

【原著論文】

中学生のモデルベース推論の実態 —モデルの種類に焦点を当てて—

雲財 寛（日本体育大学）
松浦 拓也（広島大学）

本研究は、中学生のモデルベース推論（モデルを自然の事物・現象に適用し、現象の説明や予測を行う推論）の実態を把握することを目的とし、中学生 134 名を対象にペーパーテスト形式による調査を行った。その結果、適用するモデルの種類によって、推論の難易度が様々であり、グラフよりも、化学式や粒子モデルを適用することに課題があることが明らかになった。そして、化学式や粒子モデルの適用に課題がある原因として、推論の前提となるモデルをどのように適用すればいいのか理解できていないこと、適用したモデルとその推論場面をどのように対応付ければいいのか理解できていないことを指摘した。

キーワード：理科教育，科学的推論，モデルの適用

**A Research Study on Model-Based Reasoning of Lower Secondary School
Students in Science**
—Focused on kinds of model—

Hiroshi UNZAI (Nippon Sport Science University)

Takuya MATSUURA (Hiroshima University)

The purpose of this study is to clarify student's model-based reasoning. Model-based reasoning makes explanations or predictions through scientific models. We focused three kinds models (iconic symbolic models, mathematical models, theoretical models). We conducted on 134 lower secondary school students by 3 item pencil-and-paper test. The results of this analysis revealed that difficulty of reasoning is difference from kinds of model. Applying chemical formula or particle model is more difficult for students than applying graphs. This cause is that students don't understand how to apply for chemical formula or particle model based on reasoning.

Key Words: science education, scientific reasoning, applying model

1. 研究の背景

近年、キー・コンピテンシー (Rychen & Salganik, 2003) や、アメリカの 21 世紀型スキル (Griffin et al., 2011), そして日本の 21 世紀型能力 (国立教育政策研究所, 2016) など、資質・能力を基盤とした教育論が提唱され、汎用性の高い高次の思考 (例えば, 問題解決, 意思決定など) が重要視されるようになってきた。すなわち, 「何を知っているか」だけでなく, 知識を用いて, 「いかに問題を解決できるか」が重要視されるようになってきたといえる。このため, 学校教育においては, 単に知識を覚えるだけでなく, 知識を活用し, 問題を解決することができる能力を子どもたちに育成することが求められている。

このような背景の中, 理科教育においては, 問題解決能力の 1 つとして推論が位置づけられており, その育成が求められている (文部科学省, 2008)。しかしながら, 平成 27 年度に実施された全国学力・学習状況調査の結果から, 科学的な知識を活用し, 現象を説明すること, すなわち科学的に推論する力に課題があることが明らかになっている (国立教育政策研究所, 2015)。

以上のように, 科学的推論の育成が重要視されているものの, 子どもの科学的に推論する力には依然として課題があるといえる。

2. 問題の所在

2.1 科学的推論に関する研究

科学的推論に関する研究は, これまでも数多く行われており, 科学的推論の捉え方も様々である。例えば, 科学哲学の領域においては, 「科学理論の意味論的捉え方」(Suppe, 1989) または「モデルを基礎とした科学理論の捉え方」(Giare, 1991) と呼ばれる科学論の立場を基盤とした科学的推論の捉え方があり, そのような科学的推論は, 特にモデルベース推論と呼ばれている (Nersessian, 1999)。Nersessian (1999) によれば, モデルベース推論とは, 現象を説明・予測する科学的モデルの構築, 評価, 修正に関わる推論である。現在, このような捉え方が理科教育に

も援用されており, 科学の真正性の観点から, その育成の重要性が指摘されている (Gilbert, 2004)。

このモデルベース推論には様々な側面がある。例えば, Mislevy (2009) は, モデルベース推論を, 「モデルの形成」, 「モデルの精緻化」, 「モデルの適用」, 「モデルの評価」, 「モデルの修正」, 「モデルベースの発見」といった 6 つの側面から捉えている。このうち, 「モデルの適用」の側面については, 「説明・予測・推測などをするために, モデルを通して推論すること」としている (Mislevy, 2009, p.11)。よって, 「モデルの適用」は, 研究の背景で述べた, 日本の子どもが課題としている「科学的知識を活用し, 現象を説明すること」と密接に関わっているといえる。このため, 本研究では, モデルベース推論の複数ある側面の中でも, 特にモデルの適用に着目する。

2.2 モデルの適用に関する研究

モデルの適用について言及している研究としては, Nersessian (1999), Yu (2002), Halloun (2007) などが挙げられる。Nersessian (1999, p.5) は, モデルベース推論は, モデルを用いたアナロジー的な推論であると述べている。また, Yu (2002, pp.282-284) では, モデルベース推論は, 新しい現象を説明したり予測したりする, 仮説を形成する推論であることを論じている。そして, Halloun (2007, pp.672-673) は, 科学者は, 経験的または抽象的な問題の解決や, さらなる知識の発展のために, 既存のモデルを展開すると述べている。

これらの言及を整理すると, モデルベース推論とは, モデルを現象に適用し, 知識を創造したり, 現象を説明・予測したりすることと考えられる。したがって, 本研究では, モデルベース推論を「既存のモデルを自然の事物・現象に適用し, 現象の説明や予測を行う推論」と捉えて研究を進めることとした。

モデルの適用に関して, 理科の学習では, 様々な種類のモデルが用いられていることが明らかになっている (Harrison & Treagust, 2000)。さら

に、推論とは、前提から結論を導く思考活動と定義されており（山，2010），前提となる外的な表象（例えば，表やグラフ）によって，推論の難易度が異なることが明らかにされている（雲財・松浦，2014）。これらのことを踏まえるならば，モデルの適用について研究する際には，推論する際の前提，すなわち適用するモデルの種類を考慮する必要があると考える。しかしながら，モデルの適用に着目したモデルベース推論に関する研究では，1つのモデルを事例的に取り上げ，生徒のモデルベース推論の実態や特徴を明らかにしている研究はあるものの（Stephens, McRobbie, & Lucas, 1999），モデルの種類に着目した研究はみられない。モデルの種類に着目し，学習者のモデルベース推論の実態を調査することで，「科学的知識を活用し，現象を説明すること」を課題としている学習者に対する支援を導出するための基礎的知見を得ることができると考える。

3. 研究の目的

以上のことから，本研究では，モデルを適用し，現象に対して説明・予測することがどの程度できるのか，モデルの種類という観点からその実態を把握することを目的とした。

なお，科学的推論を育成するにあたっては小学校高学年や中学校が重要な時期であること（Songer, 2006），モデルの適用に関するモデルベース推論について，中学生を対象とした実態調査の研究が少ないことから，本研究では調査対象を中学生とした。

4. 方法

4.1 調査方法の検討

科学的推論の特徴を捉える手法としては，面接法，パフォーマンス課題，ペーパーテストなど様々なものが考えられる。このうち，面接法やパフォーマンス課題は，科学的推論の過程を質的に明らかにすることができる一方で，被験者一人一人の負担が大きく，時間的制約があるといった欠点がある。また，ペーパーテストは，面接法などと比

較して短い時間で実施可能であるため，多くの生徒を対象とすることが容易であり，分析に際しても数量的な処理が可能といった利点がある。その一方で，科学的推論の過程を詳細に把握することは難しい。本研究では，複数の種類のモデルを取り扱うため，面接法やパフォーマンス課題による調査では被験者の負担と時間的制約の観点から困難であると判断した。そのため，本研究では，同一の生徒を対象に複数の種類のモデルを扱うことが可能となるペーパーテストを用いた調査手法を採用し，問題を作成・実施することにした。

4.2 適用するモデルの種類の見直し

本研究では，理科学習において用いられる科学的モデルを包括的・体系的に整理した Harrison & Treagust (2000) のモデルの類型を基盤とする。Harrison & Treagust (2000) のモデルの類型では，メンタルモデルなどの個人の精神的なモデルを含めて類型化したのち，教授・学習において用いられるモデルとして，特に，「記号的・象徴的モデル」，「数学的モデル」，「理論的モデル」の3つを挙げている。まず，記号的・象徴的モデルとは，記号で表現されたモデルで，例えば，化学式などが挙げられる。数学的モデルとは，数式やグラフなどで表現されたモデルで，例えば， $F=ma$ （運動方程式）や $V=RI$ （オームの法則）などが挙げられる。理論的モデルとは，科学理論を表すモデルで，例えば，力（Force）や磁力線などの科学理論が挙げられる。

本研究においては，調査対象が中学生であることを考慮し，調査問題で取り扱う内容については，主に中学校理科の学習内容を参考にした。また，調査問題で取り扱う領域については，化学領域に限定することにした。領域を限定する理由については，複数の領域からモデルを選定した場合，領域ごとの既有知識が解答に影響を及ぼしてしまい，問題間での分析が妥当ではなくなる可能性があるからである。また，化学領域に限定する理由については，化学領域では，記号的・象徴的モデルである「化学（反応）式」を中心に単元が構成され

ており、数学的モデルである「グラフ」や、理論的モデルである「粒子モデル」などを用いて学習する場面が存在するからである。以上のことより、「記号的・象徴的モデル」の代表として「化学反応式」、「数学的モデル」の代表として「グラフ」、「理論的モデル」の代表として「粒子モデル」の3つのモデルを選定し、これら3つのモデルを適用して現象を説明・予測する問題を作成することにした。


4.3 調査問題の具体例

調査問題の具体例として、化学反応式を適用する問題について述べる。本研究では、モデルベース推論を、「既存のモデルを自然の事物・現象に適用し、現象の説明や予測を行う推論」と捉えている。したがって、化学反応式を適用する問題では、化学反応に関わる現象に対して、化学反応式を適用して生成物を予測する問題を作成した。具体的には、テルミット反応を題材に、酸化鉄とアルミニウムを反応させたときの生成物を予測する問題である。問題の詳細を図1に示す。

以下の説明をよく読んで答えて下さい。

自然界にある金属の多くは、酸素によって酸化された酸化物や、他の物質と化合した化合物として存在しています。わたしたちは、それらから酸素などを取り除いて、単体の金属を利用しています。

例えば、鉄の酸化物（酸化鉄）から酸素を取り除く方法の1つに、酸化鉄とアルミニウムの粉末を混ぜ合わせて加熱するテルミット法と呼ばれる方法があります。この方法による化学反応を、化学反応式を使って考えてみましょう。



テルミット法の実験装置

化学反応式を考えると、まず、酸化鉄から酸素を取り除いて鉄ができることから、反応前の物質には、酸化鉄 (Fe₂O₃) が、反応後の物質には鉄 (Fe) があると考えられます。

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + (\quad) \rightarrow 2\text{Fe} + (\quad)$$

(問) 反応後の物質には、鉄の他にどんな物質ができると思いますか。まず、下の点線で囲まれたヒントをもとに、言葉と化学反応式を用いて、予想される反応を説明して下さい。また、反応後に生じると予想される鉄以外の物質を、下のカッコの番号の中から1つ選んで下さい。

○物質の化学式
 酸素：O₂、アルミニウムの酸化物（酸化アルミニウム）：Al₂O₃、アルミニウム：Al
 ○化学反応式の左辺と右辺で、原子の種類と数は等しい

反応の説明（言葉と化学反応式で説明して下さい）

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + (\quad) \rightarrow 2\text{Fe} + (\quad)$$

反応後には、鉄の他に、(1. 酸素 2. 酸化アルミニウム 3. アルミニウム) ができる。

図1 化学反応式を適用する問題(筆者作成)

図1に示した化学反応式を適用する問題では、まず、提示されたテルミット反応についての問題文を読む。そして、化学反応式の性質をもとに、問題文中の未完成の化学反応式の反応物に「2Al」、生成物に「Al₂O₃」を記入し、「酸化鉄とアルミニウムを反応させると、鉄と酸化アルミニウムができる」などの説明を行い、生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選んでいるものが正答となる。したがって、解答者は、文章と未完成の化学反応式から現象を正確に理解し、化学反応式の性質を踏まえた上で化学反応式を適用し、生成物を予測することが求められる。解答結果の分析においては、表1に示すように、化学反応式を正しく記入し、言葉による化学反応式の説明ができており、生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選んでいる解答を正答、化学反応式や説明が不十分な解答を準正答とすることにした。

このように、適用するモデルを提示し、そのモデルを適用させて現象を説明・予測させるといった構成で、「グラフを適用して、実験の結果を予測する問題」、「粒子モデルを適用して、エタノールの状態変化を説明する問題」を作成した。なお、グラフを適用する問題と、粒子モデルを適用する問題のそれぞれの詳細と評価基準については資料に示す。

表1 化学反応式を適用する問題の評価基準
(筆者作成)

評価基準	
正答	化学反応式を正しく記入し、言葉による化学反応式の説明ができており、生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選んでいる解答
準正答	生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選んでいるが、化学反応式や説明が不十分な解答
誤答	無答など

5. 結果と分析

2013年11月に、広島県内の公立中学校第3学年の生徒134名を対象に、作成した調査問題を用いて調査を実施した。調査時間は、おおよそ30分

であった。分析においては、まず、作成した評価基準に基づき各問題を採点した。次に、量的分析として、各問題の正答率を比較し、モデルの種類によるモデルベース推論の可否について分析した。そして、質的分析として、各問題の解答を類型化し、各モデルを適用する問題においてどのような解答の特徴があるのか、誤答の原因について分析した。

5.1 量的分析

作成した各問題の評価基準に基づいて、生徒の解答を採点した。各問題の正答人数及び正答率を表2に示す。

表2 各問題の正答人数及び正答率 (N=134)
(筆者作成)

問題	正答人数 (人)	正答率 (%)
化学反応式	13	9.7
グラフ	50	37.3
粒子モデル	8	6.0

表2に示したように、正答率は各問題によって違っており、グラフ、化学反応式、粒子モデルの順に低くなっている。そこで、各問題の正答率に差があるか否かを統計的に検討するために、ベイズ推定を行った。具体的には、豊田(2016)を参考に、フリーの統計ソフトウェアである R (ver. 3.4.3) および RStan (ver. 2.17.3) を用いて、ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC 法) による推定を行った。分析に際しては、事前分布を一様分布とし、長さ 21000 のチェーンを 5 つ発生させ、バーンイン期間を 1000 とし、HMC 法によって得られた 100000 個の乱数で事後分布、予測分布を近似し、ある問題の正答率が他の問題の正答率よりも高い確率を計算した。その結果を表3に示す。

表3に示したように、化学反応式の問題の正答率が、グラフの問題の正答率よりも高い確率は0%、粒子モデルの問題の正答率よりも高い確率は86.6%であった。同様に、グラフの問題の正答率が、化学反応式の問題の正答率や粒子モデルの

表3 行の問題の正答率が列の問題の正答率よりも高い確率(筆者作成)

	化学反応式	グラフ	粒子モデル
化学反応式	0.000	0.000	0.866
グラフ	1.000	0.000	1.000
粒子モデル	0.134	0.000	0.000

問題の正答率よりも高い確率はともに100%であった。粒子モデルの問題の正答率が、化学反応式の問題の正答率よりも高い確率は13.4%、グラフの問題の正答率よりも高い確率は0%であった。また、特性値について「グラフ>化学反応式>粒子モデル」という連言命題が成り立つ確率は86.6%であった。これらのことから、グラフの問題、化学反応式の問題、粒子モデルの問題の順に正答率が高いといえる。したがって、適用するモデルの種類ごとにモデルベース推論の難易度が違うと考えられる。

5.2 質的分析

各モデルを適用する問題の解答にどのような特徴がみられるか、その詳細を検討する。

5.2.1 化学反応式の問題

化学反応式の問題は、化学反応式の規則を適用し、「酸化鉄とアルミニウムを反応させると、鉄のほかに、酸化アルミニウムができる」という結論を導く問題である。そのため、解答の類型化は、①生成物に酸化アルミニウムを選んでいるか、②化学反応式を正しく記入できているか、③言葉による説明ができていないか、という3つの視点で行った。生徒の解答を類型化した結果を表4に示す。表4に示したように、正答は9.7%、準正答は44.8%、誤答は45.4%であった。そして、準正答や誤答の中で最も人数が多かったのはコード0の無答であり、その次に人数が多かったのはコード4であった。

これらのことを踏まえ誤答の原因について考察すると、まず、無答の人数が最も多かったことから、化学反応式の規則をどのように適用し、どのように説明や予測を導けばいいのか、といった化

表 4 化学反応式の問題の評価基準と解答類型(筆者作成)

	コード	評価基準	人数 (人)	比率 (%)
正答 (9.7%)	1	① 生成物○ ② 化学反応式○ ③ 説明○ 生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選び、化学反応式を正しく記入し、言葉による化学反応式の説明ができていない解答	13	9.7
準正答 (44.8%)	2	① 生成物○ ② 化学反応式○ ③ 説明× 生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選び、化学反応式を正しく記入しているが、言葉による化学反応式の説明が十分にできていない解答	10	7.5
	3	① 生成物○ ② 化学反応式× ③ 説明○ 化学反応式は正しく記入できていないが、生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選び、言葉による化学反応式の説明ができていない解答	13	9.7
	4	① 生成物○ ② 化学反応式× ③ 説明× 生成物に「2. 酸化アルミニウム」を選んでいないが、化学反応式は正しく記入できておらず、言葉による化学反応式の説明も不十分な解答	37	27.6
誤答 (45.4%)	5	① 生成物× ② 化学反応式○ ③ 説明○ 化学反応式を正しく記入し、言葉による化学反応式の説明ができていないものの、生成物に「2. 酸化アルミニウム」以外を選んでいる解答	3	2.2
	6	① 生成物× ② 化学反応式○ ③ 説明× 化学反応式は正しく記入しているものの、生成物に「2. 酸化アルミニウム」以外を選んでおり、言葉による化学反応式の説明が不十分な解答	3	2.2
	7	① 生成物× ② 化学反応式× ③ 説明× どれも不十分な解答	5	3.7
	0	無答	50	37.3

学反応式をもとにした考え方がそもそも獲得できていないことに誤答の原因があると考えられる。そして、正しい選択肢を選ぶことができて、その説明が不十分である解答が多かったことから、化学反応式そのものと化学反応式が示す意味を正しく対応付けられていないことに誤答の原因があると考えられる。

5.2.2 グラフの問題

グラフの問題は、金属を空気中で加熱した時の質量を示すグラフから、4 回目以降加熱後の質量が変化していないことを読み取り、「今後加熱を続けても、金属の質量が変化しない」という結論を導く問題である。そのため、解答の類型化は、①「2. 変化なし」を選んでいるか、②グラフの傾向を根拠にしているのか、という 2 つの視点で行った。その結果を表 5 に示す。

表 5 に示したように、正答は 37.3%、準正答は 37.3%、誤答は 25.4%であった。そして、準正答

や誤答の中で最も人数が多かったのはコード 2、その次に人数が多かったのはコード 4 や 5 であった。

これらの結果を踏まえ、誤答の原因について考察すると、まず、コード 2 の人数が多かったことから、適切に現象の予測はできているものの、問題の趣旨に合わせてグラフの傾向を根拠とすることができていないことが読み取れる。これは、既習事項である「化学変化に関する質量の比はつねに一定である」という「定比例の法則」に関する知識が推論に影響したと考えられる。また、コード 4 やコード 5 が多かったことから、提示されたグラフの傾向を主張の根拠として解答できないことに誤答の原因があると考えられる。

5.2.3 粒子モデルの問題

粒子モデルの問題は、袋の中にある液体のエタノールに熱湯をかけると袋が膨らむという現象を、粒子モデルを用いて説明する問題である。そのた

め、解答の類型化は、①エタノールの状態を正しく説明しているかどうか、②粒子モデルが正しく書けているかどうか、③物質の状態と粒子の間隔を関連付けているかどうか、という3つの視点で行った。その結果を表6に示す。

表6に示したように、正答は6.0%、準正答は

13.4%、誤答は80.6%であった。そして、準正答や誤答の中で最も人数が多かったのはコード5、その次に人数が多かったのはコード0やコード6であった。

これらの結果を踏まえ、誤答の原因について考察すると、準正答の比率よりも誤答の比率が多い

表5 グラフの問題の評価基準と解答類型（筆者作成）

	コード	評価基準	人数 (人)	比率 (%)
正答 (37.3%)	1	① 変化○ ② グラフ○ 「2. 変化なし」を選び、グラフの傾向を根拠にしている解答	50	37.3
準正答 (37.3%)	2	① 変化○ ② グラフ△ 「2. 変化なし」を選んでいるものの、グラフの傾向を根拠とせず、「定比例の法則」を根拠としている解答	21	15.7
	3	① 変化○ ② グラフ△ 「2. 変化なし」を選んでいるものの、グラフの傾向を根拠とせず、反応が終了したことを根拠としている解答	9	6.7
	4	① 変化○ ② グラフ× 「2. 変化なし」を選んでいるものの、根拠が不十分な解答	20	14.9
誤答 (25.4%)	5	① 変化× ② グラフ× 「2. 変化なし」以外を選んでおり、根拠も不十分な解答	20	14.9
	0	無答	14	10.4

表6 粒子モデルの問題の評価基準と解答類型（筆者作成）

	コード	評価基準	人数 (人)	比率 (%)
正答 (6.0%)	1	① 状態の説明○ ② 粒子モデル○ ③ 関連付け○ エタノールの各状態が説明できており、粒子モデルも正しく書き、物質の状態と粒子の間隔を関連付けている解答	8	6.0
準正答 (13.4%)	2	① 状態の説明○ ② 粒子モデル○ ③ 関連付け× エタノールの各状態が説明できており、粒子モデルも正しく書けているが、粒子の間隔と関連付けていない解答	10	7.5
	3	① 状態の説明○ ② 粒子モデル× ③ 関連付け○ エタノールの各状態が説明できており、物質の状態と粒子の間隔を関連付けているものの、粒子モデルが正しく書けていない解答	5	3.7
	4	① 状態の説明○ ② 粒子モデル× ③ 関連付け× エタノールの各状態を説明できているが、粒子モデルが正しく書けておらず、粒子の間隔と関連付けていない解答	3	2.2
	5	① 状態の説明× ② 粒子モデル○ ③ 関連付け× 粒子モデルを正しく書けているものの、エタノールの各状態を説明できておらず、粒子の間隔と関連付けていない解答	51	38.1
誤答 (80.6%)	6	① 状態の説明× ② 粒子モデル× ③ 関連付け× どれも不十分な解答	24	17.9
	0	無答	33	24.6

ことから、粒子モデルをどのように適用し、どのように現象を説明していくのか、といった粒子モデルをもとにした考え方がそもそも獲得できていないことに誤答の原因があると考えられる。また、誤答の中でも、コード5の人数が最も多かったことから、粒子モデルそのものと粒子モデルが示す意味を正しく対応付けられていないことに誤答の原因があると考えられる。

6. 考察

本調査では、化学反応式、グラフ、粒子モデルを適用するモデルベース推論について検討した。そして、量的分析によって、適用するモデルの種類ごとにモデルベース推論の難易度が違うこと、質的分析によって、誤答の原因も様々であることがわかった。そこで、これらのことについて、本研究において選定したモデルの特質を取り上げ、分析結果についてまとめる。

本調査では、「記号的・象徴的モデル」の代表として化学反応式、「数学的モデル」の代表としてグラフ、「概念的モデル」の代表として粒子モデルを用いた。各モデルの特質は以下の通りである。まず、化学反応式は、化学反応前後における原子の組み合わせを示し、その表記には規則がある。次に、グラフは変数間の数量的な関係性を視覚的に示す。粒子モデルは、現象に対する粒子的な見方を提供し、抽象的な思考をするための道具としての役割を持っている。

3つの問題の中で、正答率が最も高かったグラフを適用する問題は、提示されたグラフから傾向を読み取ることができれば、その後は読み取った単純な傾向（変化なし）を未測定の間際に当てはめるという比較的単純な思考操作で推論することができる問題である。さらに、グラフを学習する場面は、小学校段階においても存在するため、中学生はグラフの読み取りに慣れていると考えられる。これらのことから、3つの問題の中で最も正答率が高くなったと推察される。

一方、グラフを適用する問題と比べて正答率が低かった化学反応式や粒子モデルを適用する問題

は、提示された現象に化学反応式の規則や粒子モデルの概念を適用することによって推論するため、適用に際して現象とモデルの往還など複雑な思考操作が必要となる。このため、モデルを適用する際の思考操作の複雑さが正答率の差の原因の1つであると考えられる。

また、粒子モデルの問題の正答率が、化学反応式の問題の正答率よりも低かったことについては、以下のようなモデルの違いを挙げることができる。化学反応式は量的関係を内包したモデルであるのに対し、粒子モデルは「小さな丸」で粒子の実体を表す抽象的なイメージを用いたモデルである。つまり、化学反応式は反応系と生成系の量的対応関係を意識してモデルを適用すれば推論できるのに対し、粒子モデルは物質の状態と粒子モデルの対応関係を意識して抽象的なイメージのレベルで適用し、推論することになる。推論に用いられているモデルを比較すると、化学反応式で表される粒子は、原子の種類ごとの区別があるものの、粒子モデルで表される粒子は、原子の種類で区別されず、全て「小さな丸」で表現されている。このことから、モデルが内包する抽象度の違いが、モデル適用の容易さに影響を及ぼしていると考えられる。

7. 本研究のまとめと今後の課題

本研究の目的は、中学生のモデルベース推論の実態を把握することであった。調査の結果、適用するモデルの種類によって、推論の難易度が様々であり、グラフよりも化学式や粒子モデルを適用することに課題があることが明らかになった。そして、化学式や粒子モデルの適用に課題がある原因として、推論の前提となるモデルをどのように適用すればいいのか理解できていないこと、適用したモデルとその推論場面をどのように対応付ければいいのか理解できていないことを挙げた。そして、各モデルを適用する推論と正答率の関係性について考察し、モデルが内包する抽象度の違いが、モデル適用の容易さに影響を及ぼしている可能性があることを指摘した。

今後の課題は以下の通りである。まず、本調査では、各モデルの種類に対して1つのモデルしか取り扱っていない。このため、同じ種類の別のモデルを用いても、今回の調査と同様の実態がみられるのか、さらなる検証を進めていく必要があると考える。また、領域も化学領域に限定しているため、他領域のモデルについても検討していく必要がある。さらに、本研究では、モデルの特質と問題の正答率の関係性を中心に考察したため、解答者の特質や、問題の解答形式などが及ぼす影響については十分に言及できていない。このため、今後は、中学生の推論に影響を及ぼす要因について統合的に解釈を進めていく必要があると考える。

引用文献

- Giere, R.N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, Harcourt College.
- Griffin, P., Care, E., & McGaw, B. (2011). *Assessment and Teaching of 21st Century Skills (Educational Assessment in an Information Age)*, Springer.三宅なほみ (監訳) (2014) 『21世紀型スキル: 学びと評価の新たなかたち』北大路書房.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2), 115-130.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education, *Science & Education*, 16, pp.653-697.
- Harrison, A.G., & Treagust, D.F. (2000). A Typology of School Science Models, *International Journal of Science Education*, 22(9), pp.1011-1026.
- 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』 <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukouku/report/data/msci.pdf> (2018 年 2 月 27 日閲覧) .
- 国立教育政策研究所 (2016) 『資質・能力[理論編] (国研ライブラリー)』 東洋館出版社.
- Mislevy, R. J. (2009). Validity from the perspective of model-based reasoning, In Lissitz, R. W. (Ed.), *The Concept of Validity: Revisions, New Directions, and Applications*, Information Age Publishing Inc., pp.83-108.
- 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書.
- Nersessian, N.J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change, In Magnani, L., Nersessian, N. J., & Thagard, P. (Ed.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, pp.5-22, Springer.
- Rychen, D.S. & Salganik, L. H. (2003). *Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society*, Hogrefe & Huber Publishers.立田慶裕 (監訳) (2006) 『キー・コンピテンシー 国際標準の学力を目指して一』, 明石書店.
- Songer, N. B. (2006). BioKIDS: An Animated Conversation on the Development of Curricular Activity Structures for Inquiry Science, In Sawyer, R. K. (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science*, Cambridge University Press, pp.355-369.
- ソングー (2009) 「BioKIDS 科学的探究力育成のためのカリキュラム開発」, 森敏昭・秋田喜代美 (監訳), 『学習科学ハンドブック』培風館, pp.281-294.
- Stephens, S., McRobbie, C.J., & Lucas, K.B. (1999). Model-based reasoning in a year 10 classroom, *Research in Science Education*, 29(2), pp.189-208.
- Suppe, F. (1989). *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, University of Illinois Press.
- 豊田秀樹 (2016) 『はじめての統計データ分析—ベイズ的〈ポスト p 値時代〉の統計学』 朝倉書店.
- 雲財寛・松浦拓也 (2014) 「中学生の科学的推論にテキスト形式が及ぼす影響—表形式とグラフ形

式を中心として」『日本教科教育学会誌』37(2), pp.61-70.

山祐嗣 (2010) 「推論能力の発達」, 市川伸一編『現代の認知心理学 5 発達と学習』北大路書房, pp.80-103.

Yu, Q. (2002). Model-Based Reasoning and

Similarity in the World, In Magnani, L. & Nersessian, N. J. (Eds), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, Springer Science + Business Media New York, pp.275-285.

資料1 グラフを適用する問題とその評価基準

以下の説明をよく読んで答えて下さい。

理科の学習や科学の研究において、**グラフ**は様々な場面で用いられています。右の図は、空気中でマグネシウムと銅をそれぞれ加熱し、加熱した回数と加熱後の金属の質量の関係をグラフで示しています。

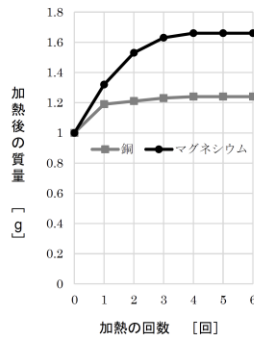


図 金属を空気中で加熱した時の質量

(問) 図に示した結果より、この後、**加熱する回数を7回、8回…と増やしていくと、加熱後の質量はどのように変わると考えられますか。** 下のかっこの番号の中から1つ選び、選んだ理由を、言葉や図を用いて説明して下さい。

加熱する回数を7回、8回…と増やしていくと、加熱後のマグネシウムや鉄の質量は、

(1. 大きくなっていく 2. 変化しない 3. 小さくなっていく)。

理由 (言葉や図などで説明して下さい)

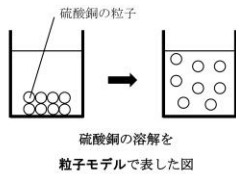
グラフを適用する問題の評価基準

評価基準	
正答	「2. 変化なし」を選び、グラフの傾向を根拠にしている解答
準正答	「2. 変化なし」を選んでいるが、根拠が不十分な解答
誤答	無答など

資料2 粒子モデルを適用する問題とその評価基準

以下の説明をよく読んで答えて下さい。

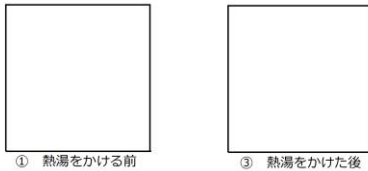
「身のまわりの物質」の単元では、物質の状態変化について学習します。状態変化における物質の3態のようすは、**粒子モデル**を用いて表すことがあります。粒子モデルとは、「物質はふつうの顕微鏡では見えないくらい小さな粒子でできている」という考え方のことで、直接目に見えない粒子を○で表現します。この粒子モデルを使って、液体のエタノールの状態変化を考えてみましょう。



上の図に示すように、液体のエタノールを入れたポリエチレンの袋に熱湯をかけると、袋は大きく膨らみます。

（問）このとき、袋に熱湯をかける前後で、**エタノールはそれぞれどのような状態になっていると考えられますか。** 上の図の①と③の場面におけるエタノールの状態を、○（=1つの粒子）を使って表現し、物質の状態と関連付けて言葉で説明して下さい。

粒子モデル（1つ1つの粒子を○で表現して下さい）



説明

粒子モデルを適用する問題の評価基準

評価基準

正答	①と③の粒子モデルの図について、①と③で粒の数が一致しており、①の粒の間隔がせまく、③の粒の間隔が広くかけており、物質の状態と粒子の間隔を関連付けて説明している解答
準正答	物質の状態について説明しているが、粒子モデルが正しく書けていない、または粒子の間隔と関連付けて説明できていない解答
誤答	無答など