

## 科学史のストーリーを位置付けた中学理科単元開発

教科教育高度化分野(23821408) 井上晃佑

本研究は、生徒が科学者の発見を追体験することを目的に、中学校理科において科学史を取り入れた単元を開発し、授業実践から生徒の理解の特徴を分析した。その結果、科学史を取り入れた授業によって生徒が科学概念を科学者の成果として捉え直し、発見過程の学習に繋がることが明らかになり、理解だけでなく疑問を持つ生徒の姿があった。今後の課題は、他の単元においても科学史の単元を開発し、生徒の思考を検討することである。

[キーワード] 科学史, 文脈, 視点, ガリレオ, マイヤー, エネルギー

### 1 はじめに

科学史とは、科学の歴史的な変遷の過程である。中学校の理科で扱われる用語や法則などの科学概念は、歴史の中で科学者が発見したものであり、その過程は物語として整理することができる。これを本研究では科学史のストーリーと呼ぶ。具体例として、細胞(厳密には細胞壁)を初めて発見したロバート・フックを挙げる。フックはコルクガシが他の木よりも弾性があることを不思議に思い、顕微鏡で樹皮を観察した。その結果、コルクの樹皮に小部屋のような構造が無数にあることを発見し、この構造を細胞(cell)と名付けた。

科学者が課題意識を持った文脈を授業で再現し、生徒が科学者の追究を辿り直すことは、科学者の発見の追体験に繋がると考える。本研究は、中学理科において科学史のストーリーを主題とする単元を開発し、生徒が科学者の発見を追体験することを狙う。その上で、授業を受けた生徒の理解の特徴を明らかにすることを目的とする。

### 2 先行研究の検討

科学史を教材として、生徒に直接学ばせる活用の形態について、福井ら(2002)は、『科学史家の立場』から科学史を対象化して眺めさせる活用法と、『科学者の立場』に立たせて科学史上の出来事を追体験させる活用法と、この2通りがある」と紹介している。具体例として、「科学史家の立場」の活用法として読み物教材、「科学者の立場」の活用法として科学者と同じ実験を生徒にさせることが該当する。

「科学をどう学ぶか」に着目し、科学史研究の

視点から開発した授業プログラムに、仮説実験授業がある。それは、実験問題や読み物を配列して作成した、授業書の流れに沿って授業を進めるものである。授業書にある実験問題を、生徒が予想するところから授業が始まる。実験問題には選択肢があり、その中から生徒は予想を選択する。教師は各選択肢の人数を集計し、記録した上で実験に入っていく。実験問題を塚本(2019)は、「常識的直観が敗北する実験問題」と表現している。仮説実験授業の意義は、佐伯(2004)の先行研究を使って説明することができる。佐伯は、『文化とのかかわりのもちやすい』状況では、「視点が投入されるから」、学習者は「思考をはたらかせる」と述べている。また『文化とのかかわりのもちやすい』状況については、「さまざまなエピソードが子ども心に浮かび上がる題材、さまざまな機能とその有効性を自ら吟味しやすい活動状況、いろいろなアナロジーや『見立て』のできる材料とそれを促す状況、など」と述べている。仮説実験授業は、実験問題で『見立て』のできる材料を与え、生徒が予想しやすい状況を設定している。仮説実験授業は、生徒が「思考をはたらかせる」状況をつくっていると言える。

本研究は、科学者が課題意識を持った文脈を授業で再現し、生徒が科学者の視点で実験に取り組むことを狙う。しかし筆者は、文脈の中に生徒を置くだけでは、科学者のような体験することは難しいと考えた。生徒が受け身になる可能性があるからである。そこで選択肢を用いて予想を問うことを位置付けた。予想の選択肢を与えることは、予想する敷居を下げ、生徒が積極的に実験に関わ

りやすくなると考える。

### 3 授業実践

理科「仕事と力学的エネルギー」の単元において、山形県のA中学校で(2023年11月に実施)、第3学年2クラス54名を対象に授業実践を行った。

#### (1) 単元の目標

1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・力学的エネルギー、仕事に関する実験からその性質を理解する。それらの観察、実験における操作を適切に行うことができる。</li> <li>・科学史のストーリーから、力学的エネルギー保存の法則発見の歴史について理解することができる。(知識及び技能)</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運動とエネルギーについて仮説、実験の見通しを持って実験を行い、その結果を分析して解釈し、力学的エネルギーと仕事の関係性を見いだして説明することができる。</li> <li>・科学史のストーリーから、力学的エネルギーが理想状況でのみ使えるものではなく現実でも有用なものであることを見出し、具体的な事例を力学的エネルギー保存の視点から説明することができる。(思考力、判断力、表現力等)</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常の力学的エネルギーに関わる事象・現象に進んで関わり、それらをエネルギーの視点から説明しようとするところ。 (学びに向かう力、人間性等)</li> </ul>

#### (2) 単元計画と授業の実際

時数	学習内容
1	レールを用いて、小球を木片にぶつける実験を行い、小球が持つ力学的エネルギーと木片が小球にされた仕事の関係を見出す。
2	
3	力学的エネルギー保存発見に至るまでの、科学史のストーリーの説明を聞く。身近な事象を力学的エネルギーの視点から説明する。

1時間目、2時間目は「力学的エネルギーと仕事にはどのような関係があるだろうか」という学習課題のもと実験を行った。物体が持つ力学的エネルギーの大きさは他の物体に成し得る仕事の大きさを測れること、小球の質量と転がす前の小球の高さはそれぞれ小球がする仕事の大きさに比例することを学習した。

単元の振り返りに当たる3時間目において、力学的エネルギー保存発見の歴史をスライドによって紹介し、身近な力学的エネルギーに関する事例を説明する活動を行った。授業で扱ったスライドの構成と、授業内容は以下のようなものである。

① アリストテレスの考え
--------------

ラファエロの絵画「アテネの学舎」と「絵の中の人は何をしている?」という問いを提示し、昔の世界観を紹介した上で、中央に描かれているアリストテレスの紹介

に移っていった。これまでの授業では、科学史の内容には触れてこなかったため、絵画から入ることで生徒を科学史のストーリーへ引き込むことを狙っている。

アリストテレスは自然科学について様々な考えを示しており、その一つが落下の法則であった。ここでアリストテレスの考えに関して、「10kgの物体と5kgの物体を同時に落下させるとき、10kgの物体が着地したときの5kgの物体の位置は?」という問いを投げかけた。答えについては、最初の高さの半分、半分より上、半分より下、同時に着地、の4つの選択肢を提示した。アリストテレスの考えの内容は、重い物体ほど落下する速さは大きくなるというものであった。

② ガリレオと物体の落下の実験  
2000年後、アリストテレスの考えに疑問を抱いたのがガリレオ・ガリレイだった。ここで質量の異なる2つの小球を実際に落下させる演示実験を行い、小球が質量に関わらず同時に落下することを確認した。ガリレオはピサの斜塔から質量の異なる2つの鉛球を落として同時に落下したことから、質量と落下速度には関係が無いことを明らかにした。こうしてガリレオは、人々が2000年間信じた事実を覆すことに成功した。

③ ガリレオと斜面の法則  
ガリレオはこの落下の法則が斜面を転がる小球にも適用できるものと考え、斜面上を質量が異なる小球を同時に転がす実験を行った。その結果、斜面を転がる運動においても速さに質量は関係ないということを見出した。ガリレオは更に斜面を使った実験を続け、二つの斜面を向かい合うように設置して小球を転がした。その結果小球は最初と同じくらいの高さまで登って、再度下り始めた。このことからガリレオは、「小球は最初と同じ高さまで登ること」、「小球の高さが減ったとき速さが増えて、高さが増えたとき速さは減少する」ということを見出した。これが力学的エネルギー保存の基になる考えだったが、ガリレオはエネルギーという概念を用いてはいなかった。

④ マイヤーの力学的エネルギー保存の発見  
200年後、ユリウス・ロベルトフォン・マイヤーという人物が力学的エネルギー保存則を発見し、ガリレオの発見をエネルギーの視点から説明することを可能にした。力学的エネルギー保存によって向かい合う斜面を転がる運動を説明すると、物体のエネルギーは位置エネルギー、運動エネルギー、位置エネルギーというように移り変わっていると見える。

スライドの内容は生徒の理解のために、史実とは異なるものや、史実を強調した内容も含まれている。ガリレオが行ったピサの斜塔の実験は、ガリレオの死後に弟子が作成した逸話だと言われている。ガリレオの斜面を二つ向かい合わせた実験は、一般には力学的エネルギー保存との関連よりも慣性の法則を見出した実験として有名なものである。

授業の様子は、①で絵画を提示した際に、生徒は様々な予想を口にしており、興味を抱いたことが伺える。落下についての問いでは、生徒の予想

を挙手してもらい、各選択肢の人数を集計した。生徒の予想は、「最初の高さの半分」と「同時に着地」を選んだ生徒がそれぞれ全体のおよそ半分ずつ、「半分より下」を選んだ生徒が数名いた。最初の高さの半分を選んだ理由としては、「重い物体はその分強い重力が働くから」「なんとなく」といったものだった。「同時に着地」を選んだ理由は、大半の生徒が「なんとなく」というものだった。②の演示実験では、質量の異なる物体が同時に落下することを目の当たりにした生徒は、「あー」「同時だ」などの声を漏らし、自身の予想と結果の差を実感している様子だった。③④では生徒が何か声を漏らすような場面はなく、①②とは対照的だった。その後、日常の事象における位置エネルギーと運動エネルギーの変化を考える活動、身近な力学的エネルギーに関する事例を探す活動を行った。

### (3) 分析、考察の方法

単元の最後に振り返りを実施し、その内容を分析する。振り返りの項目は印象に残った点、疑問点の2つを設定した。印象に残った点の分析では、科学史のストーリーが、生徒の印象と理解へ及ぼす影響に着目する。

## 4 全体的考察

### (1) 記述の分類

3 時間目の授業の最後に行った振り返りの記述の内容を、授業の流れに当てはめて分類を行った。

授業の流れ		記述数
生徒の活動形態	学習内容	
スライドによる紹介	① アリストテレスの考え	11
	② ガリレオと物体の落下の実験	33
	③ ガリレオと斜面の実験	1
	④ マイヤーの力学的エネルギー保存の発見	5
ワークシートに取り組む	⑤ 力学的エネルギーに関する身近な事象について	11
その他		3

分類の結果、②の落下の法則に関する内容に書き込みが集中している。一方で力学的エネルギーに関する内容(③④⑤)には、記述が少ない。授業においても、②と③④で生徒の様子に差が見えた。この差について検討する。

### (2) 落下の法則に関する記述

②に関する内容を更に分類すると、「(A) 質量の異なる物体が同時に落下することへの驚き」と「(B) ガリレオへの賞賛」の2つに分類できた。

(A)については、次のような記述である。

(A) 質量が違う2つの物体を落下させると質量が大きいほうが先に落下すると思ったけど、同時に落ちるということを学べた。

(A)では、予想と異なる結果になったことについて記述している。実験によって明らかになった科学概念が、生徒の印象に残ったことを示している。予想と結果の落差を実感していることから、科学者の視点で実験したことが窺える。

(B)の記述は更に、「(a) ガリレオの着眼点に対する賞賛・驚き」と「(b) ガリレオの成果に対する驚き」の2つに分類できた。その内容は、次のような記述がある。

(B)-(a) ガリレオが2000年間信じられた常識を覆したこと→物事を違う視点から見るのはなかなかできないのですごいと思った  
(B)-(b) アリストテレスが2000年間つらぬいた事実をガリレオが覆したのに驚いた。

(B)に関する17の記述のうち、「2000年」を意味する言葉を16の記述が含んでいた。(a)では、「人々が2000年間信じた事実を疑った」という事実がガリレオの着眼点の凄さの指標として用いている。科学概念を発見するまでの科学者の発想や過程が、生徒の印象に残ったことを示している。(b)では、「人々が2000年間信じた事実を覆した」という事実がガリレオの成果の凄さを表す尺度として用いている。(b)では社会から見た科学概念の偉大さが生徒の印象に残ったことを示している。(B)はガリレオの発見を科学史に位置付けた、科学史家の視点で記述している。

②に対する疑問  
○科学概念に関する問い  
・2つの球を同時に落とすとき、空気抵抗(と質量の両方が異なるとき)があるとき、重いものと軽いものが同時につくのか、重いほうがはやいか、軽いものがはやいか  
○科学概念発見の過程に関する問い  
・ガリレオはなぜ、アリストテレスの考えが間違えているのに気が付いたのか。2000年の間、アリストテレスの考えに疑問を持った人はいなかったのか。

②の内容に対し、疑問を持った生徒の記述があった。記述は大きく、科学概念に関する内容、その発見の過程に関する内容に分けることができた。これらの記述は、科学史のストーリーとその文脈を理解するだけでなく、更に知識を広げようとしていることが窺える。そのきっかけに、予想を明確にしたことがあると考える。実験の予想を明らかにした上で、科学史のストーリーを学ぶことは、予想と科学者の考えの比較に繋がり、発見過程へ

の問いを生成することができたことが分かる。

### (3) 力学的エネルギーに関する記述

#### ③, ④に関する記述

・エネルギーの話はすごい昔から話されて正しい発見をするのにたくさんの時間をかけていたんだなと思った。

#### ⑤に関する記述

・こういう日常の中でも位置エネルギーが運動エネルギーに変化するものがあったり, その逆だったりなどが身近にあるというのを考えたこと。

③④に関する記述は, 科学概念発見の過程についての内容であり, 科学概念そのものに対する内容は無かった。⑤に関する記述は, そのほとんどが, 科学概念に対する記述だった。この内容の偏りは, 科学概念に関心があった生徒は④ではなく, ⑤が印象に残ったためだと考える。

#### ③に対する疑問

・ガリレオは, なぜ, 摩擦・空気抵抗を無いものと考えたとき, 力学的エネルギーは保存されていると考えることができたのか, またそれを証明することはできるのか, というのが気になりました。

#### ④に対する疑問

・どのようにしてエネルギーの変換を発見したのか。

科学史に対する疑問は, 力学的エネルギーの部分でもあった。③に関する記述は, 摩擦と空気抵抗が無いという実験が不可能な理想状況により, 科学史が読み解けなくなったという内容であり, 科学史家の視点で記述したことが分かる。④に関する記述では, 科学者の発見過程に対する疑問があった。②において具体的に科学史のストーリーを扱ったことで, ④の科学史を更に知りたくなったことによる問いと考える。

### (4) まとめ

科学史のストーリーを学ぶことにより, 生徒の思考には次の2点の特徴を指摘できる。

第一に, 理科の科学概念を, 科学者が実践によって発見した成果として, 捉え直していることである。それにより科学概念の発見過程に目を向け, 理解することができている。その際に(B)では, 「2000年」を科学者の偉大さを象徴する表現として使っていた。科学史のストーリーを時間軸の中に位置づけることが, 科学者の実践の鮮明な理解に繋がると言える。科学史のストーリーが佐伯(2004)の言う, 「エピソードが子どもの心に浮かび上がる題材」だったと捉えることができる。

第二に, 生徒が科学史のストーリーをもとに, 更なる意味を見出そうと疑問を挙げている点である。例えば, 「どのようにしてエネルギーの変換を

発見したのか」という疑問である。これは生徒が佐伯(2004)の言う, 「思考をはたらかせている」状態である。その要因は, 科学者と科学史家の「視点」を投入したためだと考える。この状況を作ることができたのは, 第一で示したように科学史が「エピソードが子どもの心に浮かび上がる題材」であることに加え, 仮説実験授業の特徴を取り入れたことにより『見立て』のできる材料とそれを促す状況を生み出したことが要因だと考える。今回の実践では, 科学者の視点は仮説実験授業の特徴を取り入れた実験によって, 科学史家の視点は科学史の提示によって生成したことが分かる。一方で単元計画の③④は, 単元計画の②と比較すると, 実験が無いこと, 科学者の具体的な実験内容の説明が無いことにより, 科学者の視点になる機会が無かった。これが記述数の減少に繋がったと考える。

## 5 成果と課題

本研究の到達点は2点ある。第一に, 授業に科学史のストーリーを取り入れることが, 生徒が科学概念を科学者の成果として捉え直し, 発見過程の学習に繋がることである。第二に, 科学史のストーリーを取り入れることで, 生徒が思考をはたらかせる状況を作り出し, 更なる意味を見出そうとする生徒がいたことである。今後の課題は, 他の単元においても科学史の単元を開発し, 生徒の思考を検討することである。

### 引用文献

- 福井智紀・鶴岡義彦(2002)「理科教育における科学史の活用について—我が国における研究の外観と今後の課題」, 『東京水産大学論集』, 東京水産大学, pp. 55-65.
- 佐伯胖(2004)『「わかり方」の探究-思索と行動の原点-』, 小学館, pp. 58-60.
- 塚本浩司(2019)「板倉聖宜と科学教育研究」, 『科学史研究 58 巻』, 日本科学史学会, p. 60.
- 板倉聖宜(1977)『仮説実験授業の ABC』, 仮説社, p. 13.

*Curriculum Development of a Junior high School Science Class Unit Based on the History of Science*  
Kosuke INOUE