

## モデリングは児童の概念理解をどのように促すのか？

—小学校3年理科「光を調べよう」の単元を通して—

### How Does Modeling Promote Student Conceptual Understanding? : Through the Unit of “Exploring Light” in the 3rd Grade Elementary Science

土佐 幸子, 森 悠人\*, 加藤 聡\*\*

Sachiko TOSA, Yuto MORI\*, Satoshi KATO\*\*

This study explores the question of how modeling promotes student conceptual understanding in elementary science education. In the unit of “Exploring Light” for the 3rd grade science, lessons were developed to incorporate the ray model of light in order to help students generate hypotheses and predictions based on solid reasoning. The unit consists of 8 lessons, and was implemented in two classes (N=68), with one class as an experimental group while the other class as a control group. Students’ drawings and verbal descriptions on their worksheets were collected as data and analyzed based on the set criteria from A (scientific explanation with reasons) to C (intuitive explanation or incorrect explanation). The results showed that the higher percentage of the A-level expressions were found in the experimental group than in the control group, indicating the effectiveness of the modeling approach in elementary science education. However, when the modeling approach was incorporated in the control group in the 6th lesson, students showed better understanding than the students in the experimental group. The results suggest the importance of the way to introduce a modeling approach to students.

Key words: Modeling, hypotheses and predictions, elementary science lessons

#### 1. 問題の所在

平成29年告示の小学校学習指導要領<sup>1)</sup>によって、小学校理科では「見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力」の育成が目標として掲げられた。「見通しをもって観察、実験を行う」とは、例えば観察・実験を行う前に、根拠のある予想や仮説を発想することである。根拠のある予想や仮説を発想することにより、主体

的に問題解決する力や態度が育成されると期待される。それを受けて、第4学年では「自然の事物・現象について追究する中で、既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想し、表現すること」を学年の目標としているが、根拠のある予想や仮説を発想する能力の育成は第4学年に限られたことではなく、小学校理科の全課程を通して求められていると考えられる。

我が国の児童たちの学習状況について、判断の根拠や理由を明確に示しながら自分の考えを述べることに関して課題が指摘されている<sup>2)</sup>。また、小学校理科学習において、「予想の理由が分からない。なんとなくそう思っただけ。」と発言する児童が多い

2021.6.28 受理

\*本学部卒業生

\*\*新潟大学附属新潟小学校

など、根拠のある予想を立てることに難しさを感じている児童が多いことも指摘されている<sup>3)</sup>。確かに、これから学習する自然現象について、限られた生活経験や既習事項を基に、根拠のある予想や仮説を生み出すことが児童にとって難しいことは想像に難くない。児童たちを助けるにはどのような手立てが有効だろうか。

本研究では、小学校理科学習において、児童に根拠のある予想や仮説の発想を促すための手立てとしてモデリングを用いる。モデリングとは視覚的に捉えられなかったり、考えることが難しい自然現象の注目すべき点を抜き出して抽象化したり、単純な状態に置き換えて簡略化したりすることによって自然現象について考える活動のことである<sup>4)</sup>。

モデリングは古くから科学者が自然現象を解明するために用いてきた手法である。代表的な例は、プトレマイオスによる天動説、コペルニクスによる地動説であり、ボーアによる原子模型もモデリングの1例である。モデリングには、自然現象を抽象化したり、簡略化したりすることにより、問題を焦点化し、現象の解明を促す働きがある。例えば、ボーアの原子模型では、電子が原子核の周りの決まった軌道を円運動するというモデリングにより、電子が原子核に引き寄せられてしまうという問題を棚上げし、原子の発光スペクトルの法則性を説明することができた。

また、モデリングではモデル図を用いて視覚的に表現することが多く、可視化された自然現象の説明は、自身の考えをより明確にすることに役立つとともに、他者とのコミュニケーションを容易にする。モデリングは考えを構築する過程において有効であることが期待される<sup>4)</sup>。

モデリングは理科学習においても頻繁に用いられる手法であり、モデリングを用いた実践研究は国内外で多数見られる<sup>4, 5, 6)</sup>。それらの研究の多くがモデリングを用いて児童たちがどのように概念構築を進めていくかを詳しく追ったものである。モデリングを用いた学習活動は、モデルを修正し、再評価する過程を通して、児童の概念理解をより深める手段として効果的であることが示唆されている<sup>4)</sup>。

本研究では、モデリングを用いた概念構築の過程を追うだけではなく、どのようにモデリングを学習活動に取り入れることが児童の概念理解を促すのか、モデリングと指導法の関連に着目して研究を行う。特に、「根拠のある予想や仮説の発想」を促すための手立てという視座から、予想や仮説を立てる

場面において、モデリングがどのように効果的か、またどのように用いることが効果を高めることにつながるかを探る。本研究を導く研究課題は次の2点である。

1. モデリングはどのように自然現象に関する児童の概念理解を促すか。特に、予想や仮説の場面において、モデリングはどのように根拠のある予想や仮説を発想することを促すか。
2. モデリングをどのように使うと、より効果的に児童の概念理解と予想や仮説の発想を助けることができるか。

本研究の重要性は、学習指導要領で求められている「根拠のある予想や仮説を発想する児童」の育成の実現に向け、モデリングの導入という手立てをどのように導入すればよいのかを明らかにし、一つの処方箋として現場教員に提言をするところにある。その処方箋に従えば、児童がモデリングを用いて根拠のある予想や仮説を発想できるという見通しが得られれば、その処方箋は現場教員の強力なツールとなることが期待される。

## 2. 理論的枠組み

### 2.1 構成主義的な学習観

本研究の理論的枠組みは構成主義的な学習観である<sup>7)</sup>。構成主義的なアプローチに則ると、知識は教員からの一方伝達では形成されず、学習者が積極的・主体的に対象に働きかけ、既有知識との間のギャップに混乱や不均衡を抱きながら、それらを解消するべく同化や調整を行うことで獲得される。理科においては、学習者が日常生活やそれまでの学習によって抱えている素朴概念から出発し、観察や実験を通して、自然現象に関する妥当な解釈を構築することが学習につながると考える。

概念構築の過程において、主体的な働きかけの他にもう一つ重要な要素があり、それは言語を通して他者と関わることである<sup>8)</sup>。他者に自分の考えを伝え、他者の考えを聞くことは、自分の考えを明確にすると同時に、新たな考えを取り入れる機会となる。他者との相互作用によって、対象に対する働きかけをより多面的に行うことが可能になり、対象に関する概念構築が促進されると考える。理科においては、観察や実験をグループで行い、話し合いを通して結果を考察することにより、自然現象に関する妥当な解釈が構築されると考える。教員も他者として学習者の概念構築を助ける役割を担っていることは言うまでもない。

もう一つ忘れてならないのは、主体的に対象に働きかけて概念構築を行ったならば、内容は何でもよいわけではなく、人類が長年積み重ねてきた社会的に認められた概念と整合性が図られていなければならないことである<sup>9)</sup>。ここでも学習者が正しい概念を構築しているかどうかをモニターする教員の役割が重要になる。

## 2. 2 モデリングを通しての概念構築

前述のように、モデリングとは現実の世界では捉えることが難しい自然現象について、その特徴を取り出し、簡素化したものに置き換えてその現象について考える活動である。重要なのは、モデリングによって表現されたモデルは、実物のコピーではなく、注目すべき点を簡略化して取り出しているということである<sup>10)</sup>。「注目すべき点」というとき、モデリングにはすでに科学概念の構築に結び付くような要素が含まれており、モデリングは既有知識と科学概念の橋渡しを行っている(図1)。

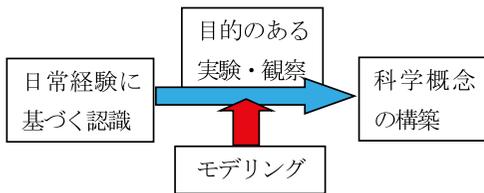


図1 科学概念構築におけるモデリングの役割

また、モデリングとは、慣れ親しんだ操作を新たな対象に対して行うことによって、推論を行うことと考えられる。慣れ親しんだ操作を使うことで、考えることが容易になる。例えば、懐中電灯に照らされた物体の影のでき方について考えるとき、光の光線モデルを使って、懐中電灯から線を引くという慣れ親しんだ操作によって、光が物体に当たって、その先に行かないから影ができるということが考えられる(図2)。このように、モデリングによって自然

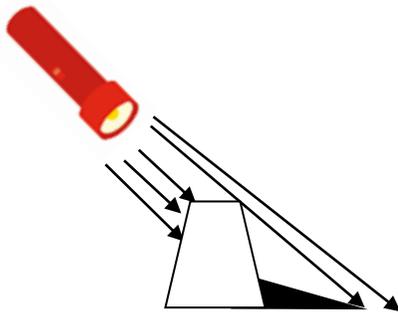


図2 物体の影ができる理由を説明するモデル図 (Schwarzら<sup>4)</sup>の図を基に筆者が作成)

現象に対して推論ができるようになり、予想や説明をすることを通して認識が深まると考えられる<sup>11)</sup>。

モデリングの大きな特徴は、モデル図を描くことによって概念を視覚化できることである<sup>12)</sup>。視覚化することにより、学習者自身の考えが明確になり、自然現象についての説明を可能にする。また、図を用いて、具体的に考えを発展させることができる。例えば、図2の光線モデルから、懐中電灯を当てる高度を大きくすれば、影は小さくなると予想することができる。それを実験的に示すこと、すなわち目的のある実験の実施により、図1の水色の矢印に示した科学概念への到達が促される。

さらに、モデル図は視覚的で考えを伝えやすいので、学習者間のコミュニケーションがより活発になると期待される。モデリングは「対話的な学び」を促すツールの一つと考えられる。個人の考えを伝え合うだけでなく、共同でモデル図を作成することも可能である。複数の学習者によるモデルの作成は、多面的な考えを取り入れることやより精緻化されたモデルの作成を可能にする<sup>4, 5)</sup>。

モデルは常に修正を加えられるものである。モデルの評価と修正を通して、学習者の科学概念についての理解が深められることが示唆されている<sup>10)</sup>。モデリングは学習者の概念理解を促すために、理科教育で不可欠なツールの一つであると考えられる<sup>4)</sup>。

本研究において、構成主義の枠組みの中において、問題解決の過程の中にモデリングの活用を取り入れる。小学校理科学習において、構成主義の要素とモデリングを埋め込んだ流れは次のようになる。まず、児童たちは自然現象に対して感覚を通して情報を得る。次に現象に対して抱いた疑問を解決しようとして、主体的に現象をモデル化し、モデル図を基に仮説を立てる。仮説の正しさを確かめるために、観察や実験を計画し、予想を立て、観察や実験を実行する。得られた結果を分析し、疑問の答えとなる自然現象の規則性を見出すことになる。分析結果の解釈において、仮説・予想段階のモデルに戻り、修正を加えることが期待される。また、全過程を通して、教員や友達からのコメントに助けられながら妥当な解釈の構築を進めることになる。問題解決の過程を図3に示す。

なお、本稿では仮説と予想を一まとめにし、「予想」という言葉で表現することとする。

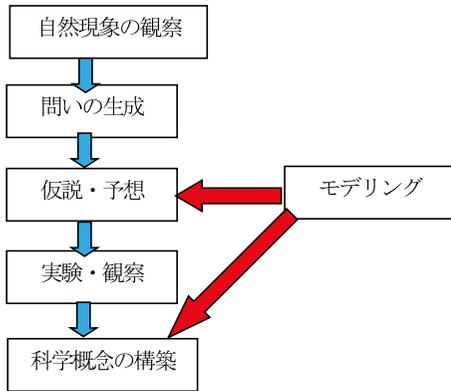


図3 問題解決の過程におけるモデリングの位置づけ

### 3. 小学校理科におけるモデリングを取り入れた単元開発と授業実践

#### 3. 1 光線モデルを取り入れる利点

小学校理科において、モデリングがどのように自然現象に関する児童の概念理解を促すかを調べるために、モデリングを意図的に取り入れた単元開発を行い、それを実践して、モデリングの効果を検証した。単元開発は、第3学年「光を調べよう」の単元で行う。

児童にとって、光を捉えることの難しさが以前から指摘されている<sup>13)</sup>。多くの児童にとって、光とは光源を意味し、「部屋の中で光はどこにでもある」というような空間における実体として捉えられていない。また、影は「暗い光」と考える児童がいることも報告されている。そこで、空間における実体として光を捉えることを促すために、光を矢印のついた直線で表す光線モデルを取り入れる。図4で示したように、鏡を真上から見たとき、光は直線の矢印で表現される。

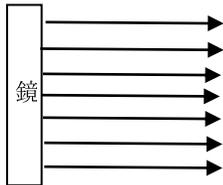


図4 本研究で用いる光線モデル

鏡を真上から見るという構図は児童にとって捉えることが難しいことが予想される。しかし、例えば太陽光を壁に当てる場合、鏡を斜め上方を向け、角度をつけなければならないが(図5)、小3において角度まで考慮することは難しい。そこで、真上から見た図を用いて角度の問題を回避する。図5のよ



図5 教科書における図<sup>14)</sup>

うに教科書<sup>14)</sup>において、角度を考慮しない3次元的な図が掲載されている。空間に存在する光は薄く表現されているが光線モデルは用いられていない。

光線モデルは、2.2で述べたように、物体に当たった光について、学習者が説明を考え出すことを促す働きをすると考えられる。特に、矢印のついた直線は、児童の苦手とする空間における実体として光を表現し、空間には何も無いのではなく、光があることを明示する。また、光線モデルは影のつき方を説明し、しかも簡単に描くことができる。小学校3年生の児童にも取り入れやすいものであると期待される。

また、虫めがねを用いたときの現象について、「虫めがねは光を集中させる」という正しい解釈の他に「虫めがねは光を大きくする」と考える児童がいることが指摘されている<sup>13)</sup>。遠くに行くほど明るさが弱くなるという生活経験を基にすれば、光の量が保存すると考えることは難しいことが推測される。実際、「すごく遠いところの光は途中で弱まってしまい、消えてしまう」と考える児童がいることが報告されている。光線モデルは光源から出た矢印で光を表現することにより、光の保存の概念をすでに含んでいる。光線モデルを用いることにより、光の保存について児童の考えを正しい解釈に導くことができると期待される。

さらに、虫めがねを用いたとき、図6のように虫

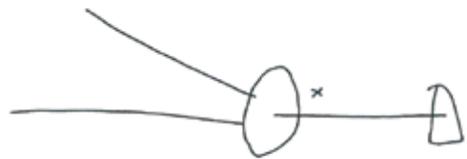


図6 虫めがねを用いた実験におけるモデル図<sup>13)</sup>

めがねを通った後の光が1本になると考える児童がいることが指摘されている<sup>13)</sup>。このように、児童の誤った解釈について、モデル図を描かせることにより、早期に見つけ出し、教室での議論を通して解決することができると思われる。

### 3.2 光線モデルを取り入れた単元開発

本単元に含まれる概念を整理して、コンセプトマップに示す(図7)<sup>15)</sup>。本単元は、光の性質について、日光を使って学習する。マップ上で児童が作業をする内容は黄色、児童が使用する用具は緑色で示す。この単元で重要となる光の性質は3つある：1) 光はまっすぐ進む、2) 光は明るく、集めるとより明るくなる、そして3) 光は温かく、集めるとより温かくなる、である。そしてこの3つの光の性質について、平面鏡を用いた実験、虫めがねを用いた実験、曲面鏡(ソーラークッカー)を用いた実験を通して学習をする。

全8時間の単元の開発にあたり、研究者2名と小学校教員が協働して作業を行った。単元計画を表1に示す。また、4・5時のワークシートを図8、6・7時のものを図9に示す。

2時間目の授業では光がまっすぐ進むことを理解させるために、まず、鏡に三角形の厚紙をはめると壁に映る光が三角形になることを観察し、その理

表1 「光を調べよう」の単元計画

時	学習活動	モデルの導入
1	鏡での当てゲームをする。	—
2・3	反射させた光を遮ったり、地面に這わせたりすることで光の進み方を調べる。	・光を途中で遮るとどのように映るか、光線モデルを用いて考える。
4・5	複数枚の鏡で反射させた光を壁に重ね、明るさと温かさの変化を調べる。	・光を重ねると明るさや温かさはどうなるか、光線モデルを用いて予想する。また、現象を光線モデルで説明する。
6・7	虫めがねで日光を集めることによって、とても明るくなり、紙が燃える理由について光線モデルを用いて考え、虫めがねによって光が一点に集められたことを理解する。	・とても明るくなり、紙が燃える理由について光線モデルを用いて考え、虫めがねによって光が一点に集められたことを理解する。
8	ソーラークッカーを使った実験を行う。	・これまでの知識を使い、ソーラークッカーの仕組みについて光線モデルを使って説明する。

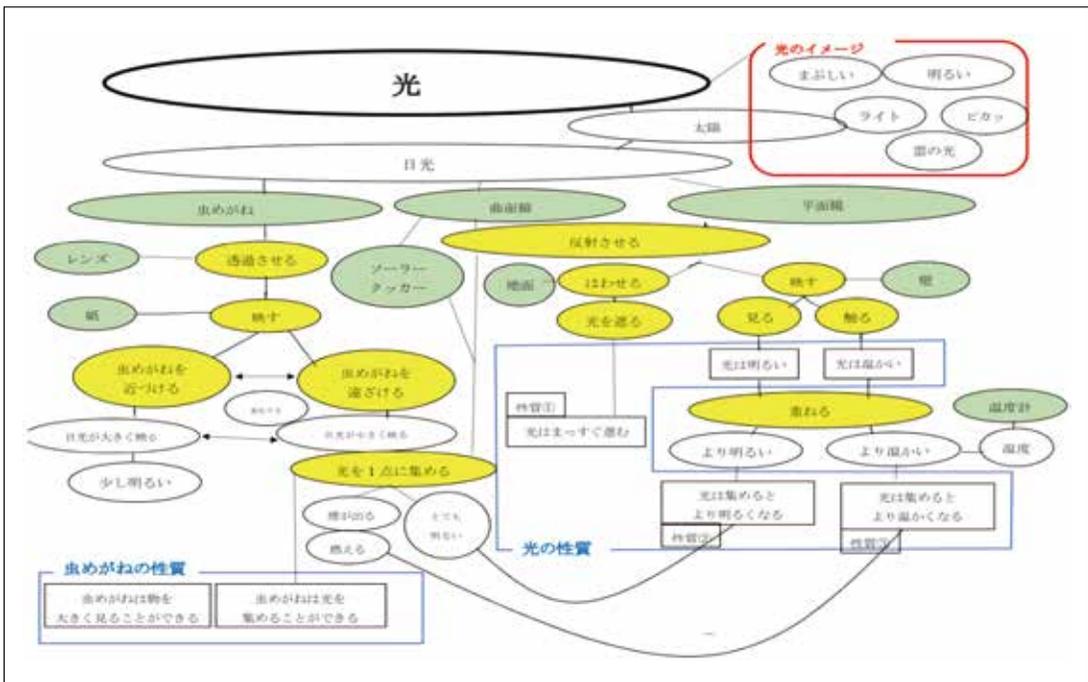


図7 小学校3年「光を調べよう」の単元に関するコンセプトマップ

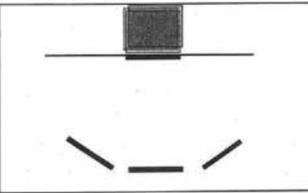
月 日 ( ) 光線 温度 年 組 名前	
「どうする」と、「どうなった」を発見して、「どうして」を考えよう	
どうする(方法)	どうなる(現象)
どうして(理由)	

図8 4・5時で用いたワークシート(2組のみ)

由について考える。課題を「三角に切り取った紙をかぶせると、光が三角になるのはどうしてか。」に設定する。理由を考える場面で光線モデルを導入する。

3時間目の授業では、反射させた光を地面に這わせたり、反射させて壁に映し

た光を途中で遮ったりすることで光の進み方を確かめる実験を行う。実験後、前時に設定された課題に対するまとめを行う。

4・5時の「光は明るく、集めるとより明るくなる」と「光は温かく、集めるとより温かくなる」の2つの性質は、複数の平面鏡を用いて壁に日光を反射させ、重ねて映すことで、明るさと温かさの変化について調べる。4時の学習課題は「光を重ねると1枚より明るくなるのか。それはどうしてか。」に設定する。児童はどうなるかを予想した後、その理由を図とともにワークシートに表す。

5時では2枚、3枚の鏡で光を重ねることにより、1枚の鏡のときよりも明るく(目視)、温かくなる(温度計で測定)ことを確かめる。3枚の鏡の実験を行った後、実験結果を基にまとめを行う。

6・7時間目の授業は、虫めがねを使った実験を行うことによって光がとても明るくなり、煙が出る

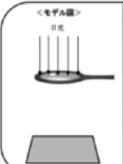
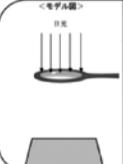
月 日 ( ) 光線 温度 年 組 名前	
○虫めがねを使うと光が明るくなり、鏡がこげるのはなぜだろう?	
虫めがねを通ったあとの光を矢印で書いて書いちゃおう!	
<モデル> 	<ことば>
○虫めがねのモデルとくらべてみよう!	
<モデル> 	<ことば>

図9 6・7時で用いたワークシート(両クラスとも)

ことを確かめ、虫めがねによって光が1点に集められたことを理解する授業である。課題は、6時間目において「虫めがねを通すと、明るさ温かさはどうなるのか。」、7時間目において「虫めがねを使って日光を小さくして紙に当てたとき、とても明るくなりとてもあつくなるのはどうしてか。」に設定する。また、単元の最後の8時には、曲面鏡を使って光を1点に集中させる実験を行うことで、光を集めると、より明るく、温かくなることについて学習するという流れとなっている。

光線モデルの導入は第2時の光の直進を考える授業で導入する。その後、光を重ねた場合と虫めがねを用いた場合において、光線モデルを使って考えることを促す。最後の授業は、ソーラークッカーという応用問題を扱う。その際に、光線モデルを用いて、ソーラークッカーを使ったときに、なぜ中心で温度が高くなったかを説明することができることを期待する。

なお授業実践においては、2組でモデリングを意図的に導入して授業を行い、1組では第6時までモデリングを導入せずに授業を行うこととした。すなわち、1組を対照群、2組を実験群として授業実践を行った。

### 3.2 「光を調べよう」の授業実践

本研究における授業実践は、ある小学校3年生68名(1組34名、2組34名)を対象として2020年9月に行われた。実践は小学校教員と研究者1名が分担して行った。データとしては、児童のワークシートとビデオ録画を収集した。

#### 3.2 ワークシートによるデータの分析方法

表1にあるように第2時、4時、6時、8時において実験を含む学習活動が行われた。児童は、それぞれの学習活動において、実験前の予想と実験後のまとめの場面で、ワークシートに図と言葉によって考えを表現した。ワークシートの分析にあたり、図と言葉が科学的な視点で捉えられているかについてA、B、Cの3段階を設定した。それぞれの活動における評価指標を表2から表5に示す。なお、4・5時は言葉による記述内容のみ評価した。

表2 2・3時「直進」における評価指標

評価	図	言葉による記述内容
A	光線モデルを使って光がまっすぐ進むことが表現されている。	日光が鏡に当たって反射した光がまっすぐ壁に進んだことで、同じ形が映ることを理解している。
B	図は描かれているものの、光線モデルは使用していない。	日光が鏡によって反射したことを理解している。
C	モデリングしていない、または光線が曲がって表現されている。	反射による現象であることについて記述がみられない。

表3 4・5時「重ね合わせ」における評価指標

評価	言葉による記述内容
A	現象の結果に加え、光の集まり方に着目して、現象の仕組みについての記述がされている。
B	現象の結果についての記述がされているが、光の集まり方に着目した記述がされていない。
C	現象についての記述がされていない。

表4 6・7時「虫めがね」における評価指標

評価	図	言葉による記述内容
A	光線モデルを用いて、光が1点に集まることを表現している。	光が集まることに加え、虫めがねの距離を変化させることによる現象の説明が記述されている。
B	概ね光が集まっていることが表現されている。	光が集まることについて記述されている。
C	光が集まるということが表現できていない。	現象についての記述が不足している。

表5 8時「ソーラークッカー」における評価指標

評価	図	言葉による記述内容
A	光線モデルを用いて、光が反射して1点に集中している様子が表現されている。	曲面鏡によって光が反射され、1点に集まったことによりとても熱くなり煙が出たことが記述されている。
B	光線モデルを用いて、光が反射する様子が表現されている。	反射に関する記述がされている。
C	モデリングがされていない。反射の様子が表現されていない。	反射することや光が集まっていることに関する記述がみられない。

どの時間の評価指標においても、C評価は求める概念が表現されていないもの、B評価は求める概念

が表現されているもの、そしてA評価は求める概念が記述されていることに加え、理由の説明や精緻化された説明がなされているものである。予想及びまとめについて、それぞれの評価の人数を求め、1組（対照群）と2組（実験群）の人数を比較した。

#### 4. 授業実践の結果と考察

##### 4.1 「直進」の授業の結果と考察

第2時では、鏡に三角形の厚紙をあて、壁に映した日光がどのようになるかという問題を取り上げた。実際に実験した後に理由を考えさせた（予想）。2組（実験群）では光線モデルを導入した後に考えさせたが、1組（対照群）ではモデリングは導入せず、児童に自由に記述させた。3時においては、光を地面に這わせるなどの実験を行った後、まとめを記述した。2時の予想における図と言葉による記述内容、及び3時のまとめにおける言葉による記述について、1組と2組の評価結果を比較したものを表6に示す。

表6 2時の予想（上部）と3時のまとめ（下部）の図と言葉による表現の評価別人数（割合）

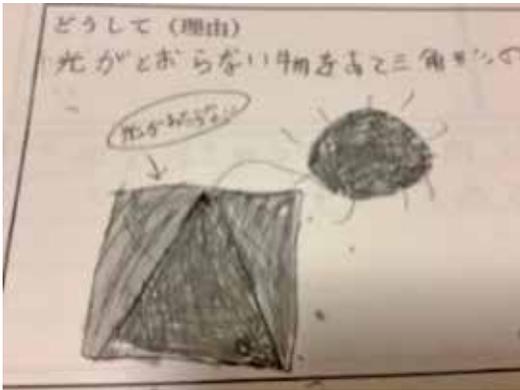
予想	1組（対照群） N=33		2組（実験群） N=34	
	図	言葉	図	言葉
A	5(15%)	0(0%)	28(82%)	0(0%)
B	15(46%)	17(52%)	4(12%)	20(59%)
C	13(39%)	16(48%)	2(6%)	14(41%)
まとめ	言葉		言葉	
A	6(18%)		8(23.5%)	
B	8(24%)		18(53%)	
C	19(58%)		8(23.5%)	

表6においてハイライトで示したように、光線モデルを導入した2組では、予想の段階で28名（80%）の児童がA評価となるような直進性を表す図を描いた。しかし、言葉による記述は全員B評価以下に留まった。一方、光線モデルを導入しなかった1組では、A評価となる図を描いた児童は5名（15%）しかいなかった。また、3時の最後のまとめにおいて、1組ではC評価が19名（58%）と最も多いのに比べ、2組ではB評価が18名（53%）と最も多く、全体的に2組の方が正しい理解がなされたと考えられる。これらの結果から、光線モデルを導入することにより、光が直進するという正しい解釈が図と言葉で促されたと考えられる。

理由を考えたとき（予想）の図と言葉による記述の例を図10と図11に示す。

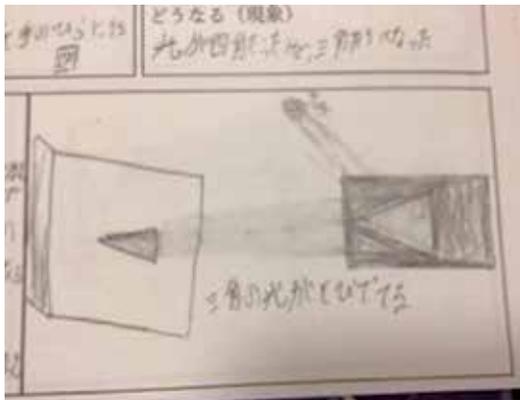
図10と図11を比較してわかることは、光線モデルを教えてもらった2組の児童は、太陽光が鏡で反射されて壁に映るという現象を、光を空間における実体として捉えながら正しく表現していることである。一方、1組の児童は太陽光が鏡に反射されて壁に映る形が三角形になることを理解できても、それを空間的につなげる形で表現できていない。

また、図11の言葉の記述を見ると、2組の児童でも映る形に注意が集中しており、図に示されてい



【どうして(理由)】光が通らない物をあて三角形の部分だけしか反射しないから(形が変わらない)

図10 1組(対照群)の児童の2時の図と言葉による表現(どちらもB評価)



【どうして(理由)】もし丸い形の上でやってみると影は丸になります。光を反射されて映るのでどんな紙でも三角の紙をやると反射してやる残った三角の紙は光にあたるので形は三角になります。(三角の光が飛び出る)

図11 2組(実験群)の児童の2時の図と言葉による表現(図はA評価, 言葉はB評価)

る光がまっすぐ進むことには触れていない。同様のことが多くの児童に見られ、図はA評価だったにもかかわらず、言葉の記述でA評価となるものがない。このことから、光線モデルを手に入れたからといって、それが意味する光の直進性には注意が向けられていないことが示唆された。

#### 4.2 「重ね合わせ」の授業の結果と考察

4時の授業では、3枚の鏡を用いて日光を反射させ、3つの光を壁で重ねるとどうなるかという問題を取り上げた。児童はどうなるかを予想した後、その理由を図とともに表した。5時では実際に3枚の鏡の実験を行った後、実験結果を基にまとめを行った。3.1で述べたように、2組(実験群)では3枚の鏡と壁を真上から見た図を載せたワークシートを用いた。1組(対照群)でもワークシートを用いたが、図の部分は空欄である。

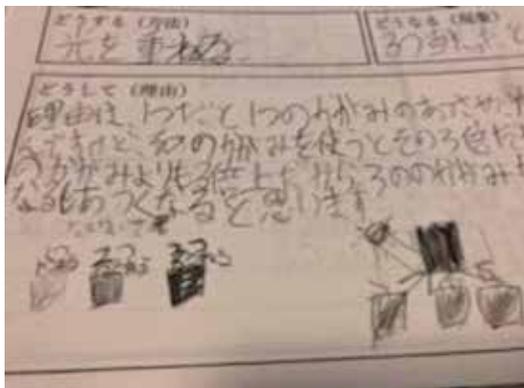
5時の光の重ね合わせを調べる授業において、まとめの言葉による記述について、評価ごとの人数と割合を2クラスで比較した結果を表7に示す。

表7 5時のまとめの言葉の評価別人数(割合)

	1組(対照群) N=33	2組(実験群) N=34
A	3(9%)	15(44%)
B	13(39%)	19(56%)
C	17(52%)	0(0%)

予想を考えたときの図とまとめの言葉による記述の例を以下の図12と図13に示す。

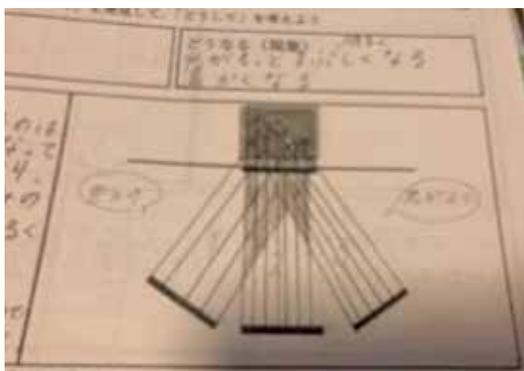
表7と図13からわかるように、モデル図を教えられた2組では、3枚の鏡の光を重ねると1枚のときよりも明るく、温かくなることについて、光そのもの(光線)が重なったり、交わったりしているからだと説明できていた。一方、モデル図を教えられていない1組では、光を重ねると2倍、3倍となると考え、光を表す矢印を1本ずつそれぞれの鏡から描いているものの、3倍になるという考えに集中している。3枚の鏡から反射した光を重ねたときの壁の温度は37～40℃であり、1枚の鏡のときの温度31～34℃と比べ、温度が3倍になっていなかった。これをどのように解釈すればよいかについて、例えば、図12の児童は「1枚とちょっと温度とかが似ていました。」と表現しており、混乱が見られると考えられる。温度の測定に関して、結果は2組でも同様であったが、記述の焦点は「光が集まる」にあった。4・5時の結果からも、モデリングが児童の考えを正しい方向に焦点化する効果が高いことが



【どうして（理由）】理由は1つだと1つの鏡が熱さや光の色が明るくなるんですけど、三つの鏡を使うとその3倍だから、1つの鏡、2の鏡よりも3倍上だから、3の鏡を当てると温かくなるし、熱くなると思います。

【まとめ】1枚の鏡だと、明るさや温度などが低くて、3枚だと、3枚反射した光のところだけ光って1枚とちょっと温度とかが似ていました。

図12 1組（対照群）の児童の4時の予想の図と言葉による表現、及び5時のまとめの言葉による表現（B評価）



【どうして（理由）】3個の鏡からの反射の光が重なって直線の光が集まり、1つ1つの鏡の光が重なって明るくなる。

【まとめ】1つ1つの鏡の直線の光が3つ集まって、光が交わっている光が壁に伝わって明るくなる、または温かくなる。

図13 2組（実験群）の児童の4時の予想の図と言葉による表現、及び5時のまとめの言葉による表現（A評価）

分かった。

#### 4.3 「虫めがね」の授業の結果と考察

6・7時の授業では、虫めがねを通すと、とても明るく、紙を焦がすほど温かくなるのはどうしてかについて考えた。6時では現象の観察の後、それぞれの児童が理由を予想してモデル図を描いた。なお、6時には1組でも光線モデルを導入した。7時では自分のモデル図を児童同士がペアで説明し合った後、全体で議論してまとめを行った。

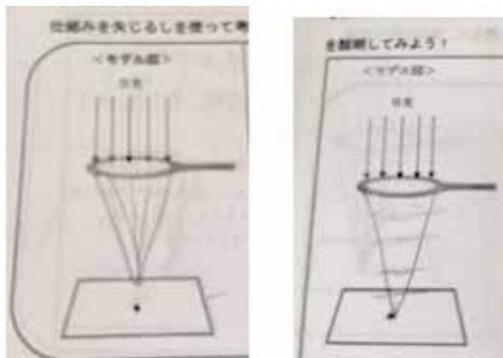
6・7時の評価別の人数（割合）を2クラスで比較した結果を表8に示す。

表8 6時（予想）と7時（まとめ）の図と言葉による表現の評価別人数（割合）

予想	1組（対照群） N=31		2組（実験群） N=34	
	図	言葉	図	言葉
A	19(61%)	6(19%)	13(38%)	13(38%)
B	9(29%)	18(58%)	13(38%)	11(32%)
C	3(10%)	7(23%)	8(24%)	10(30%)
まとめ	図	言葉	図	言葉
A	18(58%)	11(35%)	18(53%)	8(23%)
B	10(32%)	13(42%)	13(38%)	20(59%)
C	3(10%)	7(23%)	3(9%)	6(18%)

予想及びまとめのモデル図と言葉の記述の例を図14と図15に示す。

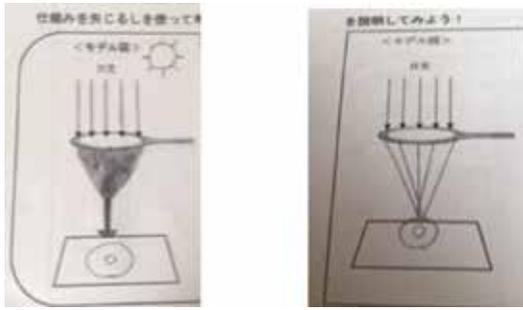
表8を見て分かることは、予想でもまとめでも、1組と2組ともに、光線モデルを用いて光が集まる



【予想】日光を集めている。（図・言葉ともにB評価）

【まとめ】日光が虫めがねに当たって日光を集めているから。虫めがねが近いと光の円が大きいけど、どんどん離れていくと点になり一番光が集まっているから（図・言葉ともにA評価）

図14 1組（対照群）の児童の予想（左）とまとめ（右）の図と言葉による表現



【予想】まず、日光が、虫めがねにあたります。つぎに、下にいくけど、1つにまとまります。紙に当たって穴があきます。(理由)1つの所だけ穴があいていました。だから、1つにまとまるのではないかと考えました。(図C評価, 言葉B評価)

【まとめ】中心に集まっている!だから穴があいた。(図・言葉ともにB評価)

図15 2組(実験群)の児童の予想(左)とまとめ(右)の図と言葉による表現

図を描いている児童が76~94%と多いことである。これは、ワークシート(図8)に虫めがねの上方から光線が入ってくる図が表されていることから、光線を用いて光が紙の上に集まる様子を描くのは容易だったことが推測される。図14の予想の図はその好例である。

一方、光線モデルを使っているが、光が曲がって表現されていたり、光が1点に集中して集まるものが表現されていなかったりしてC評価のモデル図は1組で3人、2組で8人と2組の方が多かった。その例を図15に示す。この例では、ドライヴァーら<sup>13)</sup>が示した例(図6)のように、光が途中で1つにまとまると考えられている。同じ考えを示した児童は1組にも1名いた。この考えを正すには、虫めがねをだんだん近づけると光の円がだんだん大きくなることを示すのがよい。実際に、1組の授業では、それを確かめ、黒板の図に教員が断面を示した楕円を大きさを変えて描いた。図14のまとめの図には断面を示す楕円が3つ描かれており、虫めがねを通った光がだんだん集まるのが理解されたことが分かる。対照的に、2組では断面を示す楕円を描くということが示されなかった。図15で示した児童の場合、友達との交流を通じて、途中で1つにまとまるという考えは消去されたものの、中心に集まるという考えが強く、虫めがねと紙の距離によって円の大きさがかわることは記述されていない。

#### 4.4 曲面鏡の授業の結果と考察

第8時の授業では、曲面鏡を用いて反射した日光を紙の筒に集め、筒から煙が出る実験を行った。課題は「鏡を太陽に向けてと煙が出るのはなぜか」に設定された。両クラスで光線モデルを用いて、現象の説明(予想)を考える活動を行った。曲面鏡と筒を真上から見た図を載せたワークシートを用いた。授業後半ではモデルを比較し合った後、全体で議論してまとめを行った。

8時の予想の図と言葉、及びまとめの言葉について、評価別の人数と割合を表9に示す。

表9 8時の予想とまとめの図と言葉による表現の評価別人数(割合)

予想	1組(対照群) N=31		2組(実験群) N=34	
	図	言葉	図	言葉
A	15(48%)	11(35.5%)	10(30%)	4(12%)
B	9(29%)	11(35.5%)	11(32%)	15(44%)
C	7(23%)	9(29%)	13(38%)	15(44%)
まとめ	言葉		言葉	
A	17(55%)		23(68%)	
B	8(26%)		9(26%)	
C	6(19%)		2(6%)	

予想段階では様々な考えが示された。誤った考えも多かったが、C評価は2組(実験群)の方が1組(対照群)に比べて図でも言葉でも多かった。他方、A評価は2組の方が少なかった。これらのことから、1組の方が正しく理由を考えられた児童が多かったことが分かる。

予想段階のモデル図を図16のように4種類に分類した。

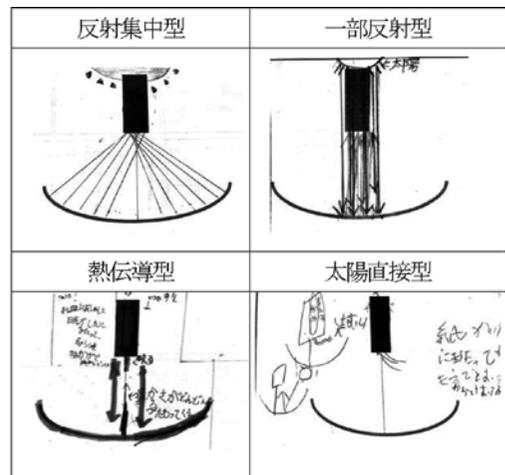


図16 8時に児童が描いたモデル図の分類

反射集中型は曲面鏡によって、一点に光が集まることを表現した科学的に正しいモデル図である。

一部反射型は、鏡によって反射することは表現されているものの、曲面鏡の一部（筒に面している部分）からの光が1点に集中すると考えている。熱伝導型は、太陽によって鏡が温められ、熱が伝わることを表現したモデル図である。太陽直接型は、太陽光によって紙の入っている筒が温められたと考えられているモデル図である。クラスごとのモデル図の種類別人数を表10に示す。図16以外の図は「その他」とした。

表10 分類別人数と割合

モデル図(評価)	1組 (N=31)	2組 (N=34)
反射集中型 (A)	15(49%)	10(29%)
一部反射型 (B)	9(29%)	11(32%)
熱伝導型 (C)	5(16%)	8(24%)
太陽直接型 (C)	1(3%)	4(12%)
その他 (C)	1(3%)	1(3%)

反射集中型は正しい解釈なので、A評価である。一部反射型はB評価にあたる。熱伝導型、太陽直接型、及びその他は曲面鏡による反射を考えていないためC評価である。表10からわかるように、2組ではここまで6時間の授業において、光線モデルを使って光の進み方を考えてきたにもかかわらず、鏡から熱が伝わると考えた児童が8名(24%)もいた。

## 5. モデリングを取り入れた単元実践の全体考察

### 5.1 光線モデルを取り入れる効果

ここまで、単元の内容ごとに1組と2組の評価別人数と表現を比較し、モデリングの効果を検証してきた。表6と表7から、モデリングを導入した2組の方が、予想でもまとめの場面においても、正しく現象を記述できた児童の割合が高いことがわかる。これはモデリングによって、光を光線で表すという科学的な視点を得た児童が、現象を正しく記述できたものと考えられ、モデリングの効果と考えられる。1組の児童は見たままの描像を表し、光が「まっすぐ進む」とか「重なる」という捉えができていなかった(図10、図12)。特に、図12を見ると、鏡を正面から見た長方形で表している。図17に1組と2組の児童の表現を比較した例を挙げる。図17の上図において、鏡は平行四辺形で表されている。光を示す矢印が標記されているが、言葉の説明では「鏡が3つあるから」のように、光が重なることには言及

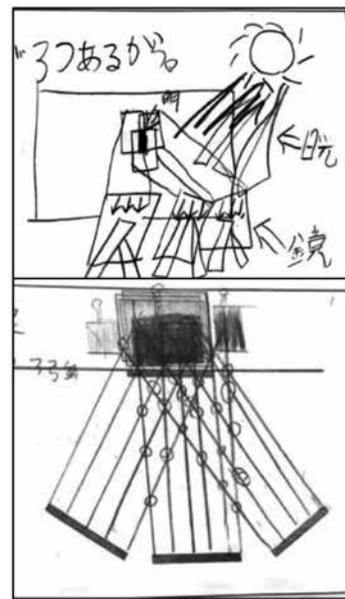


図17 上：見たままを描いた1組(対照群)の児童の図、下：光線モデルで光の重なりを丸印で表す2組(実験群)の児童の図

していない。下図の光線モデルでは、線が重なったところに丸を付けて光の重なりを表現している。図8のワークシートに表したような真上から見た図が正しい解釈には重要であり、それは児童が思いつくものではなかったことが推測される。

### 5.2 モデルについての理解不足

表9にある8時間目の結果を見ると、両クラスでモデリングが導入された後の応用問題において、1組(対照群)の方が正しい予想をすることができている。1組の児童は2～5時の活動において、自分なりに現象を捉えようと苦心していた。6時間目に教員から光線モデルの導入があり、モデルがもたらす科学的な視点を自分のものとして理解した児童が多かったのではないかと想像される。実際、教員が光線モデルを紹介したとき「もっと早く言ってくればよかったのに」という声が児童から挙がった。光線モデルについて、より深い理解をすることができた1組の児童は、ソーラークッカーという応用問題において、光線モデルの考えを活用し、正しい予想を考えることができたのではないかと推測される。

他方、2組(実験群)の児童は第2時から光線モデルを使い始めた。光の直進性や重なりを正しく解釈する図や言葉による表現をしていながら、それは光線モデルというツールを提供されたからできたこ

とで、光を空間における実体として捉えられていない児童がいたことが推測される。光線モデルについての理解不足が、第8時において熱伝導型など誤った考えをした児童が多かったことの説明になるだろう。

## 5.2 段階的なモデリング導入の重要性

モデリングの意味についての理解不足を避けるには、モデリングを導入するステップが重要だと考えられる。本研究の実践のように、いきなり導入して正しい解釈を促そうとしても、児童の準備が整っていないければ、理解不足という状況を生んでしまう。そのギャップをつなぐには、日常経験的な捉えから、段階的に科学的な捉えに橋渡しをすることが重要であると考えられる。例えば、図17の上の図を描いた児童は、鏡の上に矢印を3本ずつ描いている。それを空間まで伸ばして描くことは難しくないのであろう。さらに、3枚の鏡の場合は真上から見ることを提案してはどうだろうか。虫めがねの場合は、真横から見て光線モデルを用いることになる。一度光線モデルの意味を理解した児童は、3次元的な描画でも正しい解釈を構築することができると期待される。

## 6. 本研究の成果と今後の展望

本研究ではモデリングが小学校理科において、児童が根拠のある予想や仮説を発想することを促すかどうかについて調査を行った。小3「光を調べよう」の単元において、光線モデルはどの内容の予想場面でもまとめの場面でも正しい解釈を促すことが明らかになった。また、モデリングをより効果的に活用するために、段階を追った導入が重要であることが示唆された。また、本研究では実験群と対照群を設け、描画と言葉による記述の2つの表現方法について分析を行うことにより、モデリングの効果を明示することができた。

モデリングは光の単元に限らず、いろいろな単元で導入可能である。今後、さらに他の学年や単元においてモデリングの効果を検証し、児童の概念理解を促す方略について知見を蓄えていきたい。

## 引用文献

- 1) 文部科学省: 小学校学習指導要領解説【理科編】、2017年
- 2) 文部科学省: 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、中央教育審議会答申、2016年
- 3) 小倉啓史: 見通しをもって、主体的に問題解決ができる理科学習指導の在り方～「学びのキーワード」を活用して～ Retrieved from <https://www.nisimino.com/bunkyo/pdf/ronbun/h24-11.pdf>, 2020年9月
- 4) Schwarz, C.V., et. al.: Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners, *J of Research in Sci. Teaching*, 46(6), 632-654, 2009年
- 5) Acher, A., Arca, M., & Sanmartín, N.: Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418, 2007年
- 6) 雲材寛: 理科教育におけるモデリング研究の動向と課題, 広島大学大学院教育学研究科紀要第二部, 65, 19-27, 2016年
- 7) Fosnot, C. T. (Ed.): *Constructivism-Theory perspectives, and practice*, Teachers College Press, 2005年
- 8) Vygotsky, L. S.: *Mind in society: The development of higher psychological processes*, Harvard University Press, 1978年
- 9) Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P.: Constructing scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, 23(7), 5-12, 1994年
- 10) Lehrer, R., & Schauble, L.: Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning contexts, In W. Damon, R.M. Lerner, K.A. Renninger, & I.E. Sigel (Eds.), *Handbook of Child Psychology* (6th ed., Vol. 4). John Wiley and Sons, 2006年
- 11) 和田一郎: 児童の科学的な思考力・表現力の促進を試行する理科授業に関する一考察—メンタルモデルの外化と視覚化を通じて—, 北海道教育大学紀要(教育科学編), 62(1), 71-79, 2011年
- 12) 荻野伸也, 久保田善彦, 桐生徹: 小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成に関する事例研究—「ものの温まり方」単元における概念の関連から—, *理科教育学研究*, 55(1), 27-35, 2014年
- 13) Driver, R., Tiberghien, A., & Guesne, E. (Eds.): *Children's ideas and the learning of science*, Open University Press, 1985年
- 14) 学校図書: みんなと学ぶ小学校理科3年, 2020

年

- 15) 森悠人：モデリングによって児童達の本質的な理解を促せるのか—小学校3年生の理科授業を通して—, 新潟大学教育学部理科教育学研究室, 令和2年度卒業論文集, 2021年