

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」 －

松永 武*・池田 幸夫**

A Practical Study of Science Teaching Based on the Theory-Dependent Teaching and Learning Method
(2) “A Classification and Evolution of Dinosaurs” in Junior High School Science

MATSUNAGA Takeshi*, IKEDA Yukio**

(Received August 6, 2012)

キーワード：理論依存型授業、生物の変遷と進化、恐竜、イメージ変化図法

はじめに

日本の教育課程は、1989年改訂の教育課程から大きく方向を転換した。基本的には「教師が教えて生徒が聞く」という伝統的な授業方法から、生徒自身が「自ら学び、自ら考える」ことを目指した「子ども中心主義教育」への転換である。子ども中心主義は教育理念としては非の打ち所がないが、次第に理念が一人歩きするようになってしまった。先生の仕事は教えることではなく、子ども自身が自ら考える活動を支援することと考えられ、先生が教えることを躊躇する傾向が強くなった。例えば、理科の授業においては、先生がきまりを丁寧に説明することから始める授業は「教え込み」であるとして批判され、子ども自身がきまりを発見するように展開する授業がよい授業として推奨されたのである。課題を解決するために必要な実験方法を子ども自身を考えさせる授業は、その一例である。

このような授業を参観して池田(2003)は、この授業は学力の高い一部の生徒の発言によって授業が進められることになって、学力が中程度以下の生徒は「何をすればよいのか」、「どのように考えればよいのか」ということが分からないままに授業が進められている。一見すると学習しているように見えても、実際には何も分からないままに授業が終わってしまう」と、疑問を提起している。同様の危機感を感じた市川伸一(2004)は、このような授業を「教えないで考えさせる授業」とよび、新しいタイプの分からない授業であると指摘している。進藤公夫も同じような問題意識を表明しており、それぞれ独自の授業方法として、池田(2003, 2004)は「理論依存型授業」を、市川(2004, 2008)は「教えて考えさせる授業」を、さらに進藤(2010, 2011)は「知識伝達一事例化モデル」を提唱している。

池田の「理論依存型授業」は、理論や法則などの基礎的な知識や考え方は授業のはじめに教師が丁寧に説明して教え、それらを活用した生徒の思考活動に重点をおく授業である。この授業では、考えるために必要な知識や考え方が教師から与えられるために、ほとんどの生徒が課題に対する共通認識をもって授業に参加することができ、自分の頭で考えたり話し合い活動を中心とした授業展開がやりやすくなると考えられている。これまでに行ってきた理論依存型授業の実践的研究の結果として、話し合い活動の活性化、科学的思考力の育成、科学に対する児童・生徒の興味・関心の向上などにおいて、小学校・中学校、さらに高校や大学の授業の方法としても効果を発揮することを確認してきた。これまでに公表している主な成果として、「金星の見え方(池田, 2004)」、「転向力(コリオリの力)の概念(池田, 2005)」、「水のふっとう(池田, 2009)」、「被子植物の分類と浮力のはたらき(松永・池田, 2011)」、「銅の酸化(松永・池田, 2012)」などがある。

これらの研究の一環として、本研究では「恐竜の分類と進化」を取り上げ、理論依存型授業の可能性を検

*山口大学教育学部附属山口中学校 **広島修道大学人文学部

討する。「生物の分類と進化」は、中学校と高校理科で学習する重要な概念の一つである。生物の分類については観察・実験を中心にした授業を行うことはできるが、「進化」については実験ができないため生徒の興味・関心を引く授業が難しく、どうしても先生のお話で終わる授業になりがちであった。本研究では、理論依存型授業によって「分類」や「進化」の授業に生徒を参加させ、科学に対する生徒の興味・関心を高めるとともに、科学的な知識や科学的思考力、特に批判的思考力を育成する可能性の検討を行う。そのためには、授業の成果を客観的に評価する必要があるが、本研究では授業評価の方法として池田（2002）が提唱しているイメージ変化図法を用いた。

「恐竜」をテーマに選んだ主な理由は2つである。1つは、多くの子どもたちが恐竜に強い興味・関心をもっていることである。他の1つは、恐竜学が1980年代以降に「パラダイム転換（T. クーン, 1971）」の時期を迎えていることである。恐竜に対する認識の変化についてはR. バッカー（1988）の著書『恐竜異説』などが詳しい。T. クーンの相対主義科学論によれば、科学の進歩は知識が増殖していく「通常科学」の段階と、考え方そのものが新しいパラダイムに転換する「科学革命」の時期に区別することができる。1980年代以降の恐竜研究はこれまで常識として認められてきた「恐竜の概念」や「脊椎動物の分類体系」そのものを変える可能性を秘めており、クーンの科学革命に相当している。このように、常識と考えられてきた学説が今変わろうとしているという科学のダイナミックな姿を生徒に体験させることによって、自然科学に対する子供たちの興味・関心を大きく向上させることができるのではないかと考えたからである。

本研究では、恐竜を題材にした理論依存型授業による授業を松永が行い、イメージ変化図法による授業の評価は池田が担当した。また、実践授業は、山口大学教育学部附属山口中学校2年生（全4クラス）を対象に行った。

1. 授業の型

「きまり（理論や法則）」と「観察・実験」は理科授業を構成する2大要素である。授業の中にこれらをどのように位置づけるかによって、池田（2004）は理科授業を「理論追求型」と「理論依存型」に区別している（表1）。

表1 理論追求型授業と理論依存型授業の比較

授業の型	理論追求型授業	理論依存型授業
授業の流れ	観察・実験 ↓ 情報を整理して きまりを見つける	きまりを学習 ↓ きまりを用いて 自然事象を理解する
科学的思考	きまりを見つけることができる	きまりを活用することができる

観察・実験の活動を行い、その結果から「きまり」を見いだすことを目標に展開する授業が理論追求型である。この授業では、「生徒自身がきまりを見つける」ことが、科学に対する子どもたちの興味・関心を高めるとされ、科学的思考力の評価観点としても最も重要視されている。小・中学校の理科の教科書はこの授業を想定して記述されているため、学校の理科授業は理論追求型で行われることが多い。この型の授業は「生徒が自ら学ぶ」という子ども中心主義教育の考え方によく合致しているために、理想的な授業であるように考えられてきたが、池田（2011 a, 2011 b）はこの授業の問題点を次のように指摘している。

- ① 帰納法の限界：授業で行われる観察・実験では、子ども自身が「きまり」を帰納的に見つけることが難しい場合が多い。
- ② 教科書の軽視：教科書を使わない授業こそ理想的な授業だという誤解を与えている。
- ③ 分からない授業：教師が教えることに躊躇する傾向があり、「何が分かったのか分からない」中途半端な理解のままで授業が終わることが多い。特に、学力が中～下位の児童・生徒は授業内容の理解が十分でない。

これに対して、理論依存型の授業は「きまり」は基本的に教師が教え、与えられたきまりや方法を活用す

る活動を重視した授業である。新しい課題について観察や実験を行う場合に、理論追求型授業では「どのような実験をすればいいのか？」と実験方法を考えさせることが多いが、課題に対するイメージや既存の知識のない生徒にとっては、「何をどのように考えればいいのか」が分からず、他の生徒の意見や先生のアドバイスをそのまま受け入れて実験を行うことが少なくない。いわゆる「待ちの体勢」を取るわけである。理論依存型授業では必要な最小限の知識や方法を教師が授業のはじめに教えるために、この難点を避けることが可能である。はじめに必要な知識を整理して与えられるために、学力の低い生徒であっても授業に主体的に参加する可能性が大きくなり、自分の力で考えることもできるようになるはずである。このことは、理論依存型授業においては「きまり（理論や法則）を活用して考える」ことを科学的思考力の評価観点としてより重視することを意味している。

理論依存型授業と言っても、授業のテーマやねらいに合わせていろいろな方法を取ることができる。具体的な方法として、池田（2009）は次の3つを提示している。

方法1：授業の過程で「あれっ、おかしいぞ？」という感じをもたせる（矛盾の自覚）

方法2：科学モデルに基づいて思考させる（思考実験）

方法3：目に見えない現象を生徒がイメージできる工夫をする（比喩モデル）

前述したこれまでの授業事例の中では、「水のふっとう（池田，2009）」、「被子植物の分類（松永・池田，2011）」、「浮力のはたらき（松永・池田，2011）」、および「銅の酸化（松永・池田，2012）」の授業は矛盾の自覚（方法1）、「金星の見え方（池田，2004）」と「転向力（池田，2005）」は思考実験（方法2）を重視した理論依存型授業である。

2. 理科教育における「恐竜」の扱い

2-1 恐竜学の進展

理科における恐竜の扱いを述べる前に、1970年代以降に急速に発展してきた最新の恐竜学の進歩について述べておこう。

1994年に出版したフィリップ・カリーの著書『恐竜ルネサンス』によると、恐竜が科学的に認知されたのは1820年代のイギリスであり、イグアノドンやメガロザウルスの化石の記載が最初である。これらの過去の巨大な生物に「恐ろしいトカゲ」という意味の「ディノサウリア（恐竜）」という言葉を与えたのは、1848年のリチャード・オーウェンである（F. カリー，1994）。

その後、世界各地で恐竜の化石が続々と発見されるようになったが、オーウェンの命名の影響を受けて、生物学的には「恐竜は爬虫類のなかま」という考え方が常識となって現在に至っている。中学校理科教科書の記述は、基本的にはこの定説に従っている。

「恐竜を爬虫類のなかま」と見なすパラダイムに異論を唱えたのは、アメリカの古生物学者ジョン・オストロムである。進化した小型肉食恐竜「デイノニクス」を研究したオストロムは、この恐竜の体型はトカゲやワニよりも鳥類に似ていることに注目して、恐竜は高度な新陳代謝能力をもつ恒温動物であること、鳥類は恐竜の子孫であることを主張した。オストロムの考えをさらに強力に推進した人物がR. バッカーである。彼は1974年にNATUREに論文を発表し、恐竜をトカゲやワニなどの爬虫類から独立させて恐竜類を作することを提唱した（R. Bakker, 1974）。バッカーの説に従えば、恐竜はトカゲやワニと同じ爬虫類ではなく、現在の鳥類が恐竜の子孫であることになる。脊椎動物を魚類・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類に分ける現在の分類を魚類・両生類・爬虫類・恐竜類・哺乳類に分け、さらに恐竜類の中に狭義の恐竜類と現在の鳥類を含めるのである。これは、伝統的な脊椎動物の分類学に変革を求めるものである。現在進行中の恐竜学の変革は、恐竜や鳥類に対するパラダイム転換であり、恐竜学は今まさに科学革命の中にいることを意味している。

当然のことながら、バッカー説には強い反対があり、現在でも完全には決着したとは言えないが、1980年代頃から中国遼寧省で相次いで発見された「羽毛恐竜」の存在が恐竜と鳥類の密接な関係を示したことによって、バッカー説の注目度は高くなった。恐竜を題材にして1993年に制作されたアメリカのSF映画『ジュラシックパーク』は、恐竜を鳥類と見なす最新の科学的知識に基づいて作成した映画であり、新しい学説が社会的にも注目集めるようになったことを意味している。バッカーの著書『恐竜異説』は日本語訳が出版されたのは1989年であり、1990年代には日本でも新しい恐竜像が注目を集めるようになった（R. バッカー，瀬戸口烈司訳，1989）。

バックラーの著書や「ジュラシックパーク」が発表されてから約20年が経過した現在でも、恐竜を爬虫類と見なす考え方は定説となっていて、恐竜論争に決着が付いたわけではない。恐竜の後ろ脚は長く体の真下に伸びていること（直立二足歩行）や、変温動物のトカゲやワニとは違って、カナダのバッドランドや南極のような寒い所からも恐竜の化石が発見されている事実は、爬虫類説では説明しにくい事実として昔から知られていたが、理論（恐竜の爬虫類説）を否定するような事実が分かっているにもかかわらず、科学研究においては否定的事実がすぐに理論を否定することにはならないのである。このようにある理論体系（パラダイム）によって説明できない事例を、相対主義科学論では変則事例とよばれている（T. クーン, 1974）。

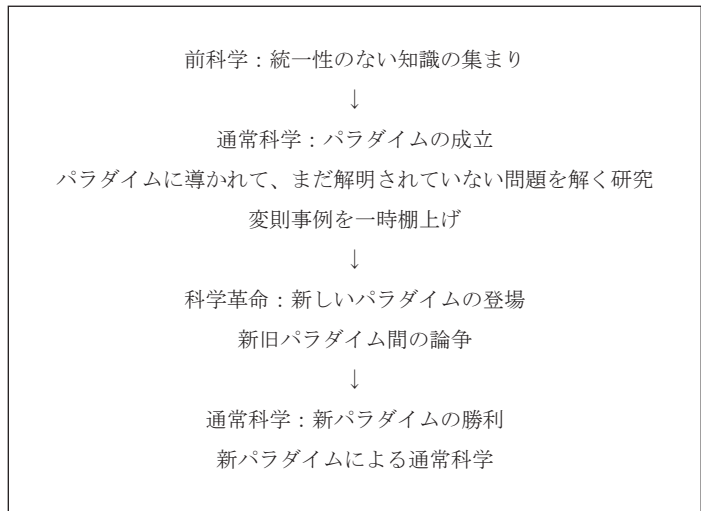


図1 T. クーンの相対主義科学論による科学の発展過程のモデル

恐竜に関する認識の歴史は、相対主義科学論では図1ように説明されている。1974年から現在までの恐竜学は、図1の科学革命の時期に相当している。

2-2 中学校理科における扱い

中学校学習指導要領（文部科学省，2008）によると、中学校理科では第1学年「地層の重なりと過去の様子について」と、第2学年「生物の変遷と進化について」の単元で恐竜が登場する。前者では、中生代の示準化石の一つとして恐竜を取り上げ、代表的な恐竜の復元図や化石が掲載されている。後者では、始祖鳥を取り上げて、「始祖鳥は爬虫類と鳥類の両方の特徴をもち、生物の進化を示す証拠」として、ほとんどの教科書で化石の写真、復元図および骨格が掲載されている。また、伝統的な分類法に従って脊椎動物を魚類・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類に分け、恐竜は爬虫類のなかまに含まれている。2012年に発行された最新の教科書の中には、科学に関する話題として「恐竜の恒温動物説」を取り上げているものもある（例えば大日本図書，2012）が、単なる読み物としての記述であり、あくまで興味付けの範疇を超えるものではない。

3. 授業実践

中学校第2学年「生物の変遷と進化」では、現存の生物及び化石の比較などに基づいて、現存の生物は進化によって過去の生物から生まれ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目標としている（文部科学省，2008）。本実践では、現存の爬虫類や鳥類と恐竜の化石やその復元図を比較することによって、恐竜の進化と分類学上の位置づけについて理論依存型による問題解決学習を行い、その教育的効果をイメージ変化図による授業評価によって検討した。

3-1 生徒への事前アンケート

恐竜に対する生徒のイメージを把握するために、授業に入る前に質問紙による調査を行った。「恐竜についてのイメージを自由に書いてください」という自由記述によるアンケートの結果、表2のような結果を得ることができた。

表2 恐竜に対する生徒のイメージ

<ul style="list-style-type: none"> ・凶暴 ・鋭い歯や牙がある ・動きが鈍い ・首やしっぽが長い ・巨大な爬虫類 ・トカゲやカエルを大きくした生物 ・ゴジラのような生物 ・体の表面がゴツゴツしている ・トカゲのようなニワトリ ・爬虫類と鳥類の中間的な生物

生徒はこれまで理科授業で「恐竜」の学習をほとんど受けていないので、日常生活で得られた経験などを

通して「鋭い歯をもち、凶暴なイメージ」、「巨大な爬虫類」、「ゴジラのような生物」などの回答が多い。このことから、多くの生徒にとって恐竜は「空想上の生物、未知の生物である」というイメージが強いことが分かる。しかしながら、回答の中には「トカゲのようなニワトリ」や「爬虫類と鳥類の中間的な生物」のように、今回の授業に直接関係するような認識もいくらか見ることができた。

3-2 授業展開

授業は2時間で行った。授業で取り上げた学習内容とその時間配分は表3に示されている。

表3 授業の内容と展開

	学 習 内 容
1 時 間 目	1 「恐竜」の定義を行う。 2 脊椎動物の分類の仕方、始祖鳥の位置付けを確認する。 3 学習課題「恐竜と爬虫類の似ているところ異なるところを見つけてみよう」を提起する。 4 「恐竜と爬虫類の運動能力の違い」を考えさせる。 5 「恐竜と爬虫類を同じ仲間とする」ことには矛盾があると自覚させる。
2 時 間 目	6 「恐竜は鳥の仲間」とする新しい学説を紹介する。 7 学習課題「恐竜と鳥の似ているところ異なるところを見つけてみよう」を提起する。 8 「羽毛の働き」を考えさせる。 9 学習のまとめをする。

3-2-1 恐竜の定義

生徒が抱いている恐竜のイメージはきわめて多様であり、「翼竜」、「魚竜」、「首長竜」を恐竜と思っている生徒は多い。しかし、これは間違いである。中生代に繁栄したこれらの生き物は「恐竜」ではないからである。思考の混乱を避けるために、「学術的に恐竜と見なされている生き物は中生代に繁栄した完全に直立歩行する爬虫類型の生き物である」ことを、恐竜、翼竜、首長竜など復元図を使って示した。定義によって、恐竜とそれ以外の生物とをはっきりと区別したわけである。

恐竜の復元図には、1990年代に大きな変化が見られる。図2は、1993年と1997年の中学校理科の教科書（大日本図書、1993、1997）に見られる恐竜の挿絵である。1993年度版では、後ろ脚と尻尾で立ち上がるいわゆる「ゴジラスタイル」で描かれているのに対して、1997年度版では後ろ脚を支点として上半身と尻尾でバランスを取るスタイルで描かれている。このスタイルは現在と同じである。この挿絵を使って恐竜の体型の違いを説明すると、ほとんどの生徒は教科書の記述内容が大きく変わっていることに驚き、恐竜に関する知識が現在進行形で大きく変化していることに驚いたようであった。

1993年度版



1997年度版



図2 教科書における恐竜復元図の比較（大日本図書）

3-2-2 脊椎動物の分類

中学校理科では、脊椎動物を魚類・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類に分類している。生徒は、「脊椎動物の仲間」でこの分類を既に学習し、この分類法に従って、始祖鳥は爬虫類と鳥類の中間の生物として学習している。本研究の授業実践を行うにあたり、授業の当初に写真やワークシートを使って爬虫類、鳥類の体のつくりや体温の違いなどについて復習を行い、その後、理論依存型による授業を行った。

3-2-3 学習課題「恐竜と爬虫類の共通点と相違点を見つけてみよう」

理論依存型授業の大きな特徴は、「きまり」を活用した思考活動である。最初に、「恐竜は爬虫類のなかま」という定説を取り上げて、「恐竜と爬虫類の似ているところ異なるところを見つけてみよう」という課題を与え、班別話し合いを行わせた(図3)。使用した教材は、現生の爬虫類としてコモドドラゴンの映像や写真、縮尺模型、恐竜として復元図、骨格模型および縮尺模型である。班別話し合い活動の後、各班でまとめた意見を発表し、生徒全員で知識の共有化を行った。



図3 恐竜の縮尺模型を観察する生徒

表4 生徒の意見

- | |
|---|
| <p>○似ているところ</p> <ul style="list-style-type: none">・歯がある・尾がある・体表がうろこ <p>○異なっているところ</p> <ul style="list-style-type: none">・恐竜は脚が真下に伸びているが、爬虫類は横に伸びている・恐竜は脚が長い、爬虫類は短い・恐竜の体は地面から離れているが、爬虫類の体は地面から近い |
|---|

表4は、生徒から出された主な意見である。この表から、「恐竜と爬虫類の脚の付き方や長さ、および歩き方の違い」に多くの生徒が気づいていることが分かる。これは、この授業で取り上げたい最も重要なポイントに生徒の思考が向いていることを示している。このように、理論依存型授業では思考の基礎となるべききまりを教師から与えるために、生徒に思考を一つのポイントに焦点化することが容易である。

「恐竜は長い脚が体の真下に伸びており、これは現生のトカゲやワニとは異なる」ことを、ほとんどの生徒が気づいた時点で、「恐竜と爬虫類の運動能力の違い」について発問した。班別話し合いの結果、ほとんどの班は「恐竜の方が爬虫類より運動能力が高いのではないか」という意見をもつようになった。次に、「では、恐竜と爬虫類は本当に同じ仲間なのだろうか」と別の発問を行うと、多くの生徒が「えっ?」という驚きの表情を見せ、「そう言われると、違うような気がする」という発言が聞こえた。これは、教科書等書かれている知識に対する疑問が生まれた瞬間である。池田(2004)はこの状況を「矛盾の自覚」とよび、理論依存型授業で生徒の学習意欲を高め、授業を活性化するために重要なポイントとなる場面である。

3-2-4 「恐竜は鳥の仲間」とする新しい学説

既存の学説に対する矛盾を自覚して「もっと知りたい」という学習意欲が高まったタイミングを見計らって、「恐竜は鳥のなかま」という新説を導入した。資料として羽毛の痕跡をもつ恐竜化石の写真や復元図などを用いて、アメリカのR. バッカーや中国の徐星らが提唱している新しい学説を紹介した。この説では恐竜を爬虫類から切り離し、新たに、現生の鳥類を含めた「恐竜類」の新設を提唱している。この説を認めれば、始祖鳥は爬虫類と恐竜の中間の生物であるという現在の定説が覆されることになり、始祖鳥は羽毛をもった恐竜の一種にすぎないことになる。

新説の紹介後、「恐竜と鳥の似ているところ異なるところを見つけてみよう」という課題を提起した。ここからは、恐竜と鳥を同じ仲間とする新しい学説に従った思考活動に入るわけである。使用した資料は、恐竜の復元図や鳥の写真、縮尺模型、キジの剥製である(図4)。班別での話し合いの結果をホワイトボードを使って発表させ、各班の意見をクラス全体で共有化した。発表では表5に示されているような意見が出さ



図4 恐竜の縮尺模型とキジの剥製の比較

表5 生徒から出された意見

- | |
|--|
| <p>○似ているところ</p> <ul style="list-style-type: none">・脚の付き方・脚の長さ・羽毛 <p>○異なっているところ</p> <ul style="list-style-type: none">・恐竜には歯があるが、鳥にはくちばしがある・恐竜は尾が長い、鳥の尾は短い・恐竜には羽毛がないものがあるが、鳥には羽毛が必ずある |
|--|

れた。この話し合いで意見が分かれたのは、羽毛に関する意見である。「すべての鳥は体表が羽毛に覆われている」ことはほとんどの生徒が常識として知っていることであるが、その働きについてはあまり知られていないようである。授業では「羽毛」に着目させ、「羽毛にはどのような働きがあるのだろう」と発問し、班別の話し合い活動を行わせた。その結果、鳥類は恒温動物であるという知識やダウンジャケットや羽毛布団から羽毛の保温性の高さに注目して、「体温を保持するため」という羽毛の働きを考えるようになった。生徒の中には想像を広げて、「羽毛に体温を保つ仕組みがあるということは、羽毛恐竜は恒温動物だったのか」や「やっぱり恐竜は鳥と同じ仲間なのだろう」と、教科書の記述を超えて自由に発想を広げる生徒もいた。このように、理論依存型授業では生徒の思考が外向きに広がることがよくあるが、池田・松永（2012）はこれを「発散型の思考」とよんで、理論依存型授業の特徴の一つと考えている。

羽毛をもつ恐竜化石の発見は、恐竜が恒温動物であったことや高い運動能力をもっていたことを強く示唆している。したがって、少なくとも一部の恐竜は鳥類と同じように温血動物であったと考えている研究者は多い。この考え方は、恐竜を爬虫類の仲間と見なす現在の教科書の記述とは明らかに矛盾している。また、始祖鳥を爬虫類と鳥類の中間の生物と見なす考え方にも矛盾を提起することになるであろう。「では、始祖鳥はどのような動物なのか？」と教師の発問に対して、羽毛恐竜の復元図と見比べながら「もしかしたら始祖鳥は羽毛恐竜の一種ではないか」、「そうだとしたら教科書に書かれていることは、将来変わるかもしれない」と述べた生徒は、この授業で大きなインパクトを受けたことであろう。

最後に、1993年に公開された映画『ジュラシックパーク』を取り上げて、2つの場面を視聴した。この映画は恐竜を鳥の仲間と見なす新しい学説に基づいて制作されて大ヒットしたアメリカのSF映画である。視聴した場面は、小型の肉食恐竜「ヴェロキラプトル」が窓ガラス越しに室内をのぞき込む時、鼻息でガラスが白く曇る場面と、後ろ脚で直立して俊敏に運動する場面である。前者は、恐竜の体温が高いことを、後者は恐竜の運動能力の高さを表現している。この映画では、恐竜がたいへんリアルに表現されており、恐竜に対する生徒のイメージを変えるのに十分な効果を発揮する。

4. 授業評価

2時間の授業の最後にイメージ変化図法（池田，2002）を用いて授業評価を行った。この方法は、ある単元の授業終了時に授業に関係した1つの言葉を刺激語として与えて、それに対する生徒のイメージの変化によって授業を評価する方法である。今回の授業で与えた刺激語は「理科」である。つまり、恐竜に関する2時間の授業によって、理科に対する生徒のイメージがどのように変化したのかを質問紙調査によって捉えて授業評価を行うわけである。調査項目としては、イメージや意識をプラスとマイナスにはっきり区別できるものなら何でもよいが、今回の調査では、表6に示されている7項目を用いた。

表6 今回行った質問紙による調査

「恐竜」の授業を受けて、理科に対するあなたの意識やイメージはどのように変わりましたか。授業前後で「変わらない」場合を「3」として、次の各項目についてあなたに最もよく合う尺度の数字を選んで○をつけてください。						
	項 目	たいへん増加した		変わらない		たいへん減少した
①	「おもしろい」イメージ	1	2	3	4	5
②	「難しい」イメージ	1	2	3	4	5
③	「もっと勉強したい」という意識	1	2	3	4	5
④	「めんどくさい」というイメージ	1	2	3	4	5
⑤	「好きだ」というイメージ	1	2	3	4	5
⑥	「たいくつな」イメージ	1	2	3	4	5
⑦	「楽しい」イメージ	1	2	3	4	5

イメージ変化図法では、2つのグラフを作って授業を評価する。その1つは、項目ごとのイメージの増減を「増加した」・「変わらず」・「減少した」の3段階に集約して、それぞれの割合を折れ線グラフに表現したイメージ増減図である（図5）。他の1つは、生徒一人ひとりのイメージ変化の向きと変化の大きさを散布図にプロットしたイメージ変化図である。イメージ変化図を作成する方法は次の通りである。

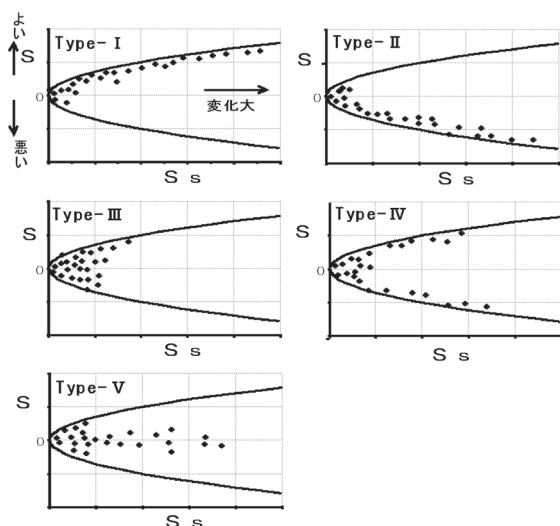
手順1：すべての項目を正のイメージに統一する。

- ・変わらない「3」を「0」にする。
- ・負のイメージは数値を反転する（元の回答が-1であれば+1に、2ならば-2にする）。

手順2：生徒一人一人について、変化量の平均値（S）とその二乗の平均値（S_s）を計算する。Sは平均としての変化の向きを、S_sは変化の大きさを表す。

手順3：SとS_sを散布図にプロットする。（横軸がS_s、縦軸がS）

同じ授業を受けても、生徒一人一人の個性によってイメージは異なるので、一定のパターンを作るはずである。池田（2002）によると、イメージ変化図のパターンは図5に示されている5つの基本形に分けることができる。それぞれの基本形は図5のように解釈することができる。



- Type-I：刺激語に対する生徒のイメージは、「変わらない」からよい向きに「大きく変化した」
- Type-II：「変わらない」から悪い向きに「大きく変化した」
- Type-III：授業の前後でイメージはほとんど変わらなかった
- Type-IV：「よい向きに変化した」生徒から「悪い向きに変化した」生徒まで二極化した
- Type-V：項目ごとに一貫性がない回答が多く、でたための回答が多い可能性がある

図5 イメージ変化図の基本形とその意味

4-1 イメージ増減図

まずイメージ増減図から検討していこう。図6はクラス別に作ったイメージ増減図である。グラフの並びは、授業を行った順（B組・A組・D組・C組）を表している。

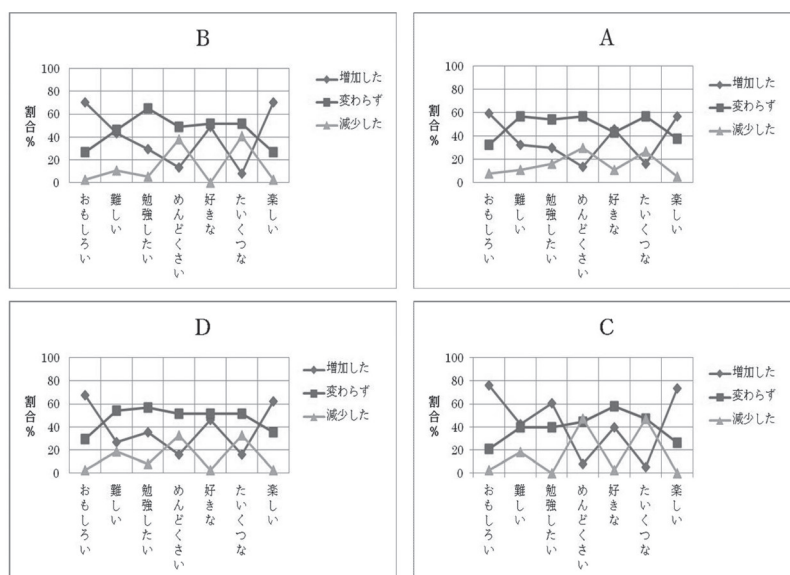


図6 授業後のイメージ増減図

4クラスとも、理科に対して「おもしろいイメージ」と「楽しいイメージ」が増加しているが、特にC組はいずれも約80%になり、よいイメージが大きく増加したことが分かる。さらに「勉強したい意欲」に注目すると、C組では約60%の生徒が「増えた」と答えているが、他の3組がいずれも40%以下であることと比べてC組の学習への意欲の増加は顕著である。負のイメージ（「難しい」「めんどくさい」「たいくつ

な)」の中で、「難しいイメージ」だけはどのクラスでも増加している。このことは、「恐竜」を題材にしたこの授業が理科を難しいと感じさせたことを意味していると解釈できるので、「難しい」と回答した生徒に聞き取りを行った。その結果、「知れば知るほどおもしろいと思うが、でも難しいと感じた」や「現在でも分かっていないことがあるとは、科学を知ることが簡単ではないと感じた」という回答が多かった。このことから、授業そのものが悪くて分からなかったのではなく、「授業はよく分かっておもしろかったが、科学を理解するのは簡単ではない」と解釈するのが妥当であるようである。

4-2 イメージ変化図

次にイメージ変化図の結果を検討しよう。4組のイメージ変化図は図7に示されている。この結果から、今回の授業を次のように評価することができるであろう。

各組のイメージ変化図の特徴は、A組とD組がType-IV、C組はType-I、B組はType-III（または不完全なType-I）である。A組とD組には、「理科」に対するイメージがよい向き（ $S > 0$ ）に大きく変化した生徒が多いが、悪い向き（ $S < 0$ ）に変わった生徒も存在していて、イメージ変化の二極化傾向が現れている。これに対してC組には悪い向き（ $S < 0$ ）に大きく変化した生徒はおらず、理科に対するイメージがよい向き（ $S > 0$ ）に大きく変化した生徒が多く、典型的なType-Iのパターンを示している。

恐竜を深く掘り下げた授業は、授業者（松永）にとって今回が初めての経験であった。そのため、必要な知識や教材の与え方やそのタイミングなどにいくらか迷いあったのは事実である。最初に授業を行ったB組がType-IIIを示しているのは、この迷いがストレートに繁栄されたことが原因であろう。授業の完成度の低さは、続いて行ったA組とD組の授業にも影響を与えた可能性がある。授業そのものは少しずつ改善されて完成度は上がったが、理科のイメージが正の向きに大きく変化する生徒がいる反面、負の向きに大きく変化した生徒が少数ながらも存在してイメージ変化図がType-IIの傾向を示しているのは、大きな反省材料となった。最後に行ったC組では、授業に修正を加えることができ、完成度の高い授業となった。そのため、授業中に授業者自身が確かな手応えを感じることができる授業となり、イメージ変化図は典型的なType-Iとなった。

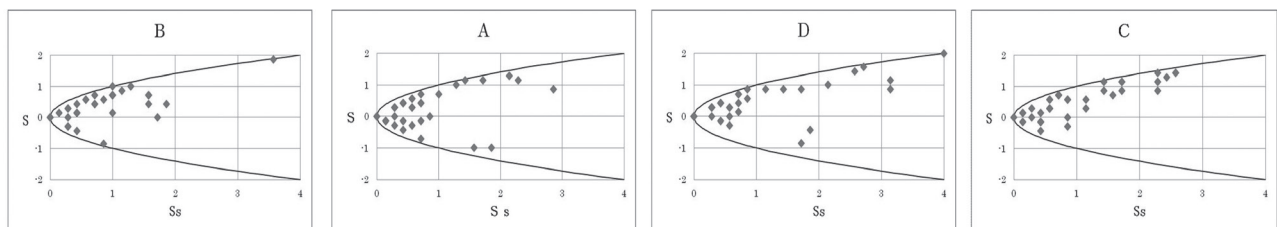


図7 授業後のイメージ変化図（授業はB組、A組、D組、C組の順に実施）
生徒のイメージデータは必ずグラフ中の放物線の内側にプロットされる。

おわりに

本研究で行った授業は、現在進行形でパラダイム転換が起こっている「恐竜」を題材にした授業である。「恐竜は爬虫類の仲間」という教科書の定説が変わるかもしれない、という科学上の問題を取り上げることによって、科学に対する生徒の興味・関心を高めることが目標の1つであるが、ある程度は目標を達成できたと考えている。

理論依存型授業は必要なきまりや知識を先に教えるために、与えられた課題をいろいろな視点から考察させることが容易である。そのために、教科書に書かれている知識や理論に対して矛盾を自覚する場面や、批判的に考察する場面を作ることが容易である。今回行った授業においてもこのことをはっきり確認することができた。

この授業では教科書に書かれている定説（脊椎動物の分類法や始祖鳥の扱い）に疑問を投げかけるような場面が多くあった。読者の中には、教科書の内容を否定するような授業に違和感を覚える方がいるかもしれない。確かに教科書に書かれていることは現時点における知識として大切にしなければならないが、すべてを正しい事実として教える必要はないと私たちは考えている。歴史的に見ると、科学は進化し変化するもの

であるからである。むしろ今回の授業で扱った恐竜のように、理論体系（パラダイム）そのものが新しいものに置き換わることは科学史の中ではしばしば起こって、その結果として現在科学は成立してきたのである。このようなダイナミックなパラダイム転換を体験させることによって、科学に対する生徒の興味・関心を高めることができるというのが、私たちの基本的な考え方である。今回の授業実践は、不十分ではあるがこのような授業の教育的意義を示唆しているのである。「学校で教わることでも、まだ分かっていないことがあることに驚いた」や「これからも新しい発見があるかもしれないので注目したい」という生徒の感想は、明らかにこれまでとは違う感想である。理論依存型授業は、これまでの授業ではできなかった新しい授業展開を可能にする方法の1つである。

理論依存型による授業研究はまだ始まったばかりである。今後は様々な課題に対して理論依存型による授業を行い、その可能性を探っていきたいと考えている。

引用・参考文献

- 有馬朗人ほか（2012）：理科の世界2年，大日本図書株式会社，130.
- 池田幸夫（2002）：授業評価に用いる二つのイメージ変化図法とその科学授業への応用，日本教科教育学会誌，第24巻，4号，1-10.
- 池田幸夫（2004）：文化としての科学史とその理科教育への応用，理科の教育，53巻，No. 11，東洋館出版社，4-7.
- 池田幸夫（2005）：思考実験を用いた地学の新しい教授学習法－理論の光で自然を見る－，理科の教育，54巻，NO. 5，東洋館出版社，8-11.
- 池田幸夫（2009）：矛盾の自覚から始める問題解決学習，楽しい理科授業，No. 513，明治図書，12-15.
- 池田幸夫・松永武（2011a）：理論依存型による理科授業の展開－方法とねらい－，日本理科教育学会全国大会発表論文集，第9号，275.
- 池田幸夫・松永武（2011b）：理論依存型による理科授業の方法と実践－中学校理科「銅の酸化」の授業を例として－，日本教科教育学会第37回全国大会論文集，164-165.
- 市川伸一（2004）：学ぶ意欲とスキルを育てる－いま求められる学力向上策－，小学館.
- 市川伸一（2008）：「教えて考えさせる授業」を創る，図書文化.
- 進藤公夫（2010）：「知識伝達・事例化モデル」の10年－理科授業のモデルとしてのこれまでとこれから－，日本科学教育学会中国支部研究発表会講演論文集，59-62.
- 進藤公夫（2011）：「知識伝達・事例化モデル」から「文化伝承・活用モデル」へ，日本理科教育学会四国支部会報，第30号，47-48.
- 塚田捷・山極隆・森一夫ほか（2012）：中学校理科教科書－未来へ広がるサイエンス1－，株式会社啓林館，74-77.
- 塚田捷・山極隆・森一夫ほか（2012）：中学校理科教科書－未来へ広がるサイエンス2－，株式会社啓林館，48-54.
- T. クーン（1971）：科学革命の構造，みすず書房.
- 戸田盛和ほか（1993）：中学校理科2分野下，大日本図書株式会社，58-59.
- 戸田盛和ほか（1997）：中学校理科2分野下，大日本図書株式会社，54-55.
- フリリップ・カリー（1994）：恐竜ルネサンス，講談社現代新書.
- 松永武・池田幸夫（2011）：理論依存型授業による科学的思考力の育成，山口大学教育学部・附属教育実践研究紀要，第10号，21-33.
- 松永武・池田幸夫（2012）：理論依存型による理科授業の展開－中学校理科「化学変化と原子・分子」の授業実践－，山口大学教育学部附属教育実践総合センター，第33号，143-152.
- 文部科学省（2008）：中学校学習指導要領解説理科編，大日本図書株式会社.
- 山下芳樹・池田幸夫（2003）：文化として学ぶ物理科学，丸善株式会社.
- R. Bakker and P. Galton (1974): Dinosaur Monophyly and a New Class of Vertebrates, Nature, Vol. 248, 168-172.
- R. バッカー（1989）：恐竜異説，平凡社.