1の「到達目標」の①・②の観点のうち2つが含まれ、それに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。
B	「到達目標」の①・②の観点のうち1つが含まれ、それに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。
C	「到達目標」の①・②の観点のうち1つが含まれているが、それに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されていない。 もしくは①・②の観点が全く含まれていない。

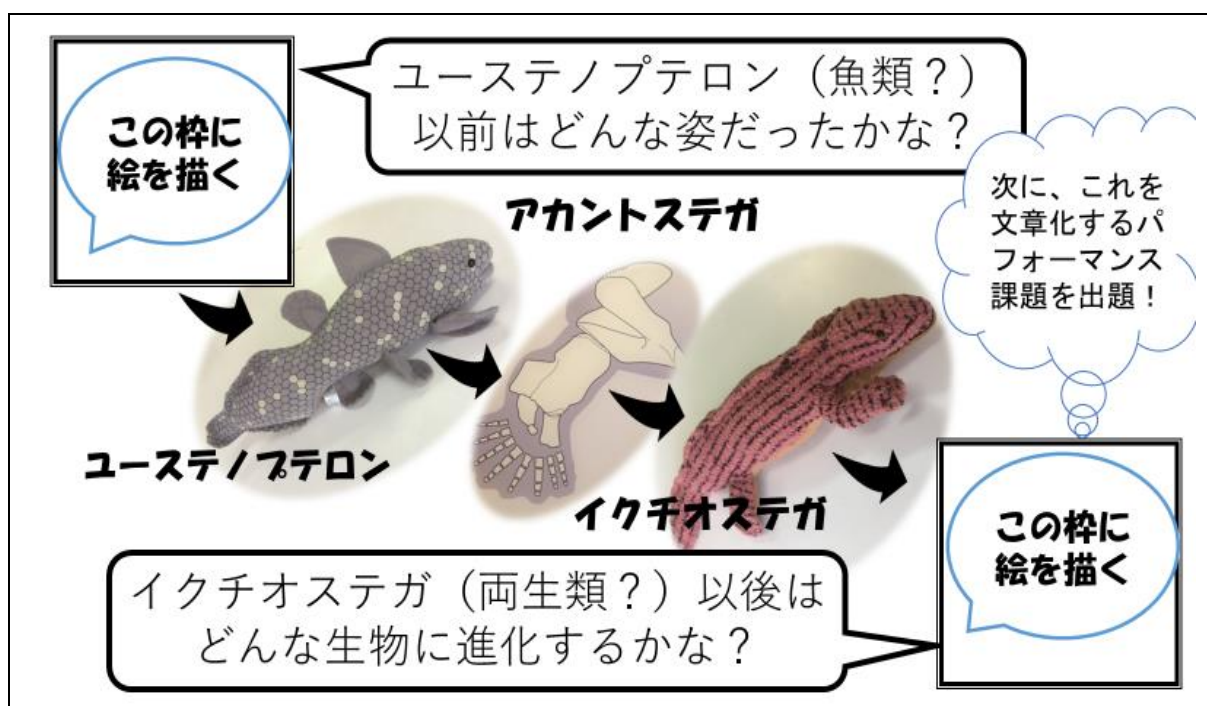


図2 パフォーマンス課題（絵）：中学校第1学年「地学」領域（名倉，2017より改変）

このパフォーマンス課題は、「逆向き設計の3段階（表2）」の【第2段階】の①にある「実際の社会の中で使える」ことを考慮し、古生物学者などが「脊椎動物が水中から陸上へどのような進化を遂げたか」について、化石証拠や類縁関係から仮説を立てる手法に基づいて考案したものである。加えて、表2の【第2段階】の②にあたる「フィードバック」と、同じく③にあたる「自己評価の機会」を確保した。さらに【第3段階】の②にあたる「再考し、修正し、洗練する十分な機会」を与えることによって、「重大な概念の掘り下げに引き込まれる活動（①にあたる）」を、パフォーマンス課題解決の前・後に組み込んでいるのが、本単元開発の特長である。すなわち、図3に示すように、この第5限後、第6限目の最初が加味した「形成的評価」にあたる部分である。換言すれば、「絵」と「文」の2つのパフォーマンス課題の間に、「生徒発表」と「作品再考・修正」の機会を配置し、これによって、一層文章化しやすい仕掛けを確保した訳である。

本章（第2章）において目的として設定した、中学生における科学的進化概念の形成を達成するため、脊椎動物の陸上進出を、その前・後を含めて「絵」と「文」でストーリー化するパフォーマンス課題（図2）を考案した。この課題は正解が1つでない、いわゆる「オープンエンド」な課題である。そして、「到達目標（表1）」の達成度を測るツールとして「ルーブリック（表4）」を用い、A・B・Cの3段階で「絵」と「文」についてそれぞれ別個に評価した。パフォーマンス課題において「絵」と「文」よる2つの表現法をとったのは、そのことによって思考プロセスが可視化され、生徒の思考力や表現力を捉えることが可能になると思われたからである（田中，2011；戸田，2012；山地，2010）。換言すれば、魚類（ユーステノプテロン）から両生類（イクチオステガ）へと進化する過程⁴⁾を、

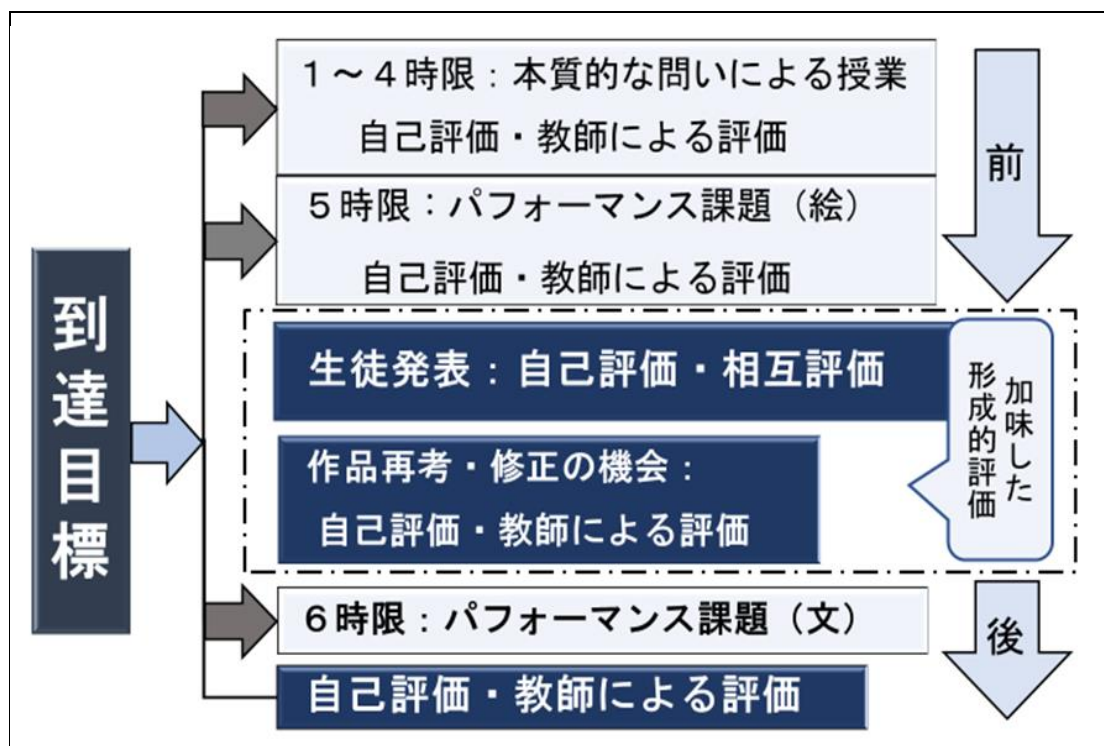


図3 2つのパフォーマンス課題「絵」と「文」の間に加味した形成的評価

それら以前・以後の姿を想像しながら「絵」で表現し、次にその一連の進化仮説を「文章化することによって、思考・表現力が一層明らかになると考えたからである。

先にも述べたが、特に本研究では図1のように「パフォーマンス課題(絵)」を行った後、「生徒発表」と「作品再考・修正」の機会を挟んで、続いて「パフォーマンス課題(文)」に取り組み、より文章化が容易になるように工夫している(図3)。すなわち、パフォーマンス評価を総括的評価として実施するだけでなく、評価結果の即時的なフィードバック効果を利用した「形成的評価」の要素を加味した訳である(Bransford et al., 2000)。その評価結果の分析によって、本章の実践研究における単元開発が中学生の進化概念形成に関してどの程度の有効かについて検討を図ることがねらいである。

第2項 質問紙調査による授業評価

質問紙調査(真偽法:○×式)によって、単元前・後における科学的進化概念の形成とその理解度に関する調査分析を行った。すなわち、単元前・単元後に表5にあるような質問を課し、それぞれ正答数と誤答数を集計することによって、その変化から本章における単元開発の効果を検討した。質問ア～コの10項目の概念抽出(特に誤概念)に際しては、多くの先行研究における調査結果を下敷きにして開発した(福井・鶴岡, 2001; 中井, 2004; 桐生, 2004; 宮本, 2008; 正本・西野, 2011)。

具体的に授業計画の中では、表3の【設問⑤】の8枚のカードのうち、カード①の「昆虫の変態」とカード⑧の「ヒトの成長」から「イ」の質問、カード②の「イチローの進化」とカード④の「ポケモンの進化」から「ウ」の質問、カード⑦の「ケイタイの進化」から「オ」の質問、カード③の「ヒトの進化」とカード⑤の「ユーステノプテロンからイクチオステガへの進化」から「カ」の質問をそれぞれ概念抽出した。また、表3の【設問①・②】から「エ」と「ク」の質問、【設問⑥】から「ケ」と「コ」の質問をそれぞれ導き出した。「ア」と「キ」の概念については、ダーウィンの「自然選択説」が社会進化論的な立場で「優れたものに進化する」と誤解されるため(長谷川, 2004)、進化の学習によってこれらの誤解が減少するかを調査する質問であり、特に本章の授業計画には組み込んでいない。

また、この質問紙の調査結果を集約するにあたり、質問ア～コの各内容について次のように熟語化して整理した。すなわち、アの「生物の世界では、かならず強いものが弱いものに勝ち、強いものが生き残っていく」は「弱肉強食」の誤概念として、簡略化して集計表に記載した。以下同様に、イは「昆虫の変態」を表す誤概念、ウは「ヒトの成長」を表す誤概念、エは「大量絶滅」を表す正しい科学的進化概念、オは「技術の進歩」を表す誤概念、カは「世代性」を表す科学的進化概念、キは「優勝劣敗」を表す誤概念、クは「環境適応」を表す科学的進化概念、ケは「獲得形質の遺伝」を表す誤概念、コは「遺伝・突然変異」を表す科学的進化概念として、それぞれ集計結果の簡素化に役立てた。

表5 質問紙調査（真偽法）：単元前・単元後調査（名倉，2017より改変）

次のア～コのうち正しいと思うものには○，間違っていると思うものには×を書きなさい。

- ア．生物の世界では，かならず強いものが弱いものに勝ち，強いものが生き残っていく。
- イ．昆虫では幼虫→さなぎ→成虫と，ヒトでは赤ん坊→少年→大人と，「進化」して成長していく。
- ウ．「鈴木一朗」選手は，プロ野球入団後2年目に「イチロー」と名乗ってから活躍が始まり，さらに大リーグに移籍後も彼の野球の能力は「進化」し続けている。
- エ．地球上の生物は何億年も大昔から「進化」し，動物では地質年代の順に三葉虫，恐竜，マンモスと変遷（変化）してきた。
- オ．電話はグラハム・ベルが発明してから，手回し式→ダイヤル式→プッシュホン→ケータイ電話→スマートフォンと「進化」し続けている。
- カ．「進化」とは一世代で起きる変化ではなく，長い世代をへて起きる変化である。
- キ．どんな生物でも，長い年月のあいだにすぐれた性質をもつものに「進化」してゆく。
- ク．まわりの環境が変化すると，それにあった性質をもつ生物が生き残っていく。たとえば，恐竜は寒い環境に「適応」できなかつたので，絶滅したと言われている。
- ケ．生物の「変異」は生きている間に起こり，その「変化（変異）」が次世代に受け継がれていくことにより「進化」が起こる。
- コ．生物の「変異」は新しく生まれ出るときに起こり，その「変化（変異）」した生物がその時代の環境に「適応」し，数多く生き残ることにより「進化」していく。

（以上10問）

第5節 結果と分析

第1項 パフォーマンス課題による分析

本章（第2章）における実践研究では，表3における授業計画の第5・6時限目にあたる「パフォーマンス課題（絵）」の後に，「生徒発表」や「作品再考・修正」の機会を十分に確保した。これを本研究における「形成的評価を加味した教授・学習過程」として，先の図1や図3に示し，加味する以前を「形成的評価前」，加味した以後を「形成的評価後」として以下の論を進める。

表6の「パフォーマンス評価（絵）」の結果から、「形成的評価」以前に比べ、以後においてはA評価の生徒数に増加が見られた。これによって、自己フィードバック効果や自己調整的な学習が促進されたものと考え、「形成的評価」の要素を加味したことが原因と考察したいが、修正の機会を与えれば、評価が上がるのは当然である。それでも、パフォーマンス課題（絵）においては過半数が、パフォーマンス課題（文）においては半数がA以上の評価に達したことを考慮すれば、中学生の科学的進化概念形成において、少なからずその概念理解が促進されたと考えられる。

また、「ループリック（表4）」の記載にあるように、「到達目標（表1）」の観点が1つまたは2つ含まれていても、それに見合う「根拠」すなわち「理由付け」適切でないために、BやC評価になった生徒もいた。例えば、水中から陸上へ進出するためには、その環境に適応して「ヒレが足」へ、「えら呼吸が肺呼吸」へ、徐々にその形態が変化することが必要であるが、そのような「類縁関係に依拠する理由」を記入せず、「歯の形」「体の大きさ」「ヒレの数」「指の数」「肉食・草食」などにこだわって、形態変化の理由を数多く述べているものがいた。これらの理由付けは、必ずしも上位の評価対象にならず、評価が低いままの生徒が少なからずいた。そのような生徒であっても、「形成的評価」の要素を設けることによって、「根拠（理由）」の数が増えてきていることが予想された。そのため、「生徒発表・作品再考・修正（図3）」の前・後で「理由付け数」がどのように変化したかを延べ数で集計し、同じ表6に掲げた。これを見ると、評価の上昇は漸増程度とみられるが、「形成的評価」以後はかなりの生徒が多く理由を挙げて、自己の進化仮説を支えようとしたことが見て取れる。この傾向は表7のように「パフォーマンス評価（文）」でも同様に現れ、評価Aの生徒では平均約7個近くの「理由」を述べ、評価Bの生徒でも平均4～5個の「理由」を挙げて自説の正当性を主張しようとしたことが分かった。

表6 パフォーマンス評価（絵）（2017年4月～5月2学級：N=62）

評 価	「形成的評価」前〔人〕	理由付け数〔人〕	「形成的評価」後〔人〕	理由付け数〔人〕	百分率〔%〕
A	29	117	35	225	56.5
B	29	66	24	112	38.7
C	4	1	3	5	4.8
合 計	62	184	62	342	100.0

表7 パフォーマンス評価（文）（2017年4月～5月2学級：N=62）

評 価	評価人数〔人〕	理由付け数〔人〕	1人当たりの平均理由付け数〔個〕	百分率〔%〕
A	31	211	6.8	50.0
B	24	109	4.5	38.7
C	7	9	1.3	11.3
合 計	62	329	5.3	100.0

参考のために、本単元開発における総括的評価である「パフォーマンス課題(文)」において、どんな記述(理由付け)が見られたか、その典型的な回答例について表8に記載した。表8より「パフォーマンス課題(文)」でも、「形成的評価を加味した教授・学習過程(図1)」の効果を示唆するような傾向が見られたと考えることができる。しかしながら、複数の「理由付け」を記入しているにも関わらず、必ずしもそれが高い評価に結びついているとは言えない。「ルーブリック(表4)」から考えても、A評価を得るためには、「到達目標(表1)」の観点2つを記入した上で、それぞれについてその観点に関連した1つずつの「理由付け」でも十分である。これは評価に直結しないような「理由付け」を過剰に記載した生徒が、一定数存在したことが原因であると考えられる。

表8 「パフォーマンス課題(文)」の回答例

<p>「【パフォーマンス課題(絵)】で描いた各自の仮説(下記の①と⑤)に基づき、水中から陸上への進化について、環境に適応していったストーリーを文章にして記入する課題」</p> <p>①ユーステノプテロン以前(仮説):</p> <p>古生代(約4億年前など)の海(深海・海底など)では、水圧に耐える皮膚(硬い鱗の甲冑魚・鱗のない平べったい形など)に覆われ、ヒレも水圧のため太い筋肉(またはほとんど無い)。暗いため目は未発達(逆に吸光のため大きい)。主にエラで呼吸する。この中で、長い年月を経て、ヒレを使って海底を歩くことができるものが出現し、ユーステノプテロンへ進化した。</p> <p>②ユーステノプテロン(魚類):</p> <p>浅瀬(淡水など)にすみ、普段はエラ呼吸。浮袋を使って肺でも呼吸でき、骨のある太いヒレを持っていたので、ときどき餌を探しに陸上へ這い上がることもあった。</p> <p>③アカントステガ(両生類):</p> <p>しだいに骨のある太いヒレが、指のある足(脚)に進化した。四肢は短くやや体側につき、腹が地面に接近していた。そのため陸上を駆け回るのは苦手。水辺に暮らしていた。そのうち長い世代を経て、踏ん張れる四肢をもつものが現れた。</p> <p>④イクチオステガ(両生類):</p> <p>(約3.6億年前)水辺にすみ、水かきがあり、うまく泳ぐこともできたが、一方でしっかりした四肢と骨格を持ち、陸上でも安定していた。肺呼吸をし、バランスを取るため太い筋肉の、長い尾をもっていたため自由に陸上を歩くことができた。</p> <p>⑤イクチオステガ以後(仮説):</p> <p>中生代(約2.5億年前など)の陸上環境(岩場・草原・湿地帯など)では、寒さ・暑さや乾燥に耐える皮膚(甲羅・厚い鱗・毛皮・厚い皮下脂肪など)を持ち、重力に耐える(逃げる・獲物を追う)ため、骨格や筋肉が発達した脚と、その他(平衡をとるための長い尾・広い視野の目、または獲物を狙う前向きな目・陸での砂を防ぐためのまつ毛・鋭い肉食の歯・保護色の皮膚など)を持っていた。</p> <p>(以上の①～⑤のように、水中から陸上への進化の流れにそった内容が、長い世代にわたって少しずつ変化していくプロセスが記入されていれば、「A」評価となる。)</p> <p>(※ 上記のアンダーラインは生徒が独自に想像した仮説部分を示す。)</p>
--

第2項 質問紙調査による分析

単元前・単元後における質問紙調査（表 5）によって、その正答数と誤答数をそれぞれ集計し、そこから中学生の科学的進化概念形成の変化を明らかにし、本単元開発におけるカリキュラムの効果を検討した。表 9 に質問紙調査の回答結果（各質問項目についての正答数と誤答数）を示した。加えて、回答結果の分析に際してはア～コの 10 項目について、対応のある比率の差を検定するため、1 項目ずつマクネマー検定を行った。この検定による分析結果についても、同様に表 9 の右端に記載した。

表 9 より「イ 昆虫の変態」「ウ ヒトの成長」「オ 技術の進歩」「カ 世代性」「ケ 獲得形質の遺伝」「コ 遺伝・突然変異」の 6 項目については、有意水準 5% で授業前・後での有意差が見られた。すなわち、この 6 項目については、授業前から授業後にかけて正答率が上昇したことが明らかになった。他の 4 項目「ア」「エ」「キ」「ク」については、有意差は見られなかった。

本章（第 2 章）では、「授業計画（表 3）」の第 3 限目の【設問⑤】において、「進化か、非進化か」の 2 グループに分ける課題を提示した。ここでは、「イ 昆虫の変態」「ウ ヒトの成長」「オ 技術の進歩」など誤用例が含まれている。授業展開はパフォーマンス課題のみならず、各時限においても正解の定まらない単元を貫く「本質的な問い」を積み上げていく形式であり、原則として正解は生徒が出していくという方針とっている。そのため、あえて正解は明示しないし、正答を覚えるような指示も出さない。そのことに鑑みても、「本質的な問い」の効果が示唆される結果であった。

また、同様に「授業計画」の第 4 限目の【設問⑥】においても、「ケ 獲得形質の遺伝」と「コ 遺伝・突然変異」を対峙させ、「コ」の科学的概念へ導かれるような「対話的な学び」を展開している。冒頭でも述べたように「獲得形質の遺伝」は保持されやすく、根強い誤概念であるが、カリキュラム開発による一定程度の効果と見て取ることができる。

「カ 世代性」については、パフォーマンス課題の「到達目標（表 1）」には「生物進化は一世代で起こらず、長い世代を経て起こる変化」と明記されているため、正答率に上昇が見られるのは妥当な結果であると思われる。

一方、「ア 弱肉強食」や「キ 優勝劣敗」については、本章における第 1 学年「地学」領域の授業計画では特に取り上げていない。これについては、本来は「生物」領域において取り上げるべきものであり、ここで正答率の伸びが見られないのはカリキュラム開発の問題だけではないと考えられる。

加えて、同様に有意差が見られなかった「エ 大量絶滅」「ク 環境適応」については、元々正答数が多く、授業後での増加が見込まれないためであると考えられる（天井効果とみなし得る）。

「環境適応」については、「授業計画（表 3）」の第 2 限目終了時における質問紙調査の直前に、【設問④】で「生物と環境との関連」について考えさせている。

さらに、各地質年代の境界（P/T 絶滅・K/T 絶滅⁵⁾ など）における「大量絶滅」については、第 1 限目に【設問①】や【設問②】において「三葉虫・恐竜・マンモス」などを例

に取り上げて、「地球環境と体のつくり」について考えさせている。つまり、質問紙調査をする以前に、「環境適応」や「大量絶滅」に関する学習がなされているため、「単元前」から正答数が高かったと考えられる。

表 9 質問紙調査による分析結果（2017年4月～5月：2学級：N=60）

各質問項目	単元前〔人〕		単元後〔人〕		マクネマー検定結果
	正答数	誤答数	正答数	誤答数	
ア 弱肉強食(誤)	39	21	43	17	n.s.
イ 昆虫の変態(誤)	18	42	46	14	**
ウ ヒトの成長(誤)	8	52	52	8	**
エ 大量絶滅(正)	51	9	54	6	n.s.
オ 技術の進歩(誤)	5	55	24	36	**
カ 世代性(正)	49	11	58	2	**
キ 優勝劣敗(誤)	32	28	28	32	n.s.
ク 環境適応(正)	57	3	59	1	n.s.
ケ 獲得形質の遺伝(誤)	24	36	42	18	**
コ 遺伝・突然変異(正)	41	19	50	10	*

df=1 $\chi^2_{.05}=3.841$ (* $p<0.05$) $\chi^2_{.01}=6.635$ (** $p<0.01$) n.s.(not significant)

第6節 本章のまとめ

本章（第2章）の中学校第1学年「地学」領域（「地層の重なりと過去の様子」単元）における実践研究によって、次のことが明らかになった。

先の第5節第1項の「パフォーマンス課題による分析」から、明らかになったことは次の4点である。

- (1) 「形成的評価」の要素を設けることによって、次第に挙げる「根拠（理由）の数」が増えてくることが判明した。再考や修正の機会など「形成的評価」による授業計画（「本質的な問い」を含む）が中学生の課題追究において興味を持続させ、生徒の言語活動を少なからず促進したことが示唆される。
- (2) しかしながら、形成的評価「前・後」における、「理由付け」の数は上昇しているが、各段階の評価そのものの上昇はごくわずかであった。これは「到達目標（表1）」や「ルーブリック（表4）」において、「評価」と「理由付け」の両者が適切に関連付けられていないためであると考えられる。この改善と工夫が今後の筆者らの課題である。
- (3) パフォーマンス課題（絵）においては最終的に過半数が、パフォーマンス課題（文）においては、約半数がA評価に達した。パフォーマンス課題（絵・文）やそれに付随する「本質的な問い」をふくめ、深く考えることにつながったと思われる。
- (4) B・C評価の生徒の中には、一部であるが、「海から陸に出ようとして努力した結果が後の陸上進出につながった」とする「獲得形質の遺伝」に類する記述が7名程度存在した。これは本研究におけるパフォーマンス評価に直結しないため、集計結果には反映されなかったが、授業後の質問紙調査の集計結果（表9の「ケ」）とほぼ一致する結果である。今後、「獲得形質の遺伝」についての証拠を探っていくようなカリキュラム設計も、残された研究課題となった。

次に、第5節第2項の「質問紙調査による分析」から、明らかになったことは次の3点である。

- (1) 「昆虫の変態」「ヒトの成長」「技術の進歩」「世代性」「獲得形質の遺伝」「遺伝・突然変異」の6項目について、単元授業後の正答率において有意に増加がみられた。すなわち、これらの6つの進化概念については、本章における授業計画によって生徒の科学的概念理解の形成を促したことが示唆される。特に、先行研究において保持されやすいとされてきた、「獲得形質の遺伝」において有効であったことは特筆すべきことである。
- (2) 「弱肉強食」「優勝劣敗」の2項目については有意差が出なかった。この中学校1年「地学」領域の授業ではこれらの2項目について理解促進を図る仕掛け、すなわち「本質的な問い」は計画されていなかったためである。
- (3) 「大量絶滅」「環境適応」の2項目については、質問紙調査前に既に学習されていたため単元授業前から正答率が高く、天井効果がうかがわれる。

以上より、単元開発における一定程度の有効性が示唆される結果であった。

註及び引用・参考文献

- 1) アメリカのミドルスクール（日本の小学校5年生から中学校2年生にあたる）の生命科学教科書「Life Science: Life Over Time」には、「進化のメカニズム」がダーウィンの「自然選択説」に基づいてわかり易く説明されている。具体的には、Variation（変異）、Adaptation（適応）、Selection（選択）の主に3点が進化をもたらした要因であることが明記されている（Trefil, J. et al. Eds., 2007）。すなわち、偶然の「遺伝的変異」が時代の環境に「適応」し、その生存に有利な変異が「選択」され、このプロセスが長い世代を経て繰り返されることによって、「生物進化」が起こったことが解説されている。本章における第1学年の「地学」領域では、「適応」と「変異」を到達目標として用いたが、これは中間目標にあたる。さらに上級の、第2学年の「生物」領域の到達目標（最終目標）においては「選択」を加え、上記の3つの観点がすべて含まれるように設定した。
- 2) ここでの「対話的な学び」とは、文部科学省が平成29年告示の新学習指導要領で提案した「主体的・対話的で深い学び」をめざすものであるが、定義としては従来の「協同学習」などと称されているものと同様の学習形態である。すなわち、本研究においてこのような学習形態をとる理由として、「ペアや少人数グループでのコミュニケーションを通して理解を深めることをねらうもので、その背景には、人間の認識は個人の頭の中だけで成立するものではなく、他者とのやりとりによってつくられていくという社会構成主義の思想がある・・・(中略)・・・協同学習では、むしろ多様な理解度や考えをもった学習者集団が相互に触発し合うことが期待されている」という文言がよくあてはまる（市川，2014，p.16）。
- 3) ここで自己調整的と記したのは、ジーマンらの「自己調整学習（Self-regulated learning）」の理論を適用したためである。すなわち、その定義と概要は「学習者が目標の達成に向けて自らの認知、情動、行動を体系的に方向づけて生起させ維持する過程のことである。そして、自己調整学習の基本的なプロセスを『予見（Forethought）』『遂行（Performance）』『自己省察（Self-Reflection）』の3つの段階から構成されるリサイクル」としている（瀬尾，2014,p.50）。具体的には、「予見」段階では「学習の目標を事前に定め、どのように進めていくかという計画を立てられる」、「遂行」段階では「計画した行動がうまくいくように注意を集中したり環境を整えたりといった活動」や「それらの活動がうまくいっているかどうかのモニタリング」が行われる。「自己省察」段階では、「学習のプロセスと結果を自己評価し、成功や失敗の原因について考える」ことや「次の予見段階に反映され新たな目標設定と行動が計画される」ことが行われる（瀬尾，2014，p.51）。
- 4) 脊椎動物の陸上進出については、古生代デボン紀に多様化した魚類から派生して最初に上陸した四肢動物が両生類であることは定説であるが、その両生類の進化については諸説がある。本単元開発における実践的研究では、西田（2007）の「デボン紀末のアカントステガ *Acanthostega* は、すでに四肢を持っているが、手首は陸上歩行に必要なひねり

が可能な間接構造となっておらず、生活は水中で行っていたと考えられている。やや遅く出現したイクチオステガ *Ichtyostega* はこのような移動はできたが、四つ足をきちんと使うことができた最初の動物は石炭紀初期のペデルペス *Pederpes* からだという。こうしてみると、初期の四肢動物は徐々に陸上生活に移行してきたことがわかる」という記述を参考に、パフォーマンス課題を開発した。

- 5) 46億年にわたる地球の歴史においては、地質年代を古い方から「先カンブリア代」「古生代」「中生代」「新生代」に区分するのが基本である。このうち、古生代末期の「ペルム紀」と中生代初期の「三畳紀」の境で起こった地球史最大の絶滅を「P/T 絶滅」といい、海生無脊椎動物の96%、陸生動物の70%が絶滅したとされている（西田，2007）。例えば、三葉虫やフズリナなどが絶滅種として有名である。また、中生代末期の「白亜紀」と新生代初期の「第三紀」の境界で起こった絶滅を「K/T 絶滅」といい、陸上では体重35k以上の大型脊椎動物、水中では主に炭酸質の殻をもつ無脊椎動物の多くが絶滅した（西田，2007）。例えば、恐竜やアンモナイトなどが絶滅種として有名である。

- Bransford, J. D., Brown, A.L., & Cooking, R.R.(Eds.). (2000). *How People Learn Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- Charlesworth, Brian & Deborah (2003). *Evolution: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press. 石川統（訳）(2005)『一冊でわかる 進化』岩波書店.
- 遠藤貴広（2005）「G. ウィギンズのカリキュラム論における『真正の評価』論と『逆引き設計』論の連関」『京都大学教育学研究科紀要』第51号，262-274.
- 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』第42巻，第1号，1-11.
- 長谷川眞理子（2004）「進化を教える難しさー進化の正しい理解の普及に向けてー」『遺伝』第58巻，第4号，78-81.
- 石川聡子・森一夫（2002）「理科教育に現れる時代思潮の影響」『大阪教育大学 教科教育学論集』創刊号，1-9.
- 市川伸一（編著）(2014)『学力と学習支援の心理学』（放送大学教材）放送大学教育振興会，第1章，11-20.
- 粕谷英一（2005）「進化生物学の成立」石川統（編）『進化学の方法と歴史』岩波書店，22-63.
- 桐生尊義（2004）「中学校でどのように進化を教えるか？」『遺伝』第58巻，第4号，35-39.
- 正本安心・西野秀昭（2011）「中学校理科における植物を中心とした生物進化授業の展開」『福岡教育大学紀要』第60巻，第3号，43-54.
- Mayr, E. (1991). *One Long Argument: Charles Darwin and The Genesis of Modern Evolutionary Thought*. Cambridge: Harvard University Press. 養老孟司(訳) (1996)『ダーウィン進化論の現在』岩波書店.
- 宮本俊彦（2008）「中等教育段階の生徒における生物進化に対する認識の現状と進化概念形成への人類学学習の効果」『日本人類学会』第116巻，第2号，194-198.
- 西田治文（2007）「動物の上陸と多様化」松本忠夫・西田治文・二河成男（編著）『生物界の変遷』（放送大学教材）放送大学教育振興会，第7章，71-78.
- 文部科学省（2008）「平成20年告示 中学校学習指導要領」
- 文部科学省（2017）「平成29年告示 中学校学習指導要領」
- 森本弘一（2009）「体験活動を通して生物好きにする手立て」理科教育研究会編『新学習指導要領に定める理科教育』東洋館出版社，160.

- 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－中学生の進化に関わる概念変換を事例にして－」『理科教育学研究』第47巻，第2号，51-63.
- 名倉昌巳（2017）「中1理科 進化教育としての協働学習を地史分野で取り入れる試みーアクティブ・ラーニングとポートフォリオ評価による思考・表現力養成（2）ー」大阪教育大学初等教育講座（編）『実践学校教育研究』第20号，45-54.
- 中井咲織（2004）「小学生でもすぐわかる進化の教え方ー中等教育での発想の転換に向けてー」『遺伝』第58巻，第4号，56-66.
- 西岡加名恵（2005）「ウィギンズとマクタイによる『逆向き設計』論の意義と課題」『カリキュラム研究』第14号，15-29.
- 西野秀昭・佐竹晃一（2013）「中学校理科生物領域における進化概念を取り入れた実践的授業の構築」『福岡教育大学紀要』第62号，第3分冊，27-49.
- 佐藤崇之・大鹿聖公（2005）「教科書分析と教材研究から見た高等学校生物における進化の単元に関する一考察」『広島大学大学院教育学研究科紀要』第2部，第54号，17-24.
- 瀬尾美紀子（2014）「学習の自己調整」市川伸一（編著）『学力と学習支援の心理学』（放送大学教材）放送大学教育振興会，第4章，47-64.
- 高橋一将・磯崎哲夫（2014）「BSCSにおける進化学の特色」『理科教育学研究』第54巻，第3号，369-381.
- 田中耕治（2011）『パフォーマンス評価ー思考力・判断力・表現力を育む授業づくりー』ぎょうせい，2-8.
- 戸田尚義（2012）「表現活動の充実とルーブリックを活用した形成的評価」『東京教育研究所 研究報告』第240号，24-29.
- Trefil, J., Calvo, A. R., & Cutler, K. et al. (Eds.). (2007). *Life Over Time: McDougal Littell Science*, Evanston: Houghton Mifflin Company.
- 塚田捷ら（2016a）『未来へひろがるサイエンス1』（中学校理科用）新興出版社啓林館.
- 塚田捷ら（2016b）『未来へひろがるサイエンス2』（中学校理科用）新興出版社啓林館.
- 山地正樹（2000）「実践事例2」香川大学教育学部附属高松小学校編『活用する力を育むパフォーマンス評価』明治図書，59-61.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design*, ASCD. 西岡加名恵（訳）（2012）『理解をもたらすカリキュラム設計』日本標準.
- 湯沢正通（編著）（2004）「認知心理学から理科学習の提言」北大路書房，第1部-1，2-22.

第3章 中学校第2学年「生物」領域 「生物の変遷と進化」における単元開発

本章では、中学校第2学年「生物」領域において開発した「生物進化」に関する授業計画を中心に、先の第2章で検討した「地学」領域において開発した授業計画も含め、2学年2領域にわたる「逆向き設計」による単元開発による有効性を、中学生の科学的進化概念形成の様相から検証した。その到達目標として3つの要素(Adaptation:適応, Variation:変異, Selection:選択)を設定し、さらに、第2学年「生物」領域の授業計画の中心には、「自然選択説」に基づいて進化仮説を推論する「パフォーマンス課題」を準備した。

第1節 問題の所在

「生物の変遷と進化」に関する学習は、現行では中学校第2学年に、平成29年に告示された新学習指導要領では第3学年に記載されている。その新学習指導要領（令和3年度から完全実施）における、中学校第3学年「生物の種類の多様性と進化」の単元目標には「現存の生物及び化石の比較などを通して、現存の多様な生物は過去の生物が長い時間の経過の中で変化して生じてきたものであることを体のつくりと関連付けて理解すること」と書かれている（文部科学省，2017）。さらに、探究の学習過程の例として「生命の連続性について、観察、実験などを行い、その結果や資料を分析して解釈し、生物の種類の多様性と進化についての特徴や規則性を見いだして表現すること。また、探究の過程を振り返ること」と提示されている。しかしながら、中学校現場で生徒の活動（実験・観察、課題研究や探究活動など）を通して生物進化を取り扱うことは特に困難であると以前から多く指摘されてきた（佐藤・大鹿，2005）。しかも、現行の中学校第2学年教科書（3社：平成28年度採択率合計93.1%）には、「類縁関係」「相同器官」「中間化石」などの進化の証拠が記載され、進化のしくみについても読み物として「自然選択説」に触れていた。

しかし表1のように、現行教科書の「生物進化」の定義はあいまいなものが多く、特に

表1 中学校第2学年理科教科書における生物進化の定義

啓林館 (塚田ら，2017)	生物は長い年月をかけて世代を重ねる間にしだいに 変化し、新しい生物が生じること。
大日本図書 (有馬ら，2016)。	生物が長い時間をかけて変化すること。
東京書籍 (岡村ら，2016)	生物のからだの特徴が、長い年月をかけて代を重ねる 間に変化すること。

「現存の多様な生物は進化の結果であること」が示されていない。次期中学校理科教科書は令和2年度に採択予定であるのため参照はできないが、少なくとも「進化と遺伝の規則性の結果、多様化したことを表現する」何らかの手立て・学習活動が移行期間を含めて今後、必要になってくることは必至であろう。

「生物進化」に関する学習は、前回（平成10年告示）の中学校学習指導要領では削減されていた項目であり（文部省，1998）、現行（平成20年告示）の中学校学習指導要領で復活し、そのときに高等学校から移行してきた学習内容の一つである（文部科学省，2008）。だが、金井・小池（2012）は現行の高校生物5社の教科書を分析し、「自然選択」と「遺伝的変異」は5社とも扱っているが、そのうち3社が「進化の定義」が不明確なことを調査している。加えて「遺伝子レベルの小進化」を扱う教科書は多いが、「形態的特徴の大進化」のしくみを明記した教科書は少ないという。「大進化」のみを扱う中学校では、どのような「定義」が適切であろうか。さらに、どのような「到達目標」を設定し、中学生が「どのように学ぶ」ことが大切であろうか。

ドブジャンスキーは「進化に照らさなければ、生物学は何も意味をなさない（Nothing in biology wakes sense except in the light of evolution）」という名言を唱えた（Dobzhansky, T., 1973）。現代生物学の体系は「細胞・生理・発生・遺伝・生態を縦糸」に、「進化の視点を横糸」として織り上げられている。生物の多様性を空間的のみならず、時間的に把握するには「進化の考え方」が不可欠である。アメリカの教科書は小学校から大学に至るまでこの論で統一されている（Cain, M. et al., 2005）。その証拠にミドルスクール（日本の小学校第5学年から中学校第2学年にあたる）の生命科学教科書「Life Science: Life Over Time」にはダーウィンの「自然選択説」に基づいて生物進化がわかり易く説明されている。すなわち、Variation（遺伝的変異）、Adaptation（適応）、Selection（選択）の3点が進化をもたらした要因であることが明記されている（Trefil, J. et al. Eds., 2007）。言い換えれば、偶然の「遺伝的変異」が時代の環境に「適応」し、その生存に有利な変異が「選択」され、このプロセスが繰り返されることによって「生物進化」が起こったことが解説されている。「生物進化」のしくみを理解することによる概念形成の重要性がうかがえる。

一方、現代進化学では否定されているが、「一生の間に起こる変異が次世代に伝わる」とする「ラマルク説（獲得形質の遺伝）」の支持者が中学生から大学生までのどの段階でも多く、特に高校生物を学んだ後も保持されやすい誤概念であるとする研究報告もある（福井・鶴岡，2001；森本・甲斐・藤森，2006）。その他、「進化」は「成長」「変身」「発達」「進歩」などと誤解されやすいとする先行実践も存在する（桐生，2004；宮本，2008；正本・西野，2011）。加えて、「生物進化」の学習は現実的な問いかけから深めていくことができる効果的な教材であり、科学の本質を指導するよい機会ともなりうるという調査知見もある（高橋，2014）。

我が国の現行の中学校2年理科教科書には、進化の証拠となる「相同器官」・「中間生物」・「類縁関係」などが教材化されている（塚田ら，2017）。加えて、「自然選択説」が「発展的学習」として読み物的に紹介されている。そこには「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もつ個体は、多くの子どもを残

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返され、その性質がその生物集団の中へひろがり、生物は進化すると解説されている。しかしながら、このような説明では、米国ミドルスクールの教科書のように「変異」「適応」「選択」の進化の3要素の区別が明確ではなく、入門者である中学生が「生物進化」のプロセスを正しく捉えられるとは到底考えられない。

そこで、本章（第3章）の第2学年「生物」領域においても、第2章における「地学」領域と同様に、生物進化のプロセスを科学的に理解させるため、現代進化学の中心学説であるダーウィンの「自然選択説」に依拠し、上記の3要素（変異・適応・選択）を含む「到達目標」を設定し、「逆向き設計（以下の第3節第1項で詳しく述べる）」による授業計画を開発した。

第2節 本章の目的

本章（第3章）における実践研究では、進化の中心メカニズムである「自然選択説」に基づく仮説推論などを通して、中学生に科学的な生物進化のしくみ（進化の総合説¹⁾を理解させること、すなわち「科学的進化概念」形成をめざした単元開発を行い、その有効性を検証することを目的とした。この目的に沿い、先の米ミドルスクールの教科書などを参考に、まず中学校第2学年「生物」領域において表2のように「到達目標（最終目標）」を3つ設定²⁾し、さらにそれに基づいて第1学年「地学」領域においても「到達目標（中間目標）」を2つ設定した（第2章表1参照）。

表2 到達目標（中学校第2学年を最終目標として第1学年を設定）

<p>【中学校第2学年「生物」領域到達目標（最終目標）】（名倉，2014より改変）</p> <p>① 生物は環境の変化に適応したものが生き残ることにより、進化する（適応：Adaptation）。</p> <p>② 生物進化における変異は一世代で起こるのではなく、新しく子孫が生まれ出るときに起こる（遺伝的変異：Variation）。</p> <p>③ その変異が生存に有利ならば、世代とともに少しずつ積み重なることによって進化していく（選択：Selection）。</p>
<p>【中学校第1学年「地学」領域到達目標（中間目標）】（名倉・松本，2018a）</p> <p>① 生物は環境の変化に適応して進化する。</p> <p>② 生物進化は一世代で起こらず、長い世代を経て起こる変化である（変異は新しく子が生まれるときに起こる）。</p>

第3節 開発したカリキュラム

第1項 「逆向き設計」論に「形成的評価」を加味したカリキュラム設計

本章における実践研究では、主に「逆向き設計」による方法を用いて授業計画を策定した。「逆向き設計」は、求められている結果を明確にし（第1段階）、そのことを承認できる結果を決定してから（第2段階）、学習経験と指導を計画する（第3段階）という3段階で構成され、計画の前に評価の構想を行うという点が、従来のカリキュラム設計とは逆向きになっているためにこう呼ばれる（Wiggins, G. et al., 2005）。以上の「逆向き設計」の3段階を表3のようにまとめ、これを踏まえて、まず中学校第1学年「地学」領域での進化に関する単元開発と実践を行った。ただし、この「地学」領域のみの単元開発とその有効性については、第2章において既に分析を終え、検証済みである（名倉・松本, 2018a）。

さらに、本章（第3章）では第2学年「生物」領域において「逆向き設計」による単元開発を行い、この2つの単元開発を進化に関する「本質的な問い」でつなぐカリキュラムを提案し、その2領域を含めた検証を行った。先行研究には「進化」に関する単発的な実践は存在するが、中学校第1学年「地学」領域から第2学年「生物」領域（平成29年告示の新学習指導要領では第3学年に移行）にわたる逆向き設計は皆無である。桐生（2004）は中学校2カ年間にわたり「進化を単元ごとに少しずつ散りばめて教えていく」授業を提案しているが、この意味でも本研究における各単元開発は意義のあるものと思われる。

表3 「逆向き設計」の3段階と授業計画との関係(名倉・松本, 2018aより改変)

「逆向き設計」の3段階	本授業計画の中に組み込まれた具体例
【第1段階】 求められている結果 ① めざしている理解は学問の中心 ② 刺激的で論争的な本質的な問い	① 「進化」の中心概念である「進化の総合説（遺伝・突然変異, 自然選択）」 ② 「ラマルク説（獲得形質の遺伝）」対「ダーウィンら（進化の総合説）」など
【第2段階】 評価のための証拠 ① 実際の社会で使えるようなパフォーマンス課題と評価 ② フィードバックできる評価や自己評価の機会	① 第1学年「水中から陸上への進化仮説」・第2学年「キリンの首はなぜ長いのか」 ② 自己評価や相互評価の機会・「到達目標」と「ルーブリック」の明示
【第3段階】 授業計画 ① 重大な概念を掘り下げる活動・作品を修正する機会 ② 本質的な問いを軸にしたカリキュラム設計	① グループ討議・一斉討議・生徒発表・作品再考と修正の機会の確保 ② 本質的な問いとして、第1学年「地学」領域8題, 第2学年「生物」領域17題を導入

第2項 開発した授業計画

第1学年「地学」領域における授業計画（第2章の表3を参照）は、2017年4月～5月に、公立A中学校第2学年2学級生徒（在籍70人：男子38人・女子32人）に対して実施した（この2学級の生徒についてはほぼ等質とみなせることを第2章で断った）。

本章（第3章）において提案する表4の、第2学年「生物」領域における授業計画は、2017年7月～9月に、上記の第1学年「地学」領域と同一のA中学校第2学年2学級生徒（在籍70人：男子38人・女子32人）に対して実施した。

尚、「地学」領域における先行実践研究については、本論文の第2章において詳しく記したため、ここでは最小限の記載にとどめた。

さらに、本章（第3章）及び第2章における「生物」及び「地学」の2領域にわたる授業計画を、それぞれの授業実践の時期、それぞれの領域における「到達目標」との関連などを構造的に示すと図1のようになる。この2領域にわたる実践研究の共通点は、「到達目標」や「評価法（パフォーマンス評価）」を先に設定し、そのゴール（到達目標）に基づいて授業計画を設計していく手法、すなわち「逆向き設計」を用いた点にある。さらに、フィードバックできる機会、すなわち「生徒発表」や「相互評価」などの「形成的評価」の要素を加味した点も共通点である。したがって、「地学」領域において進化の基本を学習し、「生物」領域において進化（進化のメカニズム）を発展的に習得できるようにしたところが本研究の特徴である。

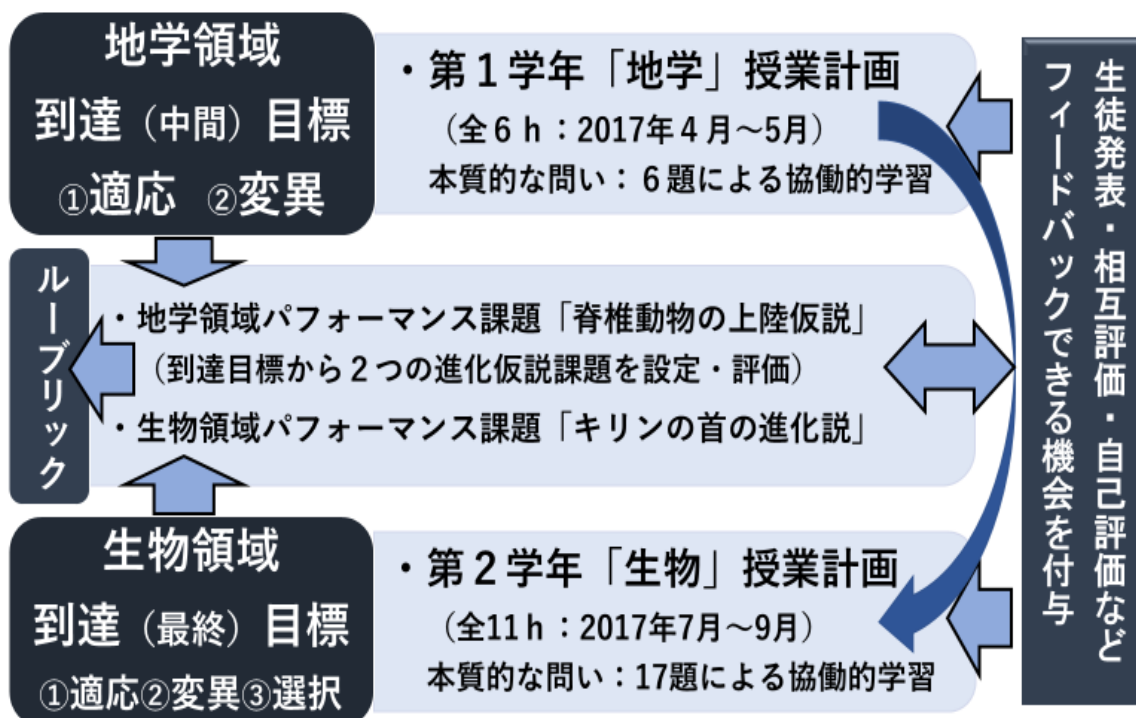


図1 「生物」及び「地学」の2領域にわたる授業計画の構造

表4 第2学年「生物の変遷と進化」における授業計画：全11時間（名倉，2014より改変）

時	学 習 活 動	【 】は進化的観点からみた本質的な問い：設問・課題										
1	《写真資料：インパラとそれを追うチーター》の提示説明後，対話的な学び。	【事前質問紙調査実施】 ⇒【設問①】「これを見てどう思う？インパラとチーターのちがいは？どちらが最後に生き残る？弱肉強食か？それとも・・・」（草食動物が肉食動物に追われる場面から進化的な有利さを考察する。）										
2	《標本資料：肉食動物（アライグマ）と草食動物（ニホンジカ）の頭骨（大阪市立自然史博物館実物キット）》の提示説明後，対話的な学び。	⇒【設問②】「それぞれの頭骨から草食動物と肉食動物のちがいは何か？生き残るのはどちらが有利か？」（動物の生態を進化的に考察する。）										
3	《資料：脊椎動物と無脊椎動物の描画カード8枚：①フナ②バッタ③カエル④カニ⑤ニワトリ⑥カナヘビ⑦イカ⑧ウサギ》の提示説明後，対話的な学び。	⇒【設問③】「上の動物を，2つの種類（外骨格と内骨格）に分けてみよう。」⇒【設問④】「脊椎動物のなかまのふやし方・育て方と，子や卵を1回に産む数にはどのような関係があるか？」（動物の生態を進化的に考察する。）										
4	【設問⑤】「水温とキンギョの呼吸数の関係を考えよう？」（変温動物である魚類の呼吸と，恒温動物である我々ヒトの呼吸との差を考察する。）	【設問⑥】「次の4つの動物，①フナ（魚類）・②イモリ（両生類）・③カメ（爬虫類）・④ウサギ（哺乳類）はどこで呼吸するか？」（陸上への進化に必要な機能を考察する。） 【設問⑦】「イモリとハムスターのサーモグラフィによる測定から，気づいたことを考えよう」（変温動物と恒温動物の違いを進化的に考察する。）										
5	《描画資料：5つの脊椎動物（①フナ②カエル③カナヘビ④オナガガモ⑤シマウマ）》の提示後，対話的な学び。	⇒【設問⑧】「次の，5つの動物の体の表面は何でおおわれているか？考えてみよう」（生活場所と皮膚の関連を考察する。） 【設問⑨】「脊椎動物は，それぞれどのような特徴をもっているのか？また，動物の生活と体のつくりにはどのような関係があるか？」（動物の形態と環境との適応関係を考察する。）										
6	《描画資料：5つ脊椎動物》を提示後，対話的な学び。	⇒【設問⑩】「脊椎動物はいつごろ，どの順番に現れた？」 【設問⑪】「5つ脊椎動物の特徴を比較し，規則性を見つけよう。脊椎動物はどのように進化した（進化の順番）と考えられるか？」（特に，生活場所との関連を考察する。）										
7	【設問⑫】「脊椎動物において，水中から陸上へ，さらに空へと生活場所を変化させるには何が必要であったか？形態変化の例や証拠をあげ，絵と文で説明しよう。」（第1学年「地学」領域のパフォーマンス課題〔第2章図2〕を思い出ししながら，考察する。）											
8	【設問⑬】「シソチョウ・カモノハシ・シーラカンスのそれぞれの特徴を書け。また，この3つはどのなかまに近いか？何と何の中間生物か？」（中間化石，および中間生物・生きている化石による進化の事実を推論する。）											
9	【設問⑭】「ヘビのあし・ヒトの尾てい骨や盲腸・クジラに後ろあしの『退化』から，進化とは優れたものに変化することか？」（「退化」も「進化」であることを示唆し，考察する。）											
9	【設問⑮】「5つ脊椎動物の進化により，生活場所と形態はどのように変化したか？」（水中⇒水辺⇒陸上への進化を考察する。）											
9	【設問⑯】「5つ脊椎動物はどの順番に進化したか？それは常に下等なものから高等な（優れた）ものへの進化といえるか？」（「退化」も「進化」であることを考察する。）											
10	【設問⑰】「変異はいつ起こるか？A）B）のどちらが正しいか？その理由も考えよう。」 （第2章表3【設問⑥】と同様の認知的葛藤を引き起こす課題） A）一世代で変化し，生まれるときには変化しない。 B）生まれるときに変化し，一世代では変化しない。 ⇒獲得形質の遺伝（ラマルク説） ⇒遺伝的変異・突然変異（ダーウィンら「進化の総合説」） 【例】「あるキリンが高い木の葉を頑張って取ろうとして少し首が長くなった。それが子孫に遺伝し，少しずつ首が長くなっていった」という説明。 【例】「たまたま，少しだけ首の長いキリンが生まれた。それは高い木の葉を食べることができたので生き残り，しだいにその変異が広がっていく」という説明。 ⇒【パフォーマンス課題（絵と文）】「キリンの首はなぜ長いのか？絵と文でそのストーリー（進化仮説）を作ってみよう（図2）」（下の「到達目標（再掲）」に則った「ループリック（右下）」を明示し，B）の「進化の総合説」に基づいて推論し，「絵」と「文」を用いて表現する。） 提出後，教師による評価をし，次時に返却する。											
	<table border="1"> <tr> <td>中学校第2学年「生物」領域 到達目標（最終目標） （再掲：詳細は本章第2節表2を参照）</td> <td>ループリック：中学校第2学年「生物」領域 （名倉・松本，2018aより改変）</td> </tr> <tr> <td>① 適応：Adaptation</td> <td>S 表2の上段の①～③の観点が3つすべて含まれ，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。</td> </tr> <tr> <td>② 遺伝的変異：Variation</td> <td>A ①～③の観点のうち2つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）絵や文で説明されている。</td> </tr> <tr> <td>③ 選択：Selection</td> <td>B ①～③の観点のうち1つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。</td> </tr> <tr> <td></td> <td>C ①～③の観点は含まれていない。もしくは1つ以上含まれているが，進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されていない。</td> </tr> </table>	中学校第2学年「生物」領域 到達目標（最終目標） （再掲：詳細は本章第2節表2を参照）	ループリック：中学校第2学年「生物」領域 （名倉・松本，2018aより改変）	① 適応：Adaptation	S 表2の上段の①～③の観点が3つすべて含まれ，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。	② 遺伝的変異：Variation	A ①～③の観点のうち2つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）絵や文で説明されている。	③ 選択：Selection	B ①～③の観点のうち1つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。		C ①～③の観点は含まれていない。もしくは1つ以上含まれているが，進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されていない。	
中学校第2学年「生物」領域 到達目標（最終目標） （再掲：詳細は本章第2節表2を参照）	ループリック：中学校第2学年「生物」領域 （名倉・松本，2018aより改変）											
① 適応：Adaptation	S 表2の上段の①～③の観点が3つすべて含まれ，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。											
② 遺伝的変異：Variation	A ①～③の観点のうち2つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）絵や文で説明されている。											
③ 選択：Selection	B ①～③の観点のうち1つを含み，それらに関する進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されている。											
	C ①～③の観点は含まれていない。もしくは1つ以上含まれているが，進化の根拠（類縁関係など）が絵や文で説明されていない。											
11	【パフォーマンス課題（修正）】「前時に推論した仮説のうち，優れた仮説の口頭発表を聴いて，自分たちの仮説には何が足りないかを考えよう。」（各クラス優れた作品を数名選定し，自己作品の修正の機会を与える。）⇒口頭発表後，意見交換（相互評価），「到達目標（表2）」と「ループリック（上記の表4の第10限に記載）」を見直し，「足りない」部分を再考する。課題の修正後に再提出し，再評価する。	【振り返り・事後質問紙調査】										

第4節 授業評価の方法

第1項 パフォーマンス課題による授業評価

ここでのパフォーマンス課題（図2）は、「実際の社会の中で使える」ことを考慮し、進化生物学者などが「キリンの首はなぜ長いのか？」という「意外な事実」から推論に基づいて最も妥当な「説明仮説」を立てる手法（アブダクション）から考案したものである。アブダクションとは手持ちの法則と組みあわせればうまくいく観察事実が導き出せるような説明を推論することで、言い換えれば「最善の説明への推論」といえる（森田，2010，p.17）。アブダクションという演繹的推論にも帰納的推論にも関わりながら論理的厳密さに寛容な過程こそが、前仮説段階に生じる自由試行・試行錯誤などの緩衝剤となり、これ以後の作業仮説・検証・実験に至るまでの重要な場になるという（村上，2013）。現に進化生物学は、形態的特徴などから推測した競合仮説の中から真偽に関係なくベストのものを選択するという手法を用いている（三中，2007）。そこで、「キリンの首が長くなった」という説明仮説を、「自然選択説」という法則を用いて、「初期」「中期」「現在」という時間的経過の中で、「絵」と「文」で表現していく、いわゆる「オープンエンド」な課題を作成した。これによって思考過程が可視化され、生徒の思考・表現力が捉えやすくなると思われたからである（田中，2011）。

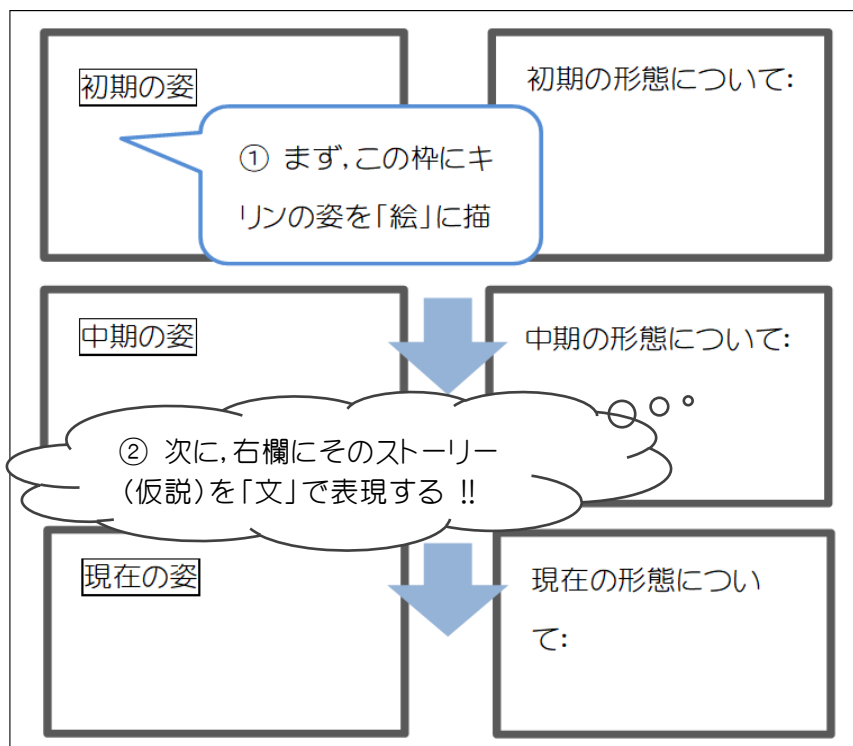


図2 パフォーマンス課題：第2学年「生物」領域（名倉，2014より改変）

生徒の思考・表現力はループリックを用いて、S・A・B・Cの4段階で評価した（表4の第10時限目）。ループリックには「進化の3要素（適応・変異・選択）」、すなわち「到達目標（表2の上段）」が過不足なく含まれるように考慮した。授業評価にかかる分析に際しては、パフォーマンス評価結果（4段階の到達人数）を基に、修正前と修正後での比較を行った（表6）。その理由は、表4の第10限後にパフォーマンス課題を回収・評価し、次時（第11限目）に返却後、「生徒発表」や「作品再考」の機会を確保したためである。すなわち、自己作品を修正する機会などの「形成的評価」の要素を付与し、これによって、より「掘り下げる活動」が確保されると予測したからである（表3「逆向き設計」の【第3段階】）。

加えて、このパフォーマンス評価を「科学的進化概念」の形成過程から分析を図るため、到達目標（表2の上段）の「①適応」、「②遺伝的変異」、「③選択」による3つの観点で類型化して、その「説明仮説」の数も集約した（表7）。この①・②・③の観点のうち、1つずつが各々根拠をもって、回答欄に記述または描画されていれば、問題なく「S」評価になる。しかしながら、同一生徒が複数の目標を記入した場合もあり（例えば、「適応」ばかりを複数記入）、その際にもその数を加えて延べ数での集計を試みた。ここでは、根拠がいまいであり、評価につながらない記述や、図にだけ説明させているものは集計から除外した。そして、この3つの観点、すなわち「適応による説明」・「遺伝的変異による説明」・「(自然) 選択による説明」に関する仮説の数（延べ数）によって、中学生の「科学的進化概念（進化の総合説）」の形成に関する分析から、「パフォーマンス課題」やそれに付随する「本質的な問い」を組み込んだ本授業計画（表4）の有効性、換言すれば、第2学年「生物」領域「生物の変遷と進化」における単元開発の有効性を検証した。

第2項 質問紙調査による授業評価

質問紙調査（真偽法：○×式）によって、単元前・後における科学的進化概念の形成とその理解度に関する調査分析を行った。尚、調査結果を補足するために9つの質問項目の最後に「自由回答」式の記述欄も設けた。すなわち、地学単元前・地学単元後・生物単元前・生物単元後に、それぞれ質問紙を配布・回収し、合計4回分の正答数・誤答数を集計することにより、その比較から2領域を通した単元開発を検証した。

具体的には、第2章（「地学」領域単元開発）の表5における10項目と同様の内容を採用した。このうちイ・ウ・エ・オ・カは本稿第2章表3の「地学」領域授業計画の【設問①】・【設問②】・【設問④】・【設問⑤】から、アとキは表4の「生物」領域授業計画の【設問①】・【設問②】・【設問④】・【設問⑥】から、クは本稿第2章表3の【設問①】・【設問②】・【設問④】と、表4の【設問⑨】から、ケとコは本稿第2章表3の【設問⑥】と、表4の【設問⑩】からそれぞれ導き出した。

また、この質問紙の調査結果を集約するにあたっては、設問ア～コの各内容について次のように簡略化して整理した。例えば、アの「生物の世界では、かならず強いものが弱

いものに勝ち・・・」は「弱肉強食」を表す誤概念として記載した。以下同様に、イは「昆虫の変態」、ウは「ヒトの成長」、エは「技術の進歩」、カは「優勝劣敗」、クは「獲得形質の遺伝」を表すためそれぞれ誤概念として、エは「大量絶滅」、オは「世代性」、キは「環境適応」、ケは「遺伝・突然変異」を表すためそれぞれ科学的進化概念として記載した。

表5 質問紙調査（真偽法）：単元前・単元後調査（名倉・松本，2018a）

次のア～コのうち、正しいと思うものには○，間違っていると思うものには×を書きなさい。

- ア. 生物の世界では、かならず強いものが弱いものに勝ち、強いものが生き残っていく。
- イ. 昆虫では幼虫→さなぎ→成虫と、ヒトでは赤ん坊→少年→大人と、「進化」して成長していく。
- ウ. 「鈴木一朗」選手は、プロ野球入団後2年目に「イチロー」と名乗ってから活躍が始まり、さらに大リーグに移籍後も彼の野球の能力は「進化」し続けている。
- エ. 地球上の生物は何億年も大昔から「進化」し、動物では地質年代の順に三葉虫、恐竜、マンモスと変遷（変化）してきた。
- オ. 電話はグラハム・ベルが発明してから、手回し式→ダイヤル式→プッシュホン→ケータイ電話→スマートフォンと「進化」し続けている。
- カ. 「進化」とは一世代で起きる変化ではなく、長い世代をへて起きる変化である。
- キ. どんな生物でも、長い年月のあいだにすぐれた性質をもつものに「進化」してゆく。
- ク. まわりの環境が変化すると、それにあった性質をもつ生物が生き残っていく。たとえば、恐竜は寒い環境に「適応」できなかつたので、絶滅したと言われている。
- ケ. 生物の「変異」は生きている間に起こり、その「変化（変異）」が次世代に受け継がれていくことにより「進化」が起こる。
- コ. 生物の「変異」は新しく生まれ出るときに起こり、その「変化（変異）」した生物がその時代の環境に「適応」し、数多く生き残ることにより「進化」していく。

（以上10問）

第5節 結果と分析

第1項 パフォーマンス課題による分析

第1 到達人数からみたパフォーマンス課題の評価・分析

図2の第2学年「生物」領域パフォーマンス課題（「キリンの首はなぜ長いのか」）に関して、課題の修正前・後において、S・A・B・Cの4段階で評価を行った。そして、その修正前（表4の第10限）と、修正後（表4の第11限）の評価結果を表6に掲載した。修正後には過半数がA以上に達した。

また、表2の3つの観点（到達目標の3点）によって類型化した集計・分析も試みた。すなわち、表2の【第2学年『生物』領域到達目標（最終目標）】である「適応：Adaptation」「遺伝的変異：Variation」「選択：Selection」の3つの観点のうち、生徒たちがどの項目をどれだけ記入していたのかについて、その延べ数を集計し、表7に記載した。3つのどの説明も修正後には増加しているが、特に「遺伝的変異による説明」の増加が著しい。調査対象である第2学年の生徒にとって、「遺伝的変異」の学習は第3学年における「遺伝の規則性と遺伝子」の単元まで待たなければならない。しかしながら、この結果は第2学年の生徒でも「突然変異」や「有性生殖による遺伝的多様性」などを理解する素養が具わっていることを示唆している。

表6 第2学年「生物」領域パフォーマンス課題における評価集計結果
(2017年7～9月2学級：N=62)

	S	A	B	C	計(N)
修正前	0	14	40	8	62
修正後	11	31	18	2	62

表7 第2学年「生物」領域パフォーマンス課題における観点別記入数
(2017年7～9月2学級：N=62)

	適応 による説明	遺伝的変異 による説明	選択 による説明	仮説 合計
修正前	53	9	15	77
修正後	111	39	30	180

第2 回答事例からみたパフォーマンス課題の評価・分析

以上の3つの「説明仮説（適応・遺伝的変異・選択）」についてそれぞれ、生徒たちが回答した典型的な正答例について、以下の(1)～(3)に詳述する。

(1)「適応」による説明仮説（正答記述例）：

当時の自然環境（森林・サバンナなど）が、首の長いという形質（首とのバランスを保つための長い足・長距離を走るための蹄など）に合致していることを記述していた。例えば、高木が多い自然環境では、その葉を食べることに長い首が適している、同種の他個体（雄間闘争）や異種の動物を威嚇するのに長い首や長い足が都合がよい、長い首は視野が広く、肉食動物から逃げるのに有利である、などが典型例であった。

(2)「遺伝的変異」による説明仮説（正答記述例）：

「突然変異」などによって偶然生まれた少し首の長いキリンが、当時の環境では生き残るのに有利だったため、その変異が代々遺伝によって積み重なり、長い年月を経て進化していったことなどを記述していた（努力や願望などによって一世代で起こった変異が進化につながったなど、「獲得形質の遺伝」による仮説は集計から除外した）。

(3)「(自然)選択」による説明仮説（正答記述例）：

長い首という変異を持って生まれたキリンは、首の短いキリンに比べて生存（高木の葉の食性・雄間闘争による性選択など）に有利なため、少しずつ生物集団に増え、現在のキリンの形態が広がった、などが典型的な記述例であった（ここでも、「獲得形質の遺伝」による仮説は評価の表7の集計から除外した）。

第1学年「地学」領域授業計画（第2章表3）の【設問⑥】や、第2学年「生物」領域授業計画（表4）の【設問⑩】においては、「獲得形質の遺伝」と「遺伝・突然変異」を対峙させ、「獲得形質の遺伝」が誤概念であることに気づかせるような授業を展開してきた。冒頭でも述べたように「獲得形質の遺伝」は根強く保持されやすい誤概念であるが、表7から「(自然)選択」や「遺伝的変異」による説明数が、最終的（修正後）に大幅に増加していることから、「パフォーマンス課題」や「本質的な課題」の導入などを含めた単元開発による一定程度の効果と見て取ることができる。

第2項 質問紙調査による分析

「地学」領域及び、「生物」領域におけるそれぞれの単元前・単元後において、質問紙調査（表5）を実施し、その正答数と誤答数をそれぞれ集計した。この集計結果から中学生の科学的進化概念形成の変化を明らかにし、さらに、2領域を通じた単元開発（第1学年「地学」領域「地層の重なりと過去の様子」、及び第2学年「生物」領域「生物の変遷と進化」）の有効性を検討した。表8に質問紙調査の過去4回分の回答結果（「地学」領域単元前・単元後、及び「生物」領域単元前・単元後における正答数と誤答数）を示した。図3はその数値をグラフ化したものである。

表 8 過去 4 回分の単元前・後における質問紙調査による分析結果

(「地学」領域：2017 年 4～5 月・「生物」領域 2017 年 7～9 月 2 学級：N=59)

各質問項目	地学単元前		地学単元後		生物単元前		生物単元後		コクランのQ 検定 (P値)
	正答数	誤答数	正答数	誤答数	正答数	誤答数	正答数	誤答数	
ア 弱肉強食 (誤)	39	20	43	16	39	20	40	19	n. s. (0.611)
イ 昆虫の変態 (誤)	18	41	45	14	44	15	49	10	**
ウ ヒトの成長 (誤)	8	51	51	8	47	12	50	9	**
エ 大量絶滅 (正)	50	9	54	5	54	5	47	12	n. s. (0.135)
オ 技術の進歩 (誤)	5	54	24	35	21	38	26	33	**
カ 世代性 (正)	48	11	57	2	55	4	55	4	*
キ 優勝劣敗 (誤)	32	27	28	31	32	27	40	19	n. s. (0.068)
ク 環境適応 (正)	56	3	58	1	56	3	56	3	n. s. (0.572)
ケ 獲得形質の遺伝 (誤)	24	35	42	17	35	24	41	18	**
コ 遺伝・突然変異 (正)	40	19	50	9	48	11	51	8	*
d f = 3 $\chi^2_{.05} = 7.815$ (*: $P < 0.05$) $\chi^2_{.01} = 11.345$ (**: $P < 0.01$) n. s. (not significant)									

加えて、調査結果の分析に際してはア～コの 10 項目において、1 項目ずつについてコクランの Q 検定を行った。この検定結果についても、同様に表 8 の右欄に記載した。

表 8 より「イ 昆虫の変態」「ウ ヒトの成長」「オ 技術の進歩」「カ 世代性」「ケ 獲得形質の遺伝」「コ 遺伝・突然変異」の 6 項目については、有意水準 5% で地学単元前～生物単元後までの過去 4 回分における有意差が見られた。一方、他の 3 項目「ア」「エ」「キ」「ク」については、有意水準 5% での有意差は見られなかった。

特に、「キ 優勝劣敗」については、生物単元後に 40 人の正解者があり、地学単元前に比べて正答率は漸増しているが (図 3)、有意な差は認められなかった (P 値 0.068)。つまり、ある程度の払拭はみとめられるものの、「優れたものへと進化する」という誤解は根強く残っていることが推察される。表 4 の【設問⑩】の問い方と提示の仕方を工夫する必要があるかもしれない。中学校の理科教科書に記載されているように、5 つの脊椎動物を、直線的に「魚類」「両生類」「爬虫類」「鳥類」「哺乳類」と並べてしまうと、この順番に「優れたものへ進化」したように考えてしまう中学生がいても不思議ではない。つまり、「下等動物から高等動物へ進化の歴史のなかで生き物はだんだん進歩してきた」と捉えられがちである (長谷川, 2015, p.52)。このような 5 つの脊椎動物の提示の仕方が影響し、生徒たちに「優勝劣敗」という誤概念の払拭を妨げたと考えられる。今後は、教科書にあるような 5 つの脊椎動物の並列的、直線的な提示だけでなく、系統的な提示も必要であると思われる。

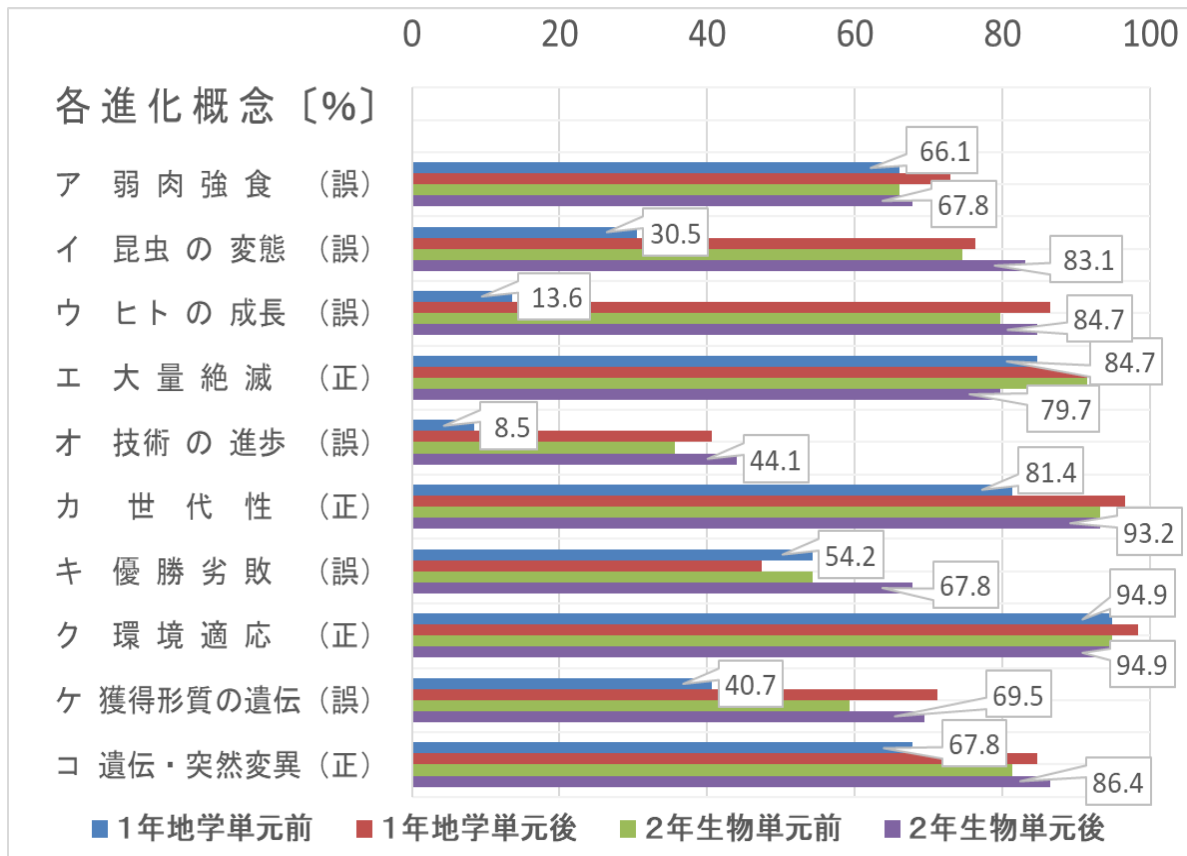


図3 過去4回分の単元前・後における質問紙調査による各進化概念の正答率の変遷
 (「地学」領域：2017年4～5月・「生物」領域 2017年7～9月 2学級：N=59)

「優勝劣敗」については、さらに上級学年での払拭が望まれるが、ここでは詳しく述べないが、第3学年における実践的研究(第4章)においても、根強く保持される誤概念の1つであることが明らかになる。しかしながら、既に本論文の第1章でも述べたが、第1学年の「生物と環境」の単元における分析結果では、「優勝劣敗」の正答者が単元後に有意に増えていた(第1章では「植物：タンポポ」、本章や第4章では「動物」が教材である)。

「ア 弱肉強食」についても同様に、「強いものに進化する」という誤解が根強く残ることを示す結果であった。アとキの結果から、「進化とは優れて、かつ強いものが生き残ってゆくこと」であると、一般的に考えられていることが原因ではないかと思われる。加えて「弱肉強食」という四字熟語の影響も否めない。

また、「エ 大量絶滅」「ク 環境適応」については、平均値(ウ：51.3, キ：56.5)プラス標準偏差(ウ：5.9, キ：1.7)の値が、とり得る最大値を超えているため「天井効果」と判断した。よって、授業後の増加が見込まれないのは当然と思われる。ただし、「ウ」においては、正解者が「生物」領域「生物の変遷と進化」単元後に、54人から47人にやや減少している。この減少傾向を統計上の「天井効果」として片付けることは容易だが、無視できない数値である。「生物」領域「生物の変遷と進化」単元後に行った質問紙調査には、自由回答式の欄も設けてあった。ある生徒の回答欄には、「三葉虫→恐竜→マンモスという直線的な進化はあり得ないのではないか」という疑問が記入されていた。

進化をしっかりと学んだ生徒たちは「直線的な進化」ではなく、枝分かれしていく「系統的な進化」の構図を思い描いたのではないかと考えられる。

次に、表 8 において有意差の見られた 6 項目（イ・ウ・オ・カ・ケ・コ）について、過去 4 回分（4 変数）のどの時期に有意差が現れたかを検討するため多重比較（ライアン法）を行った。すなわち、「地学単元前～地学単元後」「地学単元前～生物単元前」「地学単元前～生物単元後」「地学単元後～生物単元前」「地学単元後～生物単元後」「生物単元前～生物単元後」の 6 時点について比較し、表 9～表 14 の結果を得た。

表 13 から「ケ 獲得形質の遺伝」については、「地学単元前から地学単元後」と「地学単元前から生物単元後」において有意差が見られた。「地学単元前から地学単元後」にかけて正答数が増加しているのは、第 2 章表 3 の【設問⑥】の影響であると考えられる。その後、「地学単元後から生物単元前」にかけて、一旦正答者数が減少するが、再び「生物単元後」に正答数が増加したことが図 3 と表 13 から読み取れる。これも表 4 の【設問⑩】の影響であると考えられる。これら 2 つの設問においては「獲得形質の遺伝」と「遺伝・突然変異」を対峙させる授業を展開した。つまり「一生の間に起こった努力などの変化（獲得形質）は、次世代に遺伝しない」という反証例を挙げて、議論し合う授業を展開したことが証左である（名倉・松本, 2018a）。

一方、表 14 の「コ 遺伝・突然変異」において有意差が見られないのは、表 8 から地学単元後にすでに 50 人に達しているためである。これは「地学」領域における「地層の重なりと過去の様子」の単元において、つまり進化の基本的学習を終えた時点で、すでに「コ」は習得されていたと考えられる。そのため、「コ」の分析結果も「エ」や「ク」と同様に、「天井効果」と結論付けても差し支えないと考えられる。

表 9 「イ 昆虫の変態」多重比較（ライアン法：N=59）

昆虫の変態	地学単元前	地学単元後	生物単元前	生物単元後
地学 単元前	—	**	**	**
地学 単元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 単元前	—	—	—	n.s.
生物 単元後	—	—	—	—

表 10 「ウ ヒトの成長」多重比較（ライアン法：N=59）

ヒトの成長	地学単元前	地学単元後	生物単元前	生物単元後
地学 単元前	—	**	**	**
地学 単元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 単元前	—	—	—	n.s.
生物 単元後	—	—	—	—

表 11 「オ 技術の進歩」多重比較（ライアン法：N=59）

技術の進歩	地学单元前	地学单元後	生物单元前	生物单元後
地学 单元前	—	**	**	**
地学 单元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 单元前	—	—	—	n.s.
生物 单元後	—	—	—	—

表 12 「カ 世代性」多重比較（ライアン法：N=59）

世代性	地学单元前	地学单元後	生物单元前	生物单元後
地学 单元前	—	*	n.s.	n.s.
地学 单元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 单元前	—	—	—	n.s.
生物 单元後	—	—	—	—

表 13 「ケ 獲得形質の遺伝」多重比較（ライアン法：N=59）

獲得形質の遺伝	地学单元前	地学单元後	生物单元前	生物单元後
地学 单元前	—	**	n.s.	**
地学 单元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 单元前	—	—	—	n.s.
生物 单元後	—	—	—	—

表 14 「コ 遺伝突然変異」多重比較（ライアン法：N=59）

遺伝・突然変異	地学单元前	地学单元後	生物单元前	生物单元後
地学 单元前	—	n.s.	n.s.	n.s.
地学 单元後	—	—	n.s.	n.s.
生物 单元前	—	—	—	n.s.
生物 单元後	—	—	—	—

第6節 本章のまとめ

本章（第3章）の中学校第2学年「生物」領域（「生物の変遷と進化」単元）における実践研究によって、次のことが明らかになった。

パフォーマンス課題の記述内容についての質的分析結果から、明らかになったことは次の1点である。

(1) 第2学年「生物」領域パフォーマンス課題（キリンの首はなぜ長いのか？）の評価結果から、中学生の「自然選択説」や「突然変異説」による説明数が、最終的（修正後）に過半数の30人を超えていることが明らかになり、本研究における授業効果を示唆する結果が得られた。パフォーマンス課題実施において「形成的評価」を含む修正の機会が与えられたことが、この成果の一因であると考えられる。

「自然選択説」や「突然変異説」による説明は中学生にとっても、高校生や大学生にとっても決して分かりやすいものではない。「キリンの首が長くなったのは、高い場所にある木の葉を食べようとして首を伸ばしていったため」という説明を、多く人は想起しやすいという（長谷川，2015，p.33）。つまり、「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」による説明に、誰もが陥りやすいという事実からも、本研究の「生物」領域における調査結果は注目に値する。

次に、質問紙調査による分析から、明らかになったことは次の3点である。

- (1) Q検定結果から、「昆虫の変態」「ヒトの成長」「技術の進歩」「世代性」「獲得形質の遺伝」「遺伝・突然変異」の各6項目について、2領域を通した単元授業後の正答数において有意に増加がみられた。これらはライアン法による多重比較から、主に「地学」領域における授業計画によって生徒の科学的概念理解の形成を促したことが示唆される。
- (2) 「獲得形質の遺伝」は、「地学」領域の単元後に正答数がやや低下していたが、再び「生物」領域における授業計画によって正答数が増加した。これは「生物」領域における授業計画において、「自然選択説」を中心とした「進化の総合説」による説明仮説がなされたことが一因であると考えられる。「獲得形質の遺伝」は先行研究において中学生から大学生のどの段階においても根強く保持されやすいとされてきたものである。しかしながら、この先、再度概念剥離が起き、元の想起しやすい誤概念にもどる可能性も否めない。今後、より上級の第3学年（「遺伝の規則性と遺伝子」単元など）における新たな開発が必要であると思われる。そこでは、「直線的な進化」ではなく「系統的な進化」の学習を設計し、それを検証するカリキュラムの開発も今後の課題となった。
- (3) 誤概念である「弱肉強食」や「優勝劣敗」における一定数の理解は得られたが、根強い保持の状況も明らかになった。これは、「優れたものや強いものに進化する」という誤解から生み出されるものと考えられる。上記の(3)と併せて、今後このような誤概念の払拭を図る次学年での単元開発によるカリキュラム設計が待たれる。

註及び引用・参考文献

- 1) 本単元開発において、「自然選択説」による仮説推論をするパフォーマンス課題を中学生に与えた理由は次のような見解による。「現代の進化学説の基礎となる理論体系を最初に提出したのは、チャールズ・ダーウィンであり、現在の進化学説は、もともとダーウィンが提出した考えに、遺伝学、分子生物学などさまざまな最新の知見をとりこみながら発展してきたもので、『ネオダーウィニズム』とか『進化の総合説』などと呼ばれている。『進化の総合説』のエッセンスを理解するには、たった3つのキーワード、『変異』『選択』『遺伝』を理解すればよい。『変異』というのは、生物の性質に個体ごとに違いがあること。……『選択』というのは、その性質によって、生きのびて子孫を残せる確率にちがいがあること。……『遺伝』というのは、そのような性質は多かれ少なかれ子孫に伝えられるということ。……すなわち、『遺伝する変異』が進化の原材料となり、それらを『自然選択』が取捨選択していくことによって、生物の驚くべき巧妙な形態や構造や機能がつくりあげられてきたと考えられるのである（深津，2002，p130)」。つまり、序章において「現代的総合」について論じたように、本研究では「進化の総合説」に基づく「本質的な問い」や「パフォーマンス課題」を数題組み込んだカリキュラム開発を行っている。しかしながら、「進化の総合説」は上記の文言から分かるように、「自然選択説」を中心にしており、生徒に提示する際にも、課題を解く際にも、その差異を厳密に示す必要はないと考えられるからである。したがって、本論文においては、「進化の総合説」と「ダーウィンの自然選択説」をほぼ同意で用いている箇所がある。
- 2) 第2学年「生物」領域における「到達目標（最終目標）」を、上記の註1)の見解ある「変異」「選択」「遺伝」に則らずに、「適応」「遺伝的変異」「選択」の3つとした理由は2点ある。1点目はアメリカのミドルスクールの生命科学教科書の説明に、その理由があることは本文中で述べている。もう1つの理由は、「遺伝の規則性と遺伝子」をまだ履修していない中学校第2学年の生徒に、科学的進化のメカニズム理解を引き出すには、理解しやすい「適応」から入った方が得策と考えられたからである。さらに本研究においては、上記の「遺伝」は「遺伝的変異」として、「突然変異」や「有性生殖による変異」などを含む「変異」の中に位置づけた方が理解しやすいと考えたからである。

有馬朗人ら（2016）『新版 理科の世界2』大日本図書。

Cain, M. et al. (2005). *Discovery Biology*. 石川 統（監訳）（2005）『ケイン生物学（第2版）』東京化学同人。

Dobzhansky, Th. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in Light of Evolution, *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.

深津武馬（2002）「共生と共進化」石川統（編著）『生命環境科学Ⅱ－環境と生物進化－』（放送大学大学院教材）放送大学教育振興会，第12章，128-139。

- 金井康恭・小池啓一（2012）「高校生物Ⅱにおける『生物の進化』の扱い」『群馬大学教育実践研究』第29号，45-49.
- 長谷川眞理子（2015）『ダーウィン種の起源（100分で名著）』NHK出版.
- 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』第42巻，第1号，1-11.
- 桐生尊義（2004）「中学校でどのように進化を教えるか？」『遺伝』第58巻，第4号，35-39.
- 正本安心・西野秀昭（2011）「中学校理科における植物を中心とした生物進化授業の展開」『福岡教育大学紀要』第60巻，第3号，43-54.
- 三中信宏（2007）「進化生物学と統計科学」『計量生物学』第28巻，特別号，25-34.
- 宮本俊彦（2008）「中等教育段階の生徒における生物進化に対する認識の現状と進化概念形成への人類学学習の効果」『日本人類学会』第116巻，第2号，194-198.
- 文部科学省（2008）『中学校学習指導要領』
- 文部科学省（2017）『中学校学習指導要領』
- 文部省（1999）『中学校学習指導要領』
- 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—中学生の進化に関わる概念変換を事例にして—」『理科教育学研究』第47巻，第2号，51-63.
- 森田邦久（2010）『理系人に役立つ科学哲学』化学同人.
- 村上忠幸（2013）「新しい時代の理科教育」『京都教育大学実践研究紀要』第13号，53-62.
- 名倉昌巳（2014）「中学校における『進化』学習に関する実践的研究」『大阪教育大学 実践学校教育研究』第17号，31-40.
- 名倉昌巳・松本伸示（2018a）「形成的評価を加味したパフォーマンス課題を取り入れた理科授業開発」『理科教育学研究』第58巻，第4号，355-365.
- 岡村定矩ら（2016）『新編 新しい科学2』東京書籍.
- 佐藤崇之・大鹿聖公（2005）「教科書分析と教材研究から見た高等学校生物における進化の単元に関する一考察」『広島大学大学院教育学研究科紀要』第2部，第54号，17-24.
- 高橋一将・磯崎哲夫（2014）「BSCSにおける進化学 の特色」『理科教育学研究』第54巻，第3号，369-381.
- 田中耕治（2011）『パフォーマンス評価—思考力・判断力・表現力を育む授業づくり—』ぎょうせい.
- Trefil, J. et al. (Eds.). (2007). *Life Over Time: McDougal Littell Science*, Evanston: Houghton Mifflin Company.
- 塚田捷ら（2017）『未来へひろがるサイエンス2』新興出版社啓林館.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design* 2nd ed., ASCD. 西岡加名惠(訳) (2012) 『理解をもたらすカリキュラム設計』日本標準.

第4章 中学校第3学年「環境」領域 「生物と環境」における単元開発

本章では、中学校第3学年「環境」領域、「生物と環境」の単元において、空間的視点である「生態系の多様性」と、時間的視点である「生物進化」を結ぶ単元開発を行った。そして、この一連の学習過程において、中学生における「生態系の多様性」の理解、及び「科学的進化概念」の形成、並びに「誤概念」保持の様相を検証した。特に、前章までに払拭できなかった、優れた者が生き残るとする「優勝劣敗」や、それに類似する「弱肉強食」などの誤概念の保持の諸相を論じ、本カリキュラム設計の有効性も検討した。

第1節 問題の所在

第1項 平成29年改訂学習指導要領からの問題提起

平成20年改訂の中学校学習指導要領では、「生物の種類の多様性と進化」に関する単元は、中学校第2学年にあったが（文部科学省，2008），平成29年改訂の中学校学習指導要領（以下「新学習指導要領」と略記）では第3学年に移行し、「遺伝の規則性と遺伝子（以下「遺伝」と略記）」の単元や「生物と環境」の単元と同学年で教えられることになった（文部科学省，2017）。新学習指導要領の第4節「理科」第2分野において、「(7)自然と人間」における「(ア)生物と環境」単元の中の「㉞自然界のつり合い¹⁾」には、「微生物の働きを調べ、植物、動物及び微生物を栄養の面から相互に関連付けて理解するとともに、自然界では、これらの生物がつり合いを保って生活していることを見いだして理解すること」という記述がある。しかしながら、ここには「進化」や「生態系の多様性」との関連を示唆する文言は見当たらない（文部科学省，2017）。

一方、平成20年改訂学習指導要領準拠の中学校第3学年理科教科書（以下「現行教科書」と略記）における「自然界のつり合い」の章には、「生態系」の定義、例えば、「ある場所に生活する生物とそれをとり巻く環境を1つのまとまりとしてとらえたもの」と記載されている（塚田ら，2018）。一般に「生物多様性」は、(1)遺伝的多様性、(2)種多様性、(3)生態系の多様性の3つに大別されている。このうち「生物と環境」の単元では、「生態系の多様性」について学ぶことができる。そして、「生態系」の学習には「空間的視点」が含まれている。この「空間的視点」に「時間的視点」、すなわち「約150万種に及ぶ多様な生物種が現存しているのは、38億年ほど前に現れた共通な祖先からの生物進化の結果である」という視点を織り込んだ。これによって、空間的視点（生態系）と時間的視点（進化）を結ぶことが可能となり、「生態系の多様性」と「種多様性」を同時に学ぶことができる。

本川（2015）は「生物多様性の大切さ」を理解する困難さについて指摘し、それには「生物を取り巻く環境や、生物と環境の関わり合いである生態系」、さらに「遺伝子から生態系まで、さまざまなレベルの生物学」の理解が必要であるという。特に、「生物が進化によって生じた価値」、すなわち「生物多様性の価値」について論じている。そこで、筆者らは「生物多様性」のミクロからマクロへの3つのレベルを軸に、中学校第3学年における「生物・環境」領域の3つの単元、すなわち「遺伝の規則性と遺伝子」、「生物の種類の多様性と進化（新学習指導要領では第3学年へ移行）」、「生物と環境」の各単元を構造化し、図1のように表した。

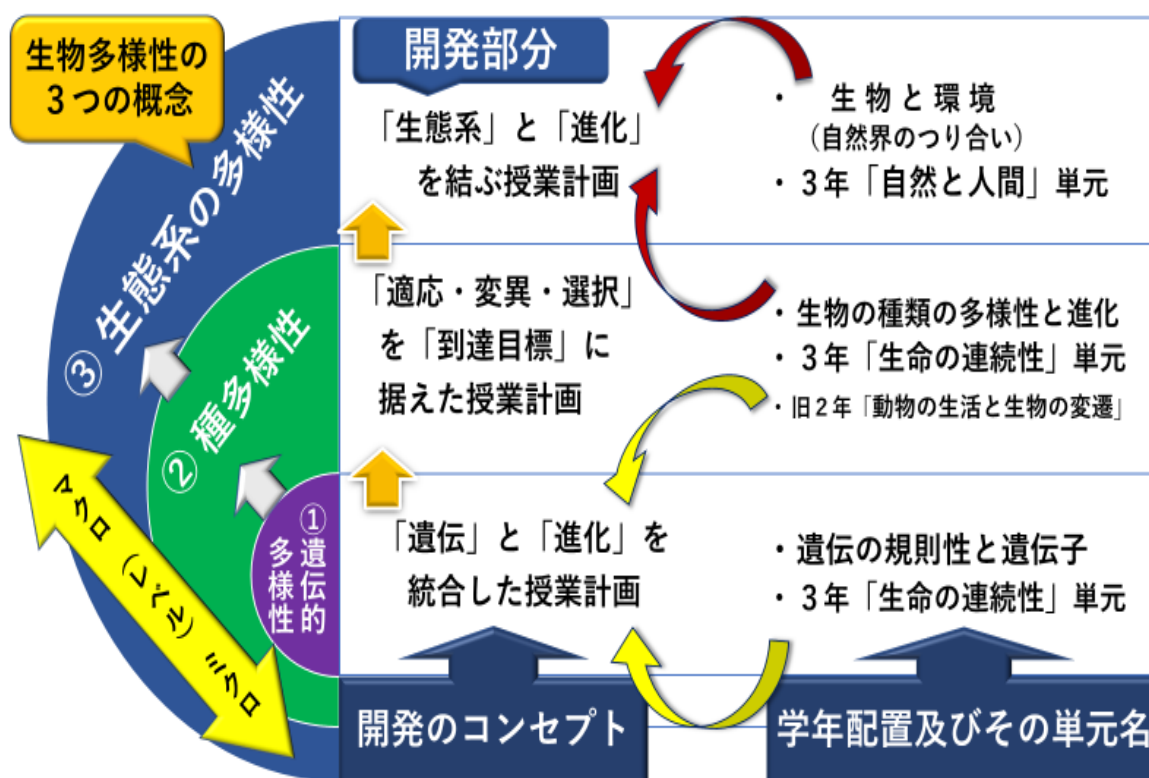


図1 中学校第3学年における3つの単元開発と「生物多様性の3つの概念」の関連

以上、本章（第4章）では我が国の学習指導要領などの現状を踏まえ、「進化：時間軸」と「生態系：空間軸」を結び、「生物多様性」の理解をめざし、中学校第3学年「生物と環境：自然界のつり合い」における単元開発を試みた。そして、先の本川（2015）の見解を踏まえ、マクロレベルの「生態系の多様性」と、比較的ミクロレベルの「種多様性」を、時間軸である「生物進化」でつなぐ「到達目標」を2つ設定した（表1の上段①・②）。もちろん、さらにミクロレベルの「遺伝的多様性」については表1の下段の②にある「遺伝的変異」がキーワードになるが、これについては次の第2節で述べる。

表 1 到達目標：中学校第 3 学年「生物・環境」領域

【中学校第 3 学年「環境」領域到達目標】
① 「多様な生態系」には「多様な生物種」がすんでいる（生態系の多様性）。 ② 「多様な生物種」は長い年月にわたる「生物進化」の結果である（種多様性）。
【中学校第 3 学年「生物」領域到達目標】（名倉・松本，2018b より改変）
① 生物は、環境の変化に適応したものが生き残ることにより、進化する（適応）。 ② 生物進化における変異は一世代で起こるのではなく、新しく子孫が生まれ出るときに起こる（遺伝的変異）。 ③ その変異が生存に有利ならば、時間とともに少しずつ積み重なることによって進化していく（選択）。

第 2 項 科学的進化概念・誤概念からの問題提起

海外に目を移すと、アメリカの教科書は現代生物学の体系に準じ、「細胞・発生・生理・遺伝・生態」の各論を縦軸に、「進化」や「生物多様性」の視点を横軸に置いて編纂されている（Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A, Minorsky, P. V., 2017 ; Singh-Cundy, A., Cain, M.L., Dusheck, J., 2012）。中でも、ミドルスクール（第 5～第 8 学年）でよく使用されている教科書には、ダーウィンの「自然選択説」に基づき「適応・遺伝的変異・選択」を用いて進化が解説されている（Trefil, Calvo & Cutler et al. Eds., 2007）。これを参考にした実践研究において、『自然選択説』による仮説課題によって、『獲得形質の遺伝』払拭の有効性を示唆する」とする報告がある（名倉・松本，2018b）。「獲得形質の遺伝」とは、「一生の間に起こる変異が次世代に伝わる」とするもので、現代進化学では否定されている「ラマルク説」のことである。しかし、この「ラマルク説」は、中学生から大学生までのどの段階でも支持者が多く、特に高校生物を学んだ後も保持されやすい誤概念である（福井・鶴岡，2001；森本・甲斐・藤森，2006）。

また、「優れた者へと進化する（優勝劣敗）」や「弱肉強食」などの誤概念が根強く残る可能性を示唆した報告もある（名倉・松本，2018a；2018b）。我が国では、「進化論」が社会的生存競争による「優勝劣敗」として受容された歴史があり（渡辺，1991），この延長線上には、「劣った遺伝子は淘汰」すべきとする「優生思想」が垣間見える。例えば、DNA 鑑定や遺伝子スクリーニングが可能となった現在、「反社会的あるいは暴力的な遺伝子などという、生物学のレベルとは対応関係のないありもしない遺伝因子を想定」し、「人間の社会的行動を説明づけようとする」近未来社会の到来が懸念されている（米本・松原・櫛島・市野川，2004，p269）。

第2節 本章の目的

以上2つの問題提起から、本章における実践研究の目的は、「生物進化」による「多様な生物種（種多様性）」に至った経緯を取り入れた単元開発を行い、その学習過程における中学生の「生物多様性」の理解、及び「科学的進化概念」の形成、特に第2章や第3章で課題が見られた「優勝劣敗」や「弱肉強食」などの「誤概念」保持の様相を検証することである。また、その成果として本章における単元開発の有効性を論じることも含まれる。

そして、上記のミドルスクールの教科書の3観点（適応・遺伝的変異・選択）を「科学的進化概念」の中核に据え、中学校第3学年「生物」領域における「到達目標」とした（表1の下段①・②・③）。

第3節 開発したカリキュラム

第1項 「生態系の多様性」と「生物進化」を結ぶ カリキュラム設計

新学習指導要領に準拠した中学校第3学年の理科教科書（2020年採択予定）では、「遺伝の規則性と遺伝子」、「生物の種類の多様性と進化」、「生物と環境」の3つの単元が1つの学年にまとめられることになった。つまり、それぞれ「遺伝的多様性」、「種多様性」、「生態系の多様性」という3つの多様性の概念が、中学校第3学年の1年間で学べるように改訂された。故に、本章における実践研究では、中学校第3学年「環境」領域（「生物と環境」）において、「多様な生態系」における「適応」によって「生物進化」が生じ、その結果として「種多様性」に至ったプロセスを、中学生に理解させることを目標に、表2のような授業計画を立案した。

第2項 開発した授業計画とルーブリック・パフォーマンス評価

第1限から第5限までは、現行の中学校第3学年理科教科書の展開に沿った内容である（塚田ら、2018）。各時限には、進化的な視点で考える【課題①～⑤】を追加し、「生態系の多様性」と「生物進化」をつなげるように工夫した。これらは追究を要するものであり、評価の観点とその回答結果も表2に掲載した。

第1限では、自然界における食物連鎖などを解説した後、【課題①】で「大形肉食動物と小形の草食動物のどちらの数が多いか」について尋ねた。「生態系のピラミッド」から、食べる方の肉食動物より、食べられる方の草食動物の方が多くなければ、自然界のつり合い

が保てないことに気づくことが評価のポイントである。

表2 中学校第3学年「生態系の多様性」と「生物進化」を結ぶ授業計画:全8時間
(◆は教科書の学習内容, ⇒は支援上の留意点, 〃は追加した授業)

時	学 習 活 動	追加した【課題】	評価の観点
1	<p>「環境」編「自然と人間」第1章「自然界のつり合い」(塚田ら, 2018, pp.202-216)</p> <p>◆食物をめぐる生物どうしのつながり</p> <p>【導入】動画クリップ「土の中の食物連鎖」視聴(NHK for school:以下同様)</p> <p>⇒「食物連鎖」・「生態系」などの用語を解説。</p> <p>⇒【課題①】をグループで考える(回答後, 回収)</p> <p style="text-align: center;">質問紙調査(表5)記入</p>	<p>【課題①】A.大形の魚(肉食)と, B.小形の魚(草食)を比べると, どちらの数が多いか(その理由も説明すること)。</p> <p>【回答結果】(N=57) Aが9人, Bが48人で, 草食が多いことに気付いていた。</p>	<p>【課題①】Bが正解。食べる肉食よりも, 食べられる草食の方が数が多い点に気づくことができる(理由もつけて説明することができる)。</p>
2	<p>◆生態系における生物の役割と数量的な関係:</p> <p>【導入】動画クリップ「自然界の問題はなぜ起こる」視聴⇒生態系のピラミッドは, ある程度は一定に保たれる。</p> <p>【発問】もしもオオヤマネコ(肉食動物)がいなくなったら, カンジキウサギ(草食動物)の数量関係はどうなるか?</p> <p>⇒カンジキウサギ(草食)とオオヤマネコ(肉食)の増・減関係に気づかせる。</p> <p>⇒【課題②】をグループで考える(回答後, 回収)。</p>	<p>【課題②】草食動物と肉食動物の数量関係から, 2つのうち生き残りに有利なのはどちらか(必ず『弱肉強食』という語句をつけて説明すること)。</p> <p>【回答結果】(N=61) 草食動物22人, 肉食動物33人, どちらでもない6人。肉食動物の方が生き残るのに有利であると考えた生徒が最も多かった。</p>	<p>【課題②】どちらかが生き残りに有利なわけではないことを, 『弱肉強食』を付けて説明することができる。</p>
3	<p>◆生物の遺骸のゆくえ:</p> <p>【導入】動画クリップ「土に生きる森の中の小さな生物たち」視聴</p> <p>【発問】森林が植物や動物の遺骸でいっぱいにならない理由は?⇒まず, ミミズやダンゴムシなど土の中の小動物の働きによって処理され, 残りは菌類や細菌類が分解する。</p> <p>⇒【課題③】をグループで考える(回答後, 回収)。</p>	<p>【課題③】肉食動物(大形・小形)・草食動物のうち, 生き残るのに有利なのはどれか(その理由も説明すること)。</p> <p>【回答結果】(N=54) 大形肉食19人, 小形肉食3人, 草食21人, どちらでもない11人。生き残るのは肉食動物・草食動物がほぼ同数で, どちらでもないが増加した。</p>	<p>【課題③】どれも生態系の中で生かされている存在であることを, 理由を付けて説明することができる。</p>
4	<p>◆微生物のはたらき:</p> <p>【導入】動画クリップ「食べ物に生えるカビの秘密」視聴</p> <p>①菌類:キノコとカビの形態と生育環境⇒キノコとカビの各々の特徴をあげ, 共通点と相違点を表にまとめる。</p> <p>②細菌類:動画クリップ「微生物たちの作品しょうゆ」視聴</p> <p>⇒【まとめ】進化の系統図(5界説など)から菌・細菌類の位置を確認。</p> <p>⇒【課題④】をグループで考える(回答後, 回収)。</p>	<p>【課題④】進化の系統図から考えて, 菌類はどのような仲間と近縁であるか(その理由も説明すること)。</p> <p>【回答結果】(N=46) 原生生物10人, 動物17人, 植物7人, 動植物3人, 不明9人。系統図から, 原生生物からすべての生物が派生していることは理解していた。しかしながら, 菌類が動物と近縁であることを理解した生徒は, 17人で半数以下であった。</p>	<p>【課題④】菌類の進化上の位置は, 原生生物から分岐し, 細菌類や植物よりも, むしろ動物に近いことを, 理由を付けて説明することができる。</p>

5	<p>◆生物の活動を通じた物質の循環： ①炭素による自然界の循環（教科書の図）：生産者・消費者・分解者の役割を解説⇒生物だけでなく、CO₂やO₂など物質循環，大気を含む生態系の連関に気づかせる。 ⇒【発問】肉食動物は草食動物だけを食べていけば暮らせるか？ ②「自然界の循環」から「多様な生態系」の重要性を示唆する。窒素（タンパク質）による物質の循環（教科書の図）も解説する。 ⇒【課題⑤】をグループで考える（回答後，回収）。</p>	<p>【課題⑤】強い者や優れた者だけが必ず生き残ると言えるか（その理由も説明する）。</p> <p>【回答結果】強い者は弱い者と共存して今の世界ができていますので，弱い者がいなくなると強い者も生きていけなくなる（HT 男）。生態系ピラミッドのように植物が土台となつてすべてが生きているから，強い者だけでは生きていけない（SN 男）。しかし，生き残る確率が高い（KJ 女）。</p>	<p>【課題⑤】自然界のつながりから，強い者や優れた者が必ずしも生き残らないことを，理由を付けて説明している。</p>
6	<p>【導入】動画クリップ「生物の進化」（2年次に学習した進化の基本を2分程度復習）⇒【課題⑥】をグループで考える（回答後，回収）。回収後，3年次1学期に「遺伝」単元で学習した「遺伝的変異」についても，短時間で触れる。</p>	<p>【課題⑥】変異はいつ起こるか？ A) ラマルク説， B) ダーウィンらの総合説のどちらかを選び，その理由も説明しなさい（森本ら，2006；名倉・松本，2018a）。⇒下図のように，A）・B 2枚の描画カードを提示し，考察を促す。</p> <p>A) 一世代で変化し，生まれるときには変化しない（獲得形質の遺伝：ラマルク説）。</p> <p style="text-align: center;"> 子ども → → 親 （一生にうちに変化する） </p> <p style="text-align: center;">↓（生まれるときに変化しない）</p> <p style="text-align: center;">子ども</p> <p>B) 生まれるときに変化し，一世代では変化しない（遺伝・突然変異：ダーウィンらの進化の総合説）。</p> <p style="text-align: center;"> 親 （生まれるときに変化する） </p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;"> 子ども → → 親 （一生にうちに変化しない） </p>	<p>【課題⑥】進化は意志の力や努力ではできないなど，Aの反論やBの正当性をあげて説明・発表できる。</p> <p>【回答結果】(N=52) グループ活動における発表の結果は，A：B＝0：12で，Aを支持するグループはいなかった。しかし，回収後のワークシートの記述による集計では，A4人，B61人，AとBどちらも正しい2人，という結果であった。つまり，「獲得形質の遺伝」を支持する生徒は52人中，4人いたことになる。</p>
<p>【パフォーマンス課題⑦】上のBの例で「キリンの長い首の進化」を説明した後，「ゾウの鼻はなぜ長いのか？」について進化仮説を絵と文で考えよう（図2）。「到達目標（表1下段）」と「ループリック（表3）」を先に明示し，「自然選択説」を中心とした「進化の総合説」に基づいて推論し，「絵」と「文」を用いて表現するように指示（名倉・松本，2018bより改変）⇒【教師による評価】提出後，ループリックで評価，次時に返却。 ※【評価結果】は表6，【回答例】は表7に記載。</p>			
7	<p>【導入】動画クリップ「動物の食べ物（ゾウの好物・ゾウの糞など）」視聴 【生徒発表】各クラス3名の優れた生徒による口頭発表後，意見交換 ⇒【相互評価】グループ内で作品を交換し，相互にコメント記入 ⇒【作品再考】自己作品と「到達目標（表1の下段）」のギャップを埋める作業 ⇒【パフォーマンス課題⑦の修正】「ループリック」を再度見直ししながら，作品を修正 ⇒【自己評価】作品の出来を自己評価 ⇒【教師による評価】再提出，再評価。※【形成的評価（名倉・松本，2018aより改変）】</p>		
8	<p>【導入】動画クリップ「自然環境の保全」視聴⇒ダーウィン『種の起源』唯一の図版である「生命の樹（系統図）」を提示して解説（長谷川，2015より改変） ⇒【課題⑧】多様性の進化についてグループで考察 ⇒【教師による評価】提出後，ループリック（表4）で評価。 質問紙調査（表5）記入</p>	<p>【課題⑧】「生命の樹」から優れたものが現代まで生き残ったと言えるか（第4限で提示した5界説の系統図なども参考にして考える）？「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について，具体的に説明しよう。 ※【評価結果】は表8，【回答例】は表9に記載。</p>	

第2限では、生態系のピラミッドにおける数量的な関係を動画で復習した後、オオヤマネコとカンジキウサギの事例から「自然界の数量関係は通常一定に保たれること」を教示した。【課題②】では、「草食動物と肉食動物のうち、生き残りに有利なものはどちらか？『弱肉強食』という言葉をつけて説明せよ」と尋ねた。これは、「弱肉強食の世界では、強い肉食動物の方が生き残るのに有利である」する意見が多いことを予め想定して出題した。最終的に「どちらかが生き残りに有利とは限らない」という方向に導くためである。

第3限では、自然界では動植物の遺骸がどのように分解されていくか、土の中の生物も含めた解説した。その後、「肉食動物（大形・小形）・草食動物のうち、生き残るのに有利なものはどちらか」という【課題③】を与えた。この課題も、上記の【課題②】と同様の主旨で設定したもので、次第に「どちらでもない」とする正答数が増加することを想定して出題したものである。

第4限では、菌類（カビ・キノコなど）と細菌類（バクテリア）について解説しながら、相違点と共通点についてまとめた。「進化の系統図（ホイッタカー5界説）」を用いて、細菌類（単細胞）と菌類（多細胞生物）のそれぞれ進化上の位置を示して解説した。その後【課題④】で、「菌類はどのようななかまと近縁であるか」について考えさせた。

ここでは、菌類が「動物に近縁」であるとする記述を評価のポイントにおいた。これは「菌類」を、「細菌類」と混同したり、「植物」のなかまに入れたりする誤解を想定して出題したものである。現行の教科書では「多様な生物種」の理解を含んでいると思われる。

第5限では、生物界だけでなく、その周りに存在する無機環境も含めた「生態系における物質（炭素・窒素）循環」について解説した。まず【発問】で、肉食動物の食物（草食動物）摂取の立場から考えさせておいて、【課題⑤】「強い者や優れた者だけが必ず生き残るといえるか」について考えさせた。必ずしも「優れた者が生き残る」とは限らず、「生態系ピラミッドの土台となる植物」を重視する記述が多くなることを見込んで出題した。

第6・7・8限はすべて開発した授業である。

第6限では、まず第2学年で学習した「生物の変遷と進化（以下「進化」と略記）」についての基本を動画で復習した。動画は2分程度であり、「生物の誕生から哺乳類の進化、及び生物が環境の変化により進化したこと」などがふくまれている。次に、先行研究にある【課題⑥】を与えた（森本ら、2006；名倉・松本、2018b）。【課題⑥】は、Aの「一世代で変化し、生まれるときに変化しない」、Bの「生まれるときに変化し、一世代では変化しない」という2つの対立概念のどちらが進化に働いたかを考察するものである。前者の「獲得形質の遺伝：ラマルク説」と、後者の「遺伝的変異：ダーウィンらの総合説」のうち、どちらが生物進化の原因かを選択し、その理由を述べる課題である。1学期に「遺伝の規則性と遺伝子（以下「遺伝」と略記）」単元において履修済みであり、「生物進化が遺伝する変異によって生じる」ことの復習（1～2分程度）も兼ねて実施した。

次に、その結果を踏まえて考察する【パフォーマンス課題⑦】を組み込んだ（図2）。これは「ゾウの鼻が長くなった」という進化の過程を、「自然選択説」を使って推論する課題である。解答にあたっては、初期、中期、現在の順に「ゾウの進化の姿」を「絵」で図2の左欄に描き、その後、図2の右欄に「文」で記入するものである。「到達目標」は、先の1.2における表1の下欄（「生物」領域到達目標）に示した3つのキーワード（適応・遺伝的変

異・選択) である。そして、回収後に表 3 の「ルーブリック」により評価した。

表 3 ルーブリック：第 3 学年「生物」領域（名倉・松本，2018b より改変）
（表 2 第 6 限【パフォーマンス課題⑦】）

評 価	評 価 指 標
S	表 1 の下段の【中学校第 3 学年「生物」領域到達目標】における①～③の観点のうち 3 つすべて含まれ，それらに関する進化の根拠が絵や文で説明されている。
A	①～③の観点のうち 2 つを含み，それらに関する進化の根拠が絵や文で説明されている。
B	①～③の観点のうち 1 つを含み，それらに関する進化の根拠が絵や文で説明されている。
C	①～③の観点は含まれていない。もしくは 1 つ以上含まれているが，進化の根拠が絵や文で説明されていない。

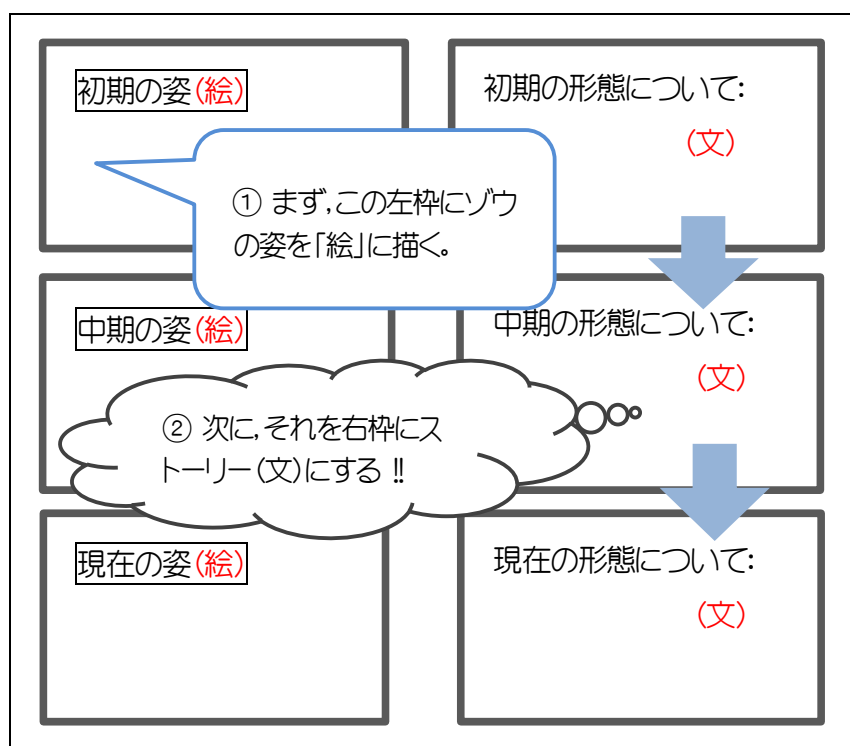


図 2 パフォーマンス課題⑦：第 3 学年「生物」領域（名倉・松本，2018b より改変）

第 7 限には【生徒発表】や【相互評価】などを行い，【パフォーマンス課題⑦】の「修正の機会」を確保した。この第 7 限は，本論文の第 2 章の図 1 で示した「形成的評価を加味

した教授・学習過程」におけるカリキュラム設計の手法を援用し、動画を挿入しながら考察する授業構成をとった（名倉・松本，2018a）。

第8限には「生態系の多様性・種多様性・生物進化」（図1）を総合的に捉える【課題⑧】を設定し、表4の「ルーブリック」により評価した。この「到達目標」は先の1.2でも述べたが、表1の上段の「環境」領域に記載した通りである。尚、表2の各時限の「クリップ（ビデオ）」では、NHK for schoolのWeb動画を視聴した。

以上の、本授業計画における「到達目標（表1）」、各時限の【課題】（表2）、及び「学習指導要領の単元目標」との関連を示した構造図は、図3のようになる。

表4 ルーブリック：第3学年「環境」領域（表2第8限【課題⑧】）

評価	評価指標
A	表1の上段の【中学校第3学年「環境」領域到達目標】における①「生態系の多様性」と②「種多様性」の観点のうち、2つすべて含まれ、それらを論理的につなぎながら説明している。
B	①または②の観点うち、どちらか1つを含んで説明している。
C	①、②のどちらの観点も含んで説明していない。

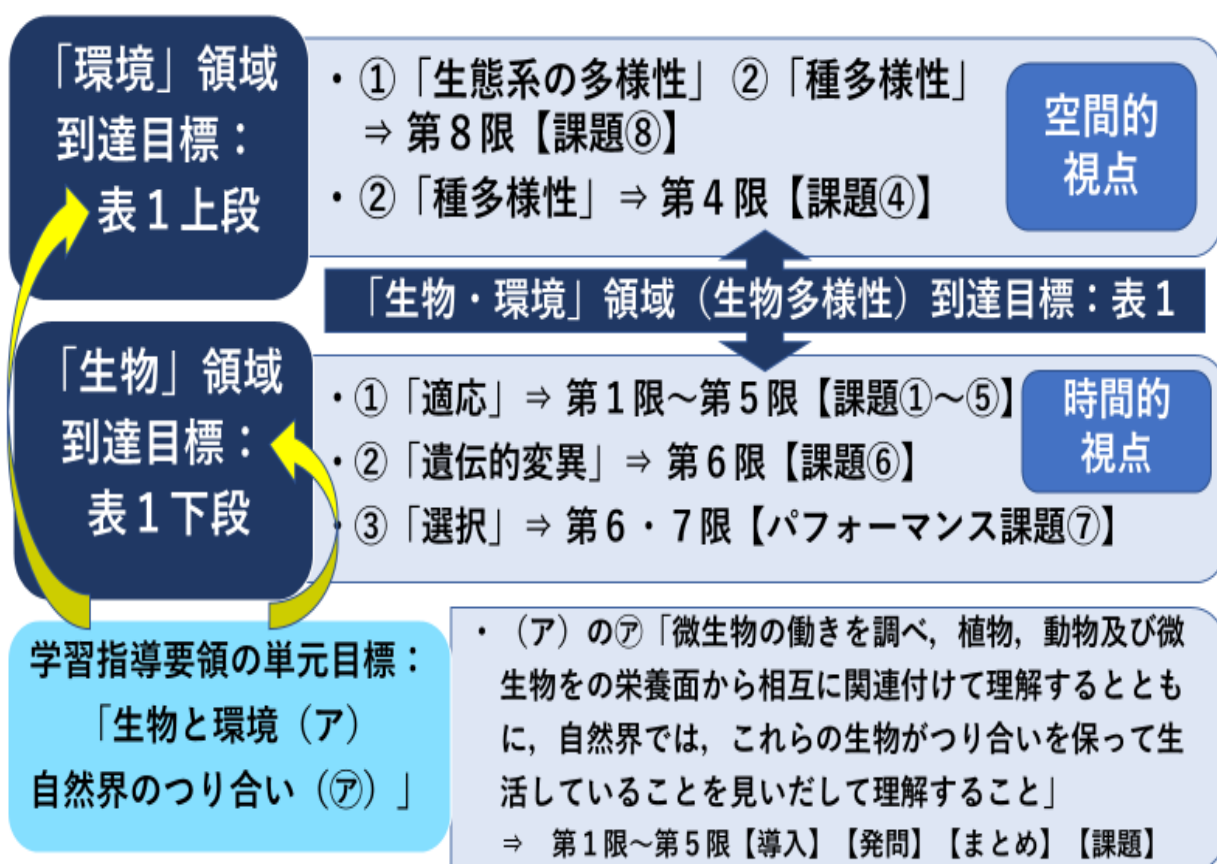


図3 「生物と環境」単元における授業計画と「到達目標・単元目標」の関連

第4節 授業評価の方法

第1項 対象と期間

「生物と環境（自然界のつり合い）」単元における授業計画（表2）を2019年2月に、大阪府の公立B中学校第3学年2学級在籍68人（男子32人・女子36人）に対して実施した。尚、この2学級の学級編成にあたっては、前年度の5教科成績に基づいて行われており、ほぼ等質とみなすことができる（2018年度2学期に4回実施した理科の実力テストと定期テストの平均点は、各学級それぞれ58.5点と58.7点であった）。

また、調査対象の第3学年の生徒は、前年度の2017年7月（第2学年1学期）には、「生物の変遷と進化」を通常の授業（平成20年告示の現行学習指導要領に準拠した教科書）によって既に学習済みであるが、本論文において提案した第2学年の授業計画（第3章表4）は履修していない。

加えて、本調査対象の生徒は2018年度1学期に、筆者が開発した「遺伝の規則性と遺伝子」における単元（序章の図1や本章の図1において提案した「『進化』と『遺伝』を統合した授業計画」であるが、その詳細は本論文には記載していない）を受講している。

第2項 各課題による授業評価

先にも述べたが、アメリカのミドルスクールの生命科学教科書を参考に、第6限の【パフォーマンス課題⑦】（図2）では、【課題⑥】を踏まえた上で、ダーウィンの「自然選択」による進化に基づき（誤概念である「獲得形質の遺伝」の払拭に有効と示唆される）、「ゾウの鼻の進化」を考察させた。そして、次の第8限目において、「生態系の多様性」と「種多様性」が「進化」の結果であることを追究する【課題⑧】へ導くことが有効と考え、各課題を配置した。よって、このような「科学的進化概念」と「生態系の多様性」の理解には、【パフォーマンス課題⑦】と【課題⑧】が重要な役割を担うと考えられる。したがって、本研究ではこの2つの課題の評価分析を、中学生の「科学的進化概念」の形成過程を検証する有効な授業評価の手法として用いた。加えて、「科学概念」として形成されにくいもの、特に概念剥離しやすいもの、さらに、誤概念の払拭の困難さについても分析の対象とした。

また、【課題①～⑤】は、上記の評価分析を補完し、「進化」と「生態系」の関連を意識して設定した。これらによって「優勝劣敗」や「弱肉強食」など生物学上の「誤概念」保持の様相を明らかにすることも分析の対象とした。

第3項 質問紙調査による授業評価

上記の課題評価の分析を補完するものとして、科学的進化概念の理解度に関する質問紙調査（真偽法：○×式）を、「環境と生物：自然界のつり合い」の単元前・後に行った。すなわち、それぞれの質問紙を回収後、その正答数と誤答数を集計し、中学生の「科学的概念」の形成や「誤概念」の保持の様相を検証し、その分析による授業効果も測った。単元前・後における質問紙項目の正答数と誤答数を集計し、正答率の変化みるマクネマー検定を行った。

具体的には、表5のようなア～スの13項目を設定した。このうちア～コの10項目については、このうちア～コの10項目については第2章・第3章と同じ内容である。以上13項目について、それぞれの質問内容を熟語のように簡略化して、結果の表示に役立てた。つまり、アは「弱肉強食」、イは「昆虫の変態」、ウは「ヒトの成長」、オは「技術の進歩」、キは「優勝劣敗」、ケは「獲得形質の遺伝」というようにそれぞれ表記した。これら6項目はすべて誤概念である。このうち、「ア」と「キ」は本章第1節第2項でも述べたが、第2章・第3章における実践研究でも有意差を生じた誤概念である。生物界の「生存闘争」は、往々にして「優れた者・強い者」が選択され、「劣った者」は淘汰されるという曲解が生じ（長谷川，2015）、人間社会の「生存競争」に還元され、優生学の論拠にされた歴史があり、誤概念保持の様相を分析するにはこの2項目は重要となる。

さらに本章第1節第2項でも述べたが、ケの「獲得形質の遺伝」は保持されやすいとされてきた誤概念である。その他、イ・ウ・オは本授業計画にはないが、能力の「成長」や品質の「進歩」は「進化」と表現されやすい。

一方、エは「大量絶滅」、カは「世代性」、クは「環境適応」、コは「遺伝・突然変異」で、どれも科学的進化概念である。このうち「エ」「カ」「ク」は、第2学年「生物の変遷と進化」の単元における既習内容であるが、表2の第6限目の【導入】で触れた内容でもある。しかし、「エ」と「ク」の2項目については、第2章・第3章において天井効果により有意差が出なかった項目である。さらに、「コ」は第6限目の【課題⑥】のB)の内容であり、【課題⑥】回収後に、1学期に履修した「遺伝的変異」について触れた内容である。同じく第6限目の【パフォーマンス課題⑦】では、これら4項目の概念を駆使した、課題追究がなされている。

また、コの「遺伝・突然変異」は、ケの「獲得形質の遺伝」の対立概念であり、第6時限の【課題⑥】に関係している。その他、アの「弱肉強食」は表2の【課題②】や【課題③】及び【課題⑤】に、キの「優勝劣敗」は【課題⑤】や【課題⑧】にそれぞれ関係した内容である。

加えて、本章における実践研究においては、「生態系の多様性」に関する内容から、サ～スの3つの質問項目を設定した。サは「生態系の定義」に関する質問で、表2の第1時限目にあたる学習内容であり、シは「多様性の進化」で【課題⑧】に関連し、どちらも科学的概念である。スは「最適者生存」という造語である。「適者生存 (survival of the fittest)」は「生存闘争 (struggle for existence)」と共に、生物学の教科書では馴染みのある用語で

あり、正答と考えられる (Darwin, C., 1952)。しかし、先にも述べたが、我が国では明治期に「進化論」が受容され、「自然淘汰＝生存競争」、「適者生存＝優勝劣敗」と解釈されてきた過去がある。その上、環境が激変すれば、最も「優れた者・強者」が生き残るとは限らない。さらに、「適応して生き残った者」が万能とも限らない。そこで、「最」の接頭辞を付けて、「適者生存（正）」との差別化し、誤概念として質問紙に加えた。これは【課題⑤】と【課題⑧】、及び【パフォーマンス課題⑦】にも関連している。

表 5 質問紙調査（真偽法）：単元前・単元後調査（名倉・松本，2018a より改変）

次のア～スのうち、正しいと思うものには○を、間違っていると思うものには×を書きなさい。

- ア. 生物進化の世界では、かならず強いものが弱いものに勝ち、強いものが生き残っていく。
- イ. 昆虫では幼虫→さなぎ→成虫と、ヒトでは赤ん坊→少年→大人と、「進化」して成長していく。
- ウ. 「鈴木一郎」選手は、プロ野球入団後2年目に「イチロー」と名乗ってから活躍が始まり、さらに大リーグに移籍後も彼の能力は「進化」し続けている。
- エ. 地球上の生物は何億年も大昔から「進化」し、動物では地質年代の順に三葉虫、恐竜、マンモスと変遷（変化）してきた。
- オ. 電話はグラハム・ベルが発明してから、手回し式→ダイヤル式→プッシュホン→ケータイ電話→スマートフォンと「進化」し続けている。
- カ. 「進化」とは一世代で起きる変化ではなく、長い世代をへて起きる変化である。
- キ. どんな生物でも、長い年月のあいだにすぐれた性質をもつものに「進化」してゆく。
- ク. まわりの環境が変化すると、それにあった性質をもつ生物が生き残っていく。たとえば、恐竜は寒い環境に「適応」できなかったので、絶滅したと言われている。
- ケ. 生物の「変異」は生きている間に起こり、その「変異」が次世代に受け継がれていくことにより「進化」が起こる。
- コ. 生物の「変異」は新しく生まれ出るときに起こり、その「変異」した生物がその時代の環境に「適応」し、数多く生き残ることにより「進化」していく。
- サ. 生態系とは、ある場所に生活する生物とそれをとり巻く環境を1つのまとまりとしてとらえたものであり、水や大気、光、土など生物をとり巻いている環境もふくめてよい。
- シ. 推定150万種と言われる多様な生物が現存しているのは、約38億年前に現れたたった1つの型の生命体が、長い年月をかけて多様に「進化」してきたからである。
- ス. それぞれの環境に適応した形態や生活様式を持つ生物が、生き残ってきたため、現在多様な生物種が存在する。つまり、これらの生物はどんな環境にも対応できる能力をもっている。

(以上13問)

第5節 結果と分析

第1項 各課題による授業評価・分析

第1 【パフォーマンス課題⑦】における評価・分析

分析にあたり、本授業計画（表2）の第7限における【パフォーマンス課題⑦】（図2）については、表6にその集計結果を掲載し、表7にはその回答例を掲載した。表6は第7限における修正後のパフォーマンス評価結果であるが、A以上が55人中44人であった。この要因として、第7限目に「修正の機会」などの「形成的評価」の要素を確保したことが考えられる。また、「獲得形質の遺伝」を用いた説明は、A・B評価の生徒に3人見られた。ただし、「～のために変異した」など目的論的な進化を記入した者が10人いた。

杉本（2014）は大学生と小学生の進化に関する素朴概念を調査した結果、小学生に「ラマルキズム」や「目的論的説明」が多く、大学生にも存在したことを報告している。今後、進化に関する理解について、中学生・高校生に対する調査研究も必要であると提言している。

池田（2012）によると、「生物は環境が変化した結果としてその環境に適応するのではなく、むしろまず形質（形態や行動）が変化した結果、もっとも生きやすい環境に進出した」と考える「能動的適応」を提唱している。このような見地から、「目的論的説明」に取り立てて目くじらを立てる必要はないかもしれない。しかし、「獲得形質の遺伝」に見られるような「意志」や「願望」による進化はなく、進化は無目的に起こる。よって、「目的論的説明」は誤概念に起因すると考えられる。実際、後述する本章第5節第2項における質問紙

表6 【パフォーマンス課題⑦】の評価結果（2019年2月2学級：N=55）

修正後の評価結果		S	A	B	C	計(N)
		17	27	10	1	55
自然選択説による説明仮説数	適応	17	26	10	0	53
	遺伝的変異	17	19	0	0	36
	選択	17	9	0	0	26
獲得形質の遺伝による説明仮説数	努力・意志など	0	1	2	0	3
	目的(～のために)	0	3	7	0	10

調査による分析結果においても、この「目的論的説明」は「獲得形質の遺伝」における最終正答数に影響したと思われる。

一方で、表6よりS評価の生徒には「目的論的説明」は見られない。これは、「自然選択」を用いた仮説を説明することによって、「獲得形質の遺伝」による説明を抑えている結果であると考えられ、先の本論文の第3章における「生物の変遷と進化」の単元開発による検証結果が示唆する結果と一致する（名倉・松本，2018b）。

表7 【パフォーマンス課題⑦】の回答例（2019年2月2学級：N=55）

<p>◆自然選択説で「ゾウの鼻の進化仮説」を説明する正答例</p> <p>ゾウの祖先の中から、たまたま少し鼻の長いゾウが生まれた（遺伝的変異）。少しでも鼻の長い個体の方が草原に生える草や、沼地の水を飲みやすく（適応），その遺伝子は生存に有利なため次世代に受け継がれ，少しずつ鼻の長いゾウが生物集団に増えていった（選択）。長い鼻は生存と繁殖に有利なため，長い年月の間にさらに鼻は長くなり現在に至っている。</p> <p>◆意志・目的・努力など「獲得形質の遺伝」での誤答例</p> <p>■環境は自分で選べないから，自分たちが変わらないと生きていけないので，ゾウたちは変わっていったと思う（TK女）。 ■ゾウはやっぱり小さいのは嫌だと思って元のマンモスの体形に変わって戻ったのだ（TY女）。 ■ゾウの子どもは親が鼻で餌を取るのを見て，子どもの鼻が発達していき，それが遺伝して，今ではゾウの鼻が長くなっている（NN女）。</p>
--

第2 【課題⑧】におけるルーブリック評価・分析

【課題⑧】の評価集計結果を表8に掲載した。A評価は過半数には届かなかった(45.3%)。A評価の生徒は、表1上段の「到達目標」である「生態系の多様性」と「種多様性」を「進化」で、3点がスムーズにつながるように記述していた。B評価の生徒は、3点のうち2点は記述していたが、あとの1点は未記入だったり、内容を十分に把握できていなかったり、「到達目標」そのままの羅列であったり、今一步であった。C評価の生徒は「言える・言えない」のみの端的な記述や、「到達目標」や「ルーブリック」を参照せずに記入していた。

表8 【課題⑧】のルーブリック評価結果（2019年2月2学級：N=53）

「生態系の多様性」と「進化」を結ぶ課題	A	B	C	計(N)
	24	21	8	53

表9 【課題⑧】におけるA評価回答例（2019年2月2学級：N=53）

■YH男 多様な自然環境は生物進化に大きな影響を与えた。環境が変化すれば、その環境で生き残るために必要な能力も違ってくる。適応できない個体は死滅し、適応した個体は生き残り、繁殖していく。たとえ食物連鎖の頂点にいるものでも、絶滅するかもしれない。だから、優れた生物が生き残るとは言えないし、生物には優れているも劣っているもないと思う。

■HA女 1種類の生物から偶然生まれた生物がどんどん変異することで生物進化が起こり、多様な生物が現れた。その環境の中で適応することのできなかつた生物は絶滅し、生き残ることのできた生物がいるからこそ、今の生態系があると思う。能力が優れた生物でなくても、生き残れる環境があれば次の世代に引き継がれ、そのような進化と絶滅をくり返すことで生態系が成り立っている。多様な自然環境や生物種を守るには、人的影響を抑制する必要がある。

■TM男 優れた者でも食べ物がなくなってしまえば、一緒に死んでしまうから、優れた者だけが生き残ったとは言えない。しかし、現在の多様な生物種は、多様な自然環境における長い年月にわたる進化の結果である。とするならば、現存の生物はあらゆる環境に対応して生き残っているから、現存の生物は優れた者が生き残っていくと思う。つまり、進化しながら生き残ってきたからである。

■NH男 どちらともいえない。今の生態系では優れた生物の方が生き残りやすい。しかし、反面、生態系の中には劣った生物もいると思う。現存の多様な生物種が、進化の結果であるなら、その劣った生物は優れた生物に負けないように長い年月にわたり、進化して適応した。食べる食べられる関係があるように、どの生物もその環境に適応しているが、優れているとは言えない。

■KK女 優れた者だけが現代で生き残ったというのは半分正解で、半分不正解だと思う。人間が学習して同じ過ちをおかさないようにするのと同じで、生物は長い年月をかけてより環境に適応できるように進化してきた。不用なものは退化し、環境に適応する器官をもって生まれてきた生物がその時代で生き残ってきた。したがって、優れた者だけが生き残る。しかし、絶滅した生物が適応できる環境がやってくるかもしれないから、生き残った者だけが優れていた、強いというのとは違う。私たちが今生息しているのは、過去に進化を繰り返してきた生物のお陰だ。多様な自然環境があれば、その数だけ変化があり、そこから進化が生まれる。

■MS男 優れた生物という定義が、どんな環境にでも適応して生きていける生物だというものなら、優れた者だけが現代まで生き残ったと言えると思う。地球は何度も環境が変化していて、最強の生物だった恐竜は寒さで絶滅してしまった。恐竜と比べると圧倒的弱者だった哺乳類たちは、寒さを乗り越えて生きている。なので、強い生物が必ず生き残るのではなく、生物の進化・変異の中で運よく、その環境に適応できた生物が現代まで残っている。

(※アンダーラインは、その記述から思考のプロセスが分析できるとされる箇所を示す。)

先の本節第1項第1における【パフォーマンス課題⑦】に比べて、「生徒発表」、意見交換による「相互評価」や「自己評価」、「作品再考」などの「修正の機会」、すなわち「形成的評価」の要素を設けなかったことが、これらの原因であると考えられる。

表9には、そのA評価の生徒(24人)のうち、表1の2観点だけでなく、「優れた者が生き残るのに有利かどうか」についても、具体的に言及した8人の回答例を掲載した。

例えば、表9のYH男やHA女は「必ずしも優れた者が生き残るとは限らない」という模範例である。他方、TM男は「優れた者だけが生き残らない」としながらも、適応進化した「現存の生物は優れていた」ため「今後も生き残りやすい」と述べていた。さらに、NH男は上記のTM男と同様の記述内容であるが、結論として「どちらでもない」と回答していた。KK女も同様に「半分正解で半分不正解」と記入していたが、詳細に追うと、文の前半部の「適応」は「学習」など一生の間の変化と捉えていることがわかる。

つまり、前半では「獲得形質の遺伝」を支持し、結論を「優れた者が生き残る」としている。しかし一転、後半部は「過去の絶滅」から逃れた者が「優れていたとは限らない」と意見が揺れている。そもそも「適応」という生物学概念を、日常概念の「社会適応」と混同し、「適応できた者」を「優れた者」と解釈したことが、このような混乱が生じた原因ではないかと思われる。それ故か、MS男は「優れた生物」の定義、すなわち「どんな環境にも適応できる生物」という定義づけに着目して議論を組み立てていた。今後はこのような定義をしっかりと提示した上で、【課題⑧】の問いかけ方を設定する必要があると考えられる。以上、生徒の記述内容による質的分析から、「優れた者が生き残り、劣った者が淘汰される」という「優勝劣敗」などの誤概念は、やはり想起されやすく、かつ保持されやすいものであることが導き出された。

第2項 質問紙調査による分析

「生物と環境：自然界のつり合い（以下「生態」と略記）」の単元前・後における質問紙13項目(表5)について、正答数と誤答数を表10のように集計し、正答者の比率の変化を判定するマクネマー検定を行った。その結果、5項目(ア・イ・ウ・ケ・コ)において5%水準で有意差が生じた。

このうち、アの「弱肉強食」については、本章第1節第2項や第4節第2項でも述べたが先行研究において有意差がなかった項目であり、「強者が生き残る」とは限らないが、想起しやすい誤概念の1つと思われる。ここで明確な有意差が生じた原因は、本研究において「生態」単元で実施したことが大きく作用していると考えられる。なぜなら、この単元では「自然界のつり合い」や「生態系のピラミッド」など、生物同士がどのように関わり合っているかを学んだためである。例えば表9の生徒による【課題⑧】の記述例から、「食べる食べられる関係(NH男)」と、「食物連鎖の頂点(YH男)」でも絶滅の危機があることを理解し、「恐竜と比べると圧倒的に弱者だった哺乳類(MS男)」が現代まで生き残ってきた事実を学んだからであろう。さらに、表2の【課題①～⑤】では、「生態系

の数量関係」や「系統図を用いた多様性の進化」に気づかせながら、幾度も「生き残りに有利な生物」について問いかけを行ったためであると思われる。

イ・ウの2項目は本章の授業計画(表2)には含まれず、有意差が見込まれていなかったが、学習するうちにイの「昆虫の変態」やウの「ヒトの成長」は生物進化ではなく「成長」や「上達」と容易に理解したと考えられる。また、ケの「獲得形質の遺伝」や、コの「遺伝・突然変異」の2項目の有意差については、表2の【課題⑥】と【パフォーマンス課題⑦】が有効に作用していると考えられる。つまり、【課題⑥】において「獲得形質の遺伝(ラマルク説)」と「遺伝・突然変異(ダーウィンらの進化の総合説)」を対峙させた後、【パフォーマンス課題⑦】で「自然選択説(進化の総合説に含まれる)」を用いた仮説を考察したことが有効に働いていると思われる。つまり、先の本章第1節第2項で述べた第3章(第2学年「生物の変遷と進化」単元開発)における考察が示唆する結果と一致し(名倉・松本, 2018b)、本章第5節第1項第1で述べた「【パフォーマンス課題⑦】における評価・分析」結果と共に、本研究において開発した「自然選択説」を用いて「ゾウの鼻の進化」仮説を推論するパフォーマンス課題の有効性が明らかになった。

一方、有意差のなかったのは、8項目(エ・オ・カ・キ・ク・サ・シ・ス)であった。

まず、エの「大量絶滅」の検定結果に有意差がないのは、先行研究によると、学年が進むにつれ「系統図」などを取り入れると、「三葉虫⇒恐竜⇒マンモス」のような直線的進化はあり得ないと考える生徒が多くなることが原因であると考えられる(名倉・松本, 2018b)。本研究においても、第8限目に「系統図」を用いて、【課題⑧】を考察させているため、先行研究同様の結果が出たものと思われる。

オの「技術の進歩」の最終正答者は表10より16人と少なかった。携帯電話は生物ではないが、世代をつないでいくため、生物進化と混同されたのではないか。この結果の原因は、携帯電話の機能はどんどん「優れた」方向に「進歩」するため、「進化」と誤解されやすいのではないかと考えられ、今後の検討課題である。

次のカの「世代性」とクの「環境適応」については、天井効果によるものと考えられる。

キの「優勝劣敗」については、1.2の「科学的進化概念・誤概念からの問題提起」で述べたように、先行研究同様、ここでも想起かつ保持されやすい誤概念であることが確認され、今後の課題が残された。

次に、サの「生態系環境」やシの「生命の起源」については単元前から正答者が多いが、漸増していることから、理解はさらに進んだと考えられる。しかし、「サ」については、生態系には「大気や光などの無機環境」も含むという点が誤答の原因かもしれない。「生態」という言葉が、「生物環境」として捉えられているのなら、今後の指導課題となる。

「シ」については、「推定150万種」や「約38億年前」などの数字が正答を妨げたのかもしれない。これらの数値には諸説があるが、「たった1つの型の生命体」にあるのであれば、「系統的な進化」の理解が進んでいないことになり、これも今後の検討課題である。今後問いかけ方や、「サ」・「シ」に関する適切な【課題】を準備する必要がある。

残るスの「最適者生存」に関しては、先の第4節第2項でも述べたが、我が国では「適者生存=優勝劣敗」という社会進化論的な図式で、西洋から「進化論」を受容した経緯がある。生物学的な「適者」とは「優れた者」という意味ではなく、偶然その時代の環境に

適応した者が運よく生き残り，その遺伝子が次世代に受け継がれていった生物のことである。環境が変われば，その遺伝子が最適とは限らない（吉川，2014）。

それでも生徒たちには，現存の生物は生き残れる遺伝子をもつに至った「優れた者」に映った可能性がある。それを示唆するものとして，先の第5節第1項第2でも分析したが，表9の【課題⑧】でTM男が「優れた者だけが生き残るとは限らない」としながらも，「現存の生物は優れた者が生き残っている」と矛盾する回答をしていたことから推測される。換言すれば，現存する生物は最適者が生き残った結果であると生徒たちは考えていたと思われる（KK女の記述も同様）。「最適者生存」も「優勝劣敗」と同様に想起かつ保持されやすい誤概念であることが明らかになった。

表10 質問紙調査による分析結果（2019年2月2学級：N=52）

各質問項目	単元前〔人〕		単元後〔人〕		χ^2 値	マクネマー χ^2 検定結果
	正答数	誤答数	正答数	誤答数		
ア 弱肉強食(誤)	21	31	42	10	17.64	**
イ 昆虫の変態(誤)	31	21	40	12	9.00	**
ウ ヒトの成長(誤)	27	25	35	17	4.57	*
エ 大量絶滅(正)	39	13	38	14	0.05	n.s.
オ 技術の進歩(誤)	10	42	16	36	1.67	n.s.
カ 世代性(正)	50	2	50	2	0.00	n.s.
キ 優勝劣敗(誤)	24	28	28	24	0.73	n.s.
ク 環境適応(正)	46	6	51	1	3.57	n.s.
ケ 獲得形質の遺伝(誤)	24	28	37	15	8.05	**
コ 遺伝・突然変異(正)	34	18	45	7	5.76	*
サ 生態系環境(正)	36	16	44	8	3.56	n.s.
シ 生命の起源(正)	39	13	44	8	1.67	n.s.
ス 最適者生存(誤)	35	17	36	16	0.06	n.s.

df=1 $\chi^2_{.05}=3.841$ (* $p<0.05$) $\chi^2_{.01}=6.635$ (** $p<0.01$) n.s.(not significant)
 ※各項目の()内の正・誤はそれぞれ科学的概念・誤概念を示す。

第6節 本章のまとめ

本章（第4章）の中学校第3学年「環境」領域（「生物と環境」の単元）における実践研究によって、次のことが明らかになった。

各課題の記述内容についての分析結果から、明らかになったのは次の2点である。

- (1) 「自然選択説」を用いた仮説を推論するパフォーマンス課題では、「適応・遺伝的変異・選択」のうち2つ以上を使って説明できる生徒は55人中44人（A評価以上）であった。この原因は、「自然選択説」を用いることによって、誤概念である「獲得形質の遺伝」の記述が少数にとどまったことであると考えられる。
- (2) 「生態系の多様性」と「種多様性」を「進化」で結ぶ【課題⑧】においては、A評価以上が53人中24人とどまった。この結果は「修正の機会」などの確保の有無が考えられる。

次に質問紙調査による分析から、明らかになったのは次の3点である。

- (1) 先行研究では払拭されなかった誤概念である「弱肉強食」において、「生態」単元後の正答数において有意に増加が見られた。つまり、「強者は生存、弱者は淘汰」という誤解は、この「生態」単元の授業によって払拭されたようにみえる。
- (2) 上記の課題分析と同様に、「獲得形質の遺伝」においても有意に正答数が増加し、その対立概念と思われる「遺伝・突然変異」についても同様の結果が得られた。これらは毎時に設定した各【課題】が有効に働いたことが示唆される。
- (3) 他方、「優勝劣敗」や「最適者生存」などの正答数は有意に増加しなかった。我が国は海外から、「適者生存」を「優勝劣敗」として「進化論」を受容した経緯がある。それ故「優れた者が劣ったものを駆逐する」といったイメージを抱きやすい（吉川，2014）。これが「優勝劣敗」などの誤概念保持に影響しているのではないか。ただし、本論文の第1章の単元開発（第1学年「生物」領域「生物の観察」単元）では、タンポポの外来種・在来種・雑種を用いた考察によって、「優勝劣敗」の正答者が有意に増えている（名倉・松本，2019）。この第1章の検証結果から、教材の提示の仕方によって誤概念払拭が可能なことを示唆している。おそらく、この第1学年における「タンポポ」の教授・学習過程においては、タンポポの「種」「遺伝的変異」「環境生態系」など、本章の図1における3つの多様性がすべて含まれているからであると推察し得る。

新学習指導要領では本稿における「生態」単元と、「進化」と「遺伝」の単元がすべて3年次に配置された。今後、図1に示すように、3つの単元における「生物多様性」に関するカリキュラム開発を通じた分析を行い、誤概念保持の要因を探り、効果的なカリキュラムのあり方を工夫していく必要がある。加えて、第1学年から第3学年まで継続した授業計画によるカリキュラム開発の必要性を示唆する結果であった。

註及び引用・参考文献

1) 中学校第3学年における「(7) 自然と人間」の大単元の中には、「(ア) 生物と環境」の中単元があり、その中単元は「㊦自然界のつり合い」と「㊧自然環境の調査と環境保全」の小単元で構成されている。「㊦自然界のつり合い」では、「微生物の働きを調べ、植物、動物及び微生物を栄養の面から相互に関連付けてとらえるとともに、自然界では、これらの生物がつり合いを保って生活していることを見いだすこと」という目標が示されている。さらに、「㊧自然環境の調査と環境保全」では、「身近な自然環境について調べ、様々な要因が自然界のつり合いに影響していることを理解するとともに、自然環境を保全することの重要性を認識すること。」とという目標が掲げられている。すなわち、この2つの目標が共に達成されたかを「(ア) 生物と環境」の単元では問われていることになる。しかしながら、㊦の「自然界のつり合い」に関する「単元目標」は、表2の第1～5限の学習内容そのものであり、表1上段の「到達目標」にも含まれている。すなわち、表2の「学習計画」の第1～5限において「自然界のつり合い」「微生物を含めた生態系」について、その「単元目標」は表2の5時間の授業の中に十分含まれていると考えられる。そこで、図3の最下段にもそのことを記載した。

一方、㊧のねらいは本研究における単元開発での検証対象にはしていない。なぜならば、表2の本授業計画（全8時間）終了後、「㊧の自然環境の調査と環境保全」の授業（全4時間）を実施した後に、到達したかどうかの検証ができるため記載しなかった。ちなみに、「(㊧)」の授業計画（全4時間）の最終時間で、「環境調査・環境保全」に関する「今後も自然と人間が共存を続けていくためには、どのようなことが必要だろうか？・・・次の世代を担うあなたたちができることを考えてみよう（【課題㊨】）」を生徒に与え、評価を加えている。しかしながら、本研究では新奇性のある部分のみ論文として集約し、掲載したため、このような評価結果は除外した。

Darwin, C. (1952). *The Origin of species*. In Hutchins, R. M. (Eds). *Great books of the western world*. 49:1-251, Chicago, IL: Encyclopedia Britannica, Inc.

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』第42巻，第1号，1-11.

長谷川真理子（2015）『ダーウィン種の起源（100分で名著）』NHK出版.

池田清彦（2012）『生物多様性を考える』中央公論新社.

文部科学省（2008）『中学校学習指導要領』

文部科学省（2017）『中学校学習指導要領』

本川達雄（2015）『生物多様性－「私」から考える進化・遺伝・生態系－』中公新書.

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』第47巻，第2号，51-63.

名倉昌巳・松本伸示（2018a）「形成的評価を加味したパフォーマンス課題を取り入れた理科授業開発」『理科教育学研究』第58巻，第4号，355-365.

名倉昌巳・松本伸示（2018b）「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』第59巻，第2号，205-215.

- 名倉昌巳・松本伸示（2019）「中学校新入生に『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』第60巻，第2号，397-407.
- NHK for school (2019)「クリップ」Retrieved from <http://www.nhk.or.jp/school/clip/> (accessed 2019.04.08).
- 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－教育学部』第4号，33-50.
- 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.
- Trefil, J., Calvo, A. R., & Cutler, K. et al. (Eds.). (2007). *Life Over Time: McDougal Littell Science*, Evanston: Houghton Mifflin Company.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A, Minorsky, P. V. (2017). *Campbell Biology (11th Edition)*. 池内昌彦・伊藤元己・箸本春樹・道上達男（監訳）（2018）『キャンベル生物学（原書11版）』丸善出版.
- 塚田捷ら（2018）『未来へひろがるサイエンス3』（中学校理科用）啓林館.
- 吉川浩満（2014）『理不尽な進化－遺伝子と運のあいだ－』朝日出版社.
- 米本昌平・松原洋子・櫛島次郎・市野川容孝（2004）『優生学と人間社会』講談社現代新書.
- 渡辺正雄（1991）「進化論への対応－日本的受容の諸段階－」『文化としての科学』丸善，293-299.

終章 本研究のまとめと今後の課題

本章では、本論文における第1章から第4章までの各章において開発した単元について、その授業評価の結果を総括し、それぞれ課題分析（質的分析）と質問紙調査（量的分析）に分けて本研究における各検証成果を検討した。

特に、生物界では「優れたものが劣ったものを駆逐する」とする「優勝劣敗」や、それに類似した強者の論理である「弱肉強食」などの誤概念が科学的概念に転換する授業計画を浮かび上がらせ、中学生の誤概念の払拭がどのような教授・学習過程においてなされたかについて検討を行った。

加えて、検討の結果から得られたカリキュラム開発の関する知見を総括し、さらに、その知見から生じる問題点を洗い出し、今後の理科カリキュラムのあり方についての提言を行った。

第1節 研究の成果

第1項 各章の課題分析による検証成果

第1章の中学校第1学年「生物」領域（「生物の観察」単元）における実践研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2019）。

各課題の記述内容についての質的分析結果から、明らかになったことは次の3点である。

- (1) 単為生殖の雑種が出現した意味を問うことによって、世代的な因果を含む「系統樹思考」をしていたことがわかった。
- (2) 原生生物の観察と、動物性や植物性の「分類」、加えて「系統図」を用いた学習から、進化による「生物多様性」の由来を理解したことも明らかとなった。
- (3) 本授業計画における一連の課題追究によって、新入生の進化学的な思考（進化思考）を促進したことがわかった。

第2章の中学校第1学年「地学」領域（「地層の重なりと過去の様子」単元）における研究によって、次のことが明らかになった（名倉・松本，2018a）。

パフォーマンス課題（「脊椎動物の陸上進出」の仮説）による分析から、明らかになったことは次の4点である。

- (1) 生徒発表や再考、修正の機会など「形成的評価」による授業計画が中学生の課題追究において興味を持続させ、生徒の言語活動を少なからず促進したことが示唆される。
- (2) 「到達目標」や「ルーブリック」において、「パフォーマンス評価」と「理由付け」の

両者を適切に関連付けたパフォーマンス課題の改善が必要である。

- (3) パフォーマンス課題（絵・文）と、その提示以前に付随した各「本質的な問い」が、相互に関連し合って深く考えることにつながった。
- (4) B・C評価の生徒の中には、「海から陸に出ようとして努力した結果が後の陸上進出につながった」とする「目的論」的な記述、すなわち「獲得形質の遺伝」に類する記述が存在した。

第3章の中学校第2学年「生物」領域（「生物の変遷と進化」単元）における研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2018b）。

パフォーマンス課題の記述内容についての質的分析結果から、明らかになったことは次の1点である。

- (1) パフォーマンス課題（「キリンの長い首」の進化仮説）の評価結果から、中学生の「自然選択説」や「突然変異説」による説明数が修正後に過半数を超え、開発効果を示唆する結果が得られた。パフォーマンス課題実施において「形成的評価」を含む修正の機会が与えられたことが、この成果の一因であると考えられる。

「キリンの首が長くなったのは、高い場所にある木の葉を食べようとして首を伸ばしていったため」という「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」による説明に陥りやすいという事実からも、この単元開発における成果は注目に値する。

第4章の中学校第3学年「環境」領域（「生物と環境」の単元）における研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2020a）。

各課題の記述内容についての分析結果から、明らかになったのは次の2点である。

- (1) 「適応・遺伝的変異・選択」を用いて進化仮説を推論するパフォーマンス課題（「ゾウの長い鼻」の進化仮説）においては、「進化の総合説（その中心は自然選択説）」を用いることが、誤概念である「獲得形質の遺伝」による説明を抑えていると考えられる。
- (2) 「修正の機会」などの「形成的評価」の確保の有無が高い評価に結びついていることが考えられる。

以上の課題分析による知見の共通点をまとめると、以下の5点となる。

- (1) 「生物多様性」による進化を理解するためには、形態的に「分類」するだけでなく、時間的・世代的な視点による「系統図」を用いた教授法が効果的である。
- (2) 生徒発表や再考、修正の機会など「形成的評価」を授業計画（単元開発）に加味することが、より深い理解や言語活動を促進すると考えられる。
- (3) 「到達目標」や「ルーブリック」を明確にしたパフォーマンス課題が有効であることは従前の通りであるが、「絵」と「文」で表現したり、「形成的評価」を加味したりすることによって、一層効果的に考察に導くことができると考えられる。
- (4) 各単元開発において、パフォーマンス課題などの中心的な課題を実施する以前に配置された「本質的な問い」が、相互に関連し合って深く考えることにつながっていると考えられる。

- (5)「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」と「自然選択説（ダーウィン説）」を対峙させて、2項対立による認知的葛藤を引き起こしながら矛盾を解決してゆくような課題設定が、科学的概念理解に有効である。

第2項 質問紙調査による検証成果

第1章の中学校第1学年「生物」領域（「生物の観察」単元）における実践研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2019）。

質問紙調査による分析から、明らかになったことは次の2点である。

- (1)「優勝劣敗」に有意差が生じたことは特筆に値する。なぜなら、「優れたものが劣ったものを駆逐する」というイメージは想起されやすいからである（吉川，2015）。この要因は第1章の授業計画における「タンポポ雑種の推論」などの課題追究による一定程度の効果と考えられる。
- (2)有意差がなかった「弱肉強食」や「世代性」の理解については、今後の上級学年での「生物進化」や「遺伝」の学習によって、その払拭の成果が期待される。

第2章の中学校第1学年「地学」領域（「地層の重なりと過去の様子」単元）における実践研究によって、次のことが明らかになった（名倉・松本，2018a）。

質問紙調査による分析から、明らかになったことは次の3点である。

- (1)「昆虫の変態」「ヒトの成長」「技術の進歩」「世代性」「獲得形質の遺伝」「遺伝・突然変異」の6項目について、単元授業後の正答率において有意に増加がみられた。すなわち、これらの6つの進化概念については、「地学」領域の授業計画によって生徒の科学的概念理解の形成を促したことが示唆される。特に、先行研究において保持されやすいとされてきた、「獲得形質の遺伝」において有効であったことは特筆すべきことである。
- (2)「弱肉強食」「優勝劣敗」の2項目については有意差が出なかった。この中学校1年「地学」領域の単元ではこれらの2項目について理解促進を図る仕掛け、すなわち「本質的な問い」は計画されていなかったためである。
- (3)「大量絶滅」「環境適応」の2項目については、質問紙調査前に既に学習されていたため授業前から正答率が高く、天井効果がうかがわれる。

第3章の中学校第2学年「生物」領域（「生物の変遷と進化」単元）における研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2018b）。

質問紙調査による分析から、明らかになったことは次の3点である。

- (1)「昆虫の変態」「ヒトの成長」「技術の進歩」「世代性」「獲得形質の遺伝」「遺伝・突然変異」の各6項目について、単元授業後の正答数において有意に増加がみられた。これらは、上記の「地学」領域における授業計画によって生徒の科学的概念理解の形成を

促したことが示唆される。

- (2) 「獲得形質の遺伝」は、「地学」単元後に正答数がやや低下していたが、再び「生物」単元の授業によって正答数が増加した。これは「生物」領域の授業計画において、「自然選択説」による説明仮説がなされたことが一因であると考えられる。「獲得形質の遺伝」は先行研究において中学生から大学生のどの段階においても根強く保持されやすいとされてきたものである。しかしながら、この先、再度概念剥離が起き、元の想起しやすい誤概念にもどる可能性も否めない。
- (3) 誤概念である「弱肉強食」や「優勝劣敗」における一定数の理解は得られたが、根強い保持の状況も明らかになった。これは、「優れたものや強いものに進化する」という誤解から生み出されるものと考えられる。

第4章の中学校第3学年「環境」領域（「生物と環境」の単元）における研究によって次のことが明らかになった（名倉・松本，2020a）。

質問紙調査による分析から、明らかになったのは次の3点である。

- (1) 第1章から第3章までの授業計画において払拭されなかった誤概念である「弱肉強食」において、第4章の「生態」単元後の正答数において有意に増加が見られた。つまり、この「生態」単元の授業によって、「ダーウィン進化論は『弱肉強食の論理』と解釈する誤解（長谷川，2015）」が払拭されたと思われる。
- (2) 「獲得形質の遺伝」においても有意に正答数が増加し、その対立概念と思われる「遺伝・突然変異」についても同様の結果が得られた。このことから本第4章の授業計画において毎時に設定した各【課題】が有効に働いたことが示唆される。
- (3) 他方、「優勝劣敗」や「最適者生存」などの正答数は有意に増加しなかった。我が国は海外から、「適者生存」を「優勝劣敗」として「進化論」を受容した経緯がある。それ故「優れた者が劣ったものを駆逐する」といったイメージを抱きやすい（吉川，2014）。これが「優勝劣敗」などの誤概念保持に影響しているのではないかと考えられる。

以上の第1章から第4章までの各質問紙調査の検証結果をまとめると表1のようになる。それぞれ、どの単元後において正答数が有意差に増加したかが一覧できるようになっている。特に、ア～コまでの各質問項目は、第2章から第4章まで共通して用いているため、「どの誤概念の払拭がどの学年のどの単元においてなされたか」がわかるようになっている。ただし、各調査対象生徒は同一の場合も、同一でない場合もある。例えば、第1章は2017年度A中学校第1学年生徒、第2章と第3章は2017年度A中学校第2学年同一生徒、第4章は2018年度B中学校第3学年生徒であり、調査対象の中学生は3区分される。そのため、上級学年になるほど各概念の理解度が進むとは限らないことを断っておく。

表1から、特に「誤概念」の保持の様相について、次の5点が明らかになった。

- (1) 「弱肉強食（誤概念）」は、第3学年「生物と環境」単元における「自然界のつり合い」の学習において、その払拭を示唆する効果が現れた。つまり、他の単元学習では、「強いものが弱いものを蹴落とす」という強者の論理は払拭できなかった。
- (2) 「昆虫の変態」や「ヒトの成長」などの誤概念は、比較的どの単元でも払拭しやすい

表1 第1章から第4章までの各質問紙調査による検証結果のまとめ
(ア～コまでの質問項目は、第2章から第4章まで共通)

各質問項目	本研究における各章各領域における単元名			
	第1章 第1学年： 生物の観察	第2章 第1学年：地層 の重なりと過 去の様子	第3章 第2学年： 生物の変遷 と進化	第4章 第3学年： 生物と環境
※以下の(誤)は「誤概念」、 (正)は「科学的概念」を 示す				
ア 弱肉強食 (誤)	n. s.	n. s.	n. s.	**
イ 昆虫の変態 (誤)	—	**	**	**
ウ ヒトの成長 (誤)	—	**	**	*
エ 大量絶滅 (正)	—	n. s. (△)	n. s. (△)	n. s. (△)
オ 技術の進歩 (誤)	—	**	**	n. s.
カ 世代性 (正)	n. s. (△)	**	*	n. s. (△)
キ 優勝劣敗 (誤)	*	n. s.	n. s.	n. s.
ク 環境適応 (正)	n. s. (△)	n. s. (△)	n. s. (△)	n. s. (△)
ケ 獲得形質の遺伝 (誤)	—	**	**	**
コ 遺伝・突然変異 (正)	—	*	*	*
その他：退化も進化 (正)	*	—	—	—
生態系環境 (正)	—	—	—	n. s.
生命の起源 (正)	—	—	—	n. s.
最適者生存 (誤)	—	—	—	n. s.
有意差ありは「* (5%水準)」「** (1%水準)」, 有意差なしは「n. s.」, 「n. s.」のうち天井効果は「△」, 未実施は「—」をそれぞれ示す。				

と考えられ、概念剥離も少ないと考えられる。

(3)「技術の進歩 (誤概念)」については、第1学年「地学」領域(「地層の重なりと過去の様子」単元)における学習が効果をあげ、その後第2学年「生物」領域においても効果は持続していた。これは各単元開発において、単元を貫く「本質的な課題」を配置したカリキュラム設計が奏功したと考えられる。ただし、「生物」単元後の最終正答数は過半数に満たない状況であった。そして、第3学年の「生物と環境」単元の学習においては、別の中学生ながら「ケイタイの進化」の誤概念は保持されていた。このように正答数が増えなかった原因は、近年における「スマートフォン」などは「次世代系・・・」などと表現されていることが一因ではないかと考えられる。

(4)「優勝劣敗 (誤概念)」についても、「弱肉強食 (誤概念)」と同様に「優れたものが劣ったものを駆逐するというイメージ」から払拭が困難であると考えられた。しかしながら、第1学年の「生物の観察」単元において、「タンポポの雑種」を取り上げた学習を展開するうちに、必ずしも「優れたものに進化する」とは限らないことが、中学校新入生に理解できたと考えられる。

(5)「獲得形質の遺伝（誤概念）」は先行研究においても根強く保持されやすいと考えられてきたものであるが、どの単元の学習においても一定の効果をあげたと考えられる。ただし、「～のために」など「目的論的な進化」の説明に陥りやすいことも本研究によって明らかになったため、今後概念剥離が起こることが懸念される。

第2節 4つの単元開発からみたカリキュラム設計

第1項 各章の課題分析による検証成果からみたカリキュラム設計

繰り返しになるが、先の本章第1節第1項における「各章の課題分析による検証結果」から、以下の5点が導き出された。

- (1)「生物多様性」による進化を理解するためには、形態的に「分類」するだけでなく、時間的・世代的な視点による「系統図」を用いた教授法が効果的である。
- (2)生徒発表や再考、修正の機会など「形成的評価」を授業計画（単元開発）に加味することが、即時的フィードバックにより深い理解や言語活動を促進すると考えられる（Bransford, Brown & Cooking, 2000）。
- (3)「到達目標」や「ルーブリック」を明確にしたパフォーマンス課題が有効であることは従前の研究知見と一致するが（Wiggins & McTighe, 2005）、「絵」と「文」で表現したり、「形成的評価」を加味したりすることによって、一層効果的に考察に導くことができると考えられる。
- (4)各単元開発において、パフォーマンス課題などの中心的な課題を実施する以前に配置された「本質的な問い」が、相互に関連し合って深く考えることにつながっていると考えられ（Wiggins & McTighe, 2005）、そのような単元を貫く「本質的な問い」を多数考案し、授業計画に組み込んだことが好結果につながったと思われる。
- (5)「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」と「自然選択説（ダーウィン説）」を対峙させて、2項対立による認知的葛藤を引き起こしながら矛盾を解決してゆくような課題設定が、科学的概念理解に有効であると考えられる。

以上の「各章の課題分析による検証結果」を「カリキュラム設計」の視点から、本研究において得られた知見を総括すると、以下の4点に絞られる。

- (1)「系統図」を用いた授業を授業計画の後半に挿入して、カリキュラム設計することが「生物多様性」の理解促進に有効である。
- (2)「形成的評価」の要素をカリキュラムの中に加味することが深い概念理解などを促進

すると考えられるが、特にパフォーマンス課題などの中心となる課題の前・後に配置するような授業計画を組むことが有効となる。

(3) パフォーマンス課題などの中心的な課題に至るまでに、「到達目標」として設定した科学概念理解に関連する「本質的な問い」を、授業計画の前半部分に配置してカリキュラムを設計することが有効である。

(4) 単元を貫く「本質的な問い」には、生徒たちに2項対立による認知的葛藤を引き起こすような課題¹⁾を設定することが有効である。

第2項 質問紙調査による検証成果からみたカリキュラム設計

繰り返しになるが、先の本章第1節第2項における「質問紙調査による検証結果」から、以下の5点が導き出された（特に「誤概念」の保持の様相）。

(1) 「弱肉強食（誤概念）」は、第3学年「生物と環境」単元における「自然界のつり合い」の学習において、その払拭を示唆する効果が現れた。つまり、他の単元学習では、「強いものが弱いものを蹴落とすという強者の論理」は払拭できなかった。

(2) 「昆虫の変態」や「ヒトの成長」などの誤概念は、比較的どの単元でも払拭しやすいと考えられ、概念剥離も少ないと考えられる。

(3) 「技術の進歩（誤概念）」については、第1学年「地学」領域における学習が効果をあげ、その後第2学年「生物」領域においても効果は持続していたが、正答数は少なかった。そして、第3学年の「生物と環境」単元の学習においては、「ケイタイの進化」の誤概念は保持されていた。近年における「スマートフォン」などは「次世代系・・・」などと表現されていることが一因ではないかと考えられる。

(4) 「優勝劣敗（誤概念）」についても、「弱肉強食（誤概念）」と同様に「優れたものが劣ったものを駆逐するというイメージ」から払拭が困難であると考えられた。しかしながら、第1学年の「生物の観察」単元において、「タンポポの雑種」を取り上げた学習を展開するうちに、必ずしも「優れたものに進化する」とは限らないことが、中学校新入生に理解できたと考えられる。

(5) 「獲得形質の遺伝（誤概念）」は先行研究においても根強く保持されやすいと考えられてきたものであるが、どの単元の学習においても一定の効果をあげることができた。これは各単元において、ダーウィンらを中心とした「進化の総合説」を対峙させた授業が奏功したと考えられる。ただし、「～のために」など「目的論的な進化」の説明に陥りやすいことも本研究によって明らかになり、今後概念剥離が起こることが懸念される。

以上の「質問紙調査による検証結果」を「カリキュラム設計」の視点から、本研究において得られた知見を総括すると、以下の3点に絞られる。

(1) 「弱肉強食」の誤概念払拭には、第3学年の「生物と環境」単元における「生態系」

に関する学習において、空間的・時間的視点を加味した「生物多様性」を踏まえたカリキュラム設計をすることが有効である。

(2)「優勝劣敗」の誤概念払拭には、第1学年の「生物の観察」単元における「タンポポ」に関する学習において、その雑種由来に関する時間的視点（「系統樹思考」）を加えた「進化思考」を踏まえたカリキュラム設計が有効である。

(3)「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」の誤概念払拭には、対立概念である「進化の総合説」を対峙させることが有効であり、そのような課題²⁾を導入した設計をする必要がある。

第3節 カリキュラム開発に関する提言と今後の展望

第1項 2つの検証成果からみたカリキュラム設計に関する提言

先の本章第2節第1項及び第2項において、中学校理科「生物」「地学」「環境」の3領域4単元にわたるカリキュラム開発における各検証結果から得られた知見は以下の7点であった。

(1)「系統図」を用いた授業を授業計画の後半に挿入して、カリキュラム設計することが「生物多様性」の理解促進に有効である。

(2)「形成的評価」の要素をカリキュラムの中に加味することが深い概念理解などを促進すると考えられるが、特にパフォーマンス課題などの中心となる課題の前・後に配置するような授業計画を組むことが有効となる。

(3) パフォーマンス課題などの中心的な課題に至るまでに、「到達目標」として設定した科学概念理解に関連する「本質的な問い」を、カリキュラム前半部分に配置して設計することが有効である。

(4) 単元を貫く「本質的な問い」には、生徒たちが2項対立による認知的葛藤を引き起こすような課題³⁾を設定することが有効である。

(5)「弱肉強食」の誤概念払拭には、第3学年の「生物と環境」単元における「生態系」に関する学習において、空間的・時間的視点を加味した「生物多様性」を踏まえたカリキュラム設計をすることが有効である。

(6)「優勝劣敗」の誤概念払拭には、第1学年の「生物の観察」単元における「タンポポ」に関する学習において、その雑種由来に関する時間的視点（「系統樹思考」）を加えた「進化思考」を踏まえたカリキュラム設計が有効である。

(7)「獲得形質の遺伝（ラマルク説）」の誤概念払拭には、「対立概念」である「進化の総合説」を対峙させることが有効であり、そのような課題⁴⁾を導入したカリキュラム設計

をする必要がある。

さらに、以上の科学的進化概念の形成をめざした単元開発に関する知見を、より一般化した「カリキュラム設計に関する提言」として総括すると、以下の3点に収束させることができる。

提言 (1) :

教授・学習過程においては「パフォーマンス課題」などの中心的な課題を後半部に配置し、その前・後に生徒発表や再考、修正の機会など「形成的評価」の要素を加味する。そして、その教授・学習過程においては、「到達目標」に迫る「本質的な問い」をカリキュラムの前半から中盤に数種設定する。その際、認知的葛藤を引き起こすために、「対立概念」を含む2項対立の課題⁵⁾を各単元に1~2題程度組み込む。また、このような課題解決にあたっては、協働的な学習によって議論を深めることが肝要である。

提言 (2) :

「生物多様性（遺伝子多様性・種多様性・生態系の多様性）」の理解には、空間的・時間的な視点や、「分類思考」と「系統樹思考」を柱とした「進化思考」などの「理科の見方・考え方」を踏まえたカリキュラム設計を行う。換言すれば、中学校理科「生物・環境」領域においては、「進化」や「生物多様性」を中心概念においたカリキュラム設計の有効性が示唆される。さらに、このような「理科の見方・考え方」を働かせることによって、思考力・判断力・表現力を育成する理科カリキュラムに貢献する可能性を示唆すると思われる。

提言 (3) :

上記の2つの提言に明記したカリキュラム設計に関する提案に従って、序章の図1に示したように、その各単元開発を第1学年から第3学年へボトムアップ的に積み上げていく、5つの単元をむすぶカリキュラム開発が望まれる。そのためには、序章や第4章の図1で提案した中学校第3学年における「遺伝の規則性と遺伝子」の単元開発、すなわち『遺伝』と『進化』を統合した授業計画を開発し、本論文における4つの単元開発と有機的に結びつけることが望まれる。

以上、3つの「カリキュラム設計に関する提言」について、それぞれの立場から得られた「知見と問題点」について、次の第2項で詳しく述べる。

第2項 カリキュラム設計に関する提言から得られた 本研究の知見と問題点

第1 教授・学習過程におけるカリキュラム開発から

上記の本章第3節第1項における提言(1)から見えてきた知見を総括すると以下のようになる。従来の「逆向き設計」理論では、「パフォーマンス課題」をその単元における「総括的評価」として組み込まれていた場合が多かった。しかしながら、本研究においては「パフォーマンス評価」を単元の中心となる「総括的評価」としての面を確保しながらも、「パフォーマンス課題」の前・後に「修正の機会」など「形成的評価」を挟みこんだカリキュラム設計を行ってきた(第2章の図1と図3, 第3章の図1, 第4章の表2)。さらに、「パフォーマンス課題」実施に至るまでにも、「本質的な問い」を配置し、その各時限においても生徒同士が協働的に課題解決を図るため、「相互評価」や「教師による評価」を組み込んできた。このことから、「形成的評価」の要素は毎時のカリキュラムにおいても散りばめられていたことが明らかである。平成29年告示の新学習指導要領では、「主体的・対話的で深い学び」を取り入れた授業改善を行うように改訂された。このような要素を加味したカリキュラム開発を今後も継続して実施しながら、授業評価によって検証し、さらに発展させることが重要であると考えられる。

然るに、本論文において単元開発し、検証した4つの授業計画(第1章～第4章)においては、本来のカリキュラムから各々2～3時限程度超過している。各単元で2～3時限程度であるとは言え、その超過時数をその他の単元で解消しなければならない。理科における年間授業時数105～140時間のうち各単元において2～3時限程度はゆとりを持たせて、教科書は編集されているが、それは「各学期における中間・期末考査」や「校外学習」、「式典」、「進路懇談」等の学校行事を想定していることが多い。そのため、現実にはその2～3時限程度のゆとりも消化されてしまうことが多く、学校現場では授業時間の確保を重視した時間割や月中行事の作成が行われている。理科をはじめ各教科の年間指導計画策定においても、以上のことを念頭に置いて年度初めに作成されている。

したがって、本研究におけるような「形成的評価」や「協働的な学習」を重視したカリキュラム設計を行うに際して、その時数超過による授業時間確保の問題が浮かび上がる。そのため、本研究のような「形成的評価」と「逆向き設計」を組み合わせた単元開発は中学校の各学年において、年間1～2回程度の実施が望ましい。ちなみに、本研究において開発したカリキュラムは、中学校第1学年2単元、第2学年1単元、第3学年1単元であり、この点では筆者の先の見解と合致し、この程度ならば、筆者の勤務校ならずとも現場で実施可能であるし、実際に過去の3～4校程度の中学校において授業実践を敢行してきた。

しかしながら、平成29年告示の新学習指導要領では「生物の種類の多様性と進化」は第3学年に移行することが決まった。すると、中学校第1学年「生物・地学」領域2単元、第2学年はなくなり、第3学年「生物・環境」領域3単元となり、学年によってバラツキが生じることになる。特に、中学校第3学年においては進路指導に関する学校行事が増え、加えて「定期考査」のみでなく、高等学校入試をにらんだ各種「実力テスト」等も増え、

実施困難が懸念される。第1・第2学年に比べて、益々時数にゆとりはない状況にある。このような問題点を解消するためには、各教科・道徳・総合的な学習などを含んだ教科横断的なカリキュラム・マネジメントが必要であると思われる。平成29年告示の新学習指導要領では、「何を学ぶか」「どのように学ぶか」「何ができるようになるか」について、明確な目標を掲げたカリキュラム・マネジメントに着目した改訂となった。本論文の第2章では、第1学年の「地学」領域「地層の重なりと過去の様子」において、「地球の歴史(地史)」に登場する化石や古生物の関する単元開発を提案した。例えば、その授業前・後に社会科(地歴分野)における「人類の誕生・進化」など教科横断的な単元を配置して、他教科とコラボレーションし、さらに「総合的な学習の時間」を使って、近隣の博物館などを見学(博学連携)すれば、教科の授業時間の短縮が図れる可能性が生じる。また、本論文では具体的な提案はしなかったが、第3学年の「遺伝の規則性と遺伝子」においても、確率に関する数学授業とコラボレートして、全く同じ「遺伝的変異」の起こる確率が非常に少ないことを中学生に認識させ、「遺伝的多様性」に気づかせる展開もある(名倉・松本, 2020b)。このような工夫によって、本論文における各単元開発の提案が実現可能になるとと思われる。

第2 「生物多様性」の理解に関するカリキュラム開発から

上記の本章第3節第1項における提言(2)から見えてきた知見を総括すると、以下のようになる。

「生物多様性」の理解については、主に本研究における第1章や第4章などにおいて、空間的のみならず時間的な視点を加えた授業計画を立案し、実践してきた。特に時間的な視点である「生物進化」の考え方が不可欠であることも述べてきた。第1章(中学校第1学年「生物」領域)では身近な「生物の観察」において、分類と系統を組み合わせた「進化思考」を援用したカリキュラム設計を行い(第1章の図1と図2)、中学校新入生の生物多様性の理解に成果をあげることができた。さらに、第4章(中学校第3学年「環境」領域)においては「生物と環境(自然界のつり合い)」単元において、無機環境含めた「生態系」という空間的視点に加えて、時間的視点である「進化」で結んだカリキュラム設計を行い(第4章の図1と図3)、中学校最終学年における「生物多様性」の3つの概念(遺伝子多様性・種多様性・生態系の多様性)を統合することができた(序章の図1)。そして、その単元開発による授業計画によっても生物多様性の理解に成果をあげることができた。

よって、これら一連のカリキュラム開発から見えてきた知見は、中学校理科における「生物・環境」領域の学習において科学的概念理解を図るためには、「生物多様性」と「進化」を中心においたカリキュラム設計が有効であることである。

しかしながら、先にも述べたが、「このような『空間的・時間的視点』、すなわち『理科の見方・考え方』を働かせることによって思考力・判断力・表現力を育成できた」と断言し得るには、本論文における検証だけでは早急であると言わざるを得ない。「理科の見方・考え方」を働かせて、思考力・判断力・表現力を育成するには、さらに本論文による研究成果を踏まえ、新たな教材を開発し、授業評価や検証方法を工夫し、それらを含めたカリキュラム設計を発展させていくことが必要であると思われる。

第3項 今後のカリキュラム設計に関する展望

序章の「問題の所在」において、平成29年告示の新学習指導要領では「生物多様性」の理解が重視されつつあること、「生物の種類と多様性と進化」の第3学年への移行による「遺伝規則性と遺伝子」との単元統合の必要性、並びにそのような単元統合には「遺伝的変異」がキーワードとなること、さらに「理科の見方・考え方」には「空間的・時間的視点」などが重視されつつあることなどを論じた。このような観点に立って、理科第2分野、特に「生物・環境」領域におけるカリキュラム設計のあり方を俯瞰してみると、本論文において提案した「生物進化」で統合した4つの単元開発、及び今後提案することになる「遺伝の規則性と遺伝子」と「生物進化」を統合する5つめの単元開発が垣間見えてくる（名倉・松本、2020b）。すなわち、本章第3節第1項における提言（3）と重なる。本研究のような「生物進化に関する学習を点ではなく、線で捉えなおした」単元開発の試みは、我が国の中等教育（特に前期中等教育）では恐らく本研究が最初であると考えられる（アメリカの大学教科書には「生物進化」を中心に編纂したものが多い）。

そして、本論文における検証結果から、このような理科カリキュラム設計のあり方は、「科学的進化概念の形成」ばかりでなく、地球環境問題からも注目されている「生物多様性（種多様性・遺伝的多様性・生態系の多様性）」の理解にも貢献するものであると考えられる。現存の多様な生物種は過去の生物が長大な年月にわたって進化してきた結果である。言い換えれば、30数億年前のたった1つの始原生命体が推定150万種を超える生物に進化してきた結果が、現在の地球生態系の姿である。なぜ、「生物多様性」が大切であり、「自然環境の保全」や「絶滅危惧種の保護」がさかんに叫ばれているのか、という回答の1つが本論文に存在する。すなわち、ここで提案する3領域5単元（検証結果は4単元ながら）にわたるカリキュラム開発には、「理科の見方・考え方」を働かせながら思考力・表現力を育成し、「科学的進化・遺伝概念」を構築するためばかりではなく、未来の人類の存続にかかわるような知識や理解が埋め込められていると思われる。このような意味でも本研究結果は、意義のある博士研究であり、今後の理科・生物領域におけるカリキュラム開発の議論に一石を投ずるものと自負する。

註及び引用・参考文献

- 1) 2) 3) 4) 中山 (1998) は、教師が生徒による科学概念の受容を期待するとき、ポズナーら (Posner, G. J. et al., 1982) の説を引き合いに出し、次の4つの手立てが有効であることを示している。
- ①素朴概念と矛盾するような事象を提示する。
 - ②素朴概念に取って代わることのできる「新しい概念」を、わかりやすく示す。
 - ③「新しい概念」がもっともらしく思えるような説明をしたり、それを促す生徒の活動を取り入れたりする。
 - ④生徒が「新しい概念」を使って、説明や予測を行い、それが実際に起こる自然事象と一致することを自分で確かめられるようにする。
- 本研究では、素朴誤概念である「ラマルク説 (獲得形質の遺伝)」対「進化の総合説 (ダーウィンの自然選択説を内包する)」などの単元を貫く「本質的な問い」を考案した。そして、その「本質的な問い」に基づき、科学的概念である「進化の総合説」を活用して進化の仮説を推論する「パフォーマンス課題」を開発し、その有効性を実証することができたと自負する。
- 5) 上記の中山 (1998) は、続けて「教師が生徒の素朴概念を的確に把握できていなければ、元から持っている素朴概念と矛盾するような事象を適切に提示することができない・・・(中略)・・・教師は、生徒の素朴概念を科学概念に近づけるための手立てをとろうとはしているが、それを生徒にとって的確な手立てにするのは、ことのほか困難である」とも指摘している。
- 本研究では2項対立の課題の有効性を実証し、そのような課題を単元に組み込む提言(1)を行ったが、中山が指摘するようにそのような課題を開発することは簡単にはいかない。そこで、本研究における単元開発のように、数時間の中に適切に課題を埋め込みながら、スパイラルに少しずつ理解を高めていくカリキュラム設計が最適であると思われる。例えば、次の提言(3)で述べる『遺伝』と『進化』を統合した単元開発においては、「メンデル遺伝の法則 (不連続説)」対「ダーウィンらの進化の総合説 (連続説)」などの2項対立の課題が浮かび上がる。
- Bransford, J. D., Brown, A.L., & Cooking, R.R.(Eds.). (2000). *How People Learn Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- 長谷川眞理子 (2015) 『ダーウィン種の起源 (100分で名著)』NHK出版。
- 名倉昌巳・松本伸示 (2018a) 「形成的評価を加味したパフォーマンス課題を取り入れた理科授業開発ー中学生の地学分野における進化概念形成を事例としてー」『理科教育学研究』第58巻, 第4号, 355-365.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2018b) 「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ー『自然選択説』に基づいた仮説を推論するパフォーマンス課題を事例としてー」『理科教育学研究』第59巻, 第2号, 205-215.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2019) 「中学校新入生に『生物多様性』の理解と『進化思考』を促す理科授業開発ー『身近な生物の観察』における『分類・系統樹』思考を導入した学習指導を事例としてー」『理科教育学研究』第60巻, 第2号, 397-407.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020a) 「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』を結ぶ単元開発ー中学生の科学的進化概念形成と誤概念の保持についてー」『理科教育学研究』第60巻, 第3号, 603-613.
- 名倉昌巳・松本伸示 (2020b) 「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ー『遺伝の規則性』と『生物進化』を統合した学習計画の提案ー」『理科教育学研究』第60巻, 第3号, 589-601.
- 中山迅 (1998) 「学校知と日常知の隔たり (素朴概念の問題)」湯澤正通 (編著) 『認知心理学から理科学習への提言』北大路書房, 第1部-2, 23-40.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*. 66(2), 221-227.
- 吉川浩満 (2014) 『理不尽な進化－遺伝子と運のあいだ－』朝日出版社.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design* 2nd ed., ASCD. 西岡加名惠 (訳) (2012) 『理解をもたらすカリキュラム設計』日本標準.

附 記

本論文は以下の4編の査読付き学術論文(日本理科教育学会誌)に基づいて、第1章から第4章までの各章を執筆している。ただし、本論文における問題の所在や研究の目的に則して、4つの学術論文をそれぞれ加筆・修正し、再構成している。

尚、先の本第3節等で提案した「遺伝の規則性」と「生物進化」を統合する単元開発(名倉・松本, 2020b)については、日本理科教育学会誌への受理が本博士論文の提出締め切り後になったため、その実践研究結果については本論文には含めず、「今後の展望」として記載したことを断っておく。

(1) 第1章 中学校第1学年「生物」領域「生物の観察」における単元開発

名倉昌巳・松本伸示 (2019) 「中学校新入生に『生物多様性』の理解と『進化思考』を促す理科授業開発－『身近な生物の観察』における『分類・系統樹』思考を導入した学習指導を事例として－」『理科教育学研究』第60巻, 第2号, 397-407.

(2) 第2章 中学校第1学年「地学」領域「地層の重なりと過去の様子」における単元開発

名倉昌巳・松本伸示 (2018a) 「形成的評価を加味したパフォーマンス課題を取り入れた理科授業開発－中学生の地学分野における進化概念形成を事例として－」『理科教育学研究』第58巻, 第4号, 355-365.

(3) 第3章 中学校第2学年「生物」領域「生物の変遷と進化」における単元開発

名倉昌巳・松本伸示 (2018b) 「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－『自然選択説』に基づいた仮説を推論するパフォーマンス課題を事例として－」『理科教育学研究』第59巻, 第2号, 205-215.

(4) 第4章 中学校第3学年「環境」領域「生物と環境」における単元開発

名倉昌巳・松本伸示 (2020a) 「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－中学生の科学的進化概念形成と誤概念の保持について－」『理科教育学研究』第60巻, 第3号, 603-613.

謝 辞（あとがき）

本論文の作成にあたり，多くの方々からご指導ご助言を賜りました。皆様のご支援により博士論文をまとめられましたことに，心より感謝申し上げます。

本研究に主指導教員である兵庫教育大学の松本伸示先生には，理科教育学の理論と実践に関する様々なご示唆をいただき，ここにその集大成である博士論文の完成を見ることができましたことに，まずはお礼を申し上げます。毎回の「課題研究」における的確なご助言・ご指摘がなければなければ，本論文の完成はなかったと思われま。また，松本先生には入学当初から，学会発表の作法から投稿論文の執筆に至るまできめ細かなご教示をはじめ，様々な将来的なビジョンをご提示いただきました。その中で自己の研究における重要な示唆を得，理論構築に関する諸課題を解決することができ，本論文の構成要素として4つの査読付き学術論文を加えることができました。これまでのご指導に対し深く感謝申し上げます。

副指導教員である兵庫教育大学の山本智一先生には，理科教育学に関する自己の研究の弱点を補強する上での的確なご助言を賜りました。また，論文投稿時における多くの作法もご助言いただきました。その理科教育に関する深いご示唆により，研究の方向性が定まり，本研究を一層高めることができました。その集大成としての博士論文の執筆にも生かすことができましたことに対し，深く感謝申し上げます。

副指導教員である上越教育大学の中村雅彦先生には，実践的な野外観察に関する実習方法に関する熱意あるご指導や，動物学に関するご教示を賜りました。さらに，中村先生には，本研究を高める上で重要な進化のメカニズムに関するご助言をいただきました。それらは本研究における理論的補強ばかりでなく，今後の研究を発展させる意味でも示唆に富むご助言を賜ったことに対し，深く感謝申し上げます。

また，上記の先生方以外に博士論文審査会や博士候補認定試験におきましては，審査委員としてご参集いただいた兵庫教育大学の庭瀬啓右先生，溝邊和成先生，岡山大学の稲田佳彦先生，喜多雅一先生におかれましても，公聴会の折には数々の貴重なご意見を賜りありがとうございました。先生方から頂いたご助言を参考にさらに本研究を改善し，発展させていく所存です。

そして，本学の博士課程で学んだことを日々の教育実践や教育研究に活かし，今後我が国の理科教育の発展に尽力し，貢献してゆく所存です。

令和 2年 3月 16日

名 倉 昌 巳