

令和元年6月21日現在

機関番号：32672

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07150

研究課題名（和文）中学校理科における科学的推論に関する実践的研究 モデルベース推論を基盤として

研究課題名（英文）Practical Research on Scientific Reasoning on Lower Secondary School Students:
Focusing on Model Based Reasoning

研究代表者

雲財 寛（UNZAI, HIROSHI）

日本体育大学・児童スポーツ教育学部・助教

研究者番号：00806838

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、科学的推論の中でも特にモデルベース推論に着目し、モデルベース推論能力を育成する理科学習指導法を考案することを目的とした。この目的を達成するため、モデルによる説明の限界点を認識させ、モデルを修正させるという指導法を考案した。授業実践の結果、考案した指導法は、モデルを修正する力の育成に一定の効果を示すことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、中学生の科学的推論の実態の一部を明らかにした研究である。また、考案した指導法は、中学校理科における問題解決能力を育成する指導法の1つとして位置づけられる。これらの成果は、中学校の理科授業の改善に資する研究であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a teaching method to promote student's model-based reasoning. In order to achieve this purpose, I devised following a teaching method. First, students recognize a limit of the explanation by a model. Second, students revise a model. The results indicated that the devised teaching method had positive effects on promoting revising models of model-based reasoning.

研究分野：理科教育学

キーワード：科学教育 科学的推論 中学校理科 モデルベース推論 科学的モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

科学技術の進歩や高度情報化が進む現代は、企業間、国家間の競争が激化しており、常に新しい知識(情報)の創造が求められている。新しい知識は、既存の知識をもとにした推論によって生まれる。推論とは、単一のあるいは複数の前提をもとに、何らかの結論を導く精神活動のことである(山, 2010)。日本の理科教育において、推論する力は問題解決の能力として位置づけられており、科学的に推論する力の育成は重要な目標の1つになっている。

しかし、平成24年度に行われた全国学力・学習状況調査や、PISAやTIMSSの国際的調査によって、日本の児童・生徒においては知識や理論を適用して仮説を形成したり、種々の実験データをもとに結論を導いたりする力、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。したがって、科学的に推論する力を育成することは喫緊の課題であり、科学的推論に関する研究が重要になってきているといえる。

従来、理科教育における科学的推論に関する研究は、主に帰納や演繹などの推論様式に着目してきた(例えば、柚木, 2007)。一方、近年の認知心理学の研究によって、人間の推論には、推論様式のみならず、推論する際の前提や、推論する際の場面などが影響することが明らかにされているものの(例えば、鈴木, 2010)、現在の理科教育における科学的推論に関する研究では、推論する際の前提や、推論する際の場面に着目している研究は少ない。

このような先行研究の課題から、申請者はこれまでに、近年の科学哲学の研究において注目を集めている「モデルベース推論」と呼ばれる科学的推論の枠組みに着目し、実際の理科の授業に即した具体的な科学的推論の捉え方の提案を試みている。モデルベース推論とは、粒子モデル、磁力線、グラフといった科学におけるモデルを推論の前提と位置づけ、現象の説明や予測を導く推論である(Nersessian, 1999)。このモデルベース推論に着目する理由は以下の通りである。モデルベース推論は、従来の科学的推論の捉え方とは違い、「何を以て推論するか」に着目した捉え方である。そのため、実際の理科の授業で推論する際に用いられるもの(例えば、粒子モデル、磁力線、グラフ)から、それらの特質に応じた具体的な支援や展開を構想することが可能になる。

2. 研究の目的

本研究は、科学的推論の中でも特に、モデルベース推論に着目し、モデルベース推論能力を育成する理科学習指導法を考案することを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 評価方法の考案：指導法の効果を検証するために必要な評価方法を考案する。
- (2) 指導法の考案：モデルベース推論能力を育成する理科学習指導法を考案する。

4. 研究成果

【評価方法の考案】

(1) まず、これまでに開発していた評価問題の調査結果をもとに、中学生の実態について確認した。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ることが明らかになった。また、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が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が理解できていないことが明らかになった。

(2) モデルベース推論の過程に関する研究(たとえば、Justi & Gilbert, 2002; Halloun, 2007)を整理し、過程ごとの子供の発話を想定して、授業中の発話における評価の枠組みを作成した(表1)。なお、この評価の枠組みは、「既存のモデルをもとに、新たな現象を説明するためのモデルを構築する」という授業を想定している。

表1 評価の枠組み

過程	説明	子供の発言の具体例
対応関係の把握	・現象とモデルの対応関係を確認する	・このモデルではこの現象をうまく説明できない ・この現象は が関係しているかもしれない
モデルの構築	・実際にモデルを構築する	・モデルの××は、 と対応させないといけない
モデルの評価 モデルの修正	・現象とモデルの対応関係を評価する ・よりよい対応関係になるように、モデルを修正する	・作ったモデルは説明に矛盾がない ・モデルの を変えたら、もっとうまく説明できそうだ

【指導法の考案】

(1) 指導法の考案

モデルベース推論能力の育成を目的とした学習指導法を考案した。詳細は次の通りである。なお、本研究では、モデルベース推論の中でも特に、「モデルの修正」に焦点を当てた。このため、授業ではモデルを修正する場面を意図的に設定する必要がある。ここで、地学単元では、説明する現象において一対対応でモデルが作られていることが多い。このため、ある現象を説明するモデルは、別の現象をうまく説明できないときがある。たとえば、天体の学習において、月の見え方を説明するモデルの1つである三球儀は、日食をうまく説明することができない。なぜなら、三球儀の月の公転軌道が地球に対して傾いていないため¹⁾、三球儀を用いて説明すると、地球・月・太陽一直線上になる回数が12回となる。この計算は現実の観測日時のデータと整合しない。このような状況を意図的に作ることによって、モデルによる説明の限界を認識させ、モデルの修正場面を設定できるのではないかと考えた。以上より、本研究では、単元「太陽系と恒星」を取り上げ、モデルによる説明の限界点を認識させ、モデルを修正させるという指導法を行うこととした。

(2) 授業実践

2019年1月に公立中学校第三学年の1クラス31名を対象に上述した授業実践を行った。授業実践は、「モデルによる説明とデータの不整合を認識する」、「仮説を検証するためのモデル実験を行い、モデルを修正する」の2つの場面で構成されている。以下にその詳細を示す。

モデルによる説明とデータの不整合を認識する場面

前時までに月の動きと見え方について三球儀を使って学習した。本時では、まず、日食が「地球、月、太陽が一直線に並び、太陽が月に隠れて見えなくなる現象」であることを教示した。次に、日食が起きる頻度について、三球儀を用いて確認した。このとき、上述したように、三球儀を使うと地球、月、太陽が一直線上になる回数が1年間に12回であることを示した。そして、現実の観測日時のデータを示して、日食が1年間に2、3回起きていることを確認した。このように、モデルによる説明とデータの不整合を示した後、上述した話からの疑問を班で検討し、本時の課題を「毎月、日食が起こらないのはどうしてだろうか」と設定した。その後、課題を説明する際のキーワードとして、(天体の)大きさ、(天体間の)距離、月の運動(自転、公転)、地球の運動(公転、自転)、その他の5つを示し、これらの参考に日食が毎月起こらない理由(仮説)を個人で考えさせた。

仮説を検証するためのモデル実験を行い、モデルを修正する場面

個人や班の仮説が妥当かどうかをモデル実験によって確かめさせた。モデル実験の準備物として、太陽を表すモデルとして夜間工事用照明器具、月や地球を表すモデルとして、バレーボールやビー玉など、地球や月の公転軌道を表すモデルとして針金を用意した。実験方法は班で考えさせ、自由にモデル実験を行わせた。モデル実験の例として、たとえば、月の公転軌道に着目している班は、針金の輪を公転軌道に見立てて、自由に動かしてその様子を観察していた。このとき、教師は、モデルとデータの関係性について吟味させるために、「三球儀のどこを変えれば日食が説明できるか」といった修正の視点を焦点化させる声かけや、「モデル実験における、日食の何に対応しているか」といった対応関係を明確化させる声かけを机間指導において行った。そして、モデル実験終了後、結果を班でまとめ、個人や班の仮説が妥当であったかどうかを判断した。

(5) 結果と分析

本授業実践によってモデルベース推論能力における「モデルを修正する力」が育成されているのであれば、その結果として、「日食が毎月起こらない理由について書きなさい」という問題に対し、生徒は、「月の公転軌道が地球に対して傾いていることから」といった記述を行うと考えられる。モデル実験前の解答と単元終了後の解答を採点した結果を表2に示す。

表2 解答の変化 ($n=31$)

		単元終了後		計
		正答	誤答	
モデル実験前	正答	4	0	4
	誤答	15	12	27
	計	19	12	31

表2に示したように、モデル実験前と単元終了後において、正答 正答が4人、正答 誤答が0人、誤答 正答が15人、誤答 誤答が12人であったことから、単元終了後に正答の人数が増えている傾向にあることが読み取れる。そこで、モデル実験前と単元終了後で、正答の人数が増えたかどうかを明らかにするために、ベイズ推定による分析を行った。ベイズ推定に際

しては、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、ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC 法) によって得られた 100000 個の乱数で事後分布、予測分布を近似した。なお、事前分布には、一様分布を用いた。その結果、モデル実験前と単元終了後の正答率の比率の差は、0.282 (0.001) [-0.104, 0.518] であり、単元終了後の正答率はモデル実験前の正答率よりも 28.2 ポイント高かった。比率の比は、1.556 (0.001) [0.830, 2.222] であり、単元終了後の正答率はモデル実験前の正答率の約 1.5 倍であった。このことから、モデル実験を行い、妥当なモデルに修正できた生徒が増えたことが明らかになった。したがって、実践した学習指導法は、モデルを修正する力の育成に一定に効果を示すことが示唆された。

しかしながら、授業終了後の誤答の人数が 31 人中 12 人であったことから、誤答の要因についても検討していく必要があると考える。さらに、本研究では、モデルの修正場面における具体的な生徒の発話の詳細については分析できていない。今後は、モデルの修正ができなかった生徒とモデルの修正ができた生徒の発話を比較することを通して、その要因を特定し、学習指導法を改善していく必要があるといえる。

注

- 1) メーカーによっては月の公転軌道が地球に対して傾いている三球儀も存在する。本実践では月の公転軌道が地球に対して傾いていない三球儀を用いた。

引用・参考文献

- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education, *Science & Education*, 16(7-8), 653-697.
- 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*, 24(4), 369-387.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change, In Magnani, L., Nersessian, N. J., & Thagard, P. (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp.5-22), Kluwer Academic/Plenum Publishers, 5-22.
- 鈴木宏昭 (2010). 問題解決 楠見孝 (編) 現代の認知心理学 3 思考と言語 (pp.30-58) 北大路書房
- 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 (pp.80-103) 北大路書房
- 柚木朋也 (2007). アブダクションに関する一考察 探究のための推論の分類 理科教育学研究 48(2), 103-113.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

雲財寛, 松浦拓也 (2018). 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, 日本体育大学大学院教育学研究科紀要, 査読有, 1(1・2), 139-150.