

小学校理科における表象の流暢性の実態に関する事例的研究

佐野 綾音¹
 遠藤 寛²
 岩本 俊³
 和田 一郎⁴

【要 約】

最近の理科教育では、子どもの思考力や表現力の更なる育成を目指すことが重要課題の一つとなっている。子どもは、理科において多様な表象のモード（言葉や記号、表、グラフ、図など）を互いに関連付け、思考・表現しながら学習を進めている。本研究では、それらの表象のモード間の接続および変換過程について、その実態を明らかにすることを試みた。具体的には、上記の実態を捉えるためのモデルを提案する Airey & Linder (2009) の指摘を基に、小学校理科授業を事例に分析し、表象のモード間の接続が形成される実態を捉え、学習の中で表象のモードの接続および変換過程の質的変容を捉えた。事例的分析の結果から、小学校理科学習において表象のモード間の接続は5つのパターンに分類されることが明らかとなった。また、理科の学習過程における表象のモードの接続と変換に関わる要因を明らかにした。

[キーワード] 理科学習, 表象, 表象の流暢性

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、学校教育の方針として「知識の質を更に高め、確かな学力を育成すること」が設定された（文部科学省, 2017）。これは、知識および技能の習得水準を維持した上で、思考力、判断力、表現力等の更なる育成を目指すものである。理科では、既有知識を基に自らの考えを表現する能力や観察・実験の結果などを整理、分析した上で解釈、考察し説明する能力の育成が求められる。

しかし、平成 30 年度に実施された全国学力・学習状況調査（小学校理科）において、観察・実験の結果を分析し考察した内容を表現することや、観察・実験の結果を踏まえてより妥当な考えに改善していくことに課題があることが明らかになっている（国立教育政策研究所, 2018）。したがって、今後の理科教育では、実験の結果を分析・解釈する能力および

既有知識に基づいて自らの考えを科学的に表現する能力を育成することが重要課題の一つになる。こうした能力の育成に向けて、知識をどのように活用しながら問題解決を進めているのか、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、心内の表現活動である表象（representation）の機能を捉える必要があると考えられる。

ブルーナー（1977）は、3つの表象のシステムの存在を指摘しており、各システムが機能した結果として活動的表象（enactive representation）、映像的表象（iconic representation）、記号的表象（symbolic representation）の3つの表象の「形」で現れると説明した¹⁾。さらに、Gilbert（2008）は、理科学習において、事象を把握する次元を3次元、2次元、1次元に整理し、各次元で用いられる表象のモード（心内における表現活動の特徴に応じて、その形式を分類したもの）には、知覚情報などに基づく巨視的モード、ジェスチャーや分子模型などに基づく微視的モード、そして記号や数式などに基づく記号的モードが存在することを指摘した。なお、先述のブルーナー（1977）の表象の「形」についての指摘は表象のモードと同義と捉えられる。

¹ 横浜国立大学大学院教育学研究科

² 横浜国立大学三ツ沢小学校

³ 横浜国立大学本郷小学校

⁴ 横浜国立大学

さらに、理科の各学習領域においても表象のモードに関する研究が進められてきた。例えば、Stojanovska, Petrusovski & Soptrajanov (2014) は、化学においては、観察、実験に基づく巨視的モード (macroscopic) から原子や分子、イオンに基づく超微視的モード (submicroscopic) での解釈を経て、化学記号や数式に基づく記号的モード (symbolic) へ段階的に移行するように、3つの表象のモードを踏まえて指導する必要性を指摘した。また、Tsui & Treagust (2013) は、生物学においては、肉眼で観察する巨視的モード (macroscopic)、顕微鏡で観察する微視的モード (microscopic)、DNA やたんぱく質などを分子レベルで捉える超顕微的モード (submicroscopic)、遺伝子型や化学反応式などの記号的モード (symbolic) の4つの表象のモードを考慮して指導する必要があると指摘した。そして、Redish (2012) は、物理学においては、言葉や方程式、図表、グラフなどの多様な表象を用いて学ぶため、これらの表象のモード間の相互変換や接続を考慮して学ぶ必要があると指摘した。

国内の研究においても、和田・森本 (2010) は、理科学習では、これらの表象のモードに関連を持たせ、相互変換を円滑にすることが、科学概念構築を促進させることを明らかにしている。これは、理科学習において活動的表象、映像的表象、記号的表象の3つのモードを繰り返し変換させることの重要性を指摘するものである。この研究を踏まえて、内ノ倉・北原・下古立 (2018) は、図的表現に対して子どもがもつ認識の実態を明らかにした。また、宮本 (2021) は表象の書き換えを通して、てこのつり合いの等式を導出する指導法を考案した。

上記の先行研究では、表象のモードを整理し、そのモードの変換を促す指導といった、教授の観点からの検討が中心である。しかし、子どもの学習の実態として、表象のモードの円滑な変換に関わる具体的な要因は未だ明らかになっていない。つまり、学習の観点から表象のモード同士がどのように接続し、また変換されるのかを捉える必要があるといえる。

Nichols, Gillies & Hedberg (2016) は、心内において複数の表象のモードを接続したり、ある表象のモードから別の表象のモードに変換したりするなどの手続きを「表象の流暢性 (representational fluency)」と定義した。また、Airey & Linder (2009) は、表象が外部へと表出された談話を分析することで、心内における表象の流暢性を可視化するモデルを提案した。詳細は後述するが、彼らは大学生にインタビュー調査を行い、オームの法則の理解に関わる表

象のモード内の諸要素と、その接続と変換の様態をモデル化した。表象のモードの接続とは直列・並列回路の実験 (活動的表象) とその実験結果を整理したグラフ (映像的表象)、 $V=IR$ の等式 (記号的表象) を関連付けることである。また、表象のモードの変換とは上記のような表象のモードを自覚し、観察した事象をグラフや言葉に変換させて表現することを意味する。

このことから、先述した実験の結果を分析・解釈する能力および既有知識に基づいて自らの考えを科学的に表現する能力の育成に向けては、表象の流暢性を高めていくことが重要になると考えられる。しかしながら、問題解決の過程での表象のモードの接続と変換の実態や、これらの質的変容については調査されていない。

以上のような背景から、本研究では、小学校理科の学習を事例として、表象の流暢性の実態とその質的変容について明らかにすることを試みる。具体的には、表象の流暢性を捉える仮説モデルを提案する Airey ら (2009) の指摘に基づいて、表象のモード間の接続が形成される実態を捉え、さらに学習の中で表象のモードの変換過程について明らかにする。

2. 子どもの学習と表象のモード間の接続形成

Airey ら (2009) は、表象のモード間の接続を捉えるために、図1のモデルを提案している。これは「オームの法則」の学習について事例的分析を行い、表象のモード間の結びつきとモードを構成する要素を整理したものである。

図1における六角形の中心には学習目標 (オームの法則) を捉え、また各辺は子どもが自然事象を科学的に理解するために用いる表象のモードを表している。各辺には、活動的モードや映像的モード、記号的モード、数学的モード、言語的モード²⁾ などの多様なモードが含まれる (表1)。これらの中から、いくつかの表象のモードを組み合わせることによって、学習目標を捉えることができると説明している。

具体的にはオームの法則について、活動的モードとして直列回路・並列回路の実験の2側面 (図1の点線部) から捉え、次に数学的モードとして $V=IR$ で表記される電圧、電流、抵抗の関係を3側面 (図1の緑線) から捉えている。

加えて、映像的モード³⁾ として実験結果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、独立していた活動的モードと数学的モード間に接続を形成している。これらのモード間の接続により、活動的モードと数学的モードの往還が可能となる。

このように、映像的モードを媒介とすることで活動的モードと数学的モード間の変換が円滑になり、表象の流暢性は高まる。

この中で、疑問符(図1の?)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のモードであり、今後の学習を通じてアクセスしうる可能性を秘めていることを意味する(例えば、オームの法則の微分型表現など)。

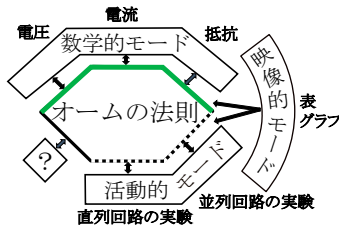


図1 「オームの法則」における表象の流暢性 (Airey & Linder (2009) を基に作成)

表1 表象のモードと事象把握の内容 (Aireyら (2009), Stojanovskaら (2014) を基に作成)

モード	事象把握の内容
活動的モード	観察・実験などによる知覚情報を基に事象を把握する
映像的モード	視覚的な映像を通して事象を把握, 表現する
言語的モード	個人の主観を含んだ言葉によって事象を把握, 表現する
記号的モード	言葉や記号, 数字などによって事象を把握, 表現する
数学的モード	事象がもつ数学的要素からの把握, 表現する

佐野・和田 (2021) は、このモデルを援用し、学習指導要領に基づいたカリキュラムを分析することにより、小学校理科における表象の流暢性をより詳細に分析している。そこでは、第3から6学年までの電気領域の学習内容を対象として分析した。この先行研究を踏まえ、本研究では小学校理科の授業への適用を試み、子どもの表象の流暢性の実態について検討する。

3. 小学校理科授業における事例的分析

3.1 実施時期

2020年11月

3.2 実施対象

横浜市内公立小学校 第3学年17名(予想または考察におけるノートの記述なし9名を除いた)

3.3 実施単元

小学校第3学年 理科「風とゴムの力の働き」

3.4 授業実践の概要

本実践は、10年以上の教育経験を有する小学校教諭によって展開された。授業は、表2に示す学習内容を計11時間で実施した。

第1次は、ゴムロケットを飛ばす活動を通じて気づいたことを学級で共有し、ゴムの伸びとロケットの飛距離との関係性について話し合いが行われた。第2次では、第1次で作成した学習問題に対して個人で予想した後、それを学級で共有した。その後、実験を行い、その結果に基づいて考察した。第3次は、帆かけ車にうちわで風を当てる活動を通じて気づいたことを学級で共有し、風の強さと車が進んだ距離との関係性について話し合いが行われた。第4次では、第3次で作成した学習問題に対して個人で予想した後、それを学級で共有した。その後、実験を行い、その結果に基づいて考察した。

表2 学習内容

次数	時間	学習事項
1次	1~2	ゴムロケットで遊ぶことを通じて、気づいたことから学習問題を作成した。
2次	3~4	「ゴムを伸ばす長さを変えると、車が動く距離は変わるのだろうか」
3次	5~7	風で動く車で遊ぶことを通じて、気づいたことから学習問題を作成した。
4次	8~11	「風の強さを変えると、車が動く距離は変わるのだろうか」

3.5 分析対象

本研究では、表2に示した学習内容のうち、第3~4次を分析対象とした(第1~2次は、新型コロナウイルス感染拡大の影響もあり、通常の授業を実施することが困難であったためである)。

3.6 分析方法

本授業実践の開始前に、本学習において想定される表象の流暢性モデルを佐野・和田(2021)の指摘に基づき、小学校学習指導要領解説(理科編)および授業で使用した教科書を基に作成した(表3)。ここでは、学習指導要領で明記されている学習目標と対応づけて整理した。

まず、学習指導要領に示される本学習の目標は、「風の力は、物を動かすことができること。また、風の力の大きさを変えると、物が動く様子も変わること」について理解することである。これを踏まえ、

「風の力が物を動かすこと」を説明することが本単元の中心目標であると捉え、図1のモデルの多角形の中心に据えた。

次に、上記の目標を達成するために子どもが用いる表象モードについて、Aireyら(2009)、Stojanovskaら(2014)のモードに関する指摘(表1)を参考に教科書を分析した。この分析は、図1の仮説モデルにおける「表象のモード(多角形の各辺)」にあたる部分である。予想段階では自由試行で捉えた内容(活動的モード)から学習問題に対する予想(言語的モード)を立て、それらのモード間を風で動くおもちゃを作った生活科のエピソード(映像的・言語的モード)が媒介しながら接続することが想定された。また、考察段階では実験で観察した内容(活動的モード)と実験結果(記号的モード)を実験結果に基づいた棒グラフ(映像的モード)を媒介しながら接続することが想定された。これらを踏まえ、作成した表3のモデルは、表象の流暢性が最も高い状態を表している。本研究では、この表3を判断基準として学習過程における表象の流暢性を分析した。なお、学習経験や生活経験などのエピソードや、子どものイメージを言語化したものは、その場面の映像を想起しながら言語化していると捉え、映像的・言語的モードに分類した。

表3 学習目標と想定される表象の流暢性モデル

	学習目標	表象の流暢性モデル
予想段階	<ul style="list-style-type: none"> 風の力は、物を動かすことができること 風の力の大きさを変えると、物が動く様子も変わる 	<p>映像的・言語的モードを媒介として、2つのモード(活動的モードと言語的モード)を接続している</p>
考察段階	<ul style="list-style-type: none"> 風の力は、物を動かすことができること 風の力の大きさを変えると、物が動く様子も変わる 	<p>映像的モードを媒介として、2つのモード(活動的モードと記号的モード)を接続している</p>

分析にあたり、授業での教師と子どもの発話内容とノート記述を用いた。予想と考察の場面における

発話内容とノート記述から表象の流暢性の実態を捉え、その質的変容について、以下の手順で分析した。なお、表象は心内での表現であるため、直接観察はできない。このため、外部へ表現されたノート記述から表象の流暢性の実態を判断した。

まず、図1のモデルにおける多角形の中心にあたる学習の目標部分として、子どもが風の働きについて捉えている内容を分析した。具体的には、発話内容とノート記述から、学習指導要領に示される本学習の目標に関わる内容について言及しているかを分析した。その結果、子どもが言及している内容は「風の力が物を動かすこと」「風の力」「風(エネルギーに関する記述なし)」の3つに大別できた。

次に、図1のモデルにおける多角形の各辺にあたる部分として、子どもが風の働きについてどのような表象のモードを用いて学習しているかを分析した。具体的には、表1を参考に子どもの発話内容とノート記述に基づいて表象のモードの分類を行った。なお、発話内容とノート記述からでは、表象のモードが判断できない子どもに関してはインタビューを行い、そのインタビュー内容を基に分類を行った。さらに、表象のモード間が映像的モードを媒介として接続されているのか否か分析を行い、接続が形成されていると判断した場合にはどのような関係性で接続が形成されているのかについても分析を行った。以上の「学習指導要領の目標に関わる内容」と「表象のモードの接続に関わる内容」について表3の判断基準を基に、表象の流暢性をタイプ別に分類した。

最後に、予想から考察の場面にかけて表象の流暢性のタイプがどのように変容したかについて傾向を分析した。さらに、表象の流暢性が変容した要因についても分析を行った。なお、これらの分析は研究者3名によって行い、モードの分類や表象の流暢性モデルの妥当性を評価した。評価に違いが生じた場合には協議を行った上で判断した。

4. 結果及び考察

4.1 予想と考察の場面における表象の流暢性

分析対象とした第3~4次における本学習の目標は「風の力は、物を動かすことができること。また、風の力の大きさを変えると、物が動く様子も変わることを理解することである(文部科学省, 2017)。目標達成に向けて、第3次の活動を踏まえ、学習問題「風の強さを変えると、車が動く距離は変わるのだろうか」に対する予想を立てた。この場面における発話内容とノート記述を用いて表3に基づき、表象の流暢性を分類した。なお、第3次の活動では風の強

さの条件を制御したり、車の進む距離を測定したりすることは行ってない。そのため、風の強さや車の進む距離に関する記述および発言は、子どもの主観を含んだ表現であると判断し、言語的モードに分類

した。その結果、表象の流暢性はタイプ I (流暢性：低) ~タイプ V (流暢性：高) の 5 タイプに分類できた (表 4)。

タイプ V は、映像的・言語的モードを媒介として

表 4 予想場面における表象の流暢性のタイプ (N = 17)

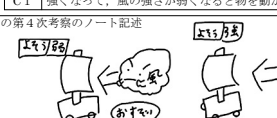
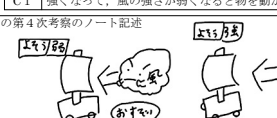
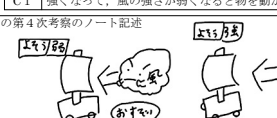
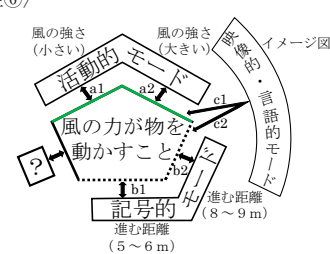
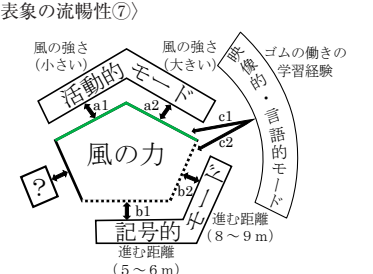
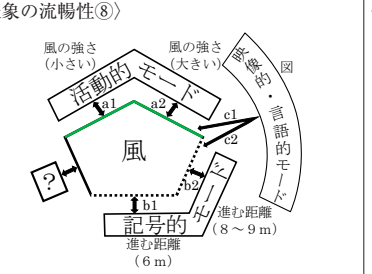
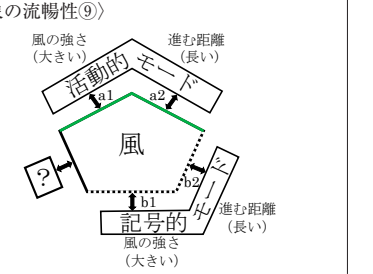
タイプ V [N = 4 (24%)]													
<p>〈C1の表象内容〉</p> <table border="1"> <tr> <td>モード</td> <td>事象把握の内容</td> </tr> <tr> <td>活動的モード</td> <td>・第3次の学習活動 (a) うちわからでる風の強さと、風によって車が進む様子を把握した</td> </tr> <tr> <td>言語的モード</td> <td>・C1の第4次予想のノート記述 (b) </td> </tr> <tr> <td>映像的・言語的モード</td> <td>・C1の第4次予想の共有場面での発言 (c) <table border="1"> <tr> <td>T</td> <td>車が風を押すの？</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>		モード	事象把握の内容	活動的モード	・第3次の学習活動 (a) うちわからでる風の強さと、風によって車が進む様子を把握した	言語的モード	・C1の第4次予想のノート記述 (b)	映像的・言語的モード	・C1の第4次予想の共有場面での発言 (c) <table border="1"> <tr> <td>T</td> <td>車が風を押すの？</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。</td> </tr> </table>	T	車が風を押すの？	C1	風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。
モード	事象把握の内容												
活動的モード	・第3次の学習活動 (a) うちわからでる風の強さと、風によって車が進む様子を把握した												
言語的モード	・C1の第4次予想のノート記述 (b)												
映像的・言語的モード	・C1の第4次予想の共有場面での発言 (c) <table border="1"> <tr> <td>T</td> <td>車が風を押すの？</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。</td> </tr> </table>	T	車が風を押すの？	C1	風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。								
T	車が風を押すの？												
C1	風がふーって吹くと髪の毛も動くでしょ。それと同じで車も動く。												
<p>〈表象の流暢性①〉</p> <p>C1の表象内容について、図1に基づきモード間の接続を分析すると、表象の流暢性①のように表すことができる。C1は、風の力が物を動かすことについて、第3次の活動の風の強さが大きいと車の進む距離が長くなること (a1, a2) から、学習問題に対する予想 (b1, b2) を立てている。また、活動的モードと言語的モードの間を風の押す力によって髪の毛が動いた生活経験である映像的・言語的モード (c1, c2) を媒介させて説明していると捉えられる。</p>													
<p>タイプ IV [N = 5 (29%)]</p> <p>〈表象の流暢性②〉</p> <p>タイプIVは、活動的モードと言語的モードの間に映像的・言語的モードを媒介させながら風の力について説明しているタイプ。映像的・言語的モードにおいて、自らの生活経験を踏まえて風には力があることを説明している。</p>	<p>タイプ III [N = 6 (35%)]</p> <p>〈表象の流暢性③〉</p> <p>タイプIIIは、活動的モードと言語的モードの間に映像的・言語的モードを媒介させながら風について説明しているタイプ。映像的・言語的モードにおいて、ゴムの働きの学習経験を踏まえているものの、風がもつ力については説明していない。</p>												
<p>タイプ II [N = 1 (6%)]</p> <p>〈表象の流暢性④〉</p> <p>タイプIIは、活動的モードと言語的モードの2つのモードを用いながら、風について説明しているタイプ。映像的モードが機能していないため、風がもつ力については説明できていない。</p>	<p>タイプ I [N = 1 (6%)]</p> <p>〈表象の流暢性⑤〉</p> <p>タイプIは、活動的モードと言語的モードの2つのモードを用いながら、風について説明しているタイプ。映像的モードが機能していないため、風がもつ力については説明できていない。また、活動的モードおよび言語的モードにおいて車が進む距離の変化を具体的に説明できていない。</p>												

2つのモード（活動的モードと言語的モード）を接続し、風の力が物を動かすことについて説明しているタイプである。タイプIVは、映像的・言語的モードを媒介として2つのモード（活動的モードと言語的モード）を接続し、風の力について説明しているタイプである。タイプIIIは、映像的・言語的モードを媒介として2つのモード（活動的モードと言語的モード）を接続し、風について説明しているタイプである。タイプIIおよびタイプIは、活動的モードと言語的モードのみを用いて、風について説明しているタイプである。その中でも、風の大きさを変えると車の距離がどのように変わるのかについて説明がないものをタイプIとした。全体傾向として、タイプIIIが35%と最も多く、次いでタイプIVが29%、タイプVが24%であった。これらは全体の80%を

占めた。また、タイプIIとタイプIはそれぞれ6%であった。

次に、考察場面における表象の流暢性の実態についても同様に分析を行った。学習問題「風の強さを変えると、車が動く距離は変わるのだろうか」に対する考察のノート記述と発話内容を用いて、表3に基づき、表象の流暢性を分類した。なお、第4次の実験では風の強さの条件を制御して、車の進む距離をメジャーで測定した。そのため、風の強さや車の進む距離に関する記述および発言は、実験結果を踏まえた客観性が担保された表現であると判断し、記号的モードに分類した。その結果、表象の流暢性はタイプII（流暢性：低）～タイプV（流暢性：高）の4タイプに分類できた（表5）。全体傾向として、タイプVが53%と最も多く、次いでタイプIV、タイ

表5 考察場面における表象の流暢性のタイプ (N = 17)

タイプV [N = 9 (53%)]								
<p>〈C1の表象内容〉</p> <table border="1"> <tr> <td>モード</td> <td>事象把握の内容</td> </tr> <tr> <td>活動的モード</td> <td>・第4次の実験 (a) 送風機に手をかざして風の強さを大きくした時と小さくした時の手ごたえを把握した。</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">記号的モード</td> <td>・C1の第4次考察の共有場面での発話 (b) C1 弱い時は車は5mから6mぐらいで少ししか動かないけど、強い時は8mから9mで弱い時よりも動いたってことは風の力が強いほど、車が風が当たって速く動く。 (中略) C1 (絵も) 同じことで、弱い時はあまり動かない、強い時は車が速く動くということ。弱い風の時に、風が本気を出しても距離は長くはならない。 T 風が強いほど、火山当たってことね。 (中略) C1 風の強さが強くなると物を動かす力も強くなって。 T 風の強さが強くなると物を動かす力も? C1 強くなって、風の強さが弱くなると物を動かす力も弱くなる。</td> </tr> <tr> <td>・C1の第4次考察のノート記述 (c) </td> </tr> </table>		モード	事象把握の内容	活動的モード	・第4次の実験 (a) 送風機に手をかざして風の強さを大きくした時と小さくした時の手ごたえを把握した。	記号的モード	・C1の第4次考察の共有場面での発話 (b) C1 弱い時は車は5mから6mぐらいで少ししか動かないけど、強い時は8mから9mで弱い時よりも動いたってことは風の力が強いほど、車が風が当たって速く動く。 (中略) C1 (絵も) 同じことで、弱い時はあまり動かない、強い時は車が速く動くということ。弱い風の時に、風が本気を出しても距離は長くはならない。 T 風が強いほど、火山当たってことね。 (中略) C1 風の強さが強くなると物を動かす力も強くなって。 T 風の強さが強くなると物を動かす力も? C1 強くなって、風の強さが弱くなると物を動かす力も弱くなる。	・C1の第4次考察のノート記述 (c) 
モード	事象把握の内容							
活動的モード	・第4次の実験 (a) 送風機に手をかざして風の強さを大きくした時と小さくした時の手ごたえを把握した。							
記号的モード	・C1の第4次考察の共有場面での発話 (b) C1 弱い時は車は5mから6mぐらいで少ししか動かないけど、強い時は8mから9mで弱い時よりも動いたってことは風の力が強いほど、車が風が当たって速く動く。 (中略) C1 (絵も) 同じことで、弱い時はあまり動かない、強い時は車が速く動くということ。弱い風の時に、風が本気を出しても距離は長くはならない。 T 風が強いほど、火山当たってことね。 (中略) C1 風の強さが強くなると物を動かす力も強くなって。 T 風の強さが強くなると物を動かす力も? C1 強くなって、風の強さが弱くなると物を動かす力も弱くなる。							
	・C1の第4次考察のノート記述 (c) 							
	<p>〈表象の流暢性⑥〉</p> 							
	<p>C1の表象内容のノート記述における「よそう」という記述は、風が車を押ししている様子（目視不可能な事象）をC1の想像で記述したという意味である。 C1の表象内容について、図1に基づきモード間の接続を分析すると、表象の流暢性⑥のように表すことができる。C1は、活動的モードと記号的モードの間に映像的・言語的モードを媒介させながら風の力が物を動かすことについて説明していると捉えられる。</p>							
	<p>タイプIV [N = 3 (18%)]</p> <p>〈表象の流暢性⑦〉</p> 	<p>タイプIII [N = 3 (18%)]</p> <p>〈表象の流暢性⑧〉</p> 	<p>タイプII [N = 2 (12%)]</p> <p>〈表象の流暢性⑨〉</p> 					
	<p>タイプIVは、活動的モードと記号的モードの間に映像的・言語的モードを媒介させながら風の力について説明しているタイプ。映像的・言語的モードにおいて、ゴムの働きの学習経験を踏まえて風には力があることを説明している。</p>	<p>タイプIIIは、活動的モードと記号的モードの間に映像的・言語的モードを媒介させながら風について説明しているタイプ。映像的・言語的モードにおいて、直接観察が可能な実験の様子を図に表しており、風がもつ力については説明できていない。</p>	<p>タイプIIは、活動的モードと記号的モードの2つのモードを用いながら風について説明しているタイプ。映像的モードが機能していないため、風がもつ力については説明できていない。</p>					

ブⅢがそれぞれ18%であった。これらは全体の約90%を占めた。また、タイプⅡは12%であった。

4.2 表象の流暢性の変容パターン

以上の分析に基づいて、予想から考察の場面への表象の流暢性の推移を表6に整理した。

本実践における表象の流暢性の変容パターンは、表6の通りである。具体的には、a) 上昇型（青線：

中群→高群、b) 上昇型（赤線：低群→中群）、c) 維持型（緑線：高群）、d) 維持型（黄線：中群）、e) 維持型（紫線：低群）、f) 低下型（黒線：中群→低群）の6つに分類できた。

表7は、予想と考察の場面における表象の流暢性の各変容パターンを整理したものである。以下、表7を用いて表象の流暢性が変容した要因について考察していく。なお、各変容パターンに分類した子どもの記述や発言は表現が異なっているものの、表象のモードは事例に示す子どもと同傾向を示していた。

表6 予想から考察の場面への表象の流暢性の推移 (N = 17)

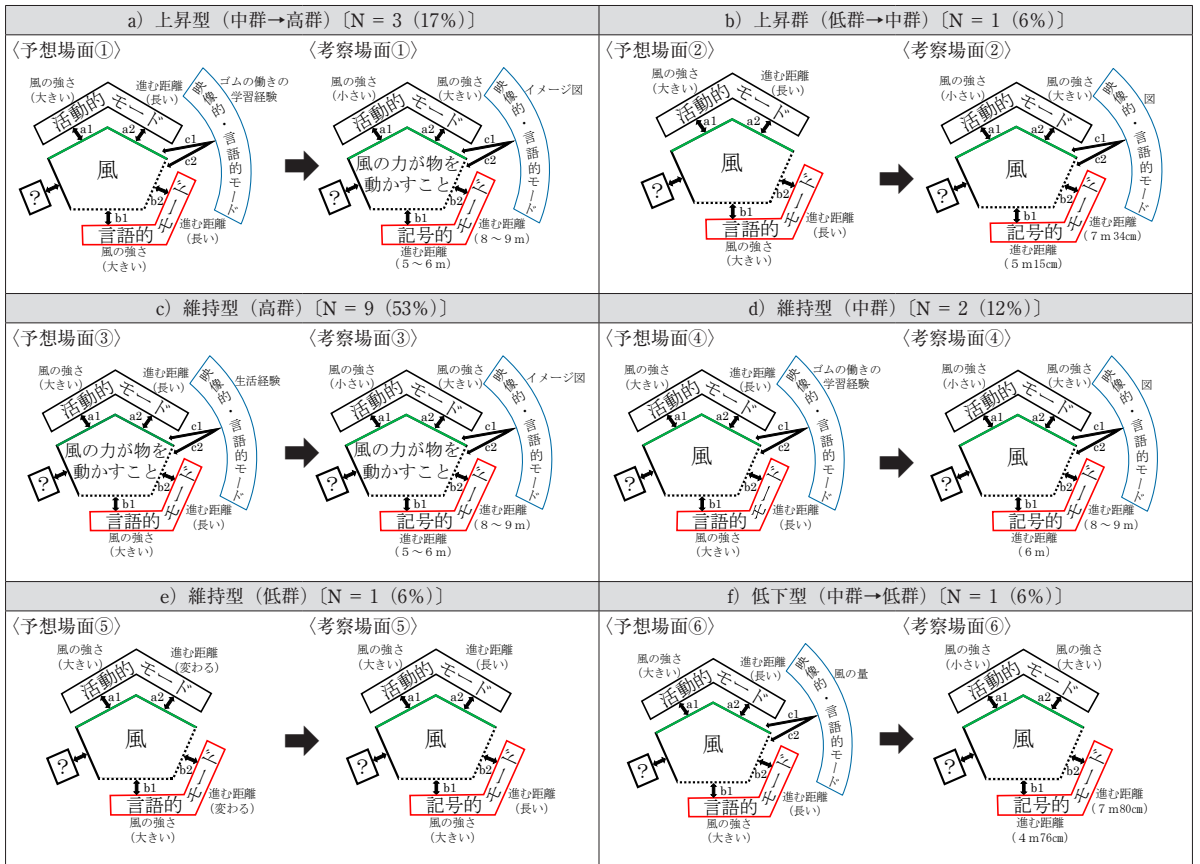
	予想場面	人数 (%)	推移	人数 (%)	考察場面
低群	タイプⅠ	1 (6)	1	0 (0)	タイプⅠ
	タイプⅡ	1 (6)		2 (12)	タイプⅡ
中群	タイプⅢ	6 (35)	1	3 (18)	タイプⅢ
	タイプⅣ	5 (29)		3 (18)	タイプⅣ
高群	タイプⅤ	4 (24)	2	9 (53)	タイプⅤ
				3	

4.2.1 変容パターン a) 上昇型（中群→高群）

「上昇型（中→高）」の子どもは3名（17%）であった。この中で、C2を事例に表象の流暢性が上昇した要因について考察する。

C2の表象の流暢性の変容を表7の予想場面①と考察場面①に示した。C2の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード（表7の赤線部）と、映像的・言語的モード内（表7の青

表7 表象の流暢性の変容パターン (N = 17)



線部)で変換が生じた。上記のモード変換に関わり、C2へのインタビュー内容を表8に示す。

実験結果を用いて考察した理由について、C2は表8(a)のように車が進んだ距離の差を詳しく説明するためと回答した。このことから、言語から記号へのモード変換が生じたと解釈できる。また、考察でイメージ図(表8(b))を用いて説明した理由について、表8(c)のように実験したことでイメージがもてたからと回答した。これによって、ゴムの働きの学習経験からイメージ図へと映像的・言語的モード内で変換が生じたと解釈できる。

これらのモード変換が生じたことから、C2は手が風によって押された手ごたえ(活動的モード)と実際に車が進んだ距離(記号的モード)の2つの実験結果を対応づけることが可能になったと考えられる。さらに、風のエネルギーの視点を加え、「風かぜパワー」が車を押しているイメージ図(映像的・言語的モード)によって2つのモードを接続したと捉えられる。この映像的・言語的モードの接続により、風の働きへの捉えが、風の力が物を動かすことへと変化したと考えられる。

以上のことから「上昇型(中→高)」の子どもは、予想を裏付ける実験結果を読み取り、それを基に自分の考えを説明するイメージを構成することで、表象のモード接続を映像的・言語的モード内で更新した。この更新された映像的・言語的モードが、活動

的モードおよび記号的モードに接続することによって表象の流暢性が上昇し、風の力が物を動かすことを捉えることができたと考えられる。

4.2.2 変容パターン b) 上昇型(低群→中群)

「上昇型(低→中)」の子どもは1名(6%)であった。この事例であるC3について表象の流暢性が上昇した要因について考察する。

C3の表象の流暢性の変容を表7の予想場面②と考察場面②に示した。C3の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード(表7の赤線部)に変換し、映像的・言語的モード(表7の青線部)が加わった。上記のモード変換に関わり、C3へのインタビュー内容を表9に示す。

実験結果を用いて考察した理由について、C3は表9(a)のように車が進んだ距離を具体的に示すためと回答した。このことから、言語から記号へのモード変換が生じたと解釈できる。また、考察で図を用いて説明した理由について、表9(b)のように回答した。さらに「(絵を)描いたら何cmとか、ここからここまで(進んだ)みたいなことが言えるから」と回答した。このことから、C3は風の強さの違い(活動的モード)と実際に車が進んだ距離の違い(記号的モード)の関係を説明するために、風によって車が進んだ距離を表す図(映像的・言語的モード)を用いて2つのモードを接続したと捉えられる。

以上のことから「上昇型(低→中)」の子どもは、実験結果を読み取り、それを基に観察した事象について図を使って説明していた。こうした映像的・言語的モードを機能させることによって、活動的モー

表8 C2へのインタビュー内容

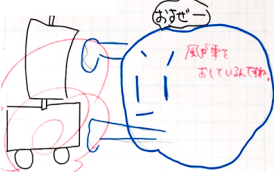

(a)	C2	数字の方がより詳しくなるから。
	T	何が詳しくなるの？
	C2	短いだけだと、どのくらい短いの？とか。でも数字にすると、大きい方と小さい方が比べられるっていう。その差が分かるから数字で書いた。
(中略)		
(b)	T	これ(C2が考察で描いたイメージ図)は何を表している絵なのか、教えてもらえる？
		
	C2	風かぜパワーが車を押している。自分のイメージを書いた。
(中略)		
(c)	C2	予想の時は実験もしていないから、あんまりイメージとかなないから。考察だと実験した時に、イメージがあるから考察の時に描く。

表9 C3へのインタビュー内容

(a)	C3	より詳しくするため。
	T	何を詳しくするため？
	C3	m(メートル)の長さを書いた。
(中略)		
(b)	T	(C4が考察で描いた絵を提示しながら)予想の時に車の絵を描いてなかったけど、考察の時に車の絵を使って書いたのはどうして？
		
	C3	考察の方が結果が分かりやすくなった。予想より、弱くなったとかが。

ドおよび記号的モード、映像的・言語的モードが接続するという表象の流暢性の上昇（低→中）につながったと考えられる。

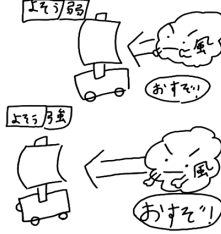
4.2.3 変容パターン c) 維持型（高群）

「維持型（高）」の子どもは9名（53%）であった。この中で、C1を事例に表象の流暢性が高維持された要因について考察する。

C1の表象の流暢性の変容を表7の予想場面③と考察場面③に示した。C1の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード（表7の赤線部）と、映像的・言語的モード内（表7の青線部）で変換が生じた。上記のモード変換に関わり、C1へのインタビュー内容を表10に示す。

実験結果を用いて考察した理由について、C1は表10(a)のように車が進んだ距離の差を明確にするためと回答した。このことから、言語から記号へのモード変換が生じたと解釈できる。また、考察でイメージ図（表10(b)）を用いて説明した理由について、表10(c)のように回答した。さらに「文字だけじゃ分かりにくい時は絵を使う」と回答した。このことから、C1は手が風によって押された手ごたえ（活動的モード）と実際に車が進んだ距離（記号的モード）に関する情報では考えが説明できないと判断したと捉えられる。そのため、風の押す力をイメージした図（映像的・言語的モード）を用いて接

表10 C1へのインタビュー内容

(a)	C1	数字を使うと差が分かるから。この5mとかは数字で表すとこのぐらい違うとか数字の方が分かりやすいから。
(中略)		
(b)	T	これ（C1が考察で描いたイメージ図）は何を表現している絵なのか、教えて下さい。 
	C1	弱い時は風の色も弱くなるから、押す力も弱ってことだから少ししか行かなくて。でも強い時は風の色も強くなるから、押す力が強くなって車も動く。
(中略)		
(c)	C1	考察の時は本当の事とか、結果とか。そういう時だと分かりやすく説明した方がいいと思って。予想だと本当にそうか分からないから、実験していないから書かない。

続を形成したと考えられる。

以上のことから「維持型（高）」の子どもは、予想を裏付ける実験結果を読み取り、それを根拠に自分の考えを説明するイメージを構成することで映像的・言語的モードが更新され、活動的モードと記号的モードに接続された。この実験結果に基づく映像的・言語的モードの更新によって表象の流暢性の高維持につながったと考えられる。

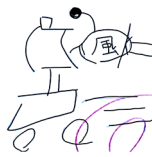
4.2.4 変容パターン d) 維持型（中群）

「維持型（中）」の子どもは2名（12%）であった。この中で、C4を事例に表象の流暢性が中維持された要因について考察する。

C4の表象の流暢性の変容を表7の予想場面④と考察場面④に示した。C4の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード（表7の赤線部）と、映像的・言語的モード内（表7の青線部）で変換が生じた。上記のモード変換に関わり、C4へのインタビュー内容を表11に示す。

実験結果を用いて考察した理由について、C4は表11(a)のように実際に車が進んだ距離を具体的に示すためと回答した。このことから、言語から記号へのモード変換が生じたと解釈できる。また、考察で図（表11(b)）を用いて説明した理由について、表11(c)のように回答した。このことから、C4は考察場面において、風の大きさの違い（活動的モード）と実際に車が進んだ距離の違い（記号的モード）に関する情報では実験の様子が説明できないと判断したと捉えられる。そのため、観察した事象を説明する図（映像的・言語的モード）を用いて接続を形成

表11 C4へのインタビュー内容

(a)	C4	長いだと伝わりづらいと思うから、数字でやって分かりやすくした。
(中略)		
(b)	T	これ（C4が考察で描いた図）は、何を表現している絵なのか、教えてもらえる？ 
	C4	このことか、強が一番うごき、弱はあんまりうごかない。というところがわかりました。
	C4	車に扇風機の風が思いっきり、いっぱい当たって動く。
(中略)		
(c)	C4	考察の時に分かったから。実験して分かったから、絵を描こうかなって。あと、文章だけじゃ分かりにくいかなって思って絵を描いた。

したと考えられる。また、表11 (b) において観察した現象の内実（風のエネルギーによって車が押されること）は描写されておらず、実験で観察した事象（車に風が当たる様子）についての説明にとどまったため、風の働きへの捉えが予想から考察にかけて風のままで継続されたと考えられる。

以上のことから「維持型（中）」の子どもは、実験結果を読み取り、それを基に観察した事象について図を使って説明していた。このように、観察した事象の説明を加えた映像的・言語的モードの更新によって表象の流暢性の中維持につながったと考えられる。

4.2.5 変容パターン e) 維持型（低群）

「維持型（低）」の子どもは1名（6%）であった。この中で、C5を事例に表象の流暢性が低維持された要因について考察する。

C5の表象の流暢性の変容を表7の予想場面⑤と考察場面⑤に示した。C5の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード（表7の赤線部）に変換した。上記のモード変換に関わり、C5にインタビューした内容を表12に示す。C5は、予想で距離がどのように変わるのか説明しなかった理由について表12 (a) のように回答した。そして、考察では「結果は（中略）自分では、強いの方が長くなりました」と記述した。このことから、C5は、実験結果を基に言語的モードから記号的モードへ表象のモードを変換したと考えられる。また、考察で計測した数値を用いなかった理由について、表12 (b) のように回答した。このことから、C5は車が進

表12 C5へのインタビュー内容

(a)	C5	長くなるか、短くなるか分からない。 (中略)
(b)	T	考察の時に、数字じゃなくて距離が長いって書いてくれたのはどうして？
	C5	うーん…。覚えてないな。 (中略)
(c)	T	「長く進みました」と、「距離が5m進みました」だと、どっちで表した方が分かりやすい？
	C5	数字？
	T	それはどうして？
	C5	分からないけど。何m進んだか分かるから？ (中略)
	C5	使わない。
	T	それは、どうして使わないの？
(b)	C5	絵を描くとごちゃごちゃになっちゃう。
	T	ごちゃごちゃっていうのは、どういうところが難しい？
	C5	扇風機とか。簡単な絵しか描けないもん。

んだ距離を表すことの有用性を捉えていないため、計測した数値を利用しなかったと考えられる。また、図を用いて説明しなかった理由について、表12 (c) のように回答した。このことから、C5は観察した事象を写實的に表すことが自身のスキルでは難しいと判断したため、図を用いなかったと考えられる。

以上のことから「維持型（低）」の子どもは、実験結果を読み取ることはできたが、観察した事象について図を用いて説明することに困難さを感じた。そのため、活動的モードと記号的モードの接続が形成されないまま表象の流暢性の低維持につながったと考えられる。

4.2.6 変容パターン f) 低下型（中群→低群）

「低下型（中→低）」の子どもは1名（6%）であった。この中で、C6を事例に表象の流暢性が低下する要因について考察する。

C6の表象の流暢性の変容を表7の予想場面⑥と考察場面⑥に示した。C6の表象のモードは、予想から考察にかけて言語的モードから記号的モード（表7の赤線部）に変換し、映像的・言語的モード（表7の青線部）が消失した。上記のモード変換に関わり、C6にインタビューした内容を表13に示す。実験結果を用いて考察した理由について、C6は表13 (a) のように実際に車が進んだ距離を具体的に示すためと回答した。このことから、言語から記号へのモード変換が生じたと解釈できる。また、考察で風の量について説明しなかった理由を表13 (b) のように回答した。このことから、C6は風の大きさの違い（活動的モード）と実際に車が進んだ距離（記号的モード）を対応付けて説明する際に予想を振り返らなかったと捉えられる。そのため、映像的・言語的モードによる接続が消失したと考えられる。

以上のことから、「低下型（中→低）」の子どもは、実験結果を読み取り、観察した事象について説明する際に自分の考えを振り返らなかった。これによって、映像的・言語的モードが消失するという表象の流暢性の低下につながったと考えられる。

表13 C6へのインタビュー内容

(a)	C6	数字で書いた方がバツと見て分かりやすいから。 (中略)
(b)	T	予想の時に風の量が関係して距離が伸びてるんじゃないかって話をしてくれたけど、考察の時に風の量を書くのをやめたのはどうして？
	C6	たぶん、忘れてた。予想とか、あんまり覚えてなかった。

4.3 表象の流暢性の変容に関わる要因

以上の分析から、表象の流暢性の変容に関わる要因は表14のように整理でき、表象の流暢性の変容には大きく以下の2点に関わっていると推察される。

一つ目は、実験結果を読み取る視点の違いである。表象の流暢性の変容パターンが、a) 上昇型(中群→高群)およびc) 維持型(高群)の子ども(以下、高群の子ども)は、自分の予想を裏付ける実験結果を指摘しながら考察した。一方で、表象の流暢性の変容パターンがb) 上昇群(低群→中群)、d) 維持型(中群)、e) 維持型(低群)、f) 低下型(中群→低群)の子ども(以下、中低群の子ども)は、予想を振り返る行為はあったものの、自分の予想と実験結果を関連付けずに考察した。このことから、表象の流暢性の高まりには、共有された結果に基づき自身の主張の妥当性を示す証拠を選択できるか否かが関連していると考えられる。

二つ目は、映像的・言語的モードの質の違いである。高群の子どもは、事象の観察と実験結果から、直接観察が不可能なエネルギーの視点を含んだ映像

的・言語的モードを機能させた。一方、中低群の子どもは、事象の観察と実験結果から、直接観察が可能な実験の様子(車が動いた距離など)を整理する視点から映像的・言語的モードを機能させた。このことから、表象の流暢性の高まりには、自身の主張と実験から得た証拠をつなげるために、自らの考えを具体化する映像的・言語的モードを機能させることが重要になっていると考えられる。

以上の点は、Nicholsら(2016)の3つの表象能力に関する指摘を援用することで解釈できる。

- 1) 表象を解釈する (interpreting representation)
ある表象で、何がどのような方法で表現されているのかを捉え、解釈する能力
- 2) 表象を説明する (explaining representation)
事実と根拠に基づいた表象を用いて自然事象を説明する能力
- 3) 表象を構成する (constructing representation)
表象同士が有する科学的な要素を対応付けて接続し、構造化する能力

この指摘を踏まえると、表象を解釈する能力が機能した子どもは、実験結果を分析・解釈し自分の考えを裏付ける適切な証拠を選択することが可能になったことで表象のモード変換が生じたため、表象の流暢性が高まったと考えられる。また、表象を説明する能力が機能した子どもは、実験結果を映像的・言語的モードに反映させ、観察した自然事象の様子の説明が可能になったため、表象の流暢性が高まったと考えられる。そして、表象を構成する能力が機能した子どもは、実験結果と自身の考えを対応付けたイメージを映像的・言語的モードに反映させ、自らのイメージを構造化することが可能になったため、表象の流暢性が高まったと考えられる。

表 14 表象の流暢性の変容に関わる要因

変容パターン	変容した要因
上昇型 (中→高)	予想を裏付ける実験結果を読み取り、それを基に自分の考えを説明するイメージを構成することで表象のモード接続を映像的・言語的モード内で更新した。この更新された映像的・言語的モードが、活動的モードおよび記号的モードに接続することによって表象の流暢性が上昇した。
上昇型 (低→中)	実験結果を読み取り、それを基に観察した事象について図を使って説明していた。こうした映像的・言語的モードを機能させることによって、活動的モードおよび記号的モード、映像的・言語的モードが接続され、表象の流暢性が上昇した。
維持型 (高)	予想を裏付ける実験結果を読み取り、それを根拠に自分の考えを説明するイメージを構成することで映像的・言語的モードが更新され、活動的モードと記号的モードに接続された。この実験結果に基づく映像的・言語的モードの更新によって表象の流暢性が維持した。
維持型 (中)	実験結果を読み取り、それを基に観察した事象について図を使って説明していた。このように、観察した事象の説明を加えた映像的・言語的モードの更新によって表象の流暢性が維持した。
維持型 (低)	実験結果を読み取ることはできたが、観察した事象について図を用いて説明することに困難さを感じた。そのため、活動的モードと記号的モードの接続が形成されないまま表象の流暢性が維持した。
低下型 (中→低)	実験結果を読み取り、観察した事象について説明する際に自分の考えを振り返らなかった。これによって、映像的・言語的モードが消失するという表象の流暢性が低下した。

5. 本研究のまとめと今後の課題

本研究は、実験結果を分析・解釈する能力および既有知識に基づいて自らの考えを科学的に表現する能力の育成に向けて、表象の流暢性の実態とその質的変容について明らかにすることが目的であった。そこで、Aireyら(2009)が指摘する表象の流暢性の仮説モデルを踏まえて小学校理科の学習の事例分析を行った。その結果として、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、小学校理科の学習における子どもの表象の流暢性の実態を5つのタイプに分類することが可能となった(表4, 表5)。
- 2) 小学校理科の学習過程において、表象の流暢性の

変容に関わる要因が示唆された(表14)。

- 3) 実験結果を分析・解釈する能力の育成については、自分の考えと関連付ける視点をもたせ、結果の分析・解釈をさせる必要があることが示唆された。また、既有知識に基づいて自らの考えを科学的に表現する能力の育成については、実験結果を自分の考えと関連付けた上で、視覚的に表現させる必要があることが示唆された。

なお、本研究は小学校の理科学習の一事例を分析し、表象の流暢性の実態を調査したものに過ぎない。上記の結果を一般化するために、より多くの実践による検証を重ねることを今後の課題に位置付けたい。

註

- 1) 表象の種類に関する表記は、研究によって複数の指摘がなされている(形、形式、モード、タイプなど)。本研究では、これらの表記をモードに統一した。
- 2) 本研究では、Airey & Linder (2009)における話し言葉と書き言葉の表象のモードを統合し、言語的モードとした。
- 3) 図1の映像的モードについて、Airey & Linder (2009)では視覚的モードの例としてdiagramが挙げられているが、本研究では映像的モードと表記した。

附記

本研究は、JSPS 科研費 21K02571 の助成を受けている。

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.
- ブルーナー, J. S. (1977)「成長のパターン」田浦武雄・水越敏行訳『改訳版 教授理論の建設』黎明書房, 25–28.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, Springer, 3–24.
- 国立教育政策研究所 (2018)「平成30年度 全国学力・

学習状況調査報告書【小学校/理科】」Retrieved from https://www.nier.go.jp/18chousakekkahoukoku/report/dtd/18psci_02.pdf (accessed 2021.5.27).

宮本直樹 (2021)「てこのつり合いの等式導出のための指導法—内的表象の書換えに着目して—」『理科教育学研究』第61巻, 第3号, 497–513.

文部科学省 (2017)「小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編」Retrieved from https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf (accessed 2021.5.27).

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.

Redish, E. F. (2012)「認知科学の原理から導かれる授業へのガイドライン」日本物理教育学会監訳『科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践』丸善出版, 27–78.

佐野綾音・和田一郎 (2021)「理科における表象の流暢性の意味に関する一考察」『横浜国立大学教育学部紀要 I (教育科学)』第4巻, 289–301.

Stojanovska, M. I., Petrusevski, V. M., & Soptrajanov, B. T. (2014). Study of the use of the three levels of thinking and representation. *Section of Natural Mathematical and Biotechnical Sciences*, 35(1), 37–46.

Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: Their importance in biology and biological education. *Multiple Representations in Biological Education*, Springer, 3–18.

内ノ倉真吾・北原深志・下古立浩 (2018)「小学校の理科学習における図的表現に対する認識の特徴—言語的表現に対する認識との比較に基づいて—」『理科教育学研究』第59巻, 第2号, 217–227.

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—高等学校 化学「化学反応と熱」の単元を事例に—」『理科教育学研究』第51巻, 第1号, 117–127.

(2021年6月21日受付, 2021年9月21日受理)

A Case Study of Students' Representational Fluency in Elementary School Science Learning

*Ayane SANO*¹, *Hiroshi ENDO*², *Shun IWAMOTO*³, *Ichiro WADA*⁴

¹ Graduate School of Education, Yokohama National University

² Mitsuzawa Elementary School

³ Hongo Elementary School

⁴ Yokohama National University

SUMMARY

In current science education, one of the issues that has come to the forefront is to aim for the development of children's abilities of critical thinking and expression. In science learning, children learn by thinking and expressing while associating various modes of representation (words, symbols, tables, graphs, and figures) with each other. In this study, we tried to clarify the actual conditions of the process of connection and transformation among these modes of representation. Specifically, we based research on that of Airey & Linder (2009), who proposed a model for the fluency of connections and transformations between modes of representations. We analyzed primary school science classes to identify qualitative changes in the process of connection and transformation among modes of representation. The results of our study and analysis reveal that the connections among the modes of representation could be classified into five patterns. In addition, several factors involved in the connection and transformation among the modes of representation in the science learning process could be identified.

<Key words> Science Learning, Representation, Representational Fluency