

科学的な推論の成立過程と表象との関連

Relationship between Representation and the Establishment Process of Scientific Reasoning

○上羽貴之^A, 和田一郎^B, 森本信也^B

UEBA, Takayuki, WADA, Ichiro, MORIMOTO, Shinnya

横浜国立大学大学院^A, 横浜国立大学^B

Graduate School of Education, Yokohama National University, Yokohama National University

[要約] 本研究では、小学校現行学習指導要領（理科編）で扱われている問題解決能力の一部として位置付けられている「推論(reasoning)」に着眼した。この推論の能力を理科学習において習得させようとするとき、その成立過程の検討が不可欠である。しかし、筆者らが知る限り、科学的な推論の成立過程や要因についての詳細な研究は少ない。そこで、本研究では、この科学的な推論の成立過程について教授・学習論の立場から検討を行うことを目的とした。まず、思考活動の一部である科学的な推論を可視化する方法として和田ら(2010)が開発した、表象ネットワークモデルを用いる。この表象ネットワークモデルと Tytler(2013)が示す「表象を通じた推論の成立過程」のモデルと合わせて分析することで、科学的な推論の内実を明らかにした。その上で、科学的な推論を促進する為の教授法についても検討した。

[キーワード] 問題解決能力, 科学的な推論, 表象構築, メタ判断的表象

1. はじめに

周知の通り、現在の理科教育では全国学力学習状況調査などの結果を受けて、科学的な思考力・表現力育成の強化が目指されている。現行の学習指導要領(理科編)では、小学校ではその育成に関わり、各学年を通して育成すべき問題解決能力が設定されている。その上で中学校では、第六学年で培われた「推論(reasoning)」を基軸に探究活動を展開し、更に高校では、それを深めていくことになる。当然ながら理科学習の中における推論活動では、再現性・実証性・客観性を具備した学習を進めることによって、理科教育で求められている科学的な推論となる。

Zimmerman は「科学的な推論は学力および内容領域の両方に対し、理科教育や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」(Zimmerman,2000)と主張している。また、Kuhn は「科学的な推論育成の最重要点は、意識的に制御された中で理論と証拠の調整を図ることである」(Kuhn,2000)と主張している。これらの主張を踏まえれば、科学的な推論を行う能力が理科学習では必要不可欠なものであり、教師は其中で推論能力を育成するための視点で教授を行わな

ければならないといえる。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についての具体的な研究が十分なされていないとは言い難い。そこで、本研究では科学的な推論の成立過程に関する考察を次に示す表象の立場から明らかにし、理科教育での具体例を示す。

2. 推論と表象の関連

家野によれば、「推論とは、いくつかの前提から結論を導き出すことである」(家野,2000)と定義される。また、藤田は、推論は科学的思考スキルの基礎的思考スキルに位置付けられるとしている(藤田,2013)。すなわち、推論は科学的な思考の一部と捉えることができる。従って、推論過程を精査するためには、その過程を具体的に捉えるための方法が必要となる。そこで、理科学習における思考の内実を可視化する方法として、和田らが提案している図1の「表象ネットワークモデル」(和田ら,2010)を援用し、推論過程を精査することを試みた。すなわち、この表象ネットワークを援用することで、科学的思考スキルとされる推論の過程を可視化できると考えた。この表象ネット

ワークモデルでは、まず子どもの現実的な世界と捉えられる観察・実験などを三次元である活動的表象(3D)としている。3Dの表象は実体験が重要視され、子ども自身が事象に対してどのような活動・体験を行ったかが大切である。この活動的表象をモデルや図やグラフ、さらにはスケッチで表す活動などを通じ、二次元である映像的表象(2D)への変換が促される。そして、子どもに事象を文字として表現させる活動を通じ、表象は最も抽象的である記号的表象(1D)へと変換されていく。1Dの表象には、文字・数式なども該当する。このようにすべての表象が相互変換されることで子どもは知識要素を結合していくと考えられる。この知識要素の内実とは、White,R.T.が分類した記憶要素から、説明できる。具体的には、ストリング、命題、知的技能、イメージ、エピソード、運動技能、そしてこれらを必要に応じて使用できる認知的方略である(White,R.T. 1988)。このような知識要素が相互に関連し体制化されることによって科学概念が構築される。換言すれば、表象の相互変換が起こることによって科学概念構築が促進され、同時に学習も促進するといえるのである。

こうした表象の変換は推論過程において繰り返されている。すなわち、推論過程において表象の変換を捉えることは推論の内実を可視化することと言えるのである。

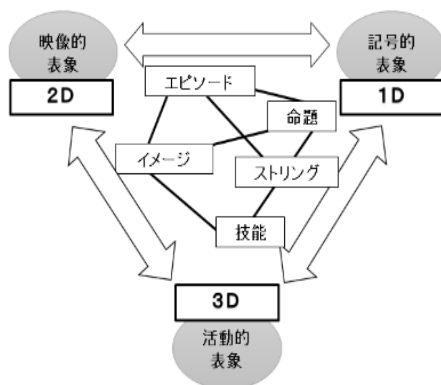


図1 表象の変換過程の内実 (表象ネットワーク)

3. 推論と表象の変換過程の対応付け

理科を通じた推論過程と表象(representation)の関連について Tytler らは、「子どもは理科学習の推論過程の中で、表象構築を行うことにより推論を成立させ科学概念の構築を行っている」と主張し、さらに「子どもの知覚・言語などの表象は、理科学習や科学的な推論の重要な構成要素である」としている (Tytler,2013)。図2は、Tytler らが示した「表象を通じた推論過程」のモデルに表象の変換過程を対応付け、模式化したものである。これは、以下のように推論を通じ表象の変換が活性化されていくことを示している。

まず、このモデルは、ABCの3つの段階から、構成されている。「A 事象の調査」の段階は、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行われる。さらに、実験観察から得た情報に対する分析を行う。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されることになる。

次いで「B 表象の構築」段階では、A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。その抽象化された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。この「物語り」に対しメタ認知を適用することで、子どもは自己の構築した物語りを客観的に捉え直すことが可能となるのである。このようにBの段階では、表象を俯瞰的に捉えながら3Dと2D、さらに1Dへと移行させていく。つまり、図1で説明すれば活動的表象から始まり、映像的表象を通じて記号的表象まで変換されている段階である。

そして、「C 正当化」段階では、概念の共有を図るため相手に効果的に伝える方法の決定を行う。その方法を基に説明し、社会的に説明できるようクラスで共有することで概念の一般化を図る。ここで、一般化された概念を他の事象の説明に用いることでより広い意味について説明でき

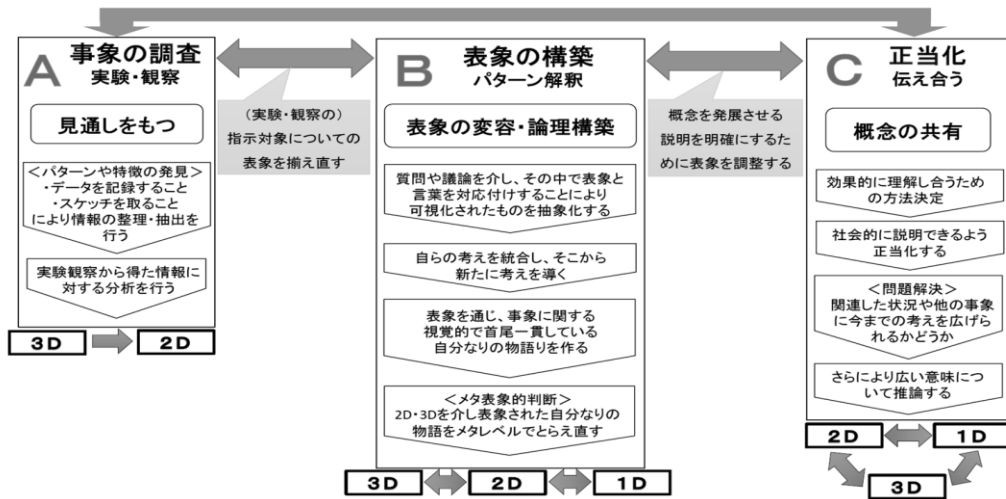


図2 表象を通じた推論過程

るようになる。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することで体制化された表象ネットワークを形成していく。これら、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、推論過程は成立するのである。

理科学習の中で前時を振り返ったり、実験や観察をやり直すという場面は容易に想像できるが、このような場面では、上記の A~C の段階を戻ると考えられる。そうした活動の中で表象変換は活性化するといえることから、「表象の構築」は重要な推論過程となる。段階が移行する際は、子どもの自発的な行動によって展開されることが望ましい。しかし、学習は自然に解決へと展開されていかないので教師の支援が必要となる。A・B の段階では、教師は A の実験観察で得た指示対象に対する表象の捉え直しを促す必要があり、さらに B・C の段階では説明を明確にするために表象を調整することが要請される。

4. 推論過程の事例

推論過程の段階と表象について説明するにあたり、今回は中学校第一学年「水溶液の性質」の水に溶けた物質を取り出す学習を取り上げ、具体的に説明する。

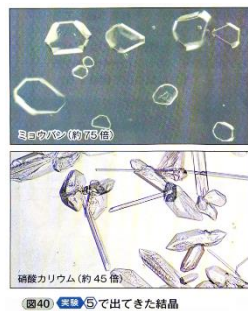


図3 映像的表象の例

例えばこの單元では、始めに種々の物質を溶かし冷やすことで結晶として物質を取り出す活動が行われるが、この活動は言うまでもなく、パターンや特徴の発見場面である。さらに、データやスケッチをすることにより情報の整理・抽出を行う。図3は教科書に載っている結晶の写真である。子どもは顕微鏡から見えるこのような結晶を観察し、スケッチすることで情報の抽出を促進する。つまり、ここでの表象は、表象ネットワークモデルの活動的表象(3D)が映像的表象(2D)へ変換される場面に他ならない。このような表象の変換が行われると同時に、子どもは学習の中で考察を行い、得た情報から事象に対してどのようなことがいえるか解釈するのである。

「B 表象の構築」の段階では、A で観察した再結晶の表象に対し修正が図られる。子どもはその修正された表象を基に、子ども同士または教師との対話を通じて映像的表象と「ことば」を対応付けていき、さらに表象の抽象化を進める。その中で自分の考えや他者から得た考えを統合し新しい考えを導出する。子どもはこのようにして、自分なりに物語りを創造していくのである。例えば、再結晶の様子と溶解度曲線そして、温度や物質の量などを対応させ、「再結晶には温度や物質の量が大きく関係していること」を見出したりする。さらにこのような自分なりの物語りに対して、メタ認知を稼働させることによって、「再結

晶の要因は本当に温度と物質の量なのか」というように自分の考えを客観視し C の段階でより相手に伝わるよう調整を図っていく。この際表象は、再結晶の観察という 3D から、再結晶のイメージ図や結晶のスケッチなどの 2D、さらに言葉という 1D へ移行する。つまり、表象が変容することで子どもの論理が構築されていくのである。

そして、「C 正当化」段階では、概念の共有を図る。B の段階で創造された自分なりの物語りは、C 段階に移る前に相手に伝えるために一度調整を行う。子どもはこの調整をした考えを基に、まず相手に自分の考えをより効果的に伝えるための方法を会話の中で用いた「ことば」やモデル・表・図・教科書のような視覚的な道具の選択を行う。例えば、溶解度曲線のグラフを示し、「温度が下がると溶解度も下がる。つまり溶けきれなくなった物質が結晶として取り出せるのではないか」というように、自分の考えとグラフを対応させ相手に伝わるように発表する。このような活動によって、クラスで合意され一般化を促すことで子どもなりの考えが正当化される。このように一般化された概念は、関連した状況や他の事象に出会ったときに考えを広げていく。例えば、少量の塩化ナトリウムと硝酸カリウムが溶けた水溶液から純粋な硝酸カリウムを取り出す方法を考える問題を与える。これは、硝酸カリウムと塩化ナトリウムの溶解度の違いから、再結晶を利用することで硝酸カリウムだけ取り出すことができるという学習である。このように、更に広い内容について考えを広げることで概念の体制化が進むのである。つまり、構築した表象を「ことば」図やグラフなど多様な要素で伝え合うことにより、図 1 のように 3D・2D・1D レベルでの表象を相互に関連でき、体制化された表象ネットワークを形成できる。これら、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し、推論過程は成立するのである。

B 段階と C 段階との表象の違いは活動的表象と記号的表象が結びつき、3D、2D、1D の相互連関が達成されている点である。この結びつきによって、表象ネットワークは構成され最終的に事象と

「ことば」が結びつき精緻化された科学概念へとなるのである。

5. おわりに

このように ABC の段階を通じ表象の変換は行われ、最終的に他の内容に概念と移行させられることができたとき科学的な推論は成立したといえる。今後は本研究における視点を基軸として、教授法についての検討を行っていきたい。

引用・参考文献

- Corinne Zimmerman, The Development of Scientific Reasoning Skills, *Developmental Review Volume 20, Issue 1*, pp 99-149, 2000.
- Deanna Kuhn & Susan Pearsall(2000) Developmental Origins of Scientific Thinking, *Journal of Cognition and Development, Volume 1, Issue 1*, pp113-129, 2000.
- 藤田剛志：問題解決の授業構成，大高泉「新しい学びを拓く 理科 授業の理論と実践」pp.100-105，ミネルヴァ書房，2013.
- 家野等：論理的推論，武村重和・秋山幹雄「理科重要用語 300 の基礎知識」，p162，明治図書出版，2000.
- 文部科学省：小学校学習指導要領 理科編，大日本図書，2008.
- 塚田捷ほか60人：未来へ広がる サイエンス 1，啓林館，2011.
- Tytler, R. Prain, V. Hubber, P. & Haslam, F. : Reasoning in science through representation. In R.Tytler, V. Prain, P. Hubber, & B. Waldrip (eds.), *Constructing representations to learn in science*, pp. 82 – 107, Sense Publishers, 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.日本理科教育学会
- White,RT., *Learning Science*, pp.22-40, 1988, Basil Blackwell Inc.