

## シーラカンスをテーマにした中学校理科「生物の変遷と進化」に関する授業実践： 化石や模型を用いた事象提示の工夫

武藤正典<sup>1</sup>・川上紳一<sup>2</sup>・勝田長貴<sup>2</sup>

<sup>1</sup>岐阜市立東長良中学校

<sup>2</sup>岐阜大学教育学部

Study on the subject “history of life and evolution” in science class of junior high school:  
Introduction of fossils and models of coelacanth for development of the concept of evolution

Masanori Mutoh<sup>1</sup>, Shin-ichi Kawakami<sup>2</sup> and Nagayoshi Katsuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nagara Junior Highschool, Gifu, 502-0817, Japan

<sup>2</sup>Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

### 要 旨

中学校第2学年単元「動物の世界」の中の「生物の変遷と進化」において、生きた化石といわれているシーラカンスがなぜ3億年の間ほとんど形態を進化させていないのか、また、なぜ大量絶滅事件が起こったにも関わらず、現在まで生き延びているのかを推論する授業を実践した。シーラカンスの形態に関する事象を提示するため、マダガスカル産シーラカンス化石と、現生シーラカンスの精巧模型を用いた。これらを用いて、シーラカンスの形態が3億年前からほとんど変化していないことを実感させたため、その理由を考察する授業へと展開することができた。結果的に、シーラカンスは深海底で生息していること、深海底では生存を脅かすような生物が少ないこと、水温が低く、環境が安定していることなどを理由に、シーラカンスが現在まで生き延びたことを推論することができた。地球の歴史や生物の進化については、実験や観察によって証明することができない事象が多く含まれる。そうした事象を探究するには、科学的に合理的な作業仮説を提示する能力も重要である。推論することで、科学に対する興味・関心を高め、大胆に仮説を考える面白さを実感させることも科学的な探究能力の育成には必要である。

【キーワード】：生きた化石、シーラカンス、進化、生物絶滅、中学校、理科

### 1. はじめに

少子高齢化、国際化が進む現代社会において、次世代を担う人材の育成は重要な課題である。日本の児童・生徒の学力は高いレベルを維持しているものの、科学への興味・関心、科学に対する有用性に関する意識が低いことが問題とされている。また、国際社会のなかで、各国の若者と共同で活動する場において、日本の若者の主体性・積極性の低さが目立っており、ものごとに対して積極的に関わる姿勢を育むことが大きな課題となっている。こうしたなかで、児童・生徒を主体的に問題や課題へと向かわせ、論理的な思考や推論する力を身に付けさせていき、その成果を発表するという活動を組織的、継続的に行うことで、人材を育成しようという動き

ができつつあることは注目に値する(大野ほか、2015)。問題は、どのようにして学習者の探究活動を活性化させるかにある。

平成20年に発行された中学校学習指導要領-理科編では、「動物の生活と生物の変遷」のなかで、生物の変遷と進化について扱うことになっている(文部科学省、2008)。脊椎動物では、魚類、両性類、爬虫類、鳥類、哺乳類はいずれも脊椎をもっているが、鰓呼吸と肺呼吸、卵生と胎生、変温動物と恒温動物といったように段階的に共通性をもっている。第1年での学習内容である化石についての考察などから、現存している生物は過去の生物が変化して生じてきたことを気づかせることになっている。進化の証拠としては、始祖鳥化石などの提示が想定されている。

中学校の理科の教科書の多くは、始祖鳥化石を取り上げているが、シーラカンスを取り上げている教科書も多くある。

生物の変遷と進化の学習では、化石や骨格標本の観察をもとに、推論を行って進化に関する見方や考え方をもつことが重要である。中学校の理科の教科書では、始祖鳥化石、シーラカンス、ハイギョ、ウマなどが掲載されている。村瀬・川上 (2013)、服部・川上 (2014) は、始祖鳥化石 (ベルリン標本) の複製を観察させ、生徒に進化について考察させる授業を行っている。この授業では、脊椎動物の進化の証拠として、爬虫類と鳥類の相違を踏まえて、観察を行わせている。一方、松永・池田 (2012) は、教師がまず基礎知識を与えたあと、その知識を活用して思考するという理論依存型の授業スタイルを提案し、恐竜の骨格模型を提示して、恐竜とトカゲなどの爬虫類と鳥類を比較させる授業を行っている。

本研究では、生きている化石といわれるシーラカンスを教材として、生徒がもっている先行知識を明らかにしたうえで、シーラカンスの形態から進化について、どのような推論を行うことができるかを調べた。その結果、中学生が生きた化石をテーマにして、進化や生存戦略について適切に推論することができたので報告する。

## 2. シーラカンスについて

シーラカンスは、脊椎動物門、硬骨魚綱、肉鱗 (総鱗) 亜綱、シーラカンス目に属する魚類である。化石記録では、3億7000万年前のデボン紀後期に出現し、世界各地の石炭紀、ペルム紀、三畳紀、ジュラ紀、白亜紀の地層から化石として産出している (上野, 1992, Long, 1995)。学名を与えて記載された化石は約80種である。1938年にシーラカンス化石とそっくりの現生種が捕獲され、生きた化石とか生ける化石 (living fossil) と呼ばれるようになった。その姿からは、魚類から両生類への進化の生き証人であるとみなされ、注目された。また、3億年以上にわたって、なぜ基本的な形態が進化していないのか、多くの生物種が絶滅した中生代末や白亜紀末の生物大量絶滅事件をどのように生き延びたのか

といった謎も議論になってきた。

最初のシーラカンス化石の記載は、1839年のルイ・アガシーの論文まで遡る。アガシーは水河時代の発見者としても知られているが、古生代石炭紀の化石を記載し、*Coelacanthus granulatus* と名づけている。この化石の尾びれのある放射線状の鰭条が中空であることが、*Coelacanthus* (中空の脊柱 (棘) という意味のラテン語) の名前の由来となっている。その後、この分類群の魚類はシーラカンスと呼ばれるようになる。デボン紀から白亜紀までの化石から推定される生息環境は、浅海や淡水の湖沼である。

一方、現生のシーラカンスは、インド洋のコモロ諸島などに生息するラティメリア・カルムナエ (*Latimeria chalumnae*) と、1998年になってインドネシアで発見されたラティメリア・メナドエンシス *L. menadoensis* がある (Erdmann et al., 1998; Holder et al., 1999; 岩田・安藤, 2013)。コモロ諸島での各国の学術調査によって、シーラカンスは夜行性で、深海の岩場や洞窟のような場所に群れをなして生息していることがわかっている。また、捕獲された成魚の解剖から、胎生であること、深海魚を捕食していることなどがわかっている。また、硬骨魚類のような背骨はなく、中空でホースのような器官に体液がたまっており、背骨のような役割を果たしている。この部分は化石として残りにくく、シーラカンスの化石には背骨はみられないのは、こうした形態によるものである。

魚類と陸上の四肢動物との進化的関係に関する議論においてもシーラカンスは重要な役割を果たしてきた (天野・城石, 2013)。胸と腹の鰭に筋肉質の柄をもつ肉鱗類 (シーラカンスとハイギョが知られている) が最初に陸上に進出した四肢動物の祖先であると考えられ、それらの骨格の相同性が注目されてきた。最近では、最古の両生類とされるイクチオステガあるいはアカントステガにもっとも近縁のユーステノプテロンと名づけられた化石が祖先であるとされている (クラック, 2000)。さらに、原始的な両生類と魚類の中間的な、いわば進化の移行期のような動物化石チクターイク (*Tiktaarik*) が、カナダの3億7000万年前の地層から発見されてい

る (Daeschler et al., 2006; ショービン, 2008). また、現生のハイギョとシーラカンスの鼻、肛門、鰾（うきぶくろ）などの形態が比較され、シーラカンスよりもハイギョの方が祖先であるという仮説も提示され、長い間論争が続いていた。

生きた化石と呼ばれる生物がなぜ進化しないのかは依然として大きな謎である。シーラカンスについては、現生種の全ゲノム解読が行われた (Amemiya et al., 2013). その結果、シーラカンスのゲノムサイズは2.86Gbで1万9000個の遺伝子があり、そのうち約200個は陸上の四肢動物と共通の遺伝子をもっていた。ヒトの遺伝子は2万1000個であり、シーラカンスはヒトに匹敵する多様な遺伝子をもっていることが明らかになった。また、DNAの情報を陸上の四肢動物やハイギョと比較したところ、系統的にハイギョの方が四肢動物に近縁なことが明らかになった。さらに、進化的には、タンパク質をコードするシーラカンスの遺伝子配列の変化速度は他の四肢動物の進化速度と比べて遅いことも明らかになった (二階堂・岡田, 2014). ゲノム解読の結果からは、現生シーラカンスは進化していないというよりも、進化速度が遅いというべきである。

また、なぜ繰り返し起こった生物大量絶滅事件で生き残ったのかも、さまざまな議論がある。化石に残るシーラカンスは浅海や淡水生の湖沼の地層から発見されているのに対し、現生種はいずれも水深200m以深の深海に生息している。深海では水温は低く、太陽光は届かないため暗黒の世界であり、生存を脅かす外敵が少ない。また、表層海水に比べて環境の変化が少ないことも環境変化に対する適応の必要性を低くしている。ペルム紀末の生物大量絶滅では、海洋が無酸素状態になったことや、大気中の二酸化炭素が急増して、海水が酸性になったという説 (Clarkson et al., 2015) が発表されており、究極の原因としてシベリアでの洪水玄武岩の活動が有力視されている。深海ではこうした環境変化を受けにくかった可能性がある。一方、白亜紀末の生物大量絶滅では、直径10kmもの小惑星が地球に衝突したこと (Renne et al., 2013) や、

デカン高原での洪水玄武岩の活動 (Schoene et al., 2015) が原因であったとされる。白亜紀末の生物大量絶滅では、アンモナイト類は絶滅したが、オウムガイの仲間では現在まで生き延びてきた化石とされているものが知られている。興味深いことに、現生のシーラカンスもオウムガイも深海で生息する種であり、深海に適応した種が選択的に生き延びたのかもしれない (薮本・上野, 2013).

### 3. 教材

世界各地で産出するシーラカンス化石については、ツーソン、ミュンヘン、東京などで開催される鉱物見本市（ミネラルショー）で入手できる。時代や保存状態もさまざまであるが、本実践では、マダガスカル産の三畳紀前期の化石 (*Whiteia woodwardi*) を用いた (図1)。この化石は鱗の形態がよく保存されており、シーラカンスと四肢動物の肢との形態が比較できるものである。

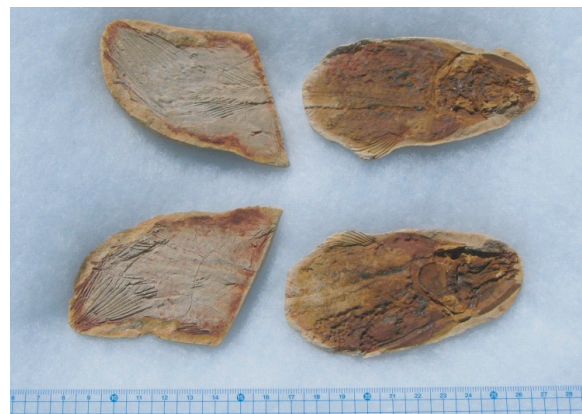


図1. マダガスカル産ジュラ紀シーラカンス化石 *Whiteia woodwardi*.

シーラカンスはなぜ絶滅せずに現在まで生き延びてきたのか、なぜ進化速度が遅いのかを追究するために、現生のシーラカンスの精巧復元模型（シーラカンス・スピリット・ミュージアム仕様 (Ordovis, model-#007)）を確保した。このシーラカンス模型は2015年に国内で新たに製作されたもので、細部まで *Latimeria chalumnae* 剥製標本を忠実に複製しているものである。さらに、生徒に触って観察できるような安価の模型（アイコメガシリーズ・シーラ



カンス)を確保した。



図2. シーラカンス精巧模型.

#### 4. 授業実践

##### (1) 単元について

実践を行った中学校第2学年の単元「動物の生活と生物の変遷」では、生物の観察、実験を通して、細胞レベルで見た生物の共通性と相違点に気付かせるとともに、動物の体のつくりと働きや、動物の体のつくりなどの特徴に基づいて分類できることなどを理解させ、動物についての総合的な見方や考え方を養っていくことが大切である(文部科学省, 2008)。また、いろいろな動物を比較して、共通点や相違点について分析して解釈し、第1学年の単元「大地の成り立ちと変化」で学習してきたことと関連させながら考えさせることを通して、生物が進化してきたことを理解させ、生物を時間的なつながりでもとらえる見方や考え方を身に付けさせることが重要である。そのために、「エ 生物の変遷と進化」においては、現存の生物および化石の比

<第1章>

##### 生物と細胞(全7時間)

時	ね ら い
1	動物の生活や、その環境、からだのつくりなどについて観察経験や資料にもとづいて、自分の意見を発表できる。
2	生物の細胞について意欲的に話したり、植物と動物のからだは、どちらも細胞からできていることに関心をもって話を聞いたりすることができる。
3	植物の細胞を、顕微鏡を正しく使って観察し、記録できる。
4	動物の細胞を、顕微鏡を正しく使って観察し、記録できる。
5	観察の結果をもとに、植物と動物の細胞のつくりと特徴について、それぞれの生活のしかたと関連づけて考えることができる。
6	細胞の形や大きさは、生物の種類やからだの部分によって異なることが分かり、生物は単細胞生物と多細胞生物に分けられることが理解できる。
7	身近な野菜を使っていろいろな組織を観察できる。

較などを基に、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させたい。中学校学習指導要領解説理科編においては、内容の取り扱いにかかわって、「進化の証拠とされる事柄や進化の具体例について取り上げること。その際、生物にはその生息環境での生活に都合のよい特徴がみられることにも触れること。」とある。よって、「エ 生物の変遷と進化」の指導内容を指導する際に、シーラカンスを用いることにした。

##### (2) 単元指導計画

以下のような単元指導計画のもと、実践を行った。各単位時間のねらいについて、表にまとめる。

シーラカンスを教材として扱ったのは、第36時である。岐阜市教育委員会が作成した「平成26年度『指導と評価の計画』中学校改訂版」にも、同様な単位時間が位置付けられており、特別に位置付けられたものではないこと、この実践の充実が指導改善につながることは明らかである。

##### (3) 実践を行う第36時までの子どもの学び

子どもたちは、第35時までに以下の内容について学習してきている。

- 脊椎動物では、魚類をはじめとする5つの仲間の間には、魚類と両生類の幼生は鰓呼吸、魚類・両生類・爬虫類は変温動物、魚類・両生類・爬虫類・鳥類は卵生、魚類・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類はすべて脊椎をもっているというように、段階的に共通性が見られ

<第2章>

動物のからだのつくりとはたらき（全15時間）

時	ね ら い
1	食物にふくまれる主な成分として、有機物（炭水化物、タンパク質、脂肪）と無機物があげられることやヒトの消化にかかわる器官と消化のしくみについて理解することができる。
2	だ液によって、デンプンが分解されることを、実験により調べることができる。
3	いろいろな消化酵素のはたらきにより、食物にふくまれているそれぞれの成分が、小腸から吸収されやすい物質に分解されることを説明できる。
4	食物にふくまれているそれぞれの成分が小腸の柔毛から吸収されることを説明できる。
5	肉食動物と草食動物の消化管の違いや肝臓のはたらきについて理解することができる。
6	肺でのガス交換や血液によって運ばれるものについて理解できる。
7	細胞による呼吸について肺でのガス交換による呼吸との関連について説明することができる。
8	心臓のつくりやはたらきと動脈と静脈について理解することができる。
9	血液の成分やそのはたらきについて理解できる。
10	メダカの尾鱗などを材料に、毛細血管やその中を流れる血球のようすを観察することができる。
11	体内で生じた不要物が、じん臓で処理、排出されるしくみについて理解できる。
12	身近な動物を例に、動物の刺激の受容と行動との関連について説明できる。
13	動物が外の刺激を感覚器官でとらえ、神経によってそれを伝えている様子を理解できる。
14	ヒトが刺激を受けてから、反応することについて関心をもって調べることができる。
15	ニワトリやヒトのからだを例に、骨格や筋肉がつながりをもって動くことで、動物が行動していることが理解できる。

<第3章>

動物の分類（全7時間）

時	ね ら い
1	動物は、からだのつくりから、セキツイ動物と無セキツイ動物の2つのグループに分類できることが理解できる。
2	分類される根拠をからだのつくりや子の生まれ方、呼吸の仕方、体温の変化と関連付けて説明することができる。
3	生活環境や他の動物との関わりとからだのつくりの関係について理解できる。
4	無セキツイ動物のからだのつくりや動き方について調べ、その特徴をつかむことができる。
5	節足動物（カニ・エビなど）を解剖し、からだのつくりを調べ、動き方と関連付けながらまとめることができる。
6	軟体動物（イカなど）を解剖して、からだのつくりを観察し、軟体動物には、節足動物と異なり、からだにあしに節がないことを理解する。
7	からだのつくりや生活のしかたをもとに、動物の分類表を作ることができる。

<第4章>

生物の変遷と進化（全5時間）

時	ね ら い
1	化石や生物界の歴史について、関心をもって説明を聞き、示準化石と示相化石について理解し、進化のしくみを知ろうとすることができる。
2	セキツイ動物が出現した段階とそれぞれのグループの共通性について説明することができる。
3	セキツイ動物が水中生活から陸上生活をするグループへ進化していったことを、からだのつくりの変化と関連付けて理解することができる。
4	現在の動物のからだのつくりには、他の仲間とは形は変化しても、もとは同じ器官であったと考えられる相同器官があることを理解することができる。
5	本時

ること。

- 化石についての考察などから、現存している生物が変化して生じてきたこと。
- 第1学年の単元「大地の成り立ちと変化」での示準化石などについての学習も踏まえながら、陸上生活をする生物は水中生活をするものから進化してきたこと。
- 進化の証拠とされる事柄の例としては、始祖鳥やユーステノプテロンやイクチオステガを取り扱い、爬虫類と鳥類の両方の特徴をもつこと。また、脊椎動物の鰭と肢のように起源が同じ器官がみられること。
- 現存の生物は、進化によって生じたものであること。

#### (4) 授業の展開 (第36時)

##### ①本時のねらい

本時は、シーラカンスの模型や化石を用いて、シーラカンスの体の特徴が見なれた魚類とは異なることに気付かせること、進化してきた事実に気付かせること、そして、生物を時間的なつながりの中でとらえ、生活環境に影響を受けていることをとらえることが大切である。よって、本時のねらいを「シーラカンスの体のつくりを魚類と比較することを通して、鰭の数やつくりが違うことに気付き、魚類から両生類に進化していく過程が体のつくりに残されていることを理解したり、環境の変化が穏やかな深海で生息することで、3億年以上も体のつくりを変化させる必要がなかったこと見いだしたりすることができる。」とした。

##### ②指導の具体

###### ア) 事象提示

まず、シーラカンスについて尋ねたところ、多くの生徒が以下の点について知っていた。

- 「生きている化石」と呼ばれていること
- 現存していること
- 深海に生息していること

そこで、本時のねらいに迫るためには、まずはシーラカンスの体のつくりが、他の魚類と異なることを事実としてつかむ必要があるため、「ビフォア・アフター」として、まずは生徒一

人一人にシーラカンスを絵に描かせた。その後、シーラカンスの模型を提示した。一人一人が描いた絵と模型を比較させながら、あらためて模型をスケッチさせた。

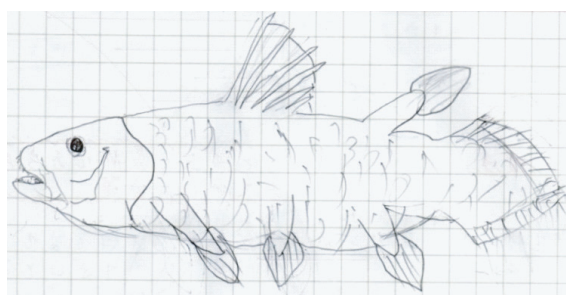
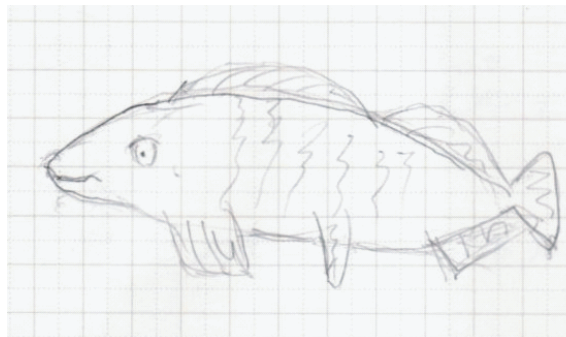


図3. 生徒が描いたシーラカンスのスケッチの例。

上図：生徒のイメージ図，下図：模型をもとに描いたスケッチ。

スケッチを比較することで、生徒たちが自分の力で、魚類との体のつくりの違いに気付くことができた。そして、「鰭が全部で8枚あること。」「対になっている胸びれと腹鰭が長いこと。」など、共通の事実として確実に位置付けることができた。

##### イ) 課題化

シーラカンスの体のつくりと魚類の体のつくりを比較させることで明らかになった事実を基にして、「シーラカンスの体には、どのような特徴があるか。」という課題を設定した。

##### ウ) 予想交流

すでに、第35時までに進化について学習しているため、その既習事項を基に、以下のような予想が出された。

- 魚類に比べて鰭が長いのは、手や足になる途中なのではないか。



- ・手や足が必要なのは陸上だ。水中から陸上へと進化するために、体のつくりを変え始めていたのではないか。

この予想を解決するためには、事実が必要である。そこで、生きているシーラカンスを用意することができないため、化石のシーラカンスを用意した。



図4. シーラカンス化石を観察する生徒。

#### エ) 観察

シーラカンスの化石を観察すると、胸びれと腹びれに筋肉のついてた柄のような部分や、その中には何本かの骨が存在していること発見することができた。

#### オ) 考察

観察で得られた事実から、魚類から陸上生物へ進化していく過程が、体のつくりに残されていることを全体で確かめた。

そこで、本時のねらいに迫るための発問を行った。化石に残されている形態と、現在のシーラカンスの形態を提示しながら、「進化の過程が残っているシーラカンスですが、3億年以上前のシーラカンス化石と現在生きているシーラカンスを比較すると気付くことはありませんか？」と発問すると、子どもたちは「3億年以上も経っているのに、体のつくりに変化がほとんどなく、同じだ。進化が止まってしまったのだろうか。」と疑問をもった。そこで、様々な要因を踏まえながら議論し合った。予想の段階における生徒の考えはつぎのようなものである：

- ・深海では水圧が強すぎて体の形を変えられない

- ・陸に行けずに魚類のままになっている
- ・深海の方が住みやすいことに気が付いた
- ・体の構造に限界があった
- ・陸に上がったときに必要な肺が深海では使えず、つくれないことに気が付いた
- ・他のものが先に進化した

そして、生息場所が深海であることに着目させることで、深海の環境にかかわって議論が深まっていった。その際には、深海は、

- ・太陽の光が届きにくいから、温度変化が少ないのではないか。
- ・水圧が大きく、住みにくい環境であるため、敵が少なかったのではないか。
- ・敵が少ないことで、襲われることがなくなったり、えさの争いが少なくなったりするのではないか。

という考えを位置付けた。そして、進化ができなかったというよりは、「深海が安定した環境であったため、3億年以上も進化する必要がなかった。」という結論を出すことができた。この結論は、まさに、本単元で大切になる「環境と体のつくりを関係付けた見方や考え方」であった。

#### カ) まとめ

授業後に生徒に感想を書かせた。以下にその一例を示す。

「シーラカンスの授業をして、今までの知識では、「古代魚」ということしか知らなかったけど、今日、模型を見てみて、まずひれが8つあることにおどろきました。今まで学習した魚類は7つだったけど、尾びれの形も普通の魚と違って、長く太くなっていて大きなことがわかりました。それは魚類が両生類に進化する途中の姿だということがわかりました。この授業では今まであった魚の知識をくつがえすようなとてもおもしろい授業でした。またシーラカンスは深海に住んでいて進化の過程を体のつくりの中に残しているのに形が変わっていませんでした。深海は安定した環境で変化する必要がないからだということを見いだしたときびっくりしました。生物は環境に合わせて体のつくりを変化させたり、そのままにしているのだと思いました。」

同様の感想をもつ子どもが多かった。生徒の

感想文から、シーラカンスの模型や化石を効果的に活用することで、本時のねらいを達成することができたことが伺える。

## 5. 議論

### 5.1. 科学における未解決の問題への挑戦

地学分野では、実験・観察が不可能な事象を学習する。その際に、事象について推論が必要になる場面がある。推論では、仮説を立て検証をするという態度が必要となる。しかし、仮説の検証は簡単にはできない。過去に起こった出来事を合理的に理解するには、さまざまな状況証拠を集めて作業仮説を構築する力が求められる。そうした力をどのように育成するかは科学的探究能力を育成するうえで重要である。

仮説を生み出すには、提示された事象をもとに、もっともらしいシナリオを構築することが必要である。そうした仮説の構想力は、実際に地球史の解説を行う研究者にとっても求められる研究力である(熊澤ほか, 2002)。専門的に研究している研究者であっても、事象が難しく、理解が困難な場合はシナリオの構築ができないこともあり、事実の記載を積み重ねていかざるを得ないこともある。本研究では、生きた化石であるシーラカンスが、3億年にもわたって形態を変化させていないこと、繰り返し起こった生物絶滅にも関わらず生き延びてきたことを提示し、その理由を考えさせた。生徒からでてきた考えは、深海底の環境から想起されたものであり、シーラカンスの研究書や学術論文に記述されているような内容と符合するものであった(藪本・上野, 2013)。そうした考えを検証するには、新たな化石の発掘、あるいは生きた化石シーラカンスの解剖やゲノム解読といったアプローチが必要になる。今後こうした研究が進むことで、生徒が考えたシナリオに対する評価が下されるようになるかもしれない。すなわち、本研究で、提示した課題は、生徒たちに本物の科学研究に触れさせるきっかけになるのではないか。そのためには、生徒の学習過程について、より実証的に検証を行っていく必要がある。

藪本・上野(2013)は、シーラカンスがなぜ現在まで生き延びたかのかについて、以下の点

を指摘している。形態を変えるほど、それらの生存は脅かされなかった。生息場所が隔離されて生存を脅かす敵がいなかった。生きた化石は、生物の歴史の謎を解くヒントを与えてくれる。生態や生活様式の情報得られる。DNA解読によって、遺伝子の働きに関する情報が得られる。また、ショービン(2008)は、動物の体のつくりやDNAに生物進化の歴史が刻まれていることを多くの事例で紹介している。科学の発展によって、それまで謎だった問題が解決されると同時に、新たな謎が生まれ、それが研究を進める原動力になっていることを、次世代を担う児童・生徒に伝えることも大切ではなかろうか。

### 5.2. 生命の変遷と進化における実物教材の意義

実験・観察が困難な課題を授業で扱うには、生徒たちが主体的に思考できるような学習環境の設定が必要である。日ごろ考えたことがない事象については、松永・池田(2012)が実践しているように、生徒たちに先行知識を与え、それをもとに新たな課題を解決するというアプローチが有効である。生徒たちに与える先行知識は、先行オーガナイザーと呼ばれている(川上・多鹿, 1987)。こうしたアプローチでは、新たな課題について、先行知識をもとに観察を行って、結論を導くような学習過程になる。この場合でも、恐竜骨格模型のような実物教材は、事象間の比較や関係づけを行うのに必要である。

また、仮説を構築する上でも、課題を学習者に身近に感じさせ、発想を促すには、実物教材が有効である。

本研究では、3億年にもわたって形態が変化してこなかったことを、シーラカンス化石と現生シーラカンスの模型を提示することではっきりさせた。鰭の部分が陸上の四肢動物と類似していることについては、学習者が触っても破損することがない安価な模型を導入させることで実感をもたせた。

## 6. おわりに

生きた化石といわれているシーラカンスがなぜ3億年の間ほとんど形態を進化させていない



のか、また、なぜ大量絶滅事件が起こったにも関わらず、現在まで生き延びているのか。シーラカンスにまつわる生物の進化の謎は、ゲノム解読が行われて新たな時代にはいった。こうしたなかで、マダガスカル産シーラカンス化石や現生シーラカンスの精巧模型が入手できたため、中学校の理科授業で活用を試みた。生徒たちは、自分の力で推論し、仮説を構築することができていた。こうした仮説を今後どのように検証していくかという観点で、理科の学習を継続させていくかが課題である。

本研究における課題は、学習者の実態を把握したうえで、学習過程における工夫を加え、用いた教材の効果を検証していく必要がある。

**謝辞.** 化石研究家小野輝雄氏には、新宿、池袋、ツーソン、ミュンヘン、セントマリオンなどのミネラルショーにおける化石、鉱物、隕石の情報や、シーラカンス精巧模型に関して情報提供を受けている。ここに記して深謝する。

## 文献

- 天野孝紀・城石俊彦 (2013) シーラカンスの鰭から四肢への進化を考える。遺伝-生物の科学, **38**, no. 3, 220-225.
- Amemiya, C. T., J. Alfoldi, A. P. Lee, et al. (2013) The African coelacanth genome provides insights into tetrapod evolution. *Nature*, 496, 311-316.
- クラック, J. (2000) 手足を持った魚たち：脊椎動物の上陸戦略, 講談社現代新書, 295p.
- Clack, J. A. (2002) Gaining ground: The origin and evolution of tetrapods. Indiana Univ. Press, 368p.
- Clarkson, M. O., S. A. Kasemann, R. A. Wood, T. M. Lenton, S. J. Daines, S. Richoz, F. Ohmemueller, A. Meixner, S. W. Poulton, and E. T. Tipper (2015) Ocean acidification and the Permo-Triassic mass extinction. *Science*, **348**, 229-231.
- Daeschler, E. B., N. H. Schubin, and F. A. Jenkins, Jr. (2006) A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan. *Nature*, **440**, 757-763.
- Erdmann, M. V., R. L. Caldwell, and M. K. Moosa (1998) Indonesian 'king of the sea' discovered. *Nature*, **395**, 335.
- 服部将也・川上紳一 (2014) 中学校理科授業における進化の証拠としての始祖鳥化石。岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **38**, 67-71.
- Holder, M. T., M. V. Erdmann, T. P. Wilcox, R. L. Caldwell, and D. M. Hillis (1999) Two living species of coelacanths? *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **96**, 12616-12620.
- 岩田雅光・安藤義孝 (2013) インドネシアシーラカンスの発見と展望。遺伝-生物の科学, **68**, no.3, 215-219.
- 川上昭吾・多鹿秀継 (1987) 理科授業における先行オーガナイザの効果。第1報：中学校第1学年、鼻のつくりの学習において。日本教科教育学会誌, **12**, 75-80.
- 熊澤峰夫・伊藤孝士・吉田茂生 (2002) 全地球史解説, 東京大学出版会, 540p.
- Long, J. A. (1995) The rise of fishes: 500 million years of evolution. The John Hopkins Univ. Press, 223p.
- 松永武・池田幸夫 (2012) 理論依存型による理科授業の実践的研究- (2) 中学校理科における「恐竜の分類と進化」。山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第34号, 57-66.
- 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領解説-理科編, 大日本図書, 149 p.
- 村瀬安和・川上紳一 (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。岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **37**, 53-58.
- 二階堂雅人・岡田典弘 (2014) シーラカンスゲノム中に隠されていた脊椎動物陸上化のカギ, バイオサイエンスとインダストリー, **72**, 134-136.
- 大石道夫 (2015) シーラカンスは語る：化石とDNAから探る生命の進化, 丸善出版, 174p.
- 大野照文 (監修)・蒲生諒太 (編著)・寺脇研・荒瀬克己・川上紳一・飯澤功・板倉聖宣・市川光太郎・大野照文 (講演) (2015) 学びの海への船出：探究活動の輝きに向けて, 京都大学総合博物館. 447p.
- Renne, P., R., A. L. Deino, F. J. Hilgen, K. F. Kuiper, D. F. Mark, W. S. Mitchell III, L. E. Morgan, R. Mundil, and J. Smit (2013) Time scales of critical events around the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, **339**, 684-687.
- Schoene, B., K. M. Samperton, M. P. Eddy, G. Keller, T. Adatte, S. A. Bowring, S. F. R.

- Khadri, and B. Gertsch (2015) U-Pb geochronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction. *Science*, **347**, 182-184.
- ニール・シュービン(Shubin, N.)・垂水雄二 (訳) (2008) ヒトのなかの魚, 魚のなかのヒト-最新科学が明らかにする人体進化35億年の旅. 早川書房, 306p.
- 上野輝彌 (1992) シーラカンス: はるかな古生代の証人. 講談社現代新書, 175 p.
- 藪本美孝・上野輝彌 (2013) 白亜紀の絶滅をどのようにして生き延びたのか-現生シーラカンスの解剖と化石からわかるシーラカンスの進化. *遺伝-生物の科学*, **68**, no.3, 245-250.