

# 理科教育におけるモデリング研究の動向と課題

— 日本の研究動向を中心として —

雲 財 寛

(2016年10月6日受理)

A Review of Research on Modeling in Science Teaching in Japan

Hiroshi Unzai

**Abstract:** This study reviewed research on modeling in science teaching in Japan. Using the “CiNii” search engine, we identified and analyzed 35 articles related to research on modeling in science teaching. These articles were divided into three types: theoretical studies, survey studies, and practical studies. We examined recent trends and the future direction of research on modeling in Japan based on the results of the analysis and comparison with other international research articles. These analyses and comparisons revealed three main findings: a) there were few theoretical studies in Japanese journals; b) the survey studies focused on students’ images (models) of natural phenomena, thinking processes with models, or understanding of the role of scientific models; c) most of the practical studies focused on conceptual formulation. These findings highlight the need for discussion of theoretical frameworks of modeling and students’ characteristics in the context of the science curriculum in Japan, and indicate that we should focus on students’ modeling competence.

Key words: model, modeling, science education, research review

キーワード：モデル，モデリング，理科教育，レビュー

## 1. 研究の背景

近年、理科教育<sup>1)</sup>においてモデルを構築したりモデルを適用したりする「モデリング（モデル化）」が注目されている。モデルやモデリングは、かねてより理科教育研究の関心の1つであった（小川・生尾・藤井，2014）ものの、近年改めて注目が集まっているのは、科学哲学における科学理論の意味論的捉え方の興隆が関係している（Develaki, 2007； Adúriz-Bravo, 2013）。科学理論の意味論的捉え方とは、科学理論を、世界を抽象化・理想化した「モデル」と捉え（森田，

2010），科学理論を意味論的对象とみなす立場のことである（戸田山，2005）。この科学理論の意味論的捉え方では、科学者の主要な活動は、モデルの構築とテストで説明される（Giere, 1991）。Develaki（2007）によれば、科学理論の意味論的捉え方は、科学的方法を適切に、実践的に説明しうるものであり、理科教育に援用し、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、科学的モデルの性質をもとにした科学の本質（Nature of Science）の理解につながるという。

また、Gilbert（2004）は、モデルを中心とした現代的科学観に基づく学習の真正性こそが、理科教育の一つの特徴であると指摘している。このほか、Justi & Gilbert（2002）は、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、（1）主要な科学的モデル（合意形成されたモデル、近年の研究で使われ

---

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：松浦拓也（主任指導教員），磯崎哲夫，  
小山正孝，葛岡孝則

ているモデル、歴史的なモデルなど)の性質、範囲、限界の理解、(2)科学におけるモデルの役割の理解、(3)モデルを用いた科学の方法の習得に寄与すると述べている。このように、理科教育にモデルやモデリングを導入することに対して、様々な教育的効果が期待されている。

国内の理科教育研究においても、モデリングに関する研究も見受けられるようになり(例えば、内ノ倉, 2008; 内ノ倉, 2012; 古屋, 2013; 小川ら, 2014)、現在、理科教育におけるモデルやモデリングに関する研究(以下、モデルやモデリングに関する研究を「モデリング研究」と略す)の蓄積が求められている(稲田・齋藤・内ノ倉・小野瀬, 2014)。

## 2. 問題の所在と研究目的

モデルやモデリングという概念は、30年以上前から科学哲学などの領域で研究されている(Harrison & Treagust, 2000)。学問領域によってモデルやモデリングの定義は異なるものの、理科教育学の領域においては、モデルとは、考え、物体、事象、過程、システムの表象であり(Gilbert & Boulter, 1998)、モデリングとは、モデルを作り、テストし、やりとりする、動的かつ連続的な過程であるとされている(Maia & Justi, 2009)。このようなモデルやモデリングについて、理科教育学における早期の研究としては、Gilbert & Osborne (1980)が挙げられる。Gilbert & Osborne (1980)は、科学および理科授業におけるモデルの種類やその用い方などについて論じ、理科授業においてモデルを用いることの重要性を指摘している。そして、近年のモデリング研究は多岐に渡っており、モデリングの目的論(Develaki, 2007)、モデリングを促進する学習環境(Lehrer & Schauble, 2006)など、様々な領域において理論的な整理が進められてきている。さらには、“Models and Modeling in Science Education”というシリーズで、2007年から2014年までに8巻の本が出版され、理科教育におけるモデルの性質やモデリングの実践など幅広い観点から研究が深められている。これらのことから、国外では、理科教育におけるモデリング研究が進んでおり、多様な研究が行われていることが読み取れる。

一方、国内の理科教育におけるモデリング研究については、例えば、日本理科教育学会発行の『理科の教育』では、1970年の1月号に「理科におけるモデル形成の指導」という特集が組まれている。それ以降、『理科の教育』では、モデルやモデリングに関する特集は組まれていないものの、モデルに着目した指導法が断

続的に紹介されている(例えば、内ノ倉, 2009; 阿部, 2012)。また、理科教育に関する主要な学術論文誌である『理科教育学研究』、『科学教育研究』では、国外に比べると研究の蓄積は十分ではないものの、モデリングに関連する研究が存在する。

以上、述べてきたように、モデリング研究は国内、国外問わずに行われている。国外では、モデリングの目的論(Develaki, 2007)、モデルに対する子どもの認識(Grosslight et al., 1991)、モデリングを促進する学習環境のデザイン(Lehrer & Schauble, 2006)といった多様な研究がみられる。しかしながら、国内のモデリング研究の動向と課題については明らかになっていない。モデルの性質に関する知識や、モデルベース推論などのモデリングに関する知識や能力は、科学的リテラシーの一部とされていることから(OECD, 2016)、今後の理科教育研究において、ますます重要になってくる研究領域であると考えられる。

以上のモデリング研究に関する状況を踏まえ、本研究では、国外のモデリング研究の動向と比べ、国内のモデリング研究においても同様の傾向がみられるのか、または特定の研究に偏っているのか、といった国内のモデリング研究の動向と課題を導出することを目的とする。

## 3. 方法

本研究は文献研究が中心となるため、以下に示す手順で研究を進めることにした。まず、対象とする論文については、理科教育に関する主要な学術論文誌を中心に、理科教育に関する論文が掲載されている国内の学術論文誌を対象とした。具体的には、『理科教育学研究』、『理科の教育』、『科学教育研究』、『物理教育』、『化学と教育』、『生物教育』、『地学教育』、『日本教科教育学会誌』、『日本教育工学会論文誌』の計9誌である。また、検索の範囲については、海外のモデリング研究がおおよそ1995年以降から増え始めていることから、過去20年間の論文を対象とした。そして、上述した論文誌から、モデリング研究を抽出・整理し、日本の理科教育におけるモデリング研究の動向を把握する。最後に、国内の理科教育におけるモデリング研究の動向と、国外の理科教育におけるモデリング研究の動向を対比することを通して、日本の理科教育におけるモデリング研究の今後の課題を導出する。

## 4. 日本の理科教育における モデリング研究の動向

研究の背景で述べたように、そもそも理科教育におけるモデリング研究は、科学理論の捉え方の転換を受けて提唱されるようになった(内ノ倉, 2012)。具体的には、科学理論を少数の公理とそこから演繹的推論によって得られた定理の集合として捉える「構文論的捉え方」から、科学理論を世界を抽象化・理想化した「モデル」と捉える「意味論的捉え方」への転換である(森田, 2010)。このような科学理論の捉え方が理科教育に援用され、現在では、モデルを構築したり、適用したりする学習である「モデルベース学習・教授 (Model

Based Learning and Instruction)」や「モデル&モデリング (Model & Modeling)」と呼ばれる教授の枠組みが提唱されるようになった。このような流れを持つ理科教育におけるモデリング研究は、現在では多岐に渡って行われている。

### 4-1. 論文の抽出

論文の検索ツールとして、NII 学術情報ナビゲータ CiNii を用い、2016年2月に「モデル」と「モデリング」をキーワードに検索し、理科教育におけるモデルを用いた思考や、理科教育におけるモデリングを研究対象とした内容に限定して絞り込みを行った。その結果、最終的に抽出された論文は35件であり、これらの論文

表1 国内の理科教育におけるモデリング研究

研究手法	論文	対象	領域	単元・内容
理論	内ノ倉 (2009)	—	—	—
調査	丹沢ら (2003)	高等学校第2学年, 大学2年生 (教育学部), 中学校教員 (理科・技術・国語・社会), 高等学校教員 (理科), 一般社会人	—	※モデルに対する認識の調査のため, 特定の単元などは該当しない
	古屋・戸北 (2001)	小学校第6学年, 中学校第1, 2, 3学年, 高等学校第1学年, 大学生	物理	電気回路
	荻野・久保田・桐生 (2014)	小学校第4学年	化学	もののあたたまり方
	高垣 (2004)	小学校第4学年	物理	電気回路
	小野瀬・藤枝・森本 (2009)	中学校第2学年	化学	化学変化と原子・分子
	齊藤 (2014)	小学校第3学年	化学	空気と水
	清水 (2003)	小学校第6学年	生物	植物の葉序
	永井・川北 (1999)	小学校第4学年	物理	電気のはたらき
	上島 (2000)	中学校第3学年	化学	イオン
	柿原 (2001)	中学校第1学年	化学	状態変化
	古屋 (2002)	中学校第2学年	物理	電流と電圧
	宗近 (2002)	小学校第5学年	化学	もののとけ方
	高垣・田原 (2004)	小学校第4学年	物理	電気のはたらき
	笠ら (2005)	高等学校第1, 2, 3学年, 大学生	物理	力学
	益田 (2006)	中学校第2学年	物理	電流と電圧
	宮内 (2008)	中学校第1学年	化学	物質の溶解
	和田・森本 (2008)	高等学校第3学年	化学	化学反応の速さと平衡
	大洲 (2009)	中学校第1学年	化学	状態変化
	実践	石井・本間 (2009)	小学校第4学年	物理
山下・小野寺 (2009)		小学校第5学年, 小学校第6学年	化学	水溶液の性質, 溶解
山田 (2010)		中学校第1学年	化学	状態変化
中澤・松原・三田・斉藤 (2011)		大学生	物理	モーメント, 振動
峯崎・久保田・小林 (2011)		中学校第1学年	化学	水溶液
柳澤 (2011)		中学校第1学年	化学	溶解, 状態変化
内ノ倉 (2011)		中学校第2学年	物理	電流と電圧
金田 (2012)		中学校第3学年	化学	状態変化, 溶解, 化学反応, 浸透圧
宮嶋・池下 (2012)		高校生	化学	溶解
宮内 (2012)		中学校第1学年, 中学校第3学年	化学	溶解, イオン
阿部 (2012)		中学校第1学年	化学	溶解
益田・柏木 (2013)		小学校第5学年	化学	もののとけ方
小倉・藤井 (2013)		中学校第2学年	化学	化学変化
小川ら (2014)		小学校教員	化学	溶解
菊地・高室・尾崎・黄川田・村上 (2014)		小学校第4学年, 小学校第5学年	化学	水と水蒸気, もののとけ方
齋藤・小野瀬・鈴木 (2014)		中学校第2学年	化学	状態変化

が掲載されていたのは『理科教育学研究』、『理科の教育』、『科学教育研究』、『物理教育』、『化学と教育』、『日本教科教育学会誌』の6誌であった<sup>2)</sup>。

#### 4-2. 国内の理科教育におけるモデリング研究の概観

抽出した35件の論文の目的や内容を整理したところ、主に、モデルの性質について論じている理論研究と、主に、子どものモデルに対する認識や、子どものモデルを用いた思考などを調査している調査研究、及びモデルやモデリングを用いて授業実践を行い、その効果を検証している実践研究の3つに大別することができた。そこで、本研究では、抽出した論文を理論研究、調査研究、実践研究という3つに大別して整理し、考察することにした。さらに、調査研究と実践研究に関しては、研究の対象、領域、単元・内容といった内容も加味して整理することにした。なお、研究の対象、領域、単元・内容といった整理の枠組みに関しては、理科教育におけるレビュー論文（例えば、山口・稲垣・福井・舟生、2002）の研究の整理の枠組みを参考にしている。その結果を、表1に示す。表1に示したように、理論研究は1件、調査研究6件、実践研究28件となった。以下、具体的な研究内容を交えながらその特徴を整理する。

##### 4-2-1. 日本の理科教育におけるモデリングの理論研究

表1に示したように、理論研究としては内ノ倉(2009)の1件のみであった。

内ノ倉(2009)は、理科教育におけるアナロジーやモデルの性質について論じており、イギリスの教科書“Framework Science”を事例に、アナロジーやモデルの性質の教授方法を紹介している。具体的には、電気単元での水流モデルが、モデルの性質を教えるための教材として用いられており、モデルの機能と限界を中心的な内容にした説明、水流モデルの利点と欠点についてのグループやクラス全体での議論などで利用されていることを紹介している。

##### 4-2-2. 日本の理科教育におけるモデリングの調査研究

表1に示したように、調査研究は全部で6件あり、研究の観点別に整理すると、「科学的モデルに対する認識」(1件)と、「自然の事物・現象に対するイメージ(モデル)」(2件)、「モデルを用いた思考過程」(3件)の3つに大別することができた。そこで、それぞれの研究について具体的に述べていく。

まず、科学的モデルに対する認識を調査した研究として、丹沢ら(2003)は、日本人の科学観・技術観を調査しており、その調査項目の中にモデルに関する項

目が含まれている。具体的には、モデルの予測能力について質問しており、調査の結果から、科学におけるモデルが、ある自然事象を予測するときに果たす役割について、ほとんどの人々が理解していない可能性があることを報告している。

次に、自然の事物・現象に対するイメージ(モデル)を調査した研究として、古屋・戸北(2001)は、小学校第6学年、中学校第1,2,3学年、高等学校第1学年、大学生を対象に、電気回路についての認識調査を行い、学習者がイメージする電気回路モデルについて類型化し、その実態を明らかにしている。また、荻野・久保田・桐生(2014)においても、小学校第4学年を対象に、水のあたたまり方についての認識調査を行い、児童の水の動き、熱の伝わり方の概念モデルについて類型化し、その実態を明らかにしている。

そして、モデルを用いた思考過程を調査した研究として、例えば、高垣(2004)は、小学校第4学年を対象に、子どもたちが単純電気回路に適用する「衝突モデル」を克服していく過程を調査している。また、小野瀬・藤枝・森本(2009)は、中学校第2学年を対象に、「化学変化と原子・分子」の学習における、粒子モデルを中心とした論理を組み立てていく様態を調査している。調査の結果、表現を構成する要素の段階として、「段階1. 自分の考えを表現できない段階」、「段階2. 自分の考えはあるが、文章、モデル表現ができていない段階」、「段階3. 自分の考えを文章として表現できているが、モデルとしての表現がない段階」、「段階4. 自分の考えをモデルと文章で表現できている段階」の4つの段階があることを報告している。このほか、齊藤(2014)では、小学校第3学年を対象に、仮説実験授業「空気と水」の学習における「説明モデル」の活用と吟味の生起について、学習環境の観点から分析している。「説明モデル」とは、主題とする現象を統一的に説明しうる抽象度の高いモデルのことである。例えば、溶解や熱現象を統一的に説明する「動きまわる粒」や、力のはたらきを統一的に説明する「相互作用の図式」などがあげられる。分析の結果、認知的不協和を強く自覚させるような問題配列が、「説明モデル」の活用と吟味を活発にさせることを明らかにしている。

なお、自然の事物・現象に対するイメージ(モデル)に関する研究、モデルを用いた思考過程に関する研究では、調査を実施した領域は物理と化学であり、生物領域や地学領域を対象とした研究はみられなかった。

以上、述べてきたように、国内の理科教育におけるモデリングの調査研究では、科学的モデルに対する認識に着目した研究と、自然の事物・現象に対するイメー

ジ(モデル)に着目した研究、モデルを用いた思考過程に着目した研究が行われていること、調査研究の数(6件)は、実践研究の数(28件)よりも少ないことなどが明らかとなった。

#### 4-2-3. 日本の理科教育におけるモデリングの実践研究

実践研究は全部で28件であった。これら28件の実践研究を概観したところ、実践研究は、「モデリングを通した能力の育成」に着目している研究(1件)と、「モデリングを通した科学概念の形成」に着目している研究(27件)に大別することができた。これから、それぞれの研究について具体的に述べていく。

まず、モデリングを通した能力の育成に着目している研究として、清水(2003)は、小学校第6学年を対象に、葉のつき方のきまりを調べる学習において、植物のモデルづくりを通しての観察の効果と、植物のスケッチを通しての観察の効果を比較している。その結果、モデルづくりを通した観察の方が、スケッチを通した観察よりも、より多くの規則性を発見することができ、モデルづくりを通しての観察は、観察力を高める上で有効な方法の一つであると結論づけている。

次に、モデリングを通した科学概念の形成に着目している研究として、例えば、齋藤・小野瀬・鈴木(2014)は、中学校第2学年を対象に、水の状態変化を説明する動画モデルを作成することを通して、状態変化についての理解が促進されたことを報告している。このほか、小倉・藤井(2013)は、中学校第2学年を対象に、「物質の分解と原子・分子」の単元において、粒子のモデルをもとにした学習活動を実践している。この学習活動は、モデルを用いた現象の予想、実験による予想の検証、及びモデルの正誤の確認から構成されており、従来の粒子のモデルを作り出す学習活動に比べて、化学変化についての微視的な理解を導きやすいことを報告している。このほか、笠ら(2005)は、高等学校第1, 2, 3学年や大学生を対象に、モデリング・ソフト「モデラス」を用いた学習活動を実践している。「モデラス」とは、コンピュータに数式を入力すると、それにもとづくモデル(グラフ)を出力することができ、モデルに用いる定数・係数やパラメータおよび初期条件を変更することで、それらを変えた多様なシミュレーションができるソフトである。そして、このような特徴をもつ「モデラス」を導入した授業実践を行った結果、条件を自由に变えてシミュレーションすることを通して、生徒の力学概念の理解が深まったことを報告している。

なお、実践研究では、実践を実施した領域は物理と化学に偏っていた(28件中27件)。また、実践の対象

については、中学生を対象とした研究が最も多かった(28件中15件)。

以上、述べてきたように、日本の理科教育におけるモデリングの実践研究では、モデリングを通した能力の育成に着目した研究と、モデリングを通した科学概念の形成に着目した研究が行われており、実践研究では、相対的に、モデリングを通した能力の育成に着目した研究(1件)よりも、モデリングを通した科学概念の形成に着目した研究(27件)が多く行われていることが明らかとなった。

#### 4-3. 国内の理科教育におけるモデリング研究の動向

以上の結果から、これまでの国内のモデリング研究の動向は、以下のようにまとめることができる。

- 1) モデルやモデリングに関する理論的な考察に関する研究は内ノ倉(2009)のみである。
- 2) 理論研究や調査研究の数は、実践研究の数と比べると少ない。
- 3) 調査研究では、モデルに対する認識に関する研究、自然の事物・現象についてのイメージ(モデル)、モデルを用いた思考過程に関する研究が行われている。
- 4) 実践研究では、主にモデリングを通した科学概念の形成に着目した研究が行われている。
- 5) 実践研究では、中学生を対象とした研究が多い。
- 6) 調査・実践した領域については、物理、化学領域が多い。

## 5. 日本の理科教育における モデリング研究の課題

ここでは、海外の理科教育におけるモデリング研究の動向を踏まえながら、日本の理科教育におけるモデリング研究の課題について、理論研究、調査研究、実践研究のそれぞれの研究手法に分けて考察する。

まず、理論研究については、今回の概観した範囲では、理科教育におけるモデルやモデリングに関する理論を論じている研究は内ノ倉(2009)のみであった。一方、国外においては、モデルの性質に関する過去の研究をレビューしたOh & Oh(2011)は、モデルの性質について、「モデルの意味」、「モデリングの目的」、「科学的モデルの多様性」、「科学的モデルの変化」、「理科授業におけるモデルの使用」といった5つのサブピックに分けて整理している。また、科学的モデルの類型について、理科授業の文脈で整理したHarrison & Treagust(2000)は、理科授業におけ

る科学的モデルを10個に類型化し、それらの関係性をコンセプトマップで整理している。このほか、Justi & Gilbert (2002) は、文献レビューをもとに、理科授業におけるモデリングを5つの段階に整理するとともに、理科教育にモデリングを取り入れる教育的意義として、主要な科学的モデルの性質、範囲、限界の理解、科学におけるモデルの役割が理解できること、モデルを用いた科学の方法を習得できることなどを挙げている。特に、モデルを用いた科学の方法、すなわちモデリング能力は科学的リテラシーの一部とされており (Schwarz et al., 2009)、その育成の重要性が指摘されている (Gilbert & Boulter, 1998)。これらの教育的意義は、日本ではあまり着目されてこなかった観点である。現代の科学理論の捉え方の転換や、モデリング能力が重要視されている海外の研究動向を踏まえるならば、日本の理科教育においても、日本の理科教育でモデリングを導入する教育的意義や、日本の理科の学習内容との整合性といった日本の文脈を加味した理論的整理に取り組んでいく必要があると考える。

次に、調査研究については、モデルに対する認識を調査した研究、自然の事物・現象に対するイメージ (モデル) を調査した研究、モデルを用いた思考過程に関する研究が行われているものの、その研究数自体は実践研究と比べると少なかった。一方、海外においては、調査研究は盛んに行われており、初期の研究としては Grosslight et al. (1991) や Treagust et al. (2002) を挙げることができる。Grosslight et al. (1991) は、中等学校の生徒を対象に、モデルに対する認識について幅広く調査しており、「モデルの種類」、「モデルの目的」、「モデルの構築やデザイン」などの観点で整理し、それぞれの観点において認識の類型化を行っている。そして、中等学校の生徒の多くは、モデルを、様々な時間的・空間的な見方を具現化する現実の物理的なコピーとして認識していることなどを明らかにしている。

同様に、Treagust et al. (2002) も、中等学校の生徒を対象に、五件法による質問紙調査を行い、「様々な表現としてのモデル」、「正確な模型としてのモデル」、「説明の道具としてのモデル」などの観点から、統計的手法を用いて学習者のモデルに対する認識を調査している。そして、中等学校の生徒の多くが、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実態を明らかにしている。このほか、近年においては、Schwarz et al. (2009)、Krell et al. (2014) などが、モデルに対する認識やモデルの役割について詳細な調査を続けている。

しかしながら、日本の理科教育における研究で

は、モデルに対する認識について調査したのは丹沢ら (2003) のみで、その質問内容も限定的である。したがって、日本の子どもへのモデルに対する認識について十分に明らかになっていないといえる。日本の理科教育において、モデリング能力の育成を目指してモデルやモデリングを中心とした学習活動を取り入れようとするならば、海外の調査研究の知見を踏まえつつ、そもそも日本の子どもたちが、モデルについてどのように考えているのか、その特徴や課題を明らかにしていくとともに、それらを踏まえて指導法への示唆を導出していく必要があると考える。

そして、国内の実践研究については、主にモデリングを通じた科学概念の形成に着目した研究が行われており、モデリングを通じた能力の育成 (例えば、観察力など) に着目した研究は相対的に少ない。一方、国外においては、前述したように、モデリング能力の育成に着目した研究が進められている。例えば、Raghavan & Glaser (1995) は、中学生を対象とし、「力のつりあい」を説明するモデルを構築する学習活動を設定し、コンピュータによる支援によって、生徒のモデリング能力が促進されたことを報告している。また、Penner et al. (1997) は、小学生を対象とし、ひじの模型 (モデル) の構築・修正を繰り返す学習活動を通して、児童のモデリング能力が促進されたことを報告している。このほか、近年においては、Khan (2007)、Bumberger & Davis (2013) などが、モデリング能力についての実践研究を行っている。

しかしながら、日本においては、モデリングを通じた能力の育成に着目した研究は、清水 (2003) のみである。そして、清水 (2003) においても、その育成を志向した能力は観察によって自然の事物・現象の規則性を発見する観察力であり、モデルを適用したり、モデルを構築・修正したりするモデリング能力ではない。モデリング能力は科学的リテラシーの一部であり (Schwarz et al., 2009)、現代社会において重要視されている知識を構成する力に寄与することが期待されている (Lehrer & Schauble, 2006)。しかしながら、このようなモデリング能力は日本ではあまり着目されてこなかった観点である。これらのことを踏まえるならば、日本における理科の学習内容や学習文脈を考慮に入れながら、モデリング能力の育成を目的とした指導法に関する実践的な研究をしていく必要があると考える。

## 6. 今後の課題

日本のモデリング研究の全体的な傾向として、モデルやモデリングは、科学概念の形成における有用な

ツールとしての効果を期待して研究が進められている。しかしながら、モデルやモデリングには、科学概念の形成のみならず、Justi & Gilbert (2002) が述べているように、主要な科学的モデルの性質、範囲、限界の理解、科学におけるモデルの役割の理解、モデルを用いた科学の方法の習得など、様々な有用性が期待されている。よって、科学概念の形成のみならず、自然の事物・現象の理解におけるモデルやモデリングの役割の理解に繋がるような研究の蓄積が必要であると考える。

## 【注】

- (1) 本稿では、国内外問わず、理科または科学に関する教育の総称として「理科教育」と表記する。
- (2) 検索にヒットした論文のうち、その多くは、「指導モデル」や「授業モデル」など、モデルを「型」という意味で用いている論文、「確率モデル」や「因果モデル」など、モデルを「分析の出力」や「理論」という意味で用いている論文、及び理科以外の教科に関する論文であった。そして、理科教育の文脈で最も多かった研究は、ある現象を説明する模型（モデル）の製作や、モデル実験の考案といった教材開発的な研究であった（82件）。これらの研究は、「モデル」という単語は含まれているものの、本研究において対象とする研究とは趣旨が異なるため、抽出した論文の総数には含まれていない。

## 【引用文献】

- 阿部直人 (2012) 「科学的な思考を表現する理科授業：中学校第1学年「水溶液」における粒子概念形成のためのモデル図による説明活動を通して」『理科の教育』第61巻、第9号、615-617.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education, *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.
- Bamberger, Y. M., & Davis E. A. (2013). Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression, *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.
- Develaki, M. (2007). The Model-based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes, *Science & Education*, 16(7-8), 725-749.
- 古屋光一 (2002) 「電流概念の形成を支援するための指導方法に関する研究 —交通流モデルの概念転換を目指す指導方法についての実験的検討をとおして—」『科学教育研究』第26巻、第2号、131-143.
- 古屋光一 (2013) 「モデリング・メタモデリングを取り入れた授業は有効か？ —中学1年生の凸レンズ学習の授業を通して—」『日本理科教育学会第63回全国大会論文集』、317.
- 古屋光一・戸北凱惟 (2001) 「並列・直列回路における電流の流れ方の認識に関する実態調査 —誤概念としての交通流モデルが高学年ほど増加していくことについて—」『科学教育研究』第25巻、第2号、90-101.
- Giere, R. N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*. Orlando, FL: Holt, Rinehart, and Winston, Inc.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2), 115-130.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (1998). Learning Science Through Models and Modelling, In B. J. Fraser, & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*, 53-66. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., & Osborne, R. J. (1980). The Use of Models in Science and Science Teaching, *European Journal of Science Education*, 2(1), 3-13.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts, *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models, *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- 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—」『日本理科教育学会第64回全国大会論文集』、85.
- 石井健作・本間均 (2009) 「小学校における電流の概念獲得のための「粒子傾斜モデル」の有効性」『理科教育学研究』第49巻、第3号、23-32.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, Teachers' Views on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers, *International Journal of Science Education*, 24(4),

- 369-387.
- 柿原聖治 (2001) 「液体状態における分子運動 — 簡単なモデル実験の開発 —」『科学教育研究』第25巻, 第1号, 44-49.
- 金田祐佳 (2012) 「なぜ「とける」にはいろいろあり, どう違うのか? — 粒子モデルを用いての説明 —」『化学と教育』第60巻, 第4号, 150-151.
- 笠潤平・山崎敏昭・萬處展正・栗木久・鍵山千尋・小川雅史・内村浩・成田栄二郎・北野功治・岩間徹・谷口和成・村田隆紀・宮永健史・藤田利光 (2005) 「高校物理教育において「モデリング」を教える — 「アドバンシング物理」とモデリング・ソフト「モデラス」 —」『物理教育』第53巻, 第4号, 369-376.
- Khan, S. (2007). Model-based Inquiries in Chemistry, *Science Education*, 91(6), 877-905.
- 菊地洋一・高室敬・尾崎尚子・黄川田泰幸・村上祐 (2014) 「小学校における系統的物質学習の実践的研究 — 粒子概念を「状態変化」で導入し「溶解」で活用する授業 —」『理科教育研究』第54巻, 第3号, 335-346.
- Krell M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2014). Analyzing Students' Understanding of Models and Modeling Referring to the Disciplines Biology, Chemistry, and Physics, *Research in Science Education*, 45(3), 367-393.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education, In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science*, 371-387. Cambridge, UK: Cambridge University Press. (寺本貴啓 訳 (2009) 「科学教育におけるモデルベース推論の促進」森敏昭・秋田喜代美 監訳, 『学習科学ハンドブック』, 295-309, 培風館.)
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching, *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- 益田裕光 (2006) 「水流モデルから電流回路を類推する理科授業に関する研究 — ベースドメインの関係とターゲットドメインの関係を類推させるコミュニケーション活動を通して —」『理科教育研究』第47巻, 第2号, 41-49.
- 益田裕光・柏木純 (2013) 「論理的推論に基づく仮説形成を図る教授方略に関する実証的研究」『理科教育研究』第54巻, 第1号, 83-92.
- 峯崎正樹・久保田善彦・小林秀夫 (2011) 「中学生の粒子モデルの理解に関する実践的研究」『日本理科教育学会理科教育研究』第52巻, 第2号, 123-130.
- 宮嶋克幸・池下克美 (2012) 「なぜ, 水溶液の水を蒸発させたり, 温度を変化させると再結晶するのか? — 高校生の粒子モデルを使った考察の紹介 —」『化学と教育』第60巻, 第4号, 152-153.
- 宮内卓也 (2008) 「中学校1年生「身の回りの物質」における粒子のモデルの導入」『理科の教育』第57巻, 第10号, 671-673.
- 宮内卓也 (2012) 「粒子概念の育成を柱とした新しい教育課程 中学校における実践を中心に」『化学と教育』第60巻, 第7号, 290-293.
- 森田邦久 (2010) 『理系人に役立つ科学哲学』, 科学同人.
- 宗近秀夫 (2002) 「小学生の溶解認識における概念変容の研究」『理科教育研究』第43巻, 第2号, 1-13.
- 永井秀樹・川北一彦 (1999) 「子どもが考えた電流モデルの有効性について」『理科教育研究』第40巻, 第1号, 35-43.
- 中澤剛・松原雅昭・三田純義・斉藤勝男 (2011) 「教室での実験やものづくりを通して学習できる歩行モデル教材の開発と工学基礎教育での実践」『科学教育研究』第35巻, 第1号, 54-64.
- OECD (2016), *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*, Paris: PISA, OECD Publishing.
- 小川治雄・生尾光・藤井浩樹 (2014) 「化学現象のモデル化を取り入れた教員研修プログラムの開発 — 溶解現象についての理解を目指して —」, 『日本理科教育学会誌』第37巻, 第1号, 75-83.
- 荻野伸也・久保田善彦・桐生徹 (2014) 「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 —」『理科教育研究』第55巻, 第1号, 27-36.
- 小倉恭彦・藤井浩樹 (2013) 「生徒の化学変化についての理解を促すための指導法の考案 — 中学校2年「物質の分解と原子・分子」の内容において —」『理科教育研究』第54巻, 第1号, 105-115.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview, *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- 大洲隆一郎 (2009) 「物質概念の理解を促す理科授業の展開 — 物質の状態変化における粒子モデルの構築と適用を中心に —」『理科の教育』第58巻, 第4号, 250-252.
- 小野瀬倫也・藤枝央真・森本信也 (2009) 「中学生の粒子概念構築支援のための教授方策に関する考察」『理科教育研究』第50巻, 第2号, 21-30.

- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R., & Schauble, L. (1997). Building Functional Models: Designing an Elbow, *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125-143.
- Raghavan, K., & Glaser, R. (1995). Model-Based Analysis and Reasoning in Science: The MARS Curriculum, *Science Education*, 79(1), 37-61.
- 齋藤萌木 (2014) 「学習記録に基づく学習環境デザイン」の機能の解明の試み — 仮説実験授業『空気と水』における「説明モデル」の活用と吟味の生起に注目して— 『科学教育研究』第38巻, 第2号, 84-96.
- 齋藤裕一郎・小野瀬倫也・鈴木一成 (2014) 「動画モデル作成を通じた科学概念構築に関する一考察 — 中学校「水の状態変化」の授業分析を事例にして—」 『理科教育学研究』第55巻, 第3号, 311-322.
- Schwarz, V., Reiser B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners, *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- 清水誠 (2003) 「モデルづくり及びスケッチによる観察の効果についての比較研究」 『科学教育研究』第27巻, 第3号, 179-185.
- 高垣マユミ (2004) 「協同的な理科学習を通じた電気回路における衝突モデル克服のプロセスの事例」 『科学教育研究』第28巻, 第3号, 197-205.
- 高垣マユミ・田原裕登志 (2004) 「「理想電圧源(電池)モデル(3DCG教材)」を導入した「電流」と「電圧」概念の統合」 『理科教育学研究』第45巻, 第1号, 21-30.
- 丹沢哲郎・熊野善介・土田理・片平克弘・今村哲史・長洲南海男 (2003) 「日本人の科学観・技術観の特徴に関する研究」 『理科教育学研究』第44巻, 第1号, 1-12.
- 戸田山和久 (2005) 『科学哲学の冒険 サイエンスの目的と方法をさぐる』, NHK ブックス.
- Treagust, F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (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 (2008) 「理科授業におけるモデルとモデリング — 中学校電気単元を事例として—」 『科教研報』第22巻, 第3号, 17-20.
- 内ノ倉真吾 (2009) 「理科教育におけるアナロジー/モデルの性質の教授方法 — イギリス教科書“Framework Science”を事例にして—」 『理科の教育』, 第58巻, 第4号, 268-271.
- 内ノ倉真吾 (2011) 「アナロジーを基盤にした認知的な葛藤の生起・促進とその解消 — 中学生の「電流が+極から-極へ流れる」の意味理解—」 『理科教育学研究』, 第51巻, 第3号, 47-58.
- 内ノ倉真吾 (2012) 「理科教育におけるモデル論的アプローチとその可能性 — 自然の抽象化と理想化に着目して—」 『日本理科教育学会第62回全国大会論文集』, 62.
- 上島章弘 (2000) 「レポートを活用してイオンのモデルをつくる理科授業 — イメージを通して見えないものをみせるひとつの試み—」 『理科の教育』第49巻, 第4号, 262-265.
- 和田一郎・森本信也 (2008) 「電子黒板の特性を利用した理科学習の内化と外化に関する研究 — 高等学校 化学「反応速度」の単元を事例にして—」 『理科教育学研究』第48巻, 第3号, 85-96.
- 山田貴之 (2010) 「水の状態変化を「粒子」のモデルと関連付けて分析して解釈し, 表現できる Web教材の効果的な活用法 — 第1学年「身の回りの物質(状態変化)」の実践より—」 『理科の教育』第59巻, 第10号, 681-683.
- 山口悦司・稲垣成哲・福井真由美・舟生日出男 (2002) 「コンセプトマップ: 理科教育における研究動向とその現代的意義」 『理科教育学研究』第43巻, 第1号, 29-51.
- 山下修一・小野寺千恵 (2009) 「小学校5・6年の溶解の学習に一貫して粒子モデルを用いた効果」 『理科教育学研究』第50巻, 第1号, 85-92.
- 柳澤秀樹 (2011) 「中学1年生を対象とした粒子モデルの授業実践」 『理科の教育』第60巻, 第8号, 535-537.