

学位論文要旨

中学生の理科学習におけるモデルベース推論に関する研究

広島大学大学院教育学研究科
文化教育開発専攻（自然システム教育学）

雲 財 寛

I. 論文構成

序章 研究の背景

第1章 研究の目的

- 第1節 推論に関する先行研究の整理
- 第2節 科学的推論に関する先行研究の整理
- 第3節 モデルベース推論に関連する諸概念
- 第4節 モデルベース推論に関する先行研究の整理と問題の所在
- 第5節 本研究の目的と方法

第2章 中学生の科学的モデルに対する認識の実態

- 第1節 科学的モデルに対する認識の調査
- 第2節 中学生の科学的モデルに対する認識の分析
- 第3節 まとめ

第3章 中学生の理科におけるモデルベース推論の実態

- 第1節 モデルベース推論の実態の調査
- 第2節 中学生の理科におけるモデルベース推論の分析
- 第3節 まとめ

第4章 中学生の理科におけるモデルベース推論の成否に関わる要因

- 第1節 モデルベース推論の成否に関わる要因の調査
- 第2節 中学生の理科におけるモデルベース推論の成否に関わる要因の分析
- 第3節 まとめ

終章 研究の総括と今後の課題

- 第1節 これまでの調査結果のまとめと指導法への示唆
- 第2節 モデルベース推論の育成を志向した指導の一例
- 第3節 本研究の総括
- 第4節 今後の課題

II. 論文要旨

序章 研究の背景

高度情報化社会を迎えた現代では、知識や情報の量は、日々急激な速度で増加している。Bransford, Brown, & Cocking (2000) は、ノーベル賞受賞者のサイモン (Herbert Simon) が 1996 年に語った「『知っていること』の意味が、『情報を覚えて暗唱できること』から『情報を発見し利用できること』へと変わろうとしている」という言葉を引用し、「人類がこれまでに蓄積してきた知識のすべてを生徒に教えることは、もはや教育目標としては成り立たなくなった」と述べている。さらに、Bransford et al. (2000) は、「21 世紀の教育目標は、歴史・科学・技術・社会現象・数学・芸術の領域における創造的思考に必要な知識を生徒たちが獲得することであり、そのために必要となる認知技能や学習方略の習得を支援することである」と続けて述べている。そして、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, McGaw, & Care, 2011) ,そして日本の 21 世紀型能力 (国立教育政策研究所, 2015a) 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。これらのことから、「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。すなわち、学校教育においては、単に知識を覚えているだけでなく、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 つとして科学的に推論する力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、国内外の調査から、科学的推論を行うことには課題があることが明らかになっている。例えば、平成 27 年度全国学力・学習状況調査において、実験結果を数値で示した表から分析して解釈し、規則性を見いだすこと、すなわち科学的に推論することには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, 2015b) 。このことから、科学的推論における子どもの躓きや、子どもの科学的推論を促進する要因について明らかにし、それらを踏まえた指導法への示唆を導出することには意義があるといえる。

科学的推論は、科学者が実際に行うような科学的探究の過程を通して育成される (Songer, 2006) 。そして、近年、科学者の活動はモデルの構築とテストで説明されており (Giere, 1991) ,このような捉え方に基づく科学的推論は、「モデルベース推論」と呼ばれている。本研究では、この「モデルベース推論」に着目して研究を行う。

第 1 章 研究の目的

モデルベース推論に関連する諸概念について整理した。まず、「モデルベース推論 (model-based reasoning) 」は、「モデルの形成」, 「モデルの精緻化」, 「モデルの使用」, 「モデルの評価」, 「モデルの修正」, 「モデルベースの発見」といった複数の側面で捉えられていた (Mislevy, 2009) 。次に、「モデル (model) 」は、「考え、物体、できごと、プロ

セス、システムの表象」として捉えられていた（例えば、Gilbert & Boulter, 1998）。そして、「モデリング (Modeling)」は、「モデルの生成と修正であり、科学的知識の発展における、動的かつ非線型的な過程の本質」と捉えられており（例えば、Justi & Gilbert, 2002）、「モデルの形成」や「モデルの修正」といった側面のモデルベース推論とほぼ同義で捉えられていた。

これらの捉え方を踏まえ、国内外のモデルベース推論に関する研究動向を整理した結果、研究の課題として、次の3点を導出した。

第1点は、理論研究において、モデルの性質や種類、そしてモデルベース推論の教育的価値に基づいて整理されている一方で、調査研究や実践研究においては、その多くが「モデルの形成」や「モデルの修正」といった、いわゆるモデリングに着目しており、「モデルの使用」に着目した研究が十分ではない点である。理科における問題解決の場面では、自然現象を説明する新たなモデル（説明モデル）を構築する場面だけでなく、既存のモデルを適用し、自然現象を説明したり、予測したりする場面も存在する。このため、「モデルの使用」に着目した研究も必要であると考えられる。

第2点は、日本の学習者の科学的モデルに対する認識を調査した研究が十分ではない点である。国外の研究においては、科学的モデルに対する認識は Grosslight, Unger, Jay, & Smith (1991), Treagust, Chittleborough, & Mamiala (2002), Schwarz et al. (2009) による調査がみられるものの、国内の研究においては、科学的モデルに対する認識を調査したのは丹沢ら (2003) のみであり、質問項目も1問だけであるため、日本の学習者を対象とした研究の蓄積は十分とはいえない。

第3点は、上述した第1点と関係しており、学習者が行う「モデルの使用」に関するモデルベース推論について、その実態が明らかになっていない点である。Stephens, Mcrobbie, & Lucas (1999) では、生徒のモデルベース推論のパフォーマンスを中心に調査しており、どのような思考過程で推論しているのか、モデルベース推論を行うことができる学習者にはどのような特徴があるのか、といったことには言及できていない。

以上のことから、本研究の目的を、学習者の科学的モデルに対する認識やモデルベース推論の実態を明らかにするとともに、モデルベース推論の育成を志向した指導法への示唆を導出することと設定した。

なお、科学的推論の育成においては、小学校高学年や中学校が重要な時期であること (Songer, 2006), 理科学習において取り扱われる多くのモデルは、中学校段階で取り扱われ始めること（例えば、化学式、磁力線など）から、本研究では中学生を主な調査対象とすることにした。

第2章 中学生の科学的モデルに対する認識の実態

中学生の科学的モデルに対する認識を明らかにするために、質問紙調査を実施した。質問

項目については、Grosslight et al. (1991) , Treagust et al. (2002) , Schwarz et al. (2009) で整理されている科学的モデルの目的や性質（モデルに対するメタ理解）の観点から、「現象の説明・予測」、「特徴の顕在化」、「限界性」、「暫定性」という4つの共通する観点を抽出し、各観点5項目の計20項目の質問項目を作成した。そして、作成した20項目について、「1. 全くそう思わない」、「2. あまりそうは思わない」、「3. どちらでもない」、「4. ややそう思う」、「5. 強くそう思う」の五件法で、2013年5月に広島県の公立中学校第3学年111名、2014年11月に兵庫県の公立中学校第3学年116名、計227名を対象に調査を実施し、質問紙の回答を分析した。

分析の結果、中学生の傾向として、相対的に、モデルを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として捉えていることが明らかになった。一方で、「現象の説明・予測」すなわち「モデルを用いることで、現象を説明・予測することができる」という認識、「暫定性」すなわち「モデルは現象を説明する暫定的なものである」という認識、及び「限界性」すなわち「モデルによる現象の説明には限界がある」という認識は、十分に確立していないことが明らかになった。

さらに、このような中学生の実態について、校種における特徴を明らかにするため、国立大学の理系大学生200名を対象に実施した質問紙の結果と比較を行うことにした。その結果、大学生は、相対的に、「モデルを用いることで、現象を説明・予測することができる」という認識については、十分に確立していないことが明らかになった。このことから、「モデルを用いることで、現象を説明・予測することができる」という「現象の説明・予測」に関する認識については、その認識を確立することは課題になりうることも明らかになった（基礎集計は、表2-1を参照）。

表 2-1 各観点の平均値及び標準偏差

	平均値	標準偏差
現象の説明・予測	3.35	0.61
	3.69	0.61
特徴の顕在化	3.70	0.72
	4.25	0.44
暫定性	3.42	0.82
	4.28	0.63
限界性	3.53	0.60
	4.34	0.52

上段が中学生，下段が大学生

第3章 中学生の理科におけるモデルベース推論の実態

中学生の理科におけるモデルベース推論の実態を把握するために、ペーパーテスト形式の問題を作成・実施した。ペーパーテスト形式の問題作成に際しては、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した。Harrison & Treagust (2000) は、教授・学習で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。本研究においては、「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」、「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つのモデルを使用して、それぞれ現象を説明・予測する問題を作成した。具体的には、「化学反応式」を用いて、テルミット法に関する化学反応を予測する問題、「グラフ」を用いて、金属の燃焼後の質量を予測する問題、粒子モデルを用いて、袋に入れた液体のエタノールに熱湯をかけたときの様子を説明する問題の計3題を作成した。

そして、2013年11月に広島県内の公立中学校第3学年134名を対象に、作成した調査問題を用いて調査を実施し、それぞれの調査問題の解答について分析した（基礎集計は表3-1を参照）。

各問題の正答率を統計的に比較した結果、使用するモデルの種類によって、モデルベース推論の難易度が異なることが明らかになった。また、誤答分析を行った結果、モデルベース推論ができていない要因として、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が理解できていないこと、適用したモデルと現象をどのように対応付ければいいのかが理解できていないことが明らかになった。

表 3-1 正答・誤答人数

問題	正答 (人)	誤答 (人)
化学反応式	13	121
グラフ	50	84
粒子モデル	8	126

第4章 中学生の理科におけるモデルベース推論の成否に関わる要因

モデルベース推論の成否に関わる要因を明らかにするために、調査的面接を中心とした調査を行った。具体的には、まず、広島県内の公立中学校第3学年120名を対象に、モデルに対するメタ理解を調査する事前質問紙を実施した。その際、推論には知識が影響を与えるという認知心理学の知見を踏まえ（例えば、山，2010），調査的面接で用いる問題に関連する基本的な知識・理解を調べる問題も合わせて実施した。そして、実施した事前質問紙の結果をふまえて、調査的面接を実施する被験者16名を抽出した。そして、抽出した16名を対象に、モデルを用いて現象を説明・予測する問題を2題（化学反応式を用いて化学反応を予測する問題，磁力線を用いて磁界の向きを予測する問題）を用いて調査的面接を実施し、モデルベース推論の成否に関わる要因について分析した。

事前質問紙の回答，調査的面接における解答，及び解答後のインタビューを総合的に分析した結果，①モデルベース推論を促進する要因，②モデルベース推論における躓きという観点からまとめると，以下のようなことが明らかになった。

①モデルベース推論を促進する要因

- ・「化学反応式は化学反応を説明・予測する場面で有効である」，「磁力線は磁界の向きを説明・予測する場面で有効である」といった「場面との対応づけ」に関する理解が，モデルベース推論を促進している
- ・「化学反応式の左辺と右辺で，モデルの種類と数を揃える」，「右ねじの進む向きに電流を流すと，ねじを回す向きに磁界ができる」といった「モデルの規則」に関する理解が，モデルベース推論を促進している

②モデルベース推論における躓き

- ・課題解決において有効なモデルを想起することができていない
(化学反応式の問題の分析，磁力線の問題の分析から)
- ・モデルと現実場面を対応させることができていない
(化学反応式の問題の分析から)

さらに，難易度が高い課題の場合，基本的な知識・理解やモデルに対するメタ理解が十分であっても，モデルベース推論をすることは困難であり，モデルの一般的な長所，短所や，課題解決において必要なモデルについての「場面との対応づけ」に関する理解や「モデルの規則」に関する理解が総合的に求められることも明らかになった。

終 章 研究の総括と今後の課題

これまでの調査結果をまとめ，指導法への示唆として，以下の4点を導出した。第一に，中学生の実態として，「モデルを用いることで，現象を説明・予測することができる」といった認識が十分に確立していないこと，「記号的・象徴的モデル」や「理論的モデル」を用いるモデルベース推論を行うことには課題があるため，これらの種類のモデルを用いるモデルベース推論では，推論を支援する丁寧な手立てが必要となる。例えば，「記号的・象徴的モデル」の化学反応式を用いる際には，化学反応式と現実場面との対応関係を捉えさせ，記号的・象徴的モデルが示す構造や規則を使用させる必要がある。具体的には，記号で示された化学式と，その化学式が示す物質との対応関係を明示する必要がある。

第二に，「場面との対応」に関する理解，すなわちそのモデルを使うことのよさが認識できるような学習場面を設定することである。例えば，化学反応式を例にすると，「酸化銅から銅を取り出すためにはどのようにしたらよいか」という学習場面を設定し，既習事項の化

学反応式を使い、酸化銅から銅を取り出すことができる物質を予想し、それを実証する学習活動を通して、「化学反応式は未知の化学反応の予測・説明に使える」といった化学反応式を使うことよさを認識させることができると考える。そして、このような学習活動を継続的に行うことによって、場面に対応した適切なモデルの想起を試みるようになると考える。

第三に、「モデルの規則」に関する理解、すなわち課題解決において有効となるモデルの規則を用いて、推論結果を確認する学習場面を設定することである。例えば、前述の「酸化銅から銅を取り出すためにはどのようにしたらよいか」という学習場面において、ある生徒が「化学反応式の左辺にある原子の種類と数は、右辺にある原子の種類と数と同じである」という規則から、「水素を化合させることで、銅を取り出すことができ、水も生成されるのではないか」という予想をした場合、実際に酸化銅と水素を化合させ、塩化コバルト紙を用いて、生成された液体の同定を行う。このように、化学反応式の規則から立てた予想について、その予想を実証する実験を行うことで、モデルの規則に関する理解が深まると考えられる。

第四に、モデルと現実場面を対応づける活動を設定することである。例えば、前述の「酸化銅から銅を取り出すためにはどのようにしたらよいか」という学習場面において、ある生徒が「酸化銅をそのまま加熱すれば銅を取り出せるのではないか」という、科学的に妥当とはいえない予想をした際に、「もともと酸化銅がどのようにして生成されたのか」といった発問を行うことで、モデルと現実場面を対応づけることができると考えられる。

そして、総括として、本研究の特色を以下の4点にまとめた。第一に、モデルベース推論の「モデルの使用」に着目したことである。第二に、中学生の科学的モデルに対する認識とモデルベース推論の実態を明らかにしたことである。第三に、モデルベース推論の成否の要因を実証的に明らかにしたことである。第四に、モデルベース推論の育成を志向する指導法への示唆を導出したことである。

最後に、今後の課題として、以下の2点を導出した。第一に、本研究で導出した理科学習におけるモデルベース推論の育成を志向した指導法への示唆を踏まえ、具体的な指導法を提案することが挙げられる。本研究は、中学生を対象とした実態調査が中心であったため、モデルベース推論の育成を志向する指導法への示唆に基づく具体的な指導法の考案、及びその効果検証をすることはできていない。そのため、モデルベース推論の育成を志向した指導法について、全体の単元計画や各授業における生徒への具体的な支援について考えていく必要がある。

第二に、本研究では「記号的・象徴的モデル」の1つである「化学反応式」の使用に関する指導については述べたものの、「数学的モデル」や「理論的モデル」の使用に関する指導については言及できていない。このため、他の種類のモデルの使用に着目した指導についても検討することが必要である。

引用文献

- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking R. R. (Eds.) (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School (Expanded Edition)*, National Academy Press.
- 森敏昭, 秋田喜代美 (監訳) (2002) 『授業を変える ―認知心理学のさらなる挑戦―』 北大路書房
- Giere, R. N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, Harcourt College.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning Science Through Models and Modelling, In Fraser, B. J., & Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, pp.53-66.
- Griffin, P., McGaw, B., & Care, E. (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カタチ』, 北大路書房.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and Their Use in Science - Conceptions of Middle and High-School-Students and Experts, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.28, No.9, pp.799-822.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models, *International Journal of Science Education*, Vol.22, No.9, pp.1011-1026.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, Teachers' View on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers, *International Journal of Science Education* Vol.24, No.4, pp.369-387.
- 国立教育政策研究所 (2015a) 『報告書 5 社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則』 Retrieved from http://www.nier.go.jp/05_kenkyu_seika/seika_digest_h25.html
- 国立教育政策研究所 (2015b) 『平成 27 年度全国学力・学習状況調査 報告書中学校理科』 Retrieved from <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/msci.pdf>
- Mislevy, R. J. (2009). Validity from the Perspective of Model-Based Reasoning, *CRESST Report 752*, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing.
- 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.
- 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―』 秋田書店.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., 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*, Vol.46, No.6, pp.632-654.
- 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.
- 森敏昭, 秋田喜代美 監訳 (2009) 「BioKIDS —科学的探究能力育成のためのカリキュラム開発」 『学習科学ハンドブック』, 281-294, 培風館.
- Stephens, S., Mcrobbie, C. J., & Lucas, K. B. (1999). Model-Based Reasoning in a Year 10 Classroom, *Research in Science Education*, Vol.29, No.2, pp.189-208.
- 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*, Vol.24, No.4, pp.357-368.
- 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, 80-103.