

# 理科における表象の流暢性の意味に関する一考察

佐野 綾音\*・和田 一郎\*\*

## A Study of the Meaning of Representational Fluency in Science Learning

SANO Ayane\*, WADA Ichiro\*\*

### 1. 問題の所在と研究の目的

平成 29 年告示の学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けて、各教科等の「見方・考え方」を働かせることの重要性が示された（文部科学省，2017）。理科では、問題解決の過程において理科の見方・考え方を自在に働かせることが求められている。理科の見方は領域ごとの自然を読み解く視点であり，具体的には次のように整理されている。「エネルギー」を柱とする領域では主として量的・関係的な視点で捉え，「粒子」を柱とする領域では主として質的・実体的な視点で捉え，「生命」を柱とする領域では主として共通性・多様性の視点で捉え，「地球」を柱とする領域では主として時間的・空間的な視点で捉えることが重要である。また，理科の考え方は学年ごとに重視される自然を読み解く方法であり，これまでの理科教育で育成されてきた問題解決の能力を基に「比較する」「関係付ける」「条件を制御する」「多面的に考える」などの思考の方法が示された。

しかし，上述した理科の見方・考え方を働かせながら問題解決を進めることは容易ではない。そのため，今後の理科教育では，自然の事物・現象をどのような視点で捉え，どのように思考すればよいかを子ども自身が自覚しながら学習を進める姿の実現が重要課題の一つとなってくる。こうした姿を実現するためには，子どもが既有知識をどのように活用しながら問題解決を行っているのか，また新たに得た知識をどのように既有知識と結びつけているのか，といった心内の表現活動を把握する必要があると考えられる。この心内における表現活動は，表象（representation）が機能している状態であると捉えることができる。特に，理科は多種多様な表象を用いて学習するため，表象間に有意義な接続を形成することが，科学概念の深い理解につながると考えられる。

本研究では，こうした科学概念に関わる表象機能の視点として「表象の流暢性（representational fluency）」に着目する。表象の流暢性とは，「複数の表象を接続したり，ある表象から別の表象に変換，翻訳する手続き」のことである。問題解決の過程において，この手続きが繰り返し行われることで，より科学概念の形成を促進することができ，さらに形成された科学概念に基づいた思考及び表現活動が可能となる。そこで表象の流暢性に関わる理論と実践から，小学校の理科学習における表象の流暢性の意味を捉えることを本研究の目的とする。

---

\*教育学研究科

\*\*理科教育講座

## 2. 理科学習における表象の意味

### 2. 1 科学概念構築と表象の関わり

表象とは、言葉、記号、図表、イメージなどを包含する心内における表現様式である。子どもの心内において、これらの表象は独立してはならず、それぞれの表象間に有意味な接続をもって存在している。この点は、Bruner,J (1977) が提言した表象の形式とその段階性に関する指摘によって、より詳細に示すことが可能である。彼は、子どもが経験した物事を記憶する際に、以下に示す表象の三つの形式を段階的に経ていることを明らかにしている。

#### (1) 活動的表象 (enactive representation)

第一段階は、行動を通して事象を認識する。この段階では、感覚器官で受け取った味や音、光、温度、触覚、匂いなどを通じて事象把握を行う。理科においては、例えば、磁石の異なる極同士を近づけた時に引き合う強さや同じ極同士を近づけた時に退け合う強さを活動的に捉えることである。

#### (2) 映像的表象 (iconic representation)

第二段階は、視覚的な映像を通して事象を認識する。この段階では、事象がもつ視覚的要素とその他の要素を関連付けて、簡略化したイメージとして捉えることが可能となる。理科においては、例えば、豆電球が点灯する現象について、子どもが『「回路を流れる電気の粒」が豆電球を光らせている』というイメージを利用しながら捉えることである。

#### (3) 記号的表象 (symbolic representation)

第三段階は、ことばや記号によって事象を認識または表現する。この段階では、事象がもつ豊富な要素を最も抽象化して表すことが可能である。さらに、この抽象化に伴って情報が洗練されるため、知識として記憶することが容易になる。理科においては、例えば、電圧、電流、抵抗の関係を  $V = IR$  で表記し、ことばを用いながらオームの法則について説明することである。

上述した表象の形式とその段階性を理科の学習過程に基づいて整理すると、はじめに自然の事物・現象を観察・実験などを通じて活動的に捉え、活動によって得た情報を図表やイメージなどに変換し、最終的には、最も抽象性の高いことばや記号として表すことを意味する。つまり、子どもの科学概念は、自然の事物・現象に関する多くの情報を洗練していくプロセスを踏むことで構築されていると考えられる。さらに、和田・森本 (2010) は、上述した Bruner,J の各表象の形式を関連付け、表象の相互変換を円滑なものとすることで、科学概念に関わる知識の精緻化を図ることが可能であることを指摘している。この指摘から、科学概念のより深い理解を促進するためには、表象間に有意味な接続をもたせることが重要である。

### 2. 2 表象能力の段階性

表象間に有意味な接続をつくるためには、様々な表象を操作する能力を身に付ける必要がある。Nichols ら (2016) は、理科における表象を操作するために必要な能力には、「表象の解釈 (interpreting representation)」、「表象形式を用いた説明 (explaining representation)」、「表象間の精緻化

(constructing representation)」などの段階性があることを見出した。「表象の解釈」とは、ある表象について何が表現されているのか、また、どのような方法で表現されているかを捉えながら解釈することである。子どもは、新たに出会った表象形式に含まれる情報を評価しながら、自身に取り込んでいると考えられる。この段階を通じて、新たな表象の心内における位置付けがより明確となる。「表象形式を用いた説明」とは、科学的な事物・現象を説明する際に、事実と根拠に基づいて、複数の表象形式を用いながら他者に伝えることである。この段階では、他者との相互作用の中で表象形式に含まれる情報が精査され、より妥当なものへと変容していくと考えられる。「表象間の精緻化」とは、既存の表象と新たな表象が有する科学的な意味を対応付けることである。この段階に達すると、独立して存在していた表象間に科学的根拠に基づいた有意味な接続が形成される。

これら三つの表象能力を活用して表象間が接続されることで、次の学習や日常生活において、既存の表象を新たな表象と結び付け、表象を操作することが可能となる。

### 3. 表象の流暢性の獲得

上述した表象能力を身に付けることにより、心内における表象の流暢性を獲得することが可能となる。中でも、表象の精緻化、すなわち科学的根拠に基づいた表象間の接続に関する能力は、表象の流暢性を獲得するための前提条件となる (Rau, 2015)。これは、一つ一つが独立して存在していた表象間に橋が架かった状態を意味する。その上で、この表象間の往来に淀みがなく、様々な表象に変換、翻訳できることによって表象の流暢性が達成される。

これに関わり、Airey ら (2009) は表象の流暢性の構造を捉えるために、図1のような仮説モデルを提案している。図1は「オームの法則」の学習について事例的分析を行い、表象同士の結び付きを整理したものである。六角形の各側面は、子どもが自然の事物・現象を科学的に理解するために用いる表象を表している。また、これらの表象には、活動的モード及び映像的モード、記号的モード、数学的モードなど複数のモードが存在する。それらを問題に対して適切に接続させることによって、表象の流暢性は高まっていくことを意味する。

図1において、子どもはオームの法則を理解するために、活動的モード及び映像的モード、数学的モードを利用している。具体的には、オームの法則を、活動的モードを通じて直列回路・並列回路の実験場面の②側面から捉え、また数学的モードを通じて  $V = IR$  で表記される電圧、電流、抵抗の関係の三側面から捉えている。加えて、映像的モードを通じて実験データに基づいた表とグラフを利用することで法則性を見出し、独立してアクセスしていた活動的モードと数学的モード間を接続する。

これにより、数学的モードと活動的モードの往還が可能となり、すべての表象の変換、翻訳が容易になることで表象の流暢性が機能する。なお、疑問符 (図1の「?」の部分) がアクセスする側面は、子どもが科学的な理解を補完するものとして未自覚な表象であり、今後の学習を通じてアクセスする可能性を秘めていることを意味する。このように、表象の流暢性とは物理的に物体をさまざまな角度から見ると同様に、自然の事物・現象を様々な側面から捉えることで多くの表象に変換、翻訳で

きる能力であるといえる。

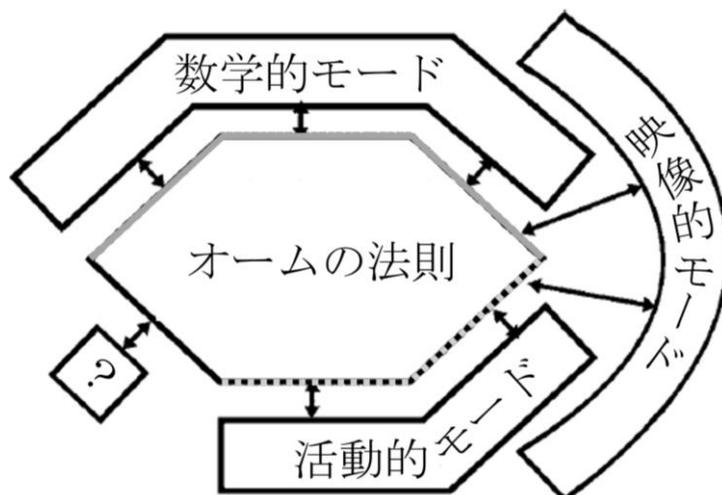


図1 「オームの法則」における表象の流暢性  
(Airey ら (2009) に基づいて作成)

#### 4. 小学校理科の電気分野における表象の流暢性モデルの検討

本研究では、学習指導要領に基づいたカリキュラムを対象とした表象の流暢性モデルを検討する。これまでに、和田・森本 (2010) によって活動的表象及び映像的表象、記号的表象を有機的に関連付けることによって科学概念の理解を深めることができると明らかにされている。つまり、これらの表象の形式間を往来することが、表象の流暢性の一つの姿として説明できる。本研究では、形式間において機能している表象を、Airey らの仮説モデルを援用して具体的に把握することによって、表象の流暢性の意味をより詳細に記述することを志向する。

分析は、令和2年度版の小学校理科の教科書4社 (A~D社) を対象とした。学習内容は、Airey らの仮説モデルとの系統性を担保するため、エネルギー領域の電気分野とした。学年は、小学校において理科を学習する第3学年から第6学年までを対象とした。まず、表象の流暢性を捉えるために、教科書の記述で、活動的モード及び映像的モード、記号的モードを適用していると考えられる表象を抽出し、教科書ごとに表に整理した。その上で、整理した表の内容に基づいて適用されている表象を、Airey らの仮説モデルと対応付けながら統合し、電気分野における表象の流暢性モデルとして模式化した。

上述の手順に基づいて、小学校理科の電気分野を対象とする表象の流暢性モデルの検討を行った結果について述べる。

##### 4.1 小学校第3学年「電気の通り道」における表象の流暢性モデル

本学習では、「電気の回路について、乾電池と豆電球などのつなぎ方と乾電池につないだ物の様子に着目して、電気を通すときと通さないときのつなぎ方を比較しながら調べる活動を通して、それらに

ついでに「理解を図る」ことが目指されている。この学習において、子どもが「電気を通すつなぎ方」を捉えるときに関連すると想定される教科書の記述を抽出したところ、表1に示す結果が得られた。

表1 「電気を通すつなぎ方」の理解に関わる各教科書の記述

	A社	B社	C社	D社
活動的モード				
映像的モード				
記号的モード	わになっている電気の通り道を回路という	わになっている電気の通り道を回路という	電気の通り道のことを回路という	電気の通り道のことを回路という

共通の記述事項として、豆電球と乾電池を導線でつなぎ電気を通すものを調べる実験及び図を用いた現象の説明、言葉による回路の定義が提示されていた。これらの記述を表象形式の観点から、活動的モード及び映像的モード、記号的モードに分類し整理した。

表1の内容を統合すると、子どもが「電気を通すつなぎ方」を捉えるとき、表象の流暢性は図2のように表すことができると考えられる。図2において、子どもは記号的モード及び活動的モード、映像的モードを利用して表象することが想定される。具体的には、電気を通すつなぎ方を、活動的モードを通じて電気を通すものと通さないものを調べる実験場面から捉え、これを映像的モードによる図を利用して実験の結果を整理する。これらを、記号的モードによって「輪になっている電気の通り道」という回路の定義と関連付けて捉えることで、豆電球が点灯することと電気を通す性質とを関連付けて表象することが可能になると考えられる。

つまり、電気を通すつなぎ方を捉える学習においては、明かりがつくものと明かりがつかないものの違いを比較する考え方を働かせて実験を行い（活動的モード）、さらに図を利用（映像的モード）しながら結果を整理することで、各モードにつながりが生まれ「金属は、電気の通り道になるから明かりがつく」「木やゴムは、電気の通り道にならないから明かりがつかない」と結論付けることが可能になると考えられる。

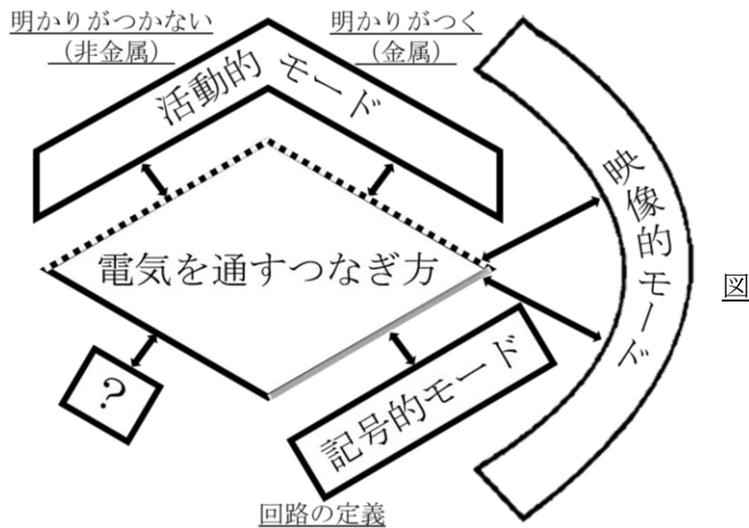


図2 「電気を通すつなぎ方」における表象の流暢性

#### 4.2 小学校第4学年「電流の働き」における表象の流暢性モデル

本学習では、「電流の働きについて、電流の大きさや向きと乾電池につないだ物の様子に着目して、それらに関係付けて調べる活動を通して、それらについての理解を図る」ことが目指されている。この学習において、子どもが「電流の大きさ」を捉えるときに関連すると想定される教科書の記述を抽出したところ、表2に示す結果が得られた。

表2 「電流の大きさ」の理解に関わる各教科書の記述

	A社	B社	C社	D社																																		
活動的モード	<p><b>実験3</b> かん電池のつなぎ方と電流の大きさの関係を探る。</p>	<p><b>実験3</b> かん電池と電流の大きさ</p>	<p><b>実験3</b></p>	<p><b>3</b> かん電池の直列つなぎとへい列つなぎで、回路を通れる電流の大きさを調べる</p>																																		
映像的モード	<table border="1"> <tr> <td>かん電池1個</td> <td>2個直列つなぎ</td> <td>2個へい列つなぎ</td> </tr> <tr> <td>モーターの回転速さ</td> <td>1のときよりも速かった。</td> <td>1のときと同じくらいだった。</td> </tr> <tr> <td>電流の大きさ</td> <td>0.6A</td> <td>1.2A</td> <td>0.6A</td> </tr> </table>	かん電池1個	2個直列つなぎ	2個へい列つなぎ	モーターの回転速さ	1のときよりも速かった。	1のときと同じくらいだった。	電流の大きさ	0.6A	1.2A	0.6A		<table border="1"> <tr> <td>かん電池</td> <td>電流の大きさ (ばりの長さ目盛り)</td> <td>モーターの回る速さ</td> </tr> <tr> <td>1個</td> <td>0.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2個直列</td> <td>1</td> <td>1のときより速い</td> </tr> <tr> <td>2個へい列</td> <td>0.5</td> <td>1のときと同じくらい速い</td> </tr> </table>	かん電池	電流の大きさ (ばりの長さ目盛り)	モーターの回る速さ	1個	0.5		2個直列	1	1のときより速い	2個へい列	0.5	1のときと同じくらい速い	<table border="1"> <tr> <td>かん電池のつなぎ方</td> <td>モーターの回る速さ</td> <td>かん電池の目盛り</td> </tr> <tr> <td>かん電池1個</td> <td>元になる速さ</td> <td>元になる大きさ</td> </tr> <tr> <td>かん電池2個 直列つなぎ</td> <td>速く回る</td> <td>より大きい</td> </tr> <tr> <td>かん電池2個 へい列つなぎ</td> <td>かん電池1個のときと変わらない</td> <td>かん電池1個のときと変わらない</td> </tr> </table>	かん電池のつなぎ方	モーターの回る速さ	かん電池の目盛り	かん電池1個	元になる速さ	元になる大きさ	かん電池2個 直列つなぎ	速く回る	より大きい	かん電池2個 へい列つなぎ	かん電池1個のときと変わらない	かん電池1個のときと変わらない
かん電池1個	2個直列つなぎ	2個へい列つなぎ																																				
モーターの回転速さ	1のときよりも速かった。	1のときと同じくらいだった。																																				
電流の大きさ	0.6A	1.2A	0.6A																																			
かん電池	電流の大きさ (ばりの長さ目盛り)	モーターの回る速さ																																				
1個	0.5																																					
2個直列	1	1のときより速い																																				
2個へい列	0.5	1のときと同じくらい速い																																				
かん電池のつなぎ方	モーターの回る速さ	かん電池の目盛り																																				
かん電池1個	元になる速さ	元になる大きさ																																				
かん電池2個 直列つなぎ	速く回る	より大きい																																				
かん電池2個 へい列つなぎ	かん電池1個のときと変わらない	かん電池1個のときと変わらない																																				
記号的モード	<p>乾電池1個 0.6A 直列つなぎ 1.2A 並列つなぎ 0.6A</p>		<p>乾電池1個 0.5A 直列つなぎ 1A 並列つなぎ 0.5A</p>																																			

共通の記述事項として、乾電池のつなぎ方の違いによる電流の大きさの変化を調べる実験及び、実験の結果を表にまとめて考察する場面が提示されていた。加えて、A社とC社の教科書には、実験で得られた数値データの記述がみられた。これらの記述を表象形式の観点から活動的モード及び映像的

モード、記号的モードに分類し整理した。

表2の内容を統合すると、子どもが「電流の大きさ」を捉えるとき、表象の流暢性は図3のように表すことができると考えられる。図3において、子どもは記号的モード及び活動的モード、映像的モードを利用して表象することが想定される。具体的には、電流の大きさを、記号的モードを通じてA（アンペア）の値から捉え、活動的モードを通じて直列つなぎ及び並列つなぎの実験場面から捉えることになると考えられる。加えて、映像的モードを通じて回路図と表に実験の結果を整理することで乾電池のつなぎ方や個数の違いと、計測した数値的な大きさの変化を関連付けて考えることが可能になると捉えられる。

つまり、電気の大きさを捉える学習においては、量的・関係的な見方を働かせながら実験を行うこと（活動的モード）で、乾電池のつなぎ方の違いや個数の違いに伴って変化する電流の値（記号的モード）には、法則性があることを見出すことで表象間の精緻化が生じ、さらに回路図や表を利用（映像的モード）することで各モードにつながりが生じて、考えをより妥当なものへと高めていくことが可能になると考えられる。

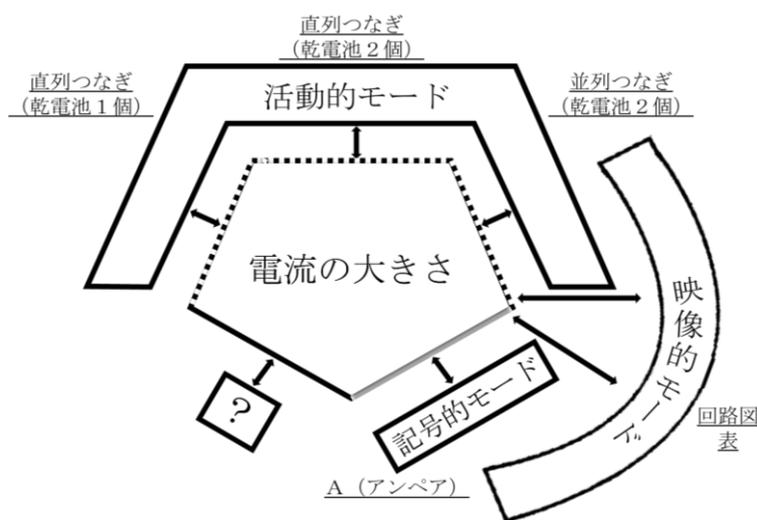


図3 「電流の大きさ」における表象の流暢性

#### 4.3 小学校第5学年「電流がつくる磁力」における表象の流暢性モデル

本学習では、「電流がつくる磁力について、電流の大きさや向き、コイルの巻き数などに着目して、それらの条件を制御しながら調べる活動を通して、それらについての理解を図る」ことが目指されている。この学習において、子どもが「電磁石の強さ」を捉えるときに関連すると想定される教科書の記述を抽出したところ、表3及び表4に示す結果が得られた。

表3では電流の大きさを変化させる実験から電磁石の強さについて考えている記述を整理し、表4ではコイルの巻き数を変化させる実験から電磁石の強さについて考えている記述を整理した。

表3 「電磁石の強さ」の理解に関わる各教科書の記述①

	A社	B社	C社	D社																																																																		
活動的モード	<p>実験2-1 電流の大きさと電磁石の強さの関係を条件を変えて調べる。</p> <p>1 右の図のようにかん電池をつなぎ、目盛に現れる電流の大きさをほかに。</p> <p>2 電磁石をクリップに近づけ、引きつけたクリップの数を調べる。引きつけたクリップを全て外して、さらにくり返し2回調べる。</p> <p>3 かん電池2個を直列につないで、かん電池1個のときと同じように調べる。</p>	<p>実験2 電磁石の強さ</p> <p>1 電流の大きさを変えて、電磁石の強さを調べる。</p> <p>2 コイルの巻き数を増やして、電磁石の強さを調べる。</p>	<p>A 電流の大きさを調べる</p> <p>1 右の図のような回路をつくる。</p> <p>2 電流の大きさを変えたときの、つり上げた鉄のゼムクリップの数を調べて、記録する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>かん電池1個のときと2個直列につないだときとで、調べる。</li> <li>それぞれのときの電流の大きさも調べる。</li> <li>導線のまき数は、100回にして調べる。</li> </ul>	<p>2-1 電流の大きさを調べる。電磁石の強さはどうか変わるか調べる</p> <p>電流の大きさを変えて、電磁石の強さを調べる。</p> <p>かん電池1個のときと、2個直列につないで、目盛に現れる電流の大きさをほかに。</p> <p>かん電池1個のときと、2個直列につないで、電磁石につくクリップの数を調べる。</p> <p>電磁石につくクリップの数は、それぞれ3回調べる。</p> <p>結果を表にまとめる。</p>																																																																		
映像的モード	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">かん電池の数</th> <th rowspan="2">電流の大きさ</th> <th colspan="4">クリップの数</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1個</td> <td>1.2 A</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2個</td> <td>1.7 A</td> <td>9</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>23</td> </tr> </tbody> </table>	かん電池の数	電流の大きさ	クリップの数				1回目	2回目	3回目	合計	1個	1.2 A	9	3	4	10	2個	1.7 A	9	7	7	23	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">かん電池の数</th> <th rowspan="2">電流の大きさ</th> <th colspan="3">つり上げた鉄のゼムクリップの数</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1個</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2個直列</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	かん電池の数	電流の大きさ	つり上げた鉄のゼムクリップの数			1回目	2回目	3回目	1個					2個直列					<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">調べる条件(変える条件)</th> <th rowspan="2">そろえる条件(変えない条件)</th> <th rowspan="2">結果の予想(クリップの数)</th> <th colspan="3">結果(クリップの数)</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電流の大きさ</td> <td>コイルのまき数</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>かん電池1個 1 A</td> <td>50回</td> <td>少</td> <td>5個</td> <td>4個</td> <td>6個</td> </tr> <tr> <td>かん電池2個 2 A</td> <td>50回</td> <td>多</td> <td>10個</td> <td>11個</td> <td>9個</td> </tr> </tbody> </table>	調べる条件(変える条件)	そろえる条件(変えない条件)	結果の予想(クリップの数)	結果(クリップの数)			1回目	2回目	3回目	電流の大きさ	コイルのまき数					かん電池1個 1 A	50回	少	5個	4個	6個	かん電池2個 2 A	50回	多	10個	11個	9個
かん電池の数	電流の大きさ			クリップの数																																																																		
		1回目	2回目	3回目	合計																																																																	
1個	1.2 A	9	3	4	10																																																																	
2個	1.7 A	9	7	7	23																																																																	
かん電池の数	電流の大きさ	つり上げた鉄のゼムクリップの数																																																																				
		1回目	2回目	3回目																																																																		
1個																																																																						
2個直列																																																																						
調べる条件(変える条件)	そろえる条件(変えない条件)	結果の予想(クリップの数)	結果(クリップの数)																																																																			
			1回目	2回目	3回目																																																																	
電流の大きさ	コイルのまき数																																																																					
かん電池1個 1 A	50回	少	5個	4個	6個																																																																	
かん電池2個 2 A	50回	多	10個	11個	9個																																																																	
記号的モード	<p>1.2Aのときのクリップ数</p> <p>① 3個 ② 3個 ③ 4個</p> <p>1.7Aのときのクリップ数</p> <p>① 9個 ② 7個 ③ 7個</p>			<p>1Aのときのクリップ数</p> <p>① 5個 ② 4個 ③ 6個</p> <p>2Aのときのクリップ数</p> <p>① 10個 ② 11個 ③ 9個</p>																																																																		

共通の記述事項として、電流の大きさを変えて電磁石の強さを調べる実験及び、実験の結果を表にまとめて考察する場面が提示されていた。加えて、A社とD社の教科書には、実験で得られた数値データの記述がみられた。これらの記述を表象形式の観点から活動的モード及び映像的モード、記号的モードに分類し整理した。

表4 「電磁石の強さ」の理解に関わる各教科書の記述②

	A社	B社	C社	D社																																																																		
活動的モード	<p>実験2-2 コイルの巻き数と電磁石の強さの関係を条件を変えて調べる。</p> <p>1 右の図のようにかん電池をつなぎ、目盛に現れる電流の大きさをほかに。</p> <p>2 電磁石をクリップに近づけ、引きつけたクリップの数を調べる。引きつけたクリップを全て外して、さらにくり返し2回調べる。</p> <p>3 コイルの巻き数を100回まきにして、50回まきと同じように調べる。</p>	<p>2 コイルの巻き数を変えて、電磁石の強さを調べる。</p> <p>コイルの巻き数を増やして、電磁石の強さを調べる。</p>	<p>B 導線のまき数を変える</p> <p>1 Aの回路で、導線のまき数を変えたときの、つり上げた鉄のゼムクリップの数を調べて、記録する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>それぞれのときの電流の大きさも調べる。</li> <li>かん電池の数は、1個にして調べる。</li> </ul>	<p>2-2 コイルの巻き数を変えて、電磁石の強さはどうか変わるか調べる</p> <p>コイルの巻き数を変えて、電磁石の強さを調べる。</p> <p>50回まきにしたときと、100回まきにしたときとで、目盛に現れる電流の大きさをほかに。</p> <p>50回まきにしたときと、100回まきにしたときとで、電磁石につくクリップの数を調べる。</p> <p>電磁石につくクリップの数は、それぞれ3回調べる。</p> <p>結果を表にまとめる。</p>																																																																		
映像的モード	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">コイルの巻き数</th> <th rowspan="2">電流の大きさ</th> <th colspan="4">クリップの数</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50回</td> <td>1.2 A</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>100回</td> <td>1.2 A</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	コイルの巻き数	電流の大きさ	クリップの数				1回目	2回目	3回目	合計	50回	1.2 A	3	4	3	10	100回	1.2 A	8	9	8	25	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">コイルの巻き数</th> <th rowspan="2">電流の大きさ</th> <th colspan="3">つり上げた鉄のゼムクリップの数</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100回</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>200回</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	コイルの巻き数	電流の大きさ	つり上げた鉄のゼムクリップの数			1回目	2回目	3回目	100回					200回					<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">調べる条件(変える条件)</th> <th rowspan="2">そろえる条件(変えない条件)</th> <th rowspan="2">結果の予想(クリップの数)</th> <th colspan="3">結果(クリップの数)</th> </tr> <tr> <th>1回目</th> <th>2回目</th> <th>3回目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コイルのまき数</td> <td>電流の大きさ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>50回</td> <td>かん電池1個 1 A</td> <td>少</td> <td>4個</td> <td>6個</td> <td>5個</td> </tr> <tr> <td>100回</td> <td>かん電池1個 1 A</td> <td>多</td> <td>9個</td> <td>10個</td> <td>11個</td> </tr> </tbody> </table>	調べる条件(変える条件)	そろえる条件(変えない条件)	結果の予想(クリップの数)	結果(クリップの数)			1回目	2回目	3回目	コイルのまき数	電流の大きさ					50回	かん電池1個 1 A	少	4個	6個	5個	100回	かん電池1個 1 A	多	9個	10個	11個
コイルの巻き数	電流の大きさ			クリップの数																																																																		
		1回目	2回目	3回目	合計																																																																	
50回	1.2 A	3	4	3	10																																																																	
100回	1.2 A	8	9	8	25																																																																	
コイルの巻き数	電流の大きさ	つり上げた鉄のゼムクリップの数																																																																				
		1回目	2回目	3回目																																																																		
100回																																																																						
200回																																																																						
調べる条件(変える条件)	そろえる条件(変えない条件)	結果の予想(クリップの数)	結果(クリップの数)																																																																			
			1回目	2回目	3回目																																																																	
コイルのまき数	電流の大きさ																																																																					
50回	かん電池1個 1 A	少	4個	6個	5個																																																																	
100回	かん電池1個 1 A	多	9個	10個	11個																																																																	
記号的モード	<p>50回巻きときのクリップ数</p> <p>① 3個 ② 4個 ③ 3個</p> <p>100回巻きときのクリップ数</p> <p>① 8個 ② 9個 ③ 8個</p>			<p>50回巻きときのクリップ数</p> <p>① 4個 ② 6個 ③ 5個</p> <p>100回巻きときのクリップ数</p> <p>① 9個 ② 10個 ③ 11個</p>																																																																		

表4においても共通の記述事項として、コイルの巻き数を変えて電磁石の強さを調べる実験及び、実験の結果を表にまとめて考察する場面が提示されていた。加えて、A社とD社の教科書には、実験で得られた数値データの記述がみられた。これらの記述を表象形式の観点から活動的モード及び映像的モード、記号的モードに分類し整理した。

的モード，記号的モードに分類し整理した。

表3及び表4の内容を統合すると，子どもが「電磁石の強さ」を捉えるとき，表象の流暢性は図4及び図5のように表すことができると考えられる。

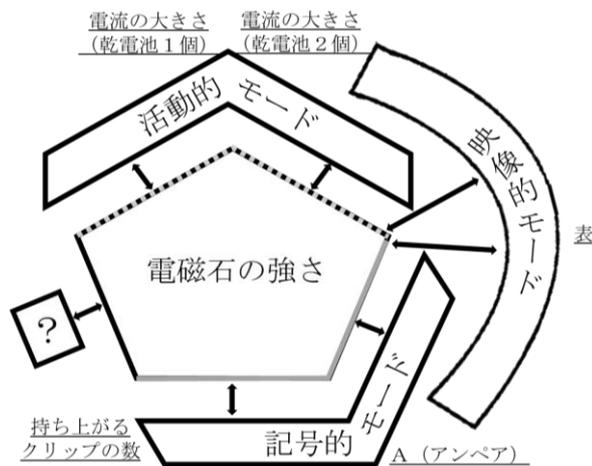


図4 「電磁石の強さ」における表象の流暢性①

まず，図4において，子どもは記号的モード及び活動的モード，映像的モードを利用して表象することが想定される。具体的には，電磁石の強さを，記号的モードを通じてアンペアの値と電磁石によって持ち上げられたクリップの個数から捉え，活動的モードを通じて電流の大きさを変化させる実験場面から捉えることになると考えられる。加えて，映像的モードを通じて表に実験の結果を整理することで電流の大きさの変化と，アンペアの値とクリップの個数などの数値的な大きさの変化を関連付けて考えることが可能になると捉えられる。

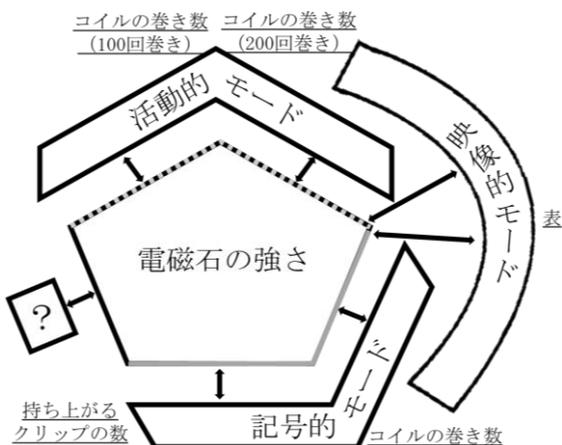


図5 「電磁石の強さ」における表象の流暢性②

また，図4と同様に図5においても，子どもは記号的モード及び活動的モード，映像的モードを利

用して表象することが想定される。具体的には、電磁石の強さを、記号的モードを通じてコイルの巻き数と電磁石によって持ち上げられたクリップの個数から捉え、活動的モードを通じてコイルの巻き数を変化させる実験場面から捉えることになると考えられる。加えて、映像的モードを通じて表に実験の結果を整理することでコイルの巻き数を変化させる実験場面と、コイルの巻き数及びクリップの個数などの数値の変化を関連付けて考えることが可能になると捉えられる。

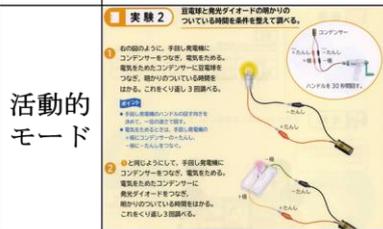
つまり、電磁石の強さを捉える学習においては、量的・関係的な見方及び条件制御の考え方を働かせながら実験を行うこと（活動的モード）で、持ち上がるクリップの個数やコイルの巻き数、電流（記号的モード）の値に相関性を見出すことで表象の精緻化が生じる。さらに、表を利用（映像的モード）しながら関係付けを行うことで、各モードにつながりが生まれると考えられる。

また、疑問符のアクセスとして、子どもがもつ不確定な電場と磁場の概念が隠れていることが想定される。本学習において、導線を通る電流の大きさと磁力の強さの関係性について具体的に捉えることで、中学校理科で学習する磁界中の電流が受ける力の概念への足場かけを行うことは重要であると考えられる。

#### 4.4 小学校第6学年「電気の利用」における表象の流暢性モデル

本学習では、「発電や蓄電、電気の変換について、電気の量や働きに着目して、それらを多面的に調べる活動を通して、それらについての理解を図る」ことが目指されている。この学習において、子どもが「コンデンサーに蓄えた電気の利用」を捉えるとき、関連すると想定される教科書の記述を抽出したところ、表5に示す結果が得られた。

表5 「コンデンサーに蓄えた電気の利用」の理解に関わる各教科書の記述

	A社	B社	C社	D社																																			
活動的モード																																							
映像的モード	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>1回目</td> <td>2回目</td> <td>3回目</td> </tr> <tr> <td>豆電球</td> <td>34秒</td> <td>35秒</td> <td>32秒</td> </tr> <tr> <td>発光ダイオード</td> <td>3分以上</td> <td>3分以上</td> <td>3分以上</td> </tr> </table>		1回目	2回目	3回目	豆電球	34秒	35秒	32秒	発光ダイオード	3分以上	3分以上	3分以上	<table border="1"> <tr> <td>豆電球に光が点いた時間</td> <td>発光ダイオードに光が点いた時間</td> </tr> <tr> <td>14秒</td> <td>2分20秒</td> </tr> </table>	豆電球に光が点いた時間	発光ダイオードに光が点いた時間	14秒	2分20秒	<table border="1"> <tr> <td>豆電球</td> <td>30秒</td> </tr> <tr> <td>発光ダイオード</td> <td>5分以上</td> </tr> </table>	豆電球	30秒	発光ダイオード	5分以上	<table border="1"> <tr> <td>調べる時間</td> <td>豆電球</td> <td>発光ダイオード</td> </tr> <tr> <td>光っているか</td> <td>光っている</td> <td>光っている</td> </tr> <tr> <td>電流の大きさ</td> <td>電流の大きさ</td> <td>電流の大きさ</td> </tr> <tr> <td>30秒後</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>60秒後</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	調べる時間	豆電球	発光ダイオード	光っているか	光っている	光っている	電流の大きさ	電流の大きさ	電流の大きさ	30秒後			60秒後		
	1回目	2回目	3回目																																				
豆電球	34秒	35秒	32秒																																				
発光ダイオード	3分以上	3分以上	3分以上																																				
豆電球に光が点いた時間	発光ダイオードに光が点いた時間																																						
14秒	2分20秒																																						
豆電球	30秒																																						
発光ダイオード	5分以上																																						
調べる時間	豆電球	発光ダイオード																																					
光っているか	光っている	光っている																																					
電流の大きさ	電流の大きさ	電流の大きさ																																					
30秒後																																							
60秒後																																							
記号的モード	豆電球の点灯時間 ①34秒 ②35秒 ③32秒 発光ダイオードの点灯時間 ①3分以上 ②3分以上 ③3分以上	豆電球の点灯時間 14秒 発光ダイオードの点灯時間 2分20秒	豆電球の点灯時間 30秒 発光ダイオードの点灯時間 5分以上																																				

共通の記述事項として、コンデンサーに蓄えた電気を豆電球と発光ダイオードにつないで点灯時間を比較する実験及び、実験の結果を表にまとめて考察する場面が提示されていた。加えて、A社及び

B社，C社の教科書には，実験で得られた数値データの記述がみられた。また，D社の教科書には点灯時間の比較だけではなく，そのときに流れる電流の大きさを比較する実験が提示されていた。これらの記述を表象形式の観点から活動的モード及び映像的モード，記号的モードに分類し整理した。

表5の内容を統合すると，子どもが「コンデンサーに蓄えた電気の利用」を捉えるとき，表象の流暢性は図6のように表すことができると考えられる。図6において，子どもは記号的モード及び活動的モード，映像的モードを利用して表象することが想定される。具体的には，コンデンサーに蓄えた電気の利用を，記号的モードを通じて電流の大きさと点灯時間から捉え，活動的モードを通じてコンデンサーに蓄えた電気を発光ダイオードと豆電球の点灯に利用する実験場面から捉えることになると考えられる。加えて，映像的モードを通じて実験の結果を表に整理することで，発光ダイオードと豆電球の違いを多面的に考えることが可能になると捉えられる。

つまり，コンデンサーに蓄えた電気の利用を捉える学習においては，比較の考え方を働かせながら実験を行うこと（活動的モード）で，電流の大きさの変化や点灯時間の差（記号的モード）を見出すことになる。これによって表象間の精緻化が生じ，さらに表を利用（映像的モード）することで，電流の大きさの変化と点灯時間を関連付けて思考することで各モードにつながりが生じ，普段の生活で発光ダイオードが多く利用されている理由などを思考し，表現することが可能になると考えられる。

また，本学習は，小学校の電気分野で初めて時間的な視点を働かせることになる。これは，電流の消費と点灯時間とを関連付けて思考し表現することで，疑問符のアクセスとして想定される中学校理科の学習内容である，電力や仕事量の概念の萌芽につながると考えられる。

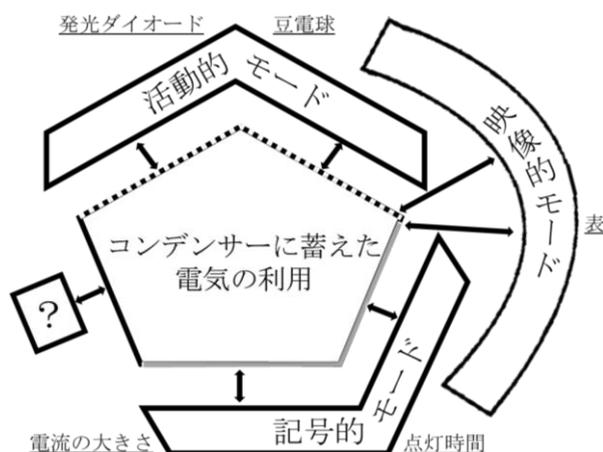


図6 「コンデンサーに蓄えた電気の利用」における表象の流暢性

## 5. 研究のまとめ

本研究では，科学概念に関わる表象機能の視点から，小学校の理科学習における表象の流暢性の構造を捉えることを目的に，学習指導要領に基づいたカリキュラム(エネルギー領域の一部)を対象とする表象の流暢性モデルの検討を行った。その結果，以下の諸点が明らかとなった。

- (1) Airey らが提案する仮説モデルを援用することによって、小学校理科における表象の流暢性の一部を構造化することが可能となった。
- (2) 子どもが自然の事物・現象を捉える際には、活動的モード及び記号的モード間の接続を形成するために映像的モードが作用し、各表象に結びつくことを詳細に把握することが可能となった。
- (3) 表象同士が関連づき、表象の流暢性が機能するための要素として理科の見方・考え方が寄与していることが示唆された。

以上のカリキュラムに基づいた分析から、子どもは自然の事物・現象を科学的に理解するために、複数のモードを利用しながら、表象を組み合わせ思考・表現していることが考えられる。今後は、子どもの実態に基づいた分析を行い、表象の流暢性モデルを精緻化していく必要があると考える。

### 参考・引用文献

- Airey,J.&Linder,C. (2009) A Disciplinary Discourse Perspective on University Science Learning: Achieving Fluency in a Critical Constellation of Modes, *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (1), 27-49
- 有馬朗人ら (2020) 『たのしい理科 3年』, 大日本図書, 132-145
- 有馬朗人ら (2020) 『たのしい理科 4年』, 大日本図書, 28-43
- 有馬朗人ら (2020) 『たのしい理科 5年』, 大日本図書, 140-157
- 有馬朗人ら (2020) 『たのしい理科 6年』, 大日本図書, 164-183
- ブルーナー (田浦武雄・水越敏行訳) (1977) 『改訳版 教授理論の建設』, 黎明書房, 25-28
- 石浦章一ら (2020) 『わくわく理科 3』, 新興出版社啓林館, 112-123
- 石浦章一ら (2020) 『わくわく理科 4』, 新興出版社啓林館, 32-43
- 石浦章一ら (2020) 『わくわく理科 5』, 新興出版社啓林館, 154-171
- 石浦章一ら (2020) 『わくわく理科 6』, 新興出版社啓林館, 168-187
- 文部科学省 (2017) 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 7-14
- 毛利衛ら (2020) 『新しい理科 3年』, 東京書籍, 126-137
- 毛利衛ら (2020) 『新しい理科 4年』, 東京書籍, 40-53
- 毛利衛ら (2020) 『新しい理科 5年』, 東京書籍, 134-149
- 毛利衛ら (2020) 『新しい理科 6年』, 東京書籍, 148-167
- Nichols,K., Gillies,R. & Hedberg,J. (2016) Argumentation-Based Collaborative Inquiry in Science Through Representational Work: Impact on Primary Students' Representational Fluency, *Research in Science Education*, 46, 343-364
- Rau,M.A. (2015) Enhancing undergraduate chemistry learning by helping students make connections among multiple graphical representations, *Chemistry Education Research and Practice*, 654-669

- Osborne,R. & Freyberg,P. (森本信也・堀哲夫訳) (1988) 『子ども達はいかに科学理論を構成するか  
ー理科の学習論ー』, 東洋館出版社, 35-43
- 霜田光一ら (2020) 『みんなと学ぶ 小学校理科 3年』, 学校図書, 124-137
- 霜田光一ら (2020) 『みんなと学ぶ 小学校理科 4年』, 学校図書, 40-55
- 霜田光一ら (2020) 『みんなと学ぶ 小学校理科 5年』, 学校図書, 120-137
- 霜田光一ら (2020) 『みんなと学ぶ 小学校理科 6年』, 学校図書, 173-199
- 和田一郎・森本信也 (2010) 「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  
展開に関する研究ー高等学校 化学「化学反応と熱」の単元を事例にー」, 『理科教育学研究』, 第 51  
巻, 第 1 号, 117-127