

教科書に記載された情報を用いた脊椎動物の仲間のつながりに関する考察

佐藤 綾¹⁾・江積 翔太²⁾・柏木 純³⁾
佐野 史¹⁾・栗原 淳一¹⁾

1) 群馬大学教育学部理科教育講座

2) 高崎商科大学附属高等学校

3) 群馬大学教育学部附属中学校

Discussion about evolution of vertebrates using materials written in textbook

Aya SATO¹⁾, Shota EZUMI²⁾, Jun KASHIWAGI³⁾, Fumi SANO¹⁾
Jun-ichi KURIHARA¹⁾

1) Department of Science Education, Faculty of Education, Gunma University

2) Takasaki University of Commerce High School

3) Junior High School Affiliated with Gunma University School of Education

キーワード：中学校理科，進化，脊椎動物

Keywords：evolution, junior high school science, vertebrates

(2017年8月31日受理)

1. はじめに

平成29年に公示された学習指導要領（文部科学省2017）において、理科では児童・生徒の「科学的な見方や考え方」を育成することが教科の重要な目標として位置づけられている。ここでの「見方」として、生命領域では「生命に関する自然の事物・現象を主として多様性と共通性の視点で捉える」ことがまとめられている（文部科学省2017）。この学習指導要領の改訂により、これまで中学校第2学年で学習していた「生物の変遷と進化」の内容を「生物の種類の多様性と進化」として第3学年で学習することとなった。理科の学習を通じて、児童・生徒は生物の多様性に対する認識を深めていくが、「生物の種類の多様性と進化」は、現在地球上にいる生物がどのように多様化してきたのかという過程について考えるため、ここでの学習は生命の多様性の創出機構を理解するという点で重要な内

容である。

しかしながら、長大な時間の経過に伴う生物の変遷は授業の限られた条件の中で再現することは難しく、観察や実験を通して事象を理解することは困難である。学習指導要領解説（文部科学省2017）においては、「生物の種類の多様性と進化」のような学習では、「直接経験やそれらに準ずる学習活動も含めて、科学的に探究することが重要である」と記している。現在の「生物の変遷と進化」の学習に関して、困難な中でも観察・実験を通して事象を理解するための教材の工夫は行われているが（佐賀・蛇穴2005, 村瀬・川上2013, 山野井2017）、そのような教材を用いて科学的に探究するという点に着目した研究はみられない。

1) 脊椎動物の進化の道筋を考える上での問題点

平成27年に検定を受けた中学校理科の教科書では、学校図書（霜田ほか2016）、教育出版（細矢ほか

2016)、大日本図書(有馬ほか 2016)の3社の教科書に魚類から両生類が、両生類から爬虫類と哺乳類が、爬虫類から鳥類が出現したという進化の道筋が記載されている。脊椎動物の変遷を学習する前に、生徒は「脊椎動物の仲間」において、体のつくりや子の生まれ方などの特徴を比較、整理する(図1)。そして、「生物の変遷と進化」においては、図2に示すような活動を通して、どの仲間とどの仲間が近いのか考える。例えば、「魚類と両生類との関係が4.5、ハチュウ類との関係が3であることから、両生類の方が仲間としては魚類に近いことになる」と教科書に記載されている(有馬ほか 2016)。そして、このような脊椎動物の各仲間に見られる共通性から、「基本的なつくりを持っていた過去の動物が変化することによって、いろいろな動物が生じてきた(霜田ほか 2016)」ことを生徒は理解する。

ここでの考え方については、誤解をしやすいことが指摘されている(斎木 2009)。例えば、図1は脊椎動物の仲間が左側から右側の順に、水中から陸上の生活に適した特徴を持っていることを示している。しかし



図1. 脊椎動物のもつ特徴 (新版 理科の世界2 p.144より) 引用

ながら、この図を読み取る際、左側から右側へ、魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類の順に脊椎動物が進化してきたと教師や生徒は連想してしまいやすい(斎木 2009)。図2の活動についても、例えば、哺乳類と最も共通の特徴を持つ仲間は「4」の鳥類であり、哺乳類が鳥類と進化的に近いという誤解をしやすいだろう。ただし実際には、ここでの数値関係は進化的な系統関係を示したものではない。教科書には、この数値の関係と図1の特徴を考えると、「魚類、両生類、ハチュウ類、鳥類、ホニユウ類の順に水中の生活から陸上の生活に適したものになっていると考えられる(大日本図書 2015)」と記載されており、脊椎動物における特徴の関係性は進化の道筋とは別のものとして考えられている。

しかしながら、このような指摘がなされているものの、ここでの活動において、実際に生徒が誤解して脊椎動物の進化の道筋を捉えているかどうかは明らかではない。

2) 本研究の目的

本研究では、「脊椎動物の仲間」で学習する脊椎動物の特徴を用いて、生徒が脊椎動物の進化の道筋について考えを話し合う活動を授業で行う。そして、これまでに学習した知識や生物との関わり合いの経験などから、生徒が脊椎動物の進化の道筋をどのように考えるのか調査する。ここでの授業を踏まえ、「生物の種類の多様性と進化」の学習の中で、生徒がこれまでに学んだ知識などから、「科学的な根拠をもとに事象を説明する」という探究の過程で必要とされるひとつの

やってみよう セキツイ動物のグループの関係を数値で表してみよう

- 表Aの空欄を埋めて、セキツイ動物の特徴ごとにまとめる。
①その特徴をもつ場合は○、もたない場合は×を記入する。
②特徴をもつがあてはまらない時期がある場合は△を記入する。
- 表Aの結果を比べて、グループの特徴が同じだった数を表Bに数字で記入する。どちらかが△の場合は0.5を加算して記入する。

表A	魚類	両生類	ハチュウ類	鳥類	ホニユウ類
背骨がある。	○				○
肺で呼吸する。	×				○
子は陸上で生まれる。	×				○
恒温動物である。	×				○
胎生である。	×				○

表B	魚類	両生類	ハチュウ類	鳥類
ホニユウ類	1			
鳥類				
ハチュウ類				
両生類				

	魚類	両生類	ハチュウ類	鳥類
ホニユウ類	1	1.5	3	4
鳥類	2	2.5	4	
ハチュウ類	3	3.5		
両生類	4.5			

図2. 脊椎動物の各仲間の関係を考える活動 (新版 理科の世界2 p.143, 144より引用)

能力に焦点を当てた活動を行うことができないか提案する。

2. 授業

1) 対象

群馬大学教育学部附属中学校第2学年3学級120名を対象とし、2017年3月に授業を行った。授業は大学教員の特別授業として行い、前半の25分の内容が本研究に該当する部分であった。生徒は、2016年11月に「生物の変遷と進化」を学習していた。その授業では、図1と図2を踏まえて、どの生物とどの生物が近い仲間かについて学習した。また、脊椎動物の進化の道筋については魚類と両生類が仲間として近いこと、爬虫類と鳥類の両方の特徴を持つ始祖鳥がかつて存在していたことを学習したが、各仲間の進化の道筋までは学習していなかった。

2) 使用した教材

図1に記された内容を踏まえ、脊椎動物の仲間の特徴をまとめたカードを作成した(図3)。また、生徒が自身の考えを記述するためのワークシートを作成した(図4を参照)。

3) 授業の内容

授業は表1に示す流れで行った。はじめに、脊椎動物の特徴を復習し、進化の道筋を考えるための情報を生徒に挙げさせた。次に、その情報を踏まえ、図3のカードを用いて、どの仲間からどの仲間が出現してきたと考えられるか、班で話し合わせた(図5)。そして、話し合いの結果をワークシートにまとめさせた(図4)。その後、班ごとにまとめた考えを発表させ、クラス内で複数の異なる考えを共有した。共有した意見をまとめ、今回の話し合いで用いた情報だけでは哺乳類の祖先について共通した見解を得ることができないことを教員と生徒の対話を通して確認した。

魚類 背骨がある えら呼吸 変温動物 卵生	両生類 背骨がある えら/肺 変温動物 卵生	爬虫類 背骨がある 肺 変温動物 卵生
鳥類 背骨がある 肺 恒温動物 卵生	哺乳類 背骨がある 肺 恒温動物 胎生	

図3. 脊椎動物の仲間の特徴をまとめたカード

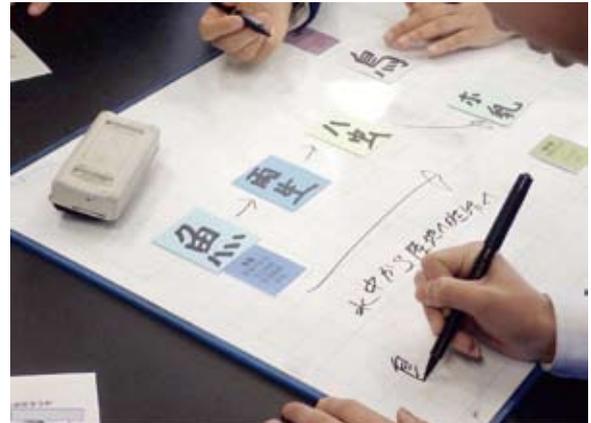


図5. 脊椎動物の進化の道筋について、班で話し合っている様子

a

	祖先	そのように考えた理由 共通する点、異なる点などから考える
両生類	魚類	背骨がある、体温、卵生が共通しているが、呼吸の仕方がえらだけではないから。
爬虫類	両生類	背骨がある、体温、卵生が共通しているが、呼吸のしかたがえらと肺と肺だけに呼吸の仕方が異なるから。
鳥類	爬虫類	呼吸の仕方、子の産み方(卵生)が共通しているが、体温が違ってから。(変温動物→恒温動物)
哺乳類	鳥類	体温の仕方、呼吸の仕方が共通しているが、子の産み方(卵生)が違ってから。(卵生→胎生)

b

	祖先	そのように考えた理由 共通する点、異なる点などから考える
両生類	魚類	背骨がある、えら呼吸、変温動物、卵生が共通している、海中でも呼吸できるように進化しているから。海や陸で生活
爬虫類	両生類	両生類の進化に比べて肺呼吸とじていて、その他は、背骨があり、変温動物で卵生と共通しているから。陸で生活
鳥類	爬虫類	変温動物から恒温動物に進化した。空を飛ぶようにした。その他は共通している。陸や空で生活
哺乳類	爬虫類	変温動物から恒温動物とじている。卵生→胎生とじている。その他は共通。陸で生活

図4. 脊椎動物の進化の道筋について、班での話し合いをもとに自身の考えをまとめた記述例。

a) 哺乳類の祖先を鳥類と考えた生徒の記述。b) 哺乳類の祖先を爬虫類と考えた生徒の記述

表2. 爬虫類から鳥類と哺乳類が進化したと考えた班で見られた話し合いの過程。下線は根拠をもって考えを述べていると著者が判断した箇所。下波線は生徒が「根拠」という言葉を用いた箇所。Si は生徒 i の発言を T は教員の助言を示す

1)	S1: 背骨はあって、エラ、エラ、肺、肺、肺、恒温、恒温 (特徴をもとにカードを魚→両生→爬虫→鳥→哺乳の順に並べる)。
2)	S2: どんどん大きくなるんじゃない?
3)	S3: 恐竜より猿は小さいよ。
4)	S1: (魚→両生→爬虫→鳥→哺乳の順に並んだカードを差して) これでいいんじゃない? こう習ったもん。
5)	S4: 鳥が哺乳類に変わるか?
6)	S1: (哺乳類のカードを差しながら) この流れがこうじゃないんじゃない?
7)	S4: (爬虫類から鳥類と哺乳類を分岐させて) こういう風に分かれたんじゃない?
8)	S1: うそー。
9)	S3: 鳥は恐竜が進化して鳥になったの。
10)	S1: 恐竜って何?
11)	S3: 恐竜、爬虫類だよ。
12)	S4: (魚→両生→爬虫から鳥と哺乳の2つが分かれるカードの並びを指しながら) はじめ海にいて、その後陸上に出てきたんだから、この順番でいいんだよ。
13)	S1: 本当に? (カードを魚→両生→爬虫→鳥→哺乳の順に配置して) これが習ったとおりだから。
14)	S4: でも、鳥から哺乳類はないよ。
15)	S2: でもちよっとさ、 <u>化石の(出現する時代の)表でさ、こっち(哺乳類)の方が古くて、こっち(鳥類)の方が新しかった。</u>
16)	S3: <u>鳥の羽が、人間の腕と同じなんだよ。証拠じゃん。</u>
17)	S1: <u>鳥類は尻尾あるよね、哺乳類は尻尾あるよね。</u>
18)	S4: <u>あるよ。爬虫類も尻尾あるじゃん。</u>
19)	S1: <u>弱く進化したってことでいいんじゃない。鳥が弱くなって哺乳類になった。</u>
20)	S2: 退化したの?
21)	T: 意見がまとまらなかつたら、ここの班の考えは2通りでもいいよ。
22)	S4: (哺乳類のカードを指して) <u>ここは根拠ないしさ、(考えが)2つでいいんじゃない。</u>
23)	S2: 哺乳類って何から進化したの?
24)	S1: 哺乳類は何だろうね。
25)	S3: わかんなくなってきたじゃん。
26)	S4: 爬虫類から、空に行ったのと、陸に残ったやつ。
27)	S4: 空に行って、また陸上に戻るの?
28)	S2: 陸上にいた鳥が退化して、哺乳類。
29)	S3: そうだ、空が鳥でいっぱいになって、降りてきたのが哺乳類。 <u>なんも根拠ないじゃん。</u>

4. 考察

1) 生徒が考えた脊椎動物の進化の道筋

班での話し合いを通して得られた進化の道筋の考えは、3通りに分かれた。最も多かったのは爬虫類の仲間から哺乳類の祖先が出現したという道筋(53%)であった。教科書に記載されている道筋と同じ、両生類の仲間から哺乳類の祖先が出現したという考えは30班中5班の17%であった。また、図1の解釈や図2の活動から誤解されやすいと考えられている、魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類という道筋を考えたのは全体の30%であった。「動物の仲間」で学習した脊椎動物の特徴を徐々に変化するように関係性を考えていく

と、図4aに示すように、哺乳類の祖先は鳥類と考えられる。表2に示す話し合いの過程の(4)「こう習ったもん」や(13)「これが習った通りだから」という発言は、11月に授業で行った図1の読み取りや図2の活動で学習した脊椎動物がもつ特徴の関係をそのまま進化の道筋と誤解して捉えているものと考えられる。しかしながらある生徒のそのような発言に対し、(5)「鳥が哺乳類に変わるか?」や(14)「でも、鳥から哺乳類はないよ」というように、鳥類と哺乳類が共通する特徴を多く持つものの、それが系統関係を示すことに違和感をもつ生徒もいた。そして、(15)「表でさ、こっち(哺乳類)の方が古くて、こっち(鳥類)の方が新しかった」というように、化石の出現時期など学習し

た他の情報を取り上げ、根拠を示してより妥当な考えを構築しようとするやりとりが見られた。

以上のことから、脊椎動物の仲間がもつ特徴の共通点と相違点から、図1の左から右へ脊椎動物が進化してきたと考える生徒もいるものの、生徒同士の話し合いの中で、別な情報をもとにそのような誤解を修正していけることが明らかとなった。表2に示す話し合いで見られた(15)の意見のように、教科書に示されている図6を進化の道筋を考える上での情報として生徒に提示することで、鳥類の仲間から哺乳類の祖先が出現したという考えが妥当でないことに生徒が気付くことができるのではないかと考える。

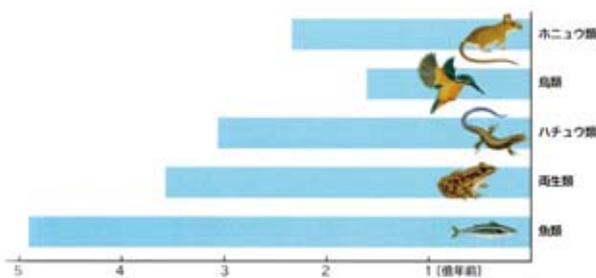


図6. 生物が出現する年代
(新版 理科の世界2 p.147より引用)

2) 脊椎動物の進化の道筋を考える活動を授業に取り入れることのねらいと課題

脊椎動物の進化の道筋は、実験・観察を通して結論を得ることができる学習内容ではない。そのため、課題を見つけ、課題に対する仮説を立て、仮説を確かめる計画を立て、実験・観察を通して仮説を検証し、結果から考察を行い、課題に対する結論を得るといった科学的な探究のステップを踏んだ学習を行うことはできない。よって、ここでの学習において育成の焦点とする生徒の科学的な考え方は限られる。学習指導要領の改訂にあたり、理科においては、育成を目指す資質・能力のうち、中学校で求められる思考力・判断力・表現力の1つに、「得られた結果を分析して解釈するなど、科学的に探求する力と科学的な根拠をもとに表現する力」が挙げられている(中央審議会 2016)。本研究では、脊椎動物が持つ特徴という事実をもとに、話し合いを通して脊椎動物の進化の道筋を生徒に考えさせた。表2や図4に示すように、生徒はこれまでに学習した知識や生物との関わり合いの経験から、根拠をもって脊椎動物の進化の道筋について考えていた。そ

して、自身の考えをワークシートに記述したり、クラスで発表することで表現できていた。これらのことから、本研究で行った活動により、「生物の種類の多様性と進化」の学習において、課題に対して根拠をもって妥当な考えを作り出し、それを表現する力を育成することに焦点を当てた授業を展開することができるのではないかと考える。

しかしながら、この活動の問題点として、生徒が考えた複数の進化の道筋のうちどれが事実なのかを、生徒の意見を踏まえて結論付けることが難しい点が挙げられる。平成28年に発行された、5社中3社の教科書には、両生類の仲間から哺乳類の祖先が出現してきたと記述されている(細矢ほか2016、霜田ほか2016、有馬ほか2016)。しかし、平成22年に発行された教科書では、爬虫類の仲間から哺乳類の祖先が出現してきたと記述されている(高橋ほか2010、塚田ほか2010、教育出版株式会社編集局2010)。また、40年前の教科書には、鳥類の仲間から哺乳類の祖先が出現してきたと記述されている(坪井・岩橋ほか1977)。このように、今回の活動で生徒が考えた道筋は、脊椎動物の進化の道筋について考えられてきた歴史と一致する。そして、今回の活動を通して生徒の意見が分かれたことから、現在考えられている、両生類の仲間から哺乳類の祖先が出現してきたとする説に生徒が自ら考え至るための十分な根拠は、ここまでの学習で提示できないと言える。

「生物の種類の多様性と進化」では、脊椎動物がもつ段階的な共通性や化石などを基に、現存の生物は過去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をねらいとしており(文部科学省2017)、脊椎動物の進化の道筋そのものを理解することを目的としていない。そのためここでの学習においては、本研究で行ったように、生徒がこれまでに学習したことを踏まえ、体のつくりと関連付けて脊椎動物の進化の道筋を考えられることが重要である。つまり、どの生物の祖先がどの生物であるのかについて結論を得る必要はないと考える。しかしながら、もし教科書に記載されている両生類の仲間から哺乳類の祖先が出現したという道筋に生徒全員に自身の考えをもとに気付かせたいならば、両生類と哺乳類の関係性を捉えられるような新たな視点を今後検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、群馬大学教育学部理科教育講座 岩崎博之教授、群馬県総合教育センター 小野智信氏にご意見をいただきました。授業の分析においては、群馬大学教育学部 新生香奈氏にご協力いただきました。また、授業にあたり、群馬大学教育学部附属中学校の皆様にご協力いただきました。これらの方々々に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 有馬朗人ほか62名（2016）新版 理科の世界2, 大日本図書, p. 149
- 中央教育審議会（2016）幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）別添資料4-1, pp. 33-34
- 細矢治夫・養老孟司・丸山茂徳ほか27名（2016）自然の探究 中学校理科2, 教育出版, pp. 187-189
- 教育出版株式会社編集局（2010）理科 第2学年 平成22年度用補助教材, 教育出版, pp. 20-21
- 文部科学省（2017）中学校学習指導要領解説 理科編, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/08/17/1387018_5.pdf
- 村瀬安和・川上伸一（2013）中学校理科「生物の変遷」における始祖鳥化石の観察をテーマにした授業実践研究, 岐阜教育学研究報告（自然科学）, 第37巻, pp. 53-58
- 佐賀真一・蛇穴治夫（2005）中学校理科「動物のなかま」に関する進化を意識させる教材開発, 旭川実践教育研究, 第9号, pp. 59-66
- 齋木健一（2009）教科書の図, 誤解していませんか?—進化にふれるときの落とし穴—, 理科教室1月号, 通巻649号, pp. 70-75
- 霜田光一・森本信也ほか29名（2016）中学校 科学2, 学校図書, p. 204
- 高橋迪雄・藤井敏嗣・和達三樹・渡辺正ほか43名（2010）新版 中学校理科2年 平成22年度版 移行教材, 第日本図書, pp. 23-25
- 坪井忠二・岩橋八洲民ほか42名（1977）新版 中学校 新理科2分野上, 大日本図書, pp. 58-59
- 塚田捷・山極隆・森一夫・大谷禎一ほか25名（2010）未来へひろがるサイエンス2年（1・2分野）平成22年度用 補助教材, 啓林館, p. 21
- 山野井貴浩（2017）生物進化の実感を伴った理解を目指して—脊椎動物の前肢の骨格標本を利用した授業の実践—, 理科教育学研究, 第58巻, 第1号, pp. 89-97

(さとう あや・えづみ しょうた・かしわぎ じゅん・さの ふみ・くりはら じゅんいち)