

モデル化思考の能力を高める6つの局面からなる理科指導法の開発

井形哲志 埼玉県立伊奈学園中学校
小倉康 埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野

キーワード: モデル化思考、モデリング、科学的思考力、理科指導法

1. はじめに

未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力等は、これからの時代に必要となる資質・能力の1つとして挙げられる(例えば、中央教育審議会(2016)など)。平成29年3月告示の学習指導要領(文部科学省、2017)では、科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動の充実が求められている。

山路(2000)は科学概念について、「科学概念は自然科学において使用される概念であり、様々な科学用語や理論・法則などの科学的知識、そして科学的研究方法なども挙げられる」と述べ、その科学的研究方法について、Lehrer & Schauble(2006)は、「どの専門分野にも共通する研究方法は、自然界の諸現象をモデル化し、そのモデルを洗練する方法である。科学的思考は、諸概念を具体例によって裏づけしモデル化することで構成され、それを導く科学的理論は、様々なモデルを構築・修正・取捨選択するといった試行錯誤の結果、常に変化していく」と述べている。Develaki(2007)によれば、モデルやモデリングを中心とした学習活動を展開することで、科学的なモデルの性質をもとにした科学の本質の理解につながるという。

モデルとは、「必要な部分のみを強調し、これを理解、解明するのに都合よく考慮し、不必要な他の部分を省略したもの」(井藤、1970)であり、モデリングとは、「モデルを構築したりモデルを適用したりする」(雲財・松浦、2016)ことである。

モデル化に関する思考力については、昭和44年の学習指導要領中学校理科(文部省、1969)において、「問題の発見、予測、観察、実験、測定、記録、分類、グラフ化、推論、モデルの形成、仮説の設定、検証などの学習を適宜組み合わせる指導ができるようにすること」と記載されているが、今日その重要性がまた強調されている(例えば、後藤ら(2016)など)。

2. 問題の所在

2006年のPISA調査では、日本の生徒は、モデルの使用や応用を重視した理科授業を受けている意識が低い水準であることが指摘されている(国立教育政策研究所、2007)。また、「特定の課題に関する調査(理科)」では、分析結果からみた主な課題と指導上の改善点として、「理科室内での観察・実験と自然現象の関連付けを促す指導」や、「モデル等を利用して理解を深める指導」等が挙げられている(国立教育政策研究所、2007)。平成29年3月告示の中学校学習指導要領解説理科編(文部科学省、2017)においても、モデル実験の結果と関連付けて考察させることが学習活動の例として挙げられている。モデルについての先行研究から以下の課題が指摘されている。

2-1 実際の自然現象とモデル実験の異同の認識

稲田ら（2014）は、ピーカー内で霧を発生させるモデル実験から、実物との対応関係や、発生の仕組み、モデルと実際の類似点・相違点を大学生に質問したところ、「大学生はモデル実験と実際の自然現象の異同を具体的に示せない」と報告している。また、平成27年度全国学力・学習状況調査（文部科学省、2015）では、「飛行機の状況」によって菓子袋のふくらみが変化したことをモデル実験で検証する際、モデル実験で空気を徐々に抜いて気圧を変化させる操作が、上昇している飛行機の状況と対応していると認識できず、自然の事物・現象と実験の装置や操作を対応させることに課題があると報告されている。これらのことから、モデル実験を用いる際には、実際の自然現象とモデル実験の異同を認識しながら対応づけることが課題と指摘されている。ただ、どのように対応づけるのか、具体的な方法は明確になっていないため、実際の自然現象とモデル実験の異同を認識しながら対応づける具体的な指導法の設計が必要なことが分かる。

2-2 モデルについての認識

Treagustら（2002）は、中等学校の生徒を対象にモデルに対する認識を調査し、生徒の多くが、科学の考えや理論の発展において、モデルがどのように使われているのかを理解していないということを明らかにしている。さらに、Carey & Smith（1993）の、「生徒は科学的なモデルの役割に関する知識をほとんど持っていない」という報告もあり、モデルの様々な特徴について総合的に学習し、モデルに対する認識を高める機会が必要だということが分かる。雲財・松浦（2016）は、これらの研究をもとに、モデルの特徴を「現象の説明・予測」「特徴の顕在化」「暫定性」「限界性」の4点にまとめ、中学生と大学生を対象とした調査から、中学生はモデルを現象の特徴を顕在化させるものとしてとらえており、モデルは「目に見えにくい現象を可視化させたり、複雑な現象を単純化させたりするものである」という認識が強いこと。また、モデルが現象の説明や予測に使われるといった、モデルの目的に関する認識が深まりにくいことを報告している。これらのことから、モデルについての認識を高める指導法の設計が必要なことが分かる。

本研究においては、「実際の自然現象とモデル実験の異同の認識およびモデルについての認識」を「モデル化思考の能力」と定義する。モデル化思考の能力を高める指導法の設計とその効果の検証を通し、そこから見出される意義と課題を明らかにすることが必要である。

3. モデル化思考の能力を高めるための指導法の設計のための基礎

佐藤・森本（2004）によれば、「子どもが新たな知識を習得する際、彼らが今まで持ち得ていた考え方とまったくかけ離れた視点で知識を獲得するという事は少ない。つまり、概念の変容を図る際には、そのなかに子どもにとって論理的な順序性がなければ自分自身の知識とは成り得ないのである。（中略）特に、アナロジーは子どもにとっての論理的な順序なしには導入できず、その導入方法自体が学習の順序を示すものと考えられる。」と述べている。

Holyoak & Thagard（1995）は、アナロジー導入の方法について以下のように述べている。①選択（ベースについての情報を記憶から想起することによってベースを選択する。）、②対応づけ（ベースをターゲットに対応づけてターゲットについての推論を行う。）、③評価・修正（推論の評価と修正を行

う。)、④学習(アナロジーの成功や失敗にもとづいて何らかのより一般的なことがらを学習する。)から成ると述べている。これらのことを佐藤・森本(2004)は「①～④については、①→②→③の順で行い、修正がなければ④へ、修正があれば①に戻り、①→②→③と繰り返す」としている。

現在の問題を解き明かすために、すでに理解している情報から有用なものを選択し、現在の問題と対応づけながら推論し、評価・修正しながら学習する。この一連の流れは、理科学習場面におけるモデル化の過程(モデル実験を通した問題解決)と言える。よって、アナロジーに関連する先行研究を参考に指導法的设计を行った。

3-1 写像

鈴木(1998)は、対応づけの方法として写像の重要性を述べている。写像とは「検索されたベースの中のどの要素が現在の問題(ターゲット)のどの要素と関係しているかを決定するプロセスである」という。また、「カテゴリー化(抽象化)することで、写像にかかる計算のコストがかなり軽減される」と報告している。また、吉村(2004)は、「発見された共通点や関係性は般化されてカテゴリーになる」と述べている。

これらのことから、ベースの各要素とターゲットの各要素の共通点や関係性を発見することで、写像しやすくなると考えられる。理科学習においては、図1のように、検証したい事柄と類似の事柄を要素に分けて、それぞれの共通点を考えさせることで、根拠を明確にしながらか対応づけさせればよいということが分かる。

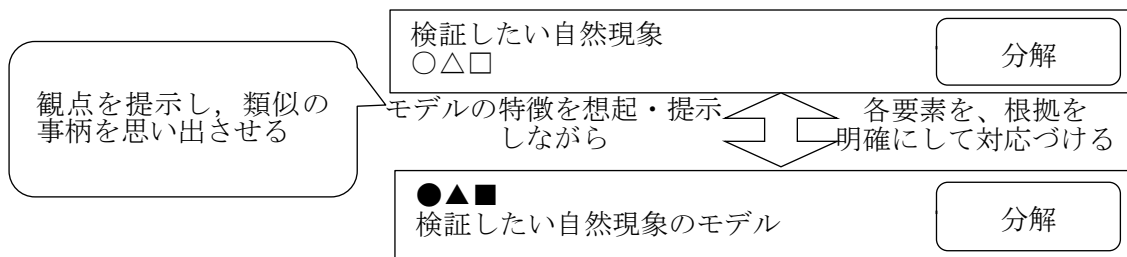


図 1 自然現象とモデルの対応づけのイメージ

3-2 アナロジーの評価・修正

内ノ倉(2010)によると、「アナロジー生成活動という学習ストラテジーは、アナロジーを生成しただけで終わるものではなく、むしろ、アナロジーの生成・評価・修正という動的なサイクルを繰り返すことで、新しい説明の構築、自分なりの疑問の発見など、概念的な理解が促進される」という。理科学習においては、生成したモデルについて、評価・修正させる場面を設けることが有効なことが分かる。

小島(2007)は、「現在直面している問題の解決に事例を利用する場合、その問題と事例との類似性は、事例がその問題の解決にどれくらい貢献しそうであるかを評価する役割を果たす」とし、「2つの事例間の類似性を判断する時は、事例を特徴付ける要素を比較し、同一の要素がどの程度含まれるかを比較する」と述べている。また、「類似性は共通点と差異によって評価される」という。このことから、共通点と差異点を考えさせ、2つの事柄の類似性を判断することが大切だということが分かる。理科学習の中心は問題解決であることを考えると、ターゲット(問題)とベース(事例)の類似性を判断することは、検索したベースが問題解決に使えるかどうかを判断する評価と言える。理科学習においては、新しく検証したい自然現象がある際、検証したい自然現象と既に学習している自然現象との共通点・

差異点を考えながら、2つの事柄を比較し、その類似性を判断することが有効であることが分かる。

Clement (2008) によると、アナロジーの主要な認知プロセスとして「変形」があるという。「変形」とは、元の状況Aが修正され、以前は固定されていると仮定された、いくつかの特徴を変化させることで、状況Bが作り出されることである。内ノ倉 (2012) は、「変形」を導入することで、科学的理解が促進されると報告している。これらのことから、生徒自身がモデルを変形させながら新たなモデルを生成・活用することが科学的な深い学びにつながる事が分かる。理科学習においては、図2のように、既習のモデルを変形させ、新たなモデルを生徒自身が考えることが有効であることが分かる。モデルの「変形」はまさに、検証したい自然現象と既に学習している自然現象の類似性を検討した後、その共通点と差異点に基づき、既習のモデルを評価・修正し、検証したい自然現象のモデルを構築する過程と考えられる。

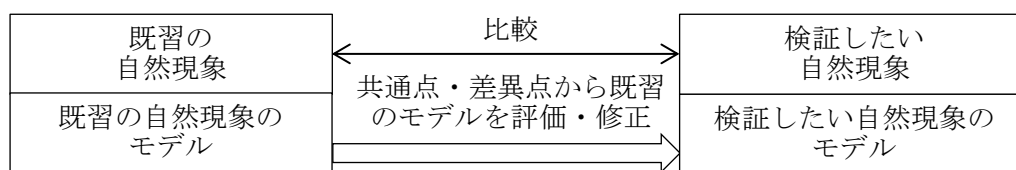


図 2 既習の自然現象やモデルから検証したい自然現象やモデルを生成するイメージ

3-3 設計した教授・学習モデル

先行研究を参考に設計した教授・学習モデルを図3に示す。この教授・学習モデルは①～⑥の6つの局面から成る。知っている自然現象からそのモデルを考える際は局面①～③を、知っている自然現象やそのモデルから別の自然現象や別のモデルを考える際は局面④～⑥を行うことで、モデル化思考の能力を高めることができると考えた。

(1)局面①：要素の抜き出し

自然現象を提示し、既習事項から関係していそうな情報を選択し、その特徴を列挙させ、要素を抜き出す。

(2)局面②：対応づけ

それぞれの要素（形や性質、動き）を代わりに何に対応づけることができるかを、自然現象とモデルの共通点を根拠に考えさせる。その際、雲財・松浦 (2016) によるモデルの特徴をふまえて考えさせる。

(3)局面③：適用

モデル（実験の結果）から、自然現象について考察させる。

(4)局面④：比較

「知っている自然現象」と「別の自然現象」の共通点・差異点を考えさせる。

(5)局面⑤：評価・修正

自然現象どうしの差異点に基づき、モデルを変形させる。

(6)局面⑥：活用

変形したモデル（実験の結果）から、別の自然現象について考察させる。

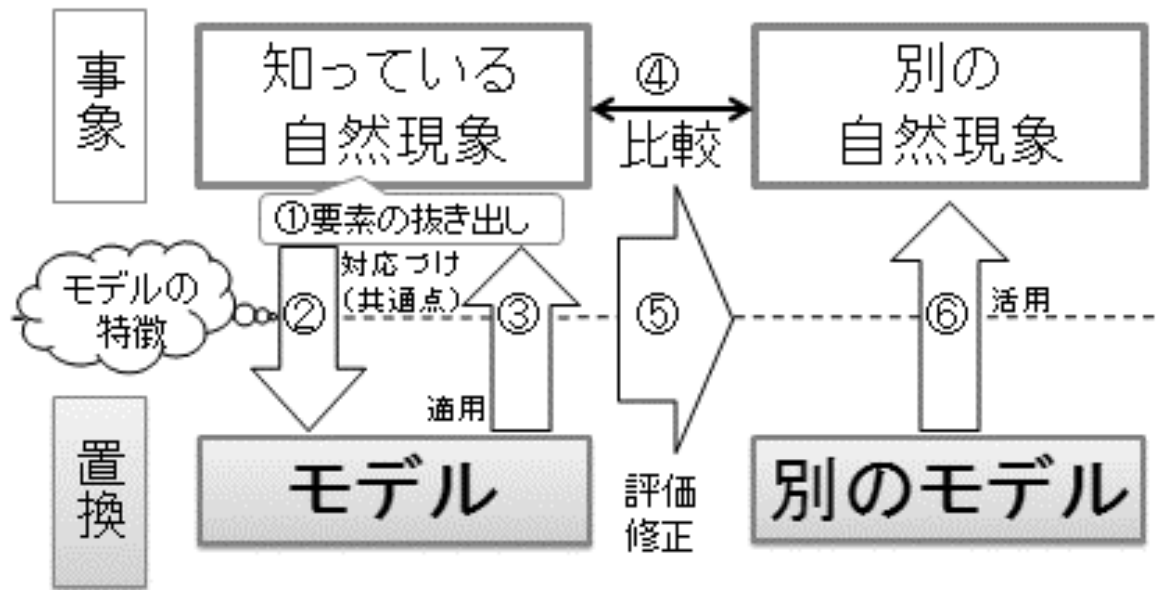


図 3 設計した教授・学習モデル

4. 研究の目的

中学校理科において、モデル化思考の能力を高める6つの局面からなる教授・学習モデルを用いた授業実践を行い、その検証を通じて、そこから見出される意義と課題を明らかにすることを目的とする。

5. 研究方法

5-1 調査対象ならびに調査時期

(1) 調査対象

被験者は、埼玉県公立A中学校第3学年6学級201名ならびに近隣の埼玉県公立B中学校第3学年6学級182名の合計383名（欠席者等を除く）である。

実験群「モデルについての特別授業¹⁾と本教授・学習モデルを用いた授業を行う群」はA中学校、統制群「本教授・学習モデルを用いずに授業を行う群」はB中学校とした。実験群の指導にあたっては、調査者が作成した指導案に基づいて、「モデルについての特別授業」（表1中の☆の時間、1時間）、「設計した教授・学習モデルに基づく授業」（表1中の★の時間：表1中の丸数字は図3の設計した教授・学習モデルの丸数字と一致する、計8時間）を22時間にわたり行った。統制群の指導にあたっては、21時間にわたり生徒がモデル実験を行うことはなく、教科書の内容を解説した。また、「モデルについての特別授業」は行っていない。なお、いずれも1単位時間は50分である。

(2) 調査時期

検証授業は2016年8月～11月、事前調査は検証授業単元の開始前、事後調査は検証授業単元の

終了後に行った。

(3)実施単元

中学校第3学年「第2分野・(6)地球と宇宙」(22時間扱い)である。表1に示す単元展開で授業を行った。

表1 実施した検証授業単元の流れ

次	時	実験群の主な学習内容
1次	第1～2時	太陽系の天体, 小惑星・太陽系外天体, 銀河系
	第3～4時	太陽の観察, 太陽の表面
特別	第5時	「モデルって何だろう」☆
2次	第6～7時	月の観察とモデル実験★ (①～③)
	第8時	日食・月食★ (④～⑥)
	第9～11時	金星・火星のモデル実験★★ (④～⑥)
3次	第12時	天球の位置の表し方
	第13～14時	太陽の1日の動きとモデル実験★ (①～③)
	第15～16時	星の1日の動きと日周運動の原因
第4次	第17～19時	1年で見られる星座★ (④～⑥)
	第20時	季節による日周運動の経路の変化★ (④～⑥)
	第21～22時	エネルギー量の変化, 地軸の傾き★ (①～③)

(4)実際の指導

実験群のみに行った第5時の指導と、設計した教授・学習モデルの6つの局面の指導の具体を説明する。

第5時には、特別授業として表2のように、モデルの定義や特徴について、肺のモデルを提示し、実際に操作しながら学習した後に、モデル化思考の6つの過程を説明した。

表2 第5時 (モデルについての特別授業)

	学習内容	留意点
1	モデルの定義を知り、今まで学習したモデルを想起する。	教科書等を見て探させる。
2	モデルの特徴を考える。 ・モデルの長所を考える。(現象の予測・説明、特徴の顕在化) ・モデルで短所を考える。(暫定性、限界性)	肺のモデルを提示し、実際に操作しながらモデルの特徴を実感させる。
3	モデルの考え方について知る。	6つの過程を指導する。

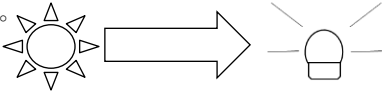
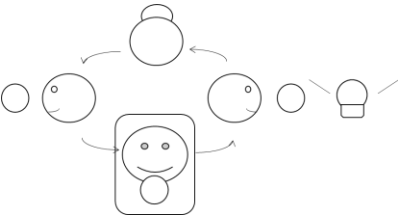

第6～7時、第13～14時、第21～22時には、知っている自然現象からモデルを立案できるように、設計した教授・学習モデルの①～③の局面を設けた指導を行った(表3)。

表3 知っている自然現象からそのモデルを考える過程

局面	指導内容
①要素の抜き出し	自然現象を提示し、既習事項から関係していそうな情報を選択し、その特徴を列挙させ、要素を抜き出す。
②対応づけ	それぞれの要素を代わりに何に対応づけることができるかを、モデルの特徴をふまえながら、根拠をもとに考えさせる。
③適用	モデル実験の結果から、実際の自然現象について考察させる。

知っている自然現象として、第6～7時には月の満ち欠け、第13～14時には太陽の1日の動き、第21～22時には太陽光のエネルギー量の変化を提示した。その後、要素を抜き出し、共通点をもとに装置や操作に対応づけて立案したモデル実験の結果を、それぞれの自然現象に適用させた。具体例として第7時における教師の指導内容・発問と生徒の反応を表4に示す。

表4 第7時（月の満ち欠けのモデル実験）

教師の指導内容	教師の発問Tと生徒の反応S
①要素の抜き出し：月の満ち欠けの知っていること・関係していそうなことを形や性質、動きの観点から挙げさせる。	T：月の満ち欠けに関係していそうなことは何ですか。形や性質、動きをもとに考えましょう。 S：太陽の光を月が反射させています。
②対応づけ：モデルの特徴を踏まえ、各要素を代わりに何に対応づけることができるか根拠をもとに考えさせる。  モデルの4つの特徴をふまえながら対応づけを行わせる。	T：それぞれ何に置き換えられますか？ S：太陽は電球です。両方とも、自ら光を発するからです。 T：モデルを使う長所は何ですか？ S：長所は、自然現象を説明したり予測したりできるし、分かりやすくなることです。短所は、うまく使えないときがあること、自然現象を完全に説明できるわけではないことです。
<u>立案したモデル実験</u> 発泡スチロール球を手を持ち、電球の光の当たり方を記録する。	 
③モデル実験の結果から、実際の自然現象ではどのようなことがいえるかを考えさせる。（適用）	T：モデル実験の結果から何が言えますか。 S：月が太陽に近い側にあると細く、遠い側にあるとまろく見えます。

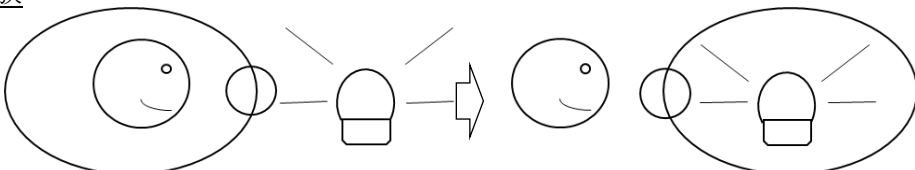
第8時、第9～11時、第17～19時、第20時には、知っている自然現象と別の自然現象の比較から、別のモデルを立案できるように、設計した教授・学習モデルの④～⑥の局面を設けた指導を行った（表5）

表5 知っている自然現象やそのモデルから別の自然現象や別のモデルを考える過程

局面	指導内容
④比較	別の自然現象を提示し、既習の自然現象やモデルとの共通点・差異点を見出させる。
⑤評価・修正	自然現象どうしの差異点に基づき、既習のモデルを変形させ、別のモデルを立案させる。
⑥活用	別のモデル実験の結果から、別の実際の自然現象ではどのようなことがいえるかを考えさせる。

また、第8時には日食や月食、第9～11時には金星の満ち欠け、第17～19時には星の1年の動き、第20時には季節ごとの太陽の動きを別の自然現象として新たに提示し、それぞれの自然現象の要素を抜き出させた。その後、知っている自然現象との比較から、既習のモデルを変形して新たなモデル実験を立案させ、そのモデル実験の結果を、別の自然現象に活用させた。具体例として第10時における教師の指導内容・発問と生徒の反応を表6に示す。

表6 第10時（金星の満ち欠けのモデル実験）

教師の指導内容	教師の発問Tと生徒の反応S
④別の自然現象を提示し、既習の自然現象との共通点・差異点を見出させる。（比較）	T：月と金星の満ち欠けで同じ点・違う点は？ S：同じ点は、両方とも自ら光を発していない点です。違う点は、金星は太陽を中心にまわり、見かけの大きさが変化します。
⑤別の自然現象と類似の自然現象の関係付けした結果から、既習のモデルを変形させ、別のモデルを立案させる。（評価・修正）その際、④の共通点は変えずに、差異点は変えるように促す。	T：月のモデル実験の変えない・変える点は？ S：変えない点は、電球を使って球に光を当てることです。変える点は、電球を中心にまわるように動かすことです。
立案したモデル実験 第7時のモデルを変形させた。	
⑥モデル実験の結果から、実際の自然現象ではどのようなことがいえるかを考えさせる。（活用）	T：結果から何が言えますか。 S：金星は太陽を中心にまわるため、地球からの距離と見え方が変わるため、見かけの大きさを変えながら満ち欠けするように見える。

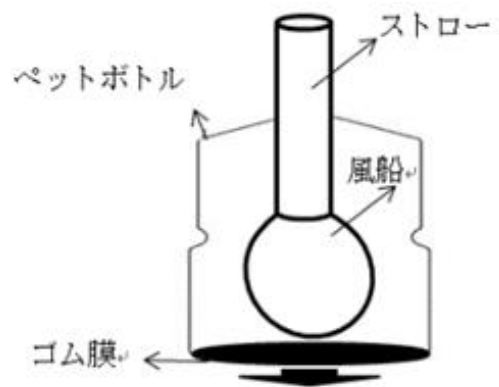
6. 効果の検証と結果

検証授業単元を行う前後に、実験群および統制群の実態および変容を把握するため、問題および質問紙を作成し調査を行った。

6-1 モデル化思考の能力の変容

本研究で設計した教授・学習モデルに基づき、モデル化思考の能力を問う問題を作成し、事前と事後に調査を実施した²⁾。問題は一部平成27年度全国学力・学習状況調査の題を改題して作成した（図4.1、図4.2、図5.1、図5.2、図6.1、図6.2）。内容は教授・学習モデルの局面①の「要素を抜き出し」、局面②の「対応づけ」、局面⑤の「評価・修正」、局面⑥の「活用」の能力を問うた。なお、局面②の「対応づけ」は自然現象とモデルの対応づけの根拠として、自然現象とモデルの共通点を導出できるかも問うた。「要素の抜き出し」・「対応づけ」については、表7.1および表7.2の正答例をもとに観点ごとの正答数（各5点満点）を、「評価・修正」・「活用」については、表8.1・表8.2・表9.1・表9.2の正答例をもとに正答者数を、量的に結果を分析した。

肺で呼吸する仕組みをよりくわしく調べるために、右図のようなモデルを作り、ゴム膜を下に動かすことで、肺で呼吸する仕組みを再現しました。このモデルを作るために、ペットボトルの底をカッターで切り取り、底をおおるようにゴム膜をはりつけました。また先端に風船をつけたストローをペットボトルの口から外に出しました。なお、ペットボトルの口とストローの間にすき間はないようにし接着させてあります。このモデルについて以下の問いに答えてください。



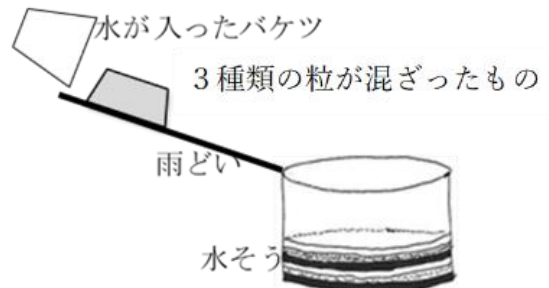
このモデル実験の装置や操作は、実際の肺で呼吸する仕組みのどの部分を再現したのですか？実験装置のどの部分が、実際の体のどの部分を表しているかを書いてください。※書き方例：○○の部分を実際の●●を表している。なぜなら◎◎という点が似ているからだ。

図 4.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題
（「要素の抜き出し」「対応づけ」）

表 7.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題における正答例（「要素の抜き出し」「対応づけ」）

観点	正答例
①要素の抜き出し（図4.1の●●の正答数）	肺、横隔膜、気管、からだ
②対応づけ（図4.1の○○の正答数）	風船、ゴム膜、ストロー、ペットボトル
②対応付けの根拠（共通点の導出） （図4.1の◎◎の正答数）	両方ともふくらむ、両方とも伸び縮みする、両方とも管状、両方とも肺や風船のまわりを囲んでいる

地層のでき方をよりくわしく調べるために、右図のようなモデルを作り、水を流すことで、地層のでき方を再現しました。雨どいを斜めに固定し、ゆるやかな坂になるように設置しました。そこに「とても小さい白色の粒」・「中くらいの大きさの灰色の粒」・「大きい黒色の粒」の3種類の粒が混ざったものをまき、バケツに入った水で流しました。なお、雨どいの先には、丸い水そうを置きました。しばらくたってから、何度か同じ操作を行いました。その後、丸い水そうを横から見ると、水そうの底から上に向かって黒色・灰色・白色…の順に何層にも層ができていました。このモデルについて以下の問いに答えてください。



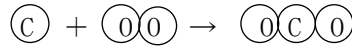
このモデル実験の装置や操作は、実際の地層のでき方のどの部分を再現したのですか？実験装置のどの部分が、実際の自然のどの部分を再現しているかを書いてください。※書き方例：○○の部分を実際の●●を表している。なぜなら、両方とも◎◎という点が似ているからだ。

図 4.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題
（「要素の抜き出し」「対応づけ」）

表 7.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題における正答例（「要素の抜き出し」「対応づけ」）

観点	正答例
①要素の抜き出し（図4.2の●●の正答数）	土砂、川、海、バケツの水
②対応づけ（図4.2の○○の正答数）	3種類の粒が混ざったもの、雨どい、水そう、川の水
②対応付けの根拠（共通点の導出） （図4.2の◎◎の正答数）	両方ともいろいろな大きさの粒である、両方とも水を流す、両方とも水がたまる、両方とも水

空気中で激しく燃えているマグネシウムを、集気びんに集めた二酸化炭素中に入れたらマグネシウムは燃えました。Aさんは不思議に思い、この疑問を解決するために、空気中でろうそくを燃やしたときの様子を思い出しました。「空気中では炭素と酸素が反応し続けるからろうそくがなくなる限り燃え続け、二酸化炭素ができるな。モデルで表すと図のようになるな。（下図）」



集気びんに集めた二酸化炭素中でもマグネシウムが燃えた理由を文章や絵、モデルなどを用いて説明してください。

図 5.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題（「評価・修正」）

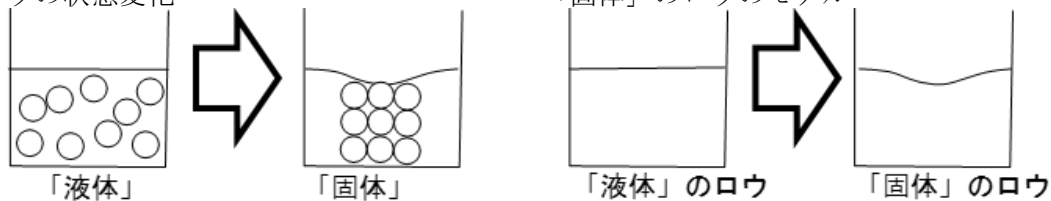
表 8.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題における正答例（「評価・修正」）

観点	正答例
⑤評価・修正（正答者数）	結合が変化したことの指摘、二酸化炭素中の酸素原子に着目した指摘

氷をつくる容器に水を入れて冷凍庫でこおらせておいたら、こおらせる前より体積が増えています。Aさんは不思議に思い、この疑問を解決するために、ろうそくの状態変化の様子や原子・分子の学習を思い出しました。

「ろうそくは液体から固体になるときに、質量は変化しないけれど体積は減るな。つまり、ろうそくの液体の状態と固体の状態を、モデルで表すとこのようになるな。」

- ・「液体」から「固体」へのろうそくの状態変化
- ・「液体」のろうそくと「固体」のろうそくのモデル



水から氷に状態変化する際、体積が増える理由を、「液体」の水と「固体」の水（氷）の状態をモデルで表しながら、文章で説明してください。

図 5.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題（「評価・修正」）

表 8.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題における正答例（「評価・修正」）

観点	正答例
⑤評価・修正（正答者数）	固体の水（氷）は、液体の水に比べ、粒子の間隔が広くなる、粒子のもつ領域が広くなる

Bさんは目のレンズが網膜の上に像を結ぶしくみを、中学校1年生で学習した光の実験をもとに、凸レンズとスクリーンで表そうと図のような実験を考えました。それぞれ、「物体」は見ようとする物、「凸レンズ」は、水晶体、「スクリーン」は網膜を表しています。実験器具を動かしながら、はっきりした像ができるかどうかを調べました。この実験から、ヒトは目の何を変えることで、見る物体までの距離が変わっても、物体をはっきりと見ることができると考えられますか。理由とともに書いてください。

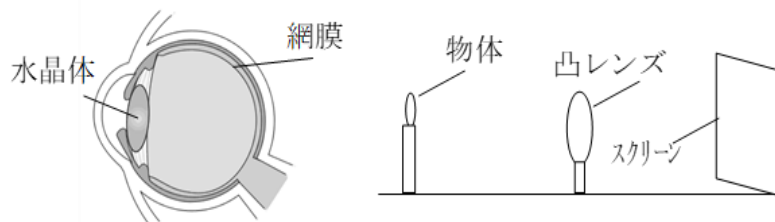


図 6.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題（「活用」）

表 9.1 モデル化思考の能力を測定する事前調査問題における正答例（「活用」）

観点	正答例
⑥活用 (正答者数)	位置と理由ともに満たしている解答を正答とした。 位置：凸レンズとスクリーンの距離を変えない、凸レンズを変えない、スクリーンを変えない 理由：水晶体と網膜との距離は常に変わらない

Bさんは島にある山の山頂付近に雲がかかっている写真を見て、「どうして島にある山の山頂付近だけに雲が発生しているのか」という疑問をもちました。Bさんは「海から島にある山に向かって吹く風により、山の斜面で空気のかたまりが上昇すると、雲ができる」という予想を立てました。Bさんは山へハイキングに行った際に、山の上に行くと、持っていた菓子袋がふくらんだことから、「気圧が低くなると、気体の体積が大きくなる」ことを思い出しました。そこで、「気圧が低くなると、気体の体積が大きくなり、雲ができる」とさらに考え、雲の発生を再現するための実験を考えました。「小さな菓子袋」を「容器(圧力に耐えられるもの)」の中に入れ、「ピストン」を「容器」の口に取り付けました。容器の中を霧吹きでぬらし、ピストンを引いたところ、容器の中に雲が再現できました。この実験から、どのようなしくみで島の上に雲ができるということが言えるのでしょうか。

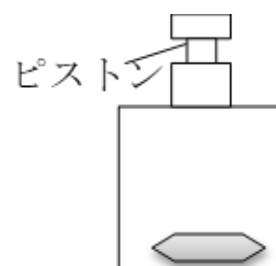


図 6.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題（「活用」）

表 9.2 モデル化思考の能力を測定する事後調査問題における正答例（「活用」）

観点	正答例
⑥活用 (正答者数)	以下の3領域の中から2領域以上を満たしている解答を正答とした。 ・「気圧が低くなり、気体が膨張すること」 ・「温度が下がり、露点に達し、水蒸気が水滴になること」 ・「空気中のちりに水滴がつくこと」

モデル化思考の能力の「要素の抜き出し」および「対応づけ」について、実験群と統制群の、事前調査と事後調査の結果について、二元配置分散分析およびTukeyの多重比較検定を行った。表10.1~10.3に調査結果を示す。

表 10.1 モデル化思考の能力についての調査問題の正答数の平均値の差「要素の抜き出し」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	2.33	4.04	< .001**	< .001**
統制群	2.42	2.07	< .001**	

表 10.2 モデル化思考の能力についての調査問題の正答数の平均値の差「対応づけ」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	2.09	3.52	< .001**	< .001**
統制群	2.29	1.71	< .001**	

表 10.3 モデル化思考の能力についての調査問題の正答数の平均値の差「対応づけの根拠」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	1.25	2.75	< .001**	< .001**
統制群	1.28	1.28	0.942	

表10.1~10.3の通り、どの項目においても有意な交互作用が認められた。「要素の抜き出し」および「対応づけ」については、実験群は有意に上昇し、統制群は有意に下降した。「対応づけの根拠」につい

ては、事前から事後にかけて実験群においては有意な上昇が認められたが、統制群においては有意な差は見られなかった。

モデル化思考の能力の「評価・修正」および「活用」について、事前調査・事後調査それぞれにおける実験群と統制群の、正答者数の差について、カイ二乗検定を行った。表 11.1～11.4 に調査結果を示す。

表 11.1 モデル化思考の能力についての事前調査問題の正答者数の差「評価・修正」

	正答	誤答	カイ二乗値	p値
実験群	42	159	1.218	.270
統制群	30	152		

表 11.2 モデル化思考の能力についての事後調査問題の正答者数の差「評価・修正」

	正答	誤答	カイ二乗値	p値
実験群	78	123	35.342	< .001**
統制群	22	160		

表 11.3 モデル化思考の能力についての事前調査問題の正答者数の差「活用」

	正答	誤答	カイ二乗値	p値
実験群	29	172	1.257	.262
統制群	34	148		

表 11.4 モデル化思考の能力についての事後調査問題の正答者数の差「活用」

	正答	誤答	カイ二乗値	p値
実験群	70	131	31.844	< .001**
統制群	19	163		

表 11.1～11.4 の通り、「評価・活用」および「修正」について、事前調査において実験群および統制群に有意な差はみられなかったが、事後調査においては、実験群および統制群に有意差がみられた。

6-2 モデルについての認識の変容

モデル化思考の能力の一部としてのモデルについての認識の変容については、雲財ら（2016）の質問紙調査を参考に、モデルについての認識を問う質問紙を作成し（表 12）、事前と事後に調査を実施した。調査に利用できる時間が限られていたために、項目数は「現象の予測・説明」、「特徴の顕在化」、「暫定性」、「限界性」という観点について各 1 項目とした。回答は「5 強くそう思う」、「4 そう思う」、「3 わりとそう思う」、「2 少しそう思う」、「1 まったくそうは思わない」の 5 件法とし、量的に結果を分析した。

表 12 モデルについての認識を問う質問紙の観点と質問項目³⁾

観点	質問項目
現象の予測・説明	科学では、モデルを用いることで、自然の現象を説明・予測することができる。
特徴の顕在化	モデルは分かりにくいことを、分かりやすく表すことができる。
暫定性	モデルはある状況で有効であっても、別の状況ではうまく使えない可能性がある。
限界性	モデルは現象を完全に説明することができない。

モデルについての認識を問う質問紙の各質問項目について、実験群と統制群の、事前調査と事後調査の結果について、二元配置分散分析および Tukey の多重比較検定を行った。表 13.1～13.4 に調査結果を示す。

表 13.1 モデルについての認識を問う質問紙調査の回答の平均値の差「現象の予測・説明」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	3.81	4.06	< .001**	< .01**
統制群	3.86	3.84	0.614	

表 13.2 モデルについての認識を問う質問紙調査の回答の平均値の差「特徴の顕在化」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	3.91	4.20	< .001**	< .001**
統制群	3.90	3.86	0.355	

表 13.3 モデルについての認識を問う質問紙調査の回答の平均値の差「暫定性」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	3.21	4.20	< .001**	< .001**
統制群	3.12	3.25	< .01**	

表 13.4 モデルについての認識を問う質問紙調査の回答の平均値の差「限界性」

	事前	事後	多重比較 p	交互作用 p
実験群	2.94	4.33	< .001**	< .001**
統制群	2.89	3.04	< .05*	

モデルについての認識を問う質問紙のすべての質問項目について、有意な交互作用が認められた。「現象の予測・説明」および「特徴の顕在化」については、事前から事後にかけて実験群においては有意な上昇が認められたが、統制群においては有意な差は見られなかった。「暫定性」および「限界性」の観点については、事前から事後にかけて実験群および統制群に有意な上昇があったが、その上昇は実験群の方が顕著であった。

7. 考察とまとめ

本研究の目的は、中学校理科において、モデル化思考の能力を高める6つの局面からなる教授・学習モデルを用いた授業実践を行い、その検証を通じて、そこから見出される意義と課題を明らかにすることであった。本研究の結果から以下のようなことが考えられる。

「モデルについての特別授業」および「設計した教授・学習モデルに基づく授業」を行ったことにより、「実際の自然現象とモデル実験の異同の認識およびモデルについての認識」というモデル化思考の能力を高められることが示唆された。

調査問題の分析の結果、モデル化思考の能力の「要素の抜き出し」・「対応づけ」・「対応づけの根拠」については、検証授業単元前から検証授業単元後にかけて、実験群においては有意な上昇が認められたが、統制群においては有意な上昇は見られなかった。「評価・修正」および「活用」については、検証授業単元前は実験群および統制群において有意な差はなかったものの、検証授業後には実験群および統制群において有意な差がみられた。

質問紙調査の分析の結果、モデル化思考の能力の一部としてのモデルについての認識については、検証授業単元前から検証授業単元後にかけて、実験群においては有意な上昇が認められたが、統制群においては一部において有意な上昇が見られなかった。

今後の課題として、統制群の一部の項目において、モデルについての認識の有意な上昇が見られたことの要因の特定、検証授業後にモデル化思考の能力が持続しているかの調査が挙げられる。

この検証において、実際の自然現象とモデル実験の異同の認識およびモデルについての認識を高める指

導法を提案することができた。本研究により、平成29年3月告示の中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2017）により求められている「科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動の充実」の一助になると考える。

注

1. 設計した教授・学習モデルに沿って授業を進めるにあたり、モデルの定義・特徴・設計した学習モデルについての説明をする時間を設けた。
2. 本研究で設計した教授・学習モデルに基づき、モデル化思考の能力を問う問題を作成し、事前と事後に調査を実施したが、局面③の「適用」および局面④の「比較」については、一部調査ができていない。
3. 雲財・松浦（2016）は、科学的モデルに対する認識を調査するために、「現象の予測・説明」、「特徴の顕在化」、「暫定性」、「限界性」という4つの観点に対して複数の項目を用いて評価しているが、今回調査に利用できる時間が限られていたために、4つの観点に対して各1項目しか調査できていない。

引用文献

- Carey, S., Smith, C. (1993): On Understanding the Nature of Scientific Knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- 中央教育審議会（2016）：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（答申）https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf（2020年3月25日閲覧）。
- Clement, J. (2008): *Creative Model Construction in Scientists and Students*, 33-64, Springer.
- Develaki, M. (2007): The Model-based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes, *Science & Education*, 16(7-8), 725-749.
- 後藤頭一・松原憲治・野内頼一・宮内卓也・北川輝洋・寺谷徹介・松原静郎（2016）：「モデル化学習」の考え方，進め方に関する一考察—高校化学の試行実践を通して—，科学教育研究，40(2)，166-179.
- Holyoak, K. J., Thagard, P. (1995): *Mental Leaps : Analogy in Creative Thought*. MIT Press. 鈴木宏昭・河原哲雄監訳（1998）：アナロジーの力 認知科学の新しい探求，27-217，新曜社。
- 稲田結美・齋藤恵・内ノ倉真吾・小野瀬倫也（2014）：モデルに関連する能力の育成から考える理科カリキュラム—「霧の発生」のモデル実験に対する大学生の認識調査—，日本理科教育学会全国大会要項，64，85.
- 井藤芳喜（1970）：理科教育におけるモデルの価値と利用，島根大学教育学部紀要，3，84-95.
- 小島一晃（2007）：類似性に基づく推論を用いた知的問題解決支援の検討と実現，博士論文，名古屋大学，愛知。
- 国立教育政策研究所国際研究・協力部（2007）「PISA2006年調査国際結果の要約」Retrieved from http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/071205/001.pdf(2020年3月25日閲覧)。
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター（2007）「特定の課題に関する調査（理科）」

- http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_rika/06002040000004000.pdf(2020年3月25日閲覧).
- Lehrer, R., Schauble, L. (2006): Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education. In Sawyer, R. K. (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science*, NY: Cambridge University Press, 371-387. 森敏昭, 秋田喜代美訳 (2009) : 学習科学ハンドブック, 295-309, 培風館.
- 文部科学省 (2017) : 中学校学習指導要領解説理科編, 学校図書.
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2015) 「平成27年度全国学力・学習状況調査 報告書【中学校/理科】」
- <https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/msci.pdf> (2020年3月25日閲覧).
- 文部省 (1969) : 中学校学習指導要領, <https://www.nier.go.jp/guideline/s44j/index.htm> (2020年3月25日閲覧).
- 佐藤寛之・森本信也 (2004) : 理科学習における類推的思考の意味と意義に関する考察, 理科教育学研究, 45(2), 29-36.
- 鈴木宏昭 (1998) : 類似と思考, 37-53, 共立出版.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002): Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- 内ノ倉真吾 (2010) : 子どもの理科学習におけるアナロジーとメタファー—科学的な概念の形成と関わりに着目して—, 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇), 41, 91-106.
- 内ノ倉真吾 (2012) : 理科授業におけるアナロジー思考の方法論的原理としての「変形」の導入—小学校3年生の電気単元を事例にして, 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇), 43, 119-134.
- 雲財寛・松浦拓也 (2016) : 中学生の科学的モデルに対するメタ的な認識の実態, 理科教育学研究, 57(1), 1-10.
- 山路裕明 (2000) : 科学概念, 武村重和・秋山幹雄編「理科重要用語300の基礎知識」, 29, 明治図書.
- 吉村公宏 (2004) : はじめての認知言語学, 27, 研究社.

(2021年3月31日提出)
(2021年5月10日受理)

Development of Science Teaching Method of Six Phases to Empower Thought by Modeling

IGATA, Satoshi

Saitama Prefectural Ina Gakuen Junior High School

OGURA, Yasushi

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

Today 's science education is required to improve instruction for thinking using models. We designed a teaching method to teach “thought by modeling” in which students consider models in association with natural phenomena and think new models by transforming current model. The teaching method consists of six phases: 1) extraction of elements, 2) correspondence, 3) adaptation, 4) comparison, 5) evaluation / modification, and 6) utilization. As the result of 22 hours lessons of the unit "Earth and Space" at the third grade of junior high school, students in the experimental group (N = 201) performed statistically higher in solving problems by using the thought by modeling, than the students of the control group (N = 182) who have not taught by the thought by modeling after 21 hours standard type lessons. The new teaching method showed an effectiveness for empowering students' thought by modeling.

Keywords : thought by modeling, modeling, scientific thinking, science teaching method