

科学的推論の成立過程と表象の相互関係を促す教授学習モデルに関する研究

An Instructional Design to Develop Interrelationships between Representation
and the Establishment Process of Scientific Reasoning○上羽貴之^A, 和田一郎^B, 田中明夫^C, 森本信也^B

UEBA, Takayuki, WADA, Ichiro, TANAKA, Akio, MORIMOTO, Shinnya

横浜国立大学大学院^A, 横浜国立大学^B, 横浜国立大学教育人間科学部附属横浜中学校^C

Graduate School of Education, Yokohama National University,

Yokohama Junior High School Affiliated with the College of Education and Human Sciences
at Yokohama National University

〔要約〕 今日、理科教育では平成 27 年度全国学力学習・状況調査の結果を受けて、「科学的な思考・表現」能力の育成が叫ばれている。本研究では、その育成に必要な能力として挙げられている問題解決能力の「推論 (reasoning)」に着眼した。理科学習を通じた推論と捉えられる「科学的推論」を育成するには、その成立過程及び教授学習モデルが明らかとなっていることが要請される。しかし、科学的推論を成立させるための要素や手立て等、詳細な研究が十分なされていないと言いき難い。そこで、本研究では、科学的推論の育成を促す授業デザインの提案を目的とした。その際、タイトラーらが体系化した科学的推論と表象の関連を示したモデルと和田らが提案している表象ネットワークモデルを援用し、表象の視点に立脚することで学習モデルを模式化した。また、タイトラーらが明らかにした大別された 2 つの推論過程に位置付く推論活動を基に教授モデルを模式化した。これらのモデルを基に、実証的に理科授業を分析することで「科学的推論」の成立過程の内実を具体的に明らかにした。

〔キーワード〕 問題解決能力, 科学的推論, 表象, 教授学習モデル

1. 問題の所在と研究の目的

近年、理科教育における子どもの学力は定期的に世界中で調査され、その実態が明らかとされている。我が国においては、平成 27 年度全国学力・学習状況調査によって、依然として「科学的な思考・表現」が課題に挙げられた。

この「科学的な思考・表現」能力の育成に関わる能力として、問題解決能力が挙げられる。文部科学省は育成すべき問題解決能力を小学校の各段階において明記している(文部科学省, 2008)。本研究では、その中でも小学校第 6 学年において育成が要請される「推論 (reasoning)」の能力に着眼した。

この「推論」についてホリオークとモリソンは、「推論することは、ある種思考することである」ということや「思考することは、推論することの

一部である」ことを明らかにしている (Holyoak & Morrison, 2012)。さらに、ジーマーマンは、「科学的推論は学力および内容領域の両方に対し、理科教育及び科学的な概念化に働きかけ、影響を及ぼす可能性を持っている」と主張している (Zimmerman, 2000)。すなわち、「推論」能力を育成することで、科学的思考を育成でき、さらに科学的概念の構築につながるものが明らかとなっているのである。これを踏まえれば、理科学習の中で「推論」能力を活用し自己の思考を表現させることで、「科学的な思考・表現」能力を育成することができるといえる。

以上のことから「推論」能力が、理科学習において「科学的思考・表現」能力の育成に必要な不可欠なものであり、教師はそのための視点をもって教授することを強く要請されるのである。しか

し、理科学習における「推論」過程について、それを成立させる要素や手立て等、具体的な研究が十分なされているとは言い難い。つまり、科学的推論がどのように成立するのか、また成立させるための教授方略とはどのようなものなのかについての詳細な研究や検討は少ない。そこで、本研究では、こうした現状を踏まえ、科学的推論の成立過程を教授学習の立場から明らかにし、その授業デザインの提案を目的とした。

2. 科学的推論と表象との関連

本研究において推論の定義は、「前提（既知の情報や仮説）から、結論（新しい情報）を導こうとする思考のはたらき、また、その過程において結論に言及すること」であるとした（清水, 1984）。また科学的推論の「科学的」とは、「実証性」「再現性」「客観性」という条件について、学習内で検討する手続きを重視するという側面から捉えることができる（文部科学省, 2008）。すなわち、科学的推論ではこの性質を具備できるよう、理科学習全体の中で推論を行っていくことが重要といえるのである。

こうした科学的推論の成立過程を分析する上で、次の指摘は有益である。タイトラーらは、科学的推論の成立過程と表象（representation）との関連を表す研究を行っており、またその中で体系化された推論モデルの提案を行っている（Tytler ら, 2013）。また和田らは、思考の内部

における知識の構成要素や種々の表象の連関を示すものとして図1に示す「表象ネットワークモデル」を提案している（和田ら, 2010）。

つまり、タイトラーらの提案するモデルと表象ネットワークを援用し理科学習を分析することで、科学的推論の成立過程における子どもの思考の内実を明らかにすることができると考えた。

これらのことを踏まえ、本研究ではタイトラーらが提案する体系化された推論モデルと表象ネットワークモデルを基に、次の「科学的推論の成立過程と表象の連関を示す学習モデル」（図2）及び、「科学的推論の成立を促す教授モデル」（図3）を提案する。このモデルを基に授業を分析することで科学的推論の成立過程に関する学習論とそれに対する教授論とを関連付け、本研究における授業デザインの提案を試みる。

3. 科学的推論の教授学習モデルの提案

まず図2に示す学習モデルは、ABCの3つの段階から、構成されている。

「A 事象調査」段階は、理科学習における観察、実験とそこから得られた情報を整理する段階である。ここでは学習の見通しを持ち、事象に対するパターンの発見や特徴を見出す活動が位置付いている。そして見出した特徴から事象に対する分析を行う。こうした活動の充実により、子どもの事象に対する情報は有意義なものとなる。この段階では、主に実際の観察、実験ともいえる3Dの活動的表象から、描画や写真などによって可視化される2Dの映像的表象への変換や、連関が活性化される。

次に「B 表象構築」段階では、今までに構築された表象を変容させ、そのパターンや特徴を解釈することでより整合性の高い表象が構築されていく。すなわち、「A 事象調査」で構築された表象に修正が図られた上で、可視化された表象と「ことば」をコミュニケーションによって対応付け、抽象化していくのである。その抽象化された

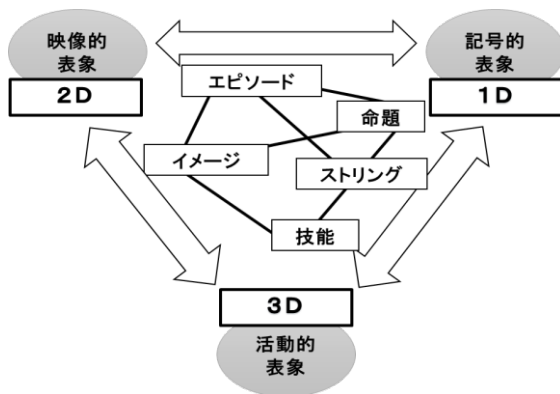


図1 表象ネットワーク（和田・森本, 2010）

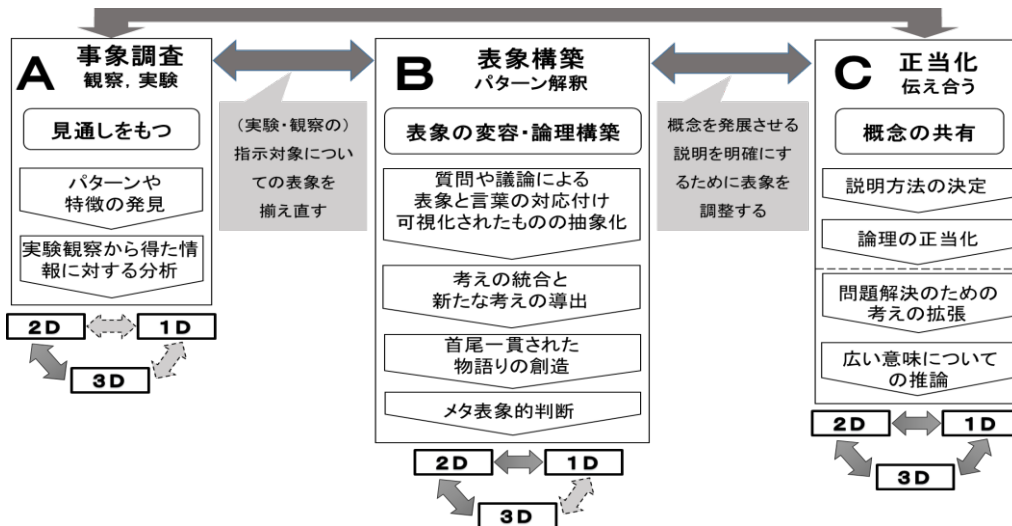


図2 科学的推論の成立過程と表象の連関を示す学習モデル

考えと他者から得た考えなどを統合することで新たな考えを導き、視覚的で首尾一貫された自分なりの「物語り (narrative)」を創造していくのである。野口の指摘を参考にすれば、特定の時間軸上で構築する理論や創造した考え、すなわちその時々々の発言や表現はナラティブと考えられる(野口, 2008)。それに対しメタ認知を適用することで、子どもは構築した表象を客観的に捉え直し、修正を図ることが可能となるのである。このように「B 表象構築」の段階では、種々の表象を俯瞰的に捉えることになる。そして、3Dの表象は2Dの表象を介しながら、ことば等で捉えられる1Dの記号的表象と連関されていく。

そして、「C 正当化」段階では、伝え合う活動を通じて概念の共有を図っていく。そのために、相手に効果的に伝える方法の決定を行う。その方法を基にして社会的に説明できるようにクラスで共有することで、概念の一般化を図る。ここで、一般化された概念は他の事象の問題解決に適用・活用することで、より広い意味について推論できるようになるのである。この構築した概念を伝え合うことを通じ、3D・2D・1Dレベルでの表象を相互連関させることができ、体制化された表象ネットワークともいえるセオリーを形成することが可能となる。以上のように、ABCの段階を通じて種々のレベルの表象の相互変換が活性化する中で、科学的推論は成立するのである。

しかし、こうした科学的推論の成立にはそれを促す教授が必要不可欠である。これに関わりタイトラーらは、科学的推論の成立過程を分析する中で、大別された2つの推論過程とその過程において発生した、表象を通じた推論活動を明らかにした(Tytlerら, 2013)。

表1 大別された推論過程とその推論活動

推論過程	推論活動
I 探査と調査を行うための表象を通じた推論過程	知覚の統合としての推論活動
	データ整理のための材料と記号的な人工物を通じての推論活動
	データを分析し解釈するための推論活動
II 表出する考えを意味が通るように発展させるための推論過程	事象に対する表象を整える推論活動
	表象適切性についての推論活動
	新しい文脈での問題解決のために表象を拡張する推論活動
	メタ表象的判断

つまり、表1に示した大別された2つの推論過程とそこに位置付く推論活動が明らかにされていることから、これに留意し、学習を促すことで科学的推論を成立させることができると考えられる。具体的に、こうした推論活動が理科学習の中でどういった教授によって促進されるかについて述べる。『I 探査・調査を行うための表象を通じた推論過程』では、以下の3つの推論活動が挙げられる。

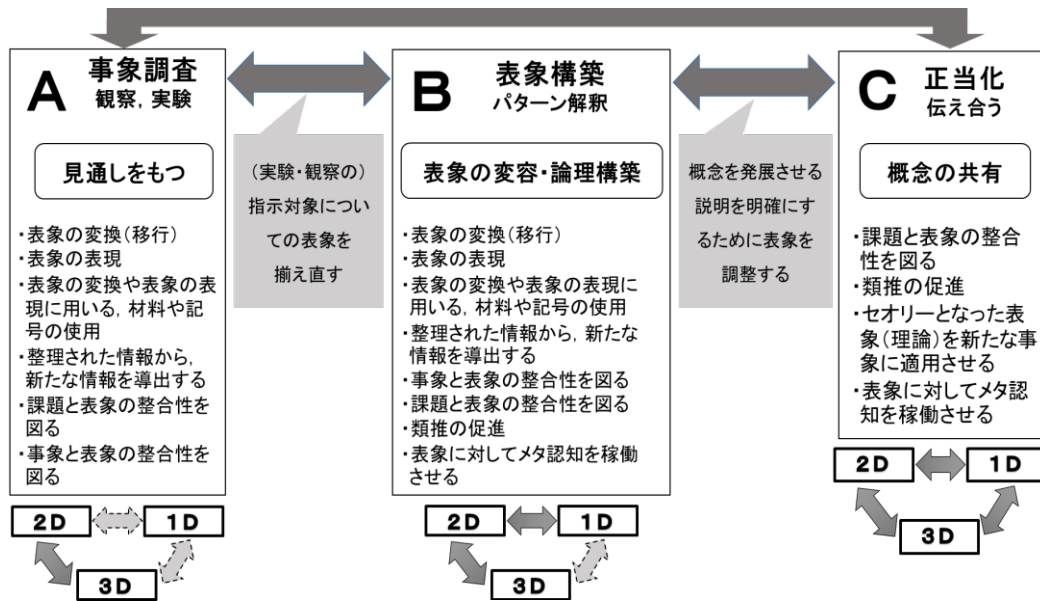


図3 科学的推論の成立を促す教授モデル

「知覚の統合としての推論活動」では、表象の変換や連関を促す活動、さらに表象を表現すること、つまり可視化する活動が位置付くといえる。こうした活動を深化させることで、事象について説明するために重要と思われる要素を取捨選択でき、それらを統合させることができる。

「データ整理のための材料と記号的な人工物を通じての推論活動」では、材料と記号的な人工物として、デジタルカメラ、ホワイトボード、グラフ、表、数字やことば等の道具が挙げられる。つまり観察、実験の結果を整理したり、表象を可視化する際に道具を用いていく活動といえる。

「データを分析し解釈するための推論活動」とは、すなわち事象の分析やナラティブの創造を促進させ、得られた情報を解釈することで新たな情報を導出させる活動といえる。こうした活動は、自己のみならず他者との関わりや議論の中で導出することも考えられる。

『Ⅱ表出する考えを意味が通るように発展させるための推論過程』では、以下の4つの推論活動が挙げられる。

「事象に対する表象を整える推論活動」とは、事象に対する表象を変容させ、理論の構築を行うといった、事象と表象との整合性を図っていく活動といえる。

「表象適切性についての推論活動」とは、科学的推論を成立させるうえで重要である課題や問題に対して適切に表象を変容させたり、取捨選択することである。すなわち各々の段階で課題に対して整合性のとれた表象構築を図り、他者との関わりや他班・クラスへの発表を通じてナラティブやセオリーの妥当性を高める活動といえる。

「新しい文脈での問題解決のために表象を拡張する推論活動」とは、創造されたセオリーを新たな問題解決、すなわち類似の事象に適用させ、そして活用することといえる。つまり、既知の事象をその事象に適用させたり、創造されたセオリーを新たな事象に適用させる活動である。またアナロジーである、事象と事象の類似点から推論する活動(類推)もこの活動といえる。

「メタ表象的推論内の保証」とは、子どもがメタ認知を稼働させ、自己の表象を俯瞰して捉え、妥当性の高い理論の創造を目指す活動といえる。つまりメタ認知を稼働させ、自己のナラティブやセオリーに関わる表象を保証することといえる。

以上のように大別された2つの推論過程に位置付く推論活動を具体的に述べるができる。こうした具体的な教授活動を先に挙げた科学的推論の成立過程に沿って模式化すると、図3のように教授モデルとして表すことができる。

4. 教授学習モデルの実証的分析

前述したモデルを基に、理科学習で実証的に分析する。

1) 時期

2014年11月～2015年1月

2) 対象と単元

国立大学附属中学校3年生3クラス、「月の運動と見え方」

表2 学習指導計画

校時	学習内容
1	月の観察から考察・月の満ち欠けのモデル実験
2・3	俳句にちなみ月の形を考察する
4・5	半月が傾きながら沈む理由
6	金星の満ち欠け
7・8	月と金星の位置

3) 実証的分析

中学校第3学年、月と惑星の見え方の授業を事例として半月が傾いて沈む理由を考察し、科学的な推論活動を行う場面に焦点化した(表2)。

授業では、単元のはじめに行われた月の満ち欠けの授業で出た疑問から、子どもは、月の満ち欠けの概念を適用させ、半月が傾く理由を考察していった。単元の学習前に取得した観察データである表やワークシートを確認し、太陽・地球・月に見立てたモデルを動かしながら、ホワイトボードに描画することで事象を分析したのである。つまり、表や描画によって整理・抽出されたデータを分析することでデータを分析し解釈するための推論活動を行い、さらに実際の月とモデルを対応させる活動である事象に対する表象を整える推論活動が展開されたと考えられる。また、ある班は教師の提案からデジタルカメラを用いることで、より映像的に事象の分析を行った(図4)。これは、デジタルカメラを使用していることから



図4 カメラを用いた分析

データ整理のための材料と記号的な人工物を通じての推論活動と考えられる。このような展開により表象は、3Dの活動的表象から2Dの映像的表象へ変換がなされていったと考えられる。すなわち、これはモデルや事象を描画によって捉えるという表象の変換が行われた証左であり、知覚の統合としての推論活動が展開されたと考えることができる(A事象調査)。

次に、班でコミュニケーションをとりながら、変換された表象とことばを対応付けていった。子どもは、こうした活動を展開していくことで、事象の分析やナラティブの創造を促進させ、データを分析し解釈するための推論活動を行っていったと考えられる。また、デジタルカメラを用いた班では、どのように月を撮影すると地球から見たときと同じ動き方をするのかという目的をもって、コミュニケーションをとりながら、考察していった。これは、議論をしながら目的のために新しい情報の導出を試みていることからデータ整理のための材料と記号的な人工物を通じての推論活動と考えられる。さらにモデルを映像的表象に捉えながら理論を構築していることから事象に対する表象を整える推論活動と考えることができる。この際教師は、地平線について注目させることで、子どもの考察の深化を図った。つまり、課題と表象の整合性を図っているのである。これは、表象適切性についての推論活動と考えられる。このような活動を通じ、子どもなりのナラティブがつけられ、さらにメタ認知を働かせることでそのナラティブを俯瞰的に捉えなおし、

理論の妥当性を高めていった。すなわち、メタ表象的推論内の保証を促していったと考えられる。以上のようにこの段階では、2D の映像的表象を介すことで、実際の事象ともいえる 3D の活動的表象と 1D の記号的表象が連関していった。つまり、この段階においても表象の変換や移行、表現が行われたことから知覚の統合としての推論活動が展開されたと考えられる (B 表象構築)。

そして、そこまでに構築されたナラティブともいえる種々の表象を写真・動画や図を用いながら、コミュニケーションによって説明していったのである。こうしたナラティブの説明では、自己の活動的表象や映像的表象、記号的表象を俯瞰的に捉え直し、再度ことばとしてナラティブを表出させているのである。すなわちメタ表象的推論内の保証を図りながら、自己の表象を説明していったと考えられる。このように他班に発表することで、そのナラティブの妥当性を高めるための理論の検討が行われていった。具体的には、ビデオカメラの映像と地球からの視点に関連していることを証拠に、議論を通じて自転によって弧を描いたり、傾いて沈むことを検討することで表象を整理し、共有していったのである。こうした他者への説明は、課題に適した表象の取捨選択がなされたうえで行われていると考えられる。すなわち、子どもが表象適切性についての推論活動を行ったと考えることができる。このように構築された考えは、子どもの中で正当化され、その事象に対する子どもの科学的概念となっていた。また、教師はそういった考え方を取り上げ、授業の中で価値づけていくことで、クラスでの共有化を図り、取り上げた理論を一般化した。このように一般化された理論は、子どものセオリーと捉えることができ、金星の満ち欠けに適用可能となることで、次の授業の「A 事象調査」段階で既習の事実として用いられていったのである。すなわち、正当化された月の満ち欠けに関する概念を新たな事象である金星の満ち欠けに適用・活用すること

によって、新しい文脈での問題解決のために表象を拡張する推論活動が展開されたと考えられるのである。こうした活動は、知識・理解を促進し、さらに拡張する活動と換言することができる。以上のように、この段階では自己のナラティブを他班に伝えたり、教師の足場づくりによって、理論が一般化されることで、3D 2D 1D レベルの表象が相互連関を果たし、自己のセオリーとして科学的概念が構築されていった (C 正当化)。

5. 結論

本研究では、表象の立場に立脚することで思考の内実を明らかにすることができ、科学的推論の成立過程を具体的に明らかにすることが可能となった。すなわち、論証してきた授業デザインを基に、教授学習を展開することで表象の相互連関が促され、そうした過程を経ることで科学的推論が成立することが明らかとなった。同時に、こうした科学的推論を成立させることによって、「科学的な思考・表現」能力を育成することを可能とした。

引用及び参考文献

- Holyoak, Morrison : Thinking and reasoning : A reader's guide, *Oxford Handbook of Thinking and Reasoning.*, pp14-24, 2012.
- 文部科学省 : 「小学校学習指導要領解説 理科編」, p10, 2008.
- 野口裕二 : 『ナラティブ・アプローチ』, p2, 勁草書房, 2009.
- 清水 御代明 : 推理, 「新訂心理学事典」, pp452-454, 平凡社, 1984.
- Tytler, R. et al. : Reasoning in science through representation. Constructing representations to learn in science, pp. 82 -107, 2013.
- 和田一郎・森本信也 : 子どもの科学概念構築における表象の変換過程の分析とその教授論的展開に関する研究—高等学校化学『化学反応と熱』の単元を事例に一, 理科教育学研究, Vol51, No.1, pp.117-127, 2010.
- Zimmerman, C. : The Development of Scientific Reasoning Skills, *Developmental Review*, Volume 20, Issue 1, pp 99-149, 2000.