

# 生徒の科学に対する暫定性と限界性の認識を育む指導法の開発

教育実践力高度化コース

16AD008

沼口 敦彦

【指導教員】小倉 康 上園 竜之介 中島 雅子

【キーワード】科学観 科学史 科学の本質 理科指導法

## I 研究の動機

2017年に文部科学省 科学技術・学術政策研究所が行った「科学技術に関する国民意識調査 - 国際・国内比較指標に関する検討 -」<sup>1)</sup>において、日本の国民の意識はEU諸国と比べて、科学技術への関心・理解が低く、科学技術に対する受動的な態度であることが明らかになっている。(図1) この傾向は長らく続いていたが、最新の調査では大きく改善してきている。しかし、他のEU諸国と比べると、依然低水準に留まっている。

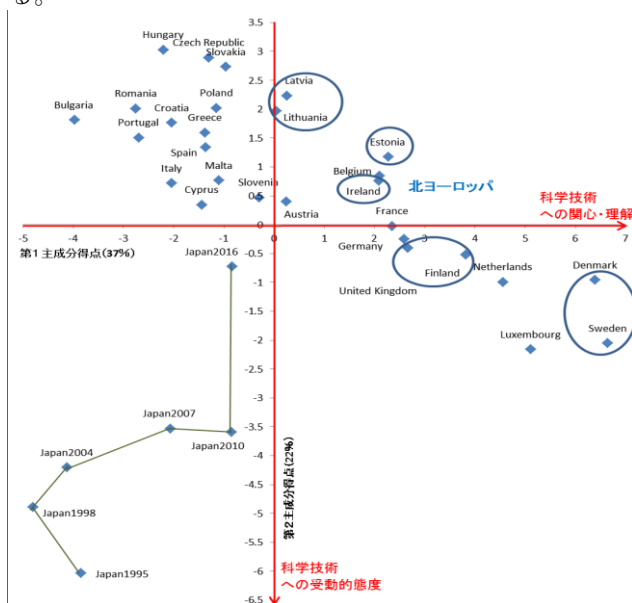


図1 科学技術に関する国民意識「科学技術に関する国民意識調査 - 国際・国内比較指標に関する検討 -」(文部科学省 科学技術・学術政策研究所 2017)

OECD 生徒の学習到達度調査 (Programme for International Student Assessment (PISA)) の2015年度調査では、「科学リテラシーを身に付けた人は、科学やテクノロジーに関する筋の通った議論に自ら進んで携わり」とあり、科学技術に対する態度と科学的リテラシーは密接に関わっていることが分かる。「すべてのアメリカ人のための科学」(AAAS (American Association for the Advancement of Science), 1989, p.15)<sup>2)</sup>においては科学的リテラシーとしての科学的観、科学的な探究の手法、科学的営為の本質の3つの側面から、すべての人々が科学の本質を理解することを求

めている。これらのことから科学についての認識(=科学観)を改善する指導法の開発が必要と考えた。

## II 研究の背景

### (1) 科学とは何か

科学観についての議論に先立ち、科学そのものの意味を明確にする必要がある。

村上(1971)<sup>3)</sup>の解釈によると、技術と科学の基本的な差異はルートの数である。技術は問題解決の際に、多岐にわたるルートがある。しかし、科学における問題解決はルートが一義的に決まってしまう。それ故に科学は全世界に普遍し、常に唯一のものをを選び取る。近代科学が「客観性」、「普遍性」、「没価値性」を主張するのは「自然との関わり合い」が至上唯一であるという価値判断の裏返しである。

また、「科学」は現代では「人間と自然との関わり合い」という意味が与えられ、客観的事実の上に成り立っていると考えられているが、「事実」とは受け取る側の人間の「知識」と「コンテキスト」、「言語」という準拠枠に依存している。近代自然科学は準拠枠を用いて自然から「事実」を選び取り、「現実」の世界としてその上に「自然科学的世界像」を打ち建てているのである。

つまり、「科学」と呼ばれているものは、ありのままの事実ではなく、科学者の既存の知識や信念といった準拠枠に従ってとらえられた事実によって成立しているということである。

### (2) パラダイム論

クーン(1962)<sup>4)</sup>によると、パラダイムとは科学者が研究にあたって前提としている思考枠のことで、そこには言語によって定式化された法則・理論などの理論枠組みと概念の使用法を具体的事例に則した訓練によって習得したこと(非言語的な「暗黙知の次元」)が含まれている。

それを受けてブラウン(1977)<sup>5)</sup>は、科学的探究とはある理論的枠組(パラダイム)によって自然を解釈する継続的な努力である。観察(=知覚)には観察者が既に有している知識、信念、理論が影響していて、このパラダイムがどのような問題を解決しなければならないのか、何が問題の解答とみなされるのかを決定する根本的な役割を果たし、データを供給する観察よりも、基礎理論の方が何が観察されているのかを認識

するのに重要である。またパラダイムのない状態での観察は不可能であり（理論負荷性）、パラダイムが観察中のデータの取捨選択に影響している。仮にパラダイムのない状態での観察が可能であるとしても、それは意味のないデータの羅列となり、どこが知識として機能するかが不明なものとなる。と述べている。

つまり、科学的知識は客観的事実によって成り立つとされているが、純粋な客観的事実というものは観察できず、常にパラダイムの影響を受けている。そのためパラダイムが変わる際に科学的知識も変わることがあるとされている。

### (3) 通常科学と科学革命

クーン(1962)<sup>4)</sup>によると科学研究は通常科学と科学革命に大別される。通常科学とは、パラダイムの内部で行われる科学研究のことで、そこでは科学者はパラダイム共有活動によって仕事をしており、自然に関する大枠の了解は、当然の前提として問題にしようと思わず、個々の具体的事例において、予想された問題を解決しようとする「パズル解き」と呼ばれる仕事に従事している。理論枠の基本的概念について疑問を呈したり、論争を挑んだりする哲学的、思弁的議論は「パズル解き」の妨げになるため歓迎されず、そうした議論は無視される。科学革命とは、各領域でのパラダイムそれ自体が転換することである。パラダイムに基づいた通常科学的手法が通用せず、哲学的、思弁的議論が広がり、一たび安定したパラダイムが確立されると再び通常科学になる。

それらを受けたブラウン(1977)<sup>5)</sup>は、通常科学の中では、論理的に反例とみなされえたような観察上の発見も、反例としてではなくむしろ変則事例、研究課題として、その理論を正しく適応することによって、あるいはその理論をさらに発展させることによって解決されるべきものとすることもあり、承認された基礎理論が研究を組織だてて体系化するのに役立ち、理論が観察された事象の意味を決定する。それに対して科学革命では、論理的に反例とみなされえる観察上の発見を反例として扱う。また、科学革命にいたるためには、前提となる承認された基礎理論を熟知している必要がある。基礎理論に基づいて見込みを抱いた状態で研究をするからこそ、反例とみなされえる観察上の発見ができるのであるとしている。

### (4) 合意としての科学的知識

ブラウン(1977)<sup>5)</sup>によると、知識と真理は認識論的概念である。ある主張、理論が科学的知識となるためには、その主張、理論がデータと一致するだけでは十分ではない。科学的知識とは、その時代の科学者が積極的に科学的知識とみなしているもののことである。そして前の時代の科学的知識は次の時代には間違いとして却下されるかもしれない。けれども、以前に認められていた主張の却下はそれ自身、今日一般に認められている見解に基づいてなされるであろう。そして、この今日一般に認められている見解それ自身も誤っている可能性があるのである。

科学は究極的な真理に到達できるのであるという信

念から解放され、科学が望みうる最高の到達点は、手に入る限りの証拠に基づいた暫定的ではあるが理性的な合意なのであることを認めるべきである。つまり、科学とは真実そのものではなく、その時代の科学者の合意によって成り立つもので、時代が進むにつれ変わらうる暫定的なものであるということである。

### (5) 科学の限界

村上(1971)<sup>3)</sup>によると近代科学成立の過程は古代中世のアリストテレス自然学との訣別いわゆる「科学革命」とキリスト教とギリシア思想との葛藤を通じて生まれた「人間と自然」「主観と客観」の分離いわゆる近代科学精神によって構成される。

西欧近代科学の準拠枠は科学内外の様々な要因による有機的なつながりのネット・ワークによって成り立っている。この準拠枠は「完全で、詳細で、網羅的で、機械論的な」自然記述による知識体系を足掛かりとした自然の人為的支配によって構築されている。

現代の科学体系は自然の持つ可能性のごく一部であり、現在の自然科学という枠組みによって選び取った1つの現実性にすぎないということである。ゆえに異なる枠組みで捉えたときには異なる現実性が選ばれられるのである。

つまり、現代科学が明らかにできるのは、準拠枠によって切り取られた自然の可能性のごく一部であり、現代科学では明らかにできない部分があるということを示していると考ええる。

### (6) 科学の本質

以上を総括すると、「科学」と呼ばれているものは、先入観という科学者個人のパラダイムによって、捉えられた事実によって成立している。そのため真の意味で正しい科学的知識は存在しない。また、パラダイムそれ自体が科学者による合意形成によって出来ていて、その時代によって変遷するので、パラダイムによって支えられていた科学的知識も変遷をする暫定的なものであるといえる。(=暫定性)さらに、パラダイムによって切り取られた自然の姿は自然のもつ一面に過ぎないため、現在のパラダイムによる科学では説明しきれないものが自然には存在する(=限界性)と考えられる。

### (7) 科学観の分類

Roth & Lucas<sup>6)</sup>によると、科学観は存在論的視点・認識論的視点・社会学的視点という3つの視点によって構成され、それぞれが「現代的な科学観」・「伝統的な科学観」の2つに分類されていて、「現代的な科学観」が望ましいとしている。(表1)「現代的な科学観」とは「科学的知識は科学者と同様にして自分たちの手でつくり出すことができる。(存在論的視点)」、「科学は身の回りの世界のありのままを説明することはできない。(認識論的視点)」、「科学は普通の生活に関係したり、生活の中に活かされたりしている。(社会学的視点)」と考えるものである。

また、有泉ら(2014)<sup>7)</sup>によると、「伝統的な科学観」を保持したままの生徒は理科学習への価値観(身

近さ、興味・関心、実感、説明可能性・効力感、学ぶ価値)が低下する傾向がある。

ここで、存在論的視点の現代的な科学観は、科学の本質の「暫定性」の認識、認識論的視点の現代的な科学観は、科学の本質の「限界性」の認識にそれぞれ対応しているとみなすことができる。

表1 Loth & Lucas<sup>7)</sup>による科学観の分類

科学観の要素	現代的な科学観	伝統的な科学観
存在論的視点	科学は、科学者たちが長年の研究から創り出した人間の創造物である。	科学は、科学者たちが長年の研究から見いだした自然の本当の姿である。
認識論的視点	科学は、身の回りの世界(自然の姿)のありのままを説明することはできない。	科学は、身の回りの世界(自然の姿)のありのままを説明するものであり、説明できるものである。
社会学的視点	科学は、私たちの普段の生活と関係したり、生活の中に活かされたりしている。	科学は、私たちの普段の生活とはあまり関係しない。独自の営み(活動)である。

#### (8) 実際の学校教育における科学観構築

実際に一般的に行われている理科の授業では、現代的な科学観の構築が促されているのかを3つの視点ごとに考える。まず、社会学的視点について平成27年度全国学力・学習状況調査の学校質問紙の結果によると、理科の指導として、前年度までに、実生活における事象との関連を図った授業を行っている学校は88.0%となり、社会の中での科学の活用に関する指導を行っている学校は多いといえる。そのため社会学的視点については充実していると考えられる。続いて、存在論的視点については、小川(1992)<sup>8)</sup>が「科学教育によって教授すべき科学的知識はあくまでも暫定的性質をもっている。」と述べているが、角屋(1998)<sup>9)</sup>や丹沢ら(2003)<sup>10)</sup>の調査によって、日本の中学生、大学生は科学の暫定性についての認識が十分でないと指摘されている。また、認識論的視点について渡辺(2012)<sup>11)</sup>は、「学校教育からは、サイエンスで白黒がつけられることには限界があるという基本的な考え方が抜けがちである。」と指摘している。そのため、本研究では存在論的視点と認識論的視点に注目し、それを学ばせる授業モデルを考案する必要があると考えられる。

#### (9) 存在論的視点と認識論視点的整理

前述した科学の本質と Roth & Lucas<sup>6)</sup>による現代的科学観の存在論的視点と認識論的視点は非常に近いものであると考える。科学の本質と現代的科学観の存在論的視点と認識論的視点について整理する。

小川(1992)<sup>8)</sup>は、Cleminsonの新科学哲学の科学観では「科学的知識は暫定的なものであり、決して真理と同一視されるべきではない。それはただ単に一時的な地位を占めるだけ」とされ、Chalmersの科学観では「理論の集合体としての科学的知識というものが暫定的なもの」とされていることを受けて「科学教育によって教授すべき科学的知識はあくまでも暫定的性質をもっている。」と述べている。また AAAS(1989)の「すべ

てのアメリカ人のための科学」<sup>2)</sup>の第1章 科学の本質(p.16)では「科学知識は変更を余儀なくされるものである」、「科学はすべての疑問に完全に答えることはできない」とされている。

以上のことから本研究における生徒に教えるべき現代的科学観を、それぞれを「暫定性」(昔も今も科学は進歩していて、科学知識そのものが変わることもある。)と「限界性」(科学では説明できないことがある。)に定義した。

### III 研究目的

有泉ら(2014)<sup>5)</sup>は、科学者の活動と自分たちの探究活動を対応づける学習活動と、科学的知識の背景にある科学の性質や歴史等に触れる学習活動を導入する授業デザインを設定することで「現代的な科学観」を構築していくことができたとしている。そこでは現代的な科学観を創造性、暫定性、関連性の面から捉えているが、本研究では現代的な科学観を暫定性と限界性の2側面で捉え、本研究は生徒に現代的科学観(「暫定性」と「限界性」)を教える指導法の開発をすることを目的とする。

### IV 研究実践1

#### (1) 仮説

FOSSプログラムの「Black Box」及び科学の発展の歴史を題材として扱うことで生徒に現代的科学観(「暫定性」と「限界性」)を教えられるのではないかと仮説を立てた。

#### (2) 方法

科学の「暫定性」「限界性」を学ぶ手立てとして、実践1では、米国の先進的な科学カリキュラムであるFOSS(Full Optional Science System)プログラム及び科学の発展の歴史を題材とする。

FOSSプログラムの「Black Box」とは、縦9cm×横12cm×高さ2cmの中身の見えない黒いプラスチックケースの中に段ボールや発泡スチロールでつくった障害物を貼り付け、ビー玉を入れ、ケースが開かないようにビニルテープで封をしたものである。(図2)

本授業(図3)では、4種類の中身の見えない黒い箱の構造(障害物の形や大きさや素材など)の中に入っているビー玉を手掛かりにして、振るなどして手の感触、音などをもとに調べていく。ペアで話し合い、同じ種類の「Black Box」をもつグループの中で発表をする。その後グループ内でさらに話し合い1つの仮説をつくり、全体に発表をし、教室全体の承認を得ることでそれぞれの種類ごとに1つの結論を導く。話し合いや発表の際には、ホワイトボードを用いて、議論をしやすくする。また、全体でルールとして、なぜそう考えたのか根拠を大事にすること、相手の異なる意見を正当に批判はしても否定はしないこと、多くの人が納得したことを発表することを設定する。また、授業後も「Black Box」の中の構造は決して教えず、科学技術が発展すれば箱を開けずに中の構造を知ることができるようになる可能性があること、またその際に自分達の結論が誤りであることが明らかになる可能性があることを教える。

これらの活動を通して、自分達の活動と科学者の活

動を結び付け（表 2），科学知識成立のための手続きや科学の限界を学ぶ。

その後、科学の歴史や性質に関する講義（物質の構造の認識の変遷（物質の最小単位について），天文学の変遷（天動説と地動説，冥王星について））では、科学的知識の変遷，科学者の認識の変化に焦点を当てて、科学史的事実を具体例を並べながら整理し、科学とは何か、科学者はどのような方法をとってきたか、どのような論争や環境から、法則が導き出されたかなどを通して現在の教科書に載っている科学知識がどのように成立したかを学ぶ。

その後、「科学とは何だろう」を問う本授業プリントの自由記述欄（分かったこと・気づいたこと、感想）から生徒の科学観構築への影響を探る。

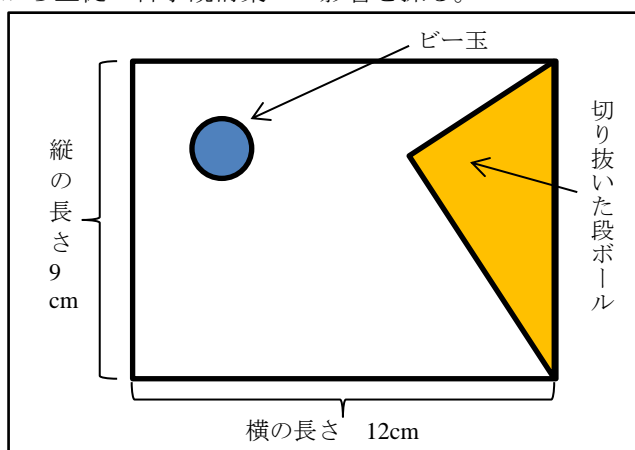


図 2 「Black Box」の構造の例



図 3 「Black Box」を題材とした授業の展開

表 2 「Black Box」を用いた活動と科学者の活動の対応

「Black Box」を用いた活動	科学者の活動
ビー玉や障害物が入っていることや調べ方の例を聞く。	先行研究を調べる。
根拠に基づいて実験をする。	研究を行う。
自分達の仮説を発表し、討議を行う。	学会で発表を行う。

### (3) 結果

2016年7月に埼玉大学教育学部附属中学校3年生42名を対象に3・4時限の2コマ連続で授業を行った。（写真1）そこでは、生徒たちが意欲的に活動に取り組み、話し合いや発表を行っている姿がみられた。

生徒が授業プリントの自由記述欄（分かったこと、気づいたこと、感想）に書いた内容を分類すると、「暫定性」と「限界性」を含む8種類の要素に分類された。その結果を表3に示す。同一文章内に複数の要素があった場合、それぞれ集計を行った。

表3の分類ごとの記述人数を図4に示す。科学の「限界性」について記述している生徒は30名（71%），科学の「暫定性」について記述している生徒は21名（50%）いた。

表 3 生徒の自由記述の分類とその記述例

分類名	記述例
暫定性	<ul style="list-style-type: none"> <li>科学はこれまでも何度か考えが変わり、真実に近づき続けている。</li> <li>もしかしたら、今の私たちの身の回りの説は変わるかもしれない。</li> </ul>
限界性	<ul style="list-style-type: none"> <li>世の中には答えが1つに決まらない、はっきりしないものもある。</li> <li>科学は説だから完璧にいいきれない。</li> </ul>
議論	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数人で話し合うことで考えがより深まる。</li> <li>他の人と話し合っって視野を広げることで気づくことができると分かった。</li> </ul>
根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>自分の説を証明するために根拠をいうと伝わる。</li> <li>違う考えを持っていた人に根拠付きで教えてもらった自分もその考えに変わってしまった。</li> </ul>
意欲	<ul style="list-style-type: none"> <li>考察を書くのは大へんだとか実験する意味あるのかなとか考えてしまうけれど、今日習った科学的な考え方をすることでこれからの理科を未知のものを探るワクワクしたものにしたい。</li> <li>これからは難しいことでもしっかりと考えて答えに近づきたい。</li> </ul>
反復	<ul style="list-style-type: none"> <li>繰り返すことで精度が上がる。</li> <li>何度も繰り返すことが大切だと思った。</li> </ul>
難しさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>真実を見出すことは難しい。</li> <li>答えにたどり着く「科学の難しさ」を思い知った。</li> </ul>
想像力	<ul style="list-style-type: none"> <li>目に見えないことを想像する力は大切だと思った。</li> <li>想像力を働かせることが大事だと思った。</li> </ul>



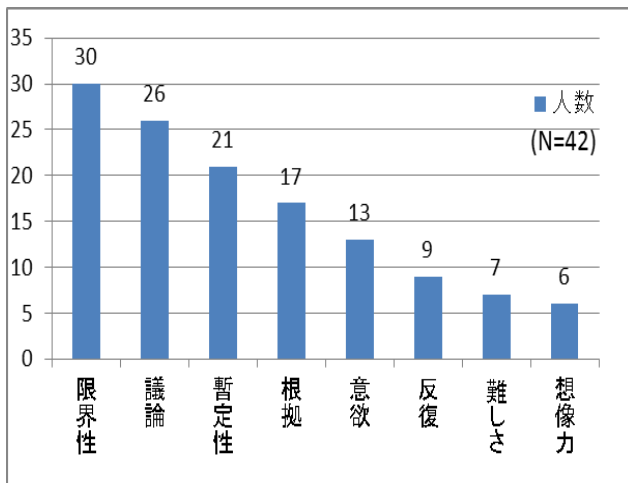


図4 生徒のプリントの記述分析の結果

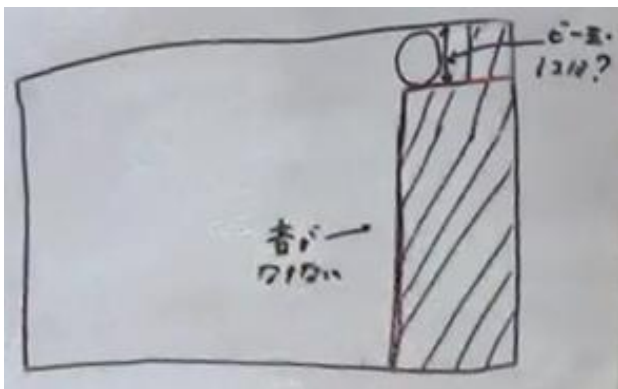


写真1 実際の生徒の仮説

#### (4) 考察

結果から、本授業によって「暫定性」と「限界性」の認識形成についての一定の効果が得られたと考えられる。また、「Black Box」を用いた授業は「暫定性」と「限界性」だけではなく、「議論」や「根拠」、「意欲」などにおいても科学を学ぶ上での効果が得られた。しかし、「限界性」の認識に比べ、「暫定性」の認識の割合が低くなっている。これは「限界性」の認識形成を目的とした「Black Box」の活動に対して、「暫定性」の認識形成をねらいとした科学史の講義は効果が低かったと考えられ、活動を伴わなかったことが原因と考えられる。

ただし、今回の調査は、事前調査を行っていないため本授業を行ったことが生徒の科学の「暫定性」と「限界性」の認識形成の原因であるとは言い切ることができない。また、今回の授業後の科学観が授業直後だけでなく、継続するかは明確でない。本実践で用いた

「Black Box」は、学習指導要領に記載されていないが、授業開きや第二分野(7)科学技術と人間 イ科学技術の発展での利用が考えられる。

## V. 研究実践2

### (1) 仮説

科学史を題材として授業を展開していくことで生徒に現代的科学観（「暫定性」と「限界性」）を教えられるのではないかと。

### (2) 方法

実践2では、実践1の課題を踏まえ、通常の授業の中で科学の「暫定性」「限界性」を学ぶ手立てとして、現在の教科書に掲載されている科学的知識が、今日に至るまでどのように変化してきたのかの過程（科学史）を題材として扱う授業構成を設計する。（図5）

科学史は教科書上にもコラムといった形で掲載されている場合が多いが、教科書に付属の教師用指導書の指導展開例では科学史を扱うことは重要としていながらも、参考資料として位置付けられていることがほとんどである。本研究では科学史を参考資料としてではなく授業の主題として扱っていく。

本研究の授業構成では、まず課題を提示し、予想をさせた段階で現在の教科書に掲載されている科学的知識が成立する前までの知識を教える。生徒の予想とその知識とを対立させ、その知識が誤りであると証明するためにはどのような根拠が必要か考えさせ、観察・実験の際の視点を与える。観察・実験を行い、考察として生徒の予想と現在の教科書に掲載されている科学的知識が成立する前までの知識のどちらがより正しかったかを考えさせる。その後、思想的側面や技術的側面などの要素を踏まえて、なぜすぐに現在の教科書に掲載されている科学的知識が成立しなかったのか、自分達が行った実験が科学史の中でどのような位置づけになっているのかを教える。これらの活動を通して、自分達の活動と科学者の活動とを結び付け、現在の教科書に載っている科学的知識がどのように成立したのかを学び、科学的知識が時代によって変遷をしていることから「暫定性」（昔も今も科学は進歩していて、科学知識そのものが変わることもある。）を、その時代の技術や思想によって制限があったことから「限界性」（科学では説明できないことがある。）を学ぶ。

その後、科学観に関するアンケート（図6）を行い、本授業による生徒の科学観構築への影響を探る。アンケートは(1)暫定性に関する問い(2)本授業による暫定性の変容(3)限界性に関する問い(4)本授業による限界性の変容(5)自由記述欄とし、(1)(3)は4択、(2)(4)は3択とする。今回の授業で扱う単元は「動物の生活と生物の変遷 動物のからだのつくりとはたらき 血液のはたらき」である。本授業ではドジョウの血流の観察を行う中で、ガレノスらの理論からハーヴィーらの血液循環の理論が成立するまでの過程を題材とし、科学の「暫定性」「限界性」を学ぶ。

授業では、まず課題として「血液はどのように流れているのだろうか」を提示し、生徒に予想をさせる。その後、ガレノスらの血液理論（血液は潮の満ち引きのように血管内を行ったり来たりしながら消費されていく）をプリント（図7）を用いながら教え、自分達の予想と何が異なっているか、ドジョウの血管の観察で何が分かれば自分達の予想を証明できるかを考えさせる。（この場合①血液が一定の方向に流れていることを確認する。、②体の先で血管が折り返していることを確認する。）それらを観察の視点として、ドジョウの尾びれの毛細血管を顕微鏡で観察及びスケッチを行う。気づいたこと等を教室全体で共有した後、観察結果からガレノスらの理論が正しいか考えさせる。ま

めとしてハーヴィ、マルピーギの血液循環論をプリント(図8)を用いながら学び、なぜすぐに現在の教科書に掲載されている科学的知識が成立しなかったのか、思想的側面としてガレノスの神聖化や解剖実験への忌避感、技術的側面として顕微鏡の発明を教える。自分達が行った実験がマルピーギが行った観察とほとんど同じであることを教える。

これらの活動を通し、科学的知識が変遷しうること(暫定性)、同じ観測事実でも、観察者の前提理論、考え方によって制限されること(限界性)を学習する。

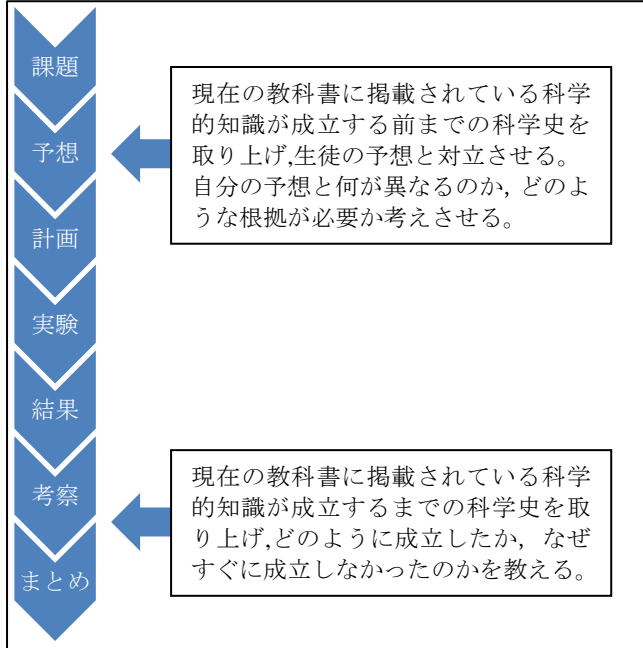


図5 科学史を題材とした授業の展開

この授業を受けて、次の項目についてあなたはどのように思いますか、自分の考えに最も近い選択肢の記号を丸で囲んでください。

(1)	科学的知識だからといって絶対正しいとは言いきれず、修正が必要になることもありうる。	ア)とてもそう思う/ イ)わりとそう思う/ ウ)あまりそう思わない/ エ)全くそう思わない
(2)	(1)の考え方についてこの授業を受けてあなたの気持ちは変わりましたか。	ア)大きく変わった/ イ)少し変わった/ ウ)変わらなかった
(3)	科学的知識はその時代の考え方や技術では説明できないという制限がある。	ア)とてもそう思う/ イ)わりとそう思う/ ウ)あまりそう思わない/ エ)全くそう思わない
(4)	(3)の考え方についてこの授業を受けてあなたの気持ちは変わりましたか。	ア)大きく変わった/ イ)少し変わった/ ウ)変わらなかった
(5)	ご意見やご感想がありましたら下記欄へご記入ください。	

図6 授業アンケート

○「ガレノスが全てを書いてくれていた」  
ガレノス(129~200年頃)はギリシアの医学者である。20歳までに医学の神の神殿で医学を学び、その後は12年以上の研究、4年間の外科医としての勤務をした。30歳以降は執筆活動や講義、公開解剖を行い名医としての評判を得た。その後は宮廷に招かれて、皇帝の主治医にもなった。  
彼の研究は中東アジアまで広まり、多くの医学者たちが、彼の研究をもとに医療を行った。

肖像画

ガレノス

○ガレノスの血液理論  
ガレノスは、血液とは腸で吸収された栄養素が肝臓へ運ばれ、そこで作り出されるものとした。その後血液は静脈を通り全身へ渡るものと心臓を通り、肺で取り込んだ“エネルギー”と混ざり合って動脈を通過して全身へ渡るものの2種類があるとした。また、血液は潮の満ち引きのように血管内を行ったり来たりしながら消費されていくとした。

ガレノスの血液理論の図

ガレノスの血液理論

出典：村上陽一郎 著「西洋近代科学～その自然観の歴史と構造」

図7 現在の教科書に掲載されている科学的知識が成立する前までの科学史をまとめたプリント

○「事実は理論を変えない」  
アンドレアス・ヴェサリウス(1514~1564年)はベルギー生まれの解剖学者、医師である。大学で医学を学んだ彼は、卒業後は大学教授となり数多くの解剖を行った。するとガレノスの研究の誤りを発見し、ガレノスの作った理論の修正を試みた。  
彼はガレノスの理論にある心臓の左右をつなぐ「あな」を見つけることはできなかったが、目に見えない「あな」があるはずとして理論を修正はしたが否定はしなかった。彼の研究は宗教裁判にかけられ、多くの科学者から批判された。

肖像画

アンドレアス・ヴェサリウス

○血液循環論  
ウィリアム・ハーヴィ(1578~1657年)はイギリスの解剖学者、医師である。大学で学んだ後、名医としての評判を確立し、皇帝の主治医となる。その後、大学時代に師ファブリキウスが見つけた静脈弁と自身が導き出した心臓が送り出す血液量の計算式から血液循環論を考え、肺循環と体循環の2つが行われていると唱えた。彼は血液が一定方向に流れていることを腕の血管を抑える実験を行うことで証明した。しかし、この理論は激しい論争的となった。

肖像画

ウィリアム・ハーヴィ

○顕微鏡の登場  
マルチェロ・マルピーギ(1628~1694年) イタリアの解剖学者、生理学者、医者である。顕微鏡を用いた観察を解剖学に導入した人物。  
毛細血管の中を流れる血液を顕微鏡で直接観察したことでハーヴィの血液循環論に決定的な証拠を付け加えた。また、動脈に水を入れ静脈から出す実験を行い、動脈と静脈がつながっていることを証明した。毛細血管以外にも肺胞、植物の道管の発見者でもある。

肖像画

マルチェロ・マルピーギ

出典：村上陽一郎 著「西洋近代科学～その自然観の歴史と構造」

図8 現在の教科書に掲載されている科学的知識の成立についての科学史をまとめたプリント



### (3) 結果

2017年9月に埼玉県内の公立中学校2年生4クラス137名を対象にそれぞれ1時限ずつ授業を行った。(写真2)そこでは意欲的にドジョウの観察を行う生徒の姿が見られた。

授業後に評価規準(ドジョウの毛細血管やその中を流れる血球の様子を、顕微鏡を使って観察、スケッチできる。(観察・実験の技能))に従って生徒の活動やワークシートを評価したところA評価(ドジョウの毛細血管やその中を流れる血球の様子を、顕微鏡を適切に使って観察、スケッチできる。)が70名、B評価(ドジョウの毛細血管やその中を流れる血球の様子を、顕微鏡を使って観察、スケッチできる。)が65名、C評価(ドジョウの毛細血管やその中を流れる血球の様子を、顕微鏡を使って観察、スケッチできない。)が0名、未回収(欠席者含む)が12名であったため、科学史を題材として扱っても通常の授業として十分に機能していたと考えられる。実際の生徒のワークシートを写真3及び写真4に示す。

授業アンケートの結果を図9及び図10に示す。暫定性に関して肯定的な回答をした生徒は128名(93.4%)で、その中で本授業により変容があったと回答した生徒は112名(87.5%)であった。また、限界性に関して肯定的な回答をした生徒は123名(89.8%)で、その中で本授業により変容があったと回答した生徒は104名(84.6%)であった。



写真2 実際の授業の様子

### (4) 考察

結果から、本授業によって暫定性と限界性の認識形成に一定の効果があったと考えられる。

しかし、図9及び図10より、限界性に関する問いでは「とてもそう思う」と回答した生徒よりも「わりとそう思う」と回答した生徒の方が多く、「わりとそう思う」と解答した生徒の中でも「少し変わった」と回答した生徒が多かったことから、暫定性の認識形成に比べ、限界性の認識形成への効果は低かったと考えられる。これは本授業で扱った限界性の認識形成をねらいとした指導内容に実感がわかなかつたためだと考えられる。

ただし、今回の授業後の科学観が授業直後だけでなく、継続するかは現時点では不明である。

自由記述欄には「過去の科学の偉人を使って歴史の話をした時、とても面白く感じました。」や「とても楽しく、分かりやすい実験でした。興味のある話もたくさんあったので、また授業をしてほしいです。」、「決まっていることをただ単々と覚えているけれど、

素朴な疑問から実際に調べてみて、やってみるのはとても大事だなと思った。」などの意見もあった。このことから、科学の暫定性と限界性を学ぶために科学史を用いることで理科に対する興味・関心や学ぶ意義・有用性を高める可能性が示唆されたと考える。

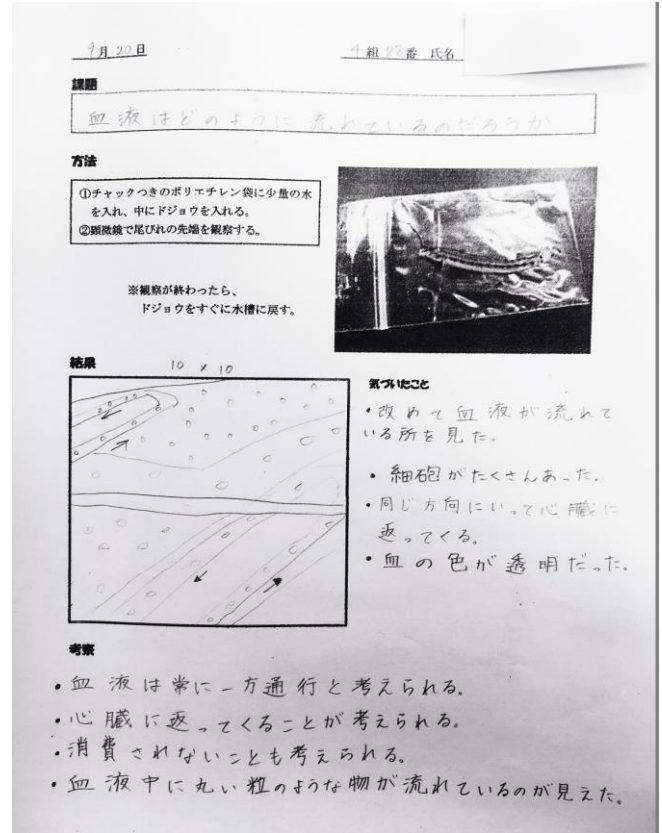


写真3 実際の生徒のワークシート (A評価)

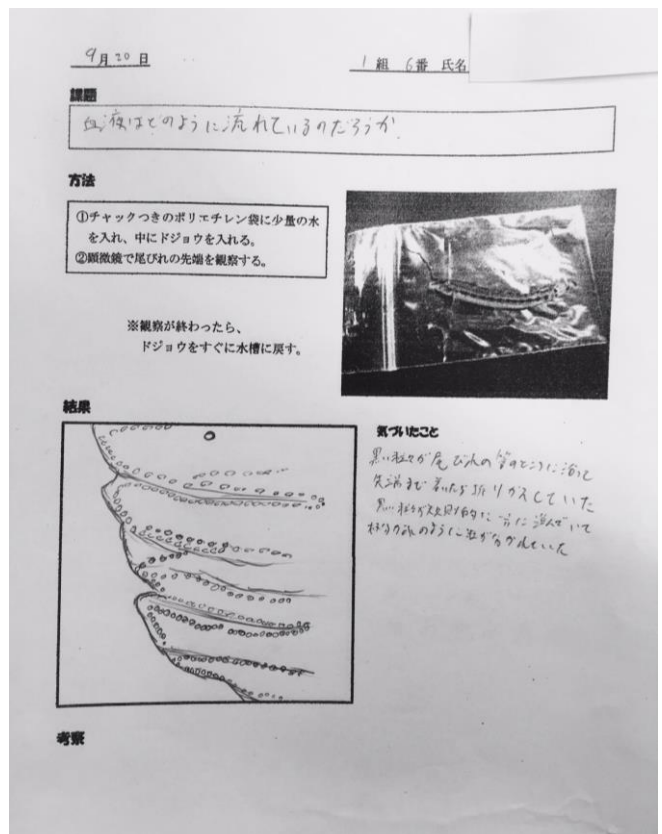


写真4 実際の生徒のワークシート (B評価)

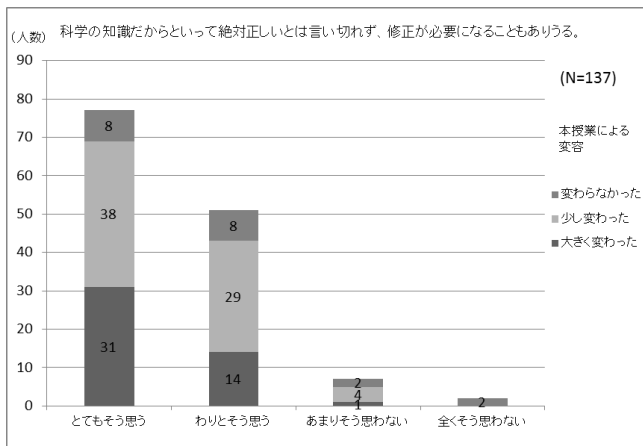


図9 暫定性に関する問い(1)(2)のアンケート結果

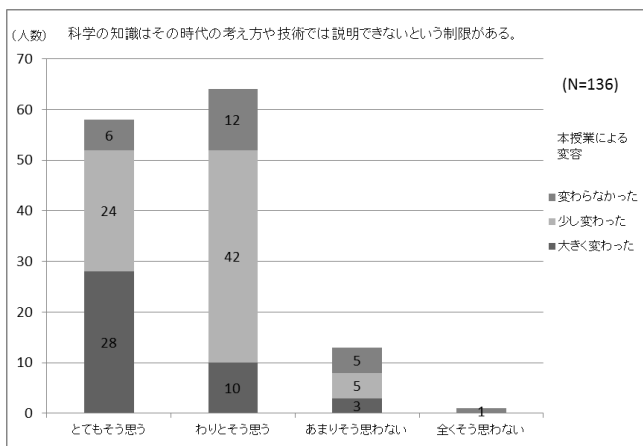


図10 限界性に関する問い(3)(4)のアンケート結果

## VI. まとめ

本研究の結果、科学の「暫定性」と「限界性」を学ぶ手立てとして、FOSS プログラムの「Black Box」や科学史を題材とした授業を展開することが有効であることが分かった。また、「Black Box」を題材とする授業では限界性を認識していた生徒が多かったが、科学史を題材とした授業では、暫定性を認識した生徒が多かった。このことから、「Black Box」での活動は限界性の認識形成に有効で、科学史を用いることで暫定性の認識形成に有効であることが分かった。これら2つの実践を組み合わせることでさらなる効果が期待できると考える。

しかし、それらの科学観は1回の授業だけではなく、中学校3年間の授業を通じて学んでいくべきものであると考える。そのため、本研究の授業設計案をもとに他の単元においても科学史を用いた授業案を作成し、継続的かつ計画的に学んで科学観の定着を図りたい。(表4)

また今回実践1、実践2で示唆された理科に対する興味・関心や学ぶ意義・有用性などとの関連を探っていきたい。

表4 科学史を用いた授業例

学年	内容	概要
第1学年	葉と光合成	アリストテレスの土栄養説やファン・ヘルモントの水栄養説を取り上げ、光合成理論が出来上がるまでの過程をたどる。
第2学年	物が燃える変化	フロギストン説を取り上げ、ラヴォアジエの酸素論に至るまでの過程をたどる。
第2学年	血液の循環	ガレノスの血液消費説を取り上げ、ハーヴィの血液循環論に至るまでの過程をたどる。
第3学年	身のまわりの電池	琥珀などを用いた静電気やガルバーニの動物電気からボルタの電堆や現代の2次電池に至るまでの過程をたどる。
第3学年	運動の向きに力がはたらく物体の運動	アリストテレスの運動論を取り上げ、ガリレオやニュートンによる現代の運動論に至るまでの過程をたどる。

## VII 主な引用・参考文献

- 1) 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 (2017) 『科学技術に関する国民意識調査 - 国際・国内比較指標に関する検討 - 』  
[online]www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-RM-252-FullJ.pdf 最終アクセス 2018年1月25日
- 2) AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989) *Science for All Americans* 日米理教教育比較研究会編訳『すべてのアメリカ人のための科学』(2005)
- 3) 村上陽一郎 (1971) 『西欧近代科学 その自然観の歴史と構造』新曜社
- 4) T.S.クーン (1962) *The Structure of Scientific Revolutions* 中山茂 訳 (1971) 『科学革命の構造』みすず書房
- 5) H.I.ブラウン (1977) *Perception, Theory and Commitment -The New Philosophy of Science-* 野家啓一・伊藤春樹 訳 (1985) 『科学論序論 新パラダイムへのアプローチ』培風館
- 6) Roth.W.M & Lucas.K.B (1997) “From ”truth” to invented reality:A discourse analysis of high school physics students’ talk about scientific knowledge” *Journal of Research in Science Teaching* Vol. 34, Issue 2, pp.101-217
- 7) 有泉翔太・加藤圭司・本間洋一郎 (2014) 「学習者の科学観を具現化する授業デザインの提案」日本理科教育学会第53回関東支部大会研究発表要旨集 78
- 8) 小川正賢 (1992) 『「探究学習論」理科教育学講座5 理科の学習論(下)』pp.33-58 日本理科教育学会
- 9) 角屋重樹 (1998) 『理科学習指導の革新』東洋館出版
- 10) 丹沢哲郎・熊野善介・土田理・片平克弘・今村哲史・長州南海男 (2003) 「日本人科学観・技術観の特徴に関する研究」理科教育学研究 Vol.44, No.1, pp.1-12
- 11) 渡辺政隆 (2012) 「学校教育におけるサイエンスコミュニケーションーサイエンスリテラシーを養うためにー」理科の教育 Vol.61, No.723, pp.5-8
- 12) 加藤圭司・松本伸示 (2011) 「科学観並びに科学に対する情意の変容から見た学習者と科学の関連性について～中学校理科学習における実態から見たスキームの検討～」理科教育学研究 Vol.51, No.3, pp.59-73
- 13) 清水誠 (2002) 「教師が保持する科学観と理科授業の実態」理科教育学研究 Vol.42, No.2, pp.43-50