

中学生の科学的モデルに対する認識

Cognition of Scientific Models on Lower secondary school students

○雲財寛*, 松浦拓也*

UNZAI, Hiroshi*, MATSUURA, Takuya*

*広島大学大学院教育学研究科,

*Graduate School of Education, Hiroshima University

[要約] 本研究の目的は、中学生の科学的モデルに対する認識の実態を明らかにすることである。調査の結果、中学生は、科学的モデルを、現象を単純化したり、可視化したりしているものとして捉えている傾向にあり、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や、モデルが持つ説明の限界性や暫定性といったモデルの性質に関する認識がまだ確立していないことが明らかになった。これらの実態をふまえ、モデルベース推論を育成する指導法を構想する際には、モデルの目的や性質を実感できるような学習活動が必要であることを指摘した。

[キーワード] 理科教育, 中学生, 科学的モデル, 科学的推論, モデルベース推論

1. 研究の背景

科学的に推論する能力を育成することは、理科教育における重要な目標の1つである。そして、近年では、科学的推論の中でも、モデルベース推論と呼ばれる推論に注目が集まってきている（例えば、Lehrer & Schauble, 2006）。モデルベース推論は、主に「モデルの構築」に関するモデルベース推論と、「モデルの適用」に関するモデルベース推論の2つに大別することができる。モデルの構築に関するモデルベース推論は、モデルの構築、評価、修正といった自然現象を説明するモデルの構築活動における推論である（例えば、Justi & Gilbert, 2002）。一方、モデルの適用に関するモデルベース推論は、既存のモデルを適用し、仮説を形成したり未知の現象を説明・予測したりするといった、知識の創造や精緻化における推論である（例えば、Nersessian, 1999）。

このモデルベース推論に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）。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対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、科学的方法を適切かつ実践的に説明しうるものであり、理科教育に援用することで、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。現在では、国内の理科教育研究においても、モデルベース推論に関する関心は徐々に高まってきており、（例えば、内ノ倉, 2008）、モデルベース推論に関する研究の蓄積が求められている（稲田ら, 2014）。

2. 問題の所在と研究目的

これまでの研究から、モデルベース推論を促進する諸要素が明らかにされている。例えば、Schwarz et al. (2009) は、「モデルは、可視化しにくいまたは理解されにくい価値や特徴を表すことができる」、「モデルは、現象を例証したり、説明したり、予測したりするのに使われる」などの科学的モデルの目的や性質に関する認識が、モデルベース推論を促進すると述べている。これに関して、筆者らは中学生と大学生を対象に、質問紙を用いて科学的モデルの目的や性質に関する認識の実態を明らかにしている（雲財・松浦, 2013）。

表 1 観点と質問項目の例

観点	質問項目の例
現象の説明・予測	科学では、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
特徴の顕在化	モデルは複雑な現象を単純にし、簡潔に表すことができる
限界性	モデルによる現象の説明には限界がある
暫定性	モデルは、一時的なものであって、変化する可能性がある

具体的には、表 1 に示すような、科学的モデルの目的や性質に関する 4 つの観点を設定して質問紙調査を実施し、中学生は 4 つの観点全てにおいて大学生よりも認識が低いことを明らかにしている。

このように、雲財・松浦 (2013) では、中学生と大学生の比較を中心として科学的モデルに対する認識の全体的な特徴を明らかにしているものの、中学生や大学生の詳細な実態については言及できていない。一方で、筆者らは、中学生を対象としてモデルベース推論の育成を目指している。そこで、本研究では、特に中学生の科学的モデルに対する認識の実態を詳細に検討し、モデルベース推論を育成する指導法への示唆を導出することを目的とした。

3. 研究の方法

中学生の科学的モデルに対する認識の実態を明らかにするため、雲財・松浦 (2013) で用いたデータ (公立中学校第 3 学年 105 名、国立大学 89 名) をもとに、科学的モデルの目的や性質の各観点における認識の違いに着目し、再度分析を行った。

4. 結果と分析

まず、質問項目の得点を合計し平均値 (5 点満点) を算出した。表 2 に、質問項目別、及び観点別の平均値と標準偏差を示す。また、各質問項目に対する回答状況を検討するために、質問項目別に各選択肢の選択割合を示す。

次に、中学生の各観点の平均値について、違いがあるかどうかを統計的に検討するために、分散

分析を行った。分散分析の結果、各因子の得点の平均値に有意な主効果が見られた ($F(2.33, 242.5) = 13.02, p < .05$)。そこで、どの得点間に、有意な差があるのかを明らかにするため、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。多重比較の結果、「特徴の顕在化」と「現象の説明・予測」の得点間、「特徴の顕在化」と「限界性」の得点間、「特徴の顕在化」と「暫定性」の得点間に有意な差が見られた。具体的には、「特徴の顕在化」が、他の 3 つの観点 (「現象の説明・予測」、「限界性」、「暫定性」) よりも、有意に高かった。

また、これら 3 つの観点の質問項目における各選択肢の選択割合に着目してみると、中学生は、全ての質問項目において「3. どちらでもない」を選んでいる割合が大学生よりも高かった。

5. 考察

本研究の目的は、中学生の科学的モデルに対する認識の実態を明らかにし、モデルベース推論を育成する指導法への示唆を導出することであった。まず、中学生の科学的モデルに対する認識の実態に関しては、調査の結果、「特徴の顕在化」が他の 3 つの観点に比べて有意に高かった。このことから、中学生はモデルを、現象を単純化したり、可視化したりしているものと捉えている傾向にあるといえる。

他の 3 つの観点については、観点の平均値が 3 を超えているものの、各質問項目における各選択肢の選択割合においては、中学生は、「3. どちらでもない」を選んでいる割合が大学生よりも高い。このことから、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や、モデルが持つ説明の限界性や暫定性といった性質に対する認識がまだ確立していない中学生が多いと考えられる。これは、モデルを用いて現象の説明や予測をする学習活動や、現象を説明するモデルに修正を加え、モデルを洗練するような学習活動が少ないことに起因していると考えられる。

以上、調査結果の分析について述べてきた。次に、調査結果の分析と先行研究を踏まえ、科学的

表2 質問項目の各種統計量

観点	質問項目	平均値 (標準偏差)		選択割合 (%) **		
				1,2	3	4,5
現象の説明・予測	科学では、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。	3.49 (0.91)	3.40 (0.62)	13.3	28.6	58.1
	科学における現象の説明や予測は、モデルを用いて行われる。	3.76 (0.89)		11.2	16.9	72.0
	科学では、これまでに作られたモデルを別の現象に適用することで、新たな予測を行う。	3.44 (0.71)		8.6	42.9	48.6
	科学において、モデルは現象の説明や予測など、重要な役割を果たしている。	3.76 (0.66)		4.5	22.5	73.1
特徴の顕在化	科学では、これまでに作られたモデルを別の現象に適用することで、新たな予測を行う。	3.16 (0.81)	3.73 (0.51)	14.3	58.1	27.6
	科学において、モデルは現象の説明や予測など、重要な役割を果たしている。	3.34 (0.81)		12.4	47.2	40.4
	モデルは複雑な現象を単純にし、簡潔に表すことができる。	3.50 (0.93)		11.4	38.1	50.4
	モデルは理解しにくい抽象的な性質を、分かりやすく表すことができる。	4.08 (0.70)		3.4	10.1	86.5
限界性	モデルは複雑な現象を単純にし、簡潔に表すことができる。	3.74 (1.12)	3.77 (0.93)	16.2	18.1	65.7
	モデルは理解しにくい抽象的な性質を、分かりやすく表すことができる。	4.38 (0.63)		1.1	4.5	94.4
	モデルは目に見えにくい現象を、目に見える単純な形で表すことができる。	3.70 (1.10)		16.2	19.0	64.7
	モデルによる現象の説明には限界がある。	4.44 (0.62)		1.1	3.4	95.5
暫定性	モデルは目に見えにくい現象を、目に見える単純な形で表すことができる。	3.85 (1.01)	3.40 (0.76)	12.4	16.2	71.4
	モデルによる現象の説明には限界がある。	4.34 (0.72)		3.4	1.1	95.5
	モデルは現象を完全に説明することはできない。	3.45 (0.98)		13.3	39.0	47.6
	モデルには、現象を説明する上で利点と欠点が存在する。	4.11 (0.85)		7.9	6.7	85.4
暫定性	モデルは現象を完全に説明することはできない。	3.24 (1.01)	4.23 (0.62)	21.0	42.9	36.2
	モデルには、現象を説明する上で利点と欠点が存在する。	4.17 (0.77)		3.4	12.4	84.3
	モデルは、一時的なものであって、変化する可能性がある。	3.53 (0.91)		8.6	46.7	44.8
	現在科学者の中で認められているモデルは、時代が変わると、変化することがある。	4.39 (0.67)		2.2	3.4	94.4
暫定性	モデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	3.14 (0.96)	3.18 (0.78)	23.8	44.8	31.4
	科学におけるモデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	3.98 (0.90)		7.9	14.6	77.5
	科学におけるモデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	3.13 (1.07)		24.8	40.0	35.2
	科学におけるモデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	4.09 (0.72)		3.4	11.2	85.4
暫定性	科学におけるモデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	2.73 (1.04)	4.10 (0.68)	40.0	40.0	20.0
	科学におけるモデルは、一度作られると将来変わることはない。(R)*	1.76 (0.78)		87.6	7.9	4.5

上段が中学生，下段が大学生 *：(R) は反転項目，暫定性の観点の平均値を算出する際には，得点を反転させた。

**：1,2 = 「1. 全くそう思わない」，「2. あまりそうは思わない」と回答した割合，3 = 「3. どちらでもない」と回答した割合，4,5 = 「4. ややそう思う」，「5. 強くそう思う」と回答した割合

モデルに対する中学生の認識について考察する。科学的モデルに対する学習者の認識を調査した Treagust et al. (2002) は、質問項目別の各選択肢の選択割合をもとに、中等学校の生徒はモデルを、現象を説明・予測するものとしてあまり認識していないという実態を明らかにしている。このような実態は、今回の調査結果とも一致している。このほか、Carey & Smith (1993) は、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述べている。つまり、中学生は、モデルが現象の説明や予測に使える、科学理論を発展させたりすることができるといったモデルの目的に関する認識が低いといえる。また、調査結果の分析から、中学生は限界性や暫定性といったモデルの性質に関する認識も低いことが明らかになった。これらモデルの限界性や暫定性については、これまでの調査研究においてあまり着目

されていなかった観点である。このため、本調査では中学生の科学的モデルに対する認識において、これまでに顕在化されていなかった実態を明らかにすることができたといえる。

6. モデリング能力を育成する指導法への示唆

今回の調査結果から、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や、モデルが持つ説明の限界性や暫定性といった性質に関する認識がまだ確立していない中学生が多いことが示唆された。これらの実態をふまえて、モデルベース推論を育成する指導法への示唆として、以下の2点を導出した。

第一に、そもそも中学生は、モデルが現象の説明や予測に役に立つということをあまり意識していないため、様々な学習場面においてモデルを用いて推論させ、モデルが現象の説明や予測に役

に立つことを実感させる必要がある。例えば、松浦・佐伯(2013)は、中学校理科第一分野「化学変化と原子・分子」の酸素を取り除く反応(酸化銅の還元)の単元において、「酸化銅から銅を取りだすにはどのようにしたらよいか」という課題を設定し、既習事項である化学反応式を用いて仮説を設定させる学習活動を取り入れている。そして、仮説を設定させる際に、「化学反応式カード」と呼ばれる化学反応式のモデルを試行錯誤することができる教材を用いることで、酸化銅から銅を取りだす化学反応について、様々な仮説を形成できたことを報告している。このような学習活動を取り入れることで、モデルが現象の説明や予測に役に立つことを実感させることができると考える。

第二に、科学的モデルの限界性や暫定性を直接的に学習する機会は少ないため、このような特性を実感させることは難しい。しかし、科学的モデルを用いて現象を説明する場面において、「そのモデルでは、どこまでが説明できて、どこからが説明できないのか」といった説明の限界点について話し合ったり、科学的モデルはどのような経緯で構築・修正されていったのかを学習したりすることで、科学的モデルの限界性や暫定性を実感することができると思う。

・引用文献

- Carey, S., & Smith, C.: On Understanding the Nature of Scientific Knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251, 1993.
- Develaki, M.: The Model-based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes, *Science & Education*, 16(7-8), 725-749, 2007.
- Giere, R. N.: *Understanding Scientific Reasoning*, Harcourt College, 1991.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. : 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, 1991.
- 稲田結美・齋藤恵・内ノ倉真吾・小野瀬倫也：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, 2014.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K.: Modelling, Teachers' View on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387, 2006.
- Lehrer, R. & Schauble, L.: Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education, In Sawyer, R. K.(Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science*, Cambridge University Press, 371-387, 2006.
- 松浦拓也・佐伯貴昭：科学的な思考の具体とその育成の視点, 理科の教育, 62(9), 48-51, 2013.
- 森田邦久：理系人に役立つ科学哲学, 科学同人, 2010.
- Nersessian, N. J.: Model-Based Reasoning in Conceptual Change, In Magnani, L., Nersessian, N. J., & Thagard, P. (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, 5-22, Springer, 1999.
- Schwarz, V., Reiser B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J.: 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, 2009.
- 戸田山和久：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, 2005.
- Treagust, F., Chittleborough, G., & Mamiala, T.: Students' understanding of the role of scientific models in learning science, *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368, 2002.
- 内ノ倉真吾：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, 22(3), 17-20, 2008.
- 雲財寛・松浦拓也：科学的推論に関する基礎的研究 - 中学生と大学生の比較を中心として -, 日本理科教育学会第 39 回全国大会論文集, 124-125, 2013.