

筑波大学審査学位論文（博士）

論文題目

理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーの研究
-中学生・高校生のアナロジーの使用特性に着目して-

人間総合科学研究科学校教育学専攻

内ノ倉 真吾

理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーの研究

-中学生・高校生のアナロジーの使用特性に着目して-

目 次

序 章 研究の目的と方法	
第一節 研究の背景	・・・ 1
第二節 研究の目的と方法	・・・ 15
第一章 理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーとその基底	
第一節 理科教育におけるアナロジーの基礎的理論	・・・ 33
第二節 アナロジーによる教授ストラテジーの基底となる理科学習論	・・・ 39
第二節 科学的な熟達者によるアナロジーの使用法	・・・ 43
第三節 理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジー開発の成果と課題	・・・ 55
第二章 教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識の特徴	
第一節 中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例とした調査の目的と方法	・・・ 82
第二節 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関する内容知識	・・・ 85
第三節 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関する教授学的な内容知識	・・・ 90
第四節 教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識	・・・ 97
第三章 高校生の理科授業におけるアナロジーの受容的な使用の特性	
第一節 高校「化学電池」を事例とした調査の目的と方法	・・・ 113
第二節 教師によるアナロジー導入のない授業での高校生の「化学電池」の理解	・・・ 119
第三節 教師によるアナロジー導入のある授業での高校生の「化学電池」の理解	・・・ 124
第四節 高校生の理科授業におけるアナロジーの使用法	・・・ 130
第四章 中学生・高校生の科学的な説明におけるアナロジーの自発的な使用の特性	
第一節 中学校・高校「物質の状態変化」を事例とした調査の目的と方法	・・・ 145
第二節 中学生・高校生の「物質の状態変化」の説明の構成	・・・ 148
第三節 中学生・高校生の「物質の状態変化」の説明におけるアナロジー	・・・ 156
第四節 中学生・高校生の科学的な説明におけるアナロジーの使用法	・・・ 165
第五節 科学的な熟達者との比較に基づく中学生・高校生のアナロジーの使用特性	・・・ 175
第五章 アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づく理科授業の開発と実践	
第一節 学習者のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組み	・・・ 189
第二節 中学校「電気回路」の授業の開発	・・・ 198
第三節 中学校「電気回路」の授業の実践とその学習過程	・・・ 208

第四節	中学生のアナロジーの生成・評価・修正過程を通じた電気回路の学習促進	・・・224
第五節	理科授業におけるアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの有用性	・・・233
終章	研究の成果と課題	
第一節	本研究の成果	・・・242
第二節	本研究の課題と今後の展望	・・・246
	参考文献一覧	・・・253
	資料	・・・276
	謝辞	

序 章 研究の目的と方法

第一節 研究の背景

第一項 理科教育におけるアナロジーへの関心

(1) 理科教育におけるアナロジーの重要性と有用性

アナロジー (analogy) は、一般的に、日本語では「類推」もしくは「類比」と訳される。「類推」を国語事典で引くと、①類似の点をもとにして他の物事を推し量ること、②論理学で、両者の間に類似点があることを根拠にして、一方がある性質をもつ場合は他方も同じ性質をもつであろうと推理すること、というように説明される (北原, 2002: 1740)¹⁾。理科教育では、アナロジーとは、既に知っているもの (「ベース」) と十分に知らないもの (「ターゲット」) との類似性関係であり、それに基づいて認識対象 (「ターゲット」) を推論する思考様式とされる (図1) (Duit, 1991)。理科でよく知られた、電気回路の電流と水流のアナロジーで言えば、電流はターゲットであり、水流はベースである。両者を関連付けて、電流の性質を考えることがアナロジーである。なお、ターゲットの主要な要因のみを抽出すると同時に、不要な要因を捨象して、表象したものはモデルと呼ばれる²⁾。

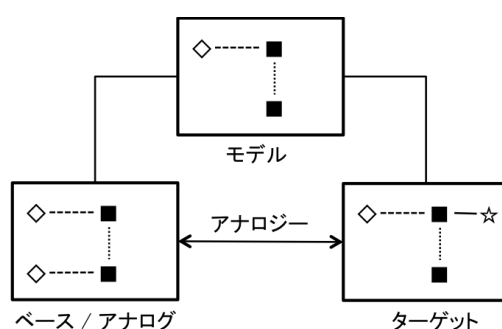


図1. アナロジーとモデルの概念図 (Duit, 1991: 650)

理科学習においてアナロジーが重要であること、あるいは有用であることは、いろいろなところで語られている。例えば、物理学者であり、科学哲学者としても知られるザイマン (Ziman, 2002: 149-150) は、「もっとも厳格な『科学』モデルでさえもアナロジーやメタファーによって機能している」と述べ、科学においてアナロジーが本質的な機能を果たし

ているとの認識を示している。パラダイム論の提唱者としてよく知られるクーン (Kuhn, 1977: 305) は、自身の物理学の学習経験を振り返って、問題演習で直面する困難は、以前に遭遇した問題とのアナロジーを見出すことができれば、克服しやすいと指摘する。また、デューイ (Dewey, 1943: 57-58) は、自己の経験を他者に語り、他者の経験を自己のものにしようとする、子どもの社会的な欲求を論ずる一連のなかで、子どものメタファーによる表現を、科学的な表現とは異なり、「詩的」でもあり、実感を伴った理解が表出したものとして評価する。

これ以外にも、知識の拡張や視点の転換が重要となる創造性 (creativity) という観点から見ても、理科教育におけるアナロジーは、その重要性が指摘されている (Kind & Kind, 2007)。さらに、理科教授には限定されないが、シュルマン (Shulman, 1986: 9) は、教師がもつ職業上の専門的知識の一つである教授学的な内容知識 (Pedagogical Content Knowledge; PCK) には、有効なアナロジーが含まれると主張する。

それに対して、推論様式という観点から見ると、アナロジーは、形式的な妥当性を有する演繹的な推論とは異なり、広い意味での帰納的な推論に分類され (戸田山, 2005)、既知の知識体系の論理性を重視する場合、その使用を否定的に捉えられることもある。

(2) 理科教育における構成主義的な学習論の興隆とアナロジー研究の活性化

1970年代後半から1980年代初頭にかけて、理科教育論上では、いわゆる、構成主義学習論が興隆してきた。それ以前の有力な学習論として、行動主義的な学習論がある。ここでは子ども達の思考のプロセスにはそれほど関心が払われることがなかったのに対して、構成主義的な学習論では、子ども達の思考プロセスや自然認識における学習者の能動的な役割が注目されるようになる (Taber, 2006)。そして、理科学習とは、新しく学習する内容と既に学習した内容が関連付けられ、ネットワークが構築されることとして捉えられる。

その後の理科学習論では、構成主義的な立場での基本的な主張を軸としながら、個人の認知的な活動だけではなく、言語などの社会的な媒介を通じた個人間での相互作用や、科学領域での習熟を社会文化的な共同体への参加として捉えるような状況主義的な学習論への移行が見られる (Scott, Asoko, & Leach, 2007)。他方、教授と学習を対象とした研究分野である「学習科学 (Learning Sciences)」においても、理科教育に限定されず幅広く、学習者の能動的な役割を重視する構成主義的な学習論の重要性が認識されている (National Research Council, 2000)。

上記のような理科学習論が興隆するに伴って、認知心理学の成果を受けつつ、理科学習におけるアナロジーの重要性が注目されるようになる。例えば、1990年初頭までのアナロジーとメタファーに関する研究をレビューしたデュイト (Duit, 1991) は、構成主義的な学習論におけるアナロジーの重要性を指摘している。また、アメリカの全米科学教育研究学会 (National Association for Research in Science Teaching) が発行する、代表的な国際的な科学教育学研究ジャーナルである *Journal of Research in Science Teaching* では、1990年から始まった特集号の第5番目のトピックとして「科学と科学教授におけるアナロジーの役割」が選ばれており、アナロジー研究への関心と重要度が伺える (Good, 1993)。

第二項 理科教育におけるアナロジーの教育的意義と利用可能性

(1) 理科教育におけるアナロジーの教育的意義に関する基本的な見解

ここでは理科教育におけるアナロジーの教育的意義の史的変遷の概要を踏まえた上で、その基本的な見解の内容を整理する。理科教育の代表的な学習論である構成主義的な学習論が興隆する以前の1970年代に発表されたウェラー (Weller, 1970) と、当該学習論と連動して、アナロジー研究のみならず、オルタナティブコンセプション研究³⁾も盛んに行われていた1990年代初頭のデュイト (1991) と、理科学習への社会文化的アプローチなどが普及した2000年代に発表されたコールら (Coll, France, & Taylor, 2005) を中心に検討する。

ウェラー (1970) は、前述したヘッセの論文を含む、科学史や科学哲学でのアナロジー、モデル、理論に関する議論に基づいて、理科教育におけるアナロジーの教育的意義を理論的に検討し、肯定的な側面と否定的な側面を指摘している (Weller, 1970: 119)。前者については、アナロジーを使うことで科学的な説明を精緻に行う時間を省くことができるという点で、アナロジーの意義が評価されている。一方、後者として、誤解を生じさせる可能性が指摘されているが、アナロジーに限らず、いずれの教授方法や推論様式であっても、子どもを誤った理解へと導きうる可能性があるため、一定の配慮が必要であることはしごく常識的と言えよう。特に、アナロジーが蓋然的な推論様式であるという点を重視して評価すると、上記のような見解になりやすい。

理科学習における子どもの能動的な活動を強調する構成主義的な学習論が興隆すると、アナロジーの重要性は高まってきた。デュイト (1991) は、ウェラー (1970) のような理論的な分析ばかりではなく、子どもの理科学習の実証的な研究の成果に基づいての考察

を行っており、構成主義的な学習という観点から、アナロジーの利点を挙げるとともに、アナロジーの欠点や潜在的な危険性を指摘している（表1）。

表1. アナロジーの利点と欠点・潜在的な危険性（Duit, 1991:666-667）

<p>・学習者にとってのアナロジーの利点</p> <ol style="list-style-type: none">(1) アナロジーは、概念的な変容に有用であり、それは新しい観点を開く。(2) アナロジーは、現実世界との類似性を示すことによって、抽象（概念）の理解を促進する。(3) アナロジーは、抽象（概念）の視覚化を提供する。(4) アナロジーは、生徒の興味関心を刺激し、生徒の理科学習への動機付けを高める。 <p>・構成主義的な学習を推進する上でのアナロジーの利点</p> <ol style="list-style-type: none">(5) アナロジーを使用するために、教師が生徒の先行知識を考慮するようになる。アナロジーは、既に教えられた領域に、学習者がもつミスコンセプションを明らかにするのに使える。
<p>・学習者にとってのアナロジーの欠点と潜在的な危険性</p> <ol style="list-style-type: none">(1) アナロジーでは、ベースとターゲットの正確な一致にしないため、ターゲットとは異なる特徴が常にベースに含まれ、それらが誤解を生み出すかもしれない。(2) 意図されたアナロジーが本当に生徒によって導かれたならば、アナロジー的推論は唯一可能である。もし生徒がベース領域にミスコンセプションをもっていれば、アナロジー的推論でそれをターゲット領域へと転移させる。(3) アナロジー的推論は日常生活などでは、一般的なものと言えるが、教師や教材によって提示されるアナロジーを、学習者が自発的に使用することはめったに起こらない。学習状況におけるアナロジー的推論は一定のガイダンスを必要とする。アナロジーへのアクセスは、表面的な類似性、あるいは、構造的な類似性によって促進される。より構造的な類似性を備えているものの方が推論力をもっている。

表1のアナロジーの利点のうち(1)～(3)は、概念形成や理解促進などの認知的な側面に関わるものであり、特に、子どもの既存の考えから科学的な考えへの移行や転換を目指す、いわゆる、概念的変容（Conceptual Change）での有用性に言及する(1)については、「概念的変容論」の理論的・実証的な見解に相違があるにしても（Duit & Treagust, 2003;

diSessa, 2006; 片平, 2011)⁴⁾, 一定の成果があることが認められている (Dagher, 1994)。利点の (4) は動機付けという情意的な側面に関わるものであり, 生徒や教師へのインタビューに基づいてアナロジーの情意的な効果も検証されている (Harrison, 2006)。また, 情意と認知を融合的に捉える「温かい認知 (Warm Cognition) 論」の観点からもアナロジーの教育的意義が議論され, アナロジーの利用で学習内容が理解できるかも知れないという期待感を高め, 認知的な側面での学習の促進にもつながりうる (佐藤・森本, 2004)。

一方, アナロジーの欠点や潜在的な危険性として指摘された事項のうち (1) は, アナロジーという思考方法がもつ本質的な性質によるものである。ベースとターゲットとの間に, 不一致が見られることは, ターゲットを直接的に教授することとは違った過程, つまり, 異なるものうちに同じものを発見するという過程を引き起こすのである。そのことは, 誤解を生じさせる危険性を孕んでいる。アナロジーを導入することは, 常に誤解を生じさせるわけではないが, それに伴う潜在的な危険性は留意しておかなければならない。欠点や潜在的な危険性の (2) (3) は, 教師のアナロジーの導入が学習者の理解促進に失敗するときの状況などを示したものである。逆に言えば, 教師がアナロジーを導入するときに教授上必要な支援や条件, 学習者の役割の重要性を指摘するものでもある。

デュイット (1991) によるレビュー以降の理科教育学の実践・研究の動向として, 「科学についての学習 (Learning about Science)」である科学論的な内容, いわゆる「科学の性質 (Nature of Science)」の理科カリキュラムへの導入 (National Research Council, 1996)⁵⁾や, 社会文化的な文脈での学習の状況性やコミュニケーションに着目する社会文化的アプローチ (稲垣・山口, 2004) が広がったことが挙げられる。コールら (2005) は, 理科教育におけるモデルとアナロジーの役割として, 「科学の性質」を理解するための道筋を与えるものと指摘する。「科学の性質」との関連で捉えたアナロジーの教育的意義とは, アナロジーを構成, 使用していくことを通じて, 第一に, アナロジーが根本的に対象と同一ではなく必然的に限界があり, それが修正されていくプロセスを経るという認識論的な側面, 第二に, 観察・実験などの経験的な検証のみならず, 他者との議論を通じて修正・変化されていき, 共同体での一定の合意が得られるようになるという社会的な側面を, それぞれ学ぶことができることだと考えられている (Coll et al., 2005: 186-189)。そこでのアナロジーとは, 単なる科学的な知識を伝達・習得するための道具, つまり, 学習の方法としてのアナロジーのみならず, 科学的な知識を産出するための道具, つまり, 科学の方法としてのアナロジーでもある。このように, 理科教育におけるアナロジーは, 学習の方法のみならず, 科学

の方法としても、強調されるようになってきた。

(2) アナロジーによる教授ストラテジーの利用可能性

上述の理科教育におけるアナロジーの利点、欠点・潜在的な危険性に関する見解に対応する形で、アナロジーによる教授ストラテジーを利用することが有用な教授学習場面を想定することができる。

第一に、アナロジーの導入により、概念的変容を促進できるという利点に基づくと、子どもがオルタナティブコンセプションを保持していると考えられる教育内容を扱った授業でアナロジーを利用することが考えられる。子どものオルタナティブコンセプションについては、これまでの豊富なオルタナティブコンセプション研究の成果により、多様な校種、多様な内容領域において、その具体的な内容が報告されている (Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985; Garnett, Garnett, & Hackling, 1995; 堀, 1998; Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009; Allen, 2010)。実際に、多様な内容領域でアナロジーがそれぞれ提案されている (Harrison & Coll, 2008)。

第二に、アナロジーの導入により、抽象的な概念の理解、視覚化に寄与するという利点に基づくと、子どもがオルタナティブコンセプションを保持する教育内容のうち、抽象的な概念を扱う授業でのアナロジーの利用は、理科学習での有用性が大きいものと考えられる。例えば、物理分野の電気や化学分野の原子・分子などは、オルタナティブコンセプションがよく見られる教育内容である (Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985; Garnett, Garnett, & Hackling, 1995; 堀, 1998; Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009; Allen, 2010)。そのような教育内容は、観察・実験によって、事物・事象の状態を確認するだけでは単純には理解することができず、概念的な理解が求められるものや、日常的な感覚と比べて極めて小さい、あるいは、極めて大きい事物・事象のスケールを考えなければならないものである、などの共通点が見られる。このような共通の認知的な困難を伴う教育内容を指導する際には、アナロジーの利用が有用であると考えられる。

第三に、アナロジーの導入により、興味・関心を高めるなどの情意的な効果をもたらすという利点に基づくと、子どもにとって理解しづらい内容を扱う授業でのアナロジーの利用が、同じく有用であると考えられる。このような点から見ても、オルタナティブコンセプションを保持していたり、概念的な理解が必要とされる教育内容は、アナロジーを導入する意義が大きいと言える。

第四に、子どもにアナロジーを表出・生成させることで、オルタナティブコンセプショ

ンを把握しうる利点に基づくと、上述の教育内容の特徴に加えて、授業の導入期・展開期・終末期などの場面において、子どもの理解状況を探るための方法として、アナロジーを利用することもできる。

なお、教師が意図的にアナロジーを使用しない場合であっても、教師の意図に関わらず、子どもがアナロジーを使用する場合があること (Haglund, 2013)、また、子どものオルタナティブコンセプションがアナロジーを基盤するものもある (森本, 1993; 松森, 1997)。したがって、構成主義的な学習論に基づいて理科授業を計画・実施する上では、子どものオルタナティブコンセプションやアナロジーに注意を払う必要がある。

第三項 アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究で残された課題

(1) 理科教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識や認識の解明

教育内容や教科の内容知識と関連付けて、理科教師が保持するアナロジーの使用方法に関する認識が調べられていない。理科教育でも教師のもつ教授学的な内容知識の性質、特に、教科内容の知識 (Subject Matter Knowledge; SMK) との関係が理論的・実証的に検討されてきた (Abell, 2007; Kind, 2009; Loughran, Berry, , & Mulhall, 2012)。そこでは、教授学的な内容知識 (PCK) と教科内容の知識 (SMK) の関係は、両者が統合的に存在する知識であると考えた立場と教科内容の知識を授業に即して変形させていくための知識として教授学的な内容知識を考える立場が見られる。教師のもつ専門的な知識は、研究の進展に伴いシュルマン (1986) が提案したものよりも複雑であることが分かってきており、2つの立場のどちらが教師の専門性を捉えているかという点で議論が続けられているが、後者の立場のほうが、教師の職能開発や熟達化を理論的に捉えやすいと見なされている。このことを受けて、教授学的な内容知識などの教師のもつ知識内容の分析を通じて、日本の小学校や中学校の理科教師としての熟達化の特徴や水準が探られてきた (磯崎・米田・中條・磯崎・平野・丹沢, 2007; 中田・磯崎・中條, 2012)。

教師のアナロジーの使用方法は、教授学的な内容知識の一つと考えられている。教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な内容知識については、アナロジーの使用という行為に着目した参与観察やインタビュー調査が行われている (Treagust, Duit, Joslin, & Lindauer, 1992; Thiele & Treagust, 1994; Dagher, 1995; Harrison & De Jong, 2005)。参与観察からは、教師のアナロジーの使用頻度や複雑性が報告されている。観察で確認された教師のアナロジー使用の頻度は、数時間の授業で1回程度の割合であり、その頻度は個々の教師

で差異がある。そのアナロジーの複雑性 (Curtis & Reigeluth, 1984) ⁶⁾は、ベースとターゲットの対応関係に詳細には言及しないような単純なものが大勢を占めるものの (Treagust, et al., 1992), 描画的なアナロジー (Thiele & Treagust, 1994) やストーリー性のあるアナロジー (Dagher, 1995) の使用例も認められる。インタビュー調査からは、教授学的な内容知識の一端が明らかにされてきた。例えば、アナロジーと例が区別されていないこと、アナロジーの利点や限界は認識されているようだが、より高次の関係性に基づくアナロジーを促進することまでは意識されていないこと、そして、教師はアナロジーのベースとして、子どもの生活や学習の経験より、自身の経験や指導資料を利用する傾向が報告されている (Thiele & Treagust, 1994)。これらの先行研究では、理科授業でアナロジーを使用する意図や方法、特定のアナロジーの内容についての教師の認識を調査しているが、それらの認識あるいは知識と教科内容の知識の習得や指導との関連性には着目されていない。さらには、理科教師であれば、その校種での理科カリキュラムで扱われる教科内容の知識は習得していることが当然と思われるが、各種の調査に基づくと、必ずしもそのことは実際に保証されているとは限らない (De Jong, Veal, & Van Driel, 2002)。

(2) 教授展開に応じた学習者のアナロジーの使用特性の解明

第一に、アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究では、実際の理科授業の中でアナロジーの導入・生成に伴って生じうる、学習者の誤った理解の内容や性質などが実証的に探られていない。アナロジーによる教授ストラテジーとしての、教師によるアナロジーの導入と説明、学習者によるベースとターゲットの対応関係の構成では、科学的な理解の促進が認知的な側面での学習成果として重視されてきた。もしそうではない場合、つまり、何らかの誤った理解が生じた場合は、当該ストラテジーの適用それ自体は、うまくいかなかったものと判断される。教授ストラテジーとしてのアナロジーの使用に当たっては、アナロジーによる誤った理解を生じさせる危険性への注意喚起がなされるものの、そのような理解の内容や性質については、実際に調べたものは限られている。アナロジーによる誤った理解を調べた研究として、スパイロら (Spiro, Feltovich, Coulson, & Anderson, 1989) は、アメリカの医学部の学生を対象にして、生体医学の知識を探るためにオープンエンドのインタビューを行い、アナロジーに起因すると推定されるオルタナティブコンセプションには、ターゲットとなる事物・事象にはない特性を追加することや、重要な特性を欠いてしまうなどの共通点が見られることを指摘している。ズック・ディ ヴェスタ (Zook &

Di Vesta, 1991) は、アメリカの小学校3年生を対象にして、「生物の相互依存」のテキスト（文章と絵）として示されたベースとターゲットをそれぞれ読解して、両者の対応関係を見出すことを求める課題から、学習者は、関連しない表面的な特徴に基づいて誤った推論を行う傾向を報告している。これらの先行研究は、アナロジーによる誤解の特徴の一端を明らかにした有用な知見ではあるが、実際の理科授業で教師がアナロジーを導入したときの、学習者のアナロジー使用や誤った理解の発生などを探った試みではない。

第二に、アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究では、学習過程の特定の段階や行動とそこで見られうる学習者のアナロジーの使用を関係付けて把握していない。先行研究で開発されたアナロジーによる教授ストラテジーは、基本的に、それを実践するとき教師もしくは学習者がとる行動や一連の手続きとその順序から構成されている。教授ストラテジーの一連の手続きのなかでも、概念的な理解の変容や促進を図る上で重要である教授行動とされながら、学習者が導入されるアナロジーをどのように理解するのか、あるいは、どのようにアナロジーを生成したりするのかなどの、理科学習でのアナロジーに関する認知的・情意的な振る舞いに見られる特徴（以下、「アナロジーの使用特性」と呼ぶことにする）との関係で捉えられていないのが、子どもの先行知識との「認知的な葛藤」⁷⁾を引き起こしうる事例（以下、「認知的な葛藤事例」と呼ぶことにする）を提示する段階である。複数の授業実践において、認知的な葛藤事例の提示を受けて、学習者が自発的なアナロジーを生成しているのだが、その教授行動が、学習者のアナロジーの自発的な生成の契機になり得るのかどうかということは、確かめられていない。また、それらの実践は同じような教育内容（電気回路）を扱っており、より一般的な知見を求めるといって、別の教育内容でも同様のことが起こりうるのかどうかということは、調べられていない。さらには、認知的な葛藤事例の提示は、教師によるアナロジーの導入などを必ずしも伴わなくてもよい、より一般的な教授ストラテジーと考えるものでもあるが、学習者が自発的にアナロジーを生成する可能性やそれに影響などは検討されていない。もし学習者のアナロジーの使用が科学的な考えを支持するようではなく、自身の考えを擁護するようにアナロジーの自発的な生成が行われるならば、実際には認知的な葛藤を生じさせていないこともありうるが、このようなことは等閑視されてきた。認知的な葛藤事例の提示以外にも、考えの異なる他者への説明や説得しようとする状況や、先行してアナロジーが提示されている状況も、学習者のアナロジーの使用に関係性が深いことが予測される。加えて、教師によるアナロジーの導入や説明に対する学習者の反応という点から見ても、注目される。

また、先行研究では、科学領域の熟達者のアナロジーの使用が、クレメントのブリッジングストラテジーの考案に参考にされるなど、アナロジーによる教授ストラテジーの改善・開発に有用な知見を提供するものと考えられてきた。その一方で、中学生や高校生を対象にして、熟達者との比較に基づいて、彼らのアナロジーの使用がどのような特徴をもつものなのかは解明されていない。

(3) アナロジーにおける高次の関係性や実用的な要因に着目した教授ストラテジーの開発

第一に、アナロジーによる教授ストラテジーの開発・実践に関係した先行研究では、より高次の関係性に基づくアナロジーを促進することが十分に意識化されてこなかった。アナロジーとは、ベースとターゲットの間に想定される類似性に基づいて、認識対象（ターゲット）を推論していく認知的過程であるが、そのときに想定される類似性には、知覚可能な性質に関わる属性レベルの類似性、その属性同士のつながりに関わる関係レベルの類似性、いくつかの関係の組み合わせに関わる構造レベルの類似性がある。これまでの先行研究のうち、(1) 教師によるアナロジーの説明では、ベースとターゲットの個々の属性を特定し、それらを相互に対応付けることに主眼が置かれてきた。また、(2) 学習者によるアナロジーの対応関係の構成を目指した教授ストラテジーでは、その教授を通じて目指す目的が、ベースとターゲットの対応関係の構成となっていた。これらのアナロジーによる教授ストラテジーにおけるベースとターゲットの対応関係の構成とは、ベースとターゲットを並列して配置し、それぞれの属性を結び付けることであった。言い換えれば、水平的関係の構成であり、より具象的な属性レベルでの比較であった。そして、アナロジーによる誤解を低減・防止するために、ベースとターゲットで対応しない属性レベルでの特性を指摘することや特性の対応関係を逐次的に取り上げていくことが、組み入れられ、強調されてきた。学習者のアナロジーによる誤解は、関係レベルや構造レベルなどの高次の関係性を捉え損なったことによるものであったとしても、ターゲットの属性レベルの誤りをもって認識されるため、属性レベルでの類似性により重点を置いた教授ストラテジーが考えられてきたのである。また、複数のベースを関連付けた代表的なアナロジーの導入であるブリッジングストラテジーの教授事例では、多くの場合で、直感的に理解しやすい事例や知覚的に類似した事例がベースとして選択されていた (Brown & Clement, 1989; Clement, 1993)。ブリッジングストラテジーは、抽象化といった認知的な負担の軽減を目指した教授

ストラテジーであるという点では評価できるものの、その反面で、表面的にも類似したベースを選択されることになりがちであり、必ずしも表面的には類似していないが、構造的な特徴では類似したベースを選択し、より高次の関係性に基づくアナロジーを促進するという点では、限界が見られる。

一方、思考様式としてのアナロジーの力がもっともよく発揮されるのは、より高次の関係性に基づく場合であると考えられている。属性レベルの類似性であれば、ベースとターゲットのそれぞれの特性を比較し、対応付ければ、アナロジーとして成立しうるが、それだけでは、関係レベルや構造レベルでの類似性に基づくアナロジーとしては容易には認識されない。より高次の関係性に基づくアナロジーでは、知覚的に把握しやすい属性レベルの類似性に比べて、ベースとターゲットのそれぞれの表面的な特性を捨象して、関係あるいは構造として抽象化する必要がある。そのような認知的な要求があるため、ブック・ディヴェスタ (1991) も教授改善の示唆として指摘するように (Zook & Di Vesta, 1991: 250-251), 学習者が困難を抱えているのは、このより高次の関係性に基づくアナロジーの構成であると考えられる。属性レベルの類似性だけではなく、より高次の関係性に基づくアナロジーを促進する教授ストラテジーの追求が課題として残されているのである。

第二に、アナロジーの認知的な制約としての実用的な要因の導入方法が十分には検討されていない。科学史の検証に基づいて、先行研究のアナロジーによる教授ストラテジーに見られる、アナロジーを使用する目標・文脈に関わる問題が指摘されている (Kipnis, 2005)。科学者によるアナロジーの使用は、問題中心であり、その問題がターゲットに含む属性を規定し、そこから適切なベースとその内容が決定されるという。それに対して、これまでの先行研究で見られたアナロジーによる教授法は、ベース中心であって、そのアナロジーの意味が、解決すべき問題とは独立しており、対応する属性が予め決められていると見る。そして、ベースとターゲットとの対応関係を予め設定するやり方では、中立的アナロジー関係などのアナロジーに含まれる特性を検証すること、そのような検証がなされるまでアナロジーが仮説的な性質をもつことなどが学べないと批判している。

アナロジーによる学習の最終的な成否を決定する要因として、アナロジーを使用する目標・文脈などの実用的な要因が重視されている。科学者は、コミュニケーションをとる対象とその目的や目標 (goals) に応じて、アナロジーの使用の仕方を変えており、表面的な類似性に着目する場合や高次の関係性に着目する場合が見られる (Dunbar, 2001)。また、アナロジー使用の目標、例えば、他者を説得することを目指しているのかどうかによって、

アナロジーの内容選択に違いが見られる (Blanchette & Dunbar, 2001)⁸⁾。

代表的な教授ストラテジーである「アナロジーによる教授モデル (Teaching-With-Analogies; TWA model)」(Glynn, 1993)では、アナロジーを使用する目的に言及する場面とは、ターゲットとなる事物・事象や概念を提示する段階に対応する。その後、ベースが導入されて、両者の対応関係が構成されていくことになる。このような教授展開では、学習者は、単純にベースからターゲットへと属性を写像させるだけではなく、教師の意図する対応関係も跡付けることになる (Wilbers & Duit, 2006: 37)。つまり、アナロジーが導入される場面が他の教授展開との接続が図られていない場合、学習者にとっては、ターゲットとしての自然の事物・事象だけではなく、教師のアナロジーによる教授意図を探ることも目的となってしまうのである。これに関連して、教師のアナロジーの使用方法について、アナロジーの教授ストラテジーの改善点の一つに、アナロジーを使用する目的を明確にすることを挙げられている (Orgill & Bodner, 2004)。加えて、科学史に見られたアナロジーをその文脈に即して導入すること、特に、アナロジーの検証過程を取り入れることで、アナロジーによるミスコンセプションの生成が防止できると考えられている (Kipnis, 2005:199-233)。ただし、いずれであっても、これらの改善の視点を具体化した教授ストラテジーを提案するには至っていない。

(4) アナロジーの導入と認知的葛藤ストラテジーとの効果的な接続

アナロジーの導入と認知的な葛藤事例の提示を組み合わせた教授ストラテジーは、一定の学習効果が認められているが (Clement, 2008)、さらなる学習の促進のためには、検討すべき理論的・実践的な課題がある。

オルタナティブコンセプションから科学的な考え方への概念的変容が起こる条件としては、①既存のコンセプションに対して不満を抱く (dissatisfaction)、②新しいコンセプションは、最低限理解できる (intelligible) ものである、③新しいコンセプションは、まずもって納得できる (plausible)、④新しいコンセプションは、多産的な (fruitful) ものである、という4つの条件がよく知られている (ストライク・ポズナー, 進藤編訳, 1994)。

理科の学習指導法として、認知的な葛藤を生じさせる事象 (Nussbaum & Novick, 1982)⁹⁾や葛藤が生起する条件 (Hewson & Hewson, 1984)¹⁰⁾が検討されてきた。葛藤を生じさせる事象、プレコンセプションや科学的コンセプションとの関係で発生する認知的な葛藤を区別し、概念的な変容をモデル化したものとして、ハッシュウェー (Hashweh, 1986) の概念

的変容モデル（図2）がある。

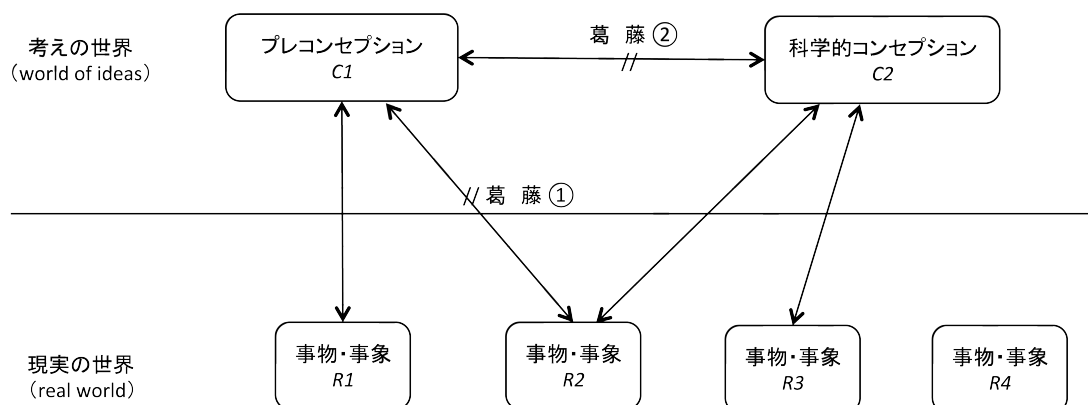


図2. ハッシュウェーの概念的変容のモデル (Hashweh, 1986: 244)

認知的な葛藤には、学習者がもっているプレコンセプション C1 と事物・事象 R2 の間に生じる葛藤①と、学習者のプレコンセプション C1 と科学的コンセプション C2 との間に生じる葛藤②の少なくとも2種類ある。つまり、現象と理論という存在論的な相違に基づいて、自然認識における認知的な葛藤を、考えの世界と現実世界との対立、考えの世界での対立として区別しているのである。一般的に、葛藤①は、コンセプション C1 によって説明できる事物・事象 R1 に加えて、それでは説明できない事物・事象 R2 を提示することによって生起すると考えられる。それに対して、葛藤②は、事物・事象 R1 を同じよう程度に説明できるコンセプション C2 を提示することによって、生起すると考えられる。これらの認知的な葛藤の解消に当たっては、葛藤①を生じさせて、その後に科学的コンセプション C2 を提示するという方法がこれまでよくとられてきた。一方、葛藤②の解消には、コンセプション C1 では説明できない事物・事象 R2 やそれ以外の事物・事象 R3 を、コンセプション C2 が説明できることを示すことが必要であるとされる。ハッシュウェー(1986)以降も、学習者のオルタナティブコンセプションと科学的コンセプションとの間にある葛藤を解消する条件も提案されている (Tsai, 2000) ¹¹⁾。

認知的な葛藤は、理科教育における教授ストラテジーの一つとして定着してきたものの、実践上での課題として、子ども達にとって認知的な葛藤が効果的に生起していないことが、継続的に指摘されてきた。例えば、矛盾事象のような既存の考えでは説明できない事物・事象の提示という方法は、葛藤を生じさせる唯一もしくは最善の方法と考えられてきたものの、意図された葛藤が子どもの学習促進に寄与していないという問題性が指摘されている (Limon, 2001)。また、オルタナティブコンセプションの抱える矛盾や不適切さを強調

し、特に、概念的変容としての学習を指向して行われる一連の教授アプローチ研究について、目標、価値観、自己効力感、信念などの動機付けといった情意的な側面を等閑視しているとの批判がある (Pintrich, Marx, & Boyle, 1993)。それに対して、グループでの議論や協同的な学習などの社会的な構成を指向する学習環境、認知的な側面と情意的な側面との関連付けを図った学習の展開などが求められる (片平, 2011)。また、認知的な葛藤を生起することにアナロジーを活用することも提案されている (Limon, 2001)。

上述した認知的な葛藤に関する議論は、科学論での議論にも対応する部分が見られる。科学的な営為が問題解決の活動であるとした場合、科学的な問題には、科学研究の対象についての現実的な疑問である「経験的問題」と科学理論などの概念的な構造の安定性に係る問題である「概念的問題」の2種類がある (Laudan, 1977) ¹²⁾。そして、科学者の共同体では、経験的問題、概念的問題について、それぞれ矛盾や対立などを生じることになる。科学者の問題と理科学習者との問題をアナロジー的に捉えると、経験的問題が認知的な葛藤①に、概念的問題が認知的な葛藤②にそれぞれ対応付けうる。しかしながら、科学者共同体での科学的問題の解決において生じる矛盾や対立と比較して、理科学習において着目される認知的な葛藤の内容は限定的なものとなっている。例えば、理科学習での中心的に扱われてきた認知的な葛藤は、ある特定の理論では解決されていないが、それ以外の競合する理論では解決された経験的問題の一つである「変則問題 (anomalous problems)」 (Laudan, 1977:17) ¹³⁾によって生じるものと見なせる。子どものオルタナティブコンセプションでは説明できないが、科学的コンセプションでは説明できるという問題である。一方、ある理論が孕む内在的な矛盾が露見したり、曖昧であったりすることに伴う内在的な問題と、2つ以上の理論間での競合状態での合理性の認識に関わる外在的な問題を含む、概念的問題 (Laudan, 1977: 48-49.) は、理科学習でほとんど扱われることがない。

その他に、個々の命題はそれぞれ独立で、経験によって確証や反証されるのではなく、命題の集まりとして確証や反証が可能になるというホーリズム論 (全体論) (クワイン, 飯田訳, 1992) ¹⁴⁾から見た問題も生じる。つまり、一つの観察・実験の事実から、個々の命題の適否が単純に判断されるのではなく、その判断は当該命題を取り巻く理論的な環境に影響を受ける。そう考えるとき、直接的に当該命題の採否が判断できるような決定実験の存在は首肯し難い。また、当該命題の採否には、経験的な事実のみならず、関連の知識も考慮しなければならない。

第二節 研究の目的と方法

第一項 研究の目的と方法

(1) 研究の目的

本研究は、理科授業において、アナロジーによる教授ストラテジーを通じて、概念的な理解の促進を目指した研究である。前節までに述べた先行研究での課題を踏まえて、本研究では、学習者のアナロジーの使用特性の解明を通じて、アナロジーの認知的な制約に対応し、より高次の関係性でのアナロジーを促進する教授ストラテジーの開発を目的とする。アナロジーの使用方法は、発達的な差異よりも、知識構造などの熟達的な差異による影響が大きいとされることから (Vosniadou, 1989)、対象とする学習者としては、アナロジー使用の熟達の水準が十分調べられていない、中学生と高校生の双方を対象とする¹⁵⁾。

上記の目的を達成するために、(1) 理科教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識や認識を明らかにすること、(2) アナロジーの認知的な制約に着目して、理科学習における中学生・高校生のアナロジーの使用特性を解明すること、(3) 科学領域の熟達者との比較から、理科学習における中学生・高校生のアナロジーの使用を特徴付けること、(4) 学習者のアナロジーの使用特性を踏まえて、より高次の関係性でのアナロジーを促進する教授ストラテジーを開発すること、の4点を下位の研究課題として設定した。

(2) 研究の方法

研究課題 (1) について、理科教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識や認識を明らかにした。中学生・高校生のアナロジーの使用特性を検討する内容領域を事例として、理科教師の当該内容に関連した内容知識、学習者と教授方法についての教授学的な内容知識を把握した上で、理科教師が保持しているアナロジーの使用方法に関する教授学的な内容知識の具体的な内容をインタビュー調査によって探った。

研究課題 (2) について、第一に、理科授業における教師によるアナロジーの導入の有無に着目して、高校生のアナロジーの受容的な使用について、質問紙調査ならびにインタビュー調査によって探った。第二に、科学的な説明を構成する過程に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用について、質問紙調査ならびにインタビュー調査によって把握した。

研究課題 (3) について、第一に、心理学的アプローチ、科学史的アプローチ、科学哲学

的アプローチによって行われた、代表的な熟達者研究を対象として文献調査を行い、科学領域の熟達者のアナロジー使用に関する知見を検討・整理した。第二に、文献調査から把握した知見に基づいて、科学的な熟達者のアナロジーの使用法との比較を通じて、中学生・高校生のアナロジー使用を特徴付けた。上記の第一で検討・整理した科学領域の熟達者のアナロジー使用の知見、研究課題(2)に関連して把握した中学生・高校生のアナロジーの使用特性を比較対照することで、科学領域の熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用の共通点や相違点を抽出した。

研究課題(4)について、第一に、アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究を整理・検討して、その成果と課題を抽出した。第二に、研究課題(3)として把握した学習者のアナロジーの使用特性を踏まえた上で、今日の理科学習論の要点を踏まえ、より高次の関係性のアナロジーを促進する教授ストラテジーの理論的な枠組みを検討し、新規の教授ストラテジーを提案した。その際、アナロジーの生成・評価・修正を行う学習過程の導入、アナロジーの導入と認知的葛藤ストラテジーとの接続についても検討した。第三に、上記の第一で提案したアナロジーによる教授ストラテジーに基づいて、具体的な内容領域での理科授業を開発し、実践を行い、質問紙調査ならびに発話分析を通じて、その有用性を評価した。その際、理科カリキュラムの系統性と理科学習の継続性を考慮して、早期の概念的な理解の促進を重視する観点から、授業実践の対象者としては中学生に焦点化して分析・検討を行った。

(3) アナロジーを導入した授業実践の概要

本研究では、研究課題(2)に関連して、高校「化学電池」の授業を、研究課題(4)に関連して、中学校「電気回路」の授業をそれぞれ行った。2つの授業実践のねらいをはじめとする概要は、下記の通りである。

高校「化学電池」の授業では、理科教師に共有されているアナロジーの使用法に即した形で、教師がアナロジーを使用し、高校生がそのアナロジーにより化学電池を、あるいは、アナロジーをどのように理解するのかを探ることをねらいとした。ダニエル電池をはじめとする化学電池については、理科教科書やこれまでの教授ストラテジーでは、アナロジーを使用することが想定されていないことから、当該内容の学習経験を有する理科系大学生を対象としたインタビュー調査から、大学生が自分の理解を促進するために考えていたアナロジーを抽出して、教師が授業で導入するアナロジーとした。また、研究課題(1)

に関連して把握した，理科教師のアナロジーの使用方法に従って，教師はアナロジーを導入した授業を行った。この授業では，擬人的なアナロジーを選択し，ベースとターゲットを対応付ける形で，教師が当該アナロジーについて説明するという方法を採用した。

中学校「電気回路」の授業では，本研究で提案するアナロジーによる教授ストラテジーに基づいて，教師と中学生の双方がアナロジーを使用する学習機会を保障することで，電気回路の概念的な理解が促進されるのか，どのような学習過程が見られるのかを探るのかを探ることをねらいとした。電気回路については，教授のためのアナロジーとして，水流とのアナロジーや群衆とのアナロジー（Gentner, & Gentner, 1983）が代表的であるが，中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえて，当該授業では教師は，中学生のオルタナティブコンセプトを代表するアナロジーと，科学的なコンセプトにつながるアナロジーの2つを使用することとした。また，中学生がアナロジーを生成し，それを他者と共有する学習過程を設定した。

これらの2つの授業は，アナロジーによる教授ストラテジーに基づいて授業展開を計画している点，教師がアナロジーを導入する点では，共通しているが，その基礎となるアナロジーによる教授ストラテジーは異なっている。前者の授業では，学習者は，教師のアナロジーを受容的に使用することが想定されているのに対して，後者の授業では，学習者もアナロジーを自発的に使用することが想定されているという点で，異なっている。

中学校「電気回路」と高校「化学電池」の授業で扱われる教育内容は，電流概念をはじめとして関連性が高いことから，高校「化学電池」の授業を通じて把握される，高校生の化学電池に関するオルタナティブコンセプトは，中学校「電気回路」の授業でも，中学生に確認されるようなオルタナティブコンセプトを潜在的に含んでいるものと仮定される。

第二項 本研究の特質

(1) オルタナティブコンセプト研究から見た特質

本研究は，「カリキュラムの三水準モデル（Tripartite Curriculum Model）」（国立教育研究所, 1997; Valverde, Bianchi, Wolfe, & Schmidt, 2002）に基づいて，理科授業におけるアナロジーの使用により，中学生・高校生の概念的な理解を促進しうる肯定的な側面と誤解を生じさせる否定的な側面を捉えようとしている点が特徴的である。また，教師あるいは中学生・高校生が使用するアナロジーについて，カリキュラムの三水準モデルに基づいて，着

目する理科教授学習の文脈に即して、アナロジーの認定や自発的なアナロジーの使用の有無を判断する点も特質と言える。さらには、実際の理科授業において、アナロジーにより生じる誤解を特定しようとする点も新規性を指摘できる。

一般的に、子どものオルタナティブコンセプションは、科学的なコンセプションとの対比において、捉えられるものである。ただし、理科教育における「科学的なコンセプション」の内容は、理科学習経験によって異なり、理科カリキュラムの構造から独立して規定することはできないと考える。

そこで本研究では、カリキュラムの三水準モデルに基づいて、科学的なコンセプションについては、意図されたカリキュラムとしての『学習指導要領』に、実践されたカリキュラムとしての教師の授業意図・計画にそれぞれ求める。また、意図されたカリキュラムと実践されたカリキュラムを架橋する「潜在的な実践されたカリキュラム (Potentially Implemented Curriculum)」として、理科教科書を位置付ける (Valverde, Bianchi, Wolfe, & Schmidt, 2002:12-13)。これまでの『学習指導要領』は、社会的な状況や教育政策の動向を受けて、おおそ周期的に改訂が繰り返されていく、暫定性をもったカリキュラムという特性を有していることを踏まえて、各調査時点での『学習指導要領』、それに対応する理科教科書の内容分析を行い、その都度意図されたカリキュラムや実践されたカリキュラムの内容を確定するものとする。それに対して、オルタナティブコンセプションについては、上記で確定された意図されたカリキュラム等と、質問紙調査やインタビュー調査にて把握した中学生・高校生の認知内容である達成されたカリキュラムとで相違する部分に求める。さらには、オルタナティブコンセプションには、アナロジーを基盤とするものが見られる場合があるが、中学生・高校生による発言や表現がアナロジーと見なせるのかどうか、アナロジーと見なせる場合は、中学生・高校生の自発的なものであるのかどうかの判断基準は、実践されたカリキュラムとしての教師の授業意図・計画、あるいは、潜在的な実践されたカリキュラムとしての理科教科書に求める。ただし、理科教科書におけるアナロジーについて、「電子雲」や「電子殻」のように、科学的な探究過程において理論提唱された段階では、比喩性・類似性を帯びて使われた表現であっても、表現として定着して、一種の専門用語として扱われるようになっているものは、本研究ではアナロジーとしては扱わない。なお、アナロジー概念の詳細については、第一章で述べる。

(2) 概念的変容研究から見た特質

本研究は、概念的変容を目指した理科学習過程において、認知的な葛藤を解消する段階だけではなく、認知的な葛藤を生起・促進する段階でも、アナロジーの導入・使用の方法を解明しようとする点で特徴的である。また、アナロジーにより、中学生・高校生のオルタナティブコンセプトに内在する概念的問題を意識化させることで、認知的な葛藤を生起・促進しようとする点も特質と言える。

アナロジーによる教授ストラテジーに関連したものとして、概念的変容を目指したアナロジーによる教授ストラテジーに関する一連の研究がある。「概念的変容」には、認知的な構造の一貫性などを巡って多様な理論が提唱されているものの、それに資する教授ストラテジーとしては、学習者同士の話し合い、学習者が自身の認知状態を把握すること、アナロジーやモデルを使用することなどが、理論的な違いに依らず共通して用いられている (di Sessa, 2006:276-277)。そこでは、認知的な葛藤事例が導入された後、アナロジーを導入することが定型となっている (Dupin & Johsua, 1989; Clement, 1993; Treagust, Harrison, Venville, & Dagher, 1996)。つまり、認知的な葛藤、そして、アナロジーという順番で組み合わせた教授ストラテジーである (図3) (Clement, 2008: 428)¹⁶⁾。図3の枠組みからも分かるように、アナロジーにより認知的な葛藤を生起・促進しようという発想は見られない。また、思考実験では、中学生・高校生のオルタナティブコンセプトに内在する概念的問題を意識化させることまでは射程とするのかは明示的に示されていない。それに対して本研究は、概念的変容研究の蓄積に加えて、認知的な葛藤とアナロジーを組み合わせた教授ストラテジーを提案する試みである。

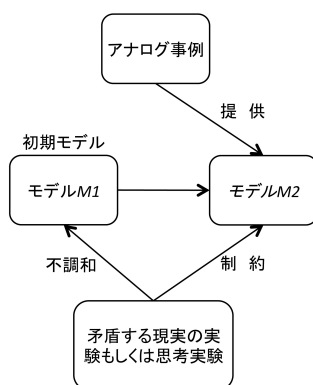


図3. 認知的な葛藤とアナロジーを組み合わせた教授ストラテジー

(3) コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発の観点から見た特質

本研究は、熟達化の視点から、中学生・高校生のアナロジー使用能力を捉えようとしている点特徴的である。また、中学生・高校生のアナロジーの使用特性に着目して構想される、アナロジーによる教授ストラテジーは、子どもによるモデルの生成・評価・修正を重視する「モデリングに基づく理科教授 (modelling-based teaching)」(Gilbert & Justi, 2016) に対応付けられるものであり、コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発の方向性に合致するという点で、今日的な意義がある。さらに、アナロジーを含めてモデルを事物・事象の記述 (description) だけではなく、事物・事象の予測 (predicition) やシミュレーションにも使用することを射程している点で、新規性がある。なお、アナロジーの使用能力は、一般的な能力と見なせるが、学習者がはじめから適切に使用するの難しく、教師の指導が必要であると考えられることから、アナロジーによる教授ストラテジーが重要な役割を担っている。

科学論研究では、科学におけるモデル観の転換に伴いモデルの重要性が再認識されてきており (Giere, 1988; Develaki, 2006)、また、理科教育学研究では、そのような科学論や構成主義的な学習論の影響を受けて、子ども自身がモデルを生成・評価・修正する能力、いわゆる、モデリング能力の重要性が注目されている (Lehrer & Schauble, 2006; Gilbert & Justi, 2016)。

このような動向を受けて、コンピテンシーを重視する諸外国の理科カリキュラムでは、モデリング能力が主要な位置を占めるようになってきている。例えば、科学技術イノベーションを掲げ、STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育の推進を図るアメリカの新しい科学スタンダードである「次世代科学スタンダード (Next Generation Science Standards)」では、証拠に基づいた議論であるアーギュメンテーションとやらんでモデリングが重要な能力として位置付けられている (NGSS Lead States, 2013)。当該スタンダードは、学習者が目標とする知識の習得や理解への到達に向けて移行する過程をモデル化した、ラーニング・プログレッションズ (Learning Progressions) 論を基礎にして、モデリング能力の発達の・熟達の過程を提示するという先駆的な試みであるが、その裏付けとなるような関連の研究は限られている (Schwarz et al., 2009; Schwarz et al., 2012)。本研究は、アナロジーに限定されるものの、科学的な熟達者のアナロジー研究の知見を参照して、中学生・高校生のモデリング能力を特徴付けようとする点で、学術的な貢献が期待される。

モデリング能力の育成では、自然 (対象) とそのモデル (表象) との対応関係に焦点を

当てた「表象としてのモデル」や一定の評価を得たモデルに焦点を当てた「所産としてのモデル」、すなわち、*models of* の学習と、特定の認識関心の下で自然のモデルを構成し、評価していく「認識的道具 (epistemic tools) としてのモデル」、すなわち、*models for* の学習の双方が重要である (Gouvea & Passmore, 2017)。本研究に対応付ければ、*models of* の学習は、アナロジーの内容的な側面に対応し、受容的な使用との関わりが大きいものに対して、*models for* の学習は、アナロジー的方法的な側面に対応し、自発的な使用との関わりが大きい。*models of* の学習には、DNA の二重らせんモデルなどの科学史上重要なモデルやアナロジー、電流の群衆モデルのような教授のために考えられたモデルを学習することが含まれる。教授のために考えられたアナロジーやモデルは、カリキュラムの構成に対応して変化することもあり得るが、電流と水流とのアナロジーのように (Stockmayer & Treagust, 1994)、科学の発展に寄与したと考えられるアナロジーやモデル (Levy, 2012) は、カリキュラムの構成の変化によらず、*models of* の学習内容として、あるいは、科学論的な内容としても位置付けられる (Coll et al., 2005)。ただし、モデリング能力の育成においては、*models of* の学習だけでは、事物・事象の記述だけに留まってしまうことや現実の模写としてモデルを捉えることが問題視され (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991)、*models for* の学習を推進していくことが必要とされている (Gouvea & Passmore, 2017)。本研究では、問いの設定や仮説の形成など多様な *models for* の学習がありうる中で、事物・事象の予測やシミュレーションに着目している。モデリング能力の育成を重視する理科カリキュラムにおいて、新たに強調されるようになったのが、モデルの機能としての予測である¹⁷⁾。なお、平成 29 年改訂の『中学校学習指導要領』(文部科学省, 2018) および平成 30 年改訂の『高等学校学習指導要領』(文部科学省, 2019) では、モデルの機能としての予測は扱われておらず、そもそもにおいて *models of* の学習が中心であり、*models for* の学習の視点は見られず、関連の研究も行われていない。これらのことから、本研究は、資質・能力の育成を主眼として改訂された『学習指導要領』より以前に授業実践や調査を行ったものであるが、コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発に資する着想を有しているという点を指摘できる。

第三項 本論文の構成

本論文は、序章、本論となる計五章、終章からなる構成とした。序章では、これまで述べてきた通り、理科教育におけるアナロジーの教育的意義に関する基本的な見解を確認し

た上で、アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究で残された課題を指摘し、研究の目的と方法、そして、具体的な研究課題を提示している。序章を除く各章の概要は、以下のとおりである。

第一章では、理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーの基底として、認知科学・科学論における代表的なアナロジー論を参照し、理科教育におけるアナロジーの理論的な基礎付けを図る。また、当該の教授ストラテジーの基底となる理科学習論の視点を整理する。次に、心理学的アプローチ、科学史的アプローチ、科学哲学的アプローチによって行われた、代表的な熟達者研究を対象として文献調査を行い、科学領域の熟達者のアナロジーの使用に関する知見を検討・整理する。そして、アナロジー使用の行為の主体という観点から、これまでのアナロジーによる教授ストラテジーを類型化し、その成果と課題を抽出する。

第二章では、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を検討する内容領域を事例として、教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識を明らかにする。中学生が理解するのが難しいとされる内容として、単元「物質の状態変化」から水の状態変化における加熱時間と温度変化の関係を、単元「電気分解」から、塩化ナトリウム水溶液の電導性と塩酸の電気分解をそれぞれ具体的な教育内容の事例として取り上げる。教師が当該の教育内容に関して保持している教科内容の知識、学習者や教授方法についての教授学的な内容知識を把握した上で、理科授業におけるアナロジーについての教授学的な内容知識の具体的な内容を探る。

第三章では、高校「化学電池」を事例として、教師によるアナロジーの導入の有無に着目して、高校生によるアナロジーの受容的な使用と概念的な理解の性質を明らかにする。高校「化学電池」の具体例としてダニエル電池を取り上げ、前章で明らかとなった教師が保持する教授学的な内容知識を踏まえて、教師がアナロジーを導入する授業を行い、授業前後の当該内容に関する理解状態、アナロジーの内容とを比較し、アナロジーの導入による認知的な側面での変化を捉える。また、アナロジーの意識的な導入が行われることなく、同じ教育内容を扱った授業を受けた高校生の理解状態、および、既知のオルタナティブコンセプションと比較対照し、アナロジーの導入により生じた認知的な側面で影響を抽出する。これらを総合的に検討して、理科授業における高校生のアナロジーの受容的な使用の特性を指摘する。

第四章では、中学校・高校「物質の状態変化」を事例として、科学的な説明を構成する

過程に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用の特性を解明する。中学生・高校生が対象として共通に調査できる教育内容である「水の融解と温度変化」を具体例として、認知的な葛藤事例の提示およびその説明を構成する過程でのアナロジー使用に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用の特性を明らかにする。科学的な熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用を比較対照し、両者の共通点や相違点を抽出し、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を特徴付ける。

第五章では、第一章で述べたアナロジーの基礎的理論、そして、今日的な理科学習論を基底とし、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みを提案する。その基本的枠組みに従って、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの体制化を図り、それに基づいた中学校「電気回路」の授業を開発する。中学校「電気回路」の授業を実践し、その学習過程を検証する。授業実践の成果を踏まえて、新規に開発したアナロジーによる教授ストラテジーの有用性を評価することにした。

終章では、本研究の成果と課題、そして今後の展望を提示し、総括する。

註

- 1) 「類比」については、「類推」の②の意味に加えて、比べ合わせることという意味もある。
- 2) このベースそれ自体も、実際の水流という現象から特定の要因を抽出したモデルでもあり、「水流モデル」と呼ばれることもある。他方、金属の伝導に関係する電子について、電子間の相互作用などを無視した自由電子を考えると、その自由電子もモデルである。「モデル」もその特徴によって類型化される (Harrison & Treagust, 2000)。
- 3) 子どもの自然認識研究に基づいて、理科学習以前に自然についての多様な考えおよび考え方、特に、科学的なものとは言えないそれ、いわゆる、オルタナティブコンセプション (alternative conception) を保持しており、それを理科授業に持ちこむことがあることが知られるようになってきた (Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985)。
- 4) 「概念的変容 (Conceptual Change)」の内容や状態については、多様な見解が示されてきたが、本研究では、概念的変容とは、デュイット・トリガースト (Duit & Treagust, 2003) が指摘するように、授業前の考え方から科学的な考え方 (概念を含む) への移行や変容するプロセスという意味で捉えることにしたい。
- 5) アメリカの科学教育スタンダードである *National Science Education Standards* の教育内容に相当する内容スタンダードの一領域として、「科学の歴史と性質 (History and Nature of Science)」が設定されている。
- 6) カーティス＝ライゲルス (1984) は、ベースとターゲットを「～のように」という表現で結び付けた「単純なアナロジー」、ベースとターゲットの間の対応関係 (非対応関係) の1つに言及する「豊富なアナロジー」、複数の対応関係やベースに言及する「拡張的なアナロジー」の3つに分類している。
- 7) 一般に、理科教育では心理学での「認知的不協和 (Cognitive Dissonance)」(Festinger, 1957: 9-15) や「概念的葛藤 (Conceptual Conflict)」(Berlyne, 1965: 255-256) の理論的な枠組みに基づいて、学習者の知識、信念、意見などの間に生じる対立・衝突・矛盾といった認知状態については、認知的な葛藤 (Cognitive Conflict) と呼ばれる。
- 8) ブランシェット・ダンバー (Blanchette & Dunbar, 2001) は、政治分野でのアナロジーの使用に影響を与える要因を分析している。
- 9) 子どものもつプレコンセプションを表出させる現象である「露出事象 (exposing events)」と、露出されたプレコンセプションでは説明できず、葛藤を生じさせる現象である「矛盾事象 (discrepant events)」と区別されている (Nussbaum & Novick, 1982)。

- 10) 第一に、2つのコンセプションがどちらも学習者にとって分かりやすいこと、第二に、当該の2つのコンセプションを比較して、両者の間に対立や矛盾があることを見いだせること、第三に、学習者が内在的な一貫性の範囲を限定するか、あるいはいずれかのコンセプションを受け入れ、もう一方のコンセプションを棄却するという2つの方法のどちらかで対立や矛盾を解消できることを条件とされる (Hewson & Hewson, 1986)。
- 11) 第一に、新しく学習する科学的な概念が最低限度の範囲で理解できる、第二に、オルタナティブコンセプションと科学的コンセプションとの葛藤を直接的に扱う「決定的事象 (critical events)」が学習過程に含まれている、第三に、学習する科学的な概念を支援するその他の科学的な概念がある、第四に、学習する科学的な概念を支持するその他の知覚や思考活動がある、というものである。第二の条件は、葛藤を生起するための条件であるのに対して、それ以外の三つの条件は当該の葛藤を解消するための条件とされている (Tsai, 2000)。
- 12) 経験的問題は第一次的な問題であり (Laudan, 1977:15)、概念的問題はその第一次的な問題 (経験的問題) を解決するために考えられた理論群に関する高次の問題である (Laudan, 1977: 48)。
- 13) ローダン (1977:17) は、ある理論が観察結果とは相反することはないが、それにも関わらず、(競合理論によって解決された) その結果を説明することや解決することができないときに、最も重要な種類の変則事例の一つが生起すると論じている。
- 14) ホーリズムの提唱者であるクワインは、その基本的な考え方は端的に「外的世界についてのわれわれの言明は、個々独立にではなく、ひとつの団体として、感覚的経験の裁きに直面するのである」と述べている (クワイン, 飯田訳, 1992: 61)。なお、クワインのホーリズム論やホーリズムの解説は、丹治信春 (2009).『クワイン-ホーリズムの哲学-』平凡社による。
- 15) 熟達の観点からのアナロジーの使用方法に関する研究では、熟達者は、科学者であるのに対して、もっとも低い熟達度の初心者は、大学生であることが多い (Kaufman, Patel, & Magder, 1996; Clement, 1998)。
- 16) 図中のモデルはメンタルモデルを、アナログ事例とはベースのことを指す。
- 17) 例えば、アメリカの全米科学教育スタンダード (National Science Education Standards) と次世代科学スタンダード (Next Generation Science Standards) を比較して見ると、モデルによる予測の扱いが異なることが確認できる。

引用文献

- Abell, S.K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1105-1149). Routledge.
- Allen, M. (2010). *Misconceptions in Primary Science*. Open University Press.
- Barke, H.D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer.
- Berlyne, D.E. (1965). *Structure and Direction in Thinking*. John Wiley & Sons (橋本七重, 小杉洋子 (訳) (1970). 『思考の構造と方向』 明治図書) .
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2001). Analogy Use in Naturalistic Settings: The Influence of Audience, Emotion, and Goals. *Memory & Cognition*, 29(5), 730-735.
- Brown, D.E., & Clement, J. (1989). Overcoming Misconceptions via Analogical Reasoning: Abstract Transfer versus Explanatory Model Construction. *Instructional Science*, 18, 237–261.
- Clement, J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Student's Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J. (1998). Expert Novice Similarities and Instruction Using Analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1271-1286.
- Clement, J. (2008). The Role of Explanatory Models in Teaching for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.417-452). Routledge.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The Role of Models/and Analogies in Science Education: Implications from Research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Curtis, R.V., & Reigeluth, C.M. (1984). The Use of Analogies in Written Text. *Instructional Science*, 13(2), 99-117.
- Dagher, Z. R. (1994). Does the Use of Analogies Contribute to Conceptual Change? *Science Education*, 78(6), 601-614.
- Dagher, Z. R. (1995). Analysis of Analogies Used by Science Teachers. *Journal of Research in Science Education*, 32(3), 259-270.
- De Jong, O., Veal, W.R., & Van Driel, J.H. (2002). Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base. In J.K.Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, & J.H. Van Driel (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 372-375). Kluwer Academic Publishers.

- Develaki, M. (2006). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16(7-8), 725–749.
- Dewey, J. (1943). *The School and Society (Revised Edition)*, University of Chicago Press (宮原誠一 (訳) (1957). 『学校と社会』 岩波書店) .
- diSessa, A.A. (2006). A History of Conceptual Change Research. In K. Sawyer (Ed.). *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.265-281). Cambridge University Press (寺本貴啓 (2009). 「概念変容研究の歴史—道筋と断層—」 森敏昭, 秋田喜代美 (監約) 『学習科学ハンドブック』, 205-219, 培風館) .
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.) (1985). *Children's Ideas In Science*. Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 『子ども達の自然理解と理科授業』 東洋館出版社) .
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual Change: a Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Dunbar, K. (2001). The Analogical Paradox: Why Analogy is so Easy in Naturalistic Settings, Yet so Difficult in the Psychological Laboratory. In D. Gentner, K.J. Holyoak, & B.N. Kokinov (Eds.). *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science* (pp.313-334). MIT Press.
- Dupin, J.J., & Johsua, S. (1989). Analogies and “Modeling Analogies” in Teaching: Some Examples in Basic Electricity. *Science Education*, 73(2), 211-216.
- Festinger, L. (1957). *A Theory of Cognitive Dissonance*. Row, Peterson and Company (末永俊郎 (監訳) (1965). 『認知的不協和の理論—社会心理学序説—』 誠信書房) .
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M.W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gentner, D., & Gentner, D.R. (1983). Mental Models of Electricity. In D. Gentner, A.L. Stevens (Eds.). *Mental Models* (pp.111-119). Lawrence Erlbaum Associates (淵一博 (監修) (1986). 『メンタル・モデルと知識表現』, 53-61, 共立出版) .
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science; A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M.

- Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社).
- Good, R. (1993). Editor's Note. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1211.
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for': Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. *Science & Education*, 26(1-2), 49–63.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Haglund, J. (2013). Collaborative and Self-Generated Analogies in Science Education. *Studies in Science Education*, 49(1), 35-68.
- Harrison, A.G. (2006). The Affective Dimension of Analogy. In P.J. Aubusson, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp.51-63). Springer.
- Harrison, G.A., & Coll, R.K. (2008). *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms; The FAR Guide-An Interesting Way to Teach With Analogies*. Corwin Press.
- Harrison, A., & De Jong, O. (2005). Using Multiple Analogies: Case Study of A Chemistry Teacher's Preparations, Presentations and Reflections. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Eds.). *Research and the Quality of Science Education* (pp.353-364). Springer.
- Harrison, A.G., & Treagust, D.F. (2000). A Typology of School Science Models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1014-1017.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an Explanation of Conceptual Change., *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Hewson, P., & Hewson, M.G.A. (1984). The Role of Conceptual Conflict in Conceptual Change and The Design of Science Instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- 堀哲夫 (1998). 『問題解決力を育てる理科授業のストラテジー—素朴概念をふまえて—』明治図書.
- 稲垣成哲, 山口悦司 (2004). 「理科学習への社会文化的アプローチ: Lotman と Wertsch の概念を参照した言語コミュニケーション分析」『理科教育学教育研究』, 44(2), 11-26.
- 磯崎哲夫, 米田典夫, 中條和光, 磯崎尚子, 平野俊英, 丹沢哲郎 (2007). 「教師の持つ教材

- 化の知識に関する理論的・実証的研究—中学校理科教師の場合—『科学教育研究』, 31(4), 195-209.
- 片平克弘 (2011). 「理科教育学における科学概念の変容研究に関する研究動向と課題」『筑波教育学研究』, 9, 83-101.
- Kaufman, D.R., Patel, V.L., & Magder, S.A. (1996). The Explanatory Role of Spontaneously Generated Analogies in Reasoning about Physiological Concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.
- Kind, V. (2009). Pedagogical Content Knowledge in Science Education: Perspectives and Potential for Progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204.
- Kind, P.M., & Kind, V. (2007). Creativity in Science Education: Perspectives and Challenges for Developing School Science. *Studies in Science Education*, 43, 1-37.
- Kipnis, N. (2005). Scientific Analogies and Their Use in Teaching Science. *Science and Education*, 4(3), 199-233.
- 北原保雄 (編) (2002). 『明鏡国語事典』大修館書店.
- 国立教育研究所 (1997). 『中学校の数学教育・理科教育の国際調査—第3回国際数学・理科教育調査報告書—』東洋館出版社.
- Kuhn, T.S. (1977). *The Essential Tension; Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press (我孫子誠也・佐野正博 (訳) (1998). 『科学革命における本質的緊張』みすず書房) .
- Laudan, L. (1977). *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. University of California Press (村上陽一郎, 井山弘幸 (共訳) (1986). 『科学は合理的に進歩する—脱パラダイム論へ向けて』サイエンス社) .
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education. In Sawyer, K. (Ed.). *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.371-387). Cambridge University Press (寺本貴啓 (訳) (2009). 「科学教育におけるモデルベース推論の促進」森敏昭, 秋田喜代美 (監訳) . 『学習科学ハンドブック』, 295-309, 培風館) .
- Levy, J. (2012). *A Bee in a Cathedral: And 99 Other Scientific Analogies*. A & C Black Publishers (緑慎也, 今里崇之 (訳) . 『デカルトの悪魔はなぜ笑うのか: 100のアナロジーで読む素晴らしき科学の世界』創元社) .
- Limon, M. (2001). On the Cognitive Conflict as Instructional Strategy for Conceptual Change: a

- Critical Appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 373-374.
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Sense Publisher.
- 松森靖夫 (1997). 『子どもの多様な考えを活かして創る理科授業』 東洋館出版社.
- 森本信也 (1993). 『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』 東洋館出版社.
- 文部科学省 (2018). 『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』 東洋館出版社.
- 文部科学省 (2019). 『高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説 理科編理数編』 実教出版.
- 中田晋也, 磯崎哲夫, 中條和光 (2012). 「小学校教師の理科授業で使用する知識に関する研究—熟練教師と初任教師の比較を通して—」 『科学教育研究』, 36(1), 27-37.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. The National Academies Press (長洲南海男 (監訳) (2003). 『全米科学教育スタンダード』 梓出版) .
- National Research Council (2000). *How People Learn; Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press (森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2000). 『授業を変える—認知心理学のさらなる挑戦—』 北大路書房) .
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*. The National Academies Press.
- Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation: Toward A Principled Teaching Strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Orgill, M.K., & Bodner, G. (2004). What Research Tells Us About Using Analogies to Teach Chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 15-32.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W., & Boyle, R.A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- クワイン, W.V.O. (著), 飯田隆 (訳) (1992). 『論理的観点から—論理と哲学をめぐる九章—』 勁草書房.
- 佐藤寛之, 森本信也 (2004). 「理科学習における類推的思考の意味と意義に関する考察」 『理科教育学教育研究』, 45(2), 29-36.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, E. A., Kenyon, A., & Fortus, D. (2012). MoDeLS: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. In Alonzo, A. C., & Gotwals, A. (Eds.). *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions* (pp.101-137). Sense

Publishers.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Schwarz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 632-654.
- Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp.31-56), Routledge.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L., & Anderson, D.K. (1989). Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition, In S. Vosniadou, & A. Ortony. (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 498-531). Cambridge University Press.
- Stockmayer, S. M., & Treagust, D. F. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science & Education*, 3(2), 131-154.
- ストライク, K.A, ポズナー, G.J.(1994). 「概念転換として見た学習と理解」, L.H.T.ウエスト, A.L.パインズ (編) , 進藤公夫 (監訳) 『認知構造と概念転換』, 266-271, 東洋館出版.
- Taber, K. S. (2006). Beyond Constructivism: the Progressive Research Programme into Learning Science. *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- 丹治信春 (2009). 『クワイン-ホーリズムの哲学-』 平凡社.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). An Interpretive Examination of High School Chemistry Teachers' Analogical Explanations. *Journal of Research in Science Education*, 31(3), 227-242.
- 戸田山和久 (2005). 『科学哲学の冒険-サイエンスの目的と方法をさぐる-』 日本放送出版協会.
- Treagust, D. F., Duit, R., Joslin, P., & Lindauer, I. (1992). Science Teachers' Use of Analogies: Observations from Classroom Practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- Treagust, D.F., Harrison, A.G., Venville, G.J., & Dagher, Z. (1996). Using an Analogical Teaching Approach to Engender Conceptual Change. *International Journal of Science Education*, 18(2), 213-229.

- Tsai, C.C. (2000). Enhancing Science Instruction: the Use of 'conflict maps'. *International Journal of Science Education*, 22(3), 285-302.
- Valverde, G. A., Bianchi, L. J., Wolfe, R. G., & Schmidt, W. H. (2002). *According to the Book: Using TIMSS to Investigate the Translation of Policy into Practice Through the World of Textbooks*. Springer.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical Reasoning as a Mechanism in Knowledge Acquisition: A Developmental Perspective. In S. Vosniadou, A. Ortony (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 413-437). Cambridge University Press (土井晃一, 松原仁 (1992). 「知識獲得におけるメカニズムとしてのアナロジ推論: 発達の観点から」, 安西祐一郎, 石崎俊, 大津由起雄, 羽多野誼余夫, 溝口文男 (編). 『認知科学ハンドブック』, 104-117, 共立出版社) .
- Weller, C.M. (1970). The Role of Analogy in Teaching Science. *Journal of Research in Science Education*, 7, 113-119.
- Wilbers, J., & Duit, R. (2006). Post-Festum and Heuristic Analogies. In P.J. Aubusson, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp.37-49). Springer.
- Ziman, J. (2002). *Real Science: What it is, and what it means*. Cambridge University Press (東辻千枝子 (訳) (2006). 『科学の真実』 吉岡書店) .
- Zook, K.B., & Di Vesta, F. J. (1991). Instructional Analogies and Conceptual Misrepresentations. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 246-252.

第一章 理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーとその基底

本章では、第一に、理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーの基底として、認知科学・科学論における代表的なアナロジー論を参照し、理科教育におけるアナロジーの理論的な基礎付けを図る。また、当該の教授ストラテジーの基底となる理科学習論の視点を整理する。第二に、研究課題(1)に対応して、心理学的アプローチ、科学史的アプローチ、科学哲学的アプローチによって行われた、代表的な熟達者研究を対象として文献調査を行い、科学領域の熟達者のアナロジーの使用に関する知見を検討・整理する。第三に、研究課題(4)に対応して、アナロジー使用の行為の主体という観点から、これまでのアナロジーによる教授ストラテジーを類型化し、その成果と課題を抽出する。

第一節 理科教育におけるアナロジーの基礎的理論

第一項 認知科学におけるгентナーとホリオーク・サガードのアナロジー論

認知科学事典などを見ると、アナロジーに関する項目が立てられていることから分かるように、当該分野ではアナロジーは重要な研究領域と目されている(アイゼンク・エリス・ハント・ジョンソン-レアード, 野島・重野・半田訳, 1998: 1-4)。その認知科学では、多様なアプローチや理論が提案されているが、そのなかでも理科教育学においてアナロジーの理論的基礎を提供しているものの一つに、гентナー(Gentner, 1983)によるアナロジーの「構造写像理論(Structure Mapping Theory)」がある。この理論に基づくと、アナロジーは、対象、対象の属性($b_1, b_2 \dots b_n \cdot t_1, t_2 \dots t_n$)、対象間の関係から構成されるシステムと見なされる、2つの異なる領域や状況から構成されている。知識ソースとなる領域がベース(base)¹⁾、それに基づいて解釈される領域がターゲット(target)と呼ばれる(図1)。

アナロジーの認知プロセスには、ベースとターゲットとを対応付ける写像(mapping)と呼ばれるプロセスが含まれるとされる。構造写像理論では、この写像を秩序付ける規則として、ベースとターゲットとの写像が対象やその関係性などの構造的な一貫性が保持される、属性レベルの類似性よりも、関係レベル、そして、構造レベルの類似性のようなより高次の関係性が優先的に写像されるなどの規則が掲げられている(鈴木, 1996)²⁾。

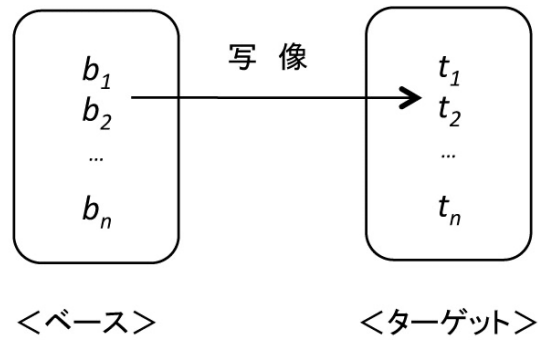


図1. アナロジーの基本的な構造

このゲントナーの一連の構造写像理論に対して、ホリオーク・サガード (Holyoak & Thagard, 1994) は、写像に影響を及ぼす要因として、ソース（上記のベースと同様の意味）とターゲットの構造だけではなく、アナロジーが導入される目的などの要因にも着目した「多重制約理論 (Multiconstraint theory)」を提唱している。この理論では、典型的なアナロジー使用に含まれる、①記憶からのソースの選択、②ソースからターゲットへの写像、③ターゲット固有の側面を考慮するための評価と適用、④アナロジーの成否に基づいたより一般的な内容の学習、という四つの段階に、類似性、構造、目的という制約がその相対的な重要度を変えながら適用される、と考えられている (Holyoak & Thagard, 1994: 15)。

多重制約理論と構造写像理論のいずれであっても、アナロジー写像においてソースとターゲットの構造が重要な要因の一つであると見なしている点では、共通している (Thagard, 1992)。そして、潜在的なソースを記憶から想起する段階では類似性の要因が、ソースとターゲットが提示されて、生徒が両者の対応関係を決定する段階であれば、構造的な要因がそれぞれ重要な制約になる。一方、ターゲットを理解し、その問題を解決するためにソースが使えるかどうかという最終的な段階になると、目標・文脈などの実用的な要因が重要となる。これらの制約を踏まえることが、理科教育におけるアナロジーの使用において重要であると指摘する (Thagard, 1992)。その後の認知科学分野では、構造写像理論や多重制約理論あるいはその他のアナロジー理論を基礎にして、アナロジーの認知プロセスのモデル化や解明の試みが行われているが (Holyoak, 2005)、理科教育では上述の2つの理論はアナロジーの認知プロセスを考える上での理論的な基礎となっている (Haglund, 2013)。

第二項 科学論におけるヘッセのアナロジー論

科学哲学の分野でのヘッセ (Hesse, 1966) のモデル・アナロジー論は、理科教育におい

てアナロジーやモデルを考察する上での理論的な枠組みとして利用されてきた（中山，1998a; Gilbert, 2015）。ヘッセのモデル・アナロジー論では着目すべき点はいくつもあるが，そのうち理科教育におけるアナロジーの理論的な基礎として重要と見なされてきたのが，肯定的・否定的・中立的アナロジー関係の区別，形式的アナロジーと実質的アナロジーの区別である³⁾。

まず前者に関して言えば，ヘッセ自身は，ある対象を研究するために参照される他の対象，あるいは，それについての理論の内部で構成されるものをモデルと呼んでいるが，そのモデルと対象となるものの中に認められる類似・非類似の対応関係のことを，肯定的アナロジー関係，否定的アナロジー関係，中立的アナロジー関係と区別している。これらのアナロジー関係の区別を図式的に示すならば，図2のように表現できる。

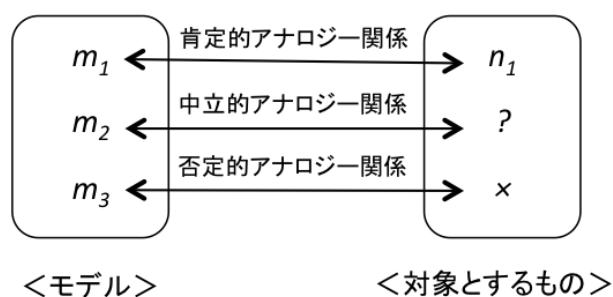


図2. ヘッセによる肯定的・否定的・中立的アナロジー関係

すなわち，モデルと対象とするものの中に容易に認められる類似の関係 (m_1 と n_1) を肯定的アナロジー関係，モデルには認められる特性が対象とするものには認められない場合 (m_3 と x) を否定的アナロジー関係，モデルに認められる特性が対象とするものに認められるかどうか知られていない場合 (m_2 と $?$) を中立的アナロジー関係と区別できる。これらのうち，中立的アナロジー関係の存在が仮定されることで，科学的な探究の初期段階で想定したモデルに基づいて，対象についての新しい予測ができるようになることにつながる。ヘッセが挙げた例で言えば，気体分子とビリヤード玉とのアナロジーでは，ビリヤード玉にあるが，気体分子にはない性質（例えば，色や光沢）は，否定的アナロジー関係であり，両者に共通する性質（例えば，衝突をはじめとする運動の特性）は，肯定的なアナロジー関係である。そして，ビリヤード玉の力学的な知識に基づいて，気体分子の振る舞いについて予測できる性質が，未だ肯定的・否定的アナロジー関係に分類されていない，

中立的アナロジー関係である。そして、科学的な探究を通じて、中立的アナロジー関係が肯定的アナロジー関係であるのか否定的アナロジー関係であるのかが特定され、もし否定的アナロジー関係と判断されたならば、初期のモデルからその特性が除かれていくことで、洗練されたモデル＝理論と見なされるように洗練されていくのである。ヘッセは、このように科学における理論は、モデルの開発に続いて、それが評価・修正される過程を経て、次第に洗練されて構築されるものと捉えている（Hesse, 1966: 7-11）。

もう1つの要点である形式的アナロジーと実質的アナロジーの区別についてである。この区別にあたり、ベースとターゲットに見られる関係を、ベースとターゲットのそれぞれの属性の類似性の関係を「水平的関係」と、ベースとターゲットのそれぞれの内部にある関係（多くの場合は、因果関係）を「垂直的關係」に分類される（図3）。

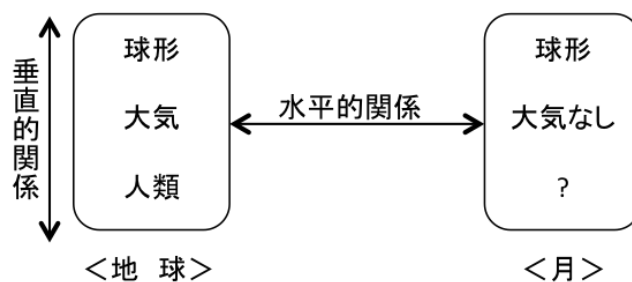


図3. 太陽と月のアナロジーにおける水平的関係・垂直關係（Hesse, 1966: 59）

гентナーの構造写像理論とヘッセの形式的／実質的アナロジーを区別する観点には、それぞれの研究関心に違いがあるものの、アナロジーの認知プロセスを捉える点での共通性が指摘されている（Bailer-Jones, 2009:59-60）。認知科学と科学論という別々の研究関心のもとに展開されてきたアナロジー理論であるが、アナロジーの認知プロセスを考える上では、両者のアナロジー論には共通性も認められ、それらの理論は、理科教育におけるアナロジーの基礎的な理論として位置付けられている（Gilbert, 2015）。中学生を対象にしたインタビュー調査から、これらの理論で提案されるアナロジーの認知的過程を裏付けるような報告もある（Mozzer & Justi, 2012）。

第三項 メタファー論の観点から見たアナロジーと関連概念との共通点と相違点

гентナー（Gentner, 1989: 206-207）は、構造写像理論を基礎として、ベースとターゲットとの間に共有される属性、関係に基づく類似性の量的な差異に基づいて、以下に述べる

ように、アナロジーとそれに関連する概念との区別を行っている（図 4）。「文字通りの類似 (literal similarity)」とは、「イルカは、鯨と似ている」というような比較であり、属性と関係に基づく類似性のどちらも領域間で多く共有される。「抽象 (abstraction)」とは、「熱流は、一種の通過変数である」というような比較であり、属性に基づく類似性はほとんどなく、関係に基づく類似性のみが領域間で共有される。「単なる外見上の一致 (mere appearance match)」とは、「ガラスのテーブル表面が水のように光っている」というような比較であり、関係に基づく類似性はなく、属性に基づく類似性のみが領域間で共有される。「アノマリー (anomaly)」とは、「水は、太陽系のようなものである」というような比較であり、属性や関係に基づく類似性が領域間で共有されることがなく、実質的な意味をもたない。図 4 では、類似性に関連する概念の関係をまさに比喩的に表現したものであり、それぞれの概念が示される形状には実質的な意味は付されていない。アナロジーと抽象 (abstraction)、メタファー (metaphor) は、重なる部分もあり、単純には区別しにくい。特に、アナロジーとメタファーの両者の関係は、著者や状況によってその定義に幅が見られるために、概念的な混乱を招きやすい。

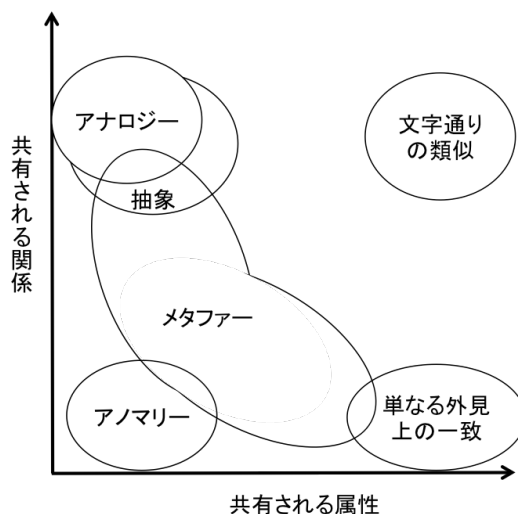


図 4. 共有される属性・関係に基づいた類似性の関連概念 (Gentner, 1989: 207)

メタファーについては、従来の言語学、レトリック論のみならず、レイコフ・ジョンソン (Lakoff & Johnson, 1980) の提唱した概念メタファー論が理科教育での基礎的な理論として利用される (中山, 1998a; Gilbert, 2015)。ここでは、認知言語学におけるメタファー論の知見を含めて、アナロジーとメタファーとの異同を整理したい。

楠見 (2001) は、狭義のメタファー、いわゆる、隠喩は類似性を基礎にした比喩である

とし、その種類を大きく4つに分類している⁴⁾。そのうち、構造メタファーがアナロジーに直接的に対応するものであり、そのアナロジーを基礎にした言語表現がメタファーだと指摘する。瀬戸（1995）もアナロジーが構造的なメタファーであることを指摘し、メタファーが点对応であり、アナロジーが面对応であると、その両者の関係を幾何学的なメタファーで説明している（図5）。楠見（2001）との関係で捉えると、特徴メタファーは点对応的なメタファーであり、関係・構造メタファーがより面对応的なメタファーと捉えられる。さらには、瀬戸（1995）の説明に見られる点・面对応という考え方は、アナロジー論でのベースとターゲットを対応付ける、いわゆる、「写像」に相当するものであり、この写像は、概念メタファーの基本的な認知プロセスとも見なされている（高尾, 2003）。

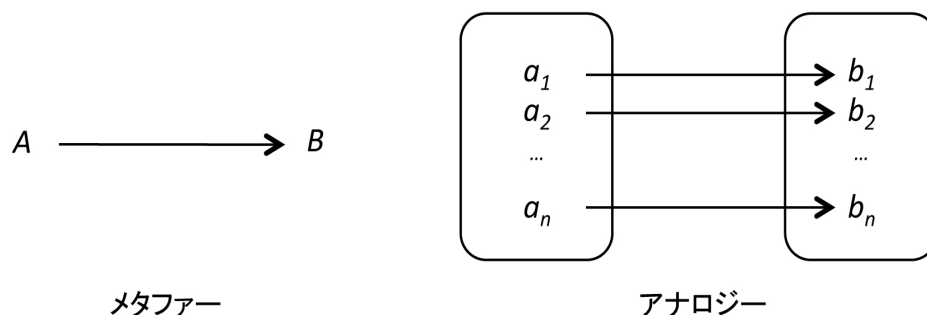


図5. 点对応としてのメタファーと面对応としてのアナロジー（瀬戸, 1995:186-189）

アナロジーとメタファーは、その構造的な特性の連続性や認知プロセスの共通性が指摘され、かなり相互に関連性の高い思考様式であると考えられている。その一方で、アナロジーが類似性を基礎にして構造的な写像が行われるのに対して、メタファーは類似性のみならず共起性に基づいても写像が行われる点で、差異がある（谷口, 2006: 75-81）。特に、「量が多いことは上である (MORE IS UP)」といった概念メタファー（理科の例で言えば、「濃度の値が高い」など）については、共起性に基づいた写像によるものとされる。

言語表現という観点からメタファーは、それ自体では意味が定まらず他の言語要素を必要とする属性語から構成される隠喩（「する」の隠喩）と、それ自体で意味が充足される名詞を中心として構成される隠喩（「である」の隠喩）に分類される（山中, 1994）⁵⁾。それに対して、アナロジーは、ベースとターゲットでは構造的な対応関係を想定し、それぞれ指示しうる独立した対象とそれに伴う意味内容をもっており、等式的隠喩に相当すると見なせるのである。

以上のことを踏まえると、アナロジーは、ベースとターゲットとの類似性を基礎にした

認知プロセスや一定の言語表現の形式をもちうるという点では、メタファーとの共通性が認められる。その一方で、メタファーには、ベースとターゲットを対応付ける基礎的な特性（共起性）や多様な言語表現の可能性という点で、アナロジーとは異なる。

第二節 アナロジーによる教授ストラテジーの基底となる理科学習論

第一項 能動的な構成としての学習という視点

子どもと自然との間での相互作用による知識や技能を習得するものとして学習を捉える考え方は、構成主義的な学習観と呼ばれ、今日の理科指導の理論的な基礎となっている（Taber, 2006）。この学習観に基づくと、新しく学習する内容が既に学習した内容との間に意味付けがなされ、ネットワークが構築されることとして捉えられるのである。このとき、子どもが意味のある知識やイメージのネットワークを作り上げる構成者であり、教師はその活動を促進・補完する支援者と見なされる。ただし、個人的な構成としての学習という見方は、子どもを個体な内で閉じた情報処理システムとして捉える傾向にあり、歴史的に「発見学習」と呼ばれてきたものと同じようなものではないか、という疑問が呈されるようになってきた。また、発達の最近接領域などで知られるヴィゴツキー理論の再評価に伴って、本来的に教師と子どもとの相互作用である教授学習場面を単純化し、教室環境という社会的な状況や文化的背景、科学それ自体の社会的な側面などが、なおざりにされているという問題意識が生じてきている。そこで、社会的な構成としての学習という見方が重視されるようになってきている（Scott, Asoko, & Leach, 2007）。ここでの「社会的」ということばには、人間の学習それ自体が、本来的に教師や大人と子どもによる相互作用に起源をもっているということと、科学者共同体とそれがもつ社会的な文脈のなかで科学的な知識が発達してきた、という二つの意味が含まれているのである。

子どもの既有知識に基づいた指導を行うことで、学習者個人のもつメンタルモデルを、科学者共同体で認められる合意モデルへと接近させていく過程、つまり、「モデル進化（model evolution）」（Rea-Ramirez, Clement, & Neúñz-Oviedo, 2008: 33-34）として、あるいは、より洗練された科学的な知識への移行する学習過程（「ラーニング・プログレッションズ（learning progressions）」）（Duschl, 2011）として、理科学習が捉えられる。

第二項 自己調整としての学習という視点

学習者が学習の目標を達成するために、自らの認知、感情、行動を体系的に方向付けていく学習過程は、自己調整学習（self-regulated learning）と呼ばれ、この自己調整過程の質的な違いは、児童間で学力差を生じさせる重要な要因となっている一方で、学習の習熟度を改善する効果的な方法でもある（ジーママン、シャンク、塚野訳, 2014）。例えば、優れた自己調整を行う学習者は、学習目標の設定、効果的な学習方略遂行、目標に向けた進み具合の把握・評価、学習環境の整備、学習への自己効力感の保持、などを実行できている。

自己調整学習は、認知、メタ認知、そして、動機づけの三つの基本要素から構成されていると考えられている（シナトラ、タツブシラジー、塚野訳, 2014）。理科学習における認知的な要素には、問題解決・探究活動に必要とされる事実に・概念的な知識、科学的な探究のスキルなどが含まれる。メタ認知的な要素には、自身の認知についての知識（メタ認知的な知識）と認知のモニターとコントロールの活動（メタ認知的な活動）が含まれる。動機づけの要素には、習熟目標や遂行目標の設定、内発的もしくは外発的な動機づけなどの、理科学習への積極的・持続的な取り組みに必要な心理状態の形成・保持が含まれる。これらの三要素が相互に関係付けられて、自己調整的な学習が行われていくのである。

子どものもつ自然認識がより科学的なものへと変化していく認知的過程は、概念的な変容と呼ばれ、これを促進するためには、概念的な知識の教授といった認知的な側面のみならず、学習者が自分たちの概念的な理解の状態や使用している方略の適否などを把握するといったメタ認知的な要素を取り入れることが重要である。また、他者と協同的に活動する場面、学習課題や実験方法などを選択する場面、自分なりの考え・説明・モデルの創出などの挑戦する場面、観察・実験で得られた事実や他者からの意見に基づいて、自分の考え等を修正・補強するなどの状況に応じて対応する場面の設定など、学習状況に応じた動機づけを図る工夫も求められる（森本, 2012）。

第三項 状況・文脈のなかでの学習という視点

理科の授業で以前学習して理解できたと思っているものであっても、別の問題や状況に着目した場合は、必ずしも学習済みの知識を容易に活用できるとは限らない。ある知識や技能は、一度どこかで習得すると、いろいろなところで簡単に応用できるものではなく、むしろ、それらが学ばれた社会的・文化的な状況と分かちがたく結びついている。

学習科学研究の知見によると、徒弟制をとるような学習環境では、周辺的な作業が割り

当てられて、そこで技能を向上させていき、徐々により難度の高い中心的な作業ができるようになっていく。このような、ある特定の行為様式を共有する集団である実践共同体での実践的な活動に参加し、その構成員らしくなっていく学習のプロセスは、「正統的周辺参加 (Legitimate Peripheral Participation)」と呼ばれる (レイブ, ウェンガー, 佐伯訳, 1993)。

学校教育であれば、それぞれ独自の社会文化的な背景をもつ教科や教科外の学習を行っている学習者集団が「学びの共同体」であって、個々の子どもがそれぞれの役割を担いつつ、その学ぶという実践へと「参加」していくものと捉えられる。これまでの理科指導では、学習内容を別の状況へと適用できること（「転移」）を意識するあまり、抽象的で脱文脈化されたものとして知識・技能を教授する傾向にあり、かえって学ぶ意義の実感や学んだことの活用を阻害してきたとの批判がなされるようになってきた。このような状況の改善に向けて、今日の理科学習の指導や評価において、状況もしくは文脈 (context) の設定は、重要な要素となっている (Gilbert, 2006)。

第四項 社会文化的な行為としての協同的・対話的な学習という視点

素朴な理科学習のイメージは、観察・実験の活動に代表されるものであろう。もちろん、観察・実験は、科学的な知識を形成する上での重要な手段ではあるが、これだけでは十分ではない。科学的な知識とは、個人的な認識の単純な寄せ集めではなく、科学的な共同体の産物であって、物質的な世界との相互作用（観察・実験）のみでは、学び得ない。

科学者であれ子どもであれ、社会文化的な産物である言語やモデルなどを媒介として、自然 (モノ) との対話、他者との対話、自己との対話を通じて、科学的な認識へと至ることができるのである (Scott, Asoko, & Leach, 2007)。科学とは、社会文化的な営みとして語り (discourse) の実践活動であると考えたとするならば、科学を学ぶということは、科学の営みでの独自の語り方や推論の仕方、行為の仕方を、そして、規範や信念、価値などを学ぶことである (Rosebery, Warren, & Conant, 1992)。文字、数式、モデル、図、グラフなどを適切に用いて表現できるようになることが期待される。そのためには、科学という言語をすでに習得している人と話すこと、また、それが使われる目的に適うように、その言語を利用することができる協同的・対話的な学習環境が求められる (Lemke, 1990:1)。そのなかでも、他者に対して自分自身の考えを説明する、説得する、いわゆる、アーギュメンテーションという言語活動が重視される (Erduran & Jimenez-Aleixandre, 2008)。

第五項 主体的な関与の高まりとしての学習という視点

主体的な学びは、自律性と積極性の観点から捉えることができる。前者は、前述した学習者が自ら計画的に目標の達成を遂行しようとする自己調整的な学習に係わっている。一方、後者は、意欲的な学習に係わるものであり、「興味や楽しさを感じながら気持ちを集中させ、注意を課題に向けて持続的な努力をするような「熱中」する心理状態」である、エンゲージメント (engagement) として捉えられる (鹿毛, 2013: 7-9)。

学習活動におけるエンゲージメントには、課題への集中力や努力などに係わる行動的エンゲージメント、課題に取り組むときの感情に係わる感情的エンゲージメント、学習方略の活用やより深い理解の追究などに係わる認知的エンゲージメント、学習活動への主体的・積極的な取り組みなどに係わる行為主体的なエンゲージメント、といった複数の次元がある (Reeve, 2012)。さらに、エンゲージメントの程度については、低い状態から高い状態まであり、概念的な理解の変容には、より高い認知的エンゲージメントが要求される (Dole & Sinatra, 1998)。子どもの理科学習へのエンゲージメントは、成功体験や言葉かけなどによる自己効力感の向上 (鈴木, 2012) や、自分の既有知識とのずれや興味・関心の広がりを与えうる学習課題の設定で高まることが期待される。また、教師の教育内容に対する熱意よりも、教えることに対する熱意の方が、子どもへと感情伝染しやすい (鹿毛, 2013: 305)。

第六項 熟達としての学習という視点

ある特定の領域で専門的な知識や技能の習得が進むことを熟達化といい、熟達者を対象にした研究から、熟達者の認知的な活動に見られる特徴を明らかにされている。熟達者を対象とした研究は様々な分野で行われてきたが、熟達者には共通した認知的な特徴が見られる。例えば、初心者と比べて熟達者は、目のつけどころ・ものの見え方が違う、必要なことを覚える記憶力が違う、課題を遂行するときの手続きが違う、課題を遂行するときの方略が違うことなどが挙げられる (今井・野島, 2003)。

科学の専門的な能力の育成を目指す理科教育において、熟達者としての科学者の有り様は、子どもの理科学習の方向目標であり、見本・模倣したいモデルでもある。また、そこから得られる知見は、子どもの理科学習を促進する方策を考える上での貴重な示唆を提供するものとなっている (National Research Council, 2000)。なお、アナロジーによる教授ストラテジーを検討する上で、科学的な熟達者によるアナロジーの使用に関する研究の知見がある。詳細は、次節にて取り上げる。

第三節 科学的な熟達者によるアナロジーの使用方法

熟達者研究は、基本的な前提や対象者から大きく 2 つのアプローチに分けられる (Chi, 2006)。個人の生得的な能力や機会から生み出されたような例外的あるいは絶対的な熟達者についての研究と、当該分野にそれほど習熟していない初心者との比較によって捉えられる相対的な熟達者についての研究である。前者の研究としては、科学史に足跡を残した科学者や同時代の傑出した科学者に着目した研究がそれに相当する。後者の研究としては、科学領域の熟達の程度が異なるものを対象にした研究がそれに相当する。この場合、一般的には、習熟の程度は学位の取得状況や経験年数、同僚からの評価などによって、習熟の程度を判断することができるため、熟達者を厳密に定義することなく、熟達化の程度をある種連続的なものとして捉えられる利点があるとされる。相対的な熟達者の研究では、一般的に大学生が比較対照とされる初心者として位置付けられてきた。

本研究では、2 つの熟達者観（絶対的・相対的熟達者）に基づいた熟達者研究のいずれも含み、多様なアプローチによって明らかにされてきた科学領域の熟達者のアナロジー使用に着目する。具体的には、心理学的アプローチ、科学史のアプローチ、科学哲学的アプローチという各種研究方法論の立場から、一定の研究成果の蓄積が認められる代表的なものに着目し、科学領域の熟達者のアナロジー使用に関する知見を活用する。

第一項 科学的熟達者の問題解決におけるアナロジーの認知的過程

(1) 熟達者の問題解決におけるアナロジーの主要な認知プロセス

熟達者のアナロジーの認知的過程を探ったクレメント (Clement, 2008) は、熟達者がアナロジーを使用する認知プロセスとして、アナロジーの生成、アナロジーの評価、アナロジー (ベース) の理解の評価、アナロジーの適用という 4 つの段階に分節化している (Clement, 2008: 436)。以下では、クレメント (2008) が指摘している熟達者のアナロジー使用の認知プロセスのうち、熟達者研究の顕著な成果である、熟達者のアナロジー使用を特徴付けるアナロジーの生成方法と評価方法に着目して、具体的な事例に則してその内容を探ることにしたい。

(2) 熟達者の問題解決におけるアナロジーの生成方法

技術分野の大学院生と教授を対象にした、問題解決過程を思考発話法による調査から、

熟達者のアナロジーの生成方法は、「原理を経ての生成 (generation via a principle)」、「連想を経ての生成 (generation via an association)」、「変形を経ての生成 (generation via a transformation)」の3つに分類されている (Clement, 1988)。

アナロジーの生成方法の一つ目である「原理を経ての生成」とは、確立された等式あるいは形式的・抽象的な原理が2つ以上の異なる文脈で適用されるものであり、原理Pの具体例として事例Aが認識され、それに類似するBが第二の例として考え出される、というものである (図6) (Clement, 2008: 37)。

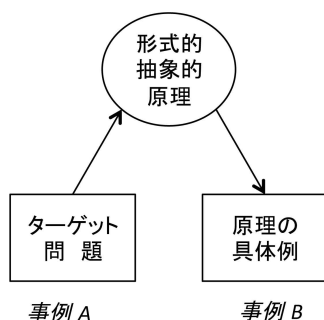


図6. 原理を経てのアナロジーの生成 (Clement, 2008: 38)
(図中の矢印の方向は、認知過程での順序を示す。以下、同様)

アナロジーの生成・活用の目標や文脈が観点として設定され、「抽象化」(されたもの)が検索されることによって、ベースとターゲットの類似性が認識されると考えられている。そして、アナロジーの認知的過程は、各要素を個々に対応付ける「写像 (mapping)」というよりはむしろ、一種の演繹的な推論と見なせるのである (鈴木, 1996: 90)。熟達者のアナロジー生成では、単純に帰納的な過程だけではなく、演繹的な過程もありうる。

一方、クレメント (1988) の調査によると、アナロジー生成の主要な認知プロセスは、「連想を経ての生成」と、「変形を経ての生成」によるものであった。連想を経ての生成とは、事例Aから長期記憶の中にある事例Bを連想すること (association) であり、それらの事例は、多くの意味で、元々の問題とは異なっているかもしれないが、元来の状況と共通する重要な特徴だけはもっている (図7) (Clement, 2008: 38-40)。連想を経て生成されたアナロジーは、ベースとターゲットとの間には、共有される特徴が限られているという意味で、後述の変形によって生成されたものに比べて、もともとの状況とは概念的に「離れて」いる傾向にある。

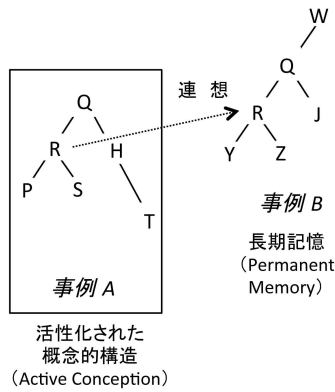


図 7. 連想を経てのアナロジーの生成 (Clement, 2008: 38)

アナロジーの生成方法の三つ目である変形を経ての生成とは、元々の状況である事例 A を修正し、それによって、以前は固定されていると仮定された、いくつかの特徴を変化させることによって、別の状況である事例 B を作り出すことである (図 8) (Clement, 2008: 38-39)。したがって、変形によってアナロジーを生成した場合は、ターゲットに近いものがベースとして構成もしくは選択されることになる。特に、変形を経てのアナロジーに分類されるものの中には、必ずしも調査対象者の過去の経験から導かれたとは思われないような新奇な事例が含まれていた。このようなアナロジーの生成について、新しい経験的な観察を行うことなく新しいシステムの振る舞いを予測しうる状況を考案しているという意味で、「思考実験 (thought experiment)」であるとされる (Clement, 1998: 579)。

(3) 熟達者の問題解決におけるアナロジーの評価方法

熟達者のアナロジーの評価方法として、ベースとターゲットのそれぞれの属性を対応付ける「写像」と、第一のベースに加えて、第二のベースを考案・選択して、ベースとターゲットとの関係性を評価する「橋渡し (bridging)」という 2 種類があることが報告されている (Clement, 1998: 1271-1286)。その 2 つの他に、先にアナロジーの生成方法として挙げ

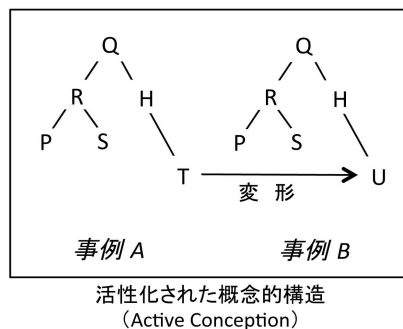


図 8. 変形を経てのアナロジーの生成 (Clement, 2008: 38)

られていた「変形」と、ベースとターゲットの関係がイメージ上の操作（シミュレーション）で比較されるとする「デュアルシミュレーション」も、アナロジーの評価方法として加えられる（Clement, 2004）。熟達者のアナロジーの評価方法としては、「写像（mapping）」、「橋渡し」、「保存しながらの変形（Conserving Transformation）」、「デュアルシミュレーション（Dual Simulation）」の4つとなる。

車輪を斜面方向に動かすときに押す場所（X と Y）によって必要な力が異なるのかどうかという問題について、熟達者は、この問題（事例 B）を考え出して、両者の事例がうまく対応するどうかを評価している（図 9）。これは、ターゲット（事例 A）とベース（事例 B）の対応関係の妥当性を考えているという意味で、「写像」という評価方法である⁶⁾。

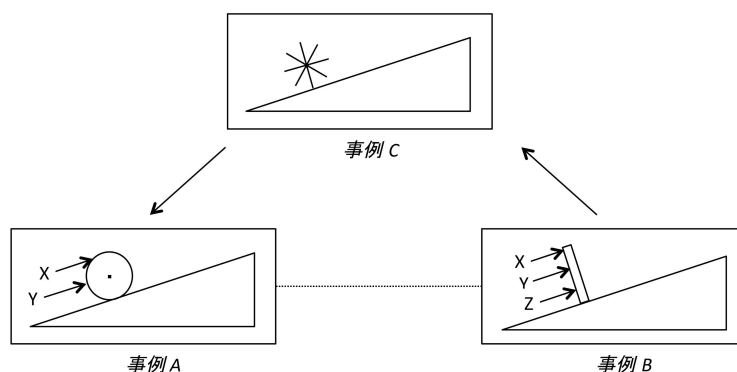


図 9. 橋渡しを経てのアナロジーの評価（Clement, 2008: 50）

さらに、写像での評価に基づいて、事例 A では力を加える場所で支点が動くのに対して、事例 B では支点が固定されている点が潜在的に異なることに気付いた。そして、スポークだけの車輪からなる事例 C を新たなベースとして考案したのであった。この事例 C は、リムがない車輪として考えられるという意味で事例 A にも、複数のてこが組み合わせたものと見なせるという意味で事例 B にも、類似した属性を持ち合わせたものとなっている。事例 C が事例 A と事例 B の両者にまたがる中間的な属性をもっていることから、橋渡し事例と呼ばれる。車輪の問題だけではなく、別の問題でも、そして、別の熟達者が同じように橋渡しによるアナロジーの評価を行っている（Clement, 1998）。

このような「変形」は、アナロジーの生成方法でもあり同時に、アナロジーの評価方法でもある。図 10 に見られるように、ターゲットである事例 A（車輪）から事例 B（歯車）、そして、事例 C（滑車）というように、新しいベースへと変形されていっている。その過程は、アナロジーの生成過程であると同時に、重要な特徴や関係性が保存されているかどうか確かめながら進められているという意味で、アナロジーの評価方法とも見なさ

れているのである。熟達者は、問題を解決している間、単純にいった多くのアナロジーを生成して、それらを評価するということを繰り返している。そのような認知的過程では、アナロジーを生成しつつ評価することができる、「変形」という方法がとられている。

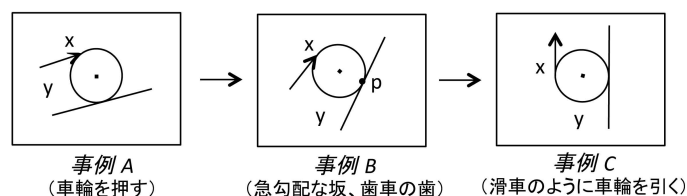


図 10. 変形によるアナロジーの評価 (Clement, 2008: 304)

いずれにせよ、問題解決において、複数のアナロジーの生成方法や評価方法を駆使しているのが熟達者の認知的過程での特質である。そして、熟達者が重点を置いているアナロジーの評価は、自分自身の問題解決の方法をモニタリングし、必要に応じてコントロールする認知的な活動、すなわち、メタ認知に基づくものである。このメタ認知は、一般的に、熟達者としての重要な能力と考えられており (National Research Council, 2000: 48-50)、アナロジー使用においても、同様に重要な機能を果たしているのである。

第二項 熟達者の科学的な探究活動におけるアナロジーの活用

(1) 科学史で重要と見なされるアナロジー

科学的な探究においても、アナロジーは、重要な役割を担っていると考えられている。アイデアの発見や発展や後の論争における擁護などの科学者の思考の重要な段階で明らかに貢献したと見させるもの、アナロジーを含んだ科学者の思考が主要な理論的進歩に貢献したもの、という 2 つの基準に基づいて、科学史で数多く見られるアナロジーの中から近代科学以降に通じるより重要なアナロジーが挙げられる (Holyoak & Thagard, 1995: 185-189)。そこで挙げられた科学史で重要と見なされてきたアナロジーは、ベースとターゲットの領域が離れたものがよく知られており、それが創造性を象徴的に表すものとして考えられる傾向にある。研究の対象としている事物・事象とは、一見かけ離れているものに着目することによって、当該事物・事象の性質や規則性を見出しうるところにアナロジーの意義があり、最もかけ離れた領域同士を結び付けたものが最も創造性に富んだものであるとの見方が示されている (Holyoak & Thagard, 1995: 12-13)。ただし、歴史的に知られたアナロジーのすべてが、科学的な探究としての成果に直接的に関わる状況で使用されたかど

うかまでは、十分に裏付けられているわけではない。

(2) 科学者の実験室活動におけるアナロジー使用の目的と領域性

ダンバー (Dunbar, 1995) は、学術的な評価の高い研究グループでの実験室活動に定期的参加し、ビデオ録画やインタビュー調査を行い、科学的な探究活動で用いられる思考様式を調査している (Dunbar, 1995)。調査で確認されたアナロジーの特徴として、ベースとターゲットの領域間の距離に着目しており、その距離に基づいて、3 つに類型化される。それは、第一に、科学者が以前に行った実験というような同一領域とのアナロジー、第二に、高次のカテゴリーは共通しているものの、下位カテゴリーが異なる近接領域とのアナロジー、第三に、科学者が研究している領域とはまったくかけ離れた遠隔領域とのアナロジーである (Dunbar, 1995: 381-383)。この場合、分子生物学の研究であるため、同一領域とのアナロジーとは、同じ生物から導かれるもの、近接領域とのそれは、異なる生物から導かれるもの、遠隔領域とのそれは、非生物などの事例から導かれるものに分類される。

科学者が使用する3種類のアナロジーについては、当該アナロジーを使用する状況や目的に応じて、それぞれの使用頻度が異なっている (Dunbar, 1997: 473)。なお、科学者がアナロジーを使用する目的は、「仮説の形成」、「実験の計画」、「実験の改善」、「説明の付与」に分類できるものであったとされている⁷⁾。

まず、アナロジー使用の目的という観点から、科学者が実際の研究活動において使用しているアナロジーのうちおよそ半数は、「説明の付与」であり、その説明の内容は、方法論的な問題に関するものであったとされている。続いてアナロジーの目的として多かったのは、「仮説の設定」、そして、「実験の計画」であった。次に、アナロジーの領域性という観点から、科学者が実際の研究活動において使用しているアナロジーは、ベースとターゲットの領域がまったく異なる遠隔領域のそれではなく、むしろ、ベースとターゲットが同一もしくは近接領域のそれであることが分かる。

アナロジーの使用と領域性との観点から見ると、第一に、調査対象になった科学者は、遠隔領域のアナロジーをほとんど使用しておらず、使用している場合であっても、その目的は「説明の付与」に限定されたものであった。遠隔領域のアナロジーは、実験上の問題やモデルの構成には使用されておらず、もっぱら、研究の特徴を強調するためや新規の実験室スタッフを教育するために使われているのであった (Dunbar, 1995: 383-384)。参与観察した実験室のいくつかでは、実際に分子生物学上の発見も行われていたことを踏まえる

と、科学史で重要なアナロジーのほとんどが遠隔領域のアナロジーであり、それによって科学的な発見が促進されたという素朴なイメージとは、異なるものとなっている。むしろ、科学的な発見で重要となる「仮説の設定」や「実験の計画」には、同一もしくは近接領域から導かれたアナロジーが頻繁に使用されている (Dunbar, 1997: 476)。

同一領域と近接領域とのアナロジーの使用頻度には、「実験の計画」や「実験の改善」といった実験の条件制御をはじめとする手続きでは、それほどの違いが見られていない。しかしながら、「仮説の設定」に関しては、同一領域と近接領域とのアナロジーの使用頻度には明らかに違いが認められ、近接領域とのアナロジーの使用頻度が高いのである。このことからして、科学者は、実験の手続きは同じか近い領域から改善策を探してくるのに対して、新しい仮説を設定する際には、研究対象としているものとはやや異なる領域からアナロジーを導いてくる傾向が指摘できる。

他の調査方法によっても、科学者が近接領域とのアナロジーを使用する傾向があることが指摘されている。例えば、生理学領域の熟達者と初心者を比較すると、熟達者ほど、ベースとして同一領域や近接領域を選択し、初心者は、ターゲットとかけ離れた領域を選択する、という傾向が報告されている (Kaufman, Patel, & Magder, 1996)。そして、熟達者ほど、自分自身の説明を明解にする、または、拡張するなどのコミュニケーションを促進するために、離れた領域とのアナロジーを使用しているのに対して、初心者は、説明すべき対象と自分自身の理解状態とのギャップを埋めるために使用している。つまり、熟達者と初心者では、アナロジー使用の目的に関連して、アナロジーの内容の選択も異なっている。研究グループ内での熟達の程度が高いほど、科学的な発見につながるようなより生産的なアナロジーを生成する傾向がある (Dunbar, 1995: 385-386)。それ以外に、国内外で活躍が認められている多様な研究分野の科学者を対象にしてインタビュー調査からも、ベースとターゲットの距離を客観的な距離として見た場合、科学者は同一もしくは近接領域とのアナロジーを使用する傾向が確認できる (植田, 2000) ⁸⁾。

(3) 科学者の実験室活動におけるアナロジーの生成と保持

分子生物学の科学者が近接領域 (異なる生物) とのアナロジーをよく使用する要因として、アナロジーの生成方法が挙げられる (Dunbar, 1997: 476-477)。そのアナロジーの生成方法とは、相同性 (ホモロジー-homology) を利用する方法と抽象的な知識を利用する方法であった。前者の方法とは、遺伝子における塩基対配列コードを特定し、それを遺伝子デ

ータベースにて、相同的な遺伝子配列を検索し、当該遺伝子の機能を推測するという分子生物学特有の方法である。前項で取り上げたクレメント（2008）には見られない、研究領域に特有のアナロジーの生成方法と言える。頻度という点から言えば、相同性を利用したと思われるアナロジーの生成は、近接領域のアナロジー生成の半数超であった。

一方、その残りのうち主要なものは、後者の方法である、抽象的な知識を利用したアナロジーの生成であった。抽象的な知識の利用という方法は、熟達者のアナロジーの生成方法の一つである「原理を経ての生成」と基本的には同じものである。クレメント（1988）では、「原理を経ての生成」によるアナロジーの生成の頻度は少ないものと見なされていたが、ダンバー（1997）では、学問領域固有の方法である相同性を利用したアナロジーの生成に続いて、抽象的な知識の利用が主要な方法と見なされている。物理学分野と分子生物学分野という学問領域の異同が、アナロジーの生成方法の頻度に関係している可能性も推察しうるが、いずれにせよ、科学の異なる領域でも、「原理を経ての生成」が熟達者のアナロジーの生成方法であることは認められよう。

同じ分子生物学の研究グループであっても、当初の実験が予定していたとおりの結果が得られないなどの同じ状況に直面して、すべての実験室で同じようにアナロジーが生成されていたわけではないことが確認されていた。アナロジーをあまり使用しない傾向にあった研究グループでは、他の研究グループと比較して、構成メンバーの学問的な背景が均質的であったことが、そのアナロジー使用の低頻度の要因としており、グループ構成員の均質性がアナロジー使用の活性化に及ぼす可能性が示唆されている（Dunbar, 1995: 384-385）。

これまで見てきたように、科学者は、科学的な探究活動の重要と思われる場面で、比較的頻繁にアナロジーを生成し、活用している。そして、当該アナロジーは、科学的な発見にもある一定の貢献を果たしているものと思われる。その一方で、アナロジーが学術的な進展に貢献したと思われる場合であっても、その当事者である科学者に、ミーティングの過程で生成・活用したアナロジーについて尋ねても、ほとんど記憶していない（Dunbar, 1997: 476-477）。そして、新しい考えが生み出されるとアナロジーは容易に忘れさられ、記録されることもない。つまり、科学者にとって、アナロジーは、科学的な探究活動でその目的に応じて生成され、活用されて、一定の知的貢献を果たすものの、その目的が達成されると自然と放棄・忘却されるような暫定的な特性をもつ認知的な道具なのである。

第三項 歴史的な科学者の理論構築過程におけるアナロジーの活用

(1) 歴史的な科学者としての J.C.マクスウェルとそのアナロジー

伝統的な科学史の研究手法ではなく、現代の認知科学の知見や理論を活用して、歴史的な事例を検証するという手法を用いて、ネルセシヤン (Nersessian, N. J.) は、歴史的な科学として、J.C.マクスウェルに着目して、理論構築過程におけるアナロジーの活用の実際を明らかにしている (Nersessian, 1992)。

マクスウェルは、電磁誘導現象を発見したファラデーらをはじめとして、同時代の科学者が実験的に明らかにしてきた電気と磁気の関係性に関する知見を理論的に体系化する成果を挙げたことに加えて、その論理構築過程において、一般に非論理的と思われるアナロジーも活用しながら、数学化を図ったと見なされている点でも、注目を集めている (ハーマン, 杉山訳, 1991: 93-108)。マクスウェル自身も、物理学の理論構築過程におけるアナロジーの重要性に言及している (カルツェフ, 早川・金田一訳, 1976: 135)。マクスウェルは、電磁気学の理論的な体系化を模索する過程では、熱学や流体力学とのアナロジーを複数活用していたことが知られている。そのなかでも、よく知られているものとして、渦・歯車とのアナロジーがある (図 11)。このアナロジーでは、「渦」(図 11 中の六角形) が磁場を表しており、その渦と渦の間にある小球が電流 (より科学的に言えば、電場の変化である変位電流に相当する) に対応している (竹内, 2000: 31-62)。

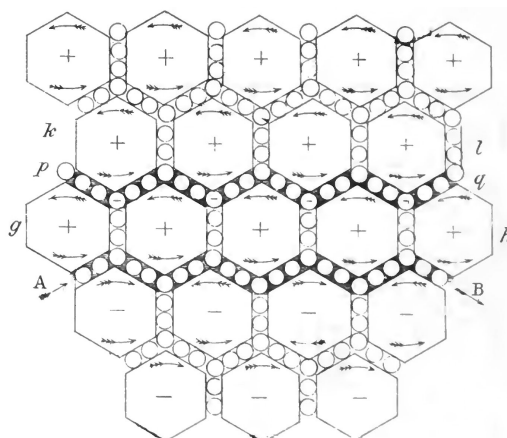


図 11. マクスウェルによる渦・歯車とのアナロジー (Maxwell, 1965:489)

(2) J.C.マクスウェルの「モデルを基礎とした推論」としてのアナロジーの活用

上述のように、マクスウェルの理論構築過程において、アナロジーが活用されていたことは、よく知られていたことであった。それに加えて、頻繁にアナロジーがその他のモデ

リングと一緒に活用されていたとされる。ネルセシヤン (2002) は、対象の表象としてメンタルモデルが形成されるという前提に基づき、そのモデリングに際して頻繁に活用されるものとして、具体的に、アナロジー的モデリング (analogical modeling)、視覚的モデリング (visual modeling) あるいはイメージ、思考実験 (thought experimenting) (模擬的モデリング (simulative modeling)) を挙げている (Nersessian, 2002)。

構成された初期のモデルの妥当性、つまり、ターゲットとなる事象に適合するかどうかについては、理想化された概念上でのモデルを動的に操作・活用している、いわゆる思考実験 (マッハ, 廣松編訳, 2002: 111) によって検討がなされるのである。思考実験は、シミュレーションとしてのモデリングである。マクスウェルの場合、渦や歯車とのアナロジーから考え出したモデルに基づいて、どのように電流が発生するのかを思考実験したと考えられており、そのようなモデルでは、接した歯車同士を回転させると同じ向きに回転し、摩擦が生じうるといった問題点を認識するに至っている (Nersessian, 2008: 35-36)。このように思考実験を通じて、概念上の問題点を抽出・特定することは、思考実験の批判的使用に相当する (ポパー, 大内・森訳, 1972: 543-545)⁹⁾。その後、マクスウェルは、先の思考実験で明らかになった問題点を克服するために、機械力学をソースとして、のちに変位電流と呼ばれる電場の作用に相当する「遊び車 (idle wheels)」を導入するアナロジー (図 11) を通じて、修正されたモデルを構築している。なお、このようなアナロジーは、必ずしも力学的な因果関係までも含んだものではなく、あくまでも概念的なモデルであり、それが可視化されるという意味で、視覚的なモデリングである。

科学者の一連のモデリングの過程は、アナロジー的モデリング、思考実験、視覚的モデリングのいずれかが単発的にはたらくというよりは、むしろ、3つのモデル化が頻繁に共起していると考えられ、科学者の理論構築での思考様式の一端は、「モデルを基礎とした推論 (model-based reasoning)」として特徴付けられる (Nersessian, 2002: 136-138)。

(3) 熟達者に見られるアナロジー使用の共通性

J.C.マクスウェル以外でも同様な推論様式を活用していたと思われる科学者として、G.ガリレイやI.ニュートンが挙げられる (Nersessian, 2002: 134)。G.ガリレイについては、例えば、著書『天文対話』で地球の運動 (自転) と地球上の物体の運動に関する対話で示した、船の運動と地球の運動とのアナロジーがある (ガリレイ, 青木訳, 1959: 193)。また、重い物体ほど先に落ちるといったアリストテレス的な運動論を論難したガリレイの『新科学

対話』(ガリレイ, 今野・日田訳, 1937)では, 質量の異なる2つの石を結び付けて落下させたときの運動を考える思考実験が活用されるに伴って, 背理法という論理的な議論とアナロジー的な議論が組み入れられ, 論が展開されている(金子, 1986: 208-230)。背理法とは, ある命題 P を仮定すると, そこから矛盾が導かれるのであれば, 否定の命題 $\neg P$ が結論付けられる, とする論証方法である。そこで着目される矛盾とは, 論理的な意味でのそれであり, 日常的な意味での矛盾とその含意する射程が異なる。論理的な意味での矛盾は, 世界の側にあるのではなく, 世界を捉える人間の側に生まれるものであり, あるできごとと別のできごとが矛盾するのではなく, 両立し得ないある主張と別の主張とが矛盾するのである(野矢; 2006: 65-72)。ガリレイの事例では, 自身の考えを主張するために, アナロジーとともに背理法を活用して, 競合する主張が矛盾を導きうることや少なくとも直感に反することを占めそうとしていたのである。

他方, I. ニュートンについては, 例えば, 自著『自然哲学の数学的諸原理(プリンピキア)』で自身の重力理論によって惑星の軌道が説明できることを示した, 物体の水平投射と地球の運動とのアナロジーがある(図12)。

このアナロジーでは, 向心力によって惑星が一定の軌道にあることがターゲットに, 物体の水平方向への投射運動がベースに相当する。そして, 地球上の高い山 V からある速度で水平投射したときの物体の運動について, 次のような思考実験を行うのである(Holyoak & Thagard, 1995:193; Nersessian, 2008:134; Brown, 2011: 5-7)。物体は, 投射する速度の大きさに伴って VD , VE , VF , VG の軌道を描いて, 最終的には地球表面 ABF へと落下する。しかしながら, 地点 V からある一定の速度よりも大きな速度で投射すると, 表面 ABF へと落下することなく, 再び地点 V へと戻ってくる運動が可能であるとの結論が導かれる。

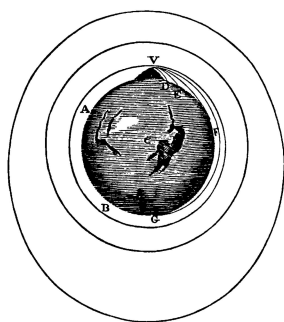


図12. ニュートンの物体の水平投射と地球の運動とのアナロジー (Nersessian, 2008:134)

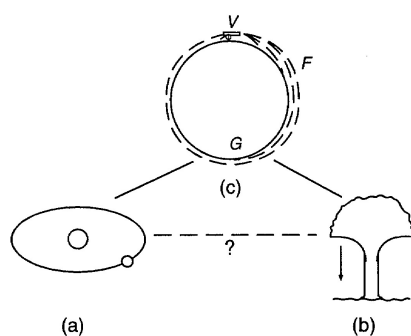


図 13. ニュートンによる橋渡しを経てのアナロジーの評価 (Clement, 2008: 56)

クレメント (2008) に基づけば、ニュートンによる当該のアナロジーの使用方法は、熟達者の問題解決過程に見られたアナロジーの評価方法の一つである「橋渡し」である (図 11) (Clement, 2008: 55)。つまり、物体の投射運動 (図 13 の (c)) を媒介にして、地球上でりんごが落下する現象 (図 13 の (b)) と惑星の運動 (図 13 の (a)) がアナロジーの関係にあると見なせるかどうかを評価しているのである。これに関連して、高橋 (2006) は、ガリレイが自身の運動論を展開していく過程で「天秤の釣り合い」「斜面の運動」「振り子の運動」とのアナロジーを使用していたことを、次のように述べている (高橋, 2008: 456)。

ガリレイの卓越していた点は、釣り合い状態にある錘の一方にわずかに重さを加え、それらが仮想的に変異する状況を想定することで、平衡状態からずれる運動を考察し、その運動が斜面の運動に類似していることを見てとったことである。そして斜面の運動は、「抑制された自由落下運動」と捉えられた。つまり、斜面の運動も鉛直落下運動も本質的には同じ運動と捉えられたということである。また、振り子の運動も腕の折れ曲がった天秤とのアナロジーで捉えられた。

高橋 (2006) は、ガリレイのアナロジーの使用について、研究対象の「拡張」と表現しているが、本質的な部分を保存しながら表面的な部分を変化させているという意味では、クレメント (2008) の言う変形である。また、ガリレイの力学研究の研究過程には、ある事例 (モデル) の極限状態を取ることによって新しい事例 (モデル) を生成・評価していくという変形も見られる (Raisis, 1999)。これはマクスウェルの事例にも見られた極限事例の導入である。さらには、「仮想的に変異する状況を想定する」ことを行っている点では、アナロジーであると同時に思考実験でもある。いずれにせよ、ここまで限られた科学者 (熟達者)

の事例を検討してきたに過ぎないものの、アナロジー的モデリング、思考実験、視覚的モデリングなどの複合的な活用や、アナロジーの生成・評価方法という点では、科学者（熟達者）のアナロジーの使用方法には、一定の共通性を想定してもよいと言えるであろう。

第三節 理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジー開発の成果と課題

第一項 先行研究を捉えるアナロジーの生成・構成・導入の主体という観点

疑問詞に基づいて情報伝達に含まれる要素を捉える、5W1Hの観点からアナロジーによる教授ストラテジーの基本的な構成を考えた場合、表1のような構成内容が考えられる。5W1Hの観点から、アナロジーによる教授ストラテジーに関する先行研究が特徴付けられる。例えば、「なにを(What)」という観点に着目した場合、これはアナロジーの内容の選択と配列に関する観点であり、「電気回路を教えるには、どのようなアナロジーがよいのか」という疑問に答えようとするものである。これは、アナロジーによる教授ストラテジーに限定されず、より幅広い捉え方をすれば、教材論的な観点である。この観点から行われた研究として、例えば、гентナー・гентナー (Gentner & Gentner, 1983) は、2つのアナロジーでの電気回路の諸概念についての学習効果を比較し、各ベースとターゲットとの対応関係を同じように設定したとしても、アナロジーによって理解が促進される部分は、ベースに依存することを示した。これに関連して、内容的に相補的な役割を果たすベースを選択することが効果的であると指摘されている (Chiu & Lin, 2005)。

表1. 5W1Hの観点から見たアナロジーによる教授ストラテジーの構成

5W1Hの観点	アナロジーによる教授ストラテジーの構成内容
いつ (When)	アナロジーの生成・構成・導入の機会
どこで (Where)	アナロジーの生成・構成・導入の状況や文脈
だれが (Who)	アナロジーの生成・構成・導入の行為の主体
なにを (What)	生成・構成・導入するアナロジーの内容の選択と配列
なぜ (Why)	アナロジーの生成・構成・導入の目的、機能
どのように (How)	アナロジーの生成・構成・導入の方法

アナロジーによる教授ストラテジーの先行研究を特徴付け、また、先行研究で残された課題を捉える上で有用であるのは、「だれが (Who)」という、アナロジーの生成・構成・導入の行為の主体についての観点である。教師あるいは子どもがアナロジーを考えるのか、というアナロジーを生成し、導入する行為の主体に基づく区別である。この区別について、アナロジーによる教授方法の枠組みを示す、「アナロジー教授の一般的モデル (The General Model of Analogy Teaching; GMAT)」を提案したツァイトーン (Zeitoun, 1984) は、本論文で示すところの「どのように (How)」という、アナロジーの生成・構成・導入の方法についての観点とも関連付けながら、3つのアナロジーの使用の類型を提示している。それは①学習者によるアナロジーの生成、②学習者によるアナロジーの対応関係の構成、③教師によるアナロジーの説明である。より具体的に言えば、①は、子ども自身が学習する内容 (ターゲット) について自分自身でベースを考え出して、アナロジーを生成することが教師から指導・推奨されるというもの、②は、教師から学習する内容 (ターゲット) とベースの双方が与えられており、子どもがその両者の対応関係を構成していくというもの、③は、教師が学習する内容 (ターゲット) とベースの双方を提示し、両者を対応付けながら説明するというもの、である。ハグルント (2013) は、このツァイトーン (1984) の分類を参照しつつ、そこに含まれる①と②とは別に、教師によるアナロジー生成の明示的な指導がない場合での、子どもによる自発的なアナロジーの生成という分類がありうることを指摘している (Haglund, 2013: 46)。

アナロジーの生成・構成・導入の行為の主体という観点を中心にした場合、アナロジーによる教授ストラテジーを整理すると、表2のような4つの類型に分類することができる。これらの類型は、(1) から (4) にかけて、アナロジーの生成・構成・導入に関する子どもの役割が大きくなり、アナロジーの内容選択の自由度あるいは不確定性も大きくなるものである。このアナロジーの内容選択の自由度に関連して、「受容パラダイム (reception paradigm)」と「産出パラダイム (production paradigm)」という区別が提案されている (Blanchette & Dunbar, 2000)。これに基づく、学習者は、「受容パラダイム」では、ベースとターゲットが与えられて、それらの間の関係性を理解しなければならない存在として、「産出パラダイム」では、学習者にターゲットとなる問題が与えられて、自分自身でベースを想起し、アナロジーを生成・構成していく存在として、それぞれ見なされるのである。いずれであっても、アナロジーの効果的な使用を指向しているのであるが、学習者のアナロジーの使用能力に対する評価や信頼の程度に、両者での違いが見られる。また、理科授

業では、受容と産出の双方のパラダイムに基づく教授ストラテジーがそれぞれ想定される。上記の類型と関連付ければ、(1)と(2)は「受容パラダイム」に依拠したものであり、(3)と(4)は「産出パラダイム」に依拠したものと言える。

表2. 行為の主体という観点から見たアナロジーによる教授ストラテジーの類型

教授ストラテジーの類型	教師 (■) と子ども (□) の役割
(1) 教師によるアナロジーの説明	<p>■ アナロジーの内容 (ベースや対応関係) を選択し、それを説明する。</p> <p>□ 教師が意図するアナロジーの内容を理解する (受容する)。</p>
(2) 学習者によるアナロジーの対応関係の構成	<p>■ ターゲットとベースのみを提示する。</p> <p>□ 提示されたターゲットとベースを対応付ける。</p>
(3) 学習者によるアナロジーの生成	<p>■ ターゲットを提示し、アナロジーの生成を明示的に促す。</p> <p>□ 提示されたターゲットからベースを想起し、アナロジーを生成する。</p>
(4) 学習者によるアナロジーの自発的な生成・導入	<p>■ ターゲットを提示するが、アナロジーの生成を求めない (アナロジーへの意識がない)。</p> <p>□ 自身の認知的なニーズとして、提示されたターゲットに対して、アナロジーを自発的に生成・導入する。</p>

上記の4つの類型に当てはまらないものとして、ベースのみならずターゲット自体も学習者が想起し、アナロジーを生成するという考えられる (BouJaoude & Tamin, 2000)¹⁰⁾。しかしながら、本研究では、ターゲットが定まった状態、つまり、設定された教育内容について学習する場面でのアナロジーによる教授ストラテジーに基本的な研究関心があるため、ここでは取り上げないこととした。より厳密に言えば、ターゲットとは、ある特定の教育内容そのものというよりは、それを教えるために選択・開発された事物・事象ということになる。宇佐美 (1973:18-27) による「教育内容」と「教材」との区別に基づけば、物質の溶解度と温度との関係が教育内容であるのに対して、温度を変化させて、食塩を水に溶解させることが教材である。つまり、アナロジーにおけるターゲットも、実際の授業の文脈から切り離して考える教育内容ではなく、具体的な教授過程を想定して考える教材に対応するのである。

教師や学習者に着目したもの以外にも、教科書でのアナロジーの使用という分類がなされることもあり(松森, 1996), 教科書でのアナロジーの内容や頻度が分析されている(Thiele & Treagust, 1995)。しかしながら、教科書でのアナロジーは、教師あるいは学習者による説明する、見る、読むなどの行為によって実質的には理科学習に導入されるため、別の分類を設定することはしない。以下では、行為の主体という観点から見たアナロジーによる教授ストラテジーの類型に即して、これまで行われた先行研究を検証し、そこで残された課題を抽出したい。

第二項 教師によるアナロジーの導入と説明

(1) ツァイトーンによるアナロジー教授の一般的モデル (GMAT) の提唱

1980年代以前では、アナロジーによる教授方法についての共通の理解が得られておらず、そのための指針が必要であると考えたツァイトーン (Zeitoun, 1984) は、スキーマ理論などの理論的な検討に基づいて、アナロジーによる教授方法の枠組みを示す、「アナロジー教授の一般的モデル (The General Model of Analogy Teaching; GMAT)」を提案した。GMAT では、アナロジーを利用した授業のサイクルとして、9つの段階が設定されている (図 15)。

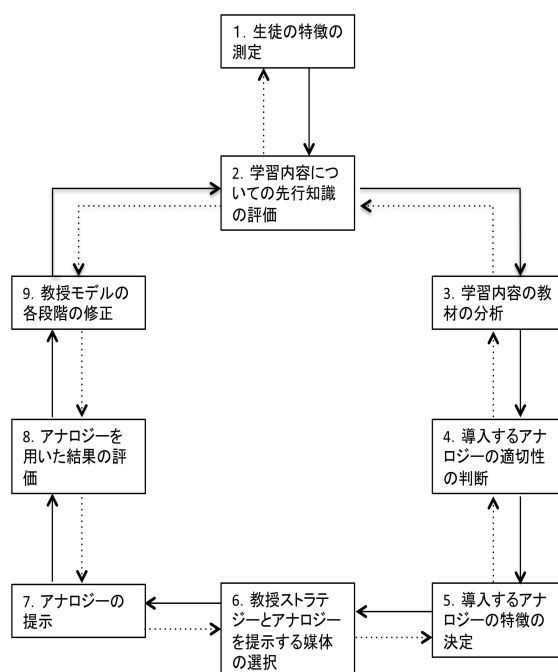


図 15. GMAT の教授手続き (Zeitoun, 1984: 119)

第1段階から第3段階では、生徒の学習状況、学習スタイルや興味関心の把握と学習内容の教材研究が行われる。第4段階では、導入するアナロジーを選択・開発し、生徒がよく知っているベースが選択されているかという親近性と、そのベースとターゲットとの対応関係の妥当性という観点から、アナロジーの適切性の判断を判断することになる。第5段階では、導入するアナロジーの具象性のレベルや複数のベースを導入する適否を検討する。第6段階では、そのアナロジーを生徒自身に考えさせるのか、教師主導で導入するのかというストラテジーと、アナロジーの導入を提示する様式を決定する。

続いて、第7段階では、アナロジーを提示する手続きとなる。GMATでは、①ターゲットの導入、②ベースの導入と説明、③ベースとターゲットの関係付け、④ベースとターゲットで共有されない特徴の導入、という手順が設定される。第8段階から第9段階で、アナロジーを導入した効果を評価し、その結果に基づいて、各段階を修正するという流れになる。特に、第7段階のアナロジーの提示は、アナロジーによる教授方法としての中心的な部分として関心を集めるものとなっている。

(2) グリンによるアナロジーによる教授モデル (TWA model) の提唱

インストラクショナルデザインの観点から、理科教科書の分析を行い、効果的なアナロジーの導入方法を検討したグリン (Glynn, 1989) は、当該の教科書にはおよそ共通するアナロジー導入の手続きがあることを見出し、それに基づいて「アナロジーによる教授モデル (Teaching-With-Analogies; TWA model)」を提唱した (表3)。

表3. TWA モデルにおけるアナロジーの提示手続き (Glynn, 1989: 198)

- (1) ターゲット概念を導入する
- (2) ベース概念を想起する
- (3) 2つの概念に類似する特徴を特定する
- (4) 類似する特徴を写像する
- (5) 当該概念について結論を導く
- (6) アナロジーの破綻する部分を指摘する

テキスト上でうまく設計されたアナロジーでは、上記の6つの操作が含まれているが、必ずしもこれらの操作の順序は掲げられた順番通りである必要はないとされる (Glynn, 1989)。その後、構成主義的学習観に基づいて執筆された『理科学習の心理学』(The

Psychology of Learning Science)にて、TWA モデルが紹介されるなどして、一般的な教授方法として広まるようになった (Glynn, 1993)。

グリーン (1989) の TWA モデルと、ツァイトーン (1984) の GMAT でのアナロジー導入手続きを比較すると、ターゲットに対してのベースの想起、ベースとターゲットとの対応関係の構成など、多くの共通点が見られる。しかしながら、発表年で見るとグリーン (1989) の TWA モデルが後発になるのだが、当該モデルを提唱している関連文献を見る限りでは、ツァイトーンの GMAT への言及は見られない。少なくとも直接的に影響を受けることなく、グリーンは、TWA モデルを開発したと考えられる。これらのことから、そこにはアナロジーの導入方法としての共通の認識が見られるのである。

(3) アナロジーの破綻箇所の指摘と導入手続きの定型化

TWA モデルなどでのアナロジーの導入手続きにおいて、特にアナロジーによる誤解を防ぐためという観点から重視されたのが、アナロジーの破綻する箇所を指摘することであった。グリーン (1991:236-237) は、教師と生徒との想定問答にて、TWA モデルの適用方法を示している。具体的には、電流を水流として見立てる、よく知られた水流アナロジーという、具体的なアナロジーの限界と、一般的な意味でのアナロジーの性質である。アナロジーという学習の道具についての性質、つまり、学習方略についてのメタ認知的知識、特に宣言的な知識を教授することが示されている。しかしながら、メタ認知的知識として、宣言的な知識を教授しただけでは、それを扱う手続き的な知識が習得されていなければ、実際のメタ認知的活動としての自分の認知状況を把握・評価するモニタリングと認知状況の維持・改善を図るコントロールを促進するものになりうるかどうかは、保障されないのである。また、具体的なアナロジーでは、破綻する部分は理論的に無数にあるが、どの部分を指摘すればよいか、という選択原理は解明されていない。もちろん、アナロジーとは、異なるものの中に似ているものを見出すところに、本質的な意義があると考えれば、このような問題設定が、そもそも実質的に意味をもつのかは、別途検討すべき問題である。

一方、ハリソン・トリガースト (Harrison & Treagust, 1993) は、アナロジーの破綻箇所を指摘するところを、TWA モデルでの結論を導く前の段階に位置付けることが重要だとして、「修正 TWA モデル」を提唱している。また、GMAT と TWA モデルを修正・統合したモデル (Working With Analogies; WWA モデル) が提案されているが (Nashon, 2004)、ハリソンらのモデルとの大きな違いはない。その後、修正 TWA モデルを提案したトリガースト

トラ (Treagust, Harrison, & Venville, 1998) は、熟達した教師の授業観察を通じて、当該モデルに不足しているのが、アナロジーを導入した授業計画とその後の反省というサイクルであるという認識に至り、「FAR (Focus-Action-Reflection) ガイド」を提唱した。これは、生産管理サイクルの一種である、PDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルに相通ずるものである。ただし、実行 (Action) の段階は、修正 TWA モデルを踏襲するものである。

結果的に見て、ツァイトーン (1984) が GMAT を提唱して以降、教師主導によるアナロジーの導入手続きを定型化しようとする試みが繰り返されてきたのだが、若干の修正が施されたものの、基本的には GMAT で提示された枠組みが、今日まで踏襲されてきている。このような一連の試みは、教師が中心となって、ベースとターゲットの対応関係を構造化して、明示的にそれらの関係を子どもに伝達しようとする教授ストラテジーを指向したものである。ただし、当該ストラテジーを利用するにあたっては、その基本的な発想からして、子ども達に学ばせたいことが、教育内容 (ターゲットそれ自体の理解) というよりは、アナロジーの内容 (ベースとターゲットの対応関係など) へとずれてしまうことや、それに留まってしまふことがありうる点に注意する必要がある。

第三項 概念的変容を目指したアナロジーによる教授ストラテジーとその実践

(1) デュパン・ヨーサによるアナロジーと「電気回路」の教授展開

デュパン・ヨーサ (Dupin & Johsua, 1989) は、フランスの 6, 8, 10 学年 (それぞれ 12 歳, 14 歳, 16 歳) の生徒を対象にして、基礎的な電気回路でのエネルギー的な流れと物質的な流れの区別、電流や抵抗などの関連の科学概念の弁別、システムとしての電気回路の提示を目的とした、教師が主導してアナロジーを導入する授業実践を行っている (表 4)。

デュパン・ヨーサは、当該授業の有用性をアナロジー (「列車をベースとするアナロジー」 (図 16)) の内容構成に見ている。ここでは、アナロジーを導入する展開過程のほうがより重要である。なぜなら、概念的変容としての学習を促進する教授法という観点から見れば、アナロジーの導入とは、分かりやすい考えを導入する一手段に過ぎないのだが、アナロジーによる教授ストラテジーという点から見れば、子どもの先行知識との認知的な葛藤を引き起こしうる事例 (以下、「認知的な葛藤事例」と呼ぶことにする) の提示とは、アナロジーの導入時機の一つであり、これが有効であることを示したものと見なせる¹¹⁾。

表 4. デュパン・ヨーサのアナロジーの導入による「電流の保存性」の授業展開

(1) オルタナティブコンセプトの顕在化

クラスでの話し合いなどを通じて、子ども達のもっている電気回路についての考え（例えば、「電流は豆電球で消費される」など）を顕在化させる。

(2) 認知的な葛藤を引き起こす事例の提示

電流計で、豆電球の前後の電流を測定し、豆電球の前後では、同じ量の電流が流れていることを確認する。

(3) 分かりやすい考えの導入

つながった列車のモデルを示す。

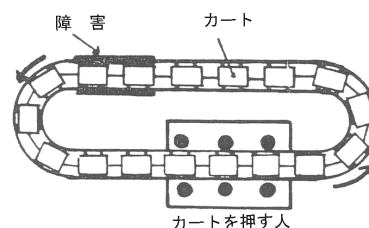


図 16. 列車をベースとするアナロジー

(4) 科学的な考え方への転換

科学的な考え方（電気回路では、電流が消費されているのではない。消費されているのは、「エネルギー」である）への転換を図る。

(2) ハリソン・トリガーストによる修正 TWA モデルと「光の屈折」の授業展開

上述の「修正 TWA モデル」に即した授業実践を行ったものとして、トリガーストラ (Treagust, Harrison, Venville, & Dagher, 1996) がオーストラリアの 10 学年 (15 歳) 生徒を対象にした「光の屈折」の授業実践がある (表 5)。

ここで用いられた車輪をベースとするアナロジーは、後期中等教育および大学の物理教科書でよく使われるものであるが、教師が修正 TWA モデルの手続きを意識して、アナロジーのベースとターゲットの対応関係や限界を説明している点が特徴的である。

表 5. 修正 TWA モデルに基づく光の屈折の教授展開

(1) 学習するターゲットの導入

教師は、ガラスブロックを使って、なぜ光線がある透明な媒介物からほかのそれへと斜めに通過するとき屈折するのかという課題を提示した。

(2) ベースの想起

教師は、ベースとして、車輪と車軸で構成された器具（図 10）を提示した。

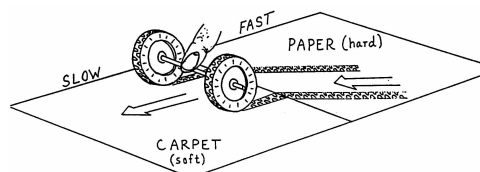


図 17. 車輪をベースとするアナロジー

(3) ベースの特徴の特定

生徒は、紙からカーペットへと、1 回目は、0 度の傾きの角度で、次は約 30 度の角度で二度車輪を転がして、そのときに生じる現象を把握した。

(4) ベースとターゲットの類似する特徴の写像

教師は、車輪を柔らかい面から粗い面へと転がすと車輪が減速して、進行方向を変化させることと、光線の屈折を比較して、共有される特徴を指摘した。

(5) アナロジーが破綻するところの特定

光の屈折と車輪の進行との違い（例えば、「光線は、車輪と違って幅がないこと」など）を特定した。

(6) ターゲットについての結論の導出

光の屈折について、光が異なる屈折率をもつ媒介物の中に入れば、速度が変化し、進行方向が変化するという結論を導いた。

(3) クレメントのブリッジングストラテジーと「垂直抗力」の教授展開

アナロジーの段階的な移行を経て、子どもの既存の考えと科学的な考えとの間に連続性をもたせるという教授ストラテジーとして、クレメント (Clement, J.) による「ブリッジングストラテジー (bridging strategy)」がある (Clement, 1993)。このストラテジーを利用して、子ども達に理解しにくいと思われる「垂直抗力」、「摩擦」、「作用反作用の法則」などの力学分野の内容の教授展開が構想されている。ここでは、このストラテジーの代表的な実践例として知られる「垂直抗力」の教授展開に着目することにしたい (表 6)。

子どものもつ垂直抗力などの力と運動に関するオルタナティブコンセプションを把握し、それを前提として上で、教授展開が構想されている。垂直抗力の事例として、机の上に置かれた本に働く力を理解するのが学習課題であり、ターゲットである。続いて、子ども達が直感的に理解しやすい事例として、ここでは、バネの上に手を載せたときに押し返される感覚が得られる事例がベースとして導入される。一般的なアナロジーによる説明ならば、このベースとターゲットを対応付けて、ターゲットについての結論を導くのかもしれない。しかし、事前の予備調査を踏まえると、これだけでは、子ども達はバネの事例と机の事例との間に類似性があることを容易には認めることができないとされる。そこで、ブリッジングストラテジーでは、バネの事例と類似した事例（「橋渡し事例」）を導入して、ベースとターゲットの間を細分化し、ベースといくつかの橋渡し事例（図 18 で言えば、柔らかいスポンジや天板のたわむ台の事例）を相互に関係付けながら、ターゲットである机の事例へと進んでいく。加えて、補足的な説明となるようなバネで構成された机という微視的なモデルや、物体を載せると机の天板が少しながたわむことを示す実験を組み合わせることで、机の上に置かれた本であっても、上向きに力が働きうることを納得しうるような教授展開が構想されているのである。

ブリッジングストラテジーでのベース、橋渡し事例、ターゲットの配列は、「易しいものから難しいものへ」という、広く知られた教授原理に従ったものでもあり、同一的あるいは相補的なアナロジーを用いるという、複数のアナロジーの活用方法の一つでもある。

その一方で、この教授展開は、熟達者が行っているアナロジーの妥当性を評価する方法である、ベースとターゲットを往還し生成・評価・修正を経ていく循環的な推論過程に着想を得たものである。その熟達者のアナロジーの評価方法の過程を、子どもの直線的な学習過程として、再構成したものでもある。ただ、この熟達者のアナロジー使用にも着目して構想された点については、ほとんど関心が向けられていない。ちなみに、このブリッジングストラテジーについては、我が国でも中学校 3 年生を対象にして、同じく垂直抗力の概念的理解の促進に一定の有用性が確認されている（林・安藤・石原・尾崎, 1997）。

表 6.クレメントのブリッジングストラテジーによる「垂直抗力」の教授展開

(1) オルタナティブコンセプトの把握

子ども達のもっている力と運動についての考え（例えば、「机の上に置いた本には、（重力以外に）力が働いていない」、「静止しているものには、力が働いていない」など）を把握する。

(2) 子どもの直感、プレコンセプトに近い事例の提示

ベースとなる事例（「バネの上に置いた手に働く力」）についての理解を深める。特に、バネの上に手を置くと、手にはバネから押し返されるような感覚が得られることを確認する。

(3) ターゲットとする事例の導入

ターゲットとする事例（「机の上に置かれた本に働く力」）を導入する。

(4) 橋渡し事例の導入と関連付け

ベース事例と同じように、上向きに力が働いていると思えるような事例を複数導入し、徐々にターゲット事例へと近づけていく。

(5) モデルの提示や演示実験

ターゲット事例の理解を促進するようなモデル（「バネを組み合わせて作った机のモデル」）やターゲット事例もベース事例や橋渡し事例と同様に考えられることを示す演示実験（レーザー光線による机の天板のたわみの観察）を行う。

(6) 科学的な考えへの転換

科学的な考え（「垂直抗力」，作用反作用の法則）への転換を図る。

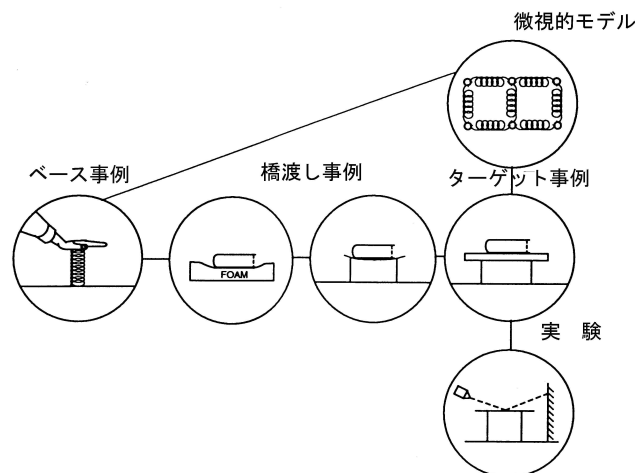


図 18. 「垂直抗力」の教授展開の構想図

第四項 学習者によるアナロジーの生成と構成

(1) 教師の指導に基づく学習者によるベースとターゲットの対応関係の構成

上述の教師によるアナロジーの説明は、ベースの選択から、ベースとターゲットとの対応関係を構造化し、学習者に提示するところまで教師が主導するものであった。それに對して、教師がアナロジーの導入時機やベースの選択までは主導するものの、ベースとターゲットの対応関係の構成については、学習活動として設定する教授ストラテジーが考案、実践されてきた。

例えば、高垣・田原（2004）は、小学校4年生を対象にして、コンピューターの3DCGアニメーションを利用したアナロジーに基づいて、単純な電気回路における「電流」と「電圧」概念の統合をねらいとして、児童がグループでベースとターゲットの対応関係を構成する話し合い活動を取り入れていた。同じように、竹中・稲垣・山口・大島・大島・村山・中山・山本（2005）は、小学5年生を対象とし、「動物の発生と誕生」の学習内容において、Web Knowledge Forumというテクノロジーを利用して、グループ活動の中で学習者によるベースとターゲットとの対応関係の構成を促進することを試みた。これらの先行研究では、テクノロジーなどを活用して、ベースについての十分な理解や経験を確保しようという点では、クレメントのブリッジングストラテジーでと同様であった。益田（2005）は、中学校2年生を対象にして、電気回路と水流とのアナロジーについて、教師と生徒との対話を通じてベースとターゲットの対応関係を構成する学習過程を取り入れた授業実践を報告している。この授業の中心は、水流モデルの何が電流に対応するのかという水平的関係を把握することにあり、水流や電流がそれぞれどのような物理的学的なメカニズムで生じるのかという垂直的關係が説明できることまでは、学習過程の評価対象とされていない。

教師がベースとターゲットを提示して、学習者にベースとターゲットの対応関係を構成させる教授ストラテジーでは、対応関係を構成する学習過程は、教師が主導してアナロジーを説明する場合に比べて、子どもと子どもあるいは教師と子どもの対話的活動という社会的な構成過程がより重視されたものになっている。その一方で、学習者にベースとターゲットの対応関係を構成させる教授ストラテジーであっても、その学習過程で学習者に期待されるのは、学習者独自の解釈ではなく、教師が意図するベースとターゲットの対応関係を理解すること変わらない。このような教授展開の場合、ターゲットそれ自体をどのように理解できるのかという点まで至らないことも見られるのであった。

(2) 事象・事例面接を通じた学習者によるアナロジーの生成

学習者がベースとターゲットの対応関係を構成することよりも、さらにアナロジーの内容選択の自由度が大きいものとして、学習者自身にベースそれ自体も考えさせ、アナロジーを生成させるという教授ストラテジーが試みられてきた。それは、学習者が自分自身を対象にして説明する活動である、「自己説明 (Self-Explanation)」という学習ストラテジーにも関連するものである (Lombrozo, 2006)。この自己説明に関しては、物理学の問題事例を学ぶときに、考えていることを言語化させた場合、行為の条件の洗練・拡張、その行為の順序付け、一連の行為の目標設定、量的な表現の意味付けなどを、数多く説明した学習者ほど、その後の問題解決に成功している (Chi, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989)。

教師が学習者にアナロジーの生成を求めることなく、学習者自身がより自発的に行っていれば、それは教授ストラテジーというよりは学習ストラテジーとして考える方が適切であろう。また、そのときのアナロジーが学習者自身に向けられたものであれば、自己説明としてのアナロジーと言える。教職課程の大学生を対象にして、ノズルを覆った状態のシリンジの押子を押したり、引いたりすることで生じる現象（加圧，減圧，平衡）を課題にした事象・事例面接法により、当該現象の概念的な理解の促進効果が報告されている (Wong, 1993a; 1993b)。そこでは、表7のように、アナロジーを生成するのみではなく、自己説明において重要であるメタ認知的な活動 (Chi et al., 1989: 169-172) が取り入れられている。そして、面接者から (3) の段階でアナロジーを生成すること、(4) の段階でアナロジーの評価を行うことが求められている。

表7. ウォンによる学習者のアナロジー生成の手続き

- (1) 科学的な現象を説明する。
- (2) その説明を評価し、不適切だと感じる部分を特定する。
- (3) 当該現象を説明するアナロジーを生成する。
- (4) そのアナロジーを評価する。
- (5) アナロジーを修正するか、新しく生成する。
- (6) (3) ~ (5) を繰り返す。

面接者からアナロジーの生成や評価を意識的に求められていた状況ではあるが、調査対象の大学生は、ひとたび説明を構成するだけで終わるのではなく、むしろ、アナロジーの

生成・評価・修正という動的なサイクルを繰り返し、そこでは、新しい説明の構築、自分なりの疑問の発見などに至っていた。ただし、ウォン（1993a, 1993b）では、知識習得を目指した一般的な理科授業とは異なり、到達したい知識水準が設定されているわけではなく、概念的な理解の変容やそのプロセスが重要視されていた。

(3) グループでの対話的な活動を通じた学習者によるアナロジーの生成と評価

学習者のグループでの対話的な活動を利用した実践として、ピットマン（Pittman, 1999）は、アメリカの7・8学年の生徒を対象にして、生物の「タンパク質合成」について生徒達にアナロジーを生成させて、アナロジーの内容や概念的知識の習得の状況を調べている。具体的には、タンパク質合成に関する2週間にわたる授業のうち、はじめの5日間ではいわゆる伝統的な授業が行われ、残りの3日間では、教師としての著者が、ツァイトーン（1984）のGMATに従って、アナロジーの使用方法を教えたのちに、生徒達は、教師から提示されるターゲットに対するベースを選択し、アナロジーを生成する活動にグループで取り組んだ。一定の学習効果に加えて、ベースの選択内容や言語表現という点での男女差が現れることを報告している。

同じような試みとして、スピアーダンスら（Spier-Dance, Mayer-Smith, Dance, & Khan, 2005）は、化学専攻の大学生を対象にして、表8のような学習活動を設定して、概念的な理解の変容を調べている。これらの活動によって、教師がアナロジーを導入したクラスに比べて、概念的な理解が促進されており、特に、学力の低い学生に顕著な効果が見られた。

表8. スピアーダンスらによるアナロジーの生成による学習

- (1) 科学的な知識を学習する。
- (2) アナロジーの性質や生成の仕方を確認する。
- (3) 当該現象を説明するアナロジーを生成する。
- (4) そのアナロジーをグループで議論する。
- (5) そのアナロジーをクラス全体で議論する。
- (6) 妥当なアナロジーについて、クラスで合意する。

ピットマン（1999）とスピアーダンスら（2005）のいずれであっても、学習者によるアナロジーの生成は、基本的に、ターゲットおよびそれに関連する科学的な知識を学習した

後の段階に設定されている。そこでアナロジーによる学習に期待されるのは、ターゲットについての未知の性質を予測したりするようなものではなく、学習したばかりの知識を学習者の既存の知識体系に位置付けていくことである。そして、もう一つ特徴的な点は、やはりグループでの対話的な活動を通じて、アナロジーの生成やその内容理解の促進が行われているところである。自己説明的なアナロジーの生成では、自己の理解状態をモニタリングするなどのメタ認知的な活動に、自分自身で取り組まなければならないのに対して、社会的な構成の場面では、他者が、メタ認知的な活動を促進もしくは代替する役割として機能することが期待されている。当該の機能が十分に発揮される状況にあれば、アナロジーの生成だけに留まらず、評価、修正へと展開しやすくなっていると見込まれるのである。その一方で、グループなどの議論を設定しただけでは、アナロジーの内容や限界を批判的に捉える機会になるとは、単純に言えない (Yerrick, Doster, Nugent, Parke, & Crawley, 2003)。アナロジーの評価を促進するような学習環境や働きかけが、対話的な学習活動に求められる基本的な条件と考えられる。

第五項 学習者によるアナロジーの自発的な生成と導入

前項では、教師の指導下のもとに学習者がアナロジーを生成する学習過程に着目したが、当然学習者がアナロジーを自発的に生成したり、導入することは考えうる。これに関連して、アナロジーというよりはメタファーという観点から、子どもの自然認識や概念体系に組み込まれている、あるいは関連付けられていると考えられ、自発的・無意識的に表出するメタファーとその内容カテゴリーが特定されている (Taber & Watts, 1996; Christidou, Koulaïdis, & Christidou, 1997; 中山; 1998a; 中山; 1998b; 中山・宮川, 1999; Amin, 2015)。

一方、コスグローブ (Cosgrove, 1995) は、オーストラリアの14歳の生徒を対象にして、「発生的な学習の教授モデル (teaching model of generative learning)」 (Cosgrove & Osborne, 1985: 101-111) に基づいて行われた電気回路の授業実践で、学習者が自発的に生成あるいは導入したアナロジーを報告している。コスグローブは、この発生的な学習の教授モデルは、学習の文脈の提供や動機付けを目指した「焦点化」、他者との交流や議論、科学的な見方の導入を行う「挑戦」、科学的な見方に基づいた問題の解決を図る「応用」、という3つの段階で構成されている。一連の授業の中で、アナロジーの生成と導入にかかる場面は、「挑戦」の段階であった。「焦点化」の段階で電気回路とその利用について学習した後に相当するこの段階では、まず、生徒達は「消費モデル」や「科学的モデル」を含む4つの電

気回路のモデルから、自分の考えに近い1つを選び、続いて、豆電球1個を乾電池に接続した回路での電流（豆電球の前後）を測定する実験を行った。電流が保存されるという「科学的モデル」を選択した生徒であっても、その結果について納得のいかない様子があり、この段階で、教師は予め準備していたアナロジーを導入しようと考えていたところ、一人の生徒がその結果を考えるために、石炭トラックをベースとするアナロジーを提案したのであった。その後、この生徒の生成・導入したアナロジーを基にして、クラス全体で議論し、別の回路にも適用するなどの学習過程を経ることで、生徒達の認知的そして情意的な側面での理科学習が促進されたことが認められている。この授業実践では、教師がアナロジーの導入を予定していたのは、デュパン・ヨーサ（1989）と同様に、認知的な葛藤事例を提示した直後の場面であった。しかしながら、実際は、その場面は、生徒が自発的にアナロジーを生成もしくは導入する契機になった。なお、コスグローブは、結論として、自身の教授モデルの「挑戦」の段階に、異なる見方を検証する実験だけではなく、生徒自身が生成するアナロジーを利用することも追加しうると指摘しているが、認知的な葛藤事例を提示した段階が、生徒がアナロジーを自発的に生成する契機と考えられるかどうかには言及していない（Cosgrove, 1995: 308）。

同じように、小学校4年生を対象にした電気回路の授業実践の中で、児童が自発的にアナロジーを生成しようとする試みを理科学習の促進に利用したものとして、永井・川北（1999）がある。永井・川北も「消費モデル」や「科学的モデル」を含む4つの電気回路のモデルをクラスで共有した後に、回路に流れる電流の向きと大きさに関する実験を行った。この後、実験の結果を解釈するモデルを考える段階で、児童からアナロジーを生成したいという希望が表出されたのであった。それを受けて、教師は児童に自分自身のアナロジーを表現させ、それに基づいて話し合いを行い、その後の並列回路でも同様の学習活動を継続したところ、意欲的な取り組みが見られるなどの情意的な側面と概念的な理解の促進という認知的な側面の双方で効果が見られたことが報告されている。この場合であっても、認知的な葛藤事例を提示した段階は、児童がアナロジーを自発的に生成しようとする契機になっていたのである。なお、永井・川北（1999）には、特定の教授過程が自発的なアナロジーの生成の契機になりうるとの見解は見られない。

学習者によるアナロジーの自発的な生成の契機となり得る状況として、上述のコスグローブ（1995）や永井・川北（1999）から推察されうるような、認知的な葛藤事例を提示した段階だけではなく、別の場面や作用もそれに加えられる。例えば、メイら（May, Hammer,

& Roy, 2006) は、アメリカの小学校3年生を対象に、地震が起きる原因を話し合うという学習過程での、児童によるアナロジーの自発的な生成や使用について報告している。そこでは、岩石が落下して溶岩が上昇して地震が起こると考えている児童が、考えの異なる児童に自分の考えを聞き入れてもらえない状況に直面して、氷が落下して水面が上昇する現象をベースとするアナロジーを自発的に生成している事例が挙げられている。つまり、考えの異なる学習者に自分の考えを伝える、もしくは、説得しようとする対話的な活動場面での、自発的なアナロジーの生成である。そして、このアナロジーがクラス全体に提示されると、話し合いの焦点がそれに向かい、先とは別の児童がこれもまた自発的に別のアナロジーを生成することになった。これは、先行のアナロジーにより誘起された、別のアナロジーの自発的な生成である。このように、考えの異なる他者への説明や説得しようとする状況、先行してアナロジーが提示されている状況は、学習者によるアナロジーの自発的な生成の契機となりうる状況であることが示唆される。なお、メイら (2006: 325) は、熟達者のアナロジー使用に見られる諸側面の観点から、一連の児童のアナロジーの生成と使用を分析しており、個人差や程度の差が認められるものの、小学生であっても、熟達者と同じようにアナロジーを使用する一定の能力を主張している。

いずれにせよ、学習者によるアナロジーの自発的な生成と導入が見られた授業実践であっても、そもそもそのような状況が見られることを必ずしも教師あるいは研究者が予期していたのではない。言い換えれば、教授展開において学習者によるアナロジーの自発的な生成や導入が起きうるような、教授ストラテジーが意識的にとられていないのである。

本章のまとめ

本章では、第一に、認知科学におけるгентナーとホリオーク・サガードのアナロジー論、科学論におけるヘッセのアナロジー論、認知言語学におけるメタファー論を参照し、理科教育におけるアナロジーの理論的な基礎付けを図った。アナロジーは、認識関心が向けられた対象であるターゲットと、それに類似していると考えられる対象・現象であるベースを関連付ける推論様式であり、二つの領域間の属性レベルの類似性よりも、構造や関係レベルでの類似性がより重要とされる。アナロジーの構造的・関係的な類似性という要因に加えて、アナロジーを適用する目標や文脈などの実用的な要因によって、アナロジー的推論が方向付けられることを確認した。アナロジーは、メタファーとは認知プロセスな

どの共通性が認められる一方で、ベースとターゲットを対応付ける基礎的な特性や多様な言語表現の可能性という点で、異なることを指摘した。また、理科教育におけるアナロジーによる教授ストラテジーの基底となる理科学習論の視点を整理した。具体的には、能動的な構成としての学習、自己調整としての学習、状況・文脈のなかでの学習、社会文化的な行為としての協同的・対話的な学習、主体的な関与の高まりとしての学習、熟達としての学習という視点から、当該教授ストラテジーの基底となる理科学習論について論じた。

第二に、多様なアプローチからの熟達者研究の知見に基づいて、科学領域の熟達者のアナロジーの使用を検討・整理した。科学領域の熟達者としての科学者は、問題解決、科学的な探究過程において、自発的にアナロジーを使用していること、そして、そのアナロジーの生成や評価の方法には、多様な様式があることを論じた。また、科学者のアナロジー使用は、説明の付与のみならず、仮説の設定や実験の計画などと多様な目的・機能をもっていること、思考実験や視覚的モデリングなどの他の思考様式と共起することにも言及した。科学的な熟達者のアナロジーの使用は、アナロジーの生成・評価・修正の段階が含まれていること、アナロジーの単独的な使用のみではなく、他の思考様式との複合的な活用などの共通性が見られることを指摘した。

第三に、アナロジー使用の行為の主体という観点から、これまでのアナロジーによる教授ストラテジーを類型化し、その成果と課題を抽出した。教師によるアナロジーの説明という教授ストラテジーでは、アナロジー導入手順の定型化が図られ、アナロジーの導入時機の一端が明らかにされていた。ただし、学習者によるアナロジーの対応関係の構成を含めて、教師がアナロジーを導入する場合、その学習過程で学習者に期待されるのは、学習者独自の解釈ではなく、教師が意図するベースとターゲットの対応関係を理解することに留まり、ターゲットそれ自体をどのように理解できるのかという点まで至らない問題点を指摘した。学習者自身にベースそれ自体も考えさせ、アナロジーを生成させるという教授ストラテジーでは、対話的な活動を通じて、アナロジーの生成やその内容理解が促進されるなどの有用性が認められた。しかしながら、対話的な学習活動を取り入れるとした場合であっても、アナロジーの評価を促進するような学習環境や働きかけが求められることを指摘した。さらに、教授展開において学習者がアナロジーを自発的に生成・導入するような条件は十分に探られておらず、教授ストラテジー開発での検討課題となっていることを述べた。

註

- 1) 一般的に、アナロジーを構成する2つの領域のうち、学習者にとってよく知っている知識ソースになる領域は、ベース以外に、アナログ (analog)、アンカー (anchor)、ビークル (vehicle)、ソース (source) などと呼ばれることもある (Aubusson, Harrison, & Ritchie, 2006: 9)。著者によって、2つの領域の呼称は異なるが、議論の煩雑化を避ける観点から、本研究では、基本的に「ベース」と「ターゲット」という呼称を用いることにする。
- 2) 構造写像理論は、①属性の非写像 (対象の属性は写像されない)、②構造的な一貫性 (構造的に整合しているものが一対一に写像される。ベースの対象・関係がターゲットの対象・関係のみに対応する。関係が写像されれば、それに関係する項目も写像される)。③システム性原理 (構造の関係が優先的に写像される) の3つの規則にまとめられる (鈴木, 1996: 53-57)。
- 3) 肯定的・否定的・中立的アナロジーで使われる「アナロジー」とは、2つの間にある特性間の関係性を意味し、ベースとターゲットからなる概念的な構成体およびそれに関わる認知プロセスを意味する、前述の認知科学での「アナロジー」とは、若干語用が異なる。
- 4) その4種類とは、共有される特徴の類似性に基づく特徴メタファー、4項類推関係に依拠する関係メタファー、構造類似性に依拠する構造メタファー、概念体系に依拠する概念メタファーである (楠見, 2001)。
- 5) 文法カテゴリーに基づくと、前者は「連語的隠喩」(例えば、「心が波立つ」)と呼ばれ、後者は「等式的隠喩」(例えば、「ひとは石垣, ひとは城」)と呼ばれる (山中, 1994)。
- 6) 車輪の問題 (事例A) から、この問題 (事例B) を考え出していることそれ自体は、変形を経てのアナロジーの生成に相当すると思われるが、クレメント (1998) ではそのような見解は明確に示されていない。
- 7) ここでの「実験の改善」とは、科学者がある実験を行い、予定どおりの結果が得られなかったときに、当該実験の手続きの一部を以前行った類似の実験のそれに置き換えることを指している。
- 8) 科学者が使用するアナロジーでのベースとターゲットとの距離は、そのアナロジー使用の目的に応じて変化するために、単純に議論できない (植田, 2000)。
- 9) ポパー (1972) は、思考実験の使用方法として、批判的使用 (critical use)、発見的使用 (heuristic use)、弁護的使用 (apologetic use) を挙げており、思考実験を使用することが妥当である条件や弁護的使用の問題点を指摘している。

- 10) ブージャウド・タミン (BouJaoude & Tamin, 2000) は、中学生を対象にして、アナロジーを生成する学習を行ったのちに、学習済みである単元「生物の相互作用」の教科書からアナロジーを生成させ、生成されるアナロジーの類型と有用性を検討している。
- 11) 列車のアナロジーについては、村山 (1989: 146-148)でも紹介されているが、そこではアナロジーの導入時機の問題としては、捉えられていない。

引用文献

- Amin, T. G. (2015). Conceptual Metaphor and the Study of Conceptual Change: Research synthesis and future directions. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 966–991.
- Aubusson, P. J., Harrison, A.G., & Ritchie, S.M. (2006). Metaphor and Analogy: Serious Thought in Science Education. In P.J. Aubusson, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 1-9). Springer.
- Bailer-Jones, D.M. (2009). *Scientific Models in Philosophy of Science*. University of Pittsburgh Press.
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2000). How Analogies are Generated: The Roles of Structural and Superficial Similarity. *Memory & Cognition*, 28(1), 108-124.
- BouJaoude, S., & Tamin, R. (2000). Analogies Generated by Middle-School Science Students—Types and Usefulness. *School Science Review*, 82(299), 57-63.
- Brown, J.R. (2011). *The Laboratory of the Mind; Thought Experiments in the Natural Sciences*. Routledge.
- Chi, M.T.H. (2006). Two Approaches to the Study of Experts' Characteristics. In K. Ericsson, N. Charness, P.J. Feltovich, & R.R. Hoffman (Eds.). *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp.21-30). Cambridge University Press.
- Chi, M.T.H., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chiu, M.H., & Lin, J.W. (2005). Promoting Fourth Graders' Conceptual Change of Their Understanding of Electric Current via Multiple Analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 429-464.
- Christidou, V., Koulaidis, V., & Christidou, T. (1997). Children's Use of Metaphors in Relation to their Mental Models: The Case of the Ozone Layer and its Depletion. *Research in Science Education*,

- 27(4), 41-552.
- Clement, J. (1988). Observed Methods for Generating Analogies in Scientific Problem Solving. *Cognitive Science*, 12, 563-586.
- Clement, J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Student's Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J. (2004). Imagistic Processes in Analogical Reasoning: Conserving Transformations and Dual Simulations. In K. Forbus, D. Gentner, & T. Regier (Eds.). *Proceedings of the Twenty-sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.233-238), 26.
- Clement, J. (2008). *Creative Model Construction in Scientists and Students; The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation*. Springer.
- Cosgrove, M. (1995). A Study of Science-in-the-making as Students Generate an Analogy for Electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. (1985). Lesson Frameworks for Changing Children's Ideas. In R. Osborne, & P. Freyberg (Eds.). *Learning in Science; The implications of children's Science*, (pp. 101-123). Heinemann (森本信也, 堀哲夫 (訳) (1988). 「子どもの考えを変容させるための授業の枠組み」『子ども達はいかに科学理論を構成するか-理科の学習論-』, 150-182, 東洋館出版社) .
- Dole, J.A., & Sinatra, G.M. (1998). Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge. *Educational Psychologist*, 33(2/3), 109-128.
- Dunbar, K. (1995). How Scientists Really Reason: Scientific Reasoning in Real-world Laboratories. In R.J. Sternberg, & J.E. Davidson (Eds.). *Nature of Insight* (pp.365-395). MIT Press.
- Dunbar, K. (1997). How Scientists Think: On-Line Creativity and Conceptual Change in Science. In B.W. Thomas, M.S. Steven, & V. Jyotsna (Eds.), *Creative Thought; an Investigation of Conceptual Structures and Processes* (pp.461-493). American Psychological Association (山崎治 (訳) (1999) 「科学者の思考法-科学におけるオンラインの創造性と概念変化-」岡田猛, 田村均, 戸田山和久, 三輪和久 (編著)『科学を考える-人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点-』, 26-55, 北大路書房) .
- Dupin, J.J., & Johsua, S. (1989). Analogies and “Modeling Analogies” in Teaching: Some Examples in Basic Electricity. *Science Education*, 73(2), 211-216.
- Duschl, R. (2011). Learning Progressions and Teaching Sequences: A Review and Analysis. *Studies*

- in *Science Education*, 47(2), 123–182.
- Erduran, S., & Jimenez-Aleixandre, M.P. (2008). Argumentation in Science Education: An Overview. In S. Erduran, & M.P. Jimenez-Aleixandre (Eds.). *Argumentation in Science Education*. (pp.4-11). Springer.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner, D. (1989). The Mechanisms of Analogical Learning. In S. Vosniadou, & A. Ortony, (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp.199-241). Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Gentner, D.R. (1983). Mental Models of Electricity. In D. Gentner, A.L. Stevens (Eds.). *Mental Models* (pp.111-119). Lawrence Erlbaum Associates (淵一博 (監修) (1986). 『メンタル・モデルと知識表現』, 53-61, 共立出版).
- Gilbert, J.K. (2006) On the Nature of “Context” in Chemical Education, *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gilbert, J.K. (2015). Analogies, Metaphors, and Models. In R.J. Gunstone (Ed.). *Encyclopedia of Science Education*(pp.42-44). Springer.
- ガリレイ, G. (著), 青木靖三 (訳) (1959). 『天文対話 (上)』 岩波書店.
- ガリレイ, G. (著), 今野武雄, 日田節次 (訳) (1937). 『新科学対話 (上)』 岩波書店.
- Glynn, S. M. (1989). The Teaching with Analogies Model. In K.D. Muth (Ed.). *Children's Comprehension of Text: Research into Practice* (pp.185-204). International Reading Association.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M. Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」 武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社).
- Haglund, J. (2013). Collaborative and Self-Generated Analogies in Science Education. *Studies in Science Education*, 49(1), 35-68.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1993). Teaching with Analogies: A Case Study in Grade-10 Optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307.
- ハーマン, P.M. (著), 杉山滋郎訳 (1991) 『物理学の誕生—エネルギー・力・物質の概念の発達史—』 朝倉書店.

- 林秀雄, 安藤雅夫, 石原敏秀, 尾崎浩巳 (1997). 「理科学習におけるブリッジングアナロジー方略の有効性についての実証的研究」『日本理科教育学会研究紀要』, 38(2), 121-134.
- Hesse, M.B. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press (高田紀代志 (訳) (1986) 『科学・モデル・アナロジー』 培風館) .
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1994). *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. MIT Press (鈴木宏昭, 河原哲雄 (監訳) (1998) 『アナロジーのカー認知科学の新しい探究ー』 新曜社) .
- Holyoak, K.J. (2005). Analogy. In K.J. Holyoak, & R.G. Morrison (Eds.). *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp.117-142), Cambridge University Press.
- 今井むつみ, 野島久雄 (2003). 『人が学ぶということー認知学習論からの視点ー』 北樹出版.
- アイゼンク, M.W., エリス, A., ハント, ジョンソン-レアード, P. (編) , 野島久雄, 重野純, 半田智久 (訳) (1998). 『認知心理学事典』 新曜社.
- ジーマーマン, B.J., シャンク, D.H. (著), 塚野州一 (訳) (2014). 「自己調整学習：序論と概観」 塚野州一, 伊藤崇達 (監約). 『自己調整学習ハンドブック』, 1-10, 北大路書房.
- 鹿毛雅治 (2013). 『学習意欲の理論ー動機づけの教育心理学ー』 金子書房.
- Kaufman, D.R., Patel, V.L., & Magder, S.A. (1996). The Explanatory Role of Spontaneously Generated Analogies in Reasoning about Physiological Concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.
- 金子務 (1986) 『思考実験とはなににカーその役割と構造を探るー』 講談社.
- カルツェフ, V.P. (著) , 早川光雄, 金田一真澄 (訳) (1976). 『マクスウェルの生涯ー電気文明の扉を開いた天才ー』 東京書籍.
- 楠見孝 (2001). 「アナロジーとメタファー」 辻幸夫 (編) 『ことばの認知科学事典』, 364-370, 大修館書店.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. The University Chicago Press (渡辺昇一, 楠瀬淳三, 下谷和幸 (訳) (1986). 『レトリックと人生』 大修館書店) .
- Lemke, J.L. (1990). *Talking Sciences*. Ablex Publishing.
- レイブ, J., ウェンガー, E. (著) , 佐伯胖 (訳) (1993). 『状況に埋め込まれた学習ー正統的周辺参加ー』 産業図書.
- Lombrozo, T. (2006). The Structure and Function of Explanations. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(10), 464-470.
- 益田裕充 (2005). 「水流モデルから電流回路を類推する理科授業に関する研究ーベースドメイン

- の関係とターゲットドメインの関係を類推させるコミュニケーション活動を通して-』『理科教育学研究』, 47(2), 41-49.
- 松森靖夫 (1996).「理科授業研究の動向に関する一考察-アナロジーを導入した授業の効果に関する既存研究を中心にして-』『科学教育研究』, 19(4), 189-201.
- マツハ, E. (著), 廣松渉 (編訳) (2002). 『認識の分析』 法政大学出版局.
- Maxwell, J.C. (1965). On Physical Lines of Force. In E.D. Niven (Ed.). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell Vol. 1* (pp.451-513). Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9780511698095>.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's Analogical Reasoning in a Third-Grade Science Discussion. *Science Education*, 90(2), 316-330.
- 森本信也 (2012).「自己調整学習のもとでの科学概念変換」日本理科教育学会 (編著)『今こそ理科の学力を問う-新しい学力を育成する視点-』, 120-125, 東洋館出版社.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2012). Students' Pre- and Post-teaching Analogical Reasoning When They Draw their Analogies. *International Journal of Science Education*, 34(3), 429-458.
- 村山功 (1989).「自然科学の理解」鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓『教科理解の認知心理学』, 99-151, 新曜社.
- 永井秀樹, 川北一彦 (1999).「子どもが考えた電流モデルの有効性について」『理科教育学研究』, 40(1), 35-43.
- 中山迅 (1998a).「子どもの科学概念の比喩的な構成」『科学教育研究』, 22(1), 12-21.
- 中山迅 (1998b).「日光によるもののあたたまりについて小学生が比喩的に構成する概念」『科学教育研究』, 22(2), 61-68.
- 中山迅, 宮川雄司 (1999).「小・中学生の力概念の基底としての存在メタファ」『科学教育研究』, 23(2), 81-88.
- Nashon, S. M. (2004). The Nature of Analogical Explanations: High School Physics Teachers Use in Kenya. *Research in Science Education*, 34, 475-502.
- National Research Council (2000). *How People Learn; Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press (森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2000), 『授業を変える-認知心理学のさらなる挑戦-』 北大路書房) .
- Nersessian, N. J. (1992). How Do Scientists Think?: Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science., in R.N. Giere (Ed.). *Minnesota Studies in the Philosophy of Science XV* (pp.3-44. University of Minnesota Press.

- Nersessian, N. J. (2002). The Cognitive Basis of Model-based Reasoning in Science. In P. Carruthers, S. Stich, M. Siegal (Eds.). *The Cognitive Basis of Science* (pp.133-153). Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating Scientific Concepts*. MIT Press.
- 野矢茂樹 (2006). 『入門！論理学』 中央公論新社.
- Pittman, K.M. (1999). Student-Generated Analogies : Another Way of Knowing?. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22.
- ポパー, K.R. (著) , 大内義一, 森博 (訳) (1972). 『科学的発見の論理 (下)』 恒星社厚生閣.
- Raisis, V. (1999). Expansion and Justification of models: the Exemplary Case of Galileo Galilei. In L. Magnani, N.J. Nersessian, & P. Thagard (Eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp.149-164). Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Rea-Ramirez, M.A., Clement, J., & Neúñz-Oviedo, M. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Criticism Theory. In J.J. Clement, & M.A. Rea-Ramirez (Eds.). *Model-Based Learning and Instruction in Science* (pp.23-43). Springer.
- Reeve, J. (2012). A Self-determination Theory Perspective on Students Engagement. In S.L. Christenson, A.L. Reschly, & C. Wylie (Eds.). *International Handbook of Research on Student Engagement* (pp.149-172). Springer.
- Rosebery, A. S., Warren, B., & Conant, F.R. (1992). Appropriating Scientific Discourse: Findings from Language Minority Classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 2(1), 61-94.
- 瀬戸賢一 (1995). 『メタファー思考－意味と認識の仕組み－』 講談社.
- Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp.31-56), Routledge.
- シナトラ, G.M., タッソブシラジー, G. (著) , 塚野州一 (訳) (2014). 「自己調整学習 : 序論と概観」 塚野州一, 伊藤崇達 (監訳) . 『自己調整学習ハンドブック』 , 159-170, 北大路書房.
- Spier-Dance, L., Mayer-Smith, J. Dance, N., & Khan, S. (2005). The Role of Student-Generated Analogies in Promoting Conceptual Understanding for Undergraduate Chemistry Students. *Research in Science and Technological Education*, 23(2), 163-178.
- 鈴木宏昭 (1996). 『類似と思考』 共立出版.
- 鈴木誠 (2012). 『「ボクにもできる」がやる気を引き出す－学ぶ意欲を捉え、伸ばすための処方箋

- 』東洋館出版社.
- Taber, K. S. (2006). Beyond Constructivism: the Progressive Research Programme into Learning Science. *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- Taber, K.S., & Watts, M. (1996). The Secret Life of the Chemical Bond: Students' Anthropomorphic and Animistic References to Bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), 557-568.
- 高垣マユミ, 田原裕登志 (2005).「理想電源圧(電池)モデル(3D CG 教材)を導入した「電流」と「電圧」概念の統合」『理科教育学研究』, 45(1), 21-30.
- 高橋憲一 (2008). 『ガリレオの迷宮-自然は数学の言語で書かれているか?-』 共立出版.
- 高尾享幸 (2003). 「メタファー表現の意味と概念化」松本曜 (編) 『認知意味論』, 187-249, 大修館書店.
- 竹中真希子, 稲垣成哲, 山口悦司, 大島純, 大島律子, 村山功, 中山迅, 山本智一 (2005). 「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化:動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして」『科学教育研究』, 29(1), 25-38.
- 竹内薫 (2000). 『「場」とはなんだろう-なにもないのに波が伝わる不思議-』 講談社.
- 谷口一美 (2006). 『認知言語学』 ひつじ書房.
- Thagard, P. (1992). Analogy, Explanation, and Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.
- Thiele, R.B, & Treagust, D. F. (1995). Analogies in Chemistry Textbooks., *International Journal of Science Education*, 17(6), 783-795.
- Treagust, D.F., Harrison, A.G., & Venville, G.J. (1998). Teaching Science Effectively With Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(2), 85-101.
- Treagust, D.F., Harrison, A.G., Venville, G.J., & Dagher, Z. (1996). Using an Analogical Teaching Approach to Engender Conceptual Change. *International Journal of Science Education*, 18(2), 213-229.
- Tsai, C.C. (2000). Enhancing Science Instruction: the Use of 'conflict maps'. *International Journal of Science Education*, 22(3), 285-302.
- 植田一博 (2000). 「科学者の類推による発見」『人工知能学会誌』, 15(4), 608-617.
- 宇佐美寛 (1973). 『思考指導の論理-教育方法における言語主義の批判-』 明治図書.
- Wong, E.D. (1993a). Self-Generated Analogies as a Tool for Constructing and Evaluating

- Explanations of Scientific Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 367-380.
- Wong, E.D. (1993b). Understanding the Generative Capacity of Analogies as a Tool for Explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272.
- 山中桂一 (1994). 「意味の修辞学」池上嘉彦, 山中桂一, 唐須教光『文化記号論—ことばのコードと文化のコード—』, 150-154, 講談社.
- Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J.S., Parke, H.M., & Crawley, F.E. (2003). Social Interaction and the Use of Analogy : An Analysis of Preservice Teachers' Talk during Physics Inquiry Lessons. *International Journal of Science Education*, 40(5), 443-463.
- Zeitoun, H.H. (1984). Teaching Scientific Analogies: a Proposed Model. *Research in Science and Technological Education*, 2, 107-125.

第二章 教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識の特徴

本章では、研究課題(1)に対応して、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を検討する内容領域を事例として、教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識を明らかにする。中学生が理解するのが難しいとされる内容として、単元「物質の状態変化」から水の状態変化における加熱時間と温度変化の関係を、単元「電気分解」から、塩化ナトリウム水溶液の電導性と塩酸の電気分解をそれぞれ具体的な教育内容の事例として取り上げる。教師が当該の教育内容に関して保持している教科内容の知識、学習者や教授方法についての教授学的な内容知識を把握した上で、理科授業におけるアナロジーについての教授学的な内容知識を質問紙調査およびインタビュー調査を通じて探る。

第一節 中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例とした調査の目的と方法

第一項 調査の目的と位置付け

本章では、中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例として、教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識を探ることを目的とする。

ここでは、中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例として、教師が当該の教育内容について、どのような教科内容の知識(SMK)を保持しているのか、また、当該教育内容の指導に関連して、学習者や教授方法について、どのような教授学的な内容知識(PCK)を保持しているのか、そして、それらの教科内容の知識と教授学的な内容知識に基づいて、理科授業におけるアナロジーについて、どのような教授学的な知識を保持・形成しているのか、を質問紙調査およびインタビュー調査を通じて探ることにしたい。

第二項 調査の対象と方法

(1) 調査の対象と手順

教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な内容知識を探るために、中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例として、中学校理科教師を対象として、表1のような手順で調査を行った。

表 1. 調査と分析の手順

(1) 物質の状態変化, 電気分解の知識・理解に関する質問紙調査
(2) 質問紙調査の回答を踏まえた面接調査 (インタビュー調査)
(3) 質問紙調査・面接調査を踏まえた教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識の分析

中学生を対象として実施可能な「物質の状態変化」「電気分解」の理解を探る質問紙調査の後に、質問紙調査の回答を踏まえた面接調査 (インタビュー調査) を実施し、これらの 2 つの調査で得られたデータについて、教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識の分析・抽出を試みた。調査の対象や時期等の概要については、表 2 のとおりである。

表 2. 調査の対象と実施時期

学 校	A 中学校	B 中学校
所在地	群馬県	茨城県
教師の教職歴	4 年	5 ~ 20 数年
調査時期	平成 11 年 10 月	平成 11 年 11 月
質問紙調査	1 名	4 名
面接調査	1 名	4 名

ここでは、教科の内容知識と教授学的な内容知識の双方に着目していることから、カリキュラム・学習環境などが同じであり、生徒の実態も大きく異なることのない同一の中学校に勤務し、しかも性別にできるだけ偏りがなく、そして複数年の教職経験がある教師を機縁法により抽出した。ただし、同一の中学校内に、当該校が初任校である教師を含む理科教師の集団がつけられなかったため、A 中学校および B 中学校に勤務する現職の理科教師 5 名を抽出して、一連の調査を実施した。

A 中学校の理科教師 1 名 (以下、T1 と略記する) は、教職歴 4 年目を迎えた 20 歳代の女性であり、当該中学校が初任校であった。一方、B 中学校の理科教師 4 名 (以下、それぞれ T2, T3, T4, T5 と略記する) は、教師 T2 と教師 T3 が女性で、残り 2 名が男性であり、いずれの教師も、少なくとも 5 年以上の教職歴があり、複数の中学校での理科授業を経験していた。調査対象者のなかでは、教師 T5 が最も年齢が高く、40 歳代であった。

調査の実施前に、すべての教師に対して、教師自身の「物質の状態変化」「電気分解」についての理解やその理解の仕方、それらの内容の指導方法（アナロジーを含む）を探ることであることを伝え、調査への協力の意思を口頭で確認した。

(2) 質問紙調査の問題設定

教師は科学的な説明だけでは生徒が理解できていないと感じたときにアナロジーを使用する傾向が認められる。このことを踏まえて、中学校の教育内容のうち、生徒が理解しにくいと報告されている「物質の状態変化」「電気分解」の内容を含む単元（国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2003: 39）から、質問紙調査の問題を設定した。具体的には、①水の状態変化における加熱時間と温度変化の関係（調査紙は、資料 1 参照）、②塩化ナトリウム水溶液の電導性（調査紙は、資料 2 参照）、③塩酸の電気分解（調査紙は、資料 3 参照）に関する問題を設定した。問題①では、物質の巨視的・準微視的な観点からの固体・液体・気体、熱と温度の区別、問題②・③では、電荷を帯びた粒子としてのイオンとその溶液中の挙動、酸化還元反応としての電気分解についての教授・学習に主として探ることとした。

理科カリキュラムでは、水の状態変化における加熱時間と温度変化の関係については第 1 学年で、塩化ナトリウム水溶液の電導性、塩酸の電気分解については第 3 学年で指導されること、また、理科教師が担当する学年が異なることを考慮して、調査対象の教師が担当する学年の質問紙調査を優先的に割り当てた（表 3）。なお、いずれの教師に対しても、質問紙調査のすべての問題を提示した。

表 3. 質問紙調査の優先的な割当

質問紙調査問題	教師 T1	教師 T2	教師 T3	教師 T4	教師 T5
① 水の状態変化	○	○	○	○	-
② 塩化ナトリウム水溶液の電導性	-	-	-	○	○
③ 塩酸の電気分解	○	-	-	○	○

(3) インタビュー調査の質問項目

質問紙調査の後に、半構造化インタビュー調査を 1 人あたり 30 分程度実施した。インタビュー調査の質問項目（具体的な質問項目は、資料 4 参照）については、物質の状態変化および電気分解に関する学習（教科内容の知識・理解）、物質の状態変化および電気分解に関する教授（教科内容の指導）の大きく 2 つの分類から構成した。前者の分類には、「ア

ナロジーの活用に関わらず、状態変化もしくは電気分解を現在どのように理解していますか。」という趣旨の質問項目などが含まれる。一方、後者の分類には、「科学的な概念を説明するときにアナロジーを用いる意図は何ですか。」という趣旨の質問項目などが含まれ、それらの質問項目は、理科カリキュラムについての知識、学習者についての知識、教授方法についての知識などの教授学的な内容知識¹⁾を探るものであった。

インタビュー調査にあたり、次の点に配慮した。まず、質問項目を設定しインタビューの展開を計画していたものの、教師がもっているアナロジーについての認識をできるだけ自然な形で表出できるように、インタビュー中に教師が自らの考えや経験に自発的に言及することは妨げなかった。次に、インタビューでは、アナロジーを含む比喩的な表現について「アナロジー」や「メタファー」などの語を使わずに、一般的に意味を理解しやすい「喩え」という語を用いた。さらに、教師の発言を誘導することがないように、インタビュー者は、前述の具体的なアナロジーの機能について言及しなかった。

なお、B 中学校の教師 4 名に対しては、これらのインタビューの質問項目を事前に伝えておいた。ただし、教師 T1 には、打ち合わせの都合上、質問項目を事前に伝えておくことができなかった。これによる影響については、インタビューの質問項目を説明するために時間を要したことを除けば、その他の教師の回答状況と比べて大きな相違は確認できなかった。本人の了承を得た上でインタビューでの会話を録音した。そして、録音した音声情報については文字化し、プロトコルデータとして分析に用いた。

第二節 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関する内容知識

第一項 教師の「物質の状態変化」に関する内容知識

中学校の理科カリキュラムにおける「物質の状態変化」に関する単元は、1 年生で扱われ²⁾、その主たる教育内容は、温度によって物質の状態が変化すること、物質の状態変化に伴って、質量は変化しないが、体積が変化することである。これらのことは、巨視的な水準で捉えることが期待される。

一方、質問紙調査ならびにインタビュー調査での回答を見る限りでは、当然のことながら、いずれの教師も上記の教育内容は理解しており、それらの内容が 1 年生で学習するものであることも承知していた。これらに加えて、教師たちは、巨視的な水準だけではなく、微視的な水準でも、物質の状態変化を捉えており、粒子論的な理解をしていた。教師の粒子論的な

理解は、水分子を1つの粒子としてモデル化した、粒子モデルを基礎していた(図1)。

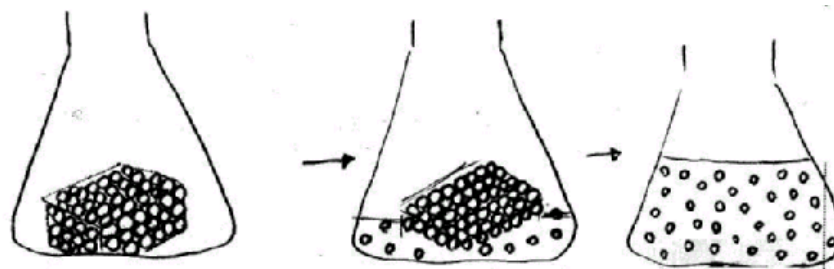


図1. 粒子モデルを利用した物質の状態変化についての記述(教師T3)

このような粒子モデルに基づいて、水の粒子が規則的に配列された固体状態から、加熱に伴って、その配列が崩れ、空間的により自由度の大きい液体状態へと移行していく過程として融解が理解されている。そして、微視的な水準での固体と液体の状態の違いは、水の粒子の配列や粒子間の距離の違いとして認識されている。また、その粒子モデルでは、水の粒子間には、一定の結合力が働くことが含意されている。

しかしながら、インタビューした教師間では、教職歴や教育的な背景の違いを反映してか、水の粒子それ自体が運動しているとする熱運動の考え方の有無に違いが見られた。融解しているときの温度が変化しないことについて、例えば、教師T1は「熱エネルギーが状態変化に使われる」、「水分子間の結合を切るのにエネルギーが使われている」と回答しており、加熱に伴って、原子・分子の熱運動が活性化された結果としてではなく、粒子間の結合に直接的に作用した結果として、状態が変化すると捉えていた。一方、教師T2は「熱は結びつきを切りはなす」と回答しているもの、その回答は熱運動に関する考え方を踏まえたものであった(表4)。なお、教師T2のこのような考えには、熱とハサミとのアナロジー(図2)が関連付けられていた。

表4. 教師T2による氷の融解現象についての記述(一部抜粋)

氷のイメージとしては、 H_2O 分子がぎっしりと結びついているという感じ。それが、熱することにより、熱はその結びつきを切りはなすために使われる。そのため、切りはなしが終わるまでは、温度が上昇できない。1つ1つの分子がばらばらになったら、熱は分子をもっと動かして、もっと広がり動いてくために使われる。

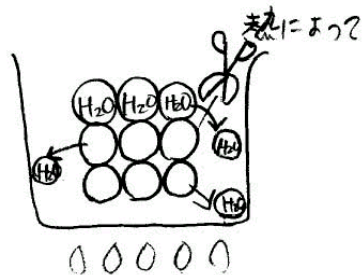


図2. 物質の状態変化を理解するためのアナロジー（教師 T2）

この熱とハサミとのアナロジーは、氷が融解するとき温度が変化しない時間帯での熱の働きをハサミと対応付けたものである。加熱によって、氷の温度が融点まで上昇することや融解後に再び水の温度が上昇することまでを射程とするものではない。融解するときのみ適応可能なアナロジーである。このアナロジーは、教師 T2 自身が物質の状態変化における温度変化を理解するために活用しているものであり、必ずしも中学生に教えるために活用するものではない。

他方、教師 T3 による氷の融解における温度変化についての記述には、必ずしも科学的には適切とは言えない部分が見られた（表 5）。

表 5. 教師 T3 による氷の融解現象についての記述（一部抜粋）

<p>全て水になるまでは、水になる部分があたたまっても氷の部分で冷やされてしまうから、全部水になるまで温度は同じ。</p>

この記述は、融解していない氷が水を冷却しているという趣旨の説明であり、高温から低温への熱移動とのアナロジーによって、融解で温度が変化しないことを便宜的に説明しようとするもので適切なものではない。一方で、教師 T3 は、質問紙調査での他の記述部分やインタビュー調査での回答では、水の粒子間距離の変化として、融解で温度が変化しないことを説明していた。これらのことを踏まえると、教師 T3 は、物質の状態変化について、上述したような科学的な知識を保持している一方で、それらの知識が十分に構造化されていない部分もあると考えられる。

第二項 教師の「電気分解」に関する内容知識

中学校の理科カリキュラムにおける「電気分解」に関する単元は、3年生で扱われ、その主たる教育内容は、電解質が水に溶解すると、正あるいは負の電荷をもつイオンに電離すること、電解質水溶液は電気伝導性があること、電極間で電位差があるとき、電極付近で電子の授受が伴う化学反応が生じ、電流が流れること、化学エネルギーから電気エネルギーを変換するのが電池であり、逆に、電気エネルギーから化学エネルギーへと変換するのが電気分解であることである³⁾。

質問紙調査の回答を割当てた教師2名は、巨視的・微視的な水準の双方から、水の電気分解について理解していた。具体的には、粒子モデルを利用した記述に基づいて(図3)、電解質溶液中や電極付近でのイオンや原子分子の移動や電子授受を記述していた。ただし、電子授受については、酸化還元反応として化学反応式で記述することは見られなかった。

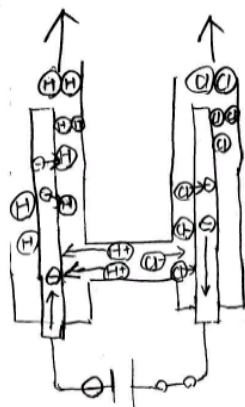


図3. 粒子モデルを利用した水の電気分解についての記述(教師T5)

インタビューしたいずれの教師からも、電極間での電位差、エネルギーに関わる考え方についての記述あるいは発言を確認することはできなかった。これらのことを踏まえると、教師達は、水の電気分解や塩化ナトリウム水溶液の通電現象を、原子・分子やイオンのような粒子モデルを利用して、微視的な水準での物質移動や反応などのメカニズムを捉えているものの、それらのメカニズムにおけるエネルギーの移動・変換などまでは認識していないことが推察されるのであった。

また、教師の回答には、電気分解に関わるオルタナティブコンセプトも見られた。例えば、教師T4は、水の電気分解における水素イオンと塩化物イオンの電極近傍への移動に関して、「電気のプラスマイナスの引かれる力によって、こう動いていくというイメージがあります」と述べていた。これは、電解質水溶液中の陽イオン、陰イオンが、それぞれ電極の陰極、陽極へと移動すると考えるオルタナティブコンセプトである(Garnett, Garnett,

& Hackling, 1995)。このようなオルタナティブコンセプションは、教師 T5 も保持しており、磁石とのアナロジーにも関連付けられていた。また、教師 T5 には、電圧をかけた塩化ナトリウム水溶液中では、電極中の電子を溶液中のイオンが直接的に移動させている、というようなオルタナティブコンセプションも確認することができた。これまでの教師の教科内容の知識に関して指摘されてきたように (De Jong, Veal, & Van Driel, 2002), 中学校の理科教師であっても、必ずしも理科カリキュラムの内容が習得されているわけではなく、生徒と同じようなオルタナティブコンセプションを保持しているのであった。

ただし、教師らは、電気分解に関するオルタナティブコンセプションを保持していると言えるが、それは必ずしも特定の教師の教科内容の知識の不足という問題ではない可能性もある。その可能性の一つとして、教科書の記述による影響も考えられる。例えば、渡辺・北条 (2008) は、「電解液に電流を通じると、陽イオンは陰極に、陰イオンは陽極に引かれ、それぞれ電子授受して原子や分子になる。これを電気分解という。」という科学的に不適切な記述が、中学校や高校の教科書に長年掲載されてきたことが、電気分解の理解を阻害してきたと批判している (渡辺・北条, 2008:175-188)。このことを踏まえると、電気分解でのイオンの移動に関しては、教師と生徒の双方で、オルタナティブコンセプションが保持されていることも考えられる。

第三項 教師の教科内容の知識の深化・拡充過程としての教材研究

今回の調査問題として取り扱った、物質の状態変化や電気分解に関する科学的な知識については、いずれの教師もそれを学習した中学校段階で一定の水準で習得できていたとの認識をもっていた。その一方で、当該現象をより実感的に理解できたのは、やはり共通して、授業の準備段階である教材研究のときであると感じていた。例えば、教師 T3 は、教材研究として実験を行うことが、物質の状態変化や電気分解に関する現象と科学的な知識を結び付ける機会となり、より実感的に理解することができたと感じていた。また、教師 T5 も、同様に教師として教材研究する段階で、より実感的に理解できたことに言及していた。

教師にとって、教材研究を行うことは、単に授業内容を決定し、準備するだけではなく、自分の教科内容の知識を深化・拡充する機会にもなっている。この教師が教科内容の知識を深化・拡充する過程では、新しい知識の習得や現象と理論の関連付けに加えて、事物・事象の視覚的イメージの豊富化に重点が置かれている。また、それは教師 T2 のことばで言えば、

自分自身の理解状態を「見つめ直す」機会でもあり、教師が自身の教科内容の知識についてのメタ認知を行う場面にもなっている。

第三節 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関する教授学的な内容知識

第一項 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関連したカリキュラムについての知識

教師の理科カリキュラムについての知識には、『学習指導要領』のような国レベルでのカリキュラム等に示され、公的な要請のある目的・目標に関する知識と、特定のカリキュラムプログラムや教材に関する知識に分けられる (Abell, 2007:1128-1129)。ここでは、後者に関するカリキュラムについての知識に着目したい。

一般に、『中学校学習指導要領』では、中学校で扱われる教育内容は、配当学年や単元の構成、内容の扱いの程度が規定され、それに基づいた検定教科書が使用されていることを踏まえれば、このような内容の知識については、教職経験を積むことで、比較的容易に習得できる知識と見なせる。

「物質の状態変化」に関する内容は、理科カリキュラムでは、1年生の教育内容として位置付けられており、原子や分子などの粒子論的な内容は扱われず、もっぱら巨視的なレベルでの現象に見られる規則性を学習することは、すべての教師が保持している知識であった。また、「化学反応と熱」に関する内容が、2年生に位置付けられており、そこで原子・分子に関する粒子理論を扱うことから、教師 T2 や教師 T3 は、カリキュラムの接続を考慮して、1年生段階でも、物質の三態を粒子モデルで表現することを取り入れておくことが有用であるとの認識をもっていた。また、担当学年で扱われていない教育内容に関しては、それに係わることば（科学的な用語）をそのまま使わずに、別の表現を用いることが試みられている。例えば、「原子」ということばを使わずに、「粒」と表現することが、カリキュラムの範囲を逸脱せずに、当該の科学的な概念を活用した考え方を理科授業に導入する実践的な知識となっている。

特に、加熱に伴う物質の状態変化と温度変化の関係については、パラジクロロベンゼンを教材として使用して、融解の実験を行うことが共通した知識であった。当時パラジクロロベンゼンの教材利用は、当該物質の健康影響が指摘され、教科書に掲載される教材は、パルミチン酸への代替とされるようになっていた。教師 T2 は、インタビュー調査の時点では、1年

生を担当していなかったが、このような教材の変更についても把握していた。なお、B 中学校では、学校内の理科教師の会合を通じて、教材を含めた教科指導に関する情報交換を行う機会が設定されていた。

「電気分解」に関する内容は、2 年生で化学反応に関連して、電氣的に中性である原子・分子、電磁気に関連して、電流の実体的な存在としての電子を学習した後、3 年生の教育内容として位置付けられていること、その中心的な概念がイオン概念であることが共通に意識されていた。教師 T4 は、イオン概念の形成にあたっては、電池の塩橋として寒天を使用したイオンの移動を視覚化する教材を使用すること、原子の構造と関連付けて、イオンの生成や電荷の大きさを理解することが有用であると考えていた。ただし、前者の教材は、通常の理科授業で扱っている内容とは言えないこと、後者の内容は、高等学校の化学カリキュラムの教育内容であることなど、カリキュラム上の制約に関することも認識していた。他方、教師 T5 は、電解質溶液の通電現象については、小学校の教育内容であり、中学校での引き続き学習する閉回路概念と関連付けることが重要であると考えていた。

このようにインタビューした教師は、「物質の状態変化」「電気分解」に関連する教育内容は、中学校の理科カリキュラムでの接続に加えて、隣接校種の教育内容との関連性についても意識していた。また、理科教科書で扱われる教材についても把握している。ただし、このような教師のカリキュラムについての知識の習得や発展は、教師個人の研修を通じた力量形成の成果でもある一方で、全国的に同じような内容や教材が扱われる傾向が見られるように、日本の理科カリキュラムとしての『学習指導要領』や検定教科書のもつ特性や学校教育環境に影響を受けている部分も小さくはないと考えられる。

第二項 教師の「物質の状態変化」「電気分解」に関連した学習者についての知識

教師の理科学習者についての知識には、特定の概念を学習するために必要な条件、学習者が困難を感じる内容領域、学習者の理科学習へのアプローチ、共通するオルタナティブコンセプションなどが含まれる (Abell, 2007: 1126-1127)。

勤務校が初任校である教師 T1 を除く、4 名の教師は、複数校の中学校での理科指導を経験しており、所在の地域や学校が異なることで、理科学習への取り組みが異なり、知識習得という点から見た学力に差異があることを実感していた。このことは、教師に対して、同一の教育内容であっても、同じような理科指導が適用しにくいことを意識させることにつなが

っていた。学校が異なることに対応する具体的な改善策としては、理科授業で扱う科学的な知識の内容の程度を変化させることと考えられていた。最も教職歴の長い教師 T5 に限っては、地域や学校間での比較だけではなく、時代の変化に伴う学習者の変化にも着目しており、社会的な環境が変化することに伴って、理科学習に限定されず、中学生の様子に変化が見られると感じていた。

以上のように、インタビューした教師は、内容領域に限定されず、学習者の理科学習への取り組みに関する知識をもっていた。そして、これらを踏まえて、理科指導に関わる環境の変化に柔軟に対応することが必要であると考えていた。

(1) 教師の「物質の状態変化」に関連した学習者についての知識

教師は、中学生にとって、加熱して状態が変化すること、状態が変化するとき温度が変化しないことは、比較的容易に観察できることから、巨視的な水準での状態変化の現象についての事実的な知識は、中学生でも習得しやすいものであると考えていた。反対に、一般的に、原子・分子などの粒子を考えて、粒子論的な観点から状態変化の仕組みを考えることは、中学生にとっては難しいことであると考えていた。そして、当該内容を理解するのが難しいのは、水の粒子（原子・分子）を肉眼で観察できないことを理由として挙げている。

直接的に観察できないものが理解しにくいことは、教師に広く共有された認識であった。しかしながら、その認識からは、認知的な側面での学習の困難性を、もっぱら観察の容易さによってのみに説明しようとする傾向が認められ、現象の把握と理論の理解とが十分に区別されていないことも示唆されるのであった。これ以外に、科学的な知識の習得を含めた概念的な理解を促進する上でのその他の課題には言及されることがなかった。例えば、質量保存の法則に見られるように、観察可能な巨視的な性質を、微視的なレベルの概念と結び付ける「トランスダクション（変換）」と呼ばれる手続き（アトキンス, 斉藤訳, 2004: 173）で見られる問題へ言及することは見られない。また、物質の状態変化に関する具体的なオルタナティブコンセプト（Driver, 1985）へ言及することも見られない。

これらのことから、インタビューした教師は、物質の状態変化に関する知識内容に応じて、中学生にとっての理解しやすさの程度についての知識を保持しているが、中学生が学習過程で認知上の問題を生じさせる手続きやそれに伴って生じる認知内容については、必ずしも把握していない、あるいは、十分には意識していないと考えられる。

(2) 教師の「電気分解」に関連した学習者についての知識

教師は、中学生にとって、電気分解によって特定の物質が生成すること、電解質溶液が通電することは、比較的容易に観察できることから、理解しやすいものであると考えていた。反対に、イオンの存在や移動、電流の向きと電子の移動の向き、電解質溶液中での電荷の移動を理解することは、難しいことであると考えていた。特に、イオン概念の学習の難しさは、インタビュー中に繰り返し言及される内容であった。ここでも、教師は、目に見えにくい現象であるということを理解しにくい理由として挙げている。

加えて、電気分解に関する学習では、これまでの科学的な知識との整合性を図らなければならないところに、中学生が困難を抱えやすいことも認識していた。具体的には、導線で接続された回路で、正極から負極へと電流が流れると考えてきたのが、2年生での電気分野で、電流の正体として電子の存在を学習し、3年生の電気化学分野で、導線でつながれていない回路を考え、電子の授受や移動として電気分解を理解しなければならなくなる。これら一連の電流および関連概念の概念的な整理や関連付けを図るところに、中学生は困難を感じやすいのである。教師 T5 は、生徒が導線で接続された回路ではじめて電流が流れるという考えをもっているからこそ、電解質溶液中での電荷の移動は、中学生にとって容易には理解できない内容になっていると考えていた。同じような電氣的な現象を扱いながらも、豆電球や導線などで構成される単純な電気回路に関する知識を単純には、電気分解の現象には適用できない点で、電気分解の学習が難しくなっているのである。

インタビューした教師は、理科カリキュラムと関連付けて、中学生がもっている知識、あるいは保持していると期待される知識を意識していた。つまり、意図されたカリキュラム (Intended Curriculum) を参照して (国立教育研究所, 1997: 8-9) , 中学生の既存の知識を捉えようとしていた。

その一方で、物質の状態変化と同様に、電解質溶液中にイオンの架橋が形成されるといった電気分解に関する具体的なオルタナティブコンセプション (森本, 1993: 119-120) に言及することは、見られなかった。これらのことから、インタビューした教師は、学習者についての知識として、教育内容としての電気分解の理解のしやすさに関する認識はもっているが、オルタナティブコンセプションの内容までは、十分には意識していないと考えられる。

(3) 学習者についての知識としてのオルタナティブコンセプションの把握の課題

学習者についての知識を調査した研究では、教師は、学習者が保持するオルタナティブコ

ンセプションをよく認識しているという結果がある一方で、調査を通じて、学習者のオルタナティブコンセプションの具体的な内容をはじめて認識するに至る事例も報告されている (Abell, 2007: 1127-1128)。高校生の慣性について理解している内容に関する教師の認識を調べた中山・猿田 (1999) では、教師は、高校生が慣性を科学的に理解していることを期待しており、具体的な慣性のオルタナティブコンセプションの表出を十分に予測できていないことを指摘している。それに対して、教師が、学習者が科学的な適否にかかわらず化学反応について理解する内容まで把握していることが報告されている (Loughran et al., 2012: 47-83)。これらのことから、教師の学習者についての知識の内容については、教育内容によって、教師によって、差異が認められる傾向がある。

このような学習者についての知識に差異が生じる要因としては、教師の理科授業に係わる熟達化の過程が関係しているとも推測できる。教職歴の違いによらず、一般的に教師は、教材研究において、学習者の学習状況を意識している一方で、教職歴の短い初任教师は、より教職歴の長い教師と比べて、学習者についての知識が発達していないことが指摘されている (磯崎・米田・中條・磯崎・平野・丹沢, 2007)。それに対して、インタビューした教師 5 名のうち、教師 T1 のみが初任の教師であり、他の教師 4 名は、複数校での勤務経験を有していたが、インタビューでは、オルタナティブコンセプションへと自発的に言及することはなかった。オルタナティブコンセプションの意識的な把握という点では、教職歴の違いや教育内容の違いによらず、教師の学習者についての知識には大差はなかった。

第三項 教師の「物質の状態変化」「電気分解」の教授方法についての知識

(1) 教師の「物質の状態変化」の教授方法についての知識

教師は、「物質の状態変化」の教授では、第一に、観察・実験を通じて、状態変化の現象に関する事実的内容の把握、第二に、粒子モデルに基づいて、当該現象が生じる仕組みの解釈・説明という大きく 2 つの段階を設定することを考えていた。そのことは、教師 T3 の質問紙調査への回答 (表 6) やその他の教師のインタビューでも共通に言及されていた。

第一の段階である状態変化の観察・実験では、状態が変化する様子の観察だけではなく、加熱によって温度が変化することをグラフ化することが重視されている。実際の現象と当該現象の数学的な表象としてのグラフとを関連付けることが、指導の重点となっている。特に、温度が変化しないとき、グラフの形状は水平になるが、そのときは状態の変化が起きている

ことへの意識付けが図られる。

第二の段階での粒子モデルに基づく実験結果の解釈・説明では、巨視的な水準から微視的な水準へと着目する対象を変更し、現象的な理解と理論的な理解の関連付けを図ることが試みられている。このとき、教科書での記述があることや2年生以降での学習へ接続したいことから、基本的には、教師が、粒子モデルを使用して、状態変化の現象を解釈することを提案する。粒子モデルの使用では、粒子の配列および運動の範囲の変化として、物質の状態の変化を解釈することが主眼に置かれる。通常の授業展開では、教師は、加えた熱や温度の変化の関係まで扱うことは考えていない。

表 6. 物質の状態変化の教授展開に関する記述 (教師 T3)

- | |
|---|
| <p>① 実験 (固体のものに熱を加えて液体にする) をして、観察やグラフをかかせてまとめる。</p> <p>② グラフが一定の部分 (温度が上がらないところ) があり、そのところは固体と液体がまざっているところを実際に目で見させる。全部液体になってしまうと温度は上昇していくことも目で見させる。実際にまず目を見たことを今度はモデルなどで説明することで理解しやすくなる。</p> |
|---|

教師は、以上のような教授展開を通じて、中学生が物質の状態変化における温度変化を理解してくれることを期待している。ただし、このような教授展開で、生徒が理解できていないと感じたときや生徒から質問が出てきたときには、当該学年の理科カリキュラムの教育内容についての知識に基づいて、当該内容の範囲を越える科学的な説明よりは、アナロジーの導入を選択する傾向にある。例えば、教師 T1 は、授業で生徒から出される質問の意図が、より高度な科学的な説明を求めるものではないと解釈し、アナロジーを使った説明によって概略的な理解を促進した方が有効であると認識していた。

物質の状態変化での温度変化を教えるためのアナロジーとして、教師 T2 は、質問紙調査の回答において、次のような例を挙げている (表 7)。なお、教師 T2 は、実際の授業でこれらのアナロジーを使用したことはないとのことであった。実際に使われたものではないが、理科カリキュラムや学習者についての知識を活用して、教師が生成するアナロジーであり、授業でのアナロジーと基本的には同じ知識を活用して構成されたものであると考えられる。

表7. 物質の状態変化での温度変化を教えるためのアナロジー（教師 T2）

授業の中で例としてあげると、

- ・部活動の練習では、毎日トレーニングしているが、毎日1つずつ技をおぼえたり、よいプレーができるようになるのではなく、目に見えてコンスタントに上達しないが、ある時、急に力が伸びていくというようなたとえ話などをするとする。
- ・また上のことを家庭学習などにもたとえて同じようにするかもしれない。

(2) 教師の「電気分解」の教授方法についての知識

教師は、「電気分解」の教授では、状態変化のときと基本的に同様に、第一に、観察・実験を通じて、電解質水溶液の通電や塩酸の電気分解に関する事実的内容の把握、第二に、粒子モデルに基づいて、当該現象が生じる仕組みの解釈・説明という大きく2つの段階を設定することを考えていた。

第一の段階である電気分解等の観察・実験では、電解質溶液にある大きさの電圧をかけると電流が流れること、電極によって両極に気体などの物質が発生することを確認することが主眼となっている。第二の段階である粒子モデルに基づく実験結果の解釈・説明では、イオンの移動や電子の授受として電気分解が起こる仕組みを概念的に理解することが中心となる。しかしながら、事実的内容を確認する前段階に比べて、このより概念的な理解が求められる段階は、中学生にとって困難なものとなっている。

インタビューした教師は、「イメージ」ということばを、教授学習に関する認知的な側面について言及するときに頻繁に用いていた。そのときの「イメージ」は、必ずしも言語化して表現しえない描画的な知識、あるいは、個人的な経験と結びついて構成された知識や信念という意味で使われていた。やや曖昧な使われ方をされている「イメージ」ではあるが、共通して教師は、イオン概念のように抽象的・概念的な内容の学習では、事物・事象の視覚的なイメージを豊富にすることを重視していた。この視覚的なイメージを豊富にする手段が、アナロジーであると見なされていた。例えば、教師 T4 は、イオンが正負の電荷をもつことをパズルピースとのアナロジー（図4）で教えることが効果的だと考えていた。このようなアナロジーは、イオンが元の原子と比べて電子が多い状態もしくは少ない状態となり、電気的な偏りを生じさせることを視覚的に捉えさせる手段としてよく使われている（戸田ほか、1997:51）。ただし、中学校カリキュラムにおいて、イオン結合をはじめとする化学結合が教

えられないことから、塩酸などの電解質が電離してはじめてイオンが生成するといったオルタナティブコセプションを生じさせる可能性もある (Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009: 24-26)。この点について言及する教師は見られなかった。



図4. イオンを教えるためのアナロジー (教師 T4)

また、電解質水溶液中の電荷の移動は、生徒が保持する閉回路に関する知識を拡張するために、バトンリレーとのアナロジー (図5) で教えることが効果的だと考えていた。

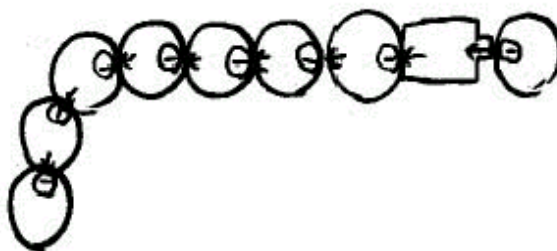


図5. 溶液中の電荷の移動を教えるためのアナロジー (教師 T4)

これらのアナロジーは、描画的なアナロジーであり、先行研究で報告されていた教師のアナロジーの表現方法として特徴とも共通している (Thiele & Treagust, 1994)。

第四節 教師の理科授業におけるアナロジーに関する教授学的な内容知識

第一項 教師のアナロジーの使用の目的・機能についての認識

(1) アナロジーによるイメージの形成と視覚化

理科学習におけるアナロジーの機能には、抽象的な概念の理解、イメージの形成、概念的な変容の促進、動機付けがあると考えられている (Duit, 1991)。

前節でも触れたように、インタビューした教師は、アナロジーによるイメージの形成・拡充の機能を重視していた。これは中学校理科の教育内容が単純に視覚的に捉えられる現

象だけではなく、その背後にある原理や抽象的な概念にまで及んでいることと関連が深い。例えば、水を冷却すると氷になること、そして氷になると体積が大きくなることは視覚によって確認できる。しかし、どうして水が氷になると体積が大きくなるのかを因果的に理解するためには、分子の存在や分子間の距離の変化を理解できなければならない。中学生にとって、抽象的な概念や目に見えない事物・事象を理解するのは容易ではないことは、教師の共通した学習者についての知識となっている。この知識に基づいて、教師は、アナロジーを使用することで、見えないものをイメージとして生徒が捉えられるものへの変容を試みるのである。教師 T5 は、抽象的な概念を具体的なもののイメージとして捉えさせたいと考えており、科学的な説明はもちろんのこと、アナロジーによって視覚的イメージとして電気分解が捉えられることを期待していた。

教師 T1 は、状態変化や電気分解以外の理科の教育内容の事例も挙げて、アナロジーを理解の補助として活用し、生徒に「自分なりにイメージ」を形成することを期待していると述べていた。教師が導入するアナロジーは、生徒自身が自然の事物・事象を意味付けしていくための認知的な道具であり、その過程は、学習者自身による能動的な知識習得として認識されていると考えられるのであった。そのような教師のアナロジーの機能についての認識は、教育内容によらず、一貫したものであった。

教師がアナロジーによって期待するイメージの形成や視覚化は、教師自身のイメージの伝達あるいは共有であるとも考えられる。そこには、教師の教科内容の知識と教授学的内容知識の相互の関係も伺えるような発言も見られた。例えば、教師 T2 や教師 T3 は、生徒が理解しにくい内容についての自分自身のイメージを伝えるためにアナロジーを用いて説明していると言及していた。つまり、自分自身の理解を支える自己説明としてのアナロジーを教授のためのアナロジーとして活用しているのである。教師 T2 は、自分が理解していることをそのまま生徒に伝えるのではなく、生徒の実態に合わせてベースを選択して、アナロジーを生成し、説明していると述べていた。アナロジーの使用でも、教科内容の知識を変換する教授学的内容知識を活用しているのである。一方、教師 T3 は、基本的には、アナロジーに限定されず、自分自身が理解していることと生徒に教えていることは同じであると認識していた。この場合、教科の内容知識と関連付けられたアナロジーがそのまま教授のためのアナロジーとして利用されていると考えられる。ただし、前述したように、教師は、自己説明としてのアナロジーを教材研究の段階で考案する傾向がある。このことを考慮に入れると、既にこの段階で教科内容の知識が理科教授場面を想定して変

換された結果として、アナロジーが考案されているとも解釈できる。

教師がアナロジーの機能として、視覚化やイメージ化を重視することは、理科授業前の教材研究での情報収集の取り組み方にも反映されている。教師 T4 は、理科授業で効果的なアナロジーを考案するために、ベースには映画の一シーンやニュースの画像などの映像的なものをできるだけ活用したいと考えていた。教師 T4 にとって、映画鑑賞は自分自身の趣味であり、教師の経験に基づいたアナロジーの活用であるが、その背景には、教師がアナロジーの機能としてイメージの形成や視覚化を重視していることがある。同様に、教師 T2 も、子どものイメージ形成・拡充に寄与する素材を日常的に探し求めていることを報告している。

(2) アナロジーによる興味関心の喚起と動機付け

インタビューした教師は、アナロジーの機能として動機付けも重視していた。中学生のとき理科の授業が大嫌いだったという教師 T3 は、教材研究を通じて自分自身が理解したことや理解した方法、理解したときの感動を生徒たちに伝えたいという思いをもっており、その思いを達成するための手段の一つとしてアナロジー活用を重要視していた。そのような教師 T3 は、アナロジーを活用することによって、生徒たちの学習を認知的に促進できると同時に、情意的にも促進できるという認識をもっていた。

また、教師 T1 は、「野球が好きな子なら野球の試合に喩える」などして、生徒たちの興味・関心を高めようと考えている。アナロジーのベースの選択如何によって、生徒たちのそれへの興味・関心が高まり、引いては理科学習へと動機付けられることを期待している。教師 T2 は、人間の感情を取り入れ擬人化したアナロジーを生徒が好むことを認知しており、生徒の好みに応じたアナロジーを活用して、原子や分子を説明している。つまり、生徒の選好を利用するという教師 T1 や教師 T2 の方法は、アナロジーの活用により教育内容に生徒の興味・関心をひきつける狙いをもっていた。教師 T3 は、自らの教授経験に触れて、アナロジーを用いて説明すると、生徒がアナロジーの意味を理解したい、もしくは確認したいと思うようになり、それに触発されて質問が活発になる傾向があること、つまり、アナロジーの活用による授業の活性化効果があることを認識していた。

先行研究では、アナロジーの情意的な効果を指摘するものは限られていたが、教師の実践上での関心は、概念的な理解の促進に加えて、動機付けの促進にも向けられていたのであった。教師は、実験経験に基づいて、情意的な側面でのアナロジーの利点は、認知的な

側面での学習の促進とも関連しているといったアナロジーの使用方法についての教授学的な内容知識を形成しているのであった。その一方で、教師は、アナロジーによる認知的な側面での理科学習の促進を指摘するものの、アナロジーによる機能として、概念的な変容の促進に言及することはなかった。

ただし、このことは、アナロジーによる概念的な変容の理論的・実証的な問題によって、アナロジーの機能として認めていないということではなく、そのような教授効果を期待して、アナロジーを導入しようとする発想がないことによるものである。概念的な変容を目指した教授展開では、学習者が何らかのオルタナティブコンセプションを保持していることが前提とされるが、インタビューした教師は、前述したように、状態変化や電気分解のオルタナティブコンセプションをそもそも十分には認識していない。これに加えて、アナロジーの機能について、イメージの形成・豊富化や動機付けは、教師の教授学的な内容知識に組み入れられているが、概念的な変容の促進は、それに含まれていないのであった。

第二項 教師のアナロジーの内容選択と導入方法についての認識

(1) 説明の範囲を限定したアナロジーの導入

教師は、電気分解のように一連のメカニズムによって進行する現象に対して、そのメカニズム全体ではなく、特に、生徒が理解しにくい部分に限定して、アナロジーを活用する傾向にある。例えば、教師 T5 は、中学生が電気分解で理解しにくい部分が、電解質溶液中でのイオンの移動であるとの認識に基づいて、この部分を磁石とのアナロジーを用いて説明することに言及していた（表 8）。

表 8. イオンの移動と磁石とのアナロジーに関する発話（教師 T5）

T5 : 陰イオンが陽極へ、陽イオンが陰極に集まるってことは、N 極には S 極が引かれていって、S 極には N 極が引かれていくということで、まあ磁石というのがあるとしたら金属だと、そういうふうには集まらないんだけど。そこに磁石、電源を入れるみたいなかたち、磁石ってものをもってくるとお互い違う極同士のところ集まる、というようなイメージで捉えさせてます。

そのアナロジーでは、陰イオンである塩化物イオン (Cl^-) が陽極へ、陽イオンである水素イオン (H^+) が陰極へと静電的な引力によって移動することを教授するのが目的とされる。このアナロジーでは、陽極に塩素、陰極に水素が発生するところは、対応関係に含まれていない。本来、電気分解とは一連の化学反応であって、プロセスである。しかしながら、教師 T5 は化学反応のメカニズムの一部分のみを取り出して、その部分にアナロジーを適用して、より豊かなイメージを形成しようと考えている。つまり、アナロジーにはターゲットを部分的にしか表現し得ないという本質的な限界があるものの、教授の構想段階で既に教師 T5 は、アナロジーでは、部分的にのみ教えようとしていたのである。

このことは、イオンが電極へと移動する原理が子どもにとって分かりにくいという経験的に蓄積された知識を活用していることと同時に、視覚に訴えかける授業の構成を考えていることとも関連している。つまり、塩酸の電気分解の実験を行えば、陽極での塩素の発生は、臭いを嗅いだり、脱色作用を確認することによって、また陰極での水素の発生は、燃焼反応を行うことによって感覚的（視覚的・嗅覚的・聴覚的）に把握できる、と教師 T5 は考えている。それに対して、イオンが水溶液中を移動することは文字通り視覚的に捉えることができないので、この部分についてはアナロジーを活用して教えようとしている。

イオンの移動だけではなくて、電極での電子の授受についても、実験では視覚的に捉えることができない。実際、その電子の授受を理解できている生徒は一般的に見てそれほど多くはない（国立教育政策研究所教育課程研究センター，2004: 130）。教師 T4 はその部分について、バトンリレーとのアナロジー（図 5）を用いて説明していた。このアナロジーでは、バトンを電子とみなし、バトンの渡し手が陰イオンや陰極に、バトンの受け手が陽イオンや陽極に対応付けられている。

教師 T2 の場合も、塩酸の電気分解を全体的に捉えようとするのではなく、特に視覚的に捉えにくい部分に焦点化してアナロジーを活用している。視覚に訴えかけることで科学概念や原理を生徒に理解させるようとする傾向は、教師 T2 が生徒に取り組ませる実験にもその一端が表出している。例えば、この実験とは、水酸化ナトリウム水溶液と酸・塩基の指示薬（例えば、フェノールフタレイン溶液）を寒天に染み込ませ、電気を流すことによってイオンが移動して（つまり、電気泳動）、そして、その移動した部分に変色することを示すものであった。

教師がアナロジーの機能としてのイメージの形成・豊富化を重視するとき、字義的な意味また比喩的な意味のいずれであっても視覚に訴えた授業構成を考えている。教師は、ア

ナロジーを用いることで視覚的に捉えられない部分を説明しようと考えている。それゆえに、教師がインタビュー中に挙げた事例には、少なくとも視覚的に捉えられる部分を含めたアナロジーを生成しようとする意識はあまり見られなかった。これは、その部分を取り入れたアナロジーを生成しようとした場合、必然的に扱わなければならない対応関係の数が増大し、ベースを探索する負担が大きくなり、通常の授業では生産的でないからだと考えられる。いずれにせよ、教師がアナロジーの機能としてイメージの形成・豊富化を特に重視した場合、電気分解のような一連のプロセスに対して、視覚的に捉えられない部分に限定して、アナロジーを用いて説明しようとする傾向がある。その時のアナロジーの対応関係は比較的明瞭であり、教師はベースとターゲットを対応付けながら説明している。

なお、教師 T4 と教師 T5 が事例として挙げたアナロジーは、前述したような自分自身のもつオルタナティブコンセプトから構成されたアナロジーであるとも言える。そのようなアナロジーであっても、教師がアナロジーの使用方法についての認識が反映されているものであることには変わりはない。

(2) 親近性を重視したアナロジーの内容選択

アナロジーの本質は、類似性を基にしたベースとターゲットの諸特性の対応付けを通じた、新たな意味の形成にある。したがって、アナロジーを理解する過程では、いかに諸特性の類似性が認識されるのかということは重要であり、そのような意味の形成においてベースの選択が大事な要素となっている。理科授業においてアナロジーが活用される状況の多くは、教師から生徒へとアナロジーが提示される状況である。教師と生徒の間には生活経験・学習経験の差異が存在する。この状況の中で教師がアナロジーを用いる場合、ベースの選択には特に配慮が必要であり、ターゲットとの類似性が高いだけでは必ずしも生徒たちの学習促進にはつながらないことが起こり得る。それゆえに、ベースは生徒たちにとって理解しやすい身近なものでもなければならない。生徒がよく知らないものをベースに選択した場合は、アナロジーにより動機付けられないだけでなく、かえって興味・関心が低下することにもつながりかねない。つまり、理科授業で教師がアナロジーを用いる場合、その類似性だけでなく親近性についても考慮しなければならないのである。類似性とは科学概念の形成からの観点であり、親近性とは子どもの立場からの観点である。これらの2つの基準を同時に十分に満たすアナロジーの活用が望まれるのだが、現実的にはいずれかの基準に偏ってしまう可能性もある。

教師は、授業中に生徒の質問を受けてアナロジーを生成することもあるが、教師 T5 の発言に見られるように（表 9）、多くの場合事前の教材研究でアナロジーの類似性のある程度満たしつつ、常に親近性を高めるようとしている。インタビューした教師は、アナロジーの類似性を決して軽視しているわけではないが、アナロジーが「身近なもの」であることの重要性に繰り返し言及しており、いかに親近性が高いかということに配慮していた。

表 9. アナロジー選択の親近性に関する発話（教師 T5）

T5: 生徒の身近にあるものでできるだけ。現象がそのことと一致しているというのが大原則ですけど、それで生徒がわかりやすいものを探しています。いつも。

もちろん、アナロジーの機能としてイメージの形成を重視している場合であっても、アナロジーの親近性は重要な選択条件である。ただし、教師が動機付けを重視している場合、アナロジーの親近性に注意が偏り、類似性の程度が十分に検討されないことも起こり得る。例えば、教師 T3 が火山の形成について活用しているという、表 10 のアナロジーは、粘性の異なるマグマと水分量の異なる大便との属性レベルでの類似性に基づくものである。

表 10. 火山の形成とウンチとのアナロジーに関する発話（教師 T3）

T3: 大地の変化のところで粘り気ってありますよね。なんだっけ、火山の噴火できれいになると楯状火山と。粘り気がこっちが大きくて、小さいとか教えるのって、よくあの、自分のウンチを想像しろって。下痢の状態はっていう感じで粘り気がないでしょ。そうするとこうなっちゃうんだよって。固いと固いとこうなっちゃうんだよって。ちょうどいいとおなかの調子がよくて、健康状態いいときはきれいなのがでてくるんだよとか。そんなふうなことでやるとやっぱり、身近なものでやるとわかるのかなって。

生徒の興味・関心を高めることをねらいとする教師 T3 にとって、日常生活の中からベースを選択して、ターゲットに対応付けられること、そして、それによって、教授上のねらいが達成されていることが重要なのである。属性レベルの類似性に基づくアナロジーであっても、生徒の興味・関心を高め、理科の学習に関与させられるという意味で教授効果

の高いアナロジーだと認識されているのである。

その一方で、インタビューした教師には、より高次の関係性に基づくアナロジーを促進することまでは意識されていなかったのである。このことは、アナロジーの機能として、興味・関心の喚起などを重視する一方で、アナロジーを通じた抽象化の必要性や意義までは、教師が認識するに至っていないという現状を示すものである。

(3) 擬人的なアナロジーの活用

アナロジーによる動機付けを重視する場合、教師はアナロジーの親近性を高めるために擬人化が有用だと考えていた。副次的な効果でありながらも、教師 T2 は、理科の教育内容だけに捉われない人間形成の手段としてもアナロジーを活用できると考えていた。例えば、そのアナロジーとは、物質の状態が変化しているとき加熱しても温度が変化しないことを「練習と成果」に見立てるアナロジーである(表 11)。このアナロジーで類似しているところは、状態変化において温度が一定となる部分があることと、おそらくは練習や学習を続けても目に見える成果が上がらない期間、つまり高原(プラトー)現象があるということである。表面的な類似性に基づくアナロジーだと見なせるものである。

教師 T3 は、この対応関係から状態変化では加熱しても温度が変化しないことを理解させたいと同時に、練習や学習を続けても成果が上がらないこともあるということを教えたい、と思っている。さらには、成果をすぐに確認できなくても努力を続けることの意味や重要性を生徒たちに伝えたいと願っており、そのように動機付けたいと考えている。ただし、この継続的な努力の重要性を教えることは、状態変化における温度変化の特徴という理科の教育内容にとって直接的には関係なく、付随的なものではあるが、教師の教育意図にかなっているものである。

表 11. 状態変化とプラトー現象とのアナロジーに関する発話(教師 T2)

T2: 子どもたちの生活に密着しているじゃないですか、部活とか家庭学習って。ある程度こうなんていうのかな、学習指導とか道徳的な意味合いを含めて、ずっとこうトレーニングとかやっているんだけど、それがいつもいつもコンスタントに伸びていくんじゃないかみたいな説明したらどうかなと思ったんですけど。

インタビューした教師にも、生徒が疑問に思うような状況でアナロジーを活用する傾向が見られた。教師は、その疑問に対して説明を与えようとするのであるが、何もその疑問がカリキュラムの範囲の説明で解決可能とは限らない。そのようなとき教師は、カリキュラムの範囲を越えた科学的な説明をして生徒の意欲を低下させることは避けたいと考える。生徒の動機付けを重視した場合、アナロジーの活用は一つの手段となる。例えば、「物質の状態変化」の単元は中学1年生の学習内容であるが、教師の一般的な教授展開に基づくと、状態変化が起こっている間に温度が変化しないことは実験で確認することはあっても、原理的な部分にまで踏み込んで教えてはいない。一方、生徒たちは単純に加熱すると温度が上昇すると考えている。ところが、状態変化が起きているときは加熱しても温度は上昇することがない。このことは生徒たちの直感に明らかに反している。この現象に直面して、生徒たちは温度計が壊れているなど予想に反する現象の要因を他のものに帰着させたり、温度や熱を混同して区別できないことがある (Erickson, & Tiberghien, 1985: 63-65)。もし生徒が温度が変化しないことを疑問に思い、質問した場合の対処方法として、教師 T1 は、科学的な説明をするよりはむしろ、擬人化したアナロジーを用いて説明する方が適切であると認識していた (表 12)。

表 12. 擬人的なアナロジーの活用に関する発話 (教師 T1)

T1: 人間同士に喩えてみたりとか、なんか別の説明をするわけです。そういう細かい説明をする必要があるかどうかわからないけど、そういうのを求めているわけじゃないから、人間関係に喩えてみたりとか。

教師 T1 によれば、生徒のニーズは「細かい説明」といった科学的な説明や原理を説明するところにはない。このため、教師 T1 は、水の沸騰と人の運動とのアナロジーを、カリキュラムから逸脱するターゲットに直接的に言及することやその対応関係を明示することは極力避けた、アナロジーの導入手続きによって提示していた。これによって、科学的な内容のターゲットへの言及を少なくし、その代わりにベースを詳説して、生徒たちが概略的に理解することを期待しているのである。このようなアナロジーの導入手続きは、ベースとターゲットを均等に扱ってアナロジーを提示する規範的な手続き (Glynn, 1993) とは異なり、語りのなかでアナロジーを構成していく方法である。教師 T1 は、学習者についての知識やカリキュラムについての知識を踏まえて、このようなアナロジーの導入方法を選択

しているのである。もちろん、そのような教授学的な内容知識を活用する側面もあるが、そもそも擬人的なアナロジーでは、表面的な類似性に基づくものになりがちであり、ターゲットを跡付けるようなベースの説明になりやすいことも考えられる。

なお、擬人的な説明は、生徒が化学結合などを説明するときに比較的頻繁に活用する説明様式の一つであることから (Taber & Watts, 1996)、教師が活用する擬人的なアナロジーは、生徒にとって受け入れやすい説明様式でもある。インタビューした教師からは、明示的ではないものの、擬人化は、生徒が理解しやすい説明の一つであるとの認識が共有されていた。

(4) 状況に関連付けられたアナロジーの活用

アナロジーによる動機付けの機能の重視と関連して、教師は状況に依存したアナロジーを活用している。具体的には、生徒との関係、生徒間関係など教室特有の人間関係や状況などの学習環境を把握し、その学習環境をアナロジーのベースとして利用している。例えば、教師 T2 は金属結合の自由電子を教えるために学級の輪とのアナロジーを活用したことがあると明かした (表 13)。

表 13. 原子の構造と学級の輪とのアナロジーに関する発話 (教師 T2)

T2: 原子核が、担任の先生がいて、他の電子たちがしっかり手をつないで団結しているんだけど、1人ぐらい変わり者がいて。なかなか変わり者がいて、なかなか言うことを聞かないんだよね。見ながら、なんか見ながら。あれ俺だみたいな感じで、半分笑い話みたいな感じで。そういう子がふらふらあっちの教室にいたり、こっちの教室に行っちゃったりするんだよねって、話したことがあったような気がします。正しいかどうか分からないですけど。

このアナロジーのベースである「学級の輪」それ自体もアナロジーである。原子には原子核があって、少なくとも一つ以上の電子があるという点では類似していると言えるが、それ以外の部分是对應していない。このアナロジーが活用された授業では、自由電子が学級の誰に対応するのか共有されていて、こうしたアナロジーの活用がなされている。したがって、そうした共有がなければ、別の授業で同じアナロジーを活用しようとしても、同

じような効果が上がるとは限らない。あくまでもその学習環境という状況でしか機能し得ないアナロジーである。言い換えれば、教師 T2 はアナロジーの親近性を重視し、継続的というよりはむしろ状況に依存した一回的なアナロジーを活用していたことになる。

教師 T1 もこのようなアナロジーの活用について言及している。教師 T1 によると、通常環境では分子として存在する水素は、付き合っている恋人同士に見立てられる。もちろん、水素分子は同じ水素原子同士が結合しているのであって、もし擬人化するのであれば同性の友達同士と考えるほうが妥当ではある。しかしながら、教師 T1 は科学的には不適切な部分もあるけれども生徒たちに常に一緒に行動していることに着目させたい、また、生徒たちの興味・関心を高めたいという意図で、分子と恋人とのアナロジーを活用している。そして、積極的にアナロジーの中に生徒を登場させ、注意を引き付けようとしていた。このアナロジーも、特定の学習状況にしか活用できないものである。

教師 T1、教師 T2 いずれであっても、このようなアナロジーには不適切な部分があることを承知した上で、生徒が興味・関心をもっている話題をベースとして選択して、アナロジーを活用しているのであった。教師は、学習者についての知識の活用によって、生徒が理解しにくい教育内容に関連付けたアナロジーの活用に加えて、生徒の特性も含めた学習環境に関連付けたアナロジーの活用も行っている。ただし、後者の場合、このとき、アナロジーによる動機付けの機能を重視したため、ベースの選択の基準が親近性へ偏り、類似性が若干軽視されてしまうような事態も発生している。

このことを踏まえると、教師は、アナロジーを活用する授業場面では、認知的な意味での学習を促進することを常に第一に考えているのではなく、アナロジーの適切性を多少損なう可能性があっても、情意的な意味でも学習を促進することを優先する場合もあり、それも重要だと認識しているのである。

(5) 教師が生成・導入するものとしてのアナロジー

第一章でも論じたように、アナロジーの生成・構成・導入の行為の主体に着目すると、アナロジーによる教授戦略は、4つの類型に分類することができる。それに対して、インタビューした教師は、基本的には、(1) 教師によるアナロジーの説明について言及していた。同じく教師がアナロジーを導入するものであるが、学習者自身にその内容を考えさせる取り組みである、(2) 学習者によるアナロジーの対応関係の構成についても言及されることはなかった。

もちろん、今回の質問紙調査とインタビュー調査は、教師の教科内容の知識とアナロジーの使用方法に関する教授学的な内容知識に着目したもので、教師に多様なアナロジーの使用方法までを直接的に質問したのではなかった。ただし、インタビューの過程では、調査者からの質問に答えるだけ、教師が自分自身の教授経験を振り返り自分の指導方法に言及する場面もあった。例えば、教師 T3 は、生徒から出た疑問に対して、自分で答えられない場合などでは、生徒自身から説明を引き出し、それを活用することも行っていることを述べていた。このように、インタビューした教師には、調査者からの質問項目以外にも、自分自身の指導方法を振り返り、自由に語りうる機会が保証されていた。この結果として、教師が、(1) 教師によるアナロジーの説明のみに言及していたと見なせるならば、教師が生成・導入するものとしてアナロジーが認識されていることが示唆される。

また、前述したように、インタビューした教師は、中学生が認知的に困難を抱える教育内容は把握しているが、オルタナティブコンセプションの存在とその内容までは把握していなかったことを踏まえると、(3) 学習者によるアナロジーの生成については、学習者についての知識としても、教師のアナロジーの使用方法の教授学的な内容知識としても、認識していないものと考えられる。

他方、(4) 学習者によるアナロジーの自発的な生成・導入については、教師 T3 の事例からも示唆されるように、これまでの教師の教職歴の中で、生徒のもつ多様な考えの表れとして活用されることはあったと思われるが、それが生じうるような教育内容や教授展開についての知識としては整理されていない。

このことを踏まえると、インタビューした教師は、「受容パラダイム」に属していると思なせるのである。理科指導の全体として見れば、いずれも教師も生徒の理科学習を促進することを主眼として、教材研究にも熱心に取り組んでいることが伺えたが、アナロジーの活用方法に関しては、アナロジーの生成・構成・導入に関する学習者の役割をさほど重視していないと判断できるのであった。学習者によるアナロジーの自発的な生成や誤解の発生などの認識は見られず、教師には、学習者のアナロジーの使用特性に関する実践的な知識は十分に保持されていないのであった。

本章のまとめ

中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例として、教師の理科授業におけるアナロジー

に関する教授学的な内容知識を明らかにした。具体的には、教師は、理科授業でのアナロジーの使用では、イメージの形成を促進する機能や、興味関心の高める機能を重視している一方で、概念的な変容の促進は十分には意識していないことを明らかにした。また、アナロジーの生成・導入にあたっては、自分自身の理解を支える自己説明としてのアナロジーを教授のためのアナロジーとして活用しており、教科内容の知識と教授学的な知識が密接に結びついていることを示した。さらに、教師は、生徒に身近なベースからアナロジーを構成することを重視し、擬人的なアナロジーや状況に関連付けられたアナロジーを生成・活用する傾向が見られることを論じた。一方で、教師は、アナロジーの活用方法として、教師自身によるアナロジーの説明は考えているものの、学習者によるアナロジーの対応関係の構成や学習者によるアナロジーの生成についての言及は見られず、アナロジーの生成・構成・導入に関する学習者の役割をさほど重視していない可能性を指摘した。

次章では、本章で把握した理科教師のアナロジーに関する教授学的な内容知識を踏まえて、教師がアナロジーを導入する授業を実践し、高校生がどのようにアナロジーを受容し、どのように学習内容を理解するのかを探る。

註

- 1) アベル (Abell, 2007) の理科教師の知識モデルに基づくと、これ以外にも、評価方法についての知識なども教授学的な内容知識に含まれるが、ここではアナロジーによる教授ストラテジーの開発に直接的に関係あるもの限定して調査を進めることとした。
- 2) 調査当時は、平成元年改訂の『中学校学習指導要領』に従った理科授業が行われていた (文部省, 1989)。
- 3) 調査当時は、平成元年改訂の『中学校学習指導要領』に従った理科授業が行われていた (文部省, 1989)。なお、平成 10 年改訂の『中学校学習指導要領』 (文部省, 1999a)、平成 11 年改訂の『高等学校学習指導要領』 (文部省, 1999b) では、これまで中学校段階の教育内容とされていたイオンやそれに関連する学習内容 (例えば、電気分解など) が高校段階のそれと変更された。その後、平成 20 年改訂の『中学校学習指導要領』から再び、中学校段階の教育内容に位置付けられている (文部科学省, 2008)。

引用文献

- Abell, S.K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1105-1149). Routledge.
- アトキンス, P. (著), 齊藤隆央 (訳) (2004). 『ガリレオの指-現代科学を動かす 10 代理論-』 早川書房.
- Barke, H.D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer.
- De Jong, O., Veal, W.R., & Van Driel, J.H. (2002). Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base. In J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, & J.H. Van Driel (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 373-374). Kluwer Academic Publishers.
- Driver, R. (1985). Beyond Appearances: The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp. 143-169). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「外見を超えて-物理変化及び化学変化における物質の保存」, 『子ども達の自然理解と理科授業』, 181-209, 東洋館出版社) .
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*,

75(6), 649-672.

- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Head and Temperature. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp. 52-84). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「熱と温度」『子ども達の自然理解と理科授業』, 72-111, 東洋館出版社) .
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M.W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M. Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社) .
- 磯崎哲夫, 米田典夫, 中條和光, 磯崎尚子, 平野俊英, 丹沢哲郎 (2007) 「教師の持つ教材化の知識に関する理論的・実証的研究—中学校理科教師の場合—」『科学教育研究』31(4), 195-209.
- 国立教育研究所 (1997). 『中学校の数学教育・理科教育の国際調査—第3回国際数学・理科教育調査報告書—』 東洋館出版社.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2003). 『平成13年度小中学校教育課程実施状況調査報告書—中学校理科』 ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2004). 『平成14年度高等学校教育課程実施状況調査報告書 (理科)』 実教出版.
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Sense Publisher.
- 文部省 (1989). 『中学校指導書 理科編』 学校図書.
- 文部省 (1999a). 『中学校学習指導要領解説 (平成10年12月) 理科編』 大日本図書.
- 文部省 (1999b). 『高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編』 大日本図書.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書.
- 森本信也 (1993). 『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』 東洋館出版社.
- 中山迅, 猿田祐嗣 (1995). 「慣性についての高校生の素朴概念に関する教師の認知」『科学教育研究』, 19(2), 103-110.

Taber, K.S., & Watts, M. (1996). The Secret Life of the Chemical Bond: Students' Anthropomorphic and Animistic References to Bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), 557-568.

Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). An Interpretive Examination of High School Chemistry Teachers' Analogical Explanations. *Journal of Research in Science Education*, 31(3), 227-242.

戸田盛和, 他 36 名 (1997). 『新版中学校理科 1 分野下』大日本図書.

渡辺正, 北条博彦 (2008). 『高校で教わりたかった化学』日本評論社.

第三章 高校生の理科授業におけるアナロジーの受容的な使用の特性

本章では、研究課題(3)に対応して、高校「化学電池」を事例として、教師によるアナロジーの導入の有無に着目して、高校生によるアナロジーの受容的な使用と概念的な理解の性質を明らかにする。高校「化学電池」の具体例としてダニエル電池を取り上げ、前章で明らかとなった教師が保持する教授学的な内容知識を踏まえて、教師がアナロジーを導入する授業を行い、授業前後の当該内容に関する理解状態、アナロジーの内容とを比較し、アナロジーの導入による認知的な側面での変化を捉える。また、アナロジーの意識的な導入が行われることなく、同じ教育内容を扱った授業を受けた高校生の理解状態、および、既知のオルタナティブコンセプトと比較対照し、アナロジーの導入により生じた認知的な側面で影響を抽出する。これらを総合的に検討して、理科授業における高校生のアナロジーの受容的な使用の特性を指摘する。

第一節 高校「化学電池」を事例とした調査の目的と方法

第一項 調査の目的と位置付け

本章では、高校「化学電池」を事例として、実際の理科授業の中で教師がアナロジーを導入して説明することに伴って生じうる、高校生のアナロジーの受容的な使用の特性および、化学電池の概念的な理解の性質を明らかにすることを目的とする。

「化学電池」の学習では、高校生にとって理解しにくい概念的な内容を含んでいる(国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2004: 54)。また、その指導法としては、モデル図を用いた説明と演示実験を含めた実験活動が中心であり、当該内容を教えるときの典型的なアナロジーと言えるようなものは見られない(岡, 1995; 野田, 1996; 東海林・荻野, 2001; 吉田, 2001; De Jong & Treagust, 2002; Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009: 207-233)。これらのことを踏まえて、化学電池の具体例としてダニエル電池を取り上げ、教師によるアナロジーの導入がある授業と無い授業を行い、アナロジーの有無によって、高校生の化学電池の概念的な理解はどのような違いが生じるのか、高校生は教師のアナロジーにどのように反応するのか、を質問紙調査およびインタビュー調査を通じて探ることにしたい。

第二項 先行研究による化学電池についてのオルタナティブコンセプション

化学電池におけるオルタナティブコンセプションとして、ガーネットら (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995: 83-87) は、「負極は電子を失うから正に帯電している（正極は電子を得るから負に帯電している）」をはじめとして、ガルバニ電池に関するオルタナティブコンセプションを特定している。一方、サンガーとグリーンボウ (Sanger & Greenbowe, 1997) は、「電子は、回路を完全につなげるために、正極から溶液中に入り、溶液（塩橋を含む）中を通り、負極へと移動する」をはじめとしたオルタナティブコンセプションを特定している。これらの研究に共通性があり、日本の高校の理科カリキュラムに関連する部分に着目して、表1の通りオルタナティブコンセプションを抽出した（表1）。

表1. 化学電池に関するオルタナティブコンセプション

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">(1) 負極は電子を失うから正に帯電している。正極は電子を得るから負に帯電している。(2) 負極は負に帯電しており、過剰の電子をもっている。このため陽イオンが引き付けられる。正極は正に帯電している。このため陰イオンを引き付ける。(3) 電流は、正極と負極の間に電荷の差異があることによって生じる。(4) 電子は、引き付けられて、あるイオンから別のイオンへと溶液中を移動する。(5) 電子は、（導線中ではなく）イオンによって運搬されて、溶液中を移動する。(6) 電子は正極から溶液中に入り、溶液（塩橋を含む）中を通り、負極へと移動する。 |
|--|

第三項 調査の対象と方法

(1) 調査の対象と手順

教師主導によるアナロジーの導入と生徒の概念的な理解との関係性を探るために、高校化学の単元「酸化還元反応」のダニエル電池における電子の移動を事例にして、以下のような手順で調査を行った。調査の対象や時期等の概要については、表2のとおりである。

調査の対象者については、当該内容を教授する過程において、教師が意識的にアナロジ

表 2. 調査の対象と実施時期

	実験群	非実験群
学校名	A 高校	B 高校
所在地	埼玉県	福島県
学 科	総合学科	普通科
学 年	1 年生	3 年生
履修科目	理科総合 A	化学 I
調査時期	平成 17 年 12 月	平成 18 年 12 月
教師のアナロジー	あり	なし
質問紙調査	28 名	73 名
面接調査	13 名	22 名

表 3. 調査と分析の手順

実験群	非実験群
(1) 電池に関するプレテスト	(1) 単元「酸化還元反応」の通常授業
(2) ダニエル電池に関する試行授業	(2) ダニエル電池に関する質問紙調査
(3) 電池に関するポストテスト	(3) ダニエル電池の理解に関するインタビュー調査
(4) ダニエル電池の理解に関するインタビュー調査	(4) 生徒のダニエル電池のオルタナティブコンセプションの特定
(5) 生徒のダニエル電池のオルタナティブコンセプションの特定	(5) 先行研究で報告されたオルタナティブコンセプションと生徒のオルタナティブコンセプション（上記（4））との比較
(6) 先行研究, 非実験群のオルタナティブコンセプション（上記（5））と実験群のオルタナティブコンセプション（上記（4））との比較	
(7) 教師主導のアナロジーの意味内容と生徒のオルタナティブコンセプション（上記（6））との比較・分析	

ーを導入したクラスを実験群（A 高校 28 名）、アナロジーを導入しなかったクラスを非実験群（B 高校 73 名）として設定し、次の手順で調査と分析を行った（表 3）。この調査の対象者はいずれも、平成 10 年度および平成 11 年度改訂の『学習指導要領』に準拠した理科カリキュラムで学習した高校生であった¹⁾。

実験群、非実験群それぞれのインタビュー調査では、生徒の回答状況に応じて、質問項目の順序や項目数は適宜変化させて調査を実施した。また、インタビュー調査中は、対象の生徒の理解を得た上で、IC レコーダーによる音声録音を行い、回答の内容に応じて、会話のすべてもしくは一部を文字化し、発話データとして分析の対象とした。なお、音声録音には同意が得られなかった生徒 1 名については、インタビュー調査の内容を記録したメモのみを分析の対象とした。

(2) 非実験群を対象にした調査

非実験群では、当該クラス担当の理科教師によって、単元「酸化還元反応」の授業が実施された。担当教師へのインタビュー調査（調査項目は、資料 5 参照）に基づけば、化学電池については、ボルタ電池とダニエル電池の 2 つの事例を取り上げて、電池式や反応式、電解溶液中の反応と濃度変化に焦点を当てた、講義形式の授業が行われていた。また、ダニエル電池における電子の授受を説明するとき、アナロジーを導入していないことも確認した。アナロジーの有無に関する質問では、担当教師に質問の意図が明確に伝わるように分かりやすく「たとえ」という表現も用いた。当該単元も内容に含めた校内の定期考査の終了後およそ 2 週間後に質問紙調査を実施した（調査紙は、資料 6 参照）²⁾。これは、定期考査の問題と類似しているが³⁾、それとは独立して調査問題を検討した。

質問紙調査の回答に不明瞭な記述が見られた生徒 22 名を抽出し、インタビュー調査（半構造化面接調査）を 1 人あたり 10 分程度実施し、その回答の意味を明確にした。ダニエル電池の教授過程において、教師が何らかの「たとえ」を用いたかどうかについては、面接調査の対象者のうち、任意に抽出した 6 名の生徒に面接調査の開始段階で個別に確認した。

非実験群を対象とした質問紙調査ならびにインタビュー調査から、教師が意識的にアナロジーを導入することのなかった場合でのダニエル電池のオルタナティブコンセプションを特定した。また、これまで報告されていたオルタナティブコンセプション（表 1）と今回の調査で特定したそれとの異同を比較分析した。

(3) 実験群を対象にした調査

実験群については、化学電池の授業を行う前の段階で、プレテスト（調査紙は、資料 7 参照）を実施し、生徒らの化学電池における電子の移動についてのオルタナティブコンセプションを把握した。ダニエル電池に関する授業は、化学電池の第一時に相当し、筆者が 1 時限分の授業を担当した。当該授業を実施した後も、プレテストと同様の形式にて、ポストテスト（調査紙は、資料 8 参照）を実施した。生徒の電池概念やそれに関連する知識を要素的に抽出することをねらいとして、いずれも電池と関連付けられる事物・事象を一つのキーワードとして、生徒が任意に設定し、文章を完成するという形式を採用した。また、当該授業での電池の科学的な原理の説明の理解度を 5 件法（「よくわかった」から「ぜんぜんわからなかった」まで）にて調査し、その理由も記述するように求めた。

質問紙調査の回答の内容を踏まえた上で、13 名の生徒を任意に抽出し、インタビュー調査（半構造化面接調査）を 1 人あたり 20 分程度実施し、化学電池に関する理解を調べた（具体的な質問項目は、資料 9 参照）。インタビュー調査では、第一に、生徒がどのように電子の移動を理解もしくは誤解しているのかを探った。第二に、生徒が自分の考えを表現し、理解を促進するために生成している可能性のあるアナロジーを特定した。

実験群を対象とした質問紙調査ならびにインタビュー調査から、教師がアナロジーを導入したことに伴うダニエル電池の理解が促進された部分を把握した。また、前述の非実験群を対象とした調査から特定されたオルタナティブコンセプションと比較することで、教師がアナロジーを導入したことで生じたと考えられるダニエル電池のオルタナティブコンセプションを特定した。それを踏まえて、理科授業の中で生徒が教師主導によるアナロジーをいかに受容し、変容しているのか、そのアナロジーの使用特性を探った。

第四項 教師がアナロジーを導入する試行授業の内容構成

(1) アナロジーの導入とその意味内容

教師は、ダニエル電池の科学的な原理についての説明を補完するために、電子をお金に見立てて、電子の移動をお金の授受と関係付けるというアナロジーを導入した（以下、お金の授受とのアナロジーと呼ぶ）。なお、このアナロジーは、大学生自身が電池や電気分解の理解を促進するために考えた自己説明のためのアナロジーである（内ノ倉, 2000）。前章で確認したように、理科教師が使用する傾向のある擬人的なアナロジーでもある。

お金の授受とのアナロジーの意味内容は、ベースとターゲットという 2 つの領域間の対

応付け（写像）という観点から見れば、表4のような対応関係をもつものであった。

表4. お金の授受とのアナロジーの主たる対応関係

領 域		ベース	ターゲット
		お金の授受	電子の移動
対応関係と類似性	対象	お 金	電 子
		お金をあげる人	亜 鉛
		お金をもらう人	銅(II)イオン
	関係	お金の授受	電子の移動
		お金の移動方向 (あげる人からもらう人へ)	電子の移動方向 (負極から正極へ)

このアナロジーでは、「二者間で、あるものが受け渡される」という比喩的な意味が基礎となっており、教師が生徒に電流を粒子論的に理解させることを目的としていた。具体的な対応関係について言及すれば、電子を供与する亜鉛は、お金をあげる人に、電子を受容する銅(II)イオンは、お金をもらう人にそれぞれ対応付けられる。そして、亜鉛からの電子の放出、電極間の電子の移動、銅(II)イオンによる電子の受容が、全体として、お金をあげる人からお金をもらう人へのお金の移動に対応する。これらの対応関係は、教師から見てベースとターゲットとの対応関係が成り立つと想定される関係であり、肯定的アナロジー関係 (Hesse, 1966: 8-11) のみの組合せで構成されるアナロジーである。

(2) 試行授業の内容と教授展開

試行授業は、化学電池を学習する第一時であったこと、前時で確認した教師のアナロジーに関する教授学的な内容知識の実際を踏まえた授業構成とした (表5)。

お金の授受とのアナロジーの導入の時期は、生徒が科学的な説明を理解していないと教師自身が任意に判断できるときとした。また、その提示の仕方は、TWAモデルに準じて行った (Glynn, 1993)。教師のアナロジーとその導入方法について、学生はアナロジーの対応関係を明確に説明することを求めていることを踏まえて (Orgill & Bodner, 2004)、アナロジーの対応関係を繰り返し言及し、強調することとした。

表 5. ダニエル電池の授業の内容と教授展開

<p>(1) 授業の導入：電池の歴史と身のまわりにある電池</p> <p>電池として、乾電池を取り上げ、日常生活での使われ方などを確認した。電池開発の史的展開にも、化学電池を学ぶことの現代的、歴史的な意味を説明した。</p> <p>(2) エネルギーの変換装置としての電池の定義</p> <p>電池で「電流が流れる」ことが生じる要因について質問した。化学反応のエネルギーを電気のエネルギーに変換する装置が、電池であると説明した。</p> <p>(3) ダニエル電池の通電の演示実験</p> <p>ダニエル電池を組み立てて、これに電子ブザーを接続して、乾電池と同様に、電流が流れることを観察させる演示実験を行った。</p> <p>(4) ダニエル電池の科学的な原理の説明</p> <p>ダニエル電池のモデル図を用いて、負極（亜鉛板）での酸化反応（電子の放出）と、正極（銅板）での還元反応（電子の受容）について説明した。</p> <p>(5) お金の授受とのアナロジーの導入</p> <p>電極での電子の授受と移動を中心とした説明を終えた時点で、お金の授受とのアナロジー（表 4）を導入し、お金の授受と電子の移動とを個々に対応付けて説明した。</p> <p>(6) ダニエル電池の科学的な原理のまとめ</p> <p>アナロジーによる説明後に、改めて科学的な原理の説明を行った。電気回路では、電流の流れと電子の移動の向きが異なるものとして捉えることを説明した。</p>

第二節 教師によるアナロジー導入のない授業での高校生の「化学電池」の理解

第一項 非実験群の高校生のダニエル電池についての理解の実感

非実験群である A 高校の生徒 73 名を対象とした質問紙調査では、ダニエル電池に電流が流れる仕組みという科学的な知識・理解を問う問題と当該内容の理解の実感を問う問題を設定した。まず、後者に関して、ダニエル電池の原理が自分なりに理解できたかどうかということを 5 件法で確かめたところ、「あまりわからなかった」もしくは「よくわからなかった」と回答した生徒は、53 名（73%）であった。これ以外にも、無回答の生徒が、14 名（19%）いたことも併せて考えると、当該内容がわからないと感じた生徒が多かったと

言える。これについて、「どうして電気がつくかがわからない」という、電子の授受のみでは単純に説明されない他の科学的な原理（電気エネルギーの光エネルギーへの変換）の説明の不足、「イオンがいっぱいできてややこしくなった」という原理の複雑さ、「何が分からないか分からない」というメタ認知的な混乱などの認知的な要因を挙げる一方で、「電流や電池の分野が苦手だから」、「興味がないから」などの苦手意識や興味関心の低さなどの情意的な要因を挙げる生徒も見られた。いずれにせよ、化学電池の内容は、生徒にとって認知的にも情意的にも、学習上の困難を抱えていることが改めて確認された。

第二項 ダニエル電池に電流が流れる仕組みの説明とその観点

質問紙調査の後に、インタビュー調査を生徒 22 名に実施し、質問紙調査での記述の意味を確認した。その上で、ダニエル電池に電流が流れる仕組みを説明する観点は、表 6 のように分類できた。なお、これらの観点別の人数は、各生徒の記述に含まれる観点ごとに計数しており、複数の観点で記述している生徒は 21 名 (29%) であった。このように分類した説明には、科学的に妥当なものとそうではないものどちらも含まれていた。

表 6. ダニエル電池に電流が流れる仕組みを説明する観点とその割合

回答の記述の観点	人数 (人)	割合 (%)
(1) 電流の流れる向きという観点	63	86
(2) 電極等の反応という観点	14	19
(3) 水溶液中の物質の移動という観点	12	16
(4) 電流の流れる場所という観点	4	5.5

電流の流れる向きという観点からの記述が見られた生徒は、63 名 (86%) であった。その電流の向きについては、何の向きであるのかという点で、電流、電子、イオンの 3 つに分かれ、どの向きかという点で、電極板の種類（亜鉛板、銅板）、電極の種類（正極、負極）の組合せによって、その向きが異なっていた。電極等の反応という観点からの説明には、図 1 のように、両極での化学反応に伴う物質の変化（金属の溶出、析出、気体の発生、電子の放出）に言及するものが含まれ、14 名 (19%) の生徒にこのような説明が確認できた。

亜鉛板から銅板へ電気が流れる。
 負極は硫酸亜鉛水溶液に亜鉛イオンがとけだし。
 正極では硫酸銅へ銅イオンが銅板に析出して電気が流れる。

図 1. 高校生の電極等の反応という観点からの説明の例

水溶液中の物質の移動という観点からの説明は、溶液中のイオンの移動、物質の素焼き板の透過などに触れるものが含まれ、12名（16%）の生徒の記述に見られた。そして、電流の流れる場所という観点からの説明は、4名（5.5%）の生徒に確認でき、電流が素焼き板を通過して水溶液中を流れるなど、導線以外の電流が流れる場所を指摘していた。

第三項 アナロジーの導入がない授業でのダニエル電池のオルタナティブコンセプション

(1) 特定されたダニエル電池のオルタナティブコンセプションの概要

インタビュー調査の対象とした生徒 22 名に対しては、質問紙調査の回答で多かった電流の流れる向きという観点に着目して、ダニエル電池について理解している内容を質問し、分析したところ、次のようなオルタナティブコンセプションを特定できた（表 7）。調査した約 7 割の生徒は、既に学習している電流の向きと、新しく学習した電子の移動の方向を統合的に理解するには至っておらず、両者を混同している実態が明らかとなった。なお、インタビュー調査において、アナロジーによる説明は見られなかった。

表 7. ダニエル電池の電流や電子の動きのオルタナティブコンセプション

- ① 電流は負極（亜鉛板）から正極（銅板）へと流れる。
- ② 電流が両極から流れる。
- ③ 電子が正極から負極へと移動する。
- ④ 電子が両極から発生し、移動する。
- ⑤ イオンが正極から水溶液中を通り、負極へと移動する。

(2) ダニエル電池のオルタナティブコンセプションの具体的な内容

それぞれのオルタナティブコンセプションの具体的な内容は、インタビュー調査での発言を踏まえると、以下の通りであった。

① 電流は負極（亜鉛板）から正極（銅板）へと流れる

インタビュー調査では、ダニエル電池では「電流は負極（亜鉛板）から正極（銅板）へと流れる」というオルタナティブコンセプトを、10名の生徒に確認することができた。このように考えている生徒には、「電流」を流体としての電流であると考えている生徒と、粒子論的な実体としての電子の移動であると考えている生徒がいた。前者の場合、例えば、高校生 B1 は、負極から正極へと電流が流れ、水溶液中では正極から負極へと（種別はわからないが）イオンが移動すると考えていた。一方、後者の場合、例えば、高校生 B2 は、高校生 B1 と同様に、電池での電流の流れの向きとイオンの移動に言及しているが、導線部分では、電子が移動すると答えており、電流の実体が電子の移動であることを理解していた。ただし、電流の向きと電子の移動の方向は、区別できていなかった。

② 電流が両極から流れる

電流が正極から負極へと移動するのではなく、両極から出てきて、電極へと向かって移動するというオルタナティブコンセプトが見られた。例えば、高校生 B3 は、表 8 のように両極から電流が流れることを説明している。

表 8. 「電流が両極から流れる」に関する発話（高校生 B3）

B3 : (両極から) 電流がきて、(電球が) つくみたいな。
R : 電流がどちらともから出るっていうの？
B3 : こうすっか？ (正極から) こういって、(電球を通過して負極へと) こうやっていくんすか？
R : いやいや、自分の書いた意味は。
B3 : (両極から出て) こういくのかな。

(B3 : 高校生 B3, R : 調査者)

③ 電子が正極から負極へと移動する

高校生 B4 は、正極の銅板から電子が放出され、それが負極へと移動すると考えていた。そして、電子が負極に達すると化学反応が起こり、そこで電流が発生し、その電流が逆向きに負極から正極へと流れると誤解していた（表 9）。つまり、高校生 B4 は、電子の移動の方向と電流の流れの方向との相対的な関係を理解しているが、電子の移動の向き自体は

理解していなかった。また、電子の移動を契機に、電流が流れると誤解していた。

表 9. 「電子が正極から負極へと移動する」に関する発話（高校生 B4）

R : (理解していることを) 自分の言葉で言うと？ B4 : 電子が銅板から亜鉛板に流れてきて、そこで、化学反応を起こして（指で逆向きを指しながら）電流が流れると。
--

(B4 : 高校生 B4, R : 調査者)

④ 電子が両極から発生し、移動する

2名の生徒に「電子が両極から発生し、移動する」というオルタナティブコンセプトを、確認することができた。例えば、高校生 B5 は、電子が両極から発生して、電球へと移動すると考えていたが、電子の移動と電流とを関係付けて理解していなかった(表 10)。

表 10. 「電子が両極から発生し、移動する」に関する発話（高校生 B5）

R : (図中の) その e^- って何？ B5 : 電子です。 R : 電子。とすると、その絵からすると、 e^- ってどこからどう動くの？ B5 : えっと、亜鉛板から出たものと銅板から出たものが、くっつくとも電気がつくのかなと思ったんですけど。
--

(B5 : 高校生 B5, R : 調査者)

⑤ イオンが正極から水溶液中を通り、負極へと移動する

高校生 B6 によれば、電流は、正極から負極へと流れるのだが、その電流の実体は「イオン」であった。この「イオン」とは、化学式 e^- と表されるものであり、高校生 B6 は、これが電子ではなくイオンであると思い込んでいた。つまり、電子 e^- が負電荷をもっているため、これを陰イオンであると誤解していたのである。そして、高校生 B6 は、この「イオン」が、導線中を正極から負極へと移動し、さらに水溶液中を負極から正極へと移動し、結果として循環するため、電池には電流が流れる、と誤って理解していた。

非実験群を対象にした調査で特定したオルタナティブコンセプト（表 8）と先行研

究で報告されていたそれ（表 1）とを比較すると、共通性が見られる部分もあった。例えば、イオンが正極から溶液中を通り、負極へと移動するというオルタナティブコンセプトは、イオンや電子などの同一の物質の動きによって、正極、水溶液、負極の間が環状になっていなければならないという点で、先行研究でも見られた類似した考え方であった。

その一方で、電子や電流が両極から発生し、移動するというオルタナティブコンセプトは、先行研究では報告されておらず、今回の調査で見られたものであった。これは、電源、導線、その他の電気素子で構成される電気回路での電流のオルタナティブコンセプトとして知られている、いわゆる、「衝突モデル」と同じような考え方である (Shipstone, 1985: 35-37)。オルタナティブコンセプトを科学的な考え方への変容を目指す概念的変容研究で指摘されているように、化学電池の学習以前に形成されて保持しているオルタナティブコンセプトを、当該内容の学習へと持ちこんでいる可能性も考えられる。加えて、それは通常の一般的な教授法では、十分科学的な考え方までに変化させるには至っていないとも言えるのである。さらには、高校の理科で両極での電子の授受を学習したことで、その内容を既存のオルタナティブコンセプトとの関連付けが図られたことも推測できる。ただし、今回の調査からは、上記を裏付けるところまでは至っていない。

いずれにせよ、非実験群の生徒らは、導線中の自由電子の存在を考慮することなく（少なくとも言及することなく）、化学電池における電流の流れもしくは電子の移動は、一方の極から始まってもう一方の極で終わる、あるいは、両方の極からはじまって電球（負荷）で終わる、というような電流概念を形成している傾向が見られるのであった。

第三節 教師によるアナロジー導入のある授業での高校生の「化学電池」の理解

第一項 実験群の高校生のダニエル電池についての理解の実感

実験群の高校生を対象にした試行授業後の質問紙調査では、授業が「よくわかった」、もしくは「だいたいわかった」と回答した実験群の生徒は、12名（43%）であった。そのうち、4名の生徒は、教師がお金の授受とのアナロジーを用いて説明したことを、その直接的な理由として挙げている。授業後に任意に抽出してインタビューした生徒13名のうち10名が、授業で用いたアナロジーはわかりやすかったと答えている。ダニエル電池のモデルを図として提示し、化学式を用いて説明を行った段階と比べて、アナロジーを用いた説

明の方が、理解しやすいという実感を与えたことが指摘できる（表 11）。

表 11. アナロジーによる理解促進の実感例（高校生 A1）

R：電子をお金に喩えたら、どう？分かる感じがした？

A1：あ、お金に喩えてですか？あああ、あのなんっていうか、お金に喩えられないよりは、すごい分かりました。

（A1：高校生 A1， R：調査者）

教師が用いるアナロジーには、抽象的な概念のイメージの形成を促進するなどの認知的な効果のほかに、生徒の興味・関心を高め、動機付けるという情意的な効果をもたらす場合がある（Duit, 1991）。情意的な側面から見れば、高校生 A3 が述べているように、そのアナロジーは、ダニエル電池が身近に感じられるものであり、興味を引き付けるものであった（表 12）。

表 12. 教師のアナロジーによる興味・関心の喚起（高校生 A3）

A3：あの電子の話を知っていると、なんか言葉が多すぎて、なんか興味もてないんですけど、身近なお金に喩えると分かりやすいというよりは、興味もてて、なんか中に入っていけるような気がしました。

（A3：高校生 A3）

また、高校生 A3 は、「難しい専門用語が出てきてしまって、頭がごちゃごちゃしちゃって、集中途中でできてしまいます」と述べ、自分自身の学習方法として、アナロジーが提示された場合は、そのアナロジーの概要を踏まえ、科学的な説明と関連付けることを行っているとも語っていた。つまり、高校生 A3 は、電子やイオンという科学的な用語、半反応式を使った説明では、学習内容に興味を持てなかったのであるが、教師がお金の授受とアナロジーを用いて説明したことにより、興味・関心が高まり、ダニエル電池の原理を理解することにつながようとしていたのであった。もちろん、生徒の興味・関心は多様であることから、すべての生徒に対して、等しく効果的であったとは言えない。しかし、別の生徒であっても、「興味もてる感じがする、集中できる感じがする」と述べており、このアナロジーにより興味・関心が高まり、動機付けが高まる場合もあったのである。

第二項 アナロジーが導入された授業での電池についての理解の変容

(1) 試行授業前における生徒の電池についての既存の知識

授業開始前の質問紙調査（資料 7）で、電池について知っていることを文章記述式で問うたところ、実験群の生徒 28 名から、1 人あたり平均 5.5 文、合計 153 の文章記述を確認することができた。これらを記述の観点から分類すると、表 13 のとおりとなった。なお、1 人の生徒が複数の記述をしている場合があり、表中の割合は、当該観点の記述が見られた生徒の割合を表すものである。

28 名（82%）の生徒が、電池の機能に言及していた。具体的には、他のものや機械を動かすという仕事をする能力としてのエネルギーや、電流を流すという起電力という意味での記述を確認できた。これに続いて、電池には＋極と－極があるという極性（21 名、75%）、単一電池などの規格やサイズ（18 名、64%）、アルカリ電池やマンガン電池という電池の種類（18 名、64%）への言及が見られた。これら以外にも、電池の使い方や購入・製作（15 名、54%）、充電のできる二次電池（11 名、39%）などを挙げるものも見られた。

表 13. 高校生の電池についての既存の知識

電池等についての記述の観点	人数（人）	割合（%）
(1) 電池の機能（エネルギー，起電力）	23	82
(2) 電池の極性（＋極と－極）	21	75
(3) 電池の規格・サイズ（単一電池等）	18	64
(4) 電池の種類（アルカリ電池等）	18	64
(5) 電池の入手・活用方法	15	54
(6) 電池の放電・充電（一次／二次電池）	11	39
(7) 電池を接続した回路（直列／並列電池）	2	7.1
(8) その他	2	7.1

これらの結果から、生徒らは、電池に正極・負極があること、電流が流れることなどの基本的な知識を保持していると思わせる状況であった。なお、この段階では、試行授業で扱うことになる電子に関連する記述は、全く見られなかった。

(2) 授業後における生徒の電池についての理解

文章記述式の調査では、生徒 28 名から、1 人あたりの平均 7.0 文、合計 195 の文章記述を確認することができた。これらを記述の観点から分類すると、表 14 のとおりとなった。なお、1 人の生徒が複数の記述をしている場合があり、表中の割合は、当該観点を記述が見られた生徒の割合を表すものである。

生徒の記述に最もよく見られた内容とは、教師がアナロジーを導入し、科学的な説明を補完した内容である、電池における電子の移動とその向きや化学反応装置としての電池に関するものであった（ともに 18 名、64%）。続いて、17 名（61%）の生徒は、電池化学電池の学習の動機付けとして導入した、電池の歴史や社会的な側面（ダニエル電池の歴史的意義や乾電池の開発など）を挙げていた。

これ以外にも、授業前の質問紙調査の結果と比較した場合、電池における電流の向き（12 名、43%）、電池の材料（11 名、39%）、電子の授受（9 名、32%）、電極反応（8 名、29%）などの記述が認められ、新規の学習に内容の理解が促進されている様子が見られた。

表 14. 高校生が電池について理解した内容

電池等についての記述の観点	人数（人）	割合（%）
(1) 電池における電子の移動とその向き	18	64
(2) 化学反応装置としての電池	18	64
(3) 電池の歴史や社会的な側面	17	61
(4) 電池における電流の向き（+極→極）	12	43
(5) 電池の機能（エネルギー、起電力）	11	39
(6) 電池の材料（金属板、電解質溶液の種類）	11	39
(7) 電池における電子の授受	9	32
(8) 電池の電極反応（酸化還元反応）	8	29
(9) 電池の極性（+極と-極）	6	21
(10) 教師主導のアナロジーの効果	5	18
(11) その他	6	21

第三項 教師のアナロジー導入とダニエル電池のオルタナティブコンセプション

(1) 特定されたダニエル電池のオルタナティブコンセプションの概要

インタビュー調査を実施した生徒 13 名のうち、生徒 7 名は、電子の移動やその方向を理解できている一方で、化学電池のオルタナティブコンセプションをもっていることがわかった。化学電池のオルタナティブコンセプション研究 (表 1) とアナロジーが導入されていない授業を受けた生徒に認められたオルタナティブコンセプション (表 7)、および、お金の授受とのアナロジー (表 4) を比較したところ、教師が導入したアナロジーに関係しているものと判断できる、以下のようなオルタナティブコンセプションを特定した (表 15)。

表 15. アナロジーによって生じ得たオルタナティブコンセプション

- ① 電子は、負極に多く、正極に少ない。
 - 1. 電子は、多い方から少ない方に移動する。
 - 2. 電子は、移動した正極に蓄積されていく。
- ② 電子は、電極間を双方向的に移動する。

(2) ダニエル電池のオルタナティブコンセプションの具体的な内容

そのオルタナティブコンセプションとは、電極の性質に関するものと電極間での電子の移動の方向に関するものに類型化できるものであった。前者は、ダニエル電池において、「電子が負極に多く、正極に少ない」というものであった。一部の生徒は、この電子の多寡が原因となり、「電子は、多い方から少ない方へと移動する」、その電子の移動の結果として、「電子は移動した正極に蓄積されていく」というように考えていた。後者は、「電子は電極間を双方向的に移動する」というものであった。なお、オルタナティブコンセプション①に該当する生徒は、6 名 (2 に該当する生徒 1 名含む) であり、オルタナティブコンセプション②に該当する生徒は、1 名であった。それぞれのオルタナティブコンセプションの詳細は、以下のとおりである。

①-1 電子は多い方から少ない方に移動する

6 名の生徒は、お金をもっている人とは、それを多くもっている人であるとして、お金をもらう人とは、それをもっていない人として、お金の授受とのアナロジーを解釈していた。この変容した意味内容を電池に対応付けることにより、これらの生徒は、「電子は、負

極に多く、正極に少ない」と考え、それゆえに、負極から正極へと電子が移動する、と考えていたのである。ただし、このようなオルタナティブコンセプトには、負極が負に帯電しているという意味は含まれていない。負極が正極よりも多くの電子を持っているという意味も、電極の符号（－）から推論したものではなく、お金の多寡という視点から、電極間の性質を捉えるため生じたものである。

さらに、2名の生徒は、電子の多寡に加えて、その数の不均衡を是正するように、負極から正極へと電子が移動するもの、と考えていた。例えば、高校生 A3 の発言には、電子の移動について、「釣り合い」というメタファーが見られた（表 16）。

表 16. 「電子は多い方から少ない方に移動する」に関する発話（高校生 A3）

A3：お金をたくさん持っている人とそうでない人がいて、そのたくさん持っている人の分を持っていない人の部分にあげるとして。そうすると、釣り合いが取れる、みたいな。

（A3：高校生 A3）

また、高校生 A5 は、ダニエル電池では電子の数の不均衡が是正されるということ、「平等」というメタファーにて捉えていた。これらの考えとは、電子の多寡という電極の性質に基づいて、電極間を電子が移動する要因も含めたものであった。

①-2 電子は移動した正極に蓄積されていく

高校生 A6 は、「マイナス（負極）のほうが、（電子が）余った感じが。それでプラス（正極）の方に（電子を）あげていく」と述べており、電極の性質を「余剰」のメタファーで説明していた。そして、余剰のある負極から正極へと電子が移動し、移動した先の正極に電子が「蓄積」されていく、と考えていた（表 17）。

表 17. 「電子は移動した正極に蓄積されていく」に関する発話（高校生 A6）

A6：それ（「お金の授受」とのアナロジー）だったら簡単にいくらかわかってくるって感じがします。だんだん、マイナス（負極）のほうが（電子を）渡して、プラス（正極）の方に（その電子が）たまる。

（A6：高校生 A6）

また、表 18 に見られるように、電子が負極から正極へと移動することによって、負極では電子の数が次第に減少してくるとも理解していた。

表 18. 「余剰」の解消としての電子数の減少（高校生 A6）

A6：仕組みでマイナスとか、何だっけ、銅と亜鉛の関係でそのうまく、マイナスから亜鉛（負極）から銅（正極）に（電子が）行って、（電子が）亜鉛になくなっていく仕組みが、やっぱりすばらしいと。

ダニエル電池では、負極である亜鉛板が電子を放出し、亜鉛イオンとして溶出するため、金属亜鉛は減少していく。しかし、高校生 A6 は、このような意味で電子の移動を説明しているのではなく、負極に余分にあった電子が、正極へと移動して、それに伴って負極では電子が少なくなり、正極ではその電子が蓄積されていく、と考えていたのであった。

② 電子は電極間を双方向的に移動する

高校生 A7 は、電子の移動を「交換」というメタファーで表現しているように、両極とも電子を放出・受容すると考えており、電子が正極から負極へと移動する一方で、逆方向へも移動する、と誤解していた（表 19）。前述の「電子が両極から発生し、移動する」（表 7 の④）と類似するが、高校生 A7 は、両極から電子が同時に発生するとは考えてはいない。「電子の受け渡しは電流」と述べており、電流の実体としての電子の移動を理解している。

表 19. 「電子は電極間を双方向的に移動する」に関する発話（高校生 A7）

R：そのお金に喩えて、一番何が良かったことだと自分では思った？
A7：そのさっきのお金を受け渡す正（極）と負（極）の電子の交換というのが一番良かったのではないかと、授業をやっていて思いました。

（A7：高校生 A7, R：調査者）

第四節 高校生の理科授業におけるアナロジーの使用法

第一項 教師が導入したアナロジーの受容としての概念的な理解の促進と関連知識の活用
電流の流れと電子の移動を統合的に理解できていなかった、B 高校の生徒たちと比べて、

A 高校の生徒たちは、ダニエル電池における電子の移動とその方向に関しては、少なくとも理解できていた。例えば、高校生 A2 は、電極で電子の授受を伴う反応（酸化還元反応）が生じ、一方の極（負極）で放出された電子の数が、もう一方の極（正極）で受容される電子の数に等しいことを理解していた（表 20）。このような理解を示した高校生 A2 には、授業で扱った内容やインタビュー調査の範囲においては、ダニエル電池についてのオルタナティブコンセプトを確認することができなかった。

電子の授受とお金の授受で似ているところについての質問に対して、高校生 A2 は、電子およびお金にはその移動に一定の向きがあることを説明していた。このような意味で、高校生 A2 は、教師がお金の授受とのアナロジーによって教えようとした、電子の移動とその方向については理解できていた。一方、電子の授受とお金の授受で似ていないところについての質問に対しては、「へんなところにいくお金があるじゃないですか。」から始める一連の発言に認められるように、両者の違いがあることを指摘している。電子が蓄積されることがあるのかということは、当該授業では明示的に言及されなかった内容であった。

表 20. 電極で授受される電子の数についての理解（高校生 A2）

R : まあ 1 番わかったなって思うところは、どこかな？もっと具体的にいうと。

A2 : 受け取る。放出すると受け取る。こっち（負極の亜鉛）が放出した数をこっち（正極の銅（II）イオン）が受け取るみたいな、なんか。

R : 放出したものって、何？何だったけ？

A2 : 放出したものは、電子。

（中略）

A2 : イオンって、何とかプラス、何とかマイナスとかって右上に書くやつで。

R : イオンと電子の関係は？

A2 : どれくらいの数（の電子）を受け取って、どれくらいの数（の電子）を放出するのかを表したのがイオン。

（A2 : 高校生 A2, R : 調査者）

当該のアナロジーを構想した教師にとって、高校生 A2 が想定した対応関係は、類似性が

認められないような否定的アナロジー関係 (Hesse, 1966: 7-11) であった。それに対して、そのアナロジーにはじめて触れる実験群の生徒にとっては、当該アナロジーには含まれない要素である否定的アナロジー関係ではなくはむしろ、含まれるかどうかの判断が明瞭にされていない中立的アナロジー関係であったと言える。この中立的アナロジー関係に相当する部分について、高校生 A2 はこれまでに学習してきた閉回路で流れる電流の性質を、電子の移動にも適用して、電子が蓄積されることがないと考えていた。つまり、これまでに学習した関連知識を活用して、中立的アナロジー関係についての評価を行い、教師が導入したアナロジーでのベースとターゲットの対応関係の範囲を限定していたのであった。これに対して、電子も貯められると回答した生徒には、このような関連知識への言及は見られず、教師のアナロジーに含み得るような、肯定的アナロジー関係として認めているのであった。

このことから、事例が限られているという限界もあるものの、教師がアナロジーを導入するとき、アナロジーの限界や具体的なベースとターゲットの対応しない属性を明示していない場合、学習者が関連する知識を想起できれば、学習者自身でアナロジーの対応関係を評価することができ、当該アナロジーによるオルタナティブコンセプションの発生を回避できうことが示唆される。

第二項 教師が導入したアナロジーの受容過程での文脈化と概念メタファーの顕在化

(1) 教師が導入したアナロジーの受容過程での文脈化と意味内容の拡張

実験群の生徒達に見られたオルタナティブコンセプションの一部は、教師が導入したアナロジーと関係するものであった。教師の導入したアナロジーでの対応関係 (表 4) と生徒のオルタナティブコンセプションの内容 (表 15) を比較すると、後者は前者で想定される対応関係に対して、新しい対応関係を追加するような形で形成されていた。つまり、教師が導入したアナロジーの意味内容の拡張が見られたのである。

アナロジーに起因すると推定されるオルタナティブコンセプションについて、科学的な探究の対象である事物・事象の特性の過度な拡張と重要な特性の省略という共通点があることが指摘されている (Spiro, Feltovich, Coulson, & Anderson, 1989: 498-510)。この見解と対応付けて今回特定されたオルタナティブコンセプションの特徴を考えるとすれば、それらは教師が想定したものとは異なる対応関係が追加されていることから、当初教師が考えたアナロジーの意味内容が、生徒によって拡張されたものと考えられる。そして、その

拡張された意味内容が化学電池の仕組みに関連付けられることで、化学電池に関する誤解が生じたのである。その一方で、教師の想定したアナロジーの対応関係からは重要な特性が省略されることは、確認されなかった。インタビューした生徒に限って言えば、教師が教えようとした中心的な内容である電子の授受については、共通に認識されていた。

一方、生徒らによって教師が導入したアナロジーに新しい意味内容が追加されていることは、アナロジーそれ自体の理解過程での「文脈化 (contextualisation)」という観点からも考えることができる (Cameron, 2002) ⁴⁾。この文脈化は、教師と生徒との対話過程では、教師が支援する形で行われており、アナロジーの理解過程で重要な段階であると指摘されている。また、文脈化は、ベースとターゲットを関連付けるのに役立つしており、大人を対象にして行われたアナロジーの理解過程に関する調査では見られないことから、子どもに特徴的なものである。このことは、教師によるアナロジーの説明とも関係があり得る。教師のアナロジーによる説明のスタイルの一つとして、ベースをストーリー化して説明する「ナラティブアナロジー (narrative analogies)」があり、これが、子どもがアナロジーの意味付けを動機付ける要因にもなっているとも指摘される (Dagher, 1995)。これらのことを踏まえると、子どもが類似していると思われるベースの属性だけを想起するのではなく、必ずしもターゲットとは対応付けられないような属性も含めて、ベースそれ自体の属性を豊富にするような認知プロセスがあることを示唆されるのである。

実験群の生徒のインタビュー調査からは、上記のような「文脈化」がなされたと判断できるような場面が認められるのであった。教師が導入したアナロジーでのベースに関して言えば、どのような場面での「お金の授受」であるのかどうかなどといった具体的な状況の設定を教師は行っていなかった。ターゲットである「電子の授受」に対応可能であると考えられる部分に限定して、ベースの意味内容を想定することで、生徒にとって身近なお金の授受を話題にしつつも、より抽象化した内容として、教師はアナロジーを提示していたのであった。それは、ベースをより具体的に記述することで、教師が本来教えたいと考えている内容とは別の内容までが伝達されうる可能性を考慮してのことであった。

教師のアナロジー導入の想定に対して、一部の生徒は、教師が提示したベースの意味内容や状況をより具体的に把握しようとする傾向が見られたのであった。例えば、高校生 A7 は、抽象的であった「お金の授受」について、表 21 の「どっちもお店やっていて、売り買いしているみたいな感じだ」と表現しているように、店頭における「お金の授受」として具体化して捉えていた。この生徒以外にも、「お金をわたす人」は「お金持ちの人」とい

うように、ベースがより状況に関連付けられたものとして文脈化されていることが確認できるのであった。

このようなベースの文脈化は、高校生 A7 の発話に基づけば、「電子の授受」についての、つまり、ターゲットについての一定の理解がなされた後あるいは同時に生じている可能性が示唆される。このような意味で、アナロジーの理解過程は、ベースからターゲットへの写像という一方向的なものではなく、ターゲットからベースへの写像も含めた双方向的なものとも考えうるのである (Cameron, 2002: 674.)⁵⁾。そして、ベースの文脈化の認知的プロセスが生じているとき、アナロジーによる理解を促進する一方で、子どもは、教師が意図した対応関係のみならず、ベースから新しい特性をターゲットへと追加することがあり、場合によっては、オルタナティブコンセプションを生じさせているものと考えられる。

表 21. ベースの文脈化に関する (高校生 A7)

A7: (正極・負極の) どっちもお店やっけて、売り買いしているみたいな感じだと、そう思いました。
R :それが元から思っていたイメージ?それとも変わったイメージ?
A7:変わったイメージ。
R :元から、売り買いしているって、もうちょっと説明してくれる?
A7:はあ、そういうイメージになってしまったんですけど。
R :売り買いするっていうのは、もう一回。
A7:売り買いするっていうのは、送り出す方と受ける方、電子を。プラス (正極) とマイナス (負極) なんですけど。それが、あのイメージががらっと変わりましたね。
R :がらっと変わった。どっちも、プラスの方も (電子を) 出したりもらったりしているっていうイメージ?
A7:そう、はい。

(A7: 高校生 A7, R: 調査者)

これまで初等学校の児童のベースの文脈化が報告されていたが、今回のように高校生であっても同様の傾向を確認することができる。加えて、高校生から見た場合、教師が導入するアナロジーが抽象的であると感じられると、自発的にあるいは他者との対話過程を通

じて、ベースの属性を追加する形での文脈化を図っていくこともある。他方、教師から見た場合、アナロジーでオルタナティブコンセプトを生じさせないように、ベースとターゲットの対応関係を限定したり、抽象化したりしても、それが単純に生徒にとって理解しやすいものとは言えない。アナロジーの類似性や構造的な要因のみならず、文脈のような実用的な要因もアナロジーの認知プロセスでは重要であり (Thagard, 1992)、アナロジーの導入に伴う誤解の発生にも影響を及ぼしているのである。

(2) 教師が導入したアナロジーと高校生の概念メタファーの想起

一般的に、レイコフ・ジョンソン (Lakoff & Johnson, 1980: 7-8) によれば、日常的に使用される言語表現や思考は、経験を基盤とするメタファーによって構造化されていると考えられる。例えば、「時間はお金である」というメタファーは、言語表現されることがなくても、我々の時間に関する概念を構造化する機能をもち、日常的な思考に存在しているという。もちろん、概念メタファーは、日常的な思考だけではなく、科学領域での思考でも使用されており、それは「イメージ・スキーマ」とも呼ばれることがあり、非命題的な知識に含まれるものである (Jeppson, Haglund, & Amin, 2015) ⁶⁾。効果的なアナロジーには、「容器」、「経路」、「釣り合い」、「上下」のような身体化されたイメージ・スキーマが組み込まれていることが指摘されている (Niebert, Marsch, & Treagust, 2012)。

教師が導入するアナロジーの意味内容を理解する過程において、高校生は、そのアナロジーを説明する言語表現から概念メタファーを想起していた。ただし、その概念メタファーは、教師が導入したアナロジーの意味内容に含まれるものではなく、高校生が自分自身で想起した概念メタファーであった。例えば、高校生 A6 や高校生 A7 の発言には、電子の移動は、お金の授受という性質だけではなく、教師が意図していなかった蓄積や交換などの性質があると考えていた。また、電子の多寡が電子の移動につながると考えていた高校生には、お金の授受と空間 (位置と方向) とを関係付けるメタファーが認められるのであった。これは、レイコフ・ジョンソン (1980) の分類に基づけば、「方向付けのメタファー」 (orientational metaphors) と呼ばれるものであった (Lakoff & Johnson, 1980: 14)。

オルタナティブコンセプトが見られた生徒のほとんどが、お金をあげる人は、それをたくさんもっており、お金をもらう人は、それをほとんどもっていない、と考えていた。もちろん、お金をあげる人は、お金をもっているには違いないが、必ずしもたくさんもっている、とは一概には言えない。しかし、生徒は、お金をあげられることが、お金をたく

さんもっていることを意味する、と考えている。これは、お金をあげるという目に見える行為から、お金をたくさんもっているという属性を、素朴に推論したものである。さらには、量的な関係を空間的な上下関係にも対応付けている。つまり、ここに、「多いは上、少ないは下」という方向付けのメタファーが存在しているのである。例えば、表 22 のような発言に、方向付けのメタファーが見ることができる。

表 22. 「多いは上、少ないは下」という方向付けのメタファー (高校生 A6)

A6 : マイナスのほうが、プラスに与えるかなんか。そういうなんか、上から。マイナスのほうが上で、下、プラスの方が未熟ぽそうだから、与えていくみたいに。

(A6 : 高校生 A6)

この方向付けのメタファーは、ベースとターゲットの間に存在すると考えられる、何かしらの類似性に基づいているというよりはむしろ、知覚、身体的な経験、社会的・文化的な経験に基づいて、対応付けられるものである。例えば、生徒たちの経験としては、親などの大人からお小遣いをもらうこと、などが考えられる。付け加えて言えば、高校生 A6 の発言には、「成熟している人は上であり、未熟な人は下である」という、別の方向付けメタファーも見出せるのである。

この「多いは上、少ないは下」というメタファーに、例えば、「お金は落下する物体である」というメタファーが結び付けられて、物体が上から下へ落下するように、電子が多い方から少ない方へと移動する、という考えが導かれるのである (表 23)。

表 23. 「多いは上、少ないは下」という方向付けのメタファー (高校生 A8)

A8 : 砂時計の砂が、上から下に落ち行くように、空いているところにそのものが動いて行く感じ。

(A8 : 高校生 A8)

これ以外にも、方向付けと関連付けた「釣り合い」、「平等」などのメタファーが見られる。例えば、「釣り合い」のメタファーは、天秤の一方に下げた物体の量と、もう一方に下げた物体の量が等しくなり、さおが水平になるという状況をベースとするものであり、電極での量的な差異を傾きの違いとしてイメージさせる。同様に、「平等」のメタファーでは、

量的な差異が、空間的な高低や凸凹という形で生じていることをイメージさせる。これらのメタファーは、比喩的な意味で、高いところから低いところへ、あるいは物理的もしくは心理的に不安定な状態から安定な状態へと移行する、というような方向付けを視覚的に想起させる。加えて、ジョンソン (Johnson, 1987) が、「多い方が上である」というメタファーが与える価値規範的な性格を指摘しているように (Johnson, 1987: 123), 「釣り合い」や「平等」のメタファーにも、お金や電子の所有に関する望ましい状態を示唆するような意味が込められているとも解釈できるのである。

以上のように、高校生は、化学電池の仕組みを理解する一連の過程で、「釣り合い」や「上下」のような身体化されたイメージ・スキーマを想起していた。しかしながら、今回の教師のアナロジーでは、化学電池における電極間の電位差について、「落差」のように空間的な上下関係のイメージとしてアナロジーに組み入れていなかった。そのことによって、高校生は、電子の授受について、空間的な上下 (高低) だけに留まらず、電子の量の違いなどとも関連付けを図ってしまい、オルタナティブコンセプションを生成することにつながっていたのである。このことを踏まえると、教師のアナロジーの内容構成として、命題的な知識として表現される対応関係のみならず、イメージ・スキーマのような非命題的な知識についても考慮する必要がある。

第三項 教師が導入したアナロジーを手がかりとした高校生のアナロジーの生成

(1) 教師の導入したアナロジーを手がかりとした高校生のアナロジーの生成

インタビュー調査では、ダニエル電池での電子の授受や教師が導入したお金の授受とのアナロジーについての質問する中で、当該のアナロジーとは別のアナロジーを用いて自分自身の理解した状態などを説明している生徒、あるいは、自分自身で考えたアナロジーを問われて、比較的容易に教師のそれとは異なるアナロジーを生成する生徒が見られた。いずれの生徒が考えたアナロジーであっても、教師がアナロジーを導入したことを契機として考えたものであった。このような意味において、生徒が生成したアナロジーは、教師が導入したアナロジーを手がかりとして考案したものである。生徒らの考えたアナロジーでのベースは、それぞれの経験や興味・関心等を反映してか、具体的な事物・事例は異なるものであったが、生徒のダニエル電池における電子の授受についての理解を反映したものとなっていた。例えば、高校生 A8 は、「野菜の生産・販売」というベースを選択して、

アナロジーを考えているものの、それには「電子は多い方から少ない方に移動する」という意味が看取できる点では、オルタナティブコンセプションの別の表現である（表 24）。

表 24. 野菜の生産・販売とのアナロジー（高校生 A8）

A8：例えば，農家の人をすごい野菜をいっぱい作っていて，すごいいっぱいありあまっているから，自分ちではいらないけど，普通の農家じゃないうちでは，野菜は買わないとないから。農家の人野菜を売りたいくて。でも，一般家庭の人は野菜を買いたくてっていうのが，似ているんじゃないかって。

（A8：高校生 A8）

表 25. 水の循環とのアナロジー（高校生 A4）

A4：海と山のような感じで，海から上っていった水蒸気とそれが川が流れていく感じで。
R：それが電池でいくと，何が海で，何が山になったりする？
A4：えっと，2種類の鉄，2種類の金属が海と山で，それをなんていうんだろう。まわっていく。
R：まわっていく。
A4：まわっていく。
R：ああ，すごい回っているというイメージが似ているんだって感じかな？
A4：はい。
R：電池で回っているものって，何になるんだっけ？
A4：電池で回っているもの？
R：この海と山だったら水でしょ。
A4：はい。
R：電池だったら？
A4：電子が，まわっている。

（A4：高校生 A4， R：調査者）

他の生徒のアナロジーの例として，例えば，高校生 A4 は，地学的現象としての「水の循環」をベースとするアナロジーに基づいて，ダニエル電池での電子の移動を説明してい

た(表 25)。その場合であっても、高校生 A4 の認知状態が他者からも把握しやすいものとなっていた。学習者自身にアナロジーを生成させることは、あるいは、学習者が自発的に生成したアナロジーを特定することは、「形成的評価 (formative assessment)」を行う機会となりうるのである (Haglund, 2013)。

以上のように、生徒が認知的な困難を感じている場面で、教師がアナロジーを導入することは、そのアナロジーによって理解もしくは誤解を促進することに加えて、生徒自身がアナロジーを考案することを引き起こし、誤解を含めて、自分自身の理解のもっともらしさを高めることにもつながっている場合もありうるのであった。

(2) 高校生が生成するアナロジーとしての擬人化と表面的な類似性への着目

教師が導入したアナロジーから派生して、高校生が生成したアナロジーでは、選択されたベースの内容それ自体は多様なものであったが、人間の行為や活動を中心としたものであるという点では共通性が見られた。例えば、高校生 A5 であれば、電子が多い方を小食の人に、少ない方を大食いの人に見立てるアナロジーを考えていた。また、高校生 A9 であれば、バスケットボールの受け渡しをベースとしたアナロジーを考えていた。

このように、これまで高校生が考えたアナロジーとして示したものは、高校生 A4 が考えた水の循環とのアナロジーを除くと、人間の行為や活動に関わるものであって、ダニエル電池の仕組みを擬人化するものであった。高校生が生成するアナロジーにも擬人化の傾向が認められうるのは、教師が導入したアナロジー自体が擬人化であったということも関係しているであろう。さらには、そもそもこのアナロジー自体が大学生が自身の学習過程において自発的に生成したアナロジーであったことも影響しているとも考えられる。教師のアナロジーがない場合であっても、生徒が化学結合を擬人的に捉えることも報告されている (Taber & Watts, 1996)。ここでの調査を踏まえてより一般的に言えば、高校生などの学習者自身が考えるアナロジーには、生命現象に限定されず、自然の事物・事象の擬人化の傾向が見られる。

一方で、前章で述べたように、科学的な現象の説明過程における中学生・高校生のアナロジーでは、一定の割合で擬人化が見られたものの、ターゲットと近接領域にあるベースを使用する傾向も確認されている。その場合、近接領域のベースを選択したアナロジーであっても、ベースとターゲットとの対応関係は、より高次の関係性ではなく、表面的な類

似性に着目したものであり、科学的に適切な説明の構成には至っていない傾向があった。このことを踏まえると、人の日常的な行為や活動に関する領域が、自分自身にとって身近なものであることに加えて、他の領域のベースに比べて、ターゲットとの表面的な類似性を当てはめやすいものでもあることも、高校生が生成したアナロジーに擬人化が多く見られた要因の一つである。高校生が自分自身のアナロジーについて語る時、ダニエル電池の仕組みとそれに対応するベースの属性の組み合わせを示すだけであり、ベースやターゲット内の属性間の関係性である垂直的關係へと言及することは見られなかった。

本章のまとめ

高校「化学電池」を事例として、教師によるアナロジーの導入の有無に着目して、高校生によるアナロジーの受容的な使用と概念的な理解の性質を明らかにした。具体的には、一般的な説明では理解しにくいと思われる状況で、教師がアナロジーを導入することによって、高校生は、学習内容が分かるような実感や興味・関心の高まりを感じる傾向があること、関連の科学的な知識が活用される時、概念的な理解が促進されることを指摘した。一方で、高校生が教師のアナロジーを受容する時に、自己の経験や知識に関連付ける文脈化を行うことで、当該アナロジーの意味内容を拡張して、アナロジーに由来した誤解を生ずる場合があることを確認した。また、教師が導入するアナロジーが認知的な刺激になって、高校生が自分自身でアナロジーを生成しうる時、そのアナロジーは擬人的なものになる傾向があることを示した。

次章では、中学生・高校生が科学的な説明を求められる状況において、どのようにアナロジーを生成し、使用しているのか、そして、その使用方法は、科学的な熟達者と比べてどのように特徴付けられるのかを検討する。

註

- 1) 平成 10 年度改訂の『中学校学習指導要領』では、化学電池に関わる内容としては、化学変化に伴って電気エネルギーを取り出せることを見出すことが求められているものの、電荷をもつ粒子である「イオン」は扱わないこととされている(文部省, 1999a: 46-48)。その一方で、当該の教育内容は、平成 11 年度改訂の『高等学校学習指導要領』では、科目「理科総合 A」にて選択して扱われる教育内容の一つとして(文部省, 1999b:38-40)、また、科目「化学 I」にて共通して扱われる教育内容として(文部省, 1999b: 103-105)、それぞれ位置付けられている。つまり、平成 10 年度および平成 11 年度改訂の『学習指導要領』に準拠した理科カリキュラムで学習する子どもにとって、高校段階での関連科目の履修は、粒子論的な説明に基づいて化学電池の原理を学習するはじめての機会となりうるのである。なお、平成 20 年度改訂の『中学校学習指導要領』(文部科学省, 2008)では、イオンや化学電池が再び教育内容として含まれる。
- 2) 調査問題に使用したダニエル電池の図は、国立教育政策研究所教育課程研究センター(2004: 172)の問題より引用し使用した。
- 3) 定期考査では、ダニエル電池について、以下のような出題がなされている。なお、この問題は、担当教師から考査実施後に入手したものである。

表. B 高校での定期考査問題 (一部抜粋)

ダニエル電池に関する次の問いに答えよ。

- (1) 正極, 負極で使われている金属板を答えよ。
- (2) 正極, 負極で起きている反応について, 化学反応式で表せ。
- (3) この電池を放電させると, 電子はどちらの板からどちらの板に流れるか。
- (4) この電池の構成を前問と同様に(電池式で 筆者注)記せ。
- (5) この電池を放電させると, A 側(亜鉛板側 筆者注)の硫酸亜鉛水溶液の濃度は実験を始める前と比べてどのように変化するか。
- (6) ダニエル電池の起電力はおよそいくらか。
- (7) この電池を放電させたときの変化を, 1 つのイオン反応式で示せ。

- 4) キャメロン(Cameron, 2002)は、テキストで示されたアナロジー(著者自体はメタファーと呼んでいるが)についての児童同士のペアの対話過程では、提示されたベースの意味内容に自分の既存の知識や経験と関連付けていく「文脈化」と呼びうるような認知的

過程が見られることを明らかにしている。

- 5) このような考え方は、ベースとターゲットの相互作用によってメタファーの新しい意味内容が生じるという「メタファーの相互作用説」として知られている（レイモンド・ギブズ, 辻・井上監訳, 2008: 248-253）。
- 6) ジェプソンら（Jeppson, F. et al., 2015）は、熱力学分野での熟達度が高くなるに伴い、物理的な存在やプロセスに関する概念メタファーが使用されることを報告している。

引用文献

- Barke, H.D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer.
- Cameron, L. (2002). Metaphors in the Learning of Science: A Discourse Focus. *British Educational Research Journal*, 28(5), 673-688.
- Dagher, Z. R. (1995). Analysis of Analogies Used by Science Teachers. *Journal of Research in Science Education*, 32(3), 259-270.
- De Jong, O., Treagust, D. F. (2002). The Teaching and Learning of Electrochemistry. In J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, & J.H. Van Driel (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 325-327). Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M.W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M. Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」 武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社).
- Haglund, J. (2013). Collaborative and Self-Generated Analogies in Science Education. *Studies in Science Education*, 49(1), 35-68.

- Hesse, M.B. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press (高田紀代志 (訳) (1986) 『科学・モデル・アナロジー』 培風館) .
- Jeppson, F., Haglund, J., & Amin, T.G. (2015). Varying Use of Conceptual Metaphors across Levels of Expertise in Thermodynamics., *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 780-805.
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. The University Chicago Press (菅野盾樹, 中村雅之 (訳) (2001). 『心のなかの身体—想像力へのパラダイム転換—』 紀伊国屋書店)
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2004). 『平成 14 年度高等学校教育課程実施状況調査報告書 (理科)』 実教出版.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. The University Chicago Press (渡辺昇一, 楠瀬淳三, 下谷和幸 (訳) (1986). 『レトリックと人生』 大修館書店) .
- 文部省 (1999a). 『中学校学習指導要領解説 (平成 10 年 12 月) 理科編』 大日本図書.
- 文部省 (1999b). 『高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編』 大日本図書.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D.F. (2012). Understanding Needs Embodiment: A Theory-Guided Reanalysis of the Role of Metaphors and Analogies in Understanding Science”, *Science Education*, 96(5).849-877.
- 野田四郎 (1996). 「電池の起電力と反応熱—ダニエル電池を用いた簡単な実験—」 『化学と教育』, 44(2), 122-124.
- 岡博昭 (1995). 「電気分解と電池—塩化銅 (II) による酸化還元反応—」 『化学と教育』, 43(12), 756-757.
- Orgill, M.K., & Bodner, G. (2004). What Research Tells Us About Using Analogies to Teach Chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 15-32.
- レイモンド, W., ギブズ, Jr. (著) , 辻幸夫, 井上逸兵 (監訳) (2008). 『比喩と認知—心とことばの認知科学—』 研究社.
- Sanger, M.J., & Greenbowe, T.J. (1997). Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 377-398.
- Shipstone, D. (1985). Electricity in Simple Circuits. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp.33-51). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「単

- 純回路での電気」, 『子ども達の自然理解と理科授業』, 52-57, 東洋館出版社) .
- 東海林恵子, 荻野和子 (2001). 「電池に関するいくつかのスマールスケール実験」『化学と教育』 49(11), 712-713.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L., & Anderson, D.K. (1989). Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition, In S. Vosniadou, & A. Ortony. (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 498-531). Cambridge University Press.
- Taber, K.S., & Watts, M. (1996). The Secret Life of the Chemical Bond: Students' Anthropomorphic and Animistic References to Bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), 557-568.
- Thagard, P. (1992). Analogy, Explanation, and Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.
- 内ノ倉真吾 (2000). 「理科学習におけるメタファーの活用に関する基礎的研究」, 『筑波大学大学院教育研究科修士論文抄録集』, 307-309.
- 吉田工 (2001). 「黒板貼付け型ダニエル電池」『化学と教育』, 49(10), 630.

第四章 中学生・高校生の科学的な説明におけるアナロジーの自発的な使用の特性

本章では、研究課題 (1) について、中学校・高校「物質の状態変化」を事例として、科学的な説明を過程に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用の特性を解明する。中学生・高校生が対象として共通に調査できる教育内容である「水の融解と温度変化」を具体例として、認知的な葛藤事例の提示およびその説明を構成する過程でのアナロジー使用に着目する。質問紙調査ならびにインタビュー調査にて、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を明らかにする。研究課題 (3) に対応して、前章のアナロジーの受容的な使用の側面と本章のアナロジーの自発的な使用の側面を踏まえ、科学領域の熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用を比較対照し、両者の共通点や相違点を抽出し、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を特徴付ける。

第一節 中学校・高校「物質の状態変化」を事例とした調査の目的と方法

第一項 調査の目的と位置付け

本章では、中学校・高校「物質の状態変化」を事例として、科学的な現象の説明を構成する過程に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用の特性を明らかにすることと、科学的な熟達者との比較に基づいて、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を特徴付けることを目的とする。

「物質の状態変化」についての学習は、中学生や高校生の双方にとって直感に反する部分もあり、概念的に理解しにくく (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995), 認知的な葛藤を生じやすいと推測される内容である。このことから、中学生・高校生を対象として、「水の融解における温度変化」を具体例として、科学的な説明が求められる状況において、中学生・高校生はアナロジーを自発的に生成して、説明を構成しようとするのか、中学生・高校生がアナロジーを自発的に使用するとき、どのようにアナロジーを使用しているのか、を質問紙調査ならびにインタビュー調査にて明らかにする。そして、中学生・高校生のアナロジーの受容的な使用と自発的な使用の双方を踏まえると、科学的な熟達者と中学生・高校生のアナロジーの使用方法については、どのような共通点や相違点があるのかを検討する。

第二項 調査の対象と方法

(1) 調査の対象と手順

科学的な現象の説明を構成する過程に着目して、中学校・高校の「水の融解における温度変化」を事例にして、以下のような調査を行った。調査の対象や時期等の概要については、表1のとおりである。

表1. 調査の対象と実施時期

学校名	A 中学校	B 高校	C 高校	D 高校
所在地	茨城県	埼玉県	愛媛県	福島県
学 科	—	総合学科	普通科	普通科
学 年	1・2年生	1年生	1年生	1年生
履修科目	—	理科総合A	—	理科総合A
	—	—	理科総合B	理科総合B
調査時期	平成11年12月	平成16年12月	平成18年12月	平成19年1月
質問紙調査	204名	28名	33名	111名
面接調査	8名	9名	15名	16名

中学校1校204名（1年生106名，2年生98名），高等学校3校172名（全員1年生）に対して¹⁾，質問紙調査を実施した。続いて，質問紙調査に対する生徒の回答率の高い上位5類型を中心に，中学生8名（1年生4名，2年生4名），高校生40名を抽出して，インタビュー調査（面接調査）を実施した。

表2. 調査と分析の手順

- (1) 水の融解と温度変化に関する質問紙調査
- (2) 上記(1)の質問紙調査の回答の類型化
- (3) 質問紙調査の回答類型に基づくインタビュー調査対象者の抽出
- (4) 水の融解と温度変化に関するインタビュー調査
- (5) 中学生・高校生のアナロジーの特定と具体的な内容の把握
- (6) アナロジーが認められた生徒とそうではない生徒の説明の比較・分析

一連の質問紙調査とインタビュー調査では、表2のような手順で調査と分析を行った。第一に、質問紙調査によって、調査問題に対する生徒の答えの傾向を明らかにした。第二に、生徒が与えられた問題から説明を構成し、展開していく過程とは、単に問題に対する機械的な応答ではなく、前提から結論へと至る推論過程が表出する過程でもあると仮定した上で、質問紙調査をインタビュー調査で補完することによって、生徒の推論過程を支えるアナロジーを特定した。そして、特定したアナロジーの内容および内容選択（ベースの検索・選択）の特徴を探った。第三に、問題に対して同じような答えをした生徒の推論過程を比較することによって、その過程におけるアナロジーの機能を解明した。

(2) 質問紙調査の問題設定

質問紙調査では、氷が融解するときの温度変化とその理由を説明する、という問題を設定した。理科カリキュラムの内容構成を踏まえれば、高校終了段階で求められるのは、エネルギーとしての熱と示強性の状態量としての温度を区別した上で、微視的状态での粒子の熱運動論の観点から、融解熱の存在と大きさを踏まえて、水の融解と温度変化を説明できることである²⁾。しかし、調査対象者である中学生や高校1年生は、そのような水準までの学習を行っているわけではない。したがって、当該問題は、生徒達にとっては、単純に学習した知識に基づいて説明する問題ではなかった。また、氷が融解するときの温度変化それ自体は、中学校段階でも可能な実験にて観察できるものであるが、それを説明する理論は、実験の結果そのものではなく、必ずしも容易に学習できるものではない。これまで行われてきた子どもの状態変化についての理解研究でも、多様なオルタナティブコンセプションが特定されてきた (Erickson & Tiberghien, 1985)。

加熱すると温度が上昇することを理解している中学生・高校生に対して、身近に体験しうる氷の融解において、加熱しても温度が上昇しないこと（以下、「水の融解と温度変化」と呼ぶことにする）を提示することは、既存の知識とのギャップなどの認知的な葛藤を引き起こしうる問題となりうる事が期待されるのである。また、中学生・高校生アナロジーの使用を確認することが予見される³⁾。

中学生に対しての問題（調査紙は、資料1参照）を、高校生に対しての問題（調査紙は、資料10および資料11参照）⁴⁾を使用して、質問紙調査を実施した。調査対象の中学生と高校生では、準拠する『学習指導要領』が異なることや文章理解力の程度を考慮して、問題の文章表現を検討した。ただし、実質的に着目している内容は、氷の溶解における温度変

化であることに変わりはない。なお、質問紙調査の回答としては、知識の有無を探ることが調査の主眼ではないため、文章表現を不得意とする、もしくはそれに心理的な抵抗感を持っている生徒に配慮して、描画等による表現も認めることにした。

(3) インタビュー調査の質問項目

質問紙調査の後、質問紙調査に対する生徒の回答率の高い上位5類型を中心に抽出した生徒48名を対象にして、半構造化インタビュー調査を1人あたり20分程度実施した。このインタビュー調査は、共通して、①調査者が、質問紙調査の問題を説明する、②生徒に自分自身の考えとその考えに至った過程を振り返ってもらう、③生徒に自分自身の考えを補足しながら説明してもらう、④生徒の説明で不明瞭な部分を尋ねる、⑤これまでの時点で、アナロジーやメタファーを確認できた場合は、それらの意味内容について質問する、という手順で行った（具体的な質問項目は、資料12参照）。ただし、生徒の回答状況によっては、質問項目の順序を入れ替えることや、省略することもあった。

なお、インタビュー調査中の発話は、生徒の了承を得た上で録音し、その音声を文字化した発話データのすべてを分析の対象とした。付言すれば、中学生・高校生を対象にしたインタビュー調査では、上記の質問項目以外に、理科授業でのアナロジーや学習活動に関する基本的な考えを尋ねることもあったが、それは本章で着目する部分とは異なるため、ここでの分析には含めていない。

第二節 中学生・高校生の「物質の状態変化」の説明の構成

第一項 中学生・高校生の水の融解と温度変化に関する説明の構成

(1) 説明の構成とそれを分析する基本的な視点

一般的に、「説明」とは、説明が求められている事物・事象である「被説明項」とその被説明項と関連付けるために持ち出される事柄である「説明項」という、2つの要素から構成されており、説明の内容が多様であり得るのに対して、説明の構造それ自体は一定の制約があるものと考えられている（Lombrozo, 2006）。質問紙調査の問題は、氷が融解するときの温度が変化しないことを説明する問題であった。したがって、被説明項は、「氷が融解するときの温度が変化しないこと」である。それに対して、説明項は、「氷が融解するとき

の温度が変化しないこと」を理由付けようとして、中学生・高校生が言語的・非言語的に記述した部分になる。生徒の回答では、被説明項と説明項が文章構成上、相互に結び付けて記述されているものばかりではなかったため、説明項に相当する部分にのみ着目し、ここで示されている内容の構成上の視点に基づいて、生徒の説明を分類した。

具体的には、内容の構成上の視点とは、説明項として用いる各種の事物・事象、状況、関連知識とその取り上げた方である。オグボーンら (Ogborn, Kress, Martins, & McGillicuddy, 1996: 8-18) による理科授業における説明の意味付けに関わる四要素と関連付けて言えば、ここで着目するものは、そのうちの1つである「存在者の構成 (constructing entities)」に相当する⁵⁾。それは、説明を構成するにあたって、いろいろな存在 (物) があり得る中からいくつかが選択されて説明項に登場して、中心的な役割を担うことから、特に「主人公 (protagonists)」と比喩的に呼ばれるものである。ここでの説明では、水 (液体) や熱などがそれに相当する。

(2) 質問紙調査における中学生・高校生による水の融解と温度変化の説明の概要

質問紙調査の回答に見られる説明項に着目して、中学生や高校生の水の融解と温度変化の説明を分類したところ、表3のような結果が得られた。

そのときの生徒の視点は、温度が変わらないときの状況や氷や水の性質に関するものが中心的であった。中学生の回答で最も多かったのが、「氷が融けているから」、もしくは「氷がまだ残っているから」という回答であった (全回答に占める割合は、31%。以下、回答率と呼ぶ)。この回答は、高校生の全回答の中でも高い割合を占めていた (20%)。

氷の性質に基づいた回答は、「氷が冷やす」という回答が最も多く (中学生 21%、高校生 27%)、それに続いて、「氷は融けにくい」、「氷は温度が上がりにくい」、「氷には熱が伝わりにくい」などのように、熱伝導や比熱に関わる視点から当該現象を説明するものが見られた。水の性質についても、同様に熱伝導や比熱に関わる視点からの説明が見られた。なお、熱が伝わらないことと温度が上がりにくいことは、科学的な視点から見れば密接に関連しているが、必ずしも生徒が熱と温度を関連付けて考えているとは限らないため、異なる説明であると判断した。一方、科学的に適切であると言えるものは、「熱が融解にのみ使われる」という説明であり⁶⁾、中学生では2.0%、高校生では11%の回答率であった。「その他」の類型には、無回答の高校生11名以外に、2名以下の生徒しか答えなかった回答が含まれる。これらを合計した割合は、全体の1割に満たないものであった。

表3. 中学生・高校生の説明の内容とその回答率 (%)

類型	説明の内容	中学生	高校生
1	氷が融けている(残っている)	31	20
2	氷が冷やす	21	27
3	氷が融けるのに時間がかかる	16	4.7
4	決まった温度で融ける	7.4	7.0
5	熱が融解にのみ使われる	2.0	11
6	氷は融けにくい	11	0.0
7	氷は温度が上がりにくい	3.9	2.9
8	氷には熱が伝わりにくい	0.5	5.8
9	水は温度が上がりにくい	1.0	3.5
10	蒸発と同じだから	1.5	0.0
11	化学変化している	0.0	1.7
12	水が熱を吸収する	0.0	1.7
13	その他 (無回答含む)	4.9	15
	合 計	100%	100%

生徒の説明では、温度が上がらない要因を時間という別の物理的な要因を求めるものや、冷たさという熱の対となる物質もしくはエネルギーを想定したもの、低温の物質から高温の物質へと熱が移動するというものも見られる。これらは、科学的に見れば、熱力学第二法則と相反する考え方である。もともと熱力学的内容は、経験的に把握できる側面もあるものの、子ども達にとって理解しにくい概念的な内容であるとも言えるが、理科カリキュラムや教科書でも、そもそも意識的・組織的に教えられる内容でなくなってきたことも、その背景的な要因の一つとして推測される⁷⁾。いずれにせよ、熱と温度変化や状態変化との関係から、氷が融解するときに温度が変化しないことを説明することは、調査の結果からも分かるように、中学生や高校生にとって、一般的に難しいことが認められる。また、中学生と高校生の説明の分布を比較すると、回答率の順序性は異なるものの、上位を占める5類型（累積回答率74%）が共通しており、今回の調査における両者の説明の傾向は類似したものであった。

第二項 中学生・高校生の水の融解と温度変化に関する説明の具体的な内容

(1) 説明の類型に応じたインタビュー調査の対象者の抽出

質問紙調査の回答に見られた説明の類型に応じて、任意に生徒を抽出して、インタビュー調査を行った。そのときの生徒の説明の類型と対象人数は、表4のとおりであった。なお、インタビュー調査の対象者の質問紙調査での記述には、アナロジーに関わる記述が含まれていなかった。

表4. 説明の類型に応じたインタビュー調査の対象者（人）

類型	説明の内容	中学生	高校生	全体
1	氷が融けている（残っている）	2	6	8
2	氷が冷やす	3	17	20
3	氷が融けるのに時間がかかる	2	0	2
4	決まった温度で融ける	1	2	3
5	熱が融解にのみ使われる	0	5	5
7	氷は温度が上がりにくい	0	1	1
8	氷には熱が伝わりにくい	0	2	2
11	化学変化している	0	1	1
13	その他（無回答含む）	0	6	6
	合計	8人	40人	48人

(2) 中学生・高校生の水の融解と温度変化に関する説明の具体的な内容

ここでは、質問紙調査において説明類型の上位を占める5類型に焦点化し、質問紙調査での記述およびインタビュー調査での回答に基づいて、生徒が構成した説明の具体的な内容を検討する。その際、第一節で取り上げた状態変化や熱現象に関する子どものオルタナティブコンセプトとも比較対照しながら、今回の調査で見られた中学生・高校生の水の融解と温度変化に関する説明を特徴付けることにしたい。なお、説明の具体的な記述や発話例では、中学生と高校生および各個人を区別して、中学生 J1、高校生 H1 というように表記する。したがって、同じ表記がされている場合、同一の生徒を指す。

① 「氷が融けている」という説明

中学生や高校生に多く見られた「氷が融けている」という説明に共通するのは、温度が一定であるときに起きている事象に言及することで、当該現象の説明を構成しようとしているところである。このカテゴリーに含まれる中学生や高校生の説明の記述例は、表 5 や 図 1 のとおりである。

表 5. 「氷が融けている」という説明の記述例 1

- ・ 氷がとけている間は温度はかわらない。(たぶん、イメージで…) で、氷が全部とけると、水になってそれがだんだん温度が上がっていく。(中学生 J1)
- ・ 氷が少しずつ溶けていき、温度が上がりそうになってもまた氷が溶けて、変化しない。氷が溶けてなくなってしまうと水の温度が上がってきてしまう。氷が溶けきるまでは水温が変わらない (高校生 H1)。

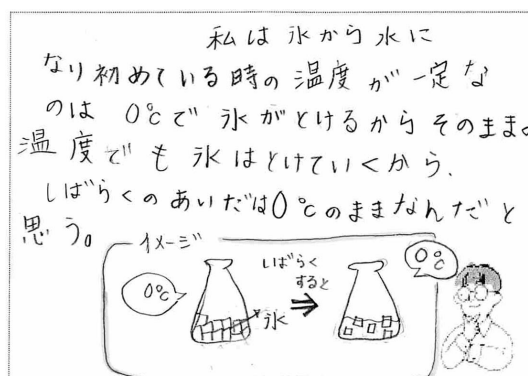


図 1. 「氷が融けている」という説明の記述例 2 (中学生 J2)

このような説明は、氷の温度が一定であるとき、氷が融けているという現象が起きていることに言及したものであり、同一事象を特徴付ける異なる物理的な状態を述べるだけに留まっている説明である。なお、温度が一定になったときと再び温度が上昇し始めたときの物質のそれぞれの状態は、調査問題中に与えられたグラフに示されており、そこから 2 つの時点間の状態が推測できるようになっている。高校生 H1 の記述に見られるように、温度の変化として着目されているのは、もっぱら液体の水ばかりであり、氷の温度などが考慮されている様子は、少なくともこの記述からは見て取れない。この場合、「氷が冷やす」

ということも含意されているとも考えられなくはないが、説明の記述としては異なる。

② 「氷が冷やす」という説明

「氷が冷やす」という説明では、温度の上昇を妨げるものとしての氷の働きに言及することで、当該現象の説明が構成されている。この説明類型に含まれる中学生や高校生の説明の記述例や発話の例は、表 6 や表 7 のとおりである。

表 6. 「氷が冷やす」という説明の記述例

- ・ 最初にとけたやつはそのとけていないやつにふれるから、温度が上がらないまま冷える。だから、温度はあがらない (中学生 J3)
- ・ とけはじめても、氷が完全にとけるまでは、温度は上がりにくい。氷は、ひやす働きがあるので、氷がとけはじめてもまだとけていない部分がとけてできた水をひやしてくれるので、温度は、なかなかかわらない (高校生 H2)

表 7. 「氷が冷やす」という説明に関する発話 (中学生 J4)

J4 : まず固体があるじゃないですか。もしこれが固体だとしたら、熱で融けますよね。融けたときに周りが融け出して、今度は周りの融けた熱を中の氷で冷やすから温度が一定という考えなんですけど。

(J4 : 中学生 J4)

「氷が融けている」という説明でも認められたように、「氷が冷やす」という説明でも、温度の変化として着目されているのは、やはり液体の水についてである。このような説明では、氷は、液体の水を一定の温度に保っておく働きをするものと考えられている。あたかも低温の状態のまま存在し続けるかのような氷なのである。そして、氷が冷やす対象となっているものは、融解した後の水である。表 7 の中学生 J4 の発言に見られるように、その具体的な表現は「融けた熱」(熱をもった水) というような存在論的なカテゴリーが異なるメタファーとなっている場合もある。

加熱によって氷の温度が上昇することを理解しているかどうかまでは判断できないが、少なくともこの質問紙調査で記述された説明の範囲は、結果として、限られたものとなっている。つまり、その説明は、仮に融解が生じている間だけは説明できるとしても、物質

の状態変化と温度変化の関係を一貫して説明するものにはなっていない。

③ 「氷が融けるのに時間がかかる」という説明

「氷が融けるのに時間がかかる」という説明では、加熱し始めたときから遅れて、温度の上昇が起こるものとして、当該現象の説明が構成されている。このカテゴリーに含まれる中学生や高校生の説明の記述例は、表 8 のとおりである。

表 8. 「氷が融けるのに時間がかかる」という説明の記述例

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・ 氷が水にすぐになれないから。水になるまでの準備をしているから…？氷
どうしがくっついているから？（中学生 J6）・ 氷がとけ始めてからずっと加熱してもとけ終わるのに時間がかかるから
温度が一定なんだと思う（高校生 H3） |
|---|

このような説明では、他の説明と同様に、温度が変化するのは液体の水であり、しかも加熱するとすぐに温度が上がるということが暗黙の前提とされている。そして、温度が一定であるということは、同じ温度の時間が継続することであるのだが、加熱に対しての温度変化が起きないような無反応な時間あるいは反応が遅延する時間というような意味で捉えて説明を構成しているとも考えられる。いずれにせよ、縦軸に水の温度変化、横軸に加熱時間をとったグラフを見て、加熱ではなく、むしろ時間という観点から温度の変化を説明しようとしている点が、このような説明の特徴である。

④ 「決まった温度で融ける」という説明

「決まった温度で融ける」という説明では、融点という融解が起きるときの温度が物質に固有であることを依りどころにして、当該現象の説明が構成されている。このカテゴリーに含まれる中学生や高校生の説明の記述例は、表 9 のとおりである。

物質がとりうるような最高温度や決まった温度という考え方は、先行研究で報告されたものと共通している。純物質であるどうかを判断するとき、融点の測定は有効な評価方法の一つであることなどから、物質がある一定の温度で状態変化をすることを理解していることは重要である。

表 9. 「決まった温度で融ける」という説明の記述例

- ・ こおりは、その一定の温度のままとけるから（中学生 J7）
- ・ 氷がすべて水（液体）になってからしか温度は上がらないと決められているから（高校生 H4）
- ・ 0° の時は氷の最高温度でこれより上にいかないため。おそらくこれはいろいろな物でもいえると思う（高校生 H5）

しかしながら、この場合では、融解熱と温度変化の関係から、物質の状態変化での温度一定を説明するのではなく、固有の温度から、物質の状態変化を説明しているのである。つまり、本来的に考えられる説明項と被説明項の関係が入れ替わったような形にて構成されており、適切ではない。一般的に、科学的な説明においては、説明項と被説明項が非対称的な関係にあると考えられており、両者が入れ替わった場合、説明としての適切性が損なわれるのである（戸田山, 2005: 108-111）。

⑤ 「熱が融解にのみ使われる」という説明

「熱が融解にのみ使われる」という説明では、状態変化が起こっている間は熱エネルギーが温度の上昇ではなく、状態変化に寄与しているものとして、当該現象の説明が構成されている。このカテゴリーに含まれる中学生や高校生の説明の発話の例は、表 10 や表 11 のとおりである。

表 10. 「熱が融解にのみ使われる」という説明の記述例

- ・ 状態変化が起こっている最中は、温度を上げるエネルギーじゃなくて、固体から液体に変えるエネルギーに使っているから（高校生 H6）
- ・ 氷のゆう点から、とけ終わるまで、氷と水がビーカーに入っている状態なので、温度が上昇していくのではなく、氷を溶かすのに熱が使われるため、水の温度は上がらない（高校生 H7）

表 11. 「熱が融解にのみ使われる」という説明に関する発話（中学生 J8）

J8：固体の温度が上がって、液体に変わっていくから、実験でもやったように少しずつ融けていったから。少しずつ融けていって、ちょっと融けた液体とまだ融けていない固体みたいなものが残っていて。で、固体と液体が混ざってて、少しずつ温められていってどんどん融けていく。

R：その間は温度が変わらないと。よく考えると、温めるじゃないガスバーナーとかで、がんがんに。ガスバーナー熱いのに。熱いと温度上がっていくでしょ。単純に考えると。でもそのときは変わらないんだよね。いくらがんがんに温めていても温度が変わらない。それはどうしてかって考えたら状態が変わっているから、その間温度が変わらない。その熱ってどこに行くんだろう？がんがんに熱い熱は。

J8：少しずつ、最初は固体だったのが温められていくからその融かすのに使われてて、融け終わるまで。

(J8：中学生 J8, R：調査者)

第三節 中学生・高校生の「物質の状態変化」の説明におけるアナロジー

第一項 中学生・高校生の氷の融解の説明におけるアナロジーの使用

アナロジーやメタファーを使って、氷が融解しているとき、加熱していても温度が変化しないことを説明した生徒は、インタビュー調査を実施した 48 名のうち 19 名（対象者中でのアナロジーやメタファーの使用率 40%）であり、そのうち 1 名の生徒は、2 つのメタファーを使って説明したため、延べ 20 のアナロジーやメタファーを確認できた。生徒が説明した内容とアナロジーやメタファーは、以下のとおりであった（表 12）。

アナロジーやメタファーを用いて説明した中学生は、インタビューした 8 名のうち 2 名であり、それぞれ凝固と手つなぎをベースとして融解現象を説明した。残りは、いずれも高校生である。インタビューの対象とした生徒の説明の 9 類型のうち、科学的な説明を含む 7 類型において、インタビュー調査の過程でアナロジーを確認できた。これらのことから、少なくとも、生徒がアナロジーやメタファーを用いるのは、ある特定の内容の説明に限られるものではなかった。調査対象者の学習経験の水準から見れば、およそ科学的な説明を構成した生徒であっても、自発的にアナロジーを生成し使用する傾向が見られた。つ

まり，中学生や高校生が自発的にアナロジーやメタファーを生成し説明することは，いくらかの内容上の偏りが認められるものの，説明する内容やその適否に単純に制約されるものではない。

表 12. 説明の内容とアナロジーやメタファー

類型	説明の内容	アナロジーやメタファー
1	氷が融けている（残っている）	沸騰（2），凝固（1），手つなぎ（1）
2	氷が冷やす	コップの水と氷（2），お茶・ジュース（2）， お金（1），中和（2），力の平衡（2）
4	決まった温度で融ける	沸点（1）
6	熱が融解にのみ使われる	人の集中力（1）
8	氷には熱が伝わりにくい	遮蔽（1）
11	化学変化している	凝固点降下（1）
13	氷は温度を一定に保つ	恒温動物（1）
	エネルギーが一定だから	冷蔵庫（1）
	氷と熱の温度が等しい	速度の平衡（1）

なお，括弧内の数字は，回答者の人数を表す。

その一方で，この場合に限って言えば，生徒が説明に用いるアナロジー・メタファーのベースとその説明の内容との間には，一定の関係が認められるのであった。すなわち，それぞれの生徒が異なるベースを選択してアナロジーを考えた場合でも，同じような内容の説明を導くこともあるが，ある内容の説明に使われるベースが他の異なる内容を説明するために使われることはなかったのである。

第二項 中学生・高校生の説明内容と生成したアナロジーの領域性

熟達者研究の知見を踏まえて，ここではベースとターゲットの領域間の距離という観点から，中学生・高校生が氷の融解の説明において生成したアナロジーの内容を検討する。領域の種類として，既存の体系として存在する学問領域を参照し，その学問領域の近接性の程度から，ベースとターゲットの領域間の距離を「同一」，「近接」，「遠隔」として，

中学生・高校生のアナロジーのベースを分類した。他方、人の概念構造はおよそ学問領域に対応しており、幼児期ではその領域が少なく、発達に伴って徐々に領域が豊富になっていく可能性も指摘されている（Carey, 1985:201）。これらの見解も考慮に入れつつ、2つの領域間の距離とは、一般的な意味で、知識の体系性という学問領域間の関係性を表すものとし、個人の心理的なアクセスの問題とは区別して扱うことにしたい。他の先行研究も同様の立場になっていると考えて差し支えない。

学問領域の近接性という観点から見た場合、中学生・高校生成成したアナロジーのベースの領域性は、表13のとおりであった。

表13. 中学生・高校生成成したベースの領域性

領域の距離	ベース領域の種類	計数（個）	割合（%）
同一領域	状態変化	5	25
近接領域	熱力学的な領域*	4	20
	力学的な領域	4	20
	化学的な領域	2	10
遠隔領域	生物学的な領域	1	5.0
	日常生活的な領域	4	20
合 計		20	100

*ただし、状態変化を除く。

融解以外の状態変化（沸騰や凝固）は、融解と同一領域とし、状態変化以外の熱の移動に関する熱力学的な領域、力の釣り合いや物体の移動に関する力学的な領域、物質の反応などに関する化学的な領域を含めた、物理・化学分野を近接領域とした。それに対して、恒温動物の性質（恒常性）などの生物学的な領域と人の日常的な行為や活動に関する領域は、物質の性質とは直接的に結び付けて考えにくいことから、遠隔領域として分類した。中学生・高校生成成したアナロジーのうち、8割程度が同一領域もしくは近接領域であった。認知的な葛藤を生じさせるような事象を説明することを求める状況では、比較的近い領域をベースとして選択し、アナロジーを生成する傾向が確認できる。アナロジーを生成することが明示的に求められた場合、遠隔領域を選択する傾向を報告した先行研究⁸⁾とは異なる結果を示すものであった。このことは、ベースの選択やターゲットとの対

応付けなどのアナロジーの内容を含め、中学生・高校生のアナロジー使用に十分に関連していると考えられる。このことを視野に入れつつ、次項では、中学生・高校生が生成したアナロジーの具体的な内容を検討することにした。

第三項 中学生・高校生の水の融解と温度変化の説明でのアナロジーの内容

中学生・高校生が水の融解と温度変化を説明するときに生成したアナロジーの内容について、具体的な事例に即して検討することにした。具体的には、今回の調査で生徒が回答する割合が高く、また、確認されたアナロジーの数も多かった2つの説明、すなわち、「氷が融けている」という説明と「氷が冷やす」という説明に着目することにした。そして、「氷が融けている」という説明では、①沸騰とのアナロジー（同一領域のアナロジー）と②手つなぎとのアナロジー（遠隔領域のアナロジー）を、「氷が冷やす」という説明では、③コップの水と氷とのアナロジー（近接領域のアナロジー）と④中和とのアナロジー（近接領域のアナロジー）を具体的なアナロジーの事例として、その内容を検討する。

(1) 「氷が融けている」という説明において生徒が生成したアナロジーの事例検討

① 沸騰とのアナロジー

質問紙調査で氷が融けている間は、加熱しても温度が変化しないと答えた高校生2名は、そのような考えを説明する過程において、水が沸騰するときも温度がしないことを挙げた。具体的に、高校生H8は次のように説明した（表14）。

表14. 沸騰とのアナロジーに関する発話（高校生H8）

H8：0℃になると、温度が上がらないのは、多分、水だったら100℃で、沸点に達すると、液体から気体が変わるから、その間は常に、状態変化が起きているから、温度も上がり下がりしないで、一定のままだから。氷も同じように、そういう状態変化が起きているから、固体から液体に変わっているのかなと、思って。

(H8：高校生H8)

このような説明は、それぞれ液体から気体への変化（沸騰）をベース、固体から液体への変化（融解）をターゲットとして、構成されるアナロジーである。このようなアナロジー

一の構成に当たり、生徒 H8 はベースとして選択した沸騰について、第一に、水は加熱されて、その温度が 100℃（沸点）になると沸騰すること、第二に、そのとき温度は変化せず一定であることの2点は少なくとも理解している。そして、液体から気体への沸騰についての理解していることを、融解という現象にも対応付けて、氷が融けているときも 0℃で状態が変化していて、温度が一定であると納得しているのである。これらをベースとターゲットの対応関係として示すと、表 15 のようになる。

表 15. 沸騰時の温度変化とのアナロジーの対応関係

領域	ベース	ターゲット
	沸騰時の温度変化	融解時の温度変化
対応関係	液体から気体への 水の変化	固体から液体への 水の変化
	100℃で温度一定になる	0℃で温度一定になる

原理的には、氷が融解するときの温度変化は、水の沸騰でなくても、別の物質の融解での温度変化とのアナロジーにでも考えることができる。教科書では、氷の融解のみならず、パルチミン酸やステアリン酸のような固体を融解する実験も掲載されてもいる。しかし、実際には生徒 H8 は融解という同じ現象ではなく、水という同じ物質の状態変化（沸騰）での温度変化とのアナロジーを考えたのであった。もちろん、沸騰であっても、融解であっても、状態変化で温度が変化しないことは、科学的に見れば、同様のメカニズムとして説明することができる。融解に比べて、沸騰のときの温度の方が子ども達にとってはなじみ深いことも、氷が融解するときの温度の説明に際して、沸騰時の温度変化とのアナロジーが考え出されるきっかけになったとも考えられる。

しかしながら、高校生 H8 が考えたアナロジーでは、状態変化において温度が変化しないことが他の状態変化の現象と関連付けられているが、課題の説明として求められていること、すなわち、どうして温度が変化しないのかという因果的な要因までは考えられていないのである。実際に、インタビューの過程で高校生 H8 は、沸騰とのアナロジーではその点が因果的に説明できないことを認識するに至った。さらに質問を続けると、氷に「温度（熱）が取られる」から温度が変化しないと答えた。この回答から見る限りでは、温度と熱を峻別できていないが、加熱がもつぱら状態変化に寄与しているのではないかという

ことは、少なくとも考えていた。

同様に、沸騰とのアナロジーで当該現象を説明した高校生 H9 は、質問で期待されていることが因果的に説明することだとは気付いていなかった。改めて尋ねると、高校生 H9 は答えに窮し、その後何とか説明を試みるものの最終的には断念してしまった。このことからしても、高校生 H9 は、沸騰とのアナロジーで氷の融解の現象を説明しようとしたものの、加熱と状態変化や温度変化との因果的な関係を考慮するところまで至っていなかった。

上述したように、沸騰とのアナロジーについて言えば、ベースの選択それ自体は、科学的な説明を構成することを可能にするものであった。しかしながら、実際の生徒達が生成したアナロジーはそのようなものとしては寄与していなかった。このことは、ベースやターゲットの水平的関係は充足されていたが、両者の内部にある垂直的關係が不十分であったことに起因すると言える。具体的には、沸騰や融解の現象的な特徴（巨視的な水準での特性）に着目し、それらの対応付けは図られていたものの（水平的関係）、現象的な特徴を生じさせるような内部の特性間を相互に関連付けるような因果的な関係（垂直的關係）が欠如していたのである。ここでの沸騰とのアナロジーは、あくまでも表面的な類似性に基づいたものであった。

② 手つなぎとのアナロジー

インタビュー調査での氷が融けている間の温度変化についての質問に対して、中学生 J9 は、表 16 の前半部分に見られるように、氷が融けているという巨視的な状態を多数の水分子がくっついているという微視的な状態に関連付けて、微視的な状態での変化が進行していることから、温度が変化しないというように説明していた。他の中学生や高校生の「氷が融けている」という説明は、水分子への言及が見られず、巨視的な状態の変化のみに着目していたのに対して、中学生 J9 は微視的な状態にも着目していた点では、異なるものであった。しかしながら、その後の質問に対しての回答からも分かるように、加熱し続けている状態で温度が変化しないことの意味については、この時点までは考えていなかった。

そこで、氷の融解での熱の役割について質問すると、表 16 の後半部分に見られるように、人が手をつないでいる状態をベースとするような遠隔領域とのアナロジーに言及したのであった。つまり、中学生 J9 は、自分自身が構成した説明で等閑視されていた部分が他者から指摘されることによって、おそらくは即興的で自発的にアナロジーを使用したのであった。そのアナロジーでは、まず水分子が人に見立てられ、氷の状態とは人がお互いに

手をつないでいる状態であり、液体の水に変化することは、その手をはなしていくことに対応付けられていたのである。そして、熱とは、人が手をはなすことになるきっかけあるいは役割として考えられていたのである。ただし、人が手をはなす役割については、抽象的なものであった。

表 16. 手つなぎとのアナロジーに関する発話（中学生 J9）

J9: 0°Cのところだと、水分子がいっぱいくっついていてなかなか離れられないですよ。だから、しばらくは温度は変わらないんです。20°Cは水分子が離れていって、だんだん、液体になったらそのままどんどん離れていくから、温度は上がる、で。水蒸気っていうのは100°C以上だから、100°Cになると水分子が気体になってそこらへんを飛び回っているから、水蒸気。

R : 0°Cのとき温度が上がらないとき、その加熱してますよね。その熱ってどこにいつていると思います？ふつうだったら、温めていると温度上がりますよね。だけど、0°Cのところって温度が上がらないですよ。いくら温めてても、その熱ってどうなっていると思います？考えたことってあります？

J9 : ありません。あの、水分子がくっついている中でその熱がなんか広がってって、水分子が手をつないでいるところになんか、放すような？感じの…。

R : じゃあだから、えーと水分子が人だとすると、固体、氷の状態こうみんなこう手をつないでいる状態で、熱は手をこう放させる役割していると。

J9 : はい。

(J9 : 中学生 J9, R : 調査者)

インタビュー調査の一連の発言が一貫したとするならば、中学生 J9 の認知状態としては、水分子がいっぱいくっついているような状態が擬人的なアナロジーとして潜在的に存在しており、調査者から当該現象を説明する上で等閑視していた点を指摘されたことによって、中学生 J9 は、その部分を含みうるようなアナロジーを再構成し、顕在化させた可能性も考えうる。このことは、このインタビュー調査からは判断つきかねることではあるが、いずれにせよ、自身が説明した内容の不十分な点を指摘されたことによって、それを補完

するようなアナロジーを生成し、使用していたことは認められるのであった。

(2) 「氷が冷やす」という説明において生徒が生成したアナロジーの事例検討

③ コップの水と氷とのアナロジー

質問紙調査では、融け残っている氷が水を冷やし続けているから、温度が上がらないと答える生徒が最も多かった。このような説明では、 0°C より低い温度であった氷が加熱により、融解が起こる 0°C まで温度上昇することは説明できない点で、根本的な欠陥がある。この点を踏まえて、「氷が冷やす」という説明を考えた生徒に対して、インタビュー調査で質問すると、例えば、高校生 H9 は、表 17 のようなコップの水と氷という近接領域のベースとのアナロジーを使用して、説明をしたのであった。この場合、氷と水の混合による水の温度低下がベースであり、水の融解と温度変化がターゲットになっている。ベースとして選択された現象とは、水の温度の変化に着目すると、氷の存在により水の温度が低下し、水が冷やされていると見なせる。

表 17. コップの水と氷とのアナロジーに関する発話 (高校生 H9)

H9 : 例えば、飲み物とかになまぬるい液体、飲み物入れたとして、氷を入れると、その氷のお陰で飲み物が冷たくなる。でしょ。そしたら、中に入っている液体っていうのは、自分がはじめもっててコップに入れる前の液体より温度が冷えているってことだから、つまり、その氷が水を冷やしているってことだから、もとあった温度よりも冷たくなる。

(H9 : 高校生 H9)

しかしながら、科学的に言えば、異なる温度の物質の混合により物質の温度がそれぞれ変化する (高温の物質の温度は降下し、低温の物質の温度は上昇する) 現象であり、熱平衡の現象である。熱の移動という視点から見れば、高温である水から低温の氷へと熱が移動するのである。そして、温度差や質量に依存するものの、必要な熱量 (融解熱) が移動すれば、氷のみに状態変化が生じるのである。このようなことを踏まえるならば、氷が水を冷やしているという視点に立つとき、同時に水が氷を温めているという視点に立つことは、論理的には考えにくく、日常的な説明として使われることがあったとしても、科学的な説明としては適切ではない。つまり、そもそもベースそれ自体にオルタナティブコンセ

プシオンを含んでいたのであった。

続いて、ベースとターゲットとの対応関係に着目した場合、双方ともに氷や水があるという点では一致しているが、ターゲットである現象では外部から熱が加えられている状態であり、この点でベースと決定的に異なっている。つまり、高校生 H10 が使用したアナロジーでは、外部から熱を加えるという当該現象を理解する上で重要な特性が、アナロジーの対応関係に含まれていなかったのである。氷が水もしくは熱を冷却するのであれば、 0°C まで上昇することもなく、氷が融解することもない。さらに氷が冷やすのであれば、温度は 0°C で一定になるのではなくて、さらに下がることさえも考えられる。その一方で、高校生 H10 は、最低温度までは知らないまでも、 0°C よりも低い温度の氷があることを認識していた。このことは、オルタナティブコンセプションを含んでいるベースをそのまま対応付けることを防ぐような、メタ認知的な知識として活用できる可能性が開かれていたものとも考えられる。しかしながら、高校生 H10 は、既存の科学的な知識と関連付けることなく、自分なりに考えたアナロジーで、問題とされた部分のみを説明しようとしていた。

⑤ 中和とアナロジー

2名の高校生は、中和という近接領域をベースとするアナロジーにより、融解では温度が変化しないことを説明した。中和では、酸性の物質と塩基性の物質のように、互いに異なる性質のものが混ざり合って、それぞれの性質が相殺される。これがターゲットに対応付けられるのである。具体的には、互いに異なる性質のものとは、加えられている熱（熱さ、高温）と融けたばかりの水（冷たさ、低温）であり、この両者が相互の性質を打ち消し合うことによって、中和点と言えるような、ある一定の温度になるのである（表 18）。

このアナロジーは、前述のコップの氷と水の混合とアナロジーとは、氷が冷却作用をもっているという点で、類似している。その一方で、温度が高い状態と温度が低い状態とは、異なる性質と見なせること、そして、両者の混合により、それぞれ高温（低温）の物質の温度が低下（上昇）することを前提としている点で、異なっている。また、打ち消し合うことによって、ある一定の温度になることを指摘している点でも差異があった。熱平衡の現象であれば、コップの氷と水の混合とアナロジーと比べれば、科学的な説明に近いようにも見える。しかしながら、今回の現象は加熱を伴う融解であり、また、そもそも高温と低温とは、互いに打ち消し合うような固定した性質ではない。あくまでも、このアナロジーにより新たに考案された性質である。

表 18. 中和とのアナロジーの対応関係

領域	ベース	ターゲット
	中和	融解
対応関係	打ち消されるものと 打ち消すもの	加えている熱（高温）と 融解直後の水（低温）
	中和点	ある一定の温度（融点）

第四節 中学生・高校生の科学的な説明におけるアナロジーの使用方法

第一項 中学生・高校生のアナロジーの生成方法

(1) 認知的な葛藤事例の説明場面での自発的なアナロジーの生成

前節で見てきたように、中学生や高校生は、すべての生徒ではないにしろ、水の融解と温度変化を説明する場面で、アナロジーを使用していた。しかも、そのような場面では、アナロジーを使用するように明示的に求められているわけではなかった。むしろ、中学生や高校生によるアナロジーの自発的な生成・導入であった。例えば、中学生 J10 は、水を擬人化した図を示しながら、「氷が融けるのに時間がかかる」（それを待っていて温度が上がらない）という説明をしている（図 2）。質問紙調査に回答するに当たり、自ら擬人的なアナロジーを考えて、水の融解と温度変化の説明に使用している。同じ学級の中学生の回答には、似たような趣旨の説明（「氷が融けるのに時間がかかる」）は見られるものの、これと同じようなアナロジーは確認できないことからして、中学生 J10 が自発的に考えたアナロジーであると考えられる。



図 2. 擬人的なアナロジー（中学生 J10）

一方、表 12 に挙げたアナロジーは、インタビュー調査で確認されたものであり、それぞれの中学生や高校生の質問紙調査の回答には、アナロジーの記述は認められていない。

しかしながら、質問紙調査に回答する段階ですでに自発的にアナロジーが考えていた生徒もいたことは、インタビュー調査から明らかとなった。例えば、高校生 H11 は、質問紙調査では、「氷が冷やす」という説明を行っていたが、氷を入れたジュースとのアナロジーに基づいて、このような説明を考え出したというように、インタビュー調査では述べている(表 19)。しかも、そのアナロジーは、どこかで学習したというものではなく、氷の融解の温度変化を説明するという課題が提示されてはじめて、考えついたものであると答えている。氷を入れたジュースとのアナロジーは、前節で事例検討したコップの氷と水とのアナロジーと基本的には同じような内容構成であり、科学的な説明の構成の観点から見て、同じような課題を内包している。

表 19. 氷を入れたジュースとのアナロジーに関する発話 (高校生 H11)

R :なるほど。この現象自体は疑問に思うことあった？こういう図があるから、そうなんだって。
H11 :いえあまり特には。ジュースとかあるじゃないですか、お茶とか。そのときに氷を入れたら冷めるのと同じで、平衡が保っているのかと思いました。
R :氷とお茶のところをもう 1 回説明して。
H11 :コップの中に入ったお茶に氷を入れると、氷によって水が冷たくなっていくのと同じで、水が冷たくなっていくので、温めていてもその氷が融けたりすることによって冷たくなるので、そのバランスがちょうどよくなって 0°C を保っているのかなと思いました。
R :それっていうのはこれを、この紙を書くときに思ったこと？それともどっか中学校のときに習ったときにもそう思った？
H11 :いや、書くときだけです。
R :書くときにそう考えたら説明できるんじゃないかなと。
H11 :はい。

(H11 : 高校生 H11, R : 調査者)

インタビュー調査の回答どおりであるとするならば、高校生 H11 は、これ以前から熱平衡に関してはオルタナティブコンセプトを保持していたかもしれないが、少なくとも氷の融解での温度変化を説明するアナロジーは、当該現象を説明する場面が契機となって、自発的にそして即興的に生成したのであった。もちろん、高校生 H11 だけではなく、他にもインタビュー調査で自発的・即興的にアナロジーを生成したことを明言した高校生もいた。調査段階のカリキュラムの水準から見て妥当と判断できる「熱が融解のみに使われる」という説明をした高校生 H12 も、説明の課題を提示されたときに、やはり即興的にアナロジーを生成したことが、そのような説明につながっていると答えている。

高校生 H11 や H12 のように、自然現象の説明、特に、中学生や高校生にとって認知的な葛藤を生じさせうるような事例の説明を構成する過程で、アナロジーを自発的に生成する生徒もいる一方で、インタビュー調査のように、構成した説明についての対話する過程において、アナロジーを生成することになる生徒も見られるのであった。例えば、表 19 に見られるように、中学生 J9 は、調査者からの質問に対して、手つなぎとのアナロジーを答えているのである。コップの氷と水とのアナロジーに言及した高校生 H9 も、やはり調査者からの質問に対して、表 17 のように「例えば…」と言って当該アナロジーに基づいて説明を始めたのである。

以上のことを踏まえると、科学的な現象の説明を求められる場面は、中学生や高校生が自発的にアナロジーを生成する契機の一つと言える。そして、その場面は、中学生や高校生の注意が向いている対象という観点から見ると、科学的な現象の説明を構成する過程と言明された説明について対話する過程に分けられる（表 20）。

表 20. 中学生・高校生の自発的なアナロジー生成を促進する場面

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">(1) 科学的な現象の説明を構成する過程(2) 言明された説明について対話する過程 |
|--|

単純には区別できないものの、前者の過程は、もっぱら自然の事物・事象に着目する対自然的なものであり、後者の過程は、前者と比べてより対人間的なものあるいは社会的なものである。子どもが自発的にアナロジーを生成したことが認められた先行研究と関連付けてみると、主として、科学的な現象の説明を構成する過程（Cosgrove, 1995; 永井・川北, 1999）や言明された説明について対話する過程において（May, Hammer, & Roy, 2006）、そ

れぞれアナロジーの生成が自発的に生じていた可能性が指摘できる。

(2) 説明の構成とベースの検索方法としての「問いの変形」

今回の調査のように、説明が課題として課される場合は、被説明項が問題として提示され、説明項を答えとして記述する形式になることが多い。この課題形式をとっている場合であっても、妥当な説明となり得るのは、やはり説明項と被説明項の対応関係が妥当である場合である。しかしながら、中学生・高校生の水の融解と温度変化の説明は、質問紙調査で期待されている回答とは言えないものが多い。つまり、説明の構成という観点から見れば、問いとそれへの答えが適切に対応していないということである。このような事態が生ずる可能性としては、問いに対してずれた答えを考える場合（実質的には、ずれた答えしか考えられない場合）と、問いをずらしてそれに対応する答えを考える場合が考えられるであろう。インタビュー調査を通じて、中学生・高校生の説明の構成は、前者の場合のみならず、後者の場合も確認できた。例えば、多くの中学生・高校生による「氷が冷やす」という説明は、問題として与えられた問いそのものに対するものではなく、「どうして水の温度が下がるのか」と変えられた問いに対するもので、水の融解と温度変化を説明しているものと跡付けられるものであった。

質問紙調査での問いは、中学生・高校生にとって答えにくい問いであり、意識的であるのかどうかまでは判断し得ないが、中学生・高校生はそれに直接的に答えているというよりむしろ、より答えやすい問いへ変えられた問いに対して説明を構成していた（図3）。

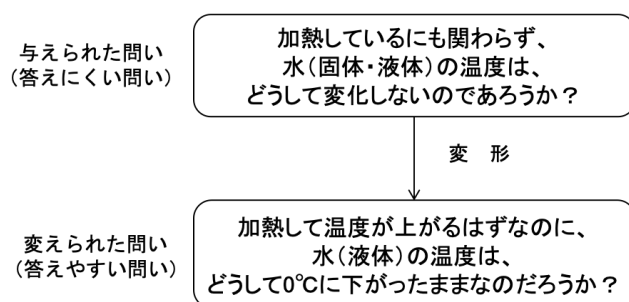


図3. 説明の構成とアナロジーの生成のための「問いの変形」例

「与えられた問い」と「変えられた問い」の間に、何らかの類似性が認められるとするならば、これも一種のアナロジー、問いを変形するというアナロジーなのである。中学生・高校生が想定したであろう「変えられた問い」は、「与えられた問い」との間に、氷、水（液体）、温度の変化などの属性といった類似性があるので、問題とそれに対する説明が

ら導かれる関係性という観点から推定した、潜在的なアナロジーである。一方、表 17 や表 19 に見られるような中学生・高校生のアナロジーでは、「変えられた問い」とは「与えられた問い」（ターゲット）のいくつかの属性などを変形してできた問いであり、その問いへの答えがベースとして使用されており、こちらは顕在的なアナロジーである。

このような問いの変形というアナロジーは、科学領域の事例でこそないが、数学の問題解決の手法の一つとしても挙げられている（ポリア, 柿内監修, 1954: 173-181）。そして、この問いの変形とは、ターゲットの変形によるベースの検索・選択というアナロジーを生成する方法の一つでもある。ベースを選択する方法としては、「変形」や「連想」などがある（Holland, Holyoak, Nisbett, & Thagard, 1986: 307-310; Clement, 2008: 38-39）。「変形」によるベースの選択の場合、その選択過程を反映して、ターゲットとベースの領域の距離は、その選択過程を反映しておのずと近くなるとされる。

表 13 に見られるように、近接領域のベースが選択される傾向が認められる。もちろん、近接領域のベースの選択がすべて「ターゲット問題の変形」によるものとは言えないが、少なくともこのような選択過程が関与している場合は、およそ必然的に近接領域のベースが選択されることになったと考えられるのである。ただし、中学生・高校生が問い（ターゲット）を変形する過程において、ターゲットの諸特性のうち、本質的な部分（例えば、加熱を継続していることや熱の移動など）が抜け落ちてしまったため、科学的に適切な説明を構成するには至らなかった場合が多く見られたのである。加えて、あまり意識化されることなく、そのような問題を内包しており、他者に指摘されるまで、場合によっては指摘されても、自分自身が構成した説明の限界を認識することはなかった。

他方、「連想」の場合は、むしろターゲットとベースの領域の距離は離れる傾向にあるため（Clement, 2008: 39-40）、今回の調査での遠隔領域のベース選択は、おそらくはこちらの認知過程を経ていたと考えられる。これらのことを踏まえると、中学生・高校生が選択したベースの領域の特性は、ベース選択の認知過程を反映しており、その認知過程は単一のものではないことが示唆されるのである。そして、中学生や高校生が自発的にアナロジーを生成する場合、比較的気付きやすい遠隔領域だけではなく、近接領域からのベース選択の過程もあり、その過程が適切な説明の構成やオルタナティブコンセプトの形成に影響していることもありうるのである。

第二項 中学生・高校生の科学的な現象の説明におけるアナロジーの使用法

(1) 着目している現象の一般化と認知的な葛藤状況の回避

およそ同じ内容の説明を考えていた中学生・高校生でも、インタビュー調査において自分自身の説明を詳細に述べる過程で、アナロジーに言及しない生徒もいれば、自発的にアナロジーを使用する生徒もいたのである。

例えば、「氷が融けている」という説明について着目した場合、アナロジーを使用することなく説明を構成し、それについて述べる生徒と、アナロジーを使用しつつ自分の構成した説明について述べる生徒が見られた。前者のアナロジーを使用することがなかった生徒は、第二節で検討したように、同一事象を特徴付ける異なる物理的な状態を述べるだけであった。それは、問いに含まれる前提条件をあたかも「原因」であるかのようにして、説明しているのであった。具体的には、問いに含まれる「融解しているとき」という条件の表現を、「融解しているから」という擬似的な原因の表現へと置き換える、という言語的な操作を行っていたのである。このような説明の構成方法は、問いの構成要素を再配置しただけの素朴な構文論的なアプローチであり、それに基づいて構成された説明では、問いに含まれる情報以外のことには、実質的に触れていないのである。

一方、同じように「氷が融けている」という説明をした中学生・高校生で、インタビュー対象の生徒8名のうち、3名は、水の沸騰や凝固との類似性に基づいて、氷の融解において温度が変化しないことを説明していた。例えば、高校生 H13 は、沸騰とのアナロジーに基づいて説明を構成していた（表 21）。

表 21. 沸騰とのアナロジーに関する発話（高校生 H13）

H13 : 0°Cになると、温度が上がらないのは、多分、水だったら 100°Cで、沸点に達すると、液体から気体が変わるから、その間は常に、状態変化が起きているから、温度も上がり下がりしないで、一定のままだから。氷も同じように、そういう状態変化が起きているから、固体から液体に変わっているのかなと、思っ

(H13 : 高校生 H13)

沸騰や融解は、状態変化という同一のカテゴリーに含まれるものである。このように、同じカテゴリー水準の類似性に基づいた推論は、特殊帰納と呼ばれ、前提と結論のカテゴリ

リーが類似しているほど、推論から導かれる結論の確証性が高くなる（岩男, 2006）。このアナロジーを使用して水の融解と温度変化を説明することは、融解には沸騰や凝固と同じような温度変化の規則性がある、という一般性を提示することに等しい。これによって、氷が融解するときに温度が一定であることは、わざわざ新しい説明項と関連付けて説明しなければならない新奇の事態として扱われることになる。沸騰と融解が同じカテゴリーに含まれるものとして認定することで、認知的な葛藤の高まりが回避されることが見込まれるのである。ただし、このようなアナロジーによる説明では、どうして温度が変化しないのかという問いに直接的に答えたことにはならない。むしろ、先の問題を変形した「どのように温度が変化するのか」という問いに答えているのにすぎないのであった。

もちろん、融解と沸騰や凝固とのアナロジーから、ここでの問いに対する適切な説明（因果的な説明）を構成できないということではない。蒸発熱の観点から、沸騰のときに温度が変化しないことを理解できていれば、融解と沸騰とのアナロジーにより、融解における温度変化を因果的に説明できる。しかしながら、今回の調査では、このような説明をした中学生・高校生は、確認できておらず、近接領域からのアナロジーは、理論的な説明を転用するというよりはむしろ、着目している現象の一般化を図るために使用されていた。アナロジーに少なくとも言及することなく同様の結論を導いた生徒と比較すると明らかのように、同じような内容を説明しているように見えるものの、アナロジーの有無とある場合の使用方法を考えることによって、中学生・高校生の科学的な現象の説明の構成には、明らかな差異が認められる。

(2) 説明対象に含まれる属性の加除と自分の説明の正当化・擁護

一般的に、「加熱すれば温度が上昇する」と理解している中学生・高校生にとって、「加熱しても温度が上がらない」ことは、自分の考えとの矛盾を感じる可能性が高い。中学生・高校生の氷の融解の説明でも、新しく属性を追加することや、必要な属性を除去することなどが見られる。アナロジー使用の有無に関わらず、このような説明の構成が見られるのであるが、アナロジーを使用して説明した中学生・高校生の場合、当該アナロジーによって、そこに含まれる属性の加除を進めているのである。それは、前述したように、ベースの検索方法とも密接に関連しており、単純に加除のいずれかのみが発生しているわけではないが、中学生・高校生が近接領域からアナロジーを考える場合、必要な属性が除去される傾向につながっている。一方、遠隔領域からのアナロジーの場合、新しく属性が追加さ

れることもある。例えば、高校生 H14 は、人間を例とする恒温動物とのアナロジーに言及していた（表 22）。当然のことながら、恒温動物とは違って、氷にはそれ自身で温度を調節するような性質はない。この点が、新しく追加された属性である。

表 22. 恒温動物とのアナロジーに関する発話（高校生 H14）

H14：なんか感覚的なんですけど、氷、氷もなんか動物のあの、恒温動物で
すかね、私たち人間は。あの外気のなんでしたっけ、熱に影響されて、熱
が上がっていくというのはなくて、自分で調節できるみたいな。なんか
イメージがあるんです。氷に。

(H14：高校生 H14)

アナロジーの使用に伴って説明対象（ターゲット）に含まれる属性の加除が見られることは、アナロジーに起因すると推定されるオルタナティブコンセプションについて見られる共通点として指摘される（Spiro, Feltovich, Coulson, & Anderson, 1989: 498-510）。中学生・高校生のアナロジー使用でも、属性の加除がある点で共通する認識論的な特徴と言える。

言明された説明についての対話的な過程において、中学生・高校生の自発的なアナロジー使用が促進されたと思われることから、上述の属性の加除という認識論的な側面以外にも、社会的な側面でのアナロジーの使用方法が考えられる。つまり、それは、他者から向けられた自身の説明への質問や疑義に対して、自分の説明を正当化する、あるいは擁護するといったアナロジーの使用方法である。今回のインタビュー調査は、調査者が中学生や高校生の記述や発言の内容を詳細かつ明確に把握しようとして行ったものであったが、このような経験が乏しいと思われる中学生や高校生にとっては、他者から向けられた自身の説明への疑義あるいはさらなる説明の要求であるように感じられたのかもしれない。例えば、高校生 H10 は、インタビュー調査の後半では、自分の説明の問題点が指摘されていると感じ、「別に納得しているわけじゃないけど、考えた中でこれ（自分の説明）で思い込んでいけば、そうだなって考えられるって感じがする」と述べている。

いずれにせよ、自然現象についての説明を構成する場面のみならず、言明された説明についての対話的な過程において、中学生・高校生の自発的なアナロジー使用が促進されていたことを踏まえると、自身の説明の正当化や擁護といった社会的な側面でのアナロジーの使用方法がありうると言える。

(3) 既存の科学的な知識の精緻化

インタビューした中学生・高校生のうち5名の生徒は、当該現象の温度変化を適切に説明していた。そのうち、高校生 H12 だけは、教わったというよりもむしろ、問題提示場面で即興的にアナロジーを自発的に考え出して、熱エネルギーが融解にのみ使われているから温度が上がらない、という結論を導いていたのであった（表 23）。

この高校生 H12 は、人のやる気を熱エネルギーに、周囲のプレッシャー（この生徒の表現では、「ストレス」）を氷に対応付けていた。インタビュー調査での発話では明瞭な言語表現こそなされていないものの、高校生 H12 は、やる気にみなぎる人は、いろいろなことに挑戦したいと思っているのだが、周囲からのプレッシャーがあつて、一つのことに専念せざるを得なくなる、ということ当該アナロジーのベースとして考えているようであった。ただし、当該アナロジーの属性レベルでの対応関係については、必ずしも明瞭に意識されているわけではなかった。むしろ、このような経験と融解との類似性とは、具体的な属性レベルでのそれではなく、むしろ二つできることがあるにもかかわらず、一つのこゝとしか実行に移せない、という文脈レベルでの類似性である。

高校生 H12 は、加熱による温度変化と加熱による状態変化についてのそれぞれの既存の科学的な知識の整合性を保ったまま、それらを組織化することに成功している。擬人的なアナロジーによる説明それ自体は、いわゆる、科学的な説明とは言えないものの、導かれた結論は科学的に適切なものであつて、関連する科学的な知識と矛盾していない。

一方、同じようにアナロジーを用いながらも、適切な説明を構成できなかった中学生・高校生もいた。それらの生徒との差異の一つは、既存の科学的な知識の活かし方という点にあつた。後者に属する中学生・高校生は、アナロジーによって属性の追加や除去が生じたために、結果的に、そして、しばしば無自覚的に、既存の科学的な知識との矛盾を引き起こしている。それに対して、アナロジーを使用しても適切な説明を構成できた生徒は、関連する既存の科学的な知識を十分に組織化できていた。加えて、属性レベルでの類似性ではなく、文脈レベルでの類似性に基づいて、アナロジーを構成していたことが、属性の加除が生じにくくなるという点で有利に働いたのである。このことは、ターゲットを理解したり、その問題を解決するためにベースが使えるかどうかという最終的な段階では、目的・文脈などの実用的な要因が重要である、という心理学的な知見とも符号している（Thagard, 1992）。

表 23.人の集中力とのアナロジーに関する発話（高校生 H12）

H12 : 温度を上げるためのエネルギー分が、全部氷を融かすエネルギーになる。同時に二つのことはできないので、温度は上がらない。
R : それって授業で習った感じ、覚えていたって感じ。それともあのとき考えた感じ？
H12 : 考えた感じですね。
R : ああ。
H12 : なんか、なんつうか、人生経験的な考え方ですけど。
R : ほうほう。そこをもう少し聞きたいな。人生経験的な考え方っていうのを。
H12 : なんつうんだろうな。
R : ここのこといっているでしょ。二つのことは、同時にできない。自分にとってなんだろう、同時に二つのことができないって。
H12 : 自分の頑張りが、熱エネルギーだとすると、周りのストレスとかが氷とするじゃないですか。したら、なによく分からないです。どう。なんかこう。
R : 人のあれと似ていると。自分の集中力も、スポーツやっているときは、勉強はおろそかになるになるとか、そういう感じのイメージ？
H12 : そんな感じですね。
R : なるほど。っていうのをそのときにぱっと思ったと。

(H12 : 高校生 H12, R : 調査者)

もちろん、既存の知識の組織化は、理論的に考えれば、必ずしもアナロジーに依らなくても可能である。例えば、中学生や高校生が潜熱や熱運動について知っていれば、これらの観点から既存の科学的な知識を組織化できるだろう。しかし、調査時点で、生徒たちは熱運動等については学習していなかったのである。単純に一般化できないが、少なくとも高校生 H12 の例に見られるように、関連する知識が乏しかったにもかかわらず、アナロジーによって、既存の科学的な知識を整合的に組織化し、概念的な理解の初期段階へと到達する可能性が示唆されるのである。

第五節 科学的な熟達者との比較に基づく中学生・高校生のアナロジーの使用特性

第一項 科学領域の熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用の共通点と相違点

(1) 科学の方法としてのアナロジーと学習の方法としてのアナロジー

科学領域の熟達者である科学者と中学生・高校生では、学習場面において、自発的にアナロジーを使用するという点では、共通性が見られた。自発的にアナロジーを使用することが、熟達者としての科学者と初心者に共通する特徴であると指摘されている（Clement, 1998:1278）。つまり、科学者であっても中学生・高校生であっても、学習の方法としてのアナロジー使用は共通している。未知なる問題への遭遇という認知的な困難に直面する状況で、自発的にアナロジーを使用するということは、熟達度にそれほど強く規定されているものではなく、より一般的な傾向として捉えられるのである。

それに対して、アナロジー使用に着目したときの科学者と中学生・高校生との相違の一つは、アナロジー使用の目的あるいは機能に表れている。中学生・高校生がもっぱら科学的な知識の習得のためにアナロジーを使用しているのに対して、科学者は、科学的な知識の伝達や習得のみならず、科学的な知識の産出の多用の過程でもアナロジーを使用している（Dunbar, 1997）。アナロジーによる説明の付与は、科学的な知識や科学的な探究の経験でのギャップがある当事者間で交わされる対話的な過程で見られており、その場合、科学的な知識の伝達と習得が目的とされている。このことは、少なくともアナロジーを導入しようとする科学者が、対象となるターゲットについて、一定の科学的な知識が構築・蓄積されていることを含意しているのである。それに対して、アナロジーが使用される仮説の形成、実験の計画と改善の場面では、実験室活動に参加するいずれの科学者であっても、必ずしもターゲットについての確かな知識をもちあわせてはおらず、この探究の過程を経て、新しく科学的な知識が産出されうるのである。このように、新しい科学的な知識が産出される過程において、アナロジーを使用しており、それが重要な認知的な役割を果たしているという意味で、科学者は、科学の方法としてもアナロジーを使用している。

一方、科学領域では、それが既に知られているようなことであれば、個人的な次元では新規の知識であっても、社会的な次元では既存の知識を習得したことになる。社会的な次元で捉えれば、新しい科学的な知識が産出される過程という意味で、一次的な過程である。それが広く伝達されて習得されていく過程は、前段階以降の社会的な過程という意味で、二次的な過程である。ただし、一次的な過程のみでアナロジー使用を考えた場合、理科カ

リキュラムに即して学習する中学生・高校生にとっては、一般的な理科授業でのアナロジー使用は、科学の方法としてのそれとは見なされない。

理科教育の中心的な活動が二次的な過程に位置する状況ではあるが、その一方で理科教育では、科学的な知識のみならず、科学の方法を習得することが掲げられていることに鑑みて、科学の方法としてのアナロジー使用とは、科学的な探究過程においてアナロジーを使用し、既存の科学的な知識を再発見しようとする認知的な活動として広く捉えることもできる。本研究で調査した中学生・高校生のアナロジー使用には、そのような試みは見られなかった。着目している現象を説明するという問題での調査であっても、アナロジーを使用して仮説を形成することや別の現象を予測することは可能性として考えうるが、中学生・高校生は、当該現象を受け入れ、説明を構成しようとして、アナロジーを使用していたのである。それは、学習の方法としてのアナロジーの使用であったのである。

(2) アナロジーの生成の様式とその機能的な活用

熟達者のアナロジーの生成について見た場合、それぞれ原理、連想、変形を経ての生成という3種類の様式が認められている (Clement, 2008)。これに基づいて、中学生や高校生のアナロジーの生成について見た場合、第一に、連想を経ての生成であると考えられる事例がその他の2つに比べて多く見られた。第二章で述べたように、高校生は、教師が導入したアナロジーを受容する過程において、文脈化を含めた変容的な受容を行う傾向があった。高校生は、教師が導入したアナロジーを手がかりとしながら、ターゲットから連想されるようなベースを選択し、意味内容を豊富化するなどしていた。例えば、高校生による野菜の生産・販売、あるいは水の循環とのアナロジーは、ターゲットであるダニエル電池とは直接的な関連性があるものではなく、あくまでも高校生が自分の既存の知識や経験に基づいて考え出したものである。また、中学生・高校生によるお金、人の集中力、恒温動物とのアナロジーも、ターゲットである氷の融解現象とはほとんど関連性がないものであり、やはり中学生や高校生が自分の長期的な記憶の中から取り出してきたものである。

中学生と高校生が生成したアナロジーには、化学電池でも状態変化であっても、つまり、対象となる事物・事象が変わっても、擬人的なアナロジーが含まれていた。生物分野とは違って、物理・化学分野で人とのアナロジーを考えるような場合、ベースとしての人の特性や活動は、およそターゲットとは直接的な関連性もなく、あくまでも学習者のこれまでの知識や経験といった長期的な記憶の中からベースの検索が行われるような連想を経て、

アナロジーが生成されていると想定できるのである。連想を経て生成されたアナロジーは、その生成過程を反映して長期的な記憶として保持されやすい。なお、熟達者の場合、連想を経ての生成、あるいは、遠隔領域でのアナロジーの生成であっても、擬人的なアナロジーについては報告されていない。

第二に、中学生や高校生のアナロジーの生成では、変形や原理を経ての生成と同じとはまで言えないものの、それに近いと思われるような生成の様式が見られた。ただし、その生成の様式の質という点では、熟達者と比べて、中学生・高校生のそれは、十分なものではなく、理科学習を促進するような機能を果たしていなかった。

変形を経ての生成に関して言えば、第三章で見たように、中学生・高校生はターゲットとなる氷の融解現象を変形してベースを選択・構成していたが、その認知的過程では、表面的な特徴のみが着目され、当該現象の重要な部分が保存されておらず、適切な説明を構成できていなかった。また、同じ変形であっても、ターゲットを説明しうるベースを構成するような変形ではなく、当初課された問題状況を別の問題状況へと作りかえるような変形が見られた。説明の構造と関連付けて言えば、前者は、被説明項から説明項ができるような変形であるのに対して、後者は、ある被説明項から別の被説明項を作り出すような変形であった。問題解決や科学的な探究の過程での熟達者は、前者のような変形に取り組んでいた。もちろん、熟達者であっても、問題設定や視点を変えるときに、後者のような変形を行うこともあり得るが、中学生・高校生の場合は、変形する場合であっても、変えてはいけない重要な部分が保存されていないこと、認知的な葛藤の回避を主たる目的として行われていることなどが見られ、概念的な理解の促進という点では十分な機能を果たしていなかったのである。

原理を経ての生成に関して言えば、熟達者で見られたように、抽象的な知識や原理を演繹的に適用できる事例を検索するようなものは、中学生・高校生では見られなかった。ただし、抽象的な知識や原理を科学的な領域のそれに限定しないとするならば、中学生・高校においても、原理を経ての生成に近いものが見られた。それは、概念的メタファーを経ての生成と言えるようなものであった。ダニエル電池での概念的な理解において、一部の高校生は、教師が導入したアナロジーを受容する過程において、関連の概念的メタファーを想起し、それが適用できうる個別的な事物・事象あるいは概念を導いていた。この場合、具体的な事物・事象よりは、「釣り合い」「平等」のような抽象的な概念であるものも多く、アナロジーというよりは、個別的なレベルでの概念的メタファーであった。高校生であっ

でも、抽象的な知識や概念から、個別的・具体的な事物・事象や概念を想起してきたという意味で、演繹的な過程としての側面をもつような、原理を経ての生成に近いものを考えていたと言える。ただし、熟達者の場合とは異なり、それらは必ずしも科学的な理解を促進するような働きにはなっていなかった。

特定のアナロジーの生成様式に依らず、熟達者と中学生・高校生との間では、アナロジーの基礎とする類似性の種類に違いが認められる。一般的に、熟達者も中学生・高校生もベースとターゲットとの表面的な類似性を手がかりとして、ベースを検索している。科学者は、コミュニケーションをとる対象とその目的や目標に応じて、アナロジーの使用の仕方を変えており、モデルや仮説の形成の場面では、より高次の関係性に着目するのであった (Dunbar, 2001)。一方、中学生・高校生は、ベースとターゲットが離れている領域のアナロジーを生成する場合、属性レベルだけではなく、関係レベルの類似性にも着目するのであるが、それはあくまでも四項類推 (例えば、 $a:b = A:B$) に相当する対応関係の構成に留まっている。また、科学者は、近い領域のアナロジーを生成する場合、より高次の関係性を考慮するのに対して、中学生・高校生は、表面的な類似性にとらわれ、科学的な現象を部分的にしか説明できていない状況にあった。このように、熟達者と比べて、中学生・高校生のアナロジーの生成では、より高次の関係性に着目することが課題である。

(3) 省察的な認知的操作としてのアナロジーの評価の様式とその重点的な使用

熟達者と初心者のアナロジー使用の比較においては、アナロジーの生成と並んで、アナロジーの評価も重要な観点とされ、特に、両者の違いが認められる部分である (Clement, 1989)。熟達者のアナロジーの評価について見た場合、ひとたびベースとターゲットとの関係が構築されたのちに、新たなるベースを検索し、その意味内容を変化させるなどの認知的操作が繰り返されることが特徴として挙げられる。そこでは、当初のアナロジーに加えて、新規のアナロジーが生成されることや当初のアナロジーが修正されて、改訂された形で別のアナロジーが生成されることもあり、複数のアナロジーが扱われる過程でもある。

熟達者がアナロジーを生成し、評価する状況としては、実際に観察・実験などの現実世界での実証的な検証を行う状況と、観察・実験などを伴わず理論的な検証を行う状況が考えられる。このような区別は、観察・実験の計画と実行に関わる「実験空間」、理論や仮説の形成と評価に関わる「仮説空間」に対応付けられる (Klahr & Dunbar, 1988)。前者の状況では、科学者は、科学の方法としてアナロジーを使用しており、特に、実験的手法を用い

た研究を行っている場合、そのアナロジーの評価は、そこから設定・構想された仮説や実験計画の実証的な検証にそもそも組み込まれた、一体的なものとなっている。ただし、アナロジーを生成していたミーティングなどの後では、科学者は必ずしも自分自身が考えたアナロジーを記憶していないこともあり (Dunbar, 1997: 476-477)、観察・実験といった実証的な検証が実質的にアナロジーの評価になっているとしても、それを意識的に行っているとは言えない点で留保が必要である。後者の状況では、前者の観察・実験を通じてアナロジー評価が行われる状況とは違って、アナロジーを生成した主体が意識的に当該アナロジーの妥当性を評価している点で、特徴的である。しかも、アナロジーの妥当性が、問題の解決方法や構築した理論の適切性・有効性にも密接に関わっているという認識の下に、アナロジーの評価が重視されているのである。観察・実験を行わない状況で、アナロジーを評価することになるために、動的な認知的操作を伴うアナロジー評価の様式を繰り返すことになる。このことから、熟達者のアナロジーの評価は、実際の事物・事象を扱う現物実験とは対照的に、概念的な世界での認知的な操作による検証を行っているという意味で、思考実験としての性格を帯びている。

一方、上述の熟達者の2つの状況でのアナロジーの評価と、中学生・高校生のそれを比較した場合、第一に、中学生・高校生のアナロジー使用では、科学の方法としてのそれではなかったことをあつたことを踏まえると、観察・実験などの実証的な検証を行ってのアナロジー評価自体も行われていない。第二に、中学生・高校生のアナロジー使用は、もっぱら学習の方法としてのそれであったことを考慮すると、熟達者の理論的な検証を行う状況と比較できうるが、少なくとも今回の調査での中学生・高校生がアナロジーの評価を行っている場面は、見受けられなかった。

これらのことを踏まえると、熟達者は、アナロジーの生成・評価・修正を繰り返しているのに対して、中学生・高校生は、たいていアナロジーを生成する段階で留まっているのである。しかも、調査者からの個別のアナロジーへの質問に対しても、アナロジーを評価・修正しようとするのではなく、むしろ、それを回避・拒絶するような方向へと向かっていたのである。つまり、熟達者が自己のアナロジーを客観的・批判的に捉え、アナロジーの評価・修正に対して開かれた態度をもっているのに対して、中学生・高校生には必ずしもそのようなことは見られず、客観的・批判的な視点をもつまでには至っていなかったのである。このことが要因の一つとなって、ベースとターゲットを同一視するなどの問題解決や概念的な理解の促進での課題が生じうるのである。

(4) 他の思考様式とアナロジーの共起・併用・調整

科学者の科学的な探究過程では、問題解決や科学的な探究という目的を達成することを目指して、アナロジーを含めた各種の思考様式が複合的に用いられている (Dunbar, 1997: 484-488; Nersessian, 2002)。それに対して、中学生・高校生のアナロジー使用について目を移してみると、熟達者とは異なり、アナロジーとそれ以外の思考様式を併用しながら、認知的な困難を克服しようとする状況は見られなかったのである。

併用的な使用の有無を議論する前に、中学生や高校生は各種の思考様式、例えば、思考実験を行うことができるのかという点については、理科系大学生と理科教師 (Reiner & Gilbert, 2000)、中学生と高校生 (Stephens & Clement, 2012) をそれぞれ対象とした先行研究を踏まえると、中学生や高校生であっても、現物実験を行えない状況やそれを行う前の段階で、実験的な状況を想定して実行し、実験的な結果に相当とする知見あるいは予測を得るという認知的な活動、つまり、広義の意味での思考実験ができる能力が発達していることを想定できるのである。

今回の中学生や高校生では、アナロジーとそれ以外の思考様式、特に思考実験との併用が見られなかったことを考えてみると、中学生・高校生にとって、個々の思考様式がそもそも使用できるような認知的な発達段階にはなかったという可能性以外も考えられるのである。つまり、仮にアナロジーや思考実験の思考様式をある程度習得していたとしても、科学的な文脈での認知的な課題に直面して、両者が共起したり、併用されたりすることが自発的には起こりにくいと推定される。

(5) 対話過程での説明としてのアナロジーの使用と認知的な葛藤の生起

科学的な熟達者は、自分の考えの主張と他者のそれとの違いを意識した上で説明するためにアナロジーを効果的に使用している (金子, 1986: 208-230)。一般的に、他者を説得することを旨としてアナロジーを使用する場合⁹⁾、ターゲットと離れた領域のベースを選択し、より感情的に訴えかける内容を取り入れる傾向が指摘されている (BouJaoude & Tamin, 2000)。科学者の場合、議論の対象となっている事物・事象に関する科学的な知識を有しているだけでなく、それに関する議論での主張や見解の相違点が意識化されており、必要に応じてアナロジーや思考実験を導入して、あるいは双方を併用して使用することで、自分の考えを主張し、他者を説得するような言語的行為ができるのである。そこでは、内的に処理・遂行される認知的な操作とその過程を言語化して外化する言語的行為が、有機

的に関連付けて行われているものと考えられる。科学者は、自然を説明するためのアナロジーと、他者に説明するためのアナロジーを使い分けて、ベースの選択、類似性の水準を柔軟に変化させている。

一方、中学生・高校生であっても、他者から説明を求められたときに、特に、自分自身の説明や考えの問題点を指摘されるような場面で、自発的にアナロジーを使用して、認知的葛藤を回避するようなことが見られた。自分とは考えが異なる他者に対して説明するためにアナロジーを使用する事例が先行研究でも報告されている。しかしながら、中学生や高校生がアナロジーと思考実験を関連付けて使用すること、考えの異なる他者へ説明するために、アナロジーの内容を柔軟に変化させて使用することは、今回の調査からは確認されておらず、中学生・高校生の一般的なアナロジー使用とは言えない。

第二項 科学領域の熟達者との比較に見る中学生・高校生のアナロジーの使用特性

これまで述べてきたことを踏まえて、科学領域の熟達者、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を要約することにしたい。その際、序章で述べた 5W1H の観点と熟達者研究の知見から、アナロジーの目的・機能、アナロジーの生成、アナロジーの評価、アナロジーの内容領域、アナロジー使用とその環境という 5 つの観点を設定した。これらの観点に基づいて、科学者、中学生・高校生という科学領域の熟達の程度が異なる両者について、アナロジーの使用特性を整理すると、表 24 のとおりとなる。

科学者と中学生・高校生のアナロジー使用における共通点と相違点を、端的に述べるとすれば、それぞれ次のように指摘できる。両者に共通するのは、いずれも認知的な必要性を感じる状況で、自発的にアナロジーを使用し、問題の解決や状況の改善を試みようとするところである。ただし、そのような試みは、そこからもたらされる結果の成否や質を保障するものではない。

両者で相違するのは、第一に、アナロジー使用の目的や機能である。この相違は、両者の科学領域における関与や熟達度の違いから生じるものであり、アナロジー使用の認知的な操作での違いに反映されていると考えられる。第二に、アナロジー使用の過程の力動性である。科学者のアナロジー使用は、アナロジーの生成・評価・修正の過程が一体的に遂行されている、さらには、他の思考様式との併用も見られるなど、連続的・体系的な活用過程として特徴付けられる。第三に、状況に応じて、表面的な類似性だけではなく、より高次の関係性に基づいたアナロジーも活用している。それに対して、中学生・高校生のア

ナロジー使用は、アナロジーの自発的な生成が見られるものの、その後の認知的な操作が伴わないという意味で、より一回的な活用過程として特徴付けられる。また、表面的な類似性に基づいたアナロジーの使用やベースとターゲットとの比較である傾向が見られ、表面的な類似性を越えた関係・構造に基づく認知的過程というアナロジーの本質的な作用を十分に生かし切れていない。

表 24. 科学的な熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用の比較

比較の観点	科学的な熟達者	中学生・高校生
科学領域での熟達	<ul style="list-style-type: none"> 一定水準の理科学習課程を修了している。 日常的に、自律的な研究活動を遂行している。 科学的な知識が豊富であり、構造化されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 理科学習の初中期段階にある。 科学的な知識が十分に習得されておらず、オルタナティブコセプションが見られることもある。 必ずしも理科学習に動機付けられていない。
アナロジーの目的・機能	<ul style="list-style-type: none"> 問題解決の方法として使用している。 科学的な探究の方法(仮説設定, 実験企画, 理論構築など)として使用している。 研究グループ間での科学的な知識の伝達や意見の異なる他者の説得の方法として使用している。 	<ul style="list-style-type: none"> 自然の事物・事象の説明を構成する手立てとして使用している。 自己の認知状態の表現や説明の方法として使用している。 学習過程での認知的な葛藤を回避する手段にもなっている。
アナロジーの生成	<ul style="list-style-type: none"> 問題解決/科学的な探究過程で自発的に生成している。 状況に応じて、多様な生成様式(連想・変形・原理)が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 認知的な課題に直面した場面で自発的に生成することがある。 教師や他の生徒のアナロジーに誘発されて生成することもある。 連想を経て生成する傾向が見られる。
アナロジーの評価	<ul style="list-style-type: none"> 省察的な認知的操作として多様な評価様式(写像・橋渡し・変形・シミュレーション)を活用している。 生成のみならず、評価に重点が置かれている。 	<ul style="list-style-type: none"> 自己の生成したアナロジーの限界までは考慮している様子が認められない。 アナロジーを評価する場面が見られない(重視されていない)。
アナロジーの内容領域	<ul style="list-style-type: none"> ターゲットに近い領域からベースが選択される傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> 生命現象に限定されず、自然を擬人化したアナロジーが見られることが多い。
アナロジー使用とその環境	<ul style="list-style-type: none"> アナロジー使用は、生成・評価・修正という連続的・体系的な過程である。 他の思考様式(思考実験)と共に併用されることがある。 科学的な探究過程で生成されたアナロジーは、記憶に残りにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 他の思考様式とアナロジーを併用する事例はほとんど見られない。 教授上の支援を含め、一定の学習環境が整えば、科学者と同様の認知的な操作を利用した学習活動が展開できる場合がある。

本章のまとめ

研究課題(1)について、第一に、中学校・高校「物質の状態変化」を事例にし、認知的な葛藤事例の提示およびその説明を構成する過程に着目して、中学生・高校生のアナロジー使用の特性を解明した。具体的には、中学生・高校生のアナロジーの使用場面として、認知的な葛藤を生じるような事象の説明を構成する過程や他者との対話的な過程において、自発的にアナロジーを生成し、使用する傾向があることを明らかにした。また、中学生・高校生が使用するアナロジーの内容として、教師などから求められて生成する場合とは異なり、ベースとターゲットとの距離が近い領域からもアナロジーも見られることを指摘した。それには、問題を求める問い自体を變形することも含まれるのであった。さらに、中学生・高校生の科学的な現象での説明におけるアナロジーの機能として、着目する現象の一般化や限定化、認知的な葛藤状況の回避、自己の説明の正当化や擁護のように、理科学習を停滞させることもある一方で、既習の科学的な知識の組織化のように、概念的な理解を促進することも十分ありうることを示した。

科学領域の熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用を比較対照し、両者の共通点や相違点を抽出し、中学生・高校生のアナロジーの使用を特徴付けた。具体的には、アナロジーの目的・機能、アナロジーの生成、アナロジーの評価、アナロジーの内容領域、アナロジー使用とその環境という観点から、中学生・高校生のアナロジー使用の特性を明らかにした。アナロジーの目的・機能について、熟達者が科学の方法としても使用する一方で、中学生・高校生はもっぱら自然の事物・事象の説明を構成する手立て、あるいは、認知状態の表現や説明の方法として、また、認知的な葛藤を回避する手段として、アナロジーを使用していることなどを指摘した。アナロジーの生成について、熟達者と同様に、中学生・高校生は自発的にアナロジーを生成・使用する傾向があること、それが見られるのは、認知的な困難に直面した場面、対話的な過程、他者のアナロジーに関与する状況であることなどに言及した。アナロジーの評価について、これが熟達者との相違が顕著に見られた部分であり、中学生・高校生は、自己の生成したアナロジーを評価することにさほど重点を置いていないことを示した。アナロジーの内容領域について、熟達者は、ターゲットに近い領域のベースを選択するのに対して、中学生・高校生は、生命現象に限定されず、自然を擬人化したアナロジーを使用する傾向があることを論じた。アナロジー使用とその環境について、熟達者にとってのアナロジー使用は生成・評価・修正という動的過程であり、他の思考様式と併用されるものであるが、中学生・高校生には、そのようなアナロジー使

用の事例が見られず、アナロジーを生成するだけの単発的な認知的活動に留まっていることなどを述べた。

次章では、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的な枠組みを提示し、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを提案する。それに基づいて中学校「電気回路」の授業を開発・実践し、理科授業において当該教授ストラテジーが有用であるのかを実証的に検証する。

註

- 1) A 中学校の生徒は、平成元年度改訂の『学習指導要領』（文部省，1989）に準拠して、B, C, D 高校の生徒は、平成 10 年度改訂の『学習指導要領』（文部省，1999a）および平成 11 年度改訂の『学習指導要領』（文部省，1999b）に準拠して、それぞれ学習していた。中学校段階と高校段階の導入的な科目では、粒子の観点から物質の状態変化を理解することが求められており、高校段階の専門科目になり、熱運動の観点から物質の状態変化を捉えることが求められるようになる。物質の状態変化に関する学習に関しては、中学生と導入科目を履修する高校生では、熱運動概念の学習経験の有無という点では、理科カリキュラムの構成上では、同程度の学習経験を有すると仮定できる。
- 2) 科学史では J.ブラックによる状態変化における潜熱の発見が、熱概念と温度概念を区別する契機となったとされているが、その具体的な考察の対象となった現象の一つは、ここで着目している水の融解と温度変化であった（高林，1999: 43-50）。
- 3) 当該内容についてアナロジーを使用して考えるのは、中学生・高校生だけに限定されるものではない。山本（2008: 302-305）は、「固定空気」（二酸化炭素が生石灰に固定されること）に関する研究も行っていた J.ブラックが、「空気（実際は二酸化炭素）の固定」とのアナロジーで「熱の固定」の発想を得た可能性も指摘している。
- 4) B 高校の生徒に対しては、資料 10 の問題を使用し、C, D 高校の生徒に対しては、資料 11 の問題を使用して、調査を実施した。
- 5) オグボーンら（1996）が挙げている説明の意味付けに関わる四要素の残りは、「差異を創り出すこと (creating differences)」、「知識を変形させること (transforming knowledge)」、「事柄に意味を込めること (putting meaning into matter)」である。
- 6) 基準とした高等学校の教科書は、理科総合 A の教科書（7 社 10 冊）である。なお、その教科書は、以下の通りである。長倉ら（2004a: 44, 74-76）、長倉ら（2004b: 36-38）、白石ら（2004: 64-67）、佐藤ら（2004: 28-29）、細矢ら（2004: 8, 77）、太田ら（2003a: 72-73）、太田ら（2003b: 102-103）、小宮山ら（2004: 35-37）、佐野ら（2004: 4-5, 74-75）、佐野ら（2004: 8, 116-117）。なお、状態変化において温度が変化しない理由を記述している教科書は、4 社 4 冊であった。そのうち 3 社 3 冊の教科書では、「加えた熱が融解にのみ使われている」という意味の記述がされており、残り 1 社 1 冊の教科書では、「加えた熱は、粒子間の結合を弱めたり切ったりするために使われる」という意味の記述がされていた。
- 7) 昭和 52 年の学習指導要領改訂以降、熱平衡などの熱力学的内容の扱いが減少している。

- 8) 中学生（7 学年，12 歳）を対象にした調査では，日常生活に関する 2 つのカテゴリーが全体の 6 割強を占めていた（BouJaoude & Tamin, 2000）。
- 9) 科学領域に限定せず，アナロジーは，他者を説得するときの言語的技法（修辞法）の一つとしてよく知られたものである（浅野, 1996: 141; 奥田, 2009: 104-106）。

引用文献

- 浅野檜英 (1996). 『論証のレトリック-古代ギリシャの言論の技術-』 講談社.
- BouJaoude, S., & Tamin, R. (2000). Analogies Generated by Middle-School Science Students—Types and Usefulness. *School Science Review*, 82(299), 57-63.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press (小島康次, 小林好和 (訳) (1994). 『子どもは小さな科学者か—J.ピアジェ理論の再考—』 ミネルヴァ書房).
- Clement, J.J. (1989). Generation of Spontaneous Analogies by Students Solving Science Problems. In D.M. Topping, D.C. Crowell, V.N. Kobayashi (Eds.). *Thinking Across Cultures: the Third International Conference on Thinking*. (pp.303-308). Routledge.
- Clement, J. (1998). Expert Novice Similarities and Instruction Using Analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1271-1286.
- Clement, J. (2008). *Creative Model Construction in Scientists and Students; The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation*. Springer.
- Cosgrove, M. (1995). A Study of Science-in-the-making as Students Generate an Analogy for Electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Dunbar, K. (1997). How Scientists Think: On-Line Creativity and Conceptual Change in Science. In B.W. Thomas, M.S. Steven, & V. Jyotsna (Eds.), *Creative Thought; an Investigation of Conceptual Structures and Processes* (pp.461-493). American Psychological Association (山崎治 (訳) (1999) 「科学者の思考法—科学におけるオンラインの創造性と概念変化—」 岡田猛, 田村均, 戸田山和久, 三輪和久 (編著) 『科学を考える—人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点—』, 26-55, 北大路書房) .
- Dunbar, K. (2001). The Analogical Paradox: Why Analogy is so Easy in Naturalistic Settings, Yet so Difficult in the Psychological Laboratory. In D. Gentner, K.J. Holyoak, & B.N. Kokinov (Eds.). *The Analogical Mind: Perspectives From Cognitive Science* (pp.313-334). MIT Press.
- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Head and Temperature. In R. Driver, E. Guesne, & A.

- Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp. 52-84). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「熱と温度」『子ども達の自然理解と理科授業』, 72-111, 東洋館出版社) .
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M.W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Thagard, P.R. (1986). *Induction; Processes of Inference, Learning, and Discovery*. MIT Press (市川伸一 他 (訳) (1991). 『インダクションー推論・学習・発見の統合理論へ向けてー』新曜社) .
- 細矢治夫, 他 10 名 (2004). 『理科総合 A』三省堂.
- 岩男卓実 (2006). 「帰納」海保博之, 楠見孝 (監修) (2006). 『心理学総合事典』, 231, 朝倉書店.
- 金子務 (1986). 『思考実験とはなにかーその役割と構造を探るー』講談社.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- 小宮山宏, 他 6 名 (2004). 『理科総合 A 物質とエネルギーのサイエンス』数研出版.
- Kuhn, D. (1993). Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Lombrozo, T. (2006). The Structure and Function of Explanations. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(10), 467-468.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's Analogical Reasoning in a Third-Grade Science Discussion. *Science Education*, 90(2), 316-330.
- 文部省 (1989). 『中学校指導書 理科編』学校図書.
- 文部省 (1999a). 『中学校学習指導要領解説 (平成 10 年 12 月) 理科編』大日本図書.
- 文部省 (1999b). 『高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編』大日本図書.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書.
- 永井秀樹, 川北一彦 (1999). 「子どもが考えた電流モデルの有効性について」『理科教育学研究』, 40(1), 35-43.
- 長倉三郎, 他 26 名 (2004a). 『理科総合 A システムとしてみる自然』東京書籍.
- 長倉三郎, 他 26 名 (2004b). 『新編理科総合 A』東京書籍.
- Nersessian, N. J. (2002). The Cognitive Basis of Model-based Reasoning in Science. In P. Carruthers,

- S. Stich, M. Siegal (Eds.). *The Cognitive Basis of Science* (pp.133-153). Cambridge University Press.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Open University Press.
- 太田次郎, 他 19 名 (2003a). 『高等学校新編理科総合 A』 啓林館.
- 太田次郎, 他 19 名 (2003b). 『高等学校理科総合 A』 啓林館.
- 奥田博子 (2009). 「どのようにレトリック批評をするか」 鈴木健, 岡部朗一 (編) 『説得コミュニケーションを学ぶ人のために』, 83-121, 世界思想社.
- ポリア, G. (著), 柿内賢信 (監修) (1954). 『いかにして問題をとくか』 丸善.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological Resources for Thought Experimentation in Science Learning”, *International Journal of Science Education*. 22 (5), 489-506.
- 佐野博敏, 他 26 名 (2004a). 『高等学校新理科総合 A』 第一学習社.
- 佐野博敏, 他 26 名 (2004b). 『高等学校理科総合 A』 第一学習社.
- 佐藤文隆, 他 7 名 (2004). 『理科総合 A』 実教出版.
- 白石振作, 他 6 名 (2004). 『理科総合 A』 大日本図書.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L., & Anderson, D.K. (1989). Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition, In S. Vosniadou, & A. Ortony. (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 498-531). Cambridge University Press.
- Stephens, A.L., & Clement, J.J. (2012). The Role of Thought Experiments in Science and Science Learning. In B.J. Fraser, K.G. Tobin, C.J. McRobbie (Eds.). *Second International Handbook of Science Education* (pp.157-175). Springer.
- 高林武彦 (1999). 『熱学史 <第 2 版>』 海鳴社.
- Thagard, P. (1992). Analogy, Explanation, and Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.
- 戸田山和久 (2005). 『科学哲学の冒険—サイエンスの目的と方法をさぐる—』 日本放送出版協会.
- 山本義隆 (2008). 『熱学思想の史的展開 1—熱とエントロピー—』 筑摩書房.

第五章 アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づく理科授業の開発と実践

本章では、研究課題(4)に対応して、中学生・高校生のアナロジーの使用特性から見た既存の教授ストラテジーの課題と今日の理科教育論の要点と関連付けながら、理論的な検討を行い、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みを提案する。その基本的枠組みに従って、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの組織化を図り、それに基づいた中学校「電気回路」の授業を開発する。中学校「電気回路」の授業を実践し、質問紙調査や発話分析を通じて、その学習過程を検証する。授業実践の成果を踏まえて、当該のアナロジーによる教授ストラテジーの有用性を評価する。

第一節 学習者のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組み

第一章で述べたアナロジーの基礎的理論、そして、能動的な構成としての学習、自己調整としての学習、状況・文脈のなかでの学習、社会文化的な行為としての協同的・対話的な学習、主体的な関与の高まりとしての学習、熟達としての学習という視点からなる理科学習論を基底とし、学習者のアナロジーの使用特性として明らかになったことを中心にして、アナロジーによる教授ストラテジーの基本的な枠組みを提示する。

第一項 教授展開での中学生・高校生のアナロジーの顕在化と対象化

(1) 形成的評価としてのアナロジーと理解状態の把握

中学生・高校生が自発的に生成するアナロジーや、教師から促されて生成するアナロジーのいずれであっても、学習過程における理解状態の一端を反映しているという意味で、形成的評価としても期待される。

形成的評価という観点から見れば、まず、学習課題としての着目する事物・事象を提示する段階は、オルタナティブコンセプションを表出するような、自発的なアナロジーの生成が見られる場面である。また、教師や他の生徒などの他者のアナロジーを見聞した後の段階も、同様に自身の理解状態を反映したアナロジーの使用が見られる。回答として科学的な説明を求める場合、その説明の意味を理解しているのか、ただ機械的に記憶しているのかの違いが判別しづらいが、アナロジーによる説明では、いずれの説明であっても、生

徒が自分自身で構成した説明が回答として期待できる。加えて、学習後に意識的にアナロジーを生成させる活動を通じて、生徒の理解状態を把握することができる。授業の前後でのアナロジーの内容の変化には、概念的な理解の変化の一端が見られることが期待される。教師の立場からすれば、いずれのアナロジーであっても、中学生・高校生の発言や記述を通じて把握できる。ただし、ある理解状態にありながらも、クラスのすべての生徒が自発的に、もしくは意識的にアナロジーを生成できるとは限らないという点で制約がある。

(2) メタ認知の支援としてのアナロジーの意識化と対象化

形成的評価の資料としてアナロジーを顕在化させることで、教師が中学生・高校生の理解の状態を把握できるだけでなく、中学生・高校生自身が自分の理解している内容を捉えやすくなる。また、クラス全体として見れば、他の生徒が自分と同じ考えであるのか、あるいは、異なるのかということも考えやすくなることも期待される。形成的評価のフィードバックとしてアナロジーを利用する方法は、次のようなものが考えられる。

第一に、教師の教授的な働きかけにより、中学生・高校生のアナロジーを顕在化させる方法が考えられる。この場合、生徒のアナロジーは、自然の事物・事象についての理解の状態を把握する上で、教師と生徒の双方が着目する直接的な対象と位置付けられる。認知的な課題に直面する場面で、中学生・高校生が自発的に生成するアナロジーは、認知的な葛藤を回避するような理科学習の阻害的な働きを示すこともある。このようなこと踏まえると、教師からの発問や生徒の表現への着目などによって、意識的に当該アナロジーを把握することは、教師にとっては指導改善の、生徒にとっては自己の理解状態の把握と修正の、それぞれ手がかりとなりうるのである。

第二に、中学生・高校生の自然の事物・事象についての理解の状態について、教師が把握し、生徒の考えをアナロジーとして表現する方法が考えられる。この場合、教師には、生徒の理解の状態を把握する段階と、その理解状態をできるだけ適切に反映したアナロジーを構成する段階という、二段階の認知的な活動が求められる。二つ目の段階での教師のアナロジーは、概念的な理解の促進を目指して、科学的な知識に基づいて構成されるアナロジーとは異なり、むしろ、学習者のメタ認知の促進を目指して、形成的評価の情報に基づいて構成されるアナロジーである。このようなアナロジーを導入することによって、生徒が自分の考えをより分けることが意図される。特に、メタ認知を促すような問いかけだけでは、自己の理解の状態を十分に把握できない生徒にとっては、有効な方略となりうる。

第二項 アナロジーの生成・評価・修正過程の導入

(1) アナロジーの生成・評価・修正過程の導入とその重点としての評価

中学生・高校生には、認知的な課題に直面したとき、教師からアナロジーの生成を求められたとき、そして、教師がアナロジーを導入したときなどに、アナロジーを使用する傾向が見られる。特に、自発的にアナロジーを生成した場合には、当該のアナロジーを評価することや修正することまで行うのは、一般的ではない。場合によっては、誤解を生じる、あるいは、認知的な葛藤を回避しようとするなどの理科学習を阻害しうることもある。それに対して、科学的な熟達者は、アナロジーの生成や評価を個別の認知的な操作としてではなく、アナロジーの生成・評価・修正が一連の過程として繰り返し遂行している。この過程は、アナロジー使用による成果の有無に関わらず、メタ認知的活動としても、重要な役割を果たしている。このようなことから、アナロジー使用に伴う問題を軽減すること、学習の効果をより一層高めるという点から見て、アナロジーの生成・評価・修正過程の導入が重要となる。

(2) 概念的な世界でのアナロジーの評価としての思考実験

科学的な熟達者のアナロジーの評価を参考にすると、実際の事物・事象を扱って観察・実験を遂行することなしに、思考の内での検証を行う概念的な世界でのアナロジーの評価と、実際に現物の実験を企画・遂行して、予想と得られる結果との比較に基づいて検証を行う経験的な世界でのアナロジーの評価が考えられる。以下では、概念的な世界でのアナロジーの評価に着目する。

概念的な世界でのアナロジー評価については、思考の内、問題としている状況の要素を変化させるなどの認知的操作が特徴的である。その認知的操作は、シミュレーション的な性質からして、思考実験の一種である。以下では、アナロジーの評価に見られる認知的操作を含めて、概念的な世界において自然のシステムの振る舞いを予測・検証する思考様式を思考実験として扱うことにしたい。そうすることで、前述の認知的な葛藤の生起・促進の方法としてのアナロジーや思考実験を導入して、生徒の考えの妥当性を検証することは、アナロジーの評価に関わる場面とも見なしうるのである¹⁾。

さて、アナロジーの評価としての思考実験は、大まかに言えば、ベースでシミュレーションを行い、同様のことをターゲットでも遂行する場合と、ベースでのシミュレーションの結果を、ターゲットに適用する場合とがそれぞれ考えられる。ベースでのシミュレーシ

ョンとは、ベースを構成する要素間の関係に着目して、そのうちのいくつかの要素を変化させて、それに伴って変化する要素とその変化の有り様を特定する認知的な操作となる。ターゲット内でのそれは、ベースに対応する要素に着目して行われる。これらのシミュレーションをより実験的なものとして表現すれば、対象に関わる諸変数の中から着目する変数（統制、独立、従属変数）を決定し、独立変数の変化に伴って、従属変数がどのように変化するのかを観察するということである。このような過程を通じて、ベースとターゲットの属性を対応付けるだけの四項類推形式としての比較に留まらず、関係レベルや構造レベルでの関係性に着目したアナロジー的推論が促進されることになる。

そのシミュレーションの分析方法として知られているものに、What if 分析と呼ばれるものがある。これは、問題解決の場面において、「もし〇〇だったらならば、～であろう」という問いを設定して、当該問題の解決策を評価していく方法であり、多様な分野で活用されている（ブラウン・ワルター，平林監訳，1990: 41-79; National Research Council, 2000: 62-63）。一方，大学の化学授業の中で What if 分析を活用して，大学生がより科学的なモデルへと移行できうるかを検証した取り組みもあるが（Khan, 2008），少なくとも What if 分析を意識的に，アナロジーの評価として取り入れた試みは見られない。

アナロジーの評価として What if 分析を活用した場合，それを活用するときの言語表現には，一定の配慮が必要になってくる。理科教育における言語使用について，科学で使われる専門語のみならず，推論や因果関係，仮説形成に関わる論理接続詞 (logical connectives) などのような非専門語の使用に関わる課題が指摘されている（Wellington & Osborne, 2001: 7-23）²⁾。What if 分析を使用するに当たっては，その思考の方法からして，教師から生徒に対する発問は，通常疑問文の形をとると思われるが，そこで生徒が考えることになるのは，条件文の完成である。日本語という個別の言語に着目した場合であっても，条件文を含む論理文は難しい言語表現の一つである（バトラー後藤裕子, 2011: 68-71）。したがって，実地的な理科授業で What if 分析を活用する際には，条件文として意図した方向性へと思考が導かれるような言語表現に配慮する必要がある。このようなアナロジー使用場面での言語活動に関する配慮は，領域や共同体での固有性といった言語使用の社会的な側面も含む，社会的な構成としての理科学習環境の確立にもつながる。

(3) 経験的な世界でのアナロジーの評価としてのモデル実験

経験的な世界でのアナロジーの評価については，概念的な理解の促進を主眼とする理科

授業では、アナロジーのもっともらしさを検証する認知的な操作として位置付けられる。経験的な世界でのアナロジーの評価では、実際に現物の実験を企画・遂行して、予想と得られる結果との比較に基づいて検証を行う方法に加えて、モデル実験を活用するといった方策もある。モデル実験³⁾とは、多種多様に分類されるモデルのうち、対象とする事物・事象の大きさや素材などを変更し、操作可能なものにした物理的モデル（道具や装置）を活用して、条件等を変化させて結果が得られる実験もしくはそれに類似する行為である。

経験的な世界でのアナロジーの評価としてのモデル実験は、アナロジーを構成するベースとターゲットの橋渡しとして、双方に類似するモデル実験を開発し、導入するということが考えられる。そのとき、モデル実験は、オルタナティブコンセプションに由来するアナロジーであっても、科学的コンセプションにつながるアナロジーであっても、いずれもが検証可能であることが求められる。ただし、現実的な制約に縛られない概念的な世界でのアナロジーの評価とは異なり、経験的な世界でのアナロジーの評価では、実現することが難しい状況も考えられる。例えば、中学生・高校生が生成するようなアナロジーは、ターゲットと離れた距離にあるベースを選択したアナロジーとなることが多い。このようなアナロジーでは、そのままモデル実験の開発・遂行に適さないことも考えられる。その場合、モデル実験や比較に適するような形へと変形させること、いわゆる、一種の正規化を図ることが有効と思われる。具体的には、生徒の考えの中心的な内容を保存したまま、ベースを変更するなどして、教師が生徒の考えをアナロジー化することが挙げられる。なお、ここで検討してきたモデル実験は、シミュレーションの一種であるため、関係の変数の操作や得られた結果の扱いなどは、思考実験の場合と同様である。

アナロジーの評価としての思考実験とモデル実験のどちらが適しているかは、中学生・高校生の学習状況や教授展開の意図などと密接に関連しており、それらを抜きにしては単純には確定できない。ただ、思考実験とモデル実験のどちらもが扱いうるような状況では、概念的な世界でのアナロジーの評価である思考実験から導入した方が、理科学習の促進が期待される。それには次のような理由が考えられる。まず、オルタナティブコンセプションをもっている生徒が、自分の考えとは異なるモデル実験の結果だけを見て、それを変則事例として扱うことや、別のアナロジーを生成するなどの認知的な葛藤を回避することもありうるからである。また、実証的な態度を示す学習者は、動機付け的な要因から見て、思考実験よりもモデル実験のほうを好むと予想されるからである。

(4) アナロジーによる認知的な葛藤の生起・促進と解消

推論様式として見たアナロジーは、広義の帰納的推論に含まれ、そこから導かれる結論は蓋然的であることから、非論理的な推論であると見なされている。しかしながら、アナロジーであっても、その内部構造として、一定程度の論理性を含んでいるのである⁴⁾。アナロジーの垂直的關係 (Hesse, 1966: 59) にある論理的な関係性に着目して、矛盾を生じる事態を組み込めれば、アナロジーによっても認知的な葛藤を生起させることが見込める。

前章で確認したように、中学生・高校生は、対話的な過程でアナロジーや思考実験を自発的に使用しうる認知的な水準を有しているものと考えられる。熟達者と同様に、アナロジーと思考実験を組み合わせることで、認知的な葛藤の生起・促進や解消を経るような学習過程を経験できある可能性は十分にある。

その際、前述したように、中学生・高校生のオルタナティブコンセプションやアナロジーを顕在化すること、把握することが重要となってくる。あるいは、教師が生徒のオルタナティブコンセプションをアナロジー化することも、やはり有効である。特定のアナロジーに着目した上で、思考の中で1つ以上の要因を変化させて、最終的には、できるだけ問題点が顕著になるような結果を導くことが望まれる。このことによって、表面的な類似性というよりは、関係レベルや構造レベルといったより高次の関係性を意識したアナロジー的推論が促進されることが期待される。また、科学的な熟達者のアナロジーの使用に見られたように、背理法的な展開も組み入れられれば、認知的な葛藤の生起・促進を押し進められるものになる。これは、概念的な理解の促進という内容的な側面だけではなく、方法論的な側面での拡充にも及ぶ。観察・実験を基礎にした事物・事象の提示では、事実的なものの取り扱いしかできないが、アナロジーや思考実験によって概念的な世界を操作することで、事実的なものに加えて、反事実的なものまでも取り扱うことができるようになる。つまり、考察する対象の範囲が拡張されるのである。ガリレイの思考実験で扱われたような現象は、現実世界では直接的に観察できず、概念的な世界ではじめて措定される。そうして、単純には経験的問題には還元され得ない、思考の内にある矛盾を開示することにつながっているのである。

学習者が着目している事物・事象を解釈する上で、関連する科学的な知識を想起させる手立ても欠かせない。なぜなら、中学生・高校生の自発的なアナロジー使用では、着目している事物・事象に限定した説明が構成されることや、他の科学的な知識との関連性が十分に考慮されないことが見られるからである。また、熟達者に見られる知識の構造化、科

学のホーリズム論の観点から見て、ある個別の知識の学習であっても、関連する知識との関連性が重要になるため、学習過程や学習者の理論的な環境も視野に入れることが有用だと考えられるからである。したがって、学習者にとって既存の科学的な知識も意識化させることで、認知的な葛藤事例として提示される事物・事象が、知識体系として整合的に関連付けられるかどうかという点から解釈されることが期待される。

第三項 アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの開発と適用可能性

(1) アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの開発

アナロジーの生成・評価・修正過程を取り入れ、より高次の関係性に基づくアナロジーを活用することを目指し、教授ストラテジーの構造化を図った。そのような構造化を図り開発したものを、「アナロジーの生成・評価・修正ストラテジー」と呼ぶことにしたい。教授展開における当該ストラテジーの構成要素は、表1のとおりである。

表1. アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの構成

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">① 解決すべき問題を捉えさせる。(問題の把握)② アナロジーを含めて、自分の考えを表出させる。(思考の表出)③ 事実や他者の考えと自分の考えとの共通点・相違点に気付かせる。
(思考の共通点・相違点への気付き)④ 問題解決の手がかりとして、アナロジーに注目させる。(アナロジーへの注目)⑤ 認知的な葛藤の高まり・低まりを感じさせる。(認知的な葛藤の経験)⑥ 変数や変数間の関係を押さえて、シミュレーションを遂行させる。(シミュレーションの遂行)⑦ 事実的な状況だけではなく、反事実的な状況まで考えさせる。(思考範囲の拡張)⑧ 既存の科学的な知識と関係付けて、アナロジーを含めて、自分や他者の考えの適切性を評価させる。(思考の評価)⑨ 問題の解決過程を通じた、アナロジーを含めた新しい考えの習得や自分の考えの変容を振り返らせる。(思考の振り返り) |
|---|

①から④が主としてアナロジーの生成，⑤から⑧が主としてアナロジーの評価，⑨が主としてアナロジーの修正に対応する。ただし，学習者のアナロジーの使用特性を踏まえると，アナロジーの生成・評価・修正に関わる段階を単純には区別できない。

高次の関係性に基づくアナロジーの促進という観点から，当該教授ストラテジーの各構成要素は，以下のようなことをねらいとされる。「① 解決すべき問題を捉えさせる。」（問題の把握）とは，アナロジーを導入する上でのターゲットを設定することである。ターゲットについての認識に基づいて，教師あるいは生徒は，適当なベースを検索し，選択するのである。また，解決すべき問題は，アナロジー的推論を制約する実用的な要因として，アナロジーを使用する目的や文脈を与えるものである。特定の問題を解決するという文脈を与えることで，ベースとターゲットについて考慮すべき類似性の内容の範囲を設定することにつながるのである。

「② アナロジーを含めて，自分の考えを表出させる。」（思考の表出）とは，提示された問題について，生徒が既存の知識やこれまでの経験等を利用して，自分なりに考えたことを，他者に対して説明する機会を用意することである。その際，問題に対応する答えのみではなく，その答えを考えた理由や背景までを問うことで，生徒が自発的に生成するアナロジーを含めて，学習過程での認知状態を教師が把握できる。また，生徒は，ある特定の内容に関して，オルタナティブコンセプトを保持している場合もあり，そのような考えを表出させることで，意識化・対象化することが図れる。

「③ 事実や他者の考えと自分の考えとの共通点・相違点に気付かせる。」（思考の共通点・相違点への気付き）とは，自分の考えについてのみ考えるだけではなく，事実や他者との考えと比較することで，相互の共通点・相違点に気付かせて，自分の考えの特徴を認識させようとするものである。生徒に自分の考えの特徴を認識させるための手立てとしては，教師が生徒の考えに近いアナロジーを構成して，提示することも考えられる。

「④ 問題解決の手がかりとして，アナロジーに注目させる。」（アナロジーへの注目）とは，提示された問題を解決する手がかりとして，アナロジーを利用するという方針を共有して，アナロジーによって導かれる結論とその意味やアナロジーの限界に注意を払うことである。問題解決の便宜的な方策としてアナロジーを捉えることで，アナロジーの表面的な類似性にみにしか着目することがないようにすることも期待される。

「⑤ 認知的な葛藤の高まり・低まりを感じさせる。」（認知的な葛藤の経験）とは，オルタナティブコンセプトを保持する生徒が，アナロジーの導入や評価などを通じて，自

分自身の考えに対する自信や確からしさ、あるいは、新しい考えのもっともらしさを感じる過程を取り入れることである。認知的な葛藤ストラテジーとアナロジーによる教授ストラテジーとの接続を目指すものである。

「⑥ 変数や変数間の関係を押さえて、シミュレーションを遂行させる。」(シミュレーションの遂行)、「⑦ 事実的な状況だけではなく、反事実的な状況まで考えさせる。」(思考範囲の拡張)、「⑧ 既存の科学的な知識と関係付けて、アナロジーを含めて、自分や他者の考えの適切性を評価させる。」(思考の評価)とは、教師や生徒が導入したアナロジーを評価する方法を示すものである。ベースとターゲットでそれぞれ対応する属性や関係を着目した上で、経験的な世界あるいは概念的な世界でのシミュレーションを実行して、ターゲットについての知見を抽出することである。シミュレーションを活用することは、独立変数と従属変数の関係のような変数(属性)間の関係を扱うことになり、ベースとターゲットとの対応関係については、四項類推課題形式の比較に留まらず、より高次の関係性に着目する必要性が出てくるのである。また、概念的な世界でのシミュレーションでは、実際に起こる状況だけではなく、現実的には起こりえない仮想的・理想的な状況も想定して、実行することで、経験的な知識や常識的な知識とは異なる発想が得られることが期待できる。その一方で、空想的な状況を考えすぎて、科学的な認識にとって有用ではない考えを導くのも問題であり、既存の科学的な知識と照らしてみても、自分が考えたことが特異なものではないか、あるいは、適切であるかどうかを評価させることが大事となる。

「⑨問題の解決過程を通じた、アナロジーを含めた新しい考えの習得や自分の考えの変容を振り返らせる。」(思考の振り返り)とは、教師や他者のアナロジーを含めて、新しい考えの習得や自分の考えの変容の見込みが得られた段階で、生徒に自分自身の学習過程を思い返し、学習の成果や意義を考えさせることである。また、必ずしも十分に理解できなかった部分や新たに生じた疑問などを整理することにもつながるのである。

なお、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの構成要素として9点挙げて、おおよその順序を示してはいるが、その順序は固定的なものではなく、教授状況に応じて、柔軟に変更しうるものであると考えている。

第二節 中学校「電気回路」の授業の開発

第一項 中学校「電気回路」の授業開発のねらい

アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいた中学校「電気回路」の授業として、2年生の電気と磁石を学習する単元のうち、電気回路の性質を扱う小単元の授業（1授業単位）を設定する⁹⁾。電気回路に流れる電流については、オルタナティブコンセプションの存在がよく知られている(Shipstone, 1985; 安藤・森藤・中山, 1997; Allen, 2010: 154-162)。そこで開発する授業では、カリキュラムの構成上、小単元の初期に位置付けられ、その後の学習にも影響を与えうる内容知識である電流概念に着目する。そして、中学生がもつ電流概念に関するオルタナティブコンセプションから科学的コンセプションへの漸進的な移行を射程に入れつつ、電流概念の基礎的な理解の習得を目指すことにしたい。

第二項 学習課題の設定とその観点

本授業において、中学生の学習関心を方向付けるという観点から、本時で着目したい事物・事象や考えるべき問題、いわゆる、学習課題を設定する。授業の初期段階では、学習課題の提示は、中学生のプレコンセプションの意識化・顕在化や、アナロジーの自発的な生成を喚起する手段あるいは契機となる。また、授業の終期段階では、提示した学習課題は、変容・修正されたコンセプションやアナロジーによって説明・解決すべき対象である。さらには、学習課題の設定は、アナロジーの認知的な過程を制約する実用論的な要因でもあるアナロジーを使用する目的や文脈を提供するものである。この実用論的な要因によって、当該アナロジーでの意味内容が方向付けられ、不用意な対応関係の拡張などの誤解につながる危険性が低減されうる。

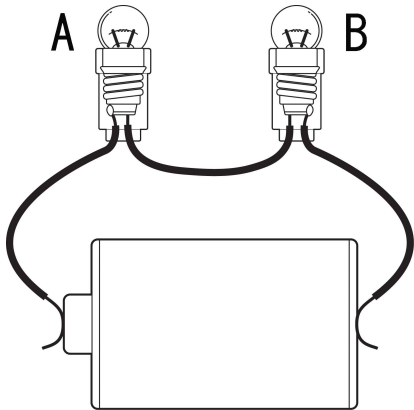
本授業では、電気回路に流れる電流に関わる性質のうち、正極から負極へと流れるという電流の向きを既習の知識として、また、豆電球や室内灯の点灯などを共通の学習・生活経験として、電気回路での豆電球が点灯するまでの時間差の有無を考える問題を学習課題と設定した。具体的には、乾電池、導線、豆電球2個を直列に接続した場合、これらの豆電球が点灯するまでの時間に差異があるかを考える問題である（表2）。

この学習課題とは、点灯開始時間の差異の有無を予想した上で、閉回路を構成してから豆電球が点灯するまでの時間を測定するなどの観察・実験によって、自身の考えの適否を

単純に検証できるものではない。経験的に確証するものではなく、むしろ、既存の知識や経験などを活用しながらも、概念的に妥当性を吟味することに重点を置いた課題である。なお、当該の学習課題については、中学校理科カリキュラムの範囲を考慮した場合、「2つの豆電球は同時に点灯する」を適切な理解として位置付けるものとする。この学習課題を提示するに伴い、「電気回路では、電池から電流が放出される」、「導線中には、電流（あるいは電子）は存在していない」、「電気回路では、電流は非常に高速で流れている」といったオルタナティブコンセプションが見られる可能性がある（Allen, 2010: 154-162）。

表2. 学習課題「豆電球が点灯するまでの時間差の有無」の設定

2つの豆電球 A・B, 導線, 電池をつなげた回路があります。この回路では、豆電球 A と豆電球 B に明かりがつくまでの時間に違いがあるでしょうか。また、そのとき、導線にはどのように電流が流れているでしょうか。自分の考えを文章や図で分かりやすく説明して下さい。



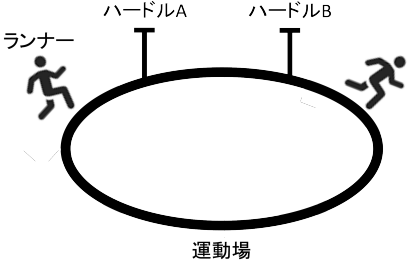
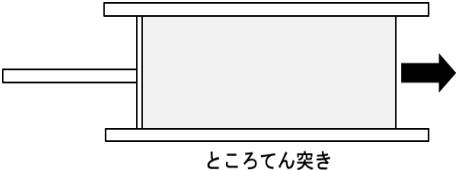
第三項 教師が導入するアナロジーの選択とその内容構成

初期段階でのアナロジーとして、学習課題の提示に伴って、中学生が自分のプレコンセプションに基づき、自発的に生成するアナロジーと、生徒のオルタナティブコンセプションに基づき、教師が考案したアナロジーの2種類のいずれかあるいは双方を活用することが考えられる。一方、終期段階でのアナロジーとして、初期のアナロジーの評価・修正に伴って、中学生が自発的に生成するアナロジー、教師の指導に基づいて生徒が生成するアナロジー、教師が考案し導入するアナロジーの3種類のいずれかあるいはそれらの組み合わせを活用することが考えられる。授業の初期と終期のいずれの段階でも、中学生が自発的にアナロジーを生成することや、教師や他の生徒との対話的な過程でアナロジーを構成

することにも、教授上の関心を向けることになる。

教師が考える2種類のアナロジーは、本授業の学習課題（表1）と想定しうる主要なオルタナティブコンセプションを代表するアナロジーとして「かけっこ」を、科学的コンセプションに通じるアナロジーとして「ところてん」をそれぞれベースに選択した。これらのアナロジーの基本的な特徴や内容構成は、表3のとおりとなる。

表3. 教師が導入する2つのアナロジーの比較

ベース	かけっこ	ところてん
	 <p>運動場</p>	 <p>ところてん突き</p>
(電流)	ランナー	ところてん
(導線)	走路	ところてん突き
(電球)	ハードル	(対応関係なし)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のオルタナティブコンセプションを代表するアナロジー 遠隔領域（日常生活、擬人的） 	<ul style="list-style-type: none"> 科学的コンセプション（自由電子モデル）に通じるアナロジー 遠隔領域（日常生活、非擬人的）
基本となる考え	<ul style="list-style-type: none"> 電池から電流が放出される 導線中に電流は存在しない 電流は非常に高速で流れている 	<ul style="list-style-type: none"> 導線中に電流（電子）が存在する 電流は必ずしも高速で流れていなくてもよい

かけっこをベースとするアナロジーについては、「電気回路では、電池から電流が放出される」という考えを表しうることを基準として、ベースの選択を行った。いろいろなベースが考えられる中で、中学生・高校生のアナロジー使用の特性として、生命現象に関わる事物・事象ではなくても擬人化する傾向があることを踏まえて、今回は生徒にとって身近な「かけっこ」を選択することにした。この場合、電気回路での電流、導線、豆電球、スイッチに対応付けることを想定した。また、一般的なかかけっこ（陸上競技としての短距離走など）では、スタートからゴールに向かって一方向に走ることになっている。

一方、ところてんをベースとするアナロジーについては、特に、「導線中には、電流（あるいは電子）は存在している」という考えを表しうることを基準として、ベースの選択を行った。こちらも、いろいろなベースが考えられる中で、あえて擬人的なものではなく、かつ、管中（筒中）に内容物が充填されている状態を想起しやすい「ところてん」を選択することにした。この場合、電気回路での電流、導線に対応付けることを想定した。

第四項 思考実験とモデル実験の内容構成と展開

(1) 思考実験の内容構成と展開

アナロジーの評価としての思考実験の導入について、これまでの先行研究の知見を参照して (Reiner, 1998; Gilbert & Reiner, 2000), ①問いや仮説の設定, ②イメージ的世界の創出, ③思考実験の企画, ④思考実験の実行, ⑤思考実験のデータの収集と解釈, ⑥結論の導出という6つの手続きに即して、かけっことのアナロジーの評価として思考実験の導入は、次のような構成と展開とした。

「① 問いや仮説の設定」の段階では、生徒のオルタナティブコンセプション等に基づいた、学習課題についての結果の予想や仮説を設定する。「② イメージ的世界の創出」の段階では、かけっことのアナロジーに基づいて、走路中に2つのハードルが置いてある運動場を想像させ、笛の合図に従って、ランナー1人がその運動場を走る状況を設定する。「③ 思考実験の企画」の段階では、What-if分析「もし笛の合図で走り始めれば、AとBどちらのハードルに先に到達するだろうか」を活用して、AとBまでの到達所要時間を測定し、比較する実験その1を企画する。測定する条件（変数）を変更した思考実験として、走行時間に伴う走行距離や停止位置に着目したもう一つの実験を企画する。それは、What-if分析「もし笛の合図で走ったり、止まったりすればどうなるであろうか」を活用して、笛1の次に鳴る笛の合図で停止し、走行時間 t_x ($x=2, 3, 4$)での走行距離 d_x を測定し、比較する。また、走行時間 t_x ($x=2, 3, 4$)での停止位置を特定する実験その2である（図1）。

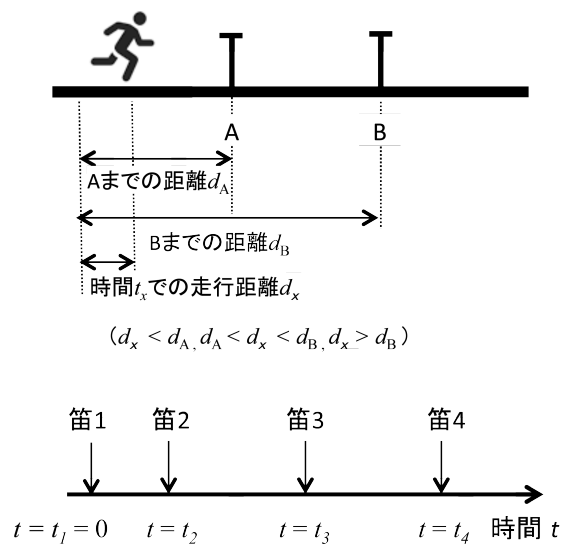


図 1. 走行時間に伴う走行距離の比較と停止位置の特定 (概念図)

「④ 思考実験の実行」の段階では、思考上の操作として、実験その 1 とその 2 を実行してみる。「⑤ 思考実験のデータの収集とその解釈」の段階では、上記の思考実験の結果から、電気回路で得られうる結果を想定する (表 4)。

表 4. かけっことのアナロジーを利用した思考実験の結果と解釈

	実験その 1	実験その 2
かけっこ	<ul style="list-style-type: none"> 到達所要時間は、$t_A < t_B$ となった。 スタートに近いハードル A に先に到達した。 	<ul style="list-style-type: none"> 走行時間によって、走行距離が長くなった。 停止する地点は、ハードルを基準とすると、ハードル A よりも前方 (直上含む)、ハードル A とハードル B の間、ハードル B より後方 (直上含む) の 3 つのパターンが見られた。
電気回路	<ul style="list-style-type: none"> 電池の正極に近い豆電球 A が先に点灯する。 	<ul style="list-style-type: none"> 停止のタイミングによって、豆電球 A、豆電球 B の一方あるいは両方が点灯するとき、また、両方が点灯しないときがある。

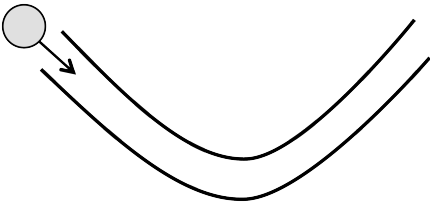
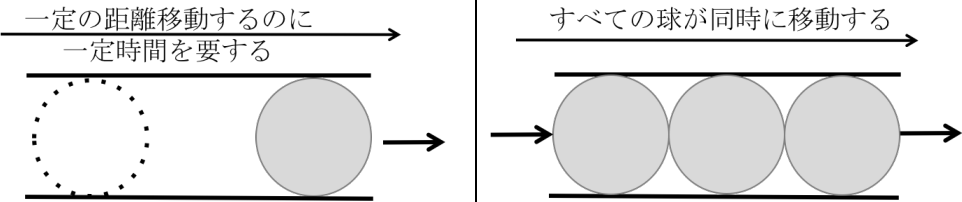
「⑥ 結論の導出」の段階では、思考実験での「電流は、正極から出発して、負極へと到着する」という前提に問題があることを認識させる。かけっことのアナロジーを利用した思考実験、特に、実験その1によって得られた結果とその解釈に基づくと、これまでの予想どおりに電池の正極に近い豆電球 A が先に点灯することになる。ところが、同じ装置を使用して、別の測定条件での実験である実験その2からは、矛盾するような結論が導かれることになる。かけっこであれば、笛を吹くタイミングによって停止する場所が変化することそれ自体は、常識的な結論となるが、それをそのまま電気回路に当てはめると、「豆電球、導線、乾電池が閉回路になっていれば、2つの豆電球は点灯する」というより基本的な科学的知識と、スイッチのオンとオフのタイミングによって、「豆電球 A、豆電球 B の一方あるいは両方が点灯するとき、また、両方が点灯しないときがある」という結論と矛盾することになる。このような誤った結論が導かれるということは、思考実験の前提である「電流は、正極から出発して、負極へと到着する」がそもそも誤っていることになる。そうであるとした場合、かけっことのアナロジーも適切ではないことが結論付けられる。

(2) モデル実験の内容構成と展開

経験的な世界でのアナロジーの評価として利用するモデル実験は、理論的な観点から事物・事象の特性を捨象・抽象して構成されるものであり、同時に、実際に事物・事象を操作し、データを収集する活動である。先の思考実験では、「電気回路では、電池から電流が放出される」というオルタナティブコンセプションは扱っているが、「導線中には、電流（あるいは電子）は存在していない」、「電気回路では、電流は非常に高速で流れている」については、直接的には扱っていない。このモデル実験では、この2つのオルタナティブコンセプションにも着目する。特に、後者のそれを定性的に扱うことが要点となる。

かけっこやところてんとのアナロジーについて、電流の存在と速度を扱うモデル実験の結果を比較するために、まず、両者の基本的な特徴を備えたまま、実際的な操作が可能なものへとモデル化を行った（図2）⁶⁾。このモデル実験の手順、そこで得られる結果とその解釈については、表5のとおりである。このモデル実験では、スイッチのオンと点灯までの時間差の有無が要点であり、「導線中には、電流（電子を含む）が存在している」と考えるとところてんモデルでは、必ずしも個々の電流が高速でなくても、電流全体としての動きが瞬時に起こることが視覚的に確認できる。

表 5. 教師が導入する 2 つのアナロジーの評価としてのモデル実験の構成と展開

	かけっこモデル	ところてんモデル
手順	<p>① ホースの一端から、ビー玉を転がす。</p> <p>② ビー玉がもう一端まで移動して、ホース外に出てくるまでの時間 t_A を測定する。</p>	<p>① ホース全体にビー玉を充填し、一端からビー玉 1 個を挿入する。</p> <p>② ビー玉を挿入してからもう一端で別のビー玉がホース外に出てくるまで時間 t_B を測定する。</p>
	<p>ビー玉=電流(電子を含む)</p>  <p>ホース=導線</p>	
	<p>図 2.2 つアナロジーの評価としてのモデル実験</p>	
結果と解釈	<ul style="list-style-type: none"> 実験の結果として、$t_A > t_B \approx 0$ が得られる。 豆電球 A が先に点灯する。 ビー玉がもう一端まで移動して、ホース外に出てくるまでには一定の時間を要する。 スイッチと同時的に点灯するとき、電流は非常に高速である。 	<ul style="list-style-type: none"> 豆電球 A と B は同時に点灯する。 ビー玉を挿入してからもう一端で別のビー玉がホース外に出てくるまで時間には、ほとんど差が無い(同時的)。 スイッチと同時的に点灯するとき、電流全体としての動きは、非常に高速に見えるが、個々の電流(電子)の動きは高速ではない。
		

第五項 アナロジー生成・評価・修正ストラテジーに基づく中学校「電気回路」の授業展開

前項までの学習課題，アナロジーの選択，思考実験／モデル実験の構成の検討を踏まえて，中学校「電気回路」の授業展開は，表6のようにまとめられる。

表6. 中学校「電気回路」の教授展開と教授ストラテジーとの対応

主たる学習の内容と活動	教授ストラテジーとの対応
(1) 電気学習の復習 これまでの学習事項として，特に，「電流の向き」と「閉回路」について確認する。	<ul style="list-style-type: none"> ① 問題の把握 ② 思考の表出 ③ 思考の共通点・相違点への気付き ④ アナロジーへの注目 ⑤ 認知的な葛藤の経験 ⑥ シミュレーションの遂行 ⑦ 思考範囲の拡張 ⑧ 思考の評価 ⑨ 思考の振り返り
(2) 学習課題の提示 電流の向きに関する課題として，豆電球2個の点灯時間に関する学習課題を提示する。	
(3) クラスでの共有 グループやクラス全体で考えを共有する。その際，生徒自身でもアナロジーの生成を試みる。	
(4) かけっことのアナロジーの導入と検討 生徒のオルタナティブコンセプションの代表として，かけっことのアナロジーを導入する。思考実験を通じて，当該アナロジーの妥当性を評価する。アナロジーの修正・変更の可能性を検討する。	
(5) ところてんとのアナロジーの導入と検討 科学的コンセプションに通じるものとして，ところてんとのアナロジーを導入する。モデル実験を通じて，当該アナロジーの妥当性を評価し，2つの豆電球が同時に点灯すると考えられることを確認する。	
(6) 学習課題の解決と授業の振り返り 学習課題の解決を図り，授業の振り返りとして，「電流が+極から-極へと流れる」ことの意味を考える。	

教授段階 (1) 電気学習の復習では、小学校の学習内容である「電流の向き」と「閉回路」について、教師から生徒に対して発問を行い、当該知識の理解が定着しているかどうかを把握するとともに、本時で前提となる科学的な知識であることを確認する。

教授段階 (2) 学習課題の提示では、本時での電流の向きに関する課題として、豆電球 2 個の点灯時間に関する学習課題 (表 2) を提示する。教師から当該の学習課題を提示する際に、その課題における問題設定の条件を説明し、生徒には、豆電球 2 個を直列に接続した回路では、スイッチを入れた後、2 個の豆電球が点灯するまでに要する時間に違いがあるのか、違いがあるとすれば、いずれの豆電球が先に点灯するのかを考える問題であることを把握させる。問題の把握を踏まえて、続いて、この学習課題について、個人で自分なりに考える時間を設定し、生徒は自分の既有知識を想起するなどして、学習課題に対しての答え (考え) を準備することになる。当該の教授段階には、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの①問題の把握と②思考の表出が含まれる。①問題の把握とは、本時での学習において着目する課題を理解させることであり、また、2 個の豆電球の点灯時間に関する問題を解決することを目的として、アナロジーを使用する状況であることを認識させることである。②思考の表出とは、学習課題についての自分の考えをもたせ、表現させることである。その際、学習課題に対する答えだけではなく、その答えを導き出す過程で使用した既存の知識やアナロジーまでも顕在化させることを試みる。

教授段階 (3) クラスでの共有では、グループやクラス全体で学習課題についての個々の考えを共有させる。その際、生徒がアナロジーを生成すること、そのアナロジーを表出することを促す。当該の教授段階には、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの③思考の共通点・相違点への気付きが含まれる。③思考の共通点・相違点への気付きとは、まず、社会的な構成としての学習の観点から、各個人の考えを共有することを通じて、他者の考えと自分の考えとの共通点・相違点に気付かせることである。続いて、生徒の考えにアナロジーが見られる場合、ベースとターゲットとの間の共通点・相違点を明確化させることであり、必要に応じて教師がアナロジーを利用して、異なる 2 つの考えの共通点・相違点を気付かせることである。

教授段階 (4) かけっことのアナロジーの導入と検討では、生徒のオルタナティブコンセプションを探った上で、その代表として、かけっことのアナロジー (表 3) を導入する。また、思考実験 (図 1, 表 4) を通じて、当該アナロジーの妥当性を評価させ、そのアナロジーで考えることで、既存の知識と矛盾が生じることを見出させる。かけっことのアナロジ

一を修正するか、それに代わる新しいアナロジーを生成することを促す。

教授段階 (5) ところてんとのアナロジーの導入と検討では、科学的コンセプトに通じるものとして、ところてんとのアナロジー (表 3) を導入する。モデル実験 (表 5) を通じて、当該アナロジーに基づく場合、2つの豆電球が同時に点灯することを確認させる。

これらの教授段階 (4)・(5) には、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの④アナロジーへの注目、⑤認知的な葛藤の経験、⑥シミュレーションの遂行、⑦思考範囲の拡張、⑧思考の評価が含まれる。これらを組み合わせることで、ある特定のアナロジーに注目して、属性レベルでの類似性だけではなく、関係レベルや構造レベルでの類似性を考えられるように、ベースとターゲットの特性をそれぞれ変化させるシミュレーションを遂行させる (図 3)。ベースとターゲットとの対応関係の形成は、一回的な写像であれば、属性レベルでの対応関係を形成することに留まってしまう可能性がある。それに対して、関係レベルや構造レベルでの関係性の構築をより意識的に促進するために、シミュレーションを遂行して、ベースとターゲットの間にあるより高次の関係性を検討させることが重要となってくる (図 3 右)。具体的には、まず、ベースの特性 (変数 $b_{10}, b_{20}, \dots, b_n$) を変化させる (シミュレーション S_b) のに伴って、ターゲットの特性 (変数 $t_{10}, t_{20}, \dots, t_n$) も変化させる。続いて、変化させた後のベースの特性 (変数 $b_{11}, b_{21}, \dots, b_{n+1}$) とターゲットの特性 (変数 $t_{11}, t_{21}, \dots, t_{n+1}$) との対応関係を改めて検討させるのである。シミュレーションを遂行して得られる結果は、既存の科学的な知識と関係付けて、解釈させる。

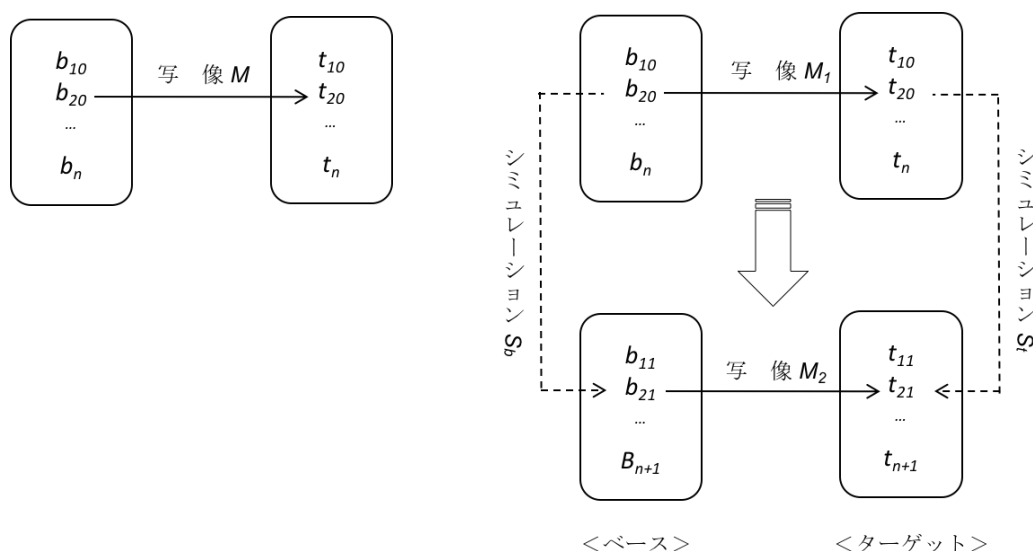


図 3. 一回的なアナロジー写像 (左) とシミュレーションを伴う写像 (右)

教授段階（6）学習課題の解決と授業の振り返りでは、学習課題に対する結論として、豆電球2個が点灯するまでの時間差がなく、同時に点灯することを押さえさせる。その際、電流のモデルや「電流が+極から-極へと流れる」ことの意味について、生徒が授業を通じて学んだ内容を振り返らせ、その振り返りの内容を言語化して整理させる。当該の教授段階には、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの⑨思考の振り返りが含まれる。⑨思考の振り返りとは、一般的な教授法として、授業を通じて、電流についての概念的な理解が変化した部分や進んだ部分を対象化して捉えるメタ認知的な活動に取り組みさせることである。また、ベースとターゲットとの対応関係が形成できた段階から、アナロジーを通じて得られた電気回路についての新しい知識や更新された認識を詳細に吟味して、既存の科学的な知識との精緻化を図ることや新しい疑問を生み出すことを促す。

第三節 中学校「電気回路」の授業の実践とその学習過程

第一項 授業実践の概要と評価方法

（1）調査の対象とその範囲

平成22年7月に静岡県のA中学校2年生2学級（合計77名）を対象にして、前節で開発したアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づく授業を実践した（表7）。

表7. 調査の対象と実施時期

学校名	A 中学校	
所在地	静岡県	
学 年	2 年生	
学 級	1 組	2 組
生徒数	37 名	40 名
調査時期	平成 22 年 7 月	平成 22 年 7 月
実施授業数	1 時間	1 時間

本授業は、静電気の発生と作用に関する授業2時間に続いて、電気回路に流れる電流の特性を扱う授業であった。アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを活用する上で、

教師の教授学的内容知識の程度が授業実践に影響を与えないようにとの判断から、いずれの学級でも、筆者が授業を実施した。一連の授業の中に、ワークシート調査、運勢ライン法調査を適宜実施した。また、授業の発話記録（VTR録画、ICレコーダー録音）を行った。ワークシート調査、運勢ライン法調査で収集した中学生の記述のすべてと、発話記録を文字化したプロトコルデータを分析の対象とした（教師の発話を中心としたプロトコルデータは、資料14～15参照）。

(2) ワークシート調査

本授業では、生徒の学習活動の一環として使用するワークシートを作成し、そこに記述された内容から生徒が学習した内容や理解の状況を把握するワークシート調査（調査紙は、資料13参照）を実施した。この調査での質問項目は、4つ設定し、項目（1）は、学習課題を提示することに伴って顕在化するプレコンセプション、項目（2）は、思考実験の結果とそこに基づいて導かれる結論、項目（3）は、かけっことのアナロジーの評価を受けてのアナロジーの修正や新規生成、他者のアナロジーの受容、項目（4）は、授業後の電流についての概念的な理解の変容や授業中の心理的状态、授業の感想などを、それぞれ把握することをねらいとした。

(3) 運勢ライン法調査

本授業では、認知的な葛藤を含めた生徒の心理的状态の変化を捉える方法として、学習者が自身の認知的・情意的な側面での相対的な変化を時系列に即してグラフ化して示す学習評価方法の一手法である、運勢ライン（Fortune Lines）法（White & Gunstone, 1992: 107-122）を一部改良した上で利用した。認知的な葛藤についての表現では、それらの生徒自身が心理的状态を捉えやすいものにするために、葛藤が生じた状態やそれが進行する方向を擬態語「モヤモヤ」、葛藤を生じていない状態やそれが解消する方向を擬態語「スッキリ」として表現することにした。授業では、「自分の頭のスッキリ度チェックシート」と名付けた質問紙を用い、生徒が授業の各段階で、その程度を数値化して、自分の心理的状态との相対的な変化を把握し、表現できるようにした（調査紙は、資料16参照）。自身の心理的状态を振り返る文章記述の質問項目も設定した。認知的な葛藤の状態の分析にあたって、各授業段階のモヤモヤ・スッキリ感を相互に比較した相対的な評価と、授業の振り返りの文章記述による全体的な評価の双方を利用した。前者の相対的な評価については、授業の

各段階でのスッキリ度の評価が、前段階での評価値よりもマイナス方向へと遷移した場合を、認知的な葛藤が生起・促進されたものとし、そのような遷移後の教授段階でプラス方向へと遷移した場合を、認知的な葛藤が低減・解消されたものと見なした。後者の全体的な評価については、先の相対的な評価から見た認知的な葛藤の生起・促進、解消を判断するために利用した。

(4) 教授展開におけるワークシート調査と運勢ライン法調査の実施

本授業では、教授展開に応じて、ワークシート調査（以下、WS 調査と略記）と運勢ライン法調査（以下、FL 調査と略記）を実施した（表 8）。教授展開の所定の段階において、教師の指示の下に、生徒は該当する調査の項目に回答した。

表 8. 教授展開におけるワークシート／運勢ライン法調査

教授展開	調査の項目
(1) 電気学習の復習	FL 調査 (1) - I
(2) 学習課題の提示	FL 調査 (1) - II-1) WS 調査 (1)
(3) クラスでの共有	FL 調査 (1) - II-2)
(4) かけっことのアナロジーの導入と検討	FL 調査 (1) - II-3) WS 調査 (2), (3)
(5) ところてんとのアナロジーの導入と検討	FL 調査 (1) - II-4)
(6) 学習課題の解決と授業の振り返り	FL 調査 (1) - III, (2) WS 調査 (4)

第二項 中学生の電流についてのオルタナティブコンプジョンとアナロジーの顕在化

(1) 豆電球が 2 つある電気回路での点灯の順序とその理由

授業冒頭の電気学習の復習後に提示した学習課題では、2 つの豆電球 A・B、導線、電池をつなげた回路において、「豆電球 A と豆電球 B に明かりがつくまでの時間に違いがあるだろうか」という点灯までの時間の差異を尋ねた問い（第一の問い）と、電球が点灯するときに「導線中にどのように電流が流れているのか」という電流の様子を尋ねた問い（第

二の問い) との, 2つの問題が含まれていた (WS 調査 (1))。

第一の問いへの答えとして記述された部分に着目すると, 中学生の点灯の順序についての回答の種類とその割合は, 表 9 のようになった。

表 9. 中学生の学習課題に対する回答とその割合

回答の種類	人数 (人)	割合 (%)
(1) 違いがある	63	82
① A→B の順序	(52)	(68)
② B→A の順序	(6)	(7.8)
③ 順序は不明	(5)	(6.5)
(2) 違いがない	10	13
(3) 両論併記	1	1.3
(4) 区別不能	3	3.9
合 計	77	100

およそ全体の 8 割に相当する生徒の 63 名 (82%) は, 2つの豆電球が点灯するまでの時間に違いがあると回答していた。そのうち, 豆電球 A, 豆電球 B の順序で点灯すると答えた生徒は, 52 名 (68%) で全体の 7 割近くを占めていた。2つの学級を比較した場合, 生徒の回答の傾向には違いが見られなかった。どちらの学級であっても, 半数を越える生徒は, 豆電球が点灯するまでの時間には違いがあると回答していた。

また, 第二の問いへの答えとして記述された部分に着目すると, 導線中に流れる電流の様子は, 2つの豆電球が点灯するまでの時間に違いが生じる理由や豆電球が点灯する順序を決定できる理由として, 記述されていた。つまり, 説明の構造という点から見れば, 点灯までの時間や順序が説明されるべき被説明項であり, 導線中に流れる電流の様子がそれを説明する説明項として, 生徒の説明が構成されていたのである。

豆電球 A, 豆電球 B の順で点灯すると答えた生徒は, 共通して, 「電流が正極から負極へと流れる」ことを, その理由として挙げる傾向にあった (表 10)。また, 電気回路を示した図には, 乾電池の正極から 2つの豆電球, そして負極へと電流が流れる向きを示した矢印などが示されていた (図 4)。

表 10. 豆電球の点灯順序 (A→B の順) とその理由に関する記述例

- Aの方が先に明かりがつくと思う(違いがある)。理由 $+ \rightarrow -$ へ電流は、流れるから、+に近い方から明かりがつくと思ったから。(中学生 J1)
- 違いがあると思う。Aが先について、Bは少し後。電流は、 $+ \rightarrow -$ に流れるため。+に近いAからつく。(中学生 J2)
- Aの方が早くつくと思う。電流は、 $+ \rightarrow -$ の順で流れるから。電流は、1つの円のようにして流れる。(中学生 J3)

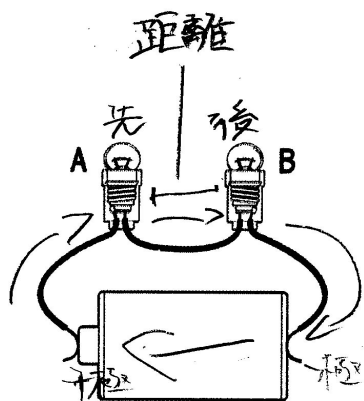


図 4. 電流の流れ方と点灯順序の図示 (中学生 J4)

豆電球 B, 豆電球 A の順序で点灯すると答えた生徒が 6 名 (7.8%) いた。それらの生徒が、当該の点灯順序を考えた理由として挙げたのが、「電子は-極から+極へと移動する」、「電流は+極から-極へ流れる」ということのいずれかであった。「電流は+極から-極へ流れる」ことを理由として、豆電球 A, 豆電球 B の順で点灯するという考えと、豆電球 B, 豆電球 A の順序で点灯するという考えの 2 つが確認することができたが、両者の違いは、「電流は+極から-極へ流れる」ことが表している意味内容の捉え方の違いにあった。豆電球 A, 豆電球 B の順で点灯するという考えでは、「+極から-極」という向きは、乾電池の+極から導線を通じて乾電池の-極へと至る方向を表し、豆電球 B, 豆電球 A の順序で点灯するという考えでは、乾電池の+極から乾電池の内部を通じて乾電池の-極へと至る方向を表していた。また、中学生 J5 の記述「B→A 電子のうごきは、 $- \rightarrow +$ だから。」には電子の移動の向きへの言及が見られたが、それは適切に電流を説明したものではない。

一方、2 つの豆電球が点灯するまでの時間に違いがない、と回答した生徒は、10 名 (13%) であった。この回答自体は、科学的な知見に対応するものであったが、その理由には、中学校段階の理科カリキュラムの水準として科学的な説明と言えるものから、そうでないも

のまで含まれていた。例えば、中学生 J6 の記述「たぶん同じだと思う。A のほうが先に電流が流れてくるが、たぶん明かりがつくのは、1 周まわったとき？」に見られるように、電気回路に電流のループが形成されたときに、豆電球が同時に点灯するとしたものは、科学的に見て適切ではない。一方、中学生 J7 の記述「時間の違いは、ないと思う。もともと同線の中に電子があつて、そこに電池をつけることで、いっせいに活動し始めるから。」に見られるように、もともと導線に電子が存在しており、乾電池に接続すると、すべての電子が同時に移動するために、同時に豆電球が点灯するとしたものは、科学的に適切である。

その他にも豆電球の点灯する順序を明示していない生徒が 5 名 (6.5%) おり、点灯までの時間に違いがある場合とない場合の考え方の双方を示したものの、両者のどちらの考えを支持しているのか不明瞭なものが、それぞれ 1 名 (13%)、3 名 (3.9%) ずつ見受けられた。

(2) 中学生の電流についてのオルタナティブコンセプトとアナロジー

本授業の対象である中学生が電流についてのプレコンセプトとして、代表的なものを 2 つ特定することができた。それは、アナロジーのベースとして、①電流の出発・到着モデル、②電流の一体的移動モデルと呼べるようなものであった。

① 電流の出発・到着モデルとアナロジー

直列回路での 2 つの豆電球が点灯するまでの時間には違いがあるという考えの基底には、電流の出発・到着モデルがあった。すなわち、それは、乾電池の+極から電流が出発して、まず豆電球 A へ到達し、続いて、豆電球 B へ到達し、最終的に-極へと到着する、という電流のモデルである。生徒によっては、乾電池の内部を電流がさらに-極から+極へと移動するとも考えている。乾電池の+極から導線を経由して移動するのか、あるいは、乾電池の内部をまず移動するのかの違いがあるにせよ、電流は、+極から「出発」して、-極へと「到着」するものとして概念化されているのである。

一方、豆電球 B の方が先に点灯すると考えた生徒には、「電流が+極から-極へと流れる」ということを、乾電池の内部を+極から-極へと流れると捉えている生徒と、電流の実体としての電子の存在とその移動の方向が-極から+極であることを知っていた生徒を確認することができた。いずれであっても、出発・到着モデルと同等であった。また、豆電球が同時に点灯すると答えた生徒であっても、電流が+極から-極へと到達してはじめて豆電球が点灯すると考えている場合は、やはり出発・到着モデルに含まれる。

このように学習課題で提示した現象の予測や解釈については違いが見られても、それらを導く上で基礎となる電流の考え方には、共通して、出発・到着モデルが認められるのであった。このモデルは、「電気回路では、電池から電流が放出される」というオルタナティブコンセプトであり、さらには、「導線中には、電流（あるいは電子）は存在していない」というオルタナティブコンセプトを含意している。

点灯までの時間の違いについて、「わずかに」、「少しだけ」というように差が小さいことを記述した生徒が27名見られた。その中には、「目に見てもわからないぐらい」という記述も見られ、観察に伴う物理的・生理的な限界や観察の理論負荷性のような影響があるとすれば、点灯までの時間を観察しても、当該生徒が同時に点灯するという結果を受容するのは難しいことが予期される。また、差が小さいことまで記述した生徒のうち4名は、電流の速さにも言及していた。これは、「電子回路では、電流は非常に高速で流れている」というオルタナティブコンセプトであった。

クラスでの共有場面において、豆電球が点灯するまでの時間に違いがあると考えた中学生J8は流しそうめんとのアナロジーを生成した（表11）。

表11. 教師と中学生J8の流しそうめんとのアナロジーに関する対話

T: 違いがないという、あると考えた人は、イメージって、何にたとえられるかな。自分らの。おっ、いいね、ちょっとじゃあ。J14君か。J14君だっけ、今のみんなに聞こえるように。はずがしがらないで。うん、いいよ。
J8: <u>流しそうめんがこうやってあって。そこに2人の人間が立っていて、それである、たくさんがあつと一気に流れ来て、たくさんそばが、麺が流れてきて。流れてきて、最初の人の方が先にキャッチできる。</u>
T: うんうん、なるほど。流れてくるそうめんって、何だろう。じゃあ、電気回路でいくと？
J8: 電流で。
T: 電流で。
J8: 2人の人が電球で。
T: 電球だと。うん、回ってくる最初でいっぱいっちゃったら、後の人はないよって？ああ、流しそうめんね。

(T: 教師, J8: 中学生J8)

そのアナロジーは、電気回路が流しそうめん器、電流がそうめん、電球が人間にそれぞれ対応付けられ、そうめんが最初に到達する方から豆電球が点灯することを説明するものであった。また、離れた領域からのベースが選択され、擬人的な要素を含むものであった。このとき、そうめんが食されてなくなっていくこととのアナロジーから、電流も豆電球で消費されるという考えも誘導されうるのであった（表 11 の下線部(a)）。これは「電流は、電球で消費される」というオルタナティブコンセプトを潜在的に含んだものでもあった。

② 電流の一体的移動モデルとアナロジー

2 つの豆電球が点灯するまでの時間には違いがないと考えていた生徒は、導線中には既に電流もしくは電子が存在しており、スイッチが入ると同時に、これらが一斉に移動するようなもの、言い換えるならば、電流の一体的移動モデルと呼べるような考えに基づいて、同時に点灯すると捉えていた。そのように考えていた生徒のうち、中学生 J9 は、「例えると、水がそのまま回っている」というように水流とのアナロジーに言及していた。それ以外の生徒の記述には、アナロジーを確認できなかった。

一方、クラスでの共有場面になって、アナロジーを使用する生徒が見られた。例えば、中学生 J10 は、自発的に複数のアナロジーを使用しながら、自分自身の考えを説明したのであった。まず、クラスの大多数の生徒が考えている電流の到着・出発モデルと、自分の考えが異なることを表明し（表 12 の下線部(a)）、続いて、磁石と電池とのアナロジー（表 12 の下線部(b)）、栓やダムなどでせき止められた水と電流とのアナロジー（表 12 の下線部(c)）を引き合いに出した上で、電流が導管中に既に存在しており、スイッチを入れると一斉に動き出すために、2 つの豆電球が同時に点灯するに違いがない、と主張したのであった。中学生 J10 が水流とのアナロジーに言及した部分では、当該アナロジーを使用して、先に触れた他者と自分の考えとの違いを改めて説明している。同じ水流をベースに選択したとしても、想定される対応関係が異なれば、そこから導かれるターゲットについての結論が異なることを示している。

表 12. 水流とのアナロジーに関する発話（中学生 J10）

J10 : (a)電流が流れるけど、僕が考えるのは、電池から流れるだけではなくて、電池をつけることによって、導線の中の、中にあるものが動く。要は、(b)電池は磁石のようなもので、吸い付けて、反発して、こうやって（手で円を描きながら）サイクルになるじゃないかと思っていて。(c)で、斜めの中になっている水をせき止めておいたら、せき止めておいた水が下のやつから全部が一って流れていくのではなくて、全部いっしょに一って流れていく、一斉に流れていくじゃないですか。なので、その導線の中も一斉に一って回るから、えーっと、Aの部分もBの部分も同時に流れていくから。

(J10 : 中学生 J10)

第二項 思考実験の導入と中学生のアナロジーの評価と修正

(1) 思考実験の結果とその解釈

クラスでの共有を終えたのちに、教師は、多くの生徒が考える電流の出発・到着モデルを表現した、かけっことのアナロジーを導入した。そして、このアナロジーを基礎にした思考実験を企画・実行して、当該アナロジーの評価を試みた。WS 調査 (2) に基づくと、豆電球の点灯までの時間についての自分の考えの如何に関わらず、69名 (90%) の生徒は、アの場合は両方とも点灯しない、イの場合は豆電球 A のみ点灯する、ウの場合は豆電球 A・B の両方が点灯する、という思考実験の結果が得られた。例えば、中学生 J11 は、電気回路に流れる電流と結び付けて、思考実験の結果を記述していた (図 5)。中学生 J12 の「2 つとも明かりがつかないのはおかしい。つないであれば、2 つ明かりがつくはず」という記述のように、電流には「起こらないと思う」、「こんなことにはならない」、「これはおかしい」という結果の妥当性を疑う記述が見られた。

導かれた結論に疑問を感じた生徒のなかには、矛盾している部分がどこであるのか、もしくは、何が要因で矛盾を引き起こしているのか、というところも意識して記述した生徒が 8 名 (10%) いた。例えば、中学生 J13 は、「途中で止まった電流は止められたあとどこへいくのか。「かけっこモデル」に例えたのが、そもそも悪い」と記述し、スイッチを閉じた後の電流の所在といった思考実験によって引き起こされた疑問やかけっことのアナロジ

一で考えたことの問題について言及していた。また、中学生 J14 は、「流れる時間 (AB がつくまでの時間) に差がない? + → -とは限らない? そもそもつまっているかも (+ のでつぱりがスタートとは限らない?)」というように、思考実験の結果を多様に解釈することで、電流の出発・到着モデルを基礎にすることの問題点や新たな疑問に言及していた。

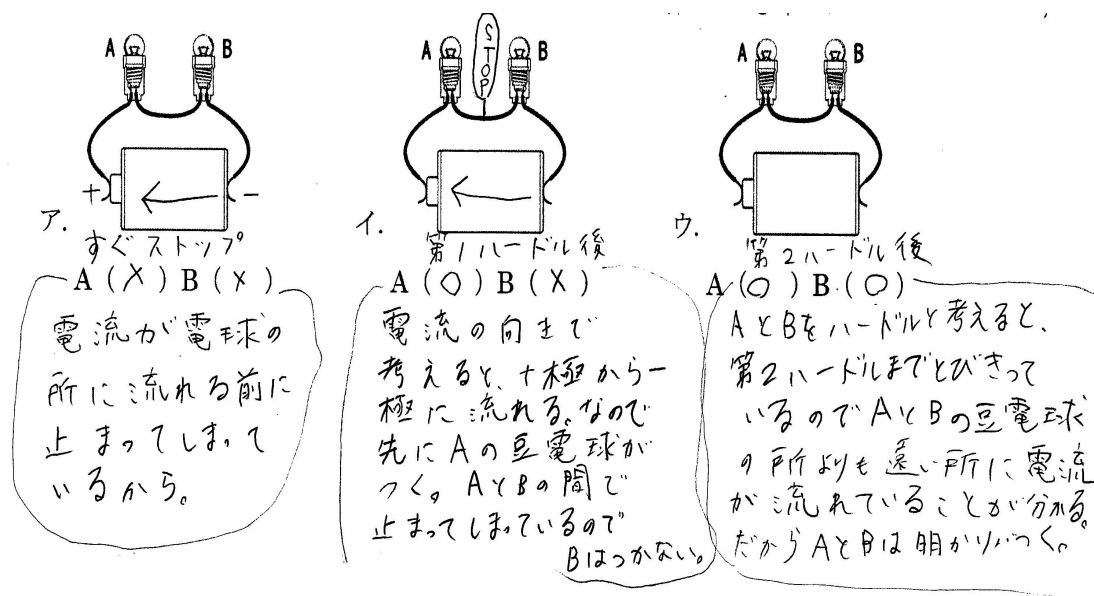


図5. 思考実験の結果の記述 (中学生 J11)

その一方で、スイッチ開閉の3つのタイミングのいずれの場合でも、2つの豆電球が点灯すると考えた生徒の一部には、「電流より速くスイッチが切れない」というような思考実験の企画それ自体の妥当性を指摘する記述も見られた。これについては、思考実験を正当化する規則として3つ挙げられるものの一つである「状況の理想化は反対者への譲歩または受容可能な形でなされること」(金子, 1986: 22-23) ⁷⁾ が必ずしも充足されていなかった可能性も示唆される。仮に電流の速度が非常に高速であるとしても(実際はそうではないが)、「電流より速くスイッチが切れる」という反事実的な条件を想定できることが、思考実験の意義でもあるが、当該の生徒には、本授業ではそのような思考実験の性質を共有できていなかったと考えられる。

(2) 中学生のアナロジーの修正や新規生成と他者のアナロジーの受容

教師が思考実験の結果と解釈について、質問したところ、いずれの学級のどちらでも、生徒からいくつかのアナロジーが提案された。例えば、ある学級では、生徒から電流を水流、列車、気流などに見立てたアナロジーが示された(表13)。中学生 J15 は、当初は「電気回路では、電池から電流が放出される」というオルタナティブコンセプトをもって

いたと告白し、他の生徒の考えを聞いて、水流（ホース中に水が充填されている状態）とのアナロジーについて言及したのであった（表 13 の下線部(a)）。それを学習課題に適用して、2 つの豆電球が点灯するまでの違いがないと答えている。続いて、同じように電流の出発・到着モデルで考えていた中学生 J16 は、複数の車両がつながった列車とのアナロジーを提案したのであった（表 13 の下線部(b)）。そのアナロジーに基づいて、一方から出発するようなものではなく、複数の列車がつながったような状態で同時的に移動することを指摘している。列車という同じベースを使って、2 つの考えが異なることを区別しているのであった。中学生 J7 は、授業の開始時点から電流の一体的移動モデルを考えており、自分自身のアナロジーである気流とのアナロジーについて発言していた（表 13 の下線部(c)）。

他方、別の学級でも、同様の教授展開において水流とのアナロジーが示された。これらのアナロジーを提案したのは、必ずしもはじめから電流の一体的移動モデルを考えていた生徒ばかりではなかった。そして、生徒から提案されたアナロジーは、ベースの種類こそは異なるものの、導線中に電流（電子）が存在していること、それが一体的に移動していることが、共通して含まれているのであった。

中学生 J15 と中学生 J16 を含めて、生徒 50 名（65%）は、教師が導入したアナロジー以外のアナロジーをワークシートに記述していた（WS 調査 (3)）。それらには、教師と生徒での対話過程で見られたアナロジー（図 6）もあれば、自転車のチェーン、輪になった人達、鎖などとのアナロジーが見られた。それらのアナロジーは、電気回路を教えるときによく使用されるアナロジーに類似しているものであった（Harrison, 2008）。

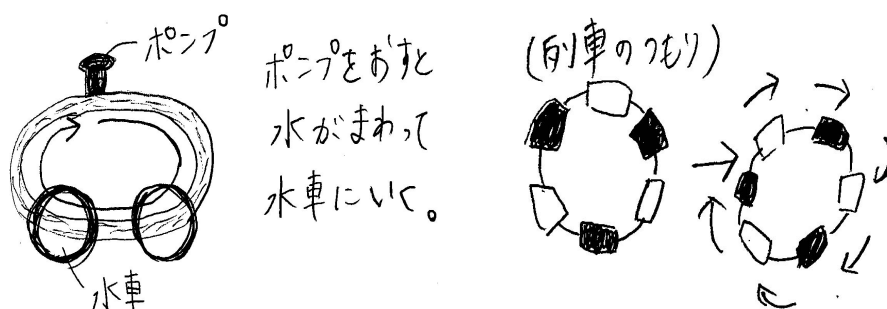


図 6. 中学生の記述・描画として見られたアナロジー例

表 13. 教師と中学生のアナロジーの修正と新規生成に関する対話

J15 : えーと、水にたとえて。導線を水として、豆電球を水車として、電池をポンプとして考えれば、分かりやすい。

T : みんなどう？えー、そうだと水だと考えると、違いがあるの？違いがないの？

J15 : あの、僕は電池の中に、電池の中から（電流が）出て来ると思っていたんで、よくわかんないですけど、J11 君は、もともと導線の中に水が入っているといっていたんで、違いがないと。^(a)もともと（水がホースの中に）入っていて、ポンプがふっと押したら、全部が一気にがーって動くから、違いはないじゃないんすか。

T : ああ、違いがない。どうだろう、みんな分かった？今の説明。さっき、水は、一方からびゅーって出て、こっちからここでホースに水が出て来るのではなくて、この中に水が全部詰まっているんじゃないのっていう考え方だね。それだったら、違いがないんじゃないと。どうかなみんなは、他の人。J16 君だったかな。

J16 : 線路に、あの長い電車を怪力マンが。どおっーって、押して
(中略)

J16 : ^(b)全部の車両ががーって押されていくみたい。そういう。電車がこっちからスタートするんじゃなくて、こっち（一つの輪になった車両）をボンっていう。

T : 知っていることは分かるよ。みんなは分かったかな？怪力マンがなんだろうって気にはなったけど、ね（笑）。みんな分かった？ 他にいるかな？今、水と怪力マン。おっ、J13 君かな。もう一回言ってくれる？
(中略)

J7 : ^(c)空気が入っている管を丸めて、輪っかみたいにして、で、途中で何かブロアーつけて、で、輪っかにしてつなぎ合わせることに、ブロアーみたいなのを、片方から空気を吸い込んで、もう片方から空気を出す。そそんなものをつなげると。で、空気の流れ、つまり、中で回っている風、風みたいなものが電流で・・・

(T : 教師, J15 : 中学生 J15, J16 : 中学生 J16, J7 : 中学生 J7)

第三項 中学生の学習過程を通じた概念的な葛藤の生起・促進と解消

(1) 授業進行に伴う中学生の心理的状态の変容の傾向

一連の授業の中で各段階6回に分けて、「自分の頭のスッキリ度チェックシート」(資料12)を活用し、自分自身の心理的状态を意識的に把握させた。その生徒の心理的状态の変容を示すグラフの形状は、一授業時間中に「モヤモヤ」方向での極小値を1度とる「V字形」(図7、図中の各点を結ぶ太線は、筆者による。以下同様)、同じく極小値を2度とる「W字形」(図8)、授業開始時が極小値であり、その後上昇もしくは横ばいの変化をたどる「右肩上がり形」(図9)という3つに分類することができた。これらの変化を示した中学生の割合は、表14のとおりであった。

表14. 授業進行に伴う中学生の心理的状态の変容の傾向

回答の類型	(人)	V字形	W字形	右肩上がり形
(1)違いがある	63	31	26	6
① A→Bの順序	(52)	(24)	(25)	(3)
② B→Aの順序	(6)	(5)	(0)	(1)
③ 順序は不明	(5)	(2)	(1)	(2)
(2)違いがない	10	6	3	1
(3)両論併記	1	1	0	0
(4)区別不能	3	1	1	1
合計	77	38	30	9

表13に示したように、V字形の変化を見せた生徒は38名(49%)、W字形の変化を見せた生徒は30名(39%)であり、ほとんどの生徒が、葛藤や不明瞭感などのモヤモヤ感が高まるという状態を少なくとも1度は経験していたのであった。中学生の心理的状态の変容の傾向として特徴的であったのは、3つの類型を特徴付ける極小値の存在であった。極小値をとる変化が見られたのは、V字形、W字形の変化を見せた生徒68名(88%)であった。これらの生徒を比較すると、1つの極小値をとる変化に共通性が見られ、もう1つの極小値をとる変化には、両者を区別しようとする心理的状态の変化の違いが見られた。自分と同じ意見や異なる意見の捉え方によって、いかに影響を受けたかが異なっていた。

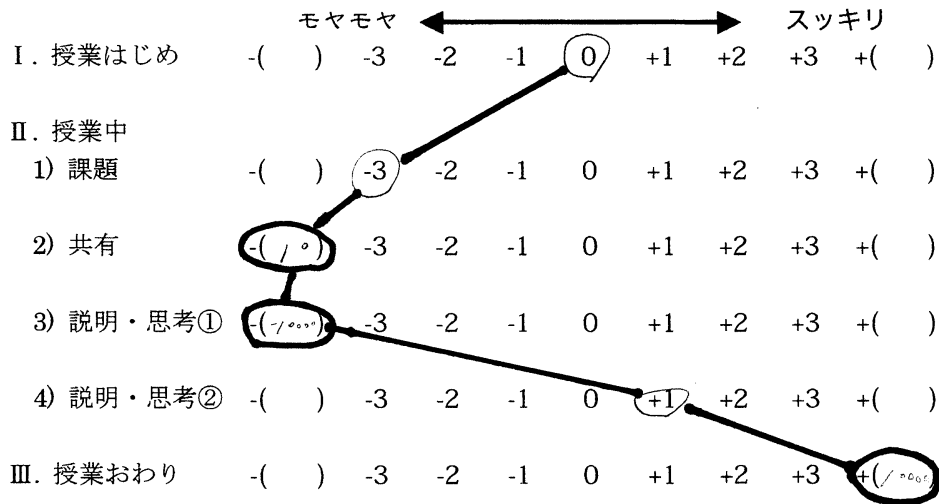


図 7. 生徒の心理的状态の変容例 (V 字形)

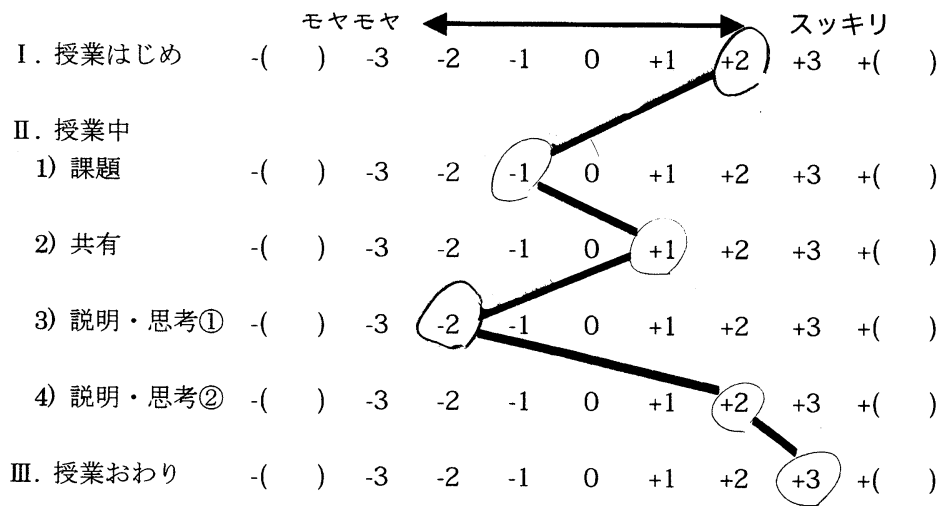


図 8. 生徒の心理的状态の変容例 (W 字形)

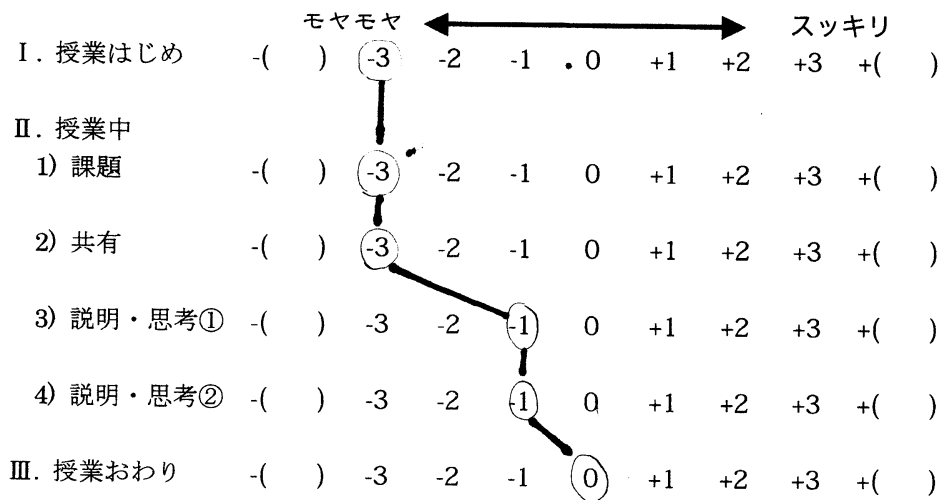


図 9. 生徒の心理的状态の変容例 (右肩上がり形)

W 字形、V 字形の変化を見せた生徒間での違いは、W 字形の変化を示した生徒のみが示した 1 つ目の極小値をとる場面、つまり、学習課題を提示され、それに取り組んでいる場面であった (FL 調査 (1) -II-1))。小学校では学習した内容を復習した段階では、それほど認知的な困難を感じている様子は見られなかったが、学習課題を提示された段階になると、モヤモヤ感を感じる心理的状态となったことが表れていた。V 字形の変化を見せた生徒であっても、この段階では、同様に下降する方向への心理的状态の移行を表現していた。次の段階は、クラスでの共有場面 (FL 調査 (1) -II-2)) であり、W 字形の変化を示す生徒達は、課題の回答それ自体には、必ずしも自信をもていなくても、グループやクラスで考えを共有した結果、圧倒的多数が自分と同意見であることを確認できたという安心感を得て、スッキリ度が一時的に高まる傾向が見られた。それに対して、V 字形の変化を見せた生徒にとって、共有の場面で、他の生徒から自分とは異なる考えが、たとえば専門的用語 (「自由電子」) などを使って提示されたことによって、自分の考えの確かさが揺らぎ、モヤモヤ感が高まり続けることになった。

一方、W 字形、V 字形の変化でも、もっともモヤモヤ感が高まり、極小値をとる場面があり、それは、思考実験を通じてかけっことのアナロジーを評価する場面であった (FL 調査 (1) -II-3))。電流の出発・到着モデルに基づいて考えていた多くの生徒にとって、自分の考えを代表するかけっことのアナロジーに含まれる、概念的な問題点を意識化させられる場面であり、より一層モヤモヤ感を感じる心理的状态へと移行していたのであった。いずれの類型を示す生徒であっても、ところてんとのアナロジーやモデル実験を導入して検討する段階 (FL 調査 (1) -II-4))、それを学習課題に適用して解決を図る段階 (FL 調査 (1) -III)) では、スッキリ感が高まるような心理的状态の変化を経験したことが表れていた。なお、右肩上がり形の変化を示した生徒には、本授業で期待される水準の概念的な理解に既に到達していた生徒と、授業への興味・関心が見られず、学習参加が十分ではなかった生徒との双方が含まれていた。

(2) 中学生の心理的状态のメタ認知と学習成果の実感

授業の終了段階で、授業全体を通じての自分自身の心理的状态への変容を振り返る機会を設定した (FL 調査 (2))。そこでの生徒の記述には、教授展開に伴う自身の心理的状态の変容、学習成果の実感、新たな疑問の生起などが見られた (表 15)。

生徒の捉える「モヤモヤ」という心理的状态は、疑問、混乱、矛盾などの多様な葛藤の

様相を含んでいることが認められた。例えば、中学生 J17 の記述にある「矛盾」、中学生 J4 の記述にある「混乱」のように、生徒の記述には、認知的な葛藤状態に係わる直接的な表現も見られたのであった。また、中学生 J18 は、かけっことのアナロジーの評価場面での心理的状态を、「言っていることは正しいのに、なぜかそうならないというモヤモヤの状態」というように、認知的な葛藤を感じていることを表現していた。

表 15. 中学生によるスッキリ具合の振り返りの記述例

<p>(1) W 字形の変化を示した生徒</p> <ul style="list-style-type: none">・ 最初は、今までの自分の考えと授業でやったことが矛盾して、少しモヤモヤしていたが、説明を受けて、自分の考えが変わり、矛盾しないようになったので、今はスッキリしている。(中学生 J17)
<p>(2) V 字形の変化を示した生徒</p> <ul style="list-style-type: none">・ みんなの意見を聞いた時に色々な考えがあって混らんした。ビー玉のを見た時は、すごくスッキリした。なぜ同時につくのかが一瞬で分かって、スッキリ度最高だった！！ (中学生 J4)
<p>(3) 右肩上がり形の変化を示した生徒</p> <ul style="list-style-type: none">・ 最初は、こんな感じだっけ、という感じでけっこうモヤモヤしていったけど、電気の流れのしくみを一つ一つ理解していくことで、授業後とてもスッキリできた。今日は、たくさんの理解を深めることでスッキリ感をとても感じる事ができたのでよかったです。(中学生 J18)

いずれのグラフの類型を示した生徒であっても、モヤモヤしていた状態からスッキリした状態への移行として、授業前後の心理的状态の変容を記述する傾向にあった。「電気について興味がわいてきた」(中学生 J19)、「私は、あまり電気関係が好きではなかったが、分かりやすいけん証で、自分の考えを改め、より深く考えていきたい意欲ができた」(中学生 J20) といった記述も見られ、授業後にスッキリという状態を感じた生徒は、電流についての概念的な理解の促進といった内容的な側面も当然含むものの、理科学習としての達成感や授業としての充実感といった情意的な側面の成果も実感しているのであった。

他方で、モヤモヤが残ったという記述には、授業の内容が理解できなかった部分というよりは、『なんで電子の流れと電流は逆なの?』という質問に答えられずモヤモヤ(中学生 J6)、「-方向に電気のもと君が移動していることは分かったけど、それが移動するとなぜ明かりがつくのかイマイチ」(中学生 J21)といったその後の学習内容に係わる疑問が見られた。中学生がそのような学習過程を経験することで、科学的な探究は正しい答えを導くことばかりではなく、答えが新しい疑問を導くことやより深い理解につながることは、アナロジーの生成・評価・修正過程の意義と見なせる (Lehrer, & Schauble, 2006)。

第四節 中学生のアナロジーの生成・評価・修正過程を通じた電気回路の学習促進

第一項 中学生の電流についての概念的な理解とオルタナティブコンプシヨンの変容

授業時間の最後の段階で、一連の教授内容等を振り返っての自由記述 (WS 調査 (4)) には、中学生の記述には多様な観点が含まれていた。生徒が電流の特性に関して記述した内容の主たる観点は、電流の所在、電流の速度、電流の流れ方、電流が流れ始める要因の 4 つに分類できた。各生徒の自由記述には、複数の観点が見られる場合もあり、観点ごとに計数したところ、表 15 のような結果が得られた。これらの観点に含まれなかった少数派の記述としては、電流を考えたときにたとえやモデルが有効だと思った (10 名, 10%) などの思考スキルの重要性、あるいは本授業の満足感などに言及したものが見られた。なお、WS 調査 (4) への記述が見られなかった生徒は 1 名 (1.3%) であり、それ以外の生徒は、表 16 のいずれかに該当するような記述を行っていた。

中学生の授業過程での心理的状态の変容と WS 調査 (4) への記述内容の関係について言えば、V 字形、W 字形、右肩上がり形のいずれの変化を示した生徒集団であっても、「電流が流れること」について分かったこととして記述した内容とその割合には、差異は見られなかった。生徒の自由記述に見られた観点のうち、最も回答数が多かったものは、電流の所在に関する記述であった。これは、本授業によって生徒の電流についての考えが変容した部分であった。

表 16. 授業後の「電流が流れること」について分かったこと

回答の類型	人数 (人)				割合 (%)
	V 字形	W 字形	右肩上がり形	合計	
(1)電流の所在	27	14	6	47	61
① 導線中の電流 (電子・電気等を含む) の存在	(27)	(14)	(6)	(47)	(61)
(2)電流の速度	20	12	4	36	47
① 電流の移動速度とその効果 (電気エネルギー) の伝達速度の差異	(13)	(8)	(3)	(24)	(31)
② 電流の速度が遅い (伝達速度への言及なし)	(6)	(3)	(0)	(9)	(12)
③ 中央部と末端との速度の差異 (中央部の速度は遅いが, 末端は速い)	(1)	(1)	(1)	(3)	(3.9)
(3)電流の流れ方	15	7	4	28	34
① 電流の同時的移動 (同時点灯含む)	(11)	(6)	(1)	(18)	(23)
② 電流の流れる向き (+極から-極へ)	(4)	(1)	(3)	(10)	(10)
(4)電流の流れ始める要因	5	3	1	14	18
① 力学的な要因 (押される・玉突き等)	(2)	(1)	(0)	(8)	(10)
② 電池=ポンプ (流れをつくる)	(3)	(2)	(1)	(6)	(7.8)

授業前の生徒の電流の所在に関しては、電流もしくは電子は、電池に蓄えられているなどして存在しているものであり、導線中には存在しないという考えが大勢を占めていた。それに対して、授業後には、回路のスイッチを入れる以前から、導線中には電子や電気あるいは何らかの物質的実体が存在しているという考えをもつように至っている (表 17)。

授業開始段階で、導線中に何かしら電流 (電子) のようなものが存在していると考えていた生徒は、わずか 5 名 (6.5%) だけであった。それに対して、授業を通じて、少なくとも 47 名 (61%) の生徒が、電流の所在についての考えを転換・変容させることになった。そして、電流の所在に関する記述が見られた生徒のうち、電流の速度に関する記述も見られたのは、27 名 (57%) であり、対象生徒全体として見れば 35%に相当するものであった。

中学生 J23 の記述にも見られるように、電流の所在に関する考え方は、電流の速度とも関連付けられていた。

表 17. 中学生の「電流の所在」に関する記述例

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・ 最初はつく時間に違いがあると思っていたが、中にもう電子がつまっているだなんて初めて知った。(中学生 J22)・ 導線の中には多くの電子がつまっている。それにより、中の電子はゆっくりだが、電流は速く伝わる。(中学生 J23) |
|--|

続いて、生徒の実際の記述として多く見られたのは、電流の速度に関する記述であり、36名(47%)の生徒に認められた。およそ3割の生徒の記述には、電流の速度はゆっくりであるが、豆電球の点灯ははやいという趣旨である、電流(電子)の移動速度とその電気的な効果の伝達速度との差異への言及が見られた(表18)。

電気的な効果の伝達速度には言及していない生徒を合わせると、33名(43%)の生徒が、効果との比較や事前の想像との比較に基づいて、電流の速度が遅いことあるいは速くはないことに言及していた。これまでの生活経験や理科授業を通じて、電気回路を接続したり、スイッチを入れると即座に、豆電球や蛍光灯が点灯したり、電化製品が作動することを知っている生徒にとっては、電流の流れる速度は、人間の感覚に比べてずっと大きいものだという考えが常識的なものであった。そして、この「電流(電気)の動きは速い」という考えは、「乾電池に電気(電流)が蓄えられている」という考えと併せて、生徒の電流の出発・到着モデルの基底にあるものであった。

それに対して、一連の教授展開、特に、教師が導入したところてんとのアナロジー、ビー玉を使ったモデル実験によって、電流(電子)それ自体の移動速度が遅いこと、その一方で、その効果としての電気エネルギーの伝達・変換の速度が速いことを理解できるようになっていた。ただし、一部の生徒(3名, 3.9%)は、電流(電子)の移動速度と電気エネルギーの伝達速度とが違うことを、導線の中央部と末端(スイッチ付近)での速度が違うことだと誤解していた。このことは、当該のアナロジーを使用する上で、中学生が誤解しうる具体的な内容の一つとして留意しておくべき点である。

表 18. 中学生の「電流の速度」に関する記述例

<p>① 電流の移動速度とその効果（電気エネルギー）の伝達速度の差異</p> <ul style="list-style-type: none">・ 電流はとても速く流れていると思ってたけど、効果がはやいだけで、中は意外とおそいことが分かった。電流がどのくらいの速さで動くのか知りたい。（中学生 J24）・ 電流というものはとても速くてすごいものだと思っていたけれど、ところてんのやつをやって、電流というものは、効果は速いけど、スピードがおそいということが分かってとても不思議に感じれた。（中学生 J25）
<p>② 電流の速度が遅い</p> <ul style="list-style-type: none">・ もっとスバスバっと中もはやくうごくとおもっていたけれど、いがいとゆっくりうごいてビックリ。（中学生 J26）

電流の流れ方については、電流の出発・到着モデルから一体的移動モデルへの転換を裏付ける記述が見られた（表 19）。

表 19. 中学生の「電流の流れ方」に関する記述例

<ul style="list-style-type: none">・ 電気は、光とイメージが同じで、流れる速さがとても速いから違いがないのだと思っていたが、電流が流れる、ということは、スタート場所が決まっているわけではなく押されて動き出す（何かが）ということだと分かった。（中学生 J27）・ プラスからマイナスに流れる、というのは、かけっこのようにプラスがスタートではなく、電気回路を電流が流れているのだと分かった。（中学生 J12）
--

授業の学習課題であった豆電球の点灯までの所要時間あるいは点灯順序については、「電流が＋極から－極へ流れる」ということの意味理解の変容を受けて、乾電池の＋極に近い豆電球から点灯するという考えから、乾電池の両極との距離に関係なく同時に点灯するという考えへと転換したことを示す記述が認められた。さらには、乾電池に蓄えられているか、そこで作り出されるなどして、電流が流れるのではなく、もともと導線などに存在してい

る電子が動くものだという理解した生徒の一部には、「電気が流れるということは、もともとつまっていた電子が押し出されることだということが分かった。また、その押し出すためのポンプとなるものが電池だということが自分の中で理解できた。」(中学生 J28) や「導線の中には中心にも端の方にも電子がぎっしりつまっていた、それが押されてはじめて電気が流れるのだと分かった。この授業から、電気が流れることに「力」が関係していることを実感した。」(中学生 J29) のように、乾電池の機能や電子を動かす要因についてまで思考の範囲を広げているものも見られた。これらの考えは、電気に関連する科学的概念として重要であり、理科カリキュラムでは、中学校段階においてはじめて意識的に教えられる「電圧」概念の形成に資するものであった。なお、電子が「押し出される」というような記述は、多くの生徒に認められるものであったが、どのようなものが押し出すのか、その物理的な要因までも射程にした記述は、限られたものであった。

第二項 アナロジーの認知的過程の見た中学生の概念的な理解の変容

(1) 教師が導入したアナロジーと概念的な理解の変容の意識化

本授業では、アナロジーの生成・評価・修正過程の一環として、教師は2種類のアナロジーを活用した。それらのアナロジーとは、生徒のオルタナティブコンセプションを代表するアナロジーと科学的コンセプションに通じるアナロジーであった。前者は、かけっことのアナロジーであり、後者は、ところてんとのアナロジーである。それらを活用した授業を受けた中学生の多くは、前項までに確認したように、授業開始段階では電気回路に流れる電流についてのオルタナティブコンセプションを保持していたが、授業後にはより科学的コンセプションへと移行する様子が認められた。そのような概念的な理解の変容が認められた生徒には、教師が導入したアナロジーを利用して、自分自身の認知的な変容を特徴付けているものも見られた(表 20)。例えば、中学生 J30 は、かけっこモデルがはじめ正しいと考えたが、次第にそれをおかしいと感じ、最終的にところてんモデルを受け入れた過程として、自身の学習過程を振り返っている。また、中学生 J31 は、学習過程を通じて生じた自身の概念的な変容を、かけっこモデルからところてんモデルへの変容として捉えている。

表 20. 中学生の認知的な変容を特徴付ける記述例

- ・ かけっこモデルで表したときはそう思ったけどところてんで表した時はとてもスッキリした (中学生 J30)
- ・ 電流と言ったかけっこモデルのことばかりを考えていましたが、先生が教えてくださったところてんモデルの考え方がすごく分かりやすく言葉によってだまされやすいけど、見方、視点を変えてくることによって、スッキリするものがあるなど分かりました (中学生 J31)

このように生徒の一部は、ある時点での自分自身の認知の内容を、それぞれ別のアナロジーに対応付けて、それらのアナロジー間の移行として、認知的な変容を認識しているのであった。このような変容は、学習者のメンタルモデルが変容していく過程というモデル進化である。

このとき、教師が導入したアナロジーは、中学生が学習過程を振り返り、個々の過程を特徴付けるために使用されていた。生徒自身にとって、振り返るべき対象（教授場面や内容）とは、学習に先立って規定されているものではなく、学習の結果として、教師のアナロジーに着目することに至っている。つまり、メタ認知的なリソースとして、教師のアナロジーが使用されているのである。ただし、このようなアナロジー使用が顕在化して見られた中学生は少数であり、早計に一般化することはできないものの、教師が導入するアナロジーは、学習内容の理解の促進のみならず、メタ認知の促進にも寄与しうることは指摘できる。むしろ、そのような寄与が期待されうる教師のアナロジーとは、科学的な知識を伝達するために考案されたアナロジーのみではなく、生徒の概念的な理解を特徴付けられるために考案されたアナロジーも含まれるのである。

(2) 複数のアナロジーの比較対照とアナロジーによる概念的な分化

中学生の心理的状态への変容の傾向から見ると、教師がかけっこのアナロジーを導入し、それを思考実験で評価する段階で、認知的な葛藤が生起・促進され、ところてんのアナロジーを導入して、それをモデル実験で評価する段階で、認知的な葛藤が解消されていた。授業終盤での振り返りの記述から明示されるように、生徒自身も、教師のアナロジーにより概念的な理解が促進された実感を得ていたのである。複数のモデルを比較し評価することには、同じ対象を説明するのに別のモデルがあり得ることや競合するモデルを検

証するためにモデルの評価・修正を行うことを理解する必要があり、このような過程が、概念的な変容の核心的な部分と見なされる (Jonassen, 2008: 678-679)。

生徒らが電流についての考えが変化したと感じた要因の一つには、複合的な特性をもつ電流のオルタナティブコンセプトのうち、特に、電流の速度に関する理解が促進されたことが挙げられる。小学校・中学校の理科カリキュラムでは、電流の速度に関する特性については、定量的な扱いはもちろんのことながら、定性的にも扱われることはない。その一方で、本授業で「電流が流れること」で分かったこととして生徒が記述した内容には、電流の速度に関する内容も見られた。しかも、そこには、正規の理科学習以前からもっていた電流の速度に関するプレコンセプトを併せて記述している傾向が認められた。

本授業を通じて、生徒の電流の速度に関する概念的な理解は、単純に「電流が非常に高速で流れている」というオルタナティブコンセプトを放棄して、「電流はそれほど高速ではない」というより科学的コンセプトへと移行したというものではない。むしろ、当該のオルタナティブコンセプトのうち、生徒の経験的な知識と整合する部分を残しつつ、より科学的な見方への移行が図られたのである。つまり、生徒らが日常的にスイッチを入れると即座に電灯が点灯するなどを経験しており、それらの経験との整合性を保った上で、導線中の電流の速度についての理解を深めたのであった。それには、電氣的現象の瞬間的な発露と導電中の電流の速度とを概念的に区別する必要があった。

このような概念的な区別を図る上で、教師が導入した一連のアナロジーは、効果的であった。生徒らは、教師の説明に即しながらベースとターゲットとの対応関係を構築していく過程で、ターゲットではもともと概念的に未分化であった属性（「電気」（電流などを含む）は非常に速く伝わる）を、ベースではそれぞれ区別される属性（「ところてんやビー玉が全体として移動する速さ」と「ところてんやビー玉が個々の部分として移動する速さ」と対応付けることで、結果的に、ターゲットでもそれぞれの属性（「電流が流れた効果が伝わる速さ」と「電流（電子など）自体の移動の速さ」とを区別するに至っている（図 10）。つまり、生徒らは、電流の移動速度と電流の効果との概念的な区別ができるようになったのである。このように、本授業でのアナロジーの導入には、ベースとターゲットとが関係付けられるときに、ベース内の構造が、ターゲット内の構造へと対応付けられることになり、ターゲット内で曖昧であった部分の構造化を促進する機能が認められるのであった。

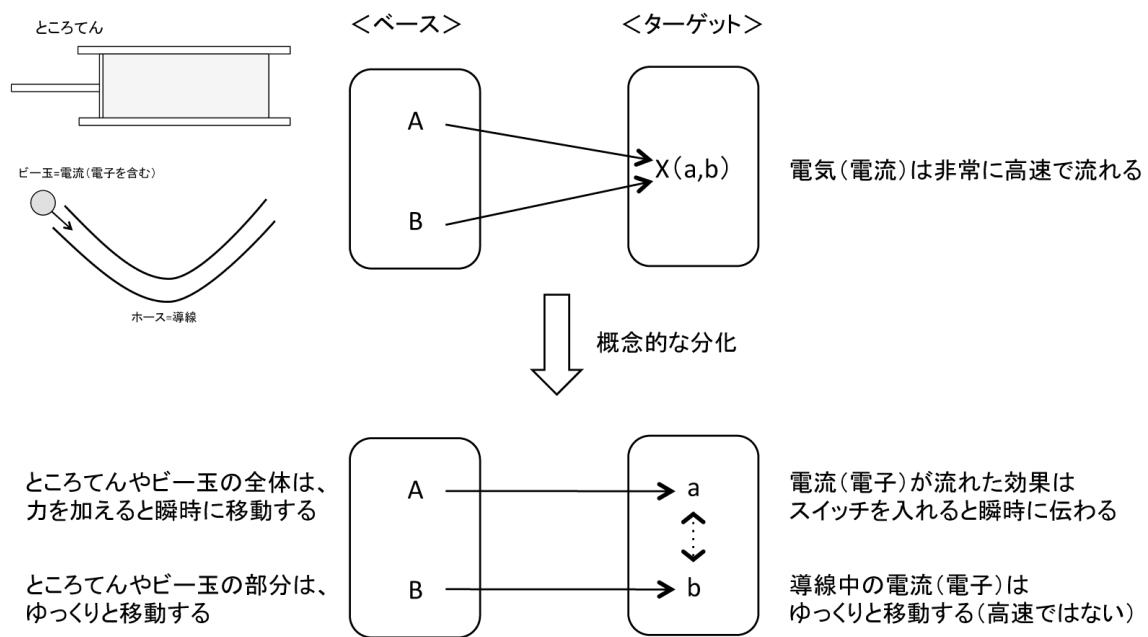


図 10. アナロジーによる概念的な分化 (概念図)

(3) 概念メタファーの移行としての「電流が流れること」の意味内容の変容

本授業で見られた生徒の概念的な理解の促進には、未分化であった概念を区別化できたことに加え、ある言語表現とそれを適用できる対象の組み合わせを再構成できたことが挙げられる。具体的には、「電流は、正極から負極へと流れる」という言語表現をそのまま適切なものとして保持しながら、その表現が適用できる対象を電流の出発・到着モデルから電流の一体的移動モデルへと変更したのである。

授業初期段階で、豆電球が点灯するまでの時間に違いがあると考えた生徒も違いがないと考えた生徒もいずれも「電流は、正極から負極へと流れる」という言語表現で表される命題的な知識を保持していた。しかしながら、授業終期段階では、言語表現はそのまま保持しながらも、その意味内容を変容させたのであった。電流の流れに関する記述表現は、本授業の前と後であってもこれまでと変わりなくても、電流に関する考え方それ自体は、変わっているのである。生徒の記述によく見られた表現では、電流の「イメージ」が変わったということに相当する。

このことは、概念的メタファーの移行の成果として、言語表現とその対象の変化を議論することができる。「電流が流れる」という言語表現には、メタファー的な意味の多様性がある。同じ「流れる」であっても、(a) 水が流れる、(b) 桃が流れる、(c) 川が流れる、という3つの表現で含意される内容はそれぞれ異なる(西村・野矢, 2013: 149-152)。(a) は、

流体あるいは内容物それ自体（ここでは、「水」）が移動する様子を述べたものである。(b)は、流体の移動に伴って別の物体（ここでは、「桃」）が移動する様子を述べたものである。そして、(c)は、流路に見られる流体の移動が起こっている全体的な様子を述べたものである。このようなことを参照すると、「流れる」という概念メタファーの移行が生じ、「電流が流れる」という意味内容の変容が行ったと考えられる。実際、授業初期では「+から-に流れるから（略）」と記述していた中学生 J18 は、「今まで、私は『流れる』というと水が流れるとか、そういうことを連想していた。だが、そういうものではないと知って、考え方が変わったと思った」と授業後に振り返っている。つまり、同じ流れるであっても、その流れのメタファーの捉え方が変化したことに言及しているのであった。このような流れのメタファーの意味理解の変化には、参照点（着目する流れているものや状態）が移行するようなメトニミー的な意味の変化が係わっているとも解釈できるのである。

加えて、科学論において議論されている科学理論の意味論的な捉え方からも議論できる。科学理論の捉え方には、今日の優勢な意味論的な捉え方の他に、科学理論の構文論的な捉え方もある⁸⁾。構文論的な捉え方からすれば、「電流は、正極から負極へと流れる」という言語表現が変わらなければ、理論変化が見られないと言える。また、電流を表すいくつかの表現が変化していれば、中学生の電流の理論的な変化が生じたと判断できる。一方、意味論的な捉え方からすれば、「電流は、正極から負極へと流れる」という言語表現が同一であっても、その表現が適用される対象（モデル）が変化しているので、そのことをもって中学生の電流についての理論的な変化が生じたと言え、また、その理論（モデル）を表現する仕方も多様性が認められるになる。本授業では、電流の出発・到着モデルや電流の一体的移動モデルが理論に相当するものであり、意味論的な捉え方から見て、中学生には電流の理論的な変化があったと見なせるのである。

以上のように、本授業による中学生の電流についての概念的な理解の変容の一端として、ある言語表現（電流の流れに関する記述）と言語外対象（電流のモデル）との組み合わせの再構成が認められる。

第五節 理科授業におけるアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーの有用性

第一項 事物・事象の抽象化・理想化の促進方策としての関係性のアナロジーの使用

現実世界のいくつかの重要な要因のみを抽出する「抽象化 (abstraction)」と、現実世界について反事実的な前提を設定し、その仮想的な世界を想定する「理想化 (idealization)」という方法は、重要な探究の方法である。そして、自然の事物・事象を抽象化・理想化して構成したものがモデルであり (森田, 2010; 183-184), 自然の抽象化・理想化は、自然の数学化の一過程でもある (高橋, 2008: 405-414)。教育内容としての自然の抽象化・理想化は、メタ科学的な知識として (Matthews, 2012: 18-20), 探究の方法として (Schwab, 1962: 45-48) も学習させたい過程である。

2 つの事物・事象との間に想定されうる関係のうち、表面的な類似性ではなく、より高次の関係性に基づいたアナロジーの利活用を意図した教授ストラテジーは、事物・事象の抽象化・理想化を促進する方法として有用であったと言える。1 つの事物・事象を対象としている場合であっても、抽象化・理想化を行うこと自体は可能であるが、一般的に考えて、2 つの事物・事象を対象としている場合の方が、両者に共通する部分を特定することが抽象化へとつながりやすい。しかも、2 つの事物・事象を対等なものとして比較する場合と異なり、アナロジーにおけるベースとターゲットという関係は、共通する部分を抽出する際に参照とするものがベースであることが含意されていることも有利に働くのである。ただし、アナロジーであっても、ベースとターゲットとの間の属性レベルなどの表面的な類似性に留まってしまうこともある。より高次の関係性に基づいたアナロジーを構成することが、より本質的な内容に限定した抽象化へと至るのである。また、ターゲットから離れた領域からベースを選択して、アナロジーを考えることは、ターゲットについての現実的な制約から離れて、より自由に思考することを許容するものとなる。現実的には、必ずしも関連性が認められないベースとターゲットの間に類似性を認め、さらには、より仮想的な関係までも考えられるという意味で、理想化を推進すると考えられるのである。

本研究で開発したアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーには、アナロジーのみの使用ではなく、アナロジーと思考実験を統合的に活用することを取り入れ、それが中学生の概念的な理解に寄与していたことから、抽象化・理想化を促進する方策として効果的であったと考えられる。抽象化・理想化が重要となる思考実験においては、概念的・論理的な推論、視覚的なイメージ、身体的な経験が認知的なリソースになるとされている

(Reiner & Gilbert, 2000)。今回のように、アナロジーと思考実験を関連付けることで、思考実験に必要とされる認知的なリソースの負担が軽減されることにつながっている。中学生にとって身近なベースを選択することで、視覚的なイメージ、身体的な経験を容易に活用することができ、また、関連の知識・経験もあるベースをシミュレーションして考え、それに基づいてターゲットを考えることのできるため、1つの事物・事象を対象として思考実験を企画・実施することに比べると、概念的・論理的な推論についても、認知的な障壁が低くなっていると捉えられる。アナロジーという文脈の中で思考実験を実施することは、アナロジーの使用と同様に、一般的に行われているものではないため、誤った理解を生じさせる危険性もある。しかしながら、実際に「かけっこ」や「ところてん」のアナロジーを使用した授業実践では、生徒は、かけっこやところてんの表面的な属性を捨象して、導線内部の状態とそれに伴う物体の移動の関係についての問題へと抽象化して捉えられていたのである。

第二項 モデルの複数可能性とモデル評価の重要性についての学習

理科教育では、一般的に、アナロジーにおけるベースは、ターゲットと共有しうる特性を抽出して選択されることから、模型などのスケールモデル、数式などの数学的モデルなどと同じように、モデルの一種である。今回の授業でも、「モデル」の定義などを踏まえた説明こそ行っていないものの、「かけっこモデル」や「ところてんモデル」と表現することで、これらを電気回路のモデルとして見なすことを明示していた。実際に、中学生のワークシートには、「かけっこモデル」あるいは「モデル」などの記述も確認することができた。また、「かけっこモデル」や「ところてんモデル」は、電気回路の異なるモデルであり、異なるモデルに基づくと、電気回路に関する現象について異なる予測を導きうることも理解しており、最終的には、「ところてんモデル」がより適切だと捉えられていたのであった。

アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいた授業を通じて、生徒は、電気回路に流れる電流に関する科学的な知識のみならず、モデルについても学習していた。本授業では、同一の事物・事象について、複数のモデルを考えうることを、そして、競合するようなモデルが想定されるときには、理論的・経験的な手法による評価が重要であることの学習を可能にしていた。

これまでのアナロジーによる教授ストラテジーであっても、アナロジーの適切性を評価することは重視されてきた。しかしながら、教師から科学的コンセプションに通じるアナ

ロジーが導入されるだけで、競合する複数のアナロジーやモデルを対象として、理論的・経験的な手法によって、アナロジーの適切性を評価することは、これまでの教授ストラテジーの基本的な構想から組み込まれていない。問題解決場面では、科学者に限らず、子どもであっても自発的にアナロジーを生成することはある。ただし、そのアナロジーの適切性を評価しようとすることは、科学領域の熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用の比較で確認したように、必ずしも一般的ではない。また、十分に考えられた指導なしには、学習者が自分自身の考えたモデルと競合するようなモデルを自発的に考え出すことは難しいとされる (Lehrer & Schauble, 2003: 61)。

それに対して、本研究で開発した教授ストラテジーでは、教師が科学的コンセプトに通じるアナロジーを導入するにしても、学習対象となる事物・事象についての生徒のプレコンセプトとしてのアナロジーを生成・表出させる場面の設定や、生徒のオルタナティブコンセプトを代表するアナロジーの準備を行っており、同一の対象に複数のアナロジーがありうること、そして、それらの適切性を評価することの学習過程が組み込まれているのである。このような教授ストラテジーによって、学習する内容について科学的に理解できている生徒や教師のアナロジー導入による認知的な支援を必要としない生徒であっても、モデルの複数可能性やモデル評価の重要性について学習することができる。

第三項 アナロジーに基づく学習過程におけるエンゲージメントの向上

学習方略の活用やより深い理解の追究などに係わる認知的エンゲージメントについては、低い状態から高い状態までの幅がある。概念的な理解の変容を生じるには、高い認知的エンゲージメントが必要であるとされる (Dole & Sinatra, 1998)。

アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいた授業では、中学生は、学習課題の提示から、教師や他の生徒によるアナロジーの生成・評価・修正過程を経て、電気回路に流れる電流についての概念的な理解の振り返りまで、行動的・心理的にも熱心に取り組んでおり、授業後には、概念的な理解の変容や深まりを含めて、学習への充実感を感じていたのであった。

2つの豆電球と乾電池を接続した電気回路において、それぞれの豆電球が点灯するまでの時間差の有無を考えるという学習課題の提示によって、中学生が電流についてもっていたプレコンセプトを意識化・顕在化し、電気回路に流れる電流に注意や関心を向ける

知的好奇心を高め、当該の学習課題の解決や電流についての理解を深める方向へと認知的動機づけが生じたのであった。この学習課題を解決するという目的が、アナロジー的推論を適切に行う上での重要となる実用的な要因となっていたのである。

続いて、生徒のオルタナティブコンセプションを代表するアナロジーや科学的コンセプションに通じるアナロジーを導入した、アナロジーの生成・評価・修正過程において、中学生は、自分自身の考えの適切性や問題性を認識し、それに伴って感情的な変化を感じる認知的な葛藤の生起・促進や解消を経験したのであった。「スッキリ」や「モヤモヤ」で表現される心理的状态の変化は、教授展開のねらいに対応して生じており、生徒が学習活動に関わっていることを示すものである。

中学生・高校生は、一般的に、理科授業におけるアナロジーは、自然の事物・事象を分かりやすく捉えるための認知的な道具という認識を基本的にもっていた。そのような認識を持っている生徒に対して、同様の認識を共有する教師あるいは生徒によって、アナロジーが導入されると、そのアナロジーには注意・関心が向けられやすいのである。生徒の注意・関心を集められた状態であるために、そうではない状態に比べて、生徒のプレコンセプションやそれに代替する科学的コンセプションなどの適切性を吟味することに取り組みやすくなっている。複数のモデルを評価する過程を通じて、自分の考えに問題がありうることも別の考えや新しい考えのほうがもっともらしいことも認識するに伴って、感情的な変化も生じているのである。自分が考えていた電流のプレコンセプションは、適切ではないと判断されることになった生徒であっても、その段階で学習へ取り組みが低下したわけでもなく、科学的コンセプションに通じるアナロジーの導入によって、より科学的コンセプションへの変容へと移行することができていたのである。

以上のことから、アナロジーに基づく学習過程では、中学生は、エンゲージメントが高い状態にあったと見なせる。授業実践の内容は、第2学年電気単元の第1時であったことを踏まえると、生徒が必ずしも当該の学習内容に動機づけられていたとは考えられず、今回の授業によってエンゲージメントが高められたと考えられる⁹⁾。

本章のまとめ

第一に、中学生・高校生のアナロジーの使用特性から見た既存の教授ストラテジーの課題と今日の理科教育論の要点を踏まえた理論的な検討を行い、学習者のアナロジーの使用

特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みを提案した。具体的には、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みについて、教授展開での中学生・高校生のアナロジーの顕在化と学習対象化、教授ストラテジーとしてのアナロジーと認知的な葛藤との接続と融合、アナロジーの生成・評価・修正を含む活用過程の導入を中心的な柱として、理論的な構造化を図った。アナロジーの生成・評価・修正過程を取り入れ、より高次の関係性に基づくアナロジーを構成・活用することを目指した教授ストラテジーを、「アナロジーの生成・評価・修正ストラテジー」と呼び、その手続きを明確化するとともに、当該ストラテジーが適用可能である範囲と条件を提示した。当該ストラテジーの開発では、アナロジーの認知的な過程を制約する実用的な要因（文脈）としての学習課題の提示、中学生・高校生の自発的なアナロジーやオルタナティブコンセプトを代表するアナロジーの利用、アナロジーの評価としての思考実験やモデル実験の活用、アナロジーによる認知的な葛藤の生起・促進など、これまでのアナロジーによる教授ストラテジーでは等閑視されてきた手続きを取り入れることを試みた。

第二に、アナロジーによる教授ストラテジーの基本的枠組みに従って、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づく理科授業を開発した。具体的には、中学校「電気回路」を事例として、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを具体化した教授活動や学習活動を設定し、それらを組み入れた授業の展開を構想した。

第三に、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいて開発した、中学校「電気回路」の授業を実践し、その有用性を評価した。具体的には、まず、中学生の電気回路の概念的な理解の促進をはじめとして、理科学習での認知的・情意的な側面での学習成果を特定した。また、当該の授業実践の成果から、概念的な理解の促進に加えて、事物・事象の抽象化・理想化の促進方策としてのより高次の関係性のアナロジー使用の観点、モデルの複数可能性とモデル評価の重要性についての学習の観点、アナロジーに基づく学習過程におけるエンゲージメントの向上の観点から、理科授業におけるアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーが有用であることを論じた。

註

- 1) このように捉えても、アナロジーと思考実験を同一視するものではない。なぜなら、アナロジーやその評価では、必ずしも上述の動的な操作を含むとは言えないことから、また、思考実験では、アナロジーの二領域構造から言えば、ターゲットのみに着目した思考内シミュレーションもあり得ることから、アナロジーと思考実験は区別しておく必要がある。
- 2) 教科内容の学習に関わる言語使用の問題は、より一般的には、「学習言語 (academic language)」の問題として知られている。もともとは、学習言語の問題は、教授言語を母語あるいは生活言語としない学習者の問題として考えられてきたが、文化資本としての言語という観点から見れば、当該の学習者に限定されず、より広範な学習者の言語生活に関わる問題である。
- 3) 「モデル実験」という呼び方は、日本では、『学習指導要領解説』でも特段の説明を追加することなく使用されており、一般的なものとなっている (文部科学省, 2008)。しかしながら、諸外国の理科教育の研究・実践の文脈では、それほど一般的な用法ではない。アメリカの理科教科書では、日本で「モデル実験」と呼んでいるものは、モデルの活用と呼ばれている (Berry, et al., 2007)。
- 4) 演繹的な推論とは、前提が真であれば、その推論規則に従って導かれる結論も真となるような推論様式である。しかしながら、前提が真であるかどうか、そして、議論全体として妥当であるかどうかは、用いる推論様式によって判断できるものではない (三浦, 2000; 伊勢田, 2005)。
- 5) 授業開発は、平成 20 年改訂の『学習指導要領』 (文部科学省, 2008) に即して行ったものである。なお、平成 29 年改訂の『学習指導要領』 (文部科学省, 2018) では、平成 20 年改訂から見て、電熱線の発熱に関する内容が小学校第 6 学年から、中学校第 2 学年へと移行された以外に、当該内容に関する大きな変化は見られない。
- 6) このようなモデル実験を提案したものとして、例えば、嶋田・林 (1972: 92-93) がある。
- 7) 他の二つの規則とは、反対者の見解が明確に述べられていること (第一の規則)、概念操作の適用において、以前のものと間に飛躍や切断がないこと (第三の規則) である (金子, 1986: 22-23)。
- 8) 構文論的な捉え方では、文やその集合が科学的な知識 (=理論) ということになる。理論と言語を同一視するような側面があり、理論変化のダイナミクスが扱えないなどの問題点が指摘される。一方、意味論的な捉え方では、科学理論とは、単純に文の集合その

ものでなく、その文の集合が表現しているような構造(=「モデル」)であり、世界に存在する事物がモデルの定義を十分よく実現し、満たし、具体化し、例示しており、ある程度の精度で当該の事物の振る舞いを予測できるものということになる(Giere, 1988: 62-91, 森田, 2008: 戸田山, 2005: 213-226)。

- 9) 授業を実施した学級の担任(理科教師)によると、生徒の一部は、授業実践の翌日の生活記録(日誌)に、当該授業に関する感想等を記述していた(平成22年7月9日私信)。

引用文献

- Allen, M. (2010). *Misconceptions in Primary Science*. Open University Press. pp.154-162,
- 安藤裕明, 森藤義孝, 中山迅 (1997). 「単純電気回路に関する小・中学生の考え方の再検討 -事象面接法を通して-」『科学教育研究』, 21(2), 115-125.
- バトラー後藤裕子 (2011). 『学習言語とは何か-教科学習に必要な言語能力-』三省堂.
- Berry, K.M., Frank, R.H., Robert, H., Hemenway, M.K., Kaska, K., Malin, P. E., Meech, K. J., & Sager, R. J. (2007). *Holt Science & Technology: Earth Science*. Holt Rinehart & Winston.
- ブラウン, S.I., ワルター, M.I. (著), 平林一榮 (監訳) (1990). 『いかにして問題をつくるか -問題設定の技術-』東洋館出版社.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Dole, J.A., & Sinatra, G.M. (1998). Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge. *Educational Psychologist*, 33(2/3), 109-128.
- Gilbert, J.K., & Reiner, M. (2000). Thought Experiments in Science Education: Potential and Current Realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science; A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
- Jonaseen, D. (2008). Model Building for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.676-693). Routledge.
- Kang, S., Scharmann, L.C., & Noh, T. (2004). Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Learning. *Research in Science Education*, 34(1), 71-96.
- 金子務 (1986). 『思考実験とはなにか-その役割と構造を探る-』講談社.

- Khan, S. (2008). What If Scenarios for Testing Student Models. In J.J. Clement, & M.A. Rea-Ramirez, (Eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp.138-150). Springer.
- 國友正和, 他 10 名 (2013). 『物理』 数研出版.
- Hesse, M.B. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press (高田紀代志 (訳) (1986) 『科学・モデル・アナロジー』 培風館) .
- Harrison, G.A. (2008). Effective Physics Analogies. In G.A. Harrison, & R.K. Coll (Eds.). *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms; The FAR Guide-An Interesting Way to Teach With Analogies* (pp.205-230). Corwin Press.
- 伊勢田哲治 (2005). 『哲学思考トレーニング』 ちくま書房.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Origins and Evolution of Model-Based Reasoning in Mathematics and Science. In R. Lesh, & H.M. Doerr (Eds.). *Beyond Constructivism; Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching* (pp.59-70). Routledge.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education. In Sawyer, K. (Ed.). *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.371-387). Cambridge University Press (寺本貴啓 (訳) (2009). 「科学教育におけるモデルベース推論の促進」 森敏昭, 秋田喜代美 (監訳) . 『学習科学ハンドブック』 , 295-309, 培風館) .
- Matthews, M.R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In M.S. Khine (Ed.). *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies* (pp.3-26). Springer. pp.18-20,2012
- 松森靖夫 (1997). 『子どもの多様な考えを活かして創る理科授業』 東洋館出版社.
- 三浦俊彦 (2000). 『論理学入門-推論のセンスとテクニックのために-』 日本放送出版協会.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書.
- 文部科学省 (2018). 『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』 東洋館出版社.
- 森田邦久 (2008). 『科学とはなにか-科学的説明の分析から探る科学の本質-』 晃洋書房.
- 森田邦久 (2010). 『理系人に役立つ科学哲学』 化学同人.
- National Research Council (2000). *How People Learn; Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press (森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2000), 『授業を変える-認知心理学のさらなる挑戦-』 北大路書房) .
- 西村美樹, 野矢茂樹 (2013). 『言語学の教室-哲学者と学ぶ認知言語学-』 中央公論社.
- Rea-Ramirez, M.A., Clement, J., & Neúñz-Oviedo, M. (2008). An Instructional Model Derived from

- Model Construction and Criticism Theory. In J.J. Clement, & M.A. Rea-Ramirez (Eds.). *Model-Based Learning and Instruction in Science* (pp.23-43). Springer.
- Reiner, M. (1998). Thought Experiments and Collaborative Learning in Science. *International Journal of Science Education*, 20(8), 1043-1058.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological Resources for Thought Experimentation in Science Learning”, *International Journal of Science Education*. 22 (5), 489-506.
- Schwab, J.J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. *The Teaching of Science* (pp.3-103). Harvard University Press (佐藤三郎 (訳) (1970).『探究としての学習』,7-99, 明治図書) .
- Shipstone, D. (1985). Electricity in Simple Circuits. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp.33-51). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993).「単純回路での電気」,『子ども達の自然理解と理科授業』, 52-57, 東洋館出版社) .
- 嶋田治, 林良重 (編著) (1972).『小学校・中学校 誤りやすい理科 100 題<物化編>』東洋館出版社.
- 高垣マユミ, 田原裕登志 (2006).「小学校 4 年理科「水の状態変化」の既有概念の変容過程における発話の解釈的分析」『理科教育学研究』, 46(2), 29-38.
- 高橋憲一 (2008).『ガリレオの迷宮-自然は数学の言語で書かれているか?-』共立出版.
- 戸田山和久 (2005).『科学哲学の冒険-サイエンスの目的と方法をさぐる-』日本放送出版協会.
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and Literacy in Science Education*. Open University Press. pp.7-23,
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. The Falmer Press (中山迅, 稲垣成哲 (監訳) (1995).『子どもの学びを探る-知の多様な表現を基底にした教室をめざして』東洋館出版社) .

終章 研究の成果と課題

第一節 本研究の成果

本研究では、学習者のアナロジーの使用特性の解明を通じて、アナロジーの認知的な制約に対応し、より高次の関係性でのアナロジーを促進する教授ストラテジーの開発を目的とした。この目的を達成するために、(1) 理科教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な知識や認識を明らかにすること、(2) アナロジーの認知的な制約に着目して、理科学習における中学生・高校生のアナロジーの使用特性を解明すること、(3) 科学領域の熟達者との比較から、理科学習における中学生・高校生のアナロジーの使用を特徴付けること、(4) 学習者のアナロジーの使用特性を踏まえて、より高次の関係性でのアナロジーを促進する教授ストラテジーを開発すること、の4点を下位の研究課題として設定した。以下では、これらの研究課題に即して、本研究の成果を総括する。

研究課題(1)について、中学校「物質の状態変化」「電気分解」を事例として、理科教師のアナロジーの使用方法に関する教授学的な内容知識を明らかにした。具体的には、教師は、理科授業でのアナロジーの使用では、イメージの形成を促進する機能や、興味関心の高める機能を重視している一方で、概念的な変容の促進は十分には意識していないことを明らかにした。また、アナロジーの生成・導入にあたっては、自分自身の理解を支える自己説明としてのアナロジーを教授のためのアナロジーとして活用しており、教科内容の知識と教授学的な知識が密接に結びついていることを示した。さらに、教師は、生徒に身近なベースからアナロジーを構成することを重視し、擬人的なアナロジーや状況に関連付けられたアナロジーを生成・活用する傾向が見られることを論じた。一方で、教師は、アナロジーの活用方法として、教師自身によるアナロジーの説明は考えているものの、学習者によるアナロジーの対応関係の構成や学習者によるアナロジーの生成についての言及は見られず、アナロジーの生成・構成・導入に関する学習者の役割をさほど重視していない可能性を指摘した。

研究課題(2)について、第一に、高校「化学電池」を事例として、理科授業における教師によるアナロジーの導入の有無に着目して、高校生のアナロジーの受容的な使用の特製を実証的に明らかにした。具体的には、一般的な説明では理解しにくいと思われる状況で、

教師がアナロジーを導入することによって、高校生は、学習内容が分かるような実感や興味・関心の高まりを感じる傾向があること、関連の科学的な知識が活用されるとき、概念的な理解が促進されることを指摘した。一方で、高校生が教師のアナロジーを受容するときに、自己の経験や知識に関連付ける文脈化を行うことで、当該アナロジーの意味内容を拡張して、誤解を生ずる場合があることを確認した。また、教師が導入するアナロジーが認知的な刺激になって、高校生が自分自身でアナロジーを生成しうること、そのアナロジーは擬人的なものになる傾向があることを示した。

第二に、中学校・高校「物質の状態変化」を事例にし、認知的な葛藤事例の提示およびその説明を構成する過程に着目して、中学生・高校生のアナロジーの自発的な使用の特性を解明した。具体的には、中学生・高校生のアナロジーの使用場面として、認知的な葛藤を生じるような事象の説明を構成する過程や他者との対話的な過程において、自発的にアナロジーを生成し、使用する傾向があることを明らかにした。また、中学生・高校生が使用するアナロジーの内容として、教師などから求められて生成する場合とは異なり、ベースとターゲットとの距離が近い領域からもアナロジーも見られることを指摘した。それには、問題を求める問い自体を変形することも含まれるのであった。さらに、中学生・高校生の科学的な現象での説明におけるアナロジーの機能として、着目する現象の一般化や限定化、認知的な葛藤状況の回避、自己の説明の正当化や擁護のように、理科学習を停滞させることもある一方で、既習の科学的な知識の組織化のように、概念的な理解を促進することも十分ありうることを示した。

研究課題(3)について、第一に、代表的な熟達者研究を対象として文献調査を行い、科学領域の熟達者のアナロジー使用に関する知見を検討・整理した。科学的な熟達者としての科学者は、問題解決、科学的な探究過程において、自発的にアナロジーを使用していること、そして、そのアナロジーの生成や評価の方法には、多様な様式があることを論じた。また、科学者のアナロジー使用は、説明の付与のみならず、仮説の設定や実験の計画などと多様な目的・機能をもっていること、思考実験や視覚的モデリングなどの他の思考様式と共起することにも言及した。このような熟達者のアナロジー使用には、アナロジーの生成・評価・修正の段階が含まれていること、アナロジーの単独的な使用のみではなく、他の思考様式との複合的な活用などの共通性が見られることを指摘した。

第二に、科学的な熟達者と中学生・高校生のアナロジー使用を比較対照し、両者の共通点や相違点を抽出し、中学生・高校生のアナロジーの使用を特徴付けた。具体的には、ア

ナロジーの目的・機能，アナロジーの生成，アナロジーの評価，アナロジーの内容領域，アナロジー使用とその環境という観点から，中学生・高校生のアナロジー使用の特性を明らかにした。アナロジーの目的・機能について，熟達者が科学の方法としても使用する一方で，中学生・高校生はもっぱら自然の事物・事象の説明を構成する手立て，あるいは，認知状態の表現や説明の方法として，また，認知的な葛藤を回避する手段として，アナロジーを使用していることなどを指摘した。アナロジーの生成について，熟達者と同様に，中学生・高校生は自発的にアナロジーを生成・使用する傾向があること，それが見られるのは，認知的な困難に直面した場面，対話的な過程，他者のアナロジーに関与する状況であることなどに言及した。アナロジーの評価について，これが熟達者との相違が顕著に見られた部分であり，中学生・高校生は，自己の生成したアナロジーを評価することにさほど重点を置いていないことを示した。アナロジーの内容領域について，熟達者は，ターゲットに近い領域のベースを選択するのに対して，中学生・高校生は，生命現象に限定されず，自然を擬人化したアナロジーを使用する傾向があることを論じた。アナロジー使用とその環境について，熟達者にとってのアナロジー使用は生成・評価・修正という動的過程であり，他の思考様式と併用されるものであるが，中学生・高校生には，そのようなアナロジー使用の事例が見られず，アナロジーを生成するだけの単発的な認知的活動に留まっていることなどを述べた。

研究課題 (4) について，第一に，アナロジー使用の行為の主体という観点から，これまでのアナロジーによる教授ストラテジーを類型化し，その成果と課題を抽出した。教師によるアナロジーの説明という教授ストラテジーでは，アナロジー導入手順の定型化が図られ，アナロジーの導入時機の一端が明らかにされていた。ただし，学習者によるアナロジーの対応関係の構成を含めて，教師がアナロジーを導入する場合，その学習過程で学習者に期待されるのは，学習者独自の解釈ではなく，教師が意図するベースとターゲットの対応関係を理解することに留まり，ターゲットそれ自体をどのように理解できるのかという点まで至らない問題点を指摘した。学習者自身にベースそれ自体も考えさせ，アナロジーを生成させるという教授ストラテジーでは，対話的な活動を通じて，アナロジーの生成やその内容理解が促進されるなどの有用性が認められた。しかしながら，対話的な学習活動を取り入れるとした場合であっても，アナロジーの評価を促進するような学習環境や働きかけが求められることを指摘した。さらに，教授展開において学習者がアナロジーを自発的に生成・導入するような条件は十分に探られておらず，教授ストラテジー開発での検討

課題となっていることを述べた。

第二に、中学生・高校生のアナロジーの使用特性から見た既存の教授ストラテジーの課題と今日の理科教育論の要点を踏まえた理論的な検討を行い、学習者のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みを提案した。具体的には、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を踏まえた教授ストラテジーの基本的枠組みについて、教授展開での中学生・高校生のアナロジーの顕在化と学習対象化、教授ストラテジーとしてのアナロジーと認知的な葛藤との接続と融合、アナロジーの生成・評価・修正を含む活用過程の導入を中心的な柱として、理論的な構造化を図った。アナロジーの生成・評価・修正過程を取り入れ、より高次の関係性に基づくアナロジーを構成・活用することを目指した教授ストラテジーを、「アナロジーの生成・評価・修正ストラテジー」と呼び、その手続きを明確化するとともに、当該ストラテジーが適用可能である範囲と条件を提示した。当該ストラテジーの開発では、アナロジーの認知的な過程を制約する実用的な要因（文脈）としての学習課題の提示、中学生・高校生の自発的なアナロジーやオルタナティブコンセプションを代表するアナロジーの利用、アナロジーの評価としての思考実験やモデル実験の活用、アナロジーによる認知的な葛藤の生起・促進など、これまでのアナロジーによる教授ストラテジーでは等閑視されてきた手続きを取り入れることを試みた。

第三に、アナロジーによる教授ストラテジーの基本的枠組みに従って、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づく理科授業を開発した。具体的には、中学校「電気回路」を事例として、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを具体化した教授活動や学習活動を設定し、それらを組み入れた授業の展開を構想した。

第三に、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいて開発した、中学校「電気回路」の授業を実践し、その有用性を評価した。具体的には、まず、中学生の電気回路の概念的な理解の促進をはじめとして、理科学習での認知的・情意的な側面での学習成果を特定した。また、当該の授業実践の成果から、概念的な理解の促進に加えて、事物・事象の抽象化・理想化の促進方策としてのより高次の関係性のアナロジー使用の観点、モデルの複数可能性とモデル評価の重要性についての学習の観点、アナロジーに基づく学習過程におけるエンゲージメントの向上の観点から、理科授業におけるアナロジーの生成・評価・修正ストラテジーが有用であることを論じた。

以上のことから、本研究の目的は、基本的に達成されたものと考えられる。

第二節 本研究の課題と今後の展望

第一項 本研究の課題

本研究では、中学生・高校生のアナロジーの使用特性を考慮し、学習過程の円滑な接続を図ったアナロジーによる教授ストラテジーの開発を行い、一定の成果が得られた。その一方で、検討すべき課題も残されている。本研究で提案したアナロジーによる教授ストラテジー研究のさらなる拡充や深化を目指し、本研究での限界の克服も踏まえた当座の課題として、より多様な内容領域や授業対象者での実践、科学的な知識の習得と構造化の観点から、また、コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発への貢献として、資質・能力としてのアナロジー使用の観点から、以下の3つが挙げられる。

第一に、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーが適用可能である範囲や条件をさらに実証的に検討することである。本研究では、当該ストラテジーを適用して、中学校「電気回路」の授業を開発して、実践的な有効性を検証してきた。この初等電気学分野では、よく知られたオルタナティブコンセプションがあったが、本授業を通じて、中学生は、電流が流れることの意味理解を変容させることになり、概念的な理解が促進されるなどの効果が見られた。一方、理科学習を阻害しうるようなオルタナティブコンセプションの存在が認められている教育内容は、当該授業で扱った内容以外にも、初等電気学分野はもとより、他の内容領域でも多数あることが知られている。アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを適用して、これらの内容領域でも同様に授業が開発できるかどうか、また、開発できたとすれば、学習者の概念的な理解の促進という点で有効であるか、実証的に検討することが考えられる。それ以外にも、異なる単元計画や実施授業数での実践、高校生を対象にした授業の開発と実践、教授上の手続きの入れ替えや重点化など、本研究で提案したアナロジーによる教授ストラテジーの基本的枠組みに従って、授業実践の具体化の内容や方策を探り、当該ストラテジーの適用可能な範囲や条件を明確化することも求められる。

第二に、科学領域での熟達化と学習の継続性という観点から見て、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーを適用した授業が、学習者の科学的な知識の習得と構造化に及ぼす影響や効果を考える必要がある。今日の理科学習論では、科学的な知識の習得の過程は、初期の理解からより科学的なそれへと緩やかに移行していき、構造化が図られていくものと考えられている。ただし、学習者の科学的な知識の習得と構造化の過程がいかに行進するのか、また、それを促進する教授上の働きかけや方法などは、実証的には解明されてい

ない。それに関連して、アナロジーによる教授ストラテジーを活用した授業直後では、学習者の概念的な理解が促進されていることは、数多く報告されてきているが、その後の学習の進展において、科学的な知識の習得や構造化へとつなげるための方策などは、十分に検討されていない。このように、アナロジーによって概念的な理解が促進された段階での、他の教授ストラテジーとの接続なども課題として残されている。

第三に、理科教育において育成したい科学的な探究能力の一つとして、アナロジーを位置付けるならば、子どものアナロジー使用能力の育成方法や評価方法は、今後の解明が期待される部分である。これまでの理科教育においては、教師のアナロジーの内容選択や導入方法に強い関心が向けられており、学習者のアナロジーの内容に着目されることはあったものの、学習者のアナロジー使用能力の育成やその方策などは考えられてこなかった。科学領域の熟達者に見られるように、問題解決や科学的な探究過程では、科学の方法としてアナロジーは使用されており、その他のモデリング関連の思考様式と併用されている。コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発の動向を踏まえると、アナロジーは、教授や学習の方法としてのみならず、科学の方法としても、理科教育で育成したい能力の一つであると言える。しかしながら、中学生・高校生のアナロジー使用能力の育成方法や評価方法に関する研究は、ほとんど手付かずのままである。そこで本研究で明らかにした、中学生・高校生のアナロジーの使用特性に関する知見を基礎として、小学生も含めた子どものアナロジー使用能力の育成方法や評価方法について、熟達の観点や発達の観点からの研究の展開も期待される。

第二項 今後の展望

本研究は、理科授業において、アナロジーによる教授ストラテジーを通じて、概念的な理解の促進を目指した研究であった。これまでの理科教育において、教師が主導して、子どもにアナロジーの効果的な使用を促すような教授ストラテジーを改善・開発して、科学での事実に・概念的な知識（内容知識）の習得を図ろうとする研究が精力的に進められており、今後も同様の研究が継続されると見込まれる。その一方で、理科教育におけるアナロジー研究は、上述のような研究発想に基づくものに限定されず、コンピテンシー指向の理科教育の推進などの今日的な動向に対応して、次のような方向性での展開が期待される。

第一に、アナロジーを含めた「モデルを基礎とした推論」の能力、すなわち、モデリング能力の発達の過程を捉える実証的な研究が求められる。モデリング能力については、内

容に関わる事實的・概念的な知識、プロセスに関わる手続きの知識 (procedural knowledge), 前者 2 つに関する認知的知識 (epistemic knowledge) を相互に組み合わせ、文脈に即して遂行する行為能力として捉えられ、その発達の過程のモデル化の試みが見られるが (NGSS Lead States, 2013), 実証的な裏付けは十分ではない。我が国の現状では、モデリング能力は理科カリキュラムに明示的には位置付けられておらず、コンピテンシー指向の理科カリキュラム開発の基礎となる知見も不足している。

モデリングの手続きの知識との関連で言えば、本研究において科学的な熟達者との比較に基づいた提示した、中学生・高校生のアナロジーの使用特性は、アナロジー以外のモデルの構成や使用の特性を検討する上で参考とすることができるであろう。本研究での内容領域や対象者は限定的であることから、多様な学年段階の子どものモデルやアナロジーの使用を探ることも欠かせないであろう。

モデリングの認知的知識との関連で言えば、中等教育段階の生徒は、理科カリキュラムにおけるモデルの性質の明示的な位置付けの有無に関わらず、モデルについての考えを形成しており、それが科学者の認識とは異なることが報告されている (Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002; 長瀬・古屋, 2016; 雲財・松浦, 2016)。それに対して、モデリングの対象となる内容知識、手続きの知識、認知的知識との関連性についてはほとんど調べられておらず、今後の研究が求められる。また、アナロジーによる誤解を軽減するという意味で、アナロジーの性質を教えることは一般的と言えるが (Glynn, 1993), 科学的な営みの理解、認知的知識の習得という点から、アナロジーの性質を教えようとする試みは限られており (クロッパー, 1976), 今後の研究課題となりうる。

他方、モデリング能力は、理科だけではなく、数学科や技術科においても重要な能力と考えられており、教科横断的な視点からの教科教育学研究も有用だと思われる。

第二に、表象能力 (representational competence) の育成と関連付けて、モデルを基礎とした推論過程、モデリング能力の育成方法を検討することが求められる。科学的な表現には、言語、図表、数式など多様な表現様式があり、また、ICT の活用もあり、理科の学習環境では、多様な表現様式が複数活用されるマルチモダリティー (multimodality) が高い (Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001)。つまり、モデリングには、どのような様式で表象 (表現) するのかということも密接に関わっている。本研究においても、中学生・高校生によるアナロジーは、言語的に表現されたものから、図的に表現されたものまで見られた。これらの表現様式の相違は、どのような認知的な差異があるのか、それが概念的な理解には

どのように影響するのかということまでは明らかにするに至っていない。また、アナロジーの生成・評価・修正ストラテジーに基づいた中学校「電気回路」の授業では、アナロジーの評価として思考実験を行っているが、その過程は、ベースやターゲットの表象の操作が求められるものであった。当該授業を受けた中学生は、思考実験を通じて、期待される結果が得られたと判断できたことから、表象能力の状況や影響を吟味することは行っていないが、表象能力という観点からも検討することで、アナロジーの認知的な過程とその指導に関する知見が得られるものと期待される。

理科教育における表象能力に関する研究関心は高まっており (Gilbert & Treagust, 2009; Pande & Chandrasekharan, 2017), 表象能力に関する熟達的水準モデルが提唱され (Kozma & Russell, 2005), 表象能力としても、モデリング能力と同様に、科学的な表現に関わる手続き的な知識だけではなく、認知的知識も重要とされている (diSessa, 2004)。教師と学習者の双方にとって教育リソースとなる理科教科書には、言語的にあるいは図的に表現されたアナロジーを確認することができ、ベースとターゲットとの対応関係やアナロジーの限界に関する記述に着目して、アナロジーの評価が行われている (Thiele & Treagust, 1994; Thiele & Treagust, 1995)。図的表現の理解には、関連の内容知識に加えて、図的表現に関する認知的知識も必要とされるが (Novick, 2006), アナロジーの表現様式の相違によって、アナロジーによる概念的な理解への影響、特に、表面的な類似性に基づいた誤解が生じうる可能性などについては、十分に調べられてはいない。理科で頻繁に使用される図的表現である矢印一つとって見ても、多様な意味を表現するのに使われる (Henderson, 1999)。理科教科書での視覚的表現の増加に見られるように (Lee, 2009), 多様な表現様式に着目して、アナロジーによる概念的な理解の促進やモデリング能力の育成を捉えることが、より一層重要になってくるものと思われる。例えば、図的表現に着目した研究と比べて (Tytler, Prain, Hubber, & Waldrip, 2013; 和田・森本, 2010; 和田・森本, 2011), 数学的な表現に着目した研究は限られている (Geyer & Kuske-Janßen, 2019)。アナロジーの利用も射程に入れ、自然事象の「数学化 (mathematisation)」によるモデリングを指向した研究を進めることは、重要な課題となりうる。

第三に、創造性 (creativity) の育成の観点から、理科教育におけるアナロジーの意義や役割に関する理論的な基礎付けを図るとともに、アナロジー使用能力の育成・開発の方策を実証的に検討することが求められる。理科教育における創造性の育成において、アナロジーは、重要な位置付けにあると認識されている (Kind & Kind, 2007)。本質的に、アナロ

ジーは、一見関連しない異なる領域のものや考えを結び付けるという意味で、創造的な思考様式であり、一定の見解へと至る収束的な思考よりも、多様な見解へと広がっていく拡散的な思考としての側面が潜在的に強い。しかしながら、事實的・概念的な知識の習得が目指される学習の文脈でアナロジーが使用される場合は、拡散的な思考としての側面を抑制しつつ、収束的な思考としての側面が発揮されるような教授ストラテジーが求められる。本研究では、そのような方向付けに必要とされる条件をアナロジーの認知的な制約と呼び、それらの制約に対応する教授ストラテジーの開発に取り組んできた。その一方で、中学生・高校生は、アナロジーを自発的に使用することがあり、誤解を生じている事例もあったが、このような認知的な過程は、拡散的な思考としての側面も重視するならば、アナロジーの創造的な使用と見なせる。例えば、創造性の4Cモデル (Kaufman & Beghetto, 2009) に基づけば、このようなアナロジーの使用は、経験、行為、事象についての斬新で個人的に意味のある解釈としての創造性である *mini-c creativity* として捉えられる。ただし、どのようなアナロジーをより質の高い創造性の発露と評価するのかは、これからの理論的・実証的な研究が必要とされる。

これまで科学者の創造性とアナロジーは関連性が高いものと認識されており (湯川, 2017: 138-142), 科学的な興味関心が強く、能力が高い、いわゆる、科学才能児 (Gifted and Talented Children) の創造性を育成する方法として、アナロジーの使用が注目されている (Rule & Olsen, 2016; Taber, 2016)。上記の4Cモデルでは、「創造性」は、フォーマルな学習やインフォーマルな学習によって、個人的な創造性である *mini-c creativity* から、日常生活の中での革新性を示すような創造性である *little-c creativity*, そして、日常的な水準を越えて、専門分野で傑出した創造性である *Pro-c creativity* を経て、社会的・歴史的に見て独創性が高い、卓越的な創造性である *Big-C creativity* へと到達しうるような育成可能な特性と考えられている。理科教育では、創造性の育成も重要と考えられていることも踏まえると (Kind & Kind, 2007), 科学才能児と認定されないような子どもも含めて、個々の創造性を育成・伸長することもできるような、アナロジーの使用に関わる教育方法の解明に向けた研究の展開も期待される。

引用文献

- diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- Geyer, MA., & Kuske-Janßen, W. (2019). Mathematical Representations in Physics Lessons. In G. Pospiech, M. Michelini, & BS. Eylon (Eds). *Mathematics in Physics Education* (pp.75-102). Springer.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (Eds.) (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M. Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」 武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社).
- Henderson, G. (1999). Learning with Diagrams. *Australian Science Teachers' Journal*, 45(2), 17-25.
- Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond Big and Little: The Four C Model of Creativity. *Review of General Psychology*, 13(1), 1–12.
- Kind, P.M., & Kind, V. (2007). Creativity in Science Education: Perspectives and Challenges for Developing School Science. *Studies in Science Education*, 43, 1-37.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J.K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp.121-146). Springer.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning; The Rhetorics of The Science Classroom*. Continuum.
- クロッパー, L.E. (著) , 渡辺正雄 (訳) (1976). 『HOSC 物理』 講談社.
- Lee, V. R. (2009). Adaptations and Continuities in the Use and Design of Visual Representations in US Middle School Science Textbooks. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1099–1126.
- 長瀬諒麻, 古屋光一 (2016). 「中学生は科学モデルをどのように理解しているか?—日本語版 SUMS の開発を通して—」『科学教育研究』, 40(4), 314-324.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*. The National Academies Press.
- Novick, L.P. (2006). The Importance of Both Diagrammatic Conventions and Domain-Specific

- Knowledge for Diagram Literacy in Science: The Hierarchy as an Illustrative Case. In D.Barker-Plummer, R. Cox, & N. Swoboda (Eds.) *Diagrams 2006: Diagrammatic Representation and Inference* (pp.1-11). Springer.
- Pande, P., & Chandrasekharan, S. (2017). Representational Competence: Towards a Distributed and Embodied Cognition Account. *Studies in Science Education*, 53(1), 1-43.
- Rule, A.C., & Olsen, B.D. (2016). Use of Analogy and Comparative Thinking in Scientific Creativity and Gifted Education. In Demetrikopoulos M.K., Pecore J.L. (Eds). *Interplay of Creativity and Giftedness in Science. Advances in Creativity and Giftedness* (pp.301-320). SensePublishers.
- Taber, K.S. (2016). ‘Chemical Reactions are Like Hell Because...’. In Demetrikopoulos M.K., Pecore J.L. (Eds). *Interplay of Creativity and Giftedness in Science. Advances in Creativity and Giftedness* (pp.321-349). Sense Publishers.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). The Nature and Extent of Analogies in Secondary Chemistry Textbooks. *Instructional Science*, 22(1), 61–74.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1995) Analogies in Chemistry Textbooks. *International Journal of Science Education*, 17(6), 783-795.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' Understanding of the Role of Scientific Models in Learning Science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrup, B. (Eds.) (2013). *Constructing Representation to Learn in Science*. Sense Publishers.
- 雲財寛, 松浦拓也 (2016).「中学生の科学的モデルに対するメタ的な認識の実態」『理科教育学研究』, 57(1), 1-10.
- 湯川秀樹 (2017). 『創造的人間』 KADOKAWA.
- 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』 51(1), 117-127.
- 和田一郎, 森本信也 (2011) 「子どもの科学概念構築における表象機能の操作因子に関する研究」『理科教育学研究』 51(3), 169-179.

参考文献一覧

(1) 英文文献

- Abell, S.K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1105-1149). Routledge.
- Amin, T. G. (2015). Conceptual Metaphor and the Study of Conceptual Change: Research synthesis and future directions. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 966–991.
- Aubusson, P. J., Harrison, A.G., & Ritchie, S.M. (2006). Metaphor and Analogy: Serious Thought in Science Education. In P.J. Aubusson, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 1-9). Springer.
- Allen, M. (2010). *Misconceptions in Primary Science*. Open University Press.
- Bailer-Jones, D.M. (2009). *Scientific Models in Philosophy of Science*. University of Pittsburgh Press.
- Barke, H.D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer.
- Berlyne, D.E. (1965). *Structure and Direction in Thinking*. John Wiley & Sons (橋本七重, 小杉洋子 (訳) (1970). 『思考の構造と方向』明治図書) .
- Berry, K.M., Frank, R.H., Robert, H., Hemenway, M.K., Kaska, K., Malin, P. E., Meech, K. J., & Sager, R. J. (2007). *Holt Science & Technology: Earth Science*. Holt Rinehart & Winston.
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2000). How Analogies are Generated: The Roles of Structural and Superficial Similarity. *Memory & Cognition*, 28(1), 108-124.
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2001). Analogy Use in Naturalistic Settings: The Influence of Audience, Emotion, and Goals. *Memory & Cognition*, 29(5), 730-735.
- BouJaoude, S., & Tamin, R. (2000). Analogies Generated by Middle-School Science Students—Types and Usefulness. *School Science Review*, 82(299), 57-63.
- Brown, J.R. (2011). *The Laboratory of the Mind; Thought Experiments in the Natural Sciences*. Routledge.
- Brown, D.E., & Clement, J. (1989). Overcoming Misconceptions via Analogical Reasoning:

- Abstract Transfer versus Explanatory Model Construction. *Instructional Science*, 18, 237–261.
- Cameron, L. (2002). Metaphors in the Learning of Science: A Discourse Focus. *British Educational Research Journal*, 28(5), 673-688.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press (小島康次, 小林好和 (訳) (1994).『子どもは小さな科学者か—J.ピアジェ理論の再考—』ミネルヴァ書房).
- Chi, M.T.H., Lewis, M.W., Reimann, P., Glaser, R., “Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems”, *Cognitive Science*, 13(2), pp.145-182, 1989.
- Chi, M.T.H. (2006). Two Approaches to the Study of Experts’ Characteristics. In K. Ericsson, N. Charness, P.J. Feltovich, & R.R. Hoffman (Eds.). *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp.21-30). Cambridge University Press.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Chiu, M.H., & Lin, J.W. (2005). Promoting Fourth Graders’ Conceptual Change of Their Understanding of Electric Current via Multiple Analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 429-464.
- Christidou, V., Koulaidis, V., & Christidou, T. (1997). Children’s Use of Metaphors in Relation to their Mental Models: The Case of the Ozone Layer and its Depletion. *Research in Science Education*, 27(4), 41-552.
- Clement, J. (1988). Observed Methods for Generating Analogies in Scientific Problem Solving. *Cognitive Science*, 12, 563-586.
- Clement, J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Student’s Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J. (1998). Expert Novice Similarities and Instruction Using Analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1271-1286.
- Clement, J. (2004). Imagistic Processes in Analogical Reasoning: Conserving Transformations and Dual Simulations. In K.Forbus , D. Gentner, & T.Regier (Eds.). *Proceedings of the*

- Twenty-sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.233-238), 26.
- Clement, J.J. (1989). Generation of Spontaneous Analogies by Students Solving Science Problems. In D.M. Topping, D.C. Crowell, V.N. Kobayashi (Eds.). *Thinking Across Cultures: the Third International Conference on Thinking*. (pp.303-308). Routledge.
- Clement, J. (2008). The Role of Explanatory Models in Teaching for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.417-452). Routledge.
- Clement, J. (2008). *Creative Model Construction in Scientists and Students; The Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation*. Springer.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The Role of Models/and Analogies in Science Education: Implications from Research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Cosgrove, M. (1995). A Study of Science-in-the-making as Students Generate an Analogy for Electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. (1985). Lesson Frameworks for Changing Children's Ideas. In R. Osborne, & P. Freyberg (Eds.). *Learning in Science; The implications of children's Science*, (pp. 101-123). Heinemann (森本信也, 堀哲夫 (訳) (1988). 「子どもの考えを変容させるための授業の枠組み」『子ども達はいかに科学理論を構成するか-理科の学習論-』, 150-182, 東洋館出版社) .
- Curtis, R.V., & Reigeluth, C.M. (1984). The Use of Analogies in Written Text. *Instructional Science*, 13(2), 99-117.
- Dagher, Z. R. (1994). Does the Use of Analogies Contribute to Conceptual Change? *Science Education*, 78(6), 601-614.
- Dagher, Z. R. (1995). Analysis of Analogies Used by Science Teachers. *Journal of Research in Science Education*, 32(3), 259-270.
- De Jong, O., Treagust, D. F. (2002). The Teaching and Learning of Electrochemistry. In J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, & J.H. Van Driel (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 325-327). Kluwer Academic Publishers.
- De Jong, O., Veal, W.R., & Van Driel, J.H. (2002). Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base. In J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, & J.H. Van Driel (Eds.). *Chemical*

- Education: Towards Research-based Practice* (pp. 373-374). Kluwer Academic Publishers.
- Develaki, M. (2006). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16(7-8), 725-749.
- Dewey, J. (1943). *The School and Society (Revised Edition)*, University of Chicago Press (宮原誠一 (訳) (1957) 『学校と社会』 岩波書店) .
- diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- diSessa, A.A. (2006). A History of Conceptual Change Research. In K. Sawyer (Ed.). *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.265-281). Cambridge University Press (寺本貴啓 (2009). 「概念変容研究の歴史-道筋と断層-」 森敏昭, 秋田喜代美 (監約) 『学習科学ハンドブック』, 205-219, 培風館) .
- Dole, J.A., & Sinatra, G.M. (1998). Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge. *Educational Psychologist*, 33(2/3), 109-128.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.) (1985). *Children's Ideas In Science*. Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 『子ども達の自然理解と理科授業』 東洋館出版社) .
- Driver, R. (1985). Beyond Appearances: The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp. 143-169). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「外見を超えて-物理変化及び化学変化における物質の保存」 『子ども達の自然理解と理科授業』, 181-209, 東洋館出版社) .
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual Change: a Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Dunbar, K. (1995). How Scientists Really Reason: Scientific Reasoning in Real-world Laboratories. In R.J. Sternberg, & J.E. Davidson (Eds.). *Nature of Insight* (pp.365-395). MIT Press.
- Dunbar, K. (1997). How Scientists Think: On-Line Creativity and Conceptual Change in Science.

- In B.W. Thomas, M.S. Steven, & V. Jyotsna (Eds.), *Creative Thought; an Investigation of Conceptual Structures and Processes* (pp.461-493). American Psychological Association (山崎治 (訳) (1999)「科学者の思考法-科学におけるオンラインの創造性と概念変化-」岡田猛, 田村均, 戸田山和久, 三輪和久 (編著)『科学を考える-人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点-』, 26-55, 北大路書房) .
- Dunbar, K. (2001). The Analogical Paradox: Why Analogy is so Easy in Naturalistic Settings, Yet so Difficult in the Psychological Laboratory. In D. Gentner, K.J. Holyoak, & B.N. Kokinov (Eds.). *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science* (pp.313-334). MIT Press.
- Dunbar, K., & Blanchette, I. (2001). The In Vivo/In Vitro Approach to Cognition: the Case of Analogy. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(8), 334-339.
- Dupin, J.J., & Johsua, S. (1989). Analogies and “Modeling Analogies” in Teaching: Some Examples in Basic Electricity. *Science Education*, 73(2), 211-216.
- Duschl, R. (2011). Learning Progressions and Teaching Sequences: A Review and Analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182.
- Erduran, S., & Jimenez-Aleixandre, M.P. (2008). Argumentation in Science Education: An Overview. In S. Erduran, & M.P. Jimenez-Aleixandre (Eds.). *Argumentation in Science Education*. (pp.4-11). Springer.
- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Head and Temperature. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp. 52-84). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「熱と温度」『子ども達の自然理解と理科授業』, 72-111, 東洋館出版社) .
- Festinger, L. (1957). *A Theory of Cognitive Dissonance*. Row, Peterson and Company (末永俊郎 (監訳) (1965). 『認知的不協和の理論-社会心理学序説-』 誠信書房) .
- Garnett, P.J., Garnett, P.J., & Hackling, M.W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.

- Gentner, D. (1989). The Mechanisms of Analogical Learning. In S. Vosniadou, & A. Ortony, (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp.199-241). Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Gentner, D.R. (1983). Mental Models of Electricity. In D. Gentner, A.L. Stevens (Eds.). *Mental Models* (pp.111-119). Lawrence Erlbaum Associates (淵一博 (監修) (1986). 『メンタル・モデルと知識表現』, 53-61, 共立出版).
- Geyer, MA., & Kuske-Janßen, W. (2019). Mathematical Representations in Physics Lessons. In G. Pospiech, M. Michelini, & BS. Eylon (Eds). *Mathematics in Physics Education* (pp.75-102). Springer.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science; A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
- Gilbert, J.K. (2006) On the Nature of “Context” in Chemical Education, *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gilbert, J.K. (2015). Analogies, Metaphors, and Models. In R.J. Gunstone (Ed.). *Encyclopedia of Science Education* (pp.42-44). Springer.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer.
- Gilbert, J.K., & Reiner, M. (2000). Thought Experiments in Science Education: Potential and Current Realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (Eds.) (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer.
- Glynn, S. M. (1989). The Teaching with Analogies Model. In K.D. Muth (Ed.). *Children's Comprehension of Text: Research into Practice* (pp.185-204). International Reading Association.
- Glynn, S. M. (1993). Explaining Science Concepts: A Teaching-With-Analogies Model. In S. M. Glynn, B. K. Britton, & R. H. Yeany. (Eds.). *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Lawrence Erlbaum Associates (稲垣成哲 (訳) (1993). 「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」 武村重和 (監訳) . 『理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—』, 240-265, 東洋館出版社).
- Good, R. (1993). Editor's Note. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1211.
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). ‘Models of’ versus ‘Models for’: Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. *Science & Education*, 26(1-2), 49–63.

- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Haglund, J. (2013). Collaborative and Self-Generated Analogies in Science Education. *Studies in Science Education*, 49(1), 35-68.
- Harrison, A.G. (2006). The Affective Dimension of Analogy. In P.J. Aebischer, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp.51-63). Springer.
- Harrison, A.G. (2008). Effective Physics Analogies. In G.A. Harrison, & R.K. Coll (Eds.). *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms; The FAR Guide-An Interesting Way to Teach With Analogies* (pp.205-230). Corwin Press.
- Harrison, G.A., & Coll, R.K. (2008). *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms; The FAR Guide-An Interesting Way to Teach With Analogies*. Corwin Press.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1993). Teaching with Analogies: A Case Study in Grade-10 Optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307.
- Harrison, A.G., & Treagust, D.F. (2000). A Typology of School Science Models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1014-1017.
- Harrison, A., & De Jong, O. (2005). Using Multiple Analogies: Case Study of A Chemistry Teacher's Preparations, Presentations and Reflections. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Eds.). *Research and the Quality of Science Education* (pp.353-364). Springer.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an Explanation of Conceptual Change., *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Henderson, G. (1999). Learning with Diagrams. *Australian Science Teachers' Journal*, 45(2), 17-25.
- Hesse, M.B. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press (高田紀代志 (訳) (1986) 『科学・モデル・アナロジー』 培風館) .
- Hewson, P., & Hewson, M.G.A. (1984). The Role of Conceptual Conflict in Conceptual Change and The Design of Science Instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Thagard, P.R. (1986). *Induction; Processes of Inference, Learning, and Discovery*. MIT Press (市川伸一 他 (訳) (1991). 『イン

- ダクシヨンー推論・学習・発見の統合理論へ向けてー』新曜社) .
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1994). *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. MIT Press (鈴木宏昭, 河原哲雄 (監訳) (1998)『アナロジーの力ー認知科学の新しい探究ー』新曜社) .
- Holyoak, K.J. (2005). Analogy. In K.J. Holyoak, & R.G. Morrison (Eds.). *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp.117-142), Cambridge University Press.
- Jeppson, F., Haglund, J., & Amin, T.G. (2015). Varying Use of Conceptual Metaphors across Levels of Expertise in Thermodynamics., *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 780-805.
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. The University Chicago Press (菅野盾樹, 中村雅之 (訳) (2001). 『心のなかの身体ー想像力へのパラダイム転換ー』紀伊国屋書店)
- Jonaseen, D. (2008). Model Building for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.676-693). Routledge.
- Kang, S., Scharmann, L.C., & Noh, T. (2004). Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Learning. *Research in Science Education*, 34(1), 71-96.
- Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond Big and Little: The Four C Model of Creativity. *Review of General Psychology*, 13(1), 1-12.
- Kaufman, D.R., Patel, V.L., & Magder, S.A. (1996). The Explanatory Role of Spontaneously Generated Analogies in Reasoning about Physiological Concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.
- Khan, S. (2008). What If Scenarios for Testing Student Models. In J.J. Clement, & M.A. Rea-Ramirez, (Eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp.138-150). Springer.
- Kind, V. (2009). Pedagogical Content Knowledge in Science Education: Perspectives and Potential for Progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204.
- Kind, P.M., & Kind, V. (2007). Creativity in Science Education: Perspectives and Challenges for Developing School Science. *Studies in Science Education*, 43, 1-37.
- Kipnis, N. (2005). Scientific Analogies and Their Use in Teaching Science. *Science and Education*, 4(3), 199-233.

- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J.K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp.121-146). Springer.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: The Rhetorics of The Science Classroom*. Continuum.
- Kuhn, D. (1993). Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Kuhn, T.S. (1977). *The Essential Tension; Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press (我孫子誠也・佐野正博 (訳) (1998)『科学革命における本質的緊張』みすず書房) .
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. The University Chicago Press (渡辺昇一, 楠瀬淳三, 下谷和幸 (訳) (1986).『レトリックと人生』大修館書店) .
- Laudan, L. (1977). *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. University of California Press (村上陽一郎, 井山弘幸 (共訳) (1986).『科学は合理的に進歩する-脱パラダイム論へ向けて』サイエンス社) .
- Lee, V. R. (2009). Adaptations and Continuities in the Use and Design of Visual Representations in US Middle School Science Textbooks. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1099-1126.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Origins and Evolution of Model-Based Reasoning in Mathematics and Science. In R. Lesh, & H.M. Doerr (Eds.). *Beyond Constructivism; Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching* (pp.59-70). Routledge.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education. In Sawyer, K. (Ed.). *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.371-387). Cambridge University Press (寺本貴啓 (訳) (2009).「科学教育におけるモデルベース推論の促進」森敏昭, 秋田喜代美 (監訳) .『学習科学ハンドブック』, 295-309, 培風館) .
- Lemke, J.L. (1990). *Talking Sciences*. Ablex Publishing.

- Levy, J. (2012). *A Bee in a Cathedral: And 99 Other Scientific Analogies*. A & C Black Publishers
 (緑慎也, 今里崇之 (訳) . 『デカルトの悪魔はなぜ笑うのか : 100 のアナロジ
 ーで読む素晴らしき科学の世界』 創元社) .
- Limon, M. (2001). On the Cognitive Conflict as Instructional Strategy for Conceptual Change: a
 Critical Appraisal. *Learning and Instruction, 11*, 373-374.
- Lombrozo, T. (2006). The Structure and Function of Explanations. *Trends in Cognitive Sciences,*
10(10), 464-470.
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers’
 Pedagogical Content Knowledge*. Sense Publisher.
- Matthews, M.R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science
 (FOS). In M.S. Khine (Ed.). *Advances in Nature of Science Research: Concepts and
 Methodologies* (pp.3-26). Springer.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's Analogical Reasoning in a Third-Grade
 Science Discussion. *Science Education, 90(2)*, 316-330.
- Maxwell, J.C. (1965). On Physical Lines of Force. In E.D. Niven (Ed.). *The Scientific Papers of
 James Clerk Maxwell Vol. 1* (pp.451-513). Retrieved from
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511698095>.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2012). Students’ Pre- and Post-teaching Analogical Reasoning When
 They Draw their Analogies. *International Journal of Science Education, 34(3)*, 429-
 458.
- Nashon, S. M. (2004). The Nature of Analogical Explanations: High School Physics Teachers Use
 in Kenya. *Research in Science Education, 34*, 475-502.
- National Research Council (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*.
 National Academy Press (森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2000)、『授業を変える-
 認知心理学のさらなる挑戦-』 北大路書房) .
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. The National
 Academies Press (長洲南海男 (監訳) (2003) 『全米科学教育スタンダード』 梓
 出版) .
- Nersessian, N. J. (1992). How Do Scientists Think?: Capturing the Dynamics of Conceptual
 Change in Science., in R.N. Giere (Ed.). *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*

- XV (pp.3-44. University of Minnesota Press.
- Nersessian, N. J. (2002). The Cognitive Basis of Model-based Reasoning in Science. In P. Carruthers, S. Stich, M. Siegal (Eds.). *The Cognitive Basis of Science* (pp.133-153). Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating Scientific Concepts*. MIT Press.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D.F. (2012). Understanding Needs Embodiment: A Theory-Guided Reanalysis of the Role of Metaphors and Analogies in Understanding Science”, *Science Education*, 96(5).849-877.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*. The National Academies Press.
- Novick, L.P. (2006). The Importance of Both Diagrammatic Conventions and Domain-Specific Knowledge for Diagram Literacy in Science: The Hierarchy as an Illustrative Case. In D.Barker-Plummer, R. Cox, & N. Swoboda (Eds.) *Diagrams 2006: Diagrammatic Representation and Inference* (pp.1-11). Springer.
- Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation: Toward A Principled Teaching Strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Open University Press.
- Orgill, M.K, & Bodner, G. (2004). What Research Tells Us About Using Analogies to Teach Chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 15-32.
- Pande, P., & Chandrasekharan, S. (2017). Representational Competence: Towards a Distributed and Embodied Cognition Account. *Studies in Science Education*, 53(1) ,1-43.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W., & Boyle, R.A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- Pittman, K.M. (1999). Student-Generated Analogies : Another Way of Knowing?. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22.
- Raisis, V. (1999). Expansion and Justification of models: the Exemplary Case of Galileo Galilei. In L. Magnani, N.J. Nersessian, & P.Thagard (Eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp.149-164). Kluwer Academic/Plenum Publishers.

- Rea-Ramirez, M.A., Clement, J., & Neúñz-Oviedo, M. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Criticism Theory. In J.J. Clement, & M.A. Rea-Ramirez (Eds.). *Model-Based Learning and Instruction in Science* (pp.23-43). Springer.
- Reeve, J. (2012). A Self-determination Theory Perspective on Students Engagement. In S.L. Christenson, A.L. Reschly, & C. Wylie (Eds.). *International Handbook of Research on Student Engagement* (pp.149-172). Springer.
- Reiner, M. (1998). Thought Experiments and Collaborative Learning in Science. *International Journal of Science Education*, 20(8), 1043-1058.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological Resources for Thought Experimentation in Science Learning”, *International Journal of Science Education*. 22(5), 489-506.
- Rule, A.C., & Olsen, B.D. (2016). Use of Analogy and Comparative Thinking in Scientific Creativity and Gifted Education. In Demetrikopoulos M.K., Pecore J.L. (Eds). *Interplay of Creativity and Giftedness in Science. Advances in Creativity and Giftedness* (pp.301-320). SensePublishers.
- Rosebery, A. S., Warren, B., & Conant, F.R. (1992). Appropriating Scientific Discourse: Findings from Language Minority Classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 2(1), 61-94.
- Sanger, M.J., & Greenbowe, T.J. (1997). Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 377-398.
- Schwab, J.J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. *The Teaching of Science* (pp.3-103). Harvard University Press (佐藤三郎 (訳) (1970).『探究としての学習』, 7-99, 明治図書) .
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, E. A., Kenyon, A., & Fortus, D. (2012). MoDeLS: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. In Alonzo, A. C., & Gotwals, A. (Eds.). *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions* (pp.101-137). Sense Publishers.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Schwarz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 632-654.

- Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. In S.K. Abell, & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp.31-56), Routledge.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shipstone, D. (1985). Electricity in Simple Circuits. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.). *Children's Ideas In Science* (pp.33-51). Open University Press (内田正男 (監訳) (1993). 「単純回路での電気」、『子ども達の自然理解と理科授業』, 52-57, 東洋館出版社) .
- Spier-Dance, L., Mayer-Smith, J. Dance, N., & Khan, S. (2005). The Role of Student-Generated Analogies in Promoting Conceptual Understanding for Undergraduate Chemistry Students. *Research in Science and Technological Education*, 23(2), 163-178.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L., & Anderson, D.K. (1989). Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition, In S. Vosniadou, & A. Ortony. (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 498-531). Cambridge University Press.
- Stephens, A.L., & Clement, J.J. (2012). The Role of Thought Experiments in Science and Science Learning. In B.J. Fraser, K.G. Tobin, C.J. McRobbie (Eds.). *Second International Handbook of Science Education* (pp.157-175). Springer.
- Stockmayer, S. M., & Treagust, D. F. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science & Education*, 3(2), 131–154.
- Taber, K.S., & Watts, M. (1996). The Secret Life of the Chemical Bond: Students' Anthropomorphic and Animistic References to Bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), 557-568.
- Taber, K. S. (2006). Beyond Constructivism: the Progressive Research Programme into Learning Science. *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- Taber, K.S. (2016). 'Chemical Reactions are Like Hell Because...'. In Demetrikopoulos M.K., Pecore J.L. (Eds). *Interplay of Creativity and Giftedness in Science. Advances in Creativity and Giftedness* (pp.321-349). Sense Publishers.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). An Interpretive Examination of High School Chemistry

- Teachers' Analogical Explanations. *Journal of Research in Science Education*, 31(3), 227-242.
- Thiele, R.B, & Treagust, D. F. (1995). Analogies in Chemistry Textbooks., *International Journal of Science Education*, 17(6), 783-795.
- Thagard, P. (1992). Analogy, Explanation, and Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' Understanding of the Role of Scientific Models in Learning Science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Treagust, D. F., Duit, R., Joslin, P., & Lindauer, I. (1992). Science Teachers' Use of Analogies: Observations from Classroom Practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- Treagust, D.F., Harrison, A.G., Venville, G.J., & Dagher, Z. (1996). Using an Analogical Teaching Approach to Engender Conceptual Change. *International Journal of Science Education*, 18(2), 213-229.
- Treagust, D.F., Harrison, A.G., & Venville, G.J. (1998). Teaching Science Effectively With Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(2), 85-101.
- Tsai, C.C. (2000). Enhancing Science Instruction: the Use of 'conflict maps. *International Journal of Science Education*, 22(3), 285-302.
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrup, B. (Eds.) (2013). *Constructing Representation to Learn in Science*. Sense Publishers.
- Valverde, G. A., Bianchi, L. J., Wolfe, R. G., & Schmidt, W. H. (2002). *According to the Book: Using TIMSS to Investigate the Translation of Policy into Practice Through the World of Textbooks*. Springer.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical Reasoning as a Mechanism in Knowledge Acquisition: A Developmental Perspective. In S. Vosniadou, A. Ortony (Eds.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 413-437). Cambridge University Press (土井晃一, 松原仁 (1992). 「知識獲得におけるメカニズムとしてのアナロジ推論：発達の観点から」, 安西祐一郎, 石崎俊, 大津由起雄, 羽多野誼余夫, 溝口文男 (編). 『認

- 知科学ハンドブック』, 104-117, 共立出版社) .
- Weller, C.M. (1970). The Role of Analogy in Teaching Science. *Journal of Research in Science Education*, 7, 113-119.
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and Literacy in Science Education*. Open University Press.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. The Falmer Press (中山迅, 稲垣成哲 (監訳) (1995). 『子どもの学びを探る—知の多様な表現を基底にした教室をめざして』 東洋館出版社) .
- Wilbers, J., & Duit, R. (2006). Post-Festum and Heuristic Analogies. In P.J. Aebischer, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp.37-49). Springer.
- Wong, E.D. (1993a). Self-Generated Analogies as a Tool for Constructing and Evaluating Explanations of Scientific Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 367-380.
- Wong, E.D. (1993b). Understanding the Generative Capacity of Analogies as a Tool for Explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272.
- Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J.S., Parke, H.M., & Crawley, F.E. (2003). Social Interaction and the Use of Analogy : An Analysis of Preservice Teachers' Talk during Physics Inquiry Lessons. *International Journal of Science Education*, 40(5), 443-463.
- Zeitoun, H.H. (1984). Teaching Scientific Analogies: a Proposed Model. *Research in Science and Technological Education*, 2, 107-125.
- Ziman, J. (2002). *Real Science; What it is, and what it means*. Cambridge University Press (東辻千枝子 (訳) (2006) 『科学の真実』 吉岡書店) .
- Zook, K.B., & Di Vesta, F. J. (1991). Instructional Analogies and Conceptual Misrepresentations. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 246-252.

(2) 邦文文献

- アイゼンク, M.W., エリス, A., ハント, ジョンソン-レアード, P. (編), 野島久雄, 重野純, 半田智久 (訳) (1998). 『認知心理学事典』 新曜社.
- アトキンス, P. (著), 斉藤隆央 (訳) (2004). 『ガリレオの指-現代科学を動かす 10 代理論-』 早川書房.
- 伊勢田哲治 (2005). 『哲学思考トレーニング』 ちくま書房.
- 今井むつみ, 野島久雄 (2003). 『人が学ぶということ-認知学習論からの視点-』 北樹出版.
- 雲財寛, 松浦拓也 (2016). 「中学生の科学的モデルに対するメタ的な認識の実態」『理科教育学研究』, 57(1), 1-10.
- 浅野檜英 (1996). 『論証のレトリック-古代ギリシャの言論の技術-』 講談社.
- 安藤裕明, 森藤義孝, 中山迅 (1997). 「単純電気回路に関する小・中学生の考え方の再検討-事象面接法を通して-」『科学教育研究』, 21(2), 115-125.
- 稲垣成哲, 山口悦司 (2004). 「理科学習への社会文化的アプローチ: Lotman と Wertsch の概念を参照した言語コミュニケーション分析」『理科教育学教育研究』, 44(2), 11-26.
- 磯崎哲夫, 米田典夫, 中條和光, 磯崎尚子, 平野俊英, 丹沢哲郎 (2007). 「教師の持つ教材化の知識に関する理論的・実証的研究-中学校理科教師の場合-」『科学教育研究』, 31(4), 195-209.
- 岩男卓実 (2006). 「帰納」海保博之, 楠見孝 (監修) (2006). 『心理学総合事典』, 231, 朝倉書店.
- 植田一博 (2000). 「科学者の類推による発見」『人工知能学会誌』, 15(4), 608-617.
- 宇佐美寛 (1973). 『思考指導の論理-教育方法における言語主義の批判-』 明治図書.
- 太田次郎, 他 19 名 (2003a). 『高等学校新編理科総合 A』 啓林館.
- 太田次郎, 他 19 名 (2003b). 『高等学校理科総合 A』 啓林館.
- 岡博昭 (1995). 「電気分解と電池-塩化銅 (II) による酸化還元反応-」『化学と教育』43(12), 756-757.
- 奥田博子 (2009). 「どのようにレトリック批評をするか」鈴木健、岡部朗一 (編) 『説得コミュニケーションを学ぶ人のために』, 83-121, 世界思想社.
- 鹿毛雅治 (2013). 『学習意欲の理論-動機づけの教育心理学-』 金子書房.
- 片平克弘 (2011). 「理科教育学における科学概念の変容研究に関する研究動向と課題」『筑波教育学研究』, 9, 83-101.

- 金子務 (1986).『思考実験とはなにかーその役割と構造を探るー』講談社.
- ガリレイ,G. (著), 青木靖三 (訳) (1959).『天文対話 (上)』岩波書店.
- ガリレイ,G. (著), 今野武雄, 日田節次 (訳) (1937).『新科学対話 (上)』岩波書店.
- カルツェフ,V.P. (著), 早川光雄、金田一真澄 (訳) (1976).『マクスウェルの生涯ー電気
文明の扉を開いた天才ー』東京書籍.
- 北原保雄 (編) (2002) 『明鏡国語事典』大修館書店。
- 楠見孝 (2001).「アナロジーとメタファー」辻幸夫 (編)『ことばの認知科学事典』,364-
370, 大修館書店.
- クロッパー,L.E. (著), 渡辺正雄 (訳) (1976).『HOSC 物理』講談社.
- クワイン,W.V.O. (著), 飯田隆 (訳) (1992).『論理的観点からー論理と哲学をめぐる九章
ー』勁草書房.
- 国立教育研究所 (1997).『中学校の数学教育・理科教育の国際調査-第3回国際数学・理
科教育調査報告書-』東洋館出版社.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2003).『平成13年度小中学校教育課程実施
状況調査報告書ー中学校理科』ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2004).『平成14年度高等学校教育課程実施
状況調査報告書 (理科)』実教出版.
- 小宮山宏, 他6名 (2004).『理科総合A 物質とエネルギーのサイエンス』数研出版.
- 佐藤寛之, 森本信也 (2004).「理科学習における類推的思考の意味と意義に関する考察」『理
科教育学教育研究』, 45(2), 29-36.
- 佐藤文隆, 他7名 (2004).『理科総合A』実教出版.
- 佐野博敏, 他26名 (2004).『高等学校新理科総合A』第一学習社.
- 佐野博敏, 他26名 (2004).『高等学校理科総合A』第一学習社.
- シナトラ,G.M., タツソブシラジー,G. (著), 塚野州一 (訳) (2014).「自己調整学習: 序論と概
観」塚野州一, 伊藤崇達 (監訳).『自己調整学習ハンドブック』, 159-170, 北大路
書房.
- 嶋田治, 林良重 (編著) (1972).『小学校・中学校 誤りやすい理科100題<物化編>』東
洋館出版社.
- ジーマーマン,B.J., シャンク,D.H. (著), 塚野州一 (訳) (2014).「自己調整学習: 序論と概観」
塚野州一, 伊藤崇達 (監訳).『自己調整学習ハンドブック』, 1-10, 北大路書房.

- 白石振作, 他 6 名 (2004). 『理科総合 A』大日本図書.
- 東海林恵子, 荻野和子 (2001). 「電池に関するいくつかのスマールスケール実験」『化学と教育』, 49(11), 712-713.
- 鈴木宏昭 (1996). 『類似と思考』共立出版.
- 鈴木誠 (2012). 『「ボクにもできる」がやる気を引き出す-学ぶ意欲を捉え, 伸ばすための処方箋-』東洋館出版社.
- ストライク, K.A, ポズナー, G.J.(1994). 「概念転換として見た学習と理解」, L.H.T.ウエスト, A.L.パインズ (編), 進藤公夫 (監訳) 『認知構造と概念転換』, 266-271, 東洋館出版.
- 瀬戸賢一 (1995). 『メタファー思考-意味と認識の仕組み-』講談社.
- セグレ, E. (著), 久保亮五, 矢崎裕二 (訳) (1992) 『古典物理学を作った人々-ガリレオからマクスウェルまで-』みすず書房.
- 高尾享幸 (2003). 「メタファー表現の意味と概念化」松本曜 (編) 『認知意味論』, 187-249, 大修館書店.
- 高垣マユミ, 田原裕登志 (2005). 「理想電源圧(電池)モデル(3D CG 教材)を導入した「電流」と「電圧」概念の統合」『理科教育学研究』, 45(1), 21-30.
- 高垣マユミ, 田原裕登志 (2006). 「小学校 4 年理科「水の状態変化」の既有概念の変容過程における発話の解釈的分析」『理科教育学研究』, 46(2), 29-38.
- 高橋憲一 (2008). 『ガリレオの迷宮-自然は数学の言語で書かれているか?-』共立出版.
- 高林武彦 (1999). 『熱学史 <第 2 版>』海鳴社.
- 竹内薫 (2000). 『「場」とはなんだろう-なにもないのに波が伝わる不思議-』講談社.
- 竹中真希子, 稲垣成哲, 山口悦司, 大島純, 大島律子, 村山功, 中山迅, 山本智一 (2005). 「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化:動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして」『科学教育研究』, 29(1), 25-38.
- 谷口一美 (2006). 『認知言語学』ひつじ書房.
- 丹治信春 (2009). 『クワイン-ホーリズムの哲学-』平凡社.
- 戸田盛和, 他 36 名 (1997). 『新版中学校理科 1 分野下』大日本図書.
- 戸田山和久 (2005). 『科学哲学の冒険-サイエンスの目的と方法をさぐる-』日本放送出版協会.
- 永井秀樹, 川北一彦 (1999). 「子どもが考えた電流モデルの有効性について」『理科教育学

- 研究』, 40(1), 35-43.
- 長倉三郎, 他 26 名 (2004a). 『理科総合 A システムとしてみる自然』 東京書籍.
- 長倉三郎, 他 26 名 (2004b). 『新編理科総合 A』 東京書籍.
- 長瀬諒麻, 古屋光一 (2016). 「中学生は科学モデルをどのように理解しているか?—日本語版 SUMS の開発を通して—」『科学教育研究』, 40(4), 314-324.
- 中田晋也, 磯崎哲夫, 中條和光 (2012). 「小学校教師の理科授業で使用する知識に関する研究—熟練教師と初任教師の比較を通して—」『科学教育研究』, 36(1), 27-37.
- 中山迅 (1998a). 「子どもの科学概念の比喩的な構成」『科学教育研究』, 22(1), 12-21.
- 中山迅 (1998b). 「日光によるもののあたたまりについて小学生が比喩的に構成する概念」『科学教育研究』, 22(2), 61-68.
- 中山迅, 猿田祐嗣 (1995). 「慣性についての高校生の素朴概念に関する教師の認知」『科学教育研究』, 19(2), 103-110.
- 中山迅, 宮川雄司 (1999). 「小・中学生の力概念の基底としての存在メタファ」『科学教育研究』, 23(2), 81-88.
- 西村美樹, 野矢茂樹 (2013). 『言語学の教室—哲学者と学ぶ認知言語学—』 中央公論社.
- 野田四郎 (1996). 「電池の起電力と反応熱—ダニエル電池を用いた簡単な実験—」『化学と教育』, 44(2), 122-124.
- 野矢茂樹 (2006) 『入門! 論理学』 中央公論新社.
- ハーマン, P.M. (著), 杉山滋郎訳 (1991) 『物理学の誕生—エネルギー・力・物質の概念の発達史—』 朝倉書店.
- バトラー後藤裕子 (2011). 『学習言語とは何か—教科学習に必要な言語能力—』 三省堂.
- 林秀雄, 安藤雅夫, 石原敏秀, 尾崎浩巳 (1997). 「理科学習におけるブリッジングアナロジー方略の有効性についての実証的研究」『日本理科教育学会研究紀要』, 38(2), 121-134.
- ポリア, G. (著), 柿内賢信 (監修) (1954). 『いかにして問題をとくか』 丸善.
- ブラウン, S.I., ワルター, M.I. (著), 平林一榮 (監訳) (1990). 『いかにして問題をつくるか—問題設定の技術—』 東洋館出版社.
- 細矢治夫, 他 10 名 (2004). 『理科総合 A』 三省堂.
- 堀哲夫 (1998). 『問題解決力を育てる理科授業のストラテジー—素朴概念をふまえて—』 明治図書.

- 益田裕充 (2005).「水流モデルから電流回路を類推する理科授業に関する研究ーベースドメインの関係とターゲットドメインの関係を類推させるコミュニケーション活動を通してー」『理科教育学研究』, 47(2), 41-49.
- ポパー, K.R. (著), 大内義一, 森博 (訳) (1972). 『科学的発見の論理 (下)』 恒星社厚生閣.
- マッハ, E. (著), 廣松渉 (編訳) (2002). 『認識の分析』 法政大学出版局.
- 松森靖夫 (1996).「理科授業研究の動向に関するー考察ーアナロジーを導入した授業の効果に関する既存研究を中心にしてー」『科学教育研究』, 19(4), 189-201.
- 松森靖夫 (1997). 『子どもの多様な考えを活かして創る理科授業』 東洋館出版社.
- 森本信也 (1993). 『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』 東洋館出版社.
- 森本信也 (2012). 「自己調整学習のもとでの科学概念変換」 日本理科教育学会 (編著) 『今こそ理科の学力を問うー新しい学力を育成する視点ー』, 120-125, 東洋館出版社.
- 村山功 (1989).「自然科学の理解」 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓『教科理解の認知心理学』, 99-151, 新曜社.
- 三浦俊彦 (2000). 『論理学入門ー推論のセンスとテクニックのためにー』 日本放送出版協会.
- レイブ, J., ウェンガー, E. (著), 佐伯胖 (訳) (1993). 『状況に埋め込まれた学習ー正統的周辺参加ー』 産業図書.
- 森田邦久 (2008). 『科学とはなにかー科学的説明の分析から探る科学の本質ー』 晃洋書房.
- 森田邦久 (2010). 『理系人に役立つ科学哲学』 化学同人.
- 森本信也 (1993). 『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』 東洋館出版社.
- 文部省 (1989). 『中学校指導書 理科編』 学校図書.
- 文部省 (1999). 『中学校学習指導要領解説 (平成 10 年 12 月) 理科編』 大日本図書.
- 文部省 (1999). 『高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編』 大日本図書.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書.
- 文部科学省 (2018). 『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』 東洋館出版社.
- レイモンド, W., ギブズ, Jr. (著), 辻幸夫, 井上逸兵 (監訳) (2008). 『比喩と認知ー心とことばの認知科学ー』 研究社.
- 渡辺正, 北条博彦 (2008). 『高校で教わりたかった化学』 日本評論社.
- 山中桂一 (1994). 「意味の修辞学」 池上嘉彦, 山中桂一, 唐須教光『文化記号論ーことばのコードと文化のコードー』, 150-154, 講談社.

- 山本義隆 (2008). 『熱学思想の史的展開 1 -熱とエントロピー-』 筑摩書房.
- 湯川秀樹 (2017). 『創造的人間』 KADOKAWA.
- 吉田工 (2001). 「黒板貼付け型ダニエル電池」『化学と教育』, 49(10), 630.
- 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』 51(1), 117-127.
- 和田一郎, 森本信也 (2011) . 「子どもの科学概念構築における表象機能の操作因子に関する研究」『理科教育学研究』 51(3), 169-179.

(3) 関連既出論文

- 内ノ倉真吾 (2007). 「理科授業における教師のメタファー活用の特徴-メタファーの機能についての認識に着目して-」 『筑波教育学研究』, 5, 1-19.
- 内ノ倉真吾 (2008). 「中等理科教科書における教材としてのアナロジーの多面的な活用-水流モデルに基づいた電気回路の教授過程の日英比較を通じて-」 『教材学研究』, 19, 29-38.
- 内ノ倉真吾 (2008). 「理科授業におけるモデルとモデリング-中学校電気単元を事例にして-」 『日本科学教育学会研究会報告』, 22(3), 17-20.
- 内ノ倉真吾 (2008). 「教師のメタファーによる高校生のダニエル電池の誤解の発生-電極間での電子の移動の学習を事例にして-」 『理科教育学研究』, 49(1), 23-33.
- 内ノ倉真吾 (2009). 「生徒の科学的現象の説明におけるアナロジー・メタファーの生成-その内容選択と機能に着目して-」 『日本教科教育学会誌』, 32(1), 1-10.
- 内ノ倉真吾 (2010). 「子どもの理科学習におけるアナロジーとメタファー-科学的な概念の形成との関わりに着目して-」 『静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇)』, 41, 91-106.
- 内ノ倉真吾 (2010). 「アナロジーによる理科教授法の開発とその展開-構成主義的学習論の興隆以降に着目して-」 『理科教育学研究』, 50(3), 27-41.
- 内ノ倉真吾 (2011). 「アナロジーを基盤にした認知的な葛藤の生起・促進とその解消: 中学生の「電流が+極から-極へ流れる」の意味理解」 『理科教育学研究』, 51(3), 47-58.
- 内ノ倉真吾 (2011). 「中学生のアナロジーの生成と評価による理科学習の促進-「凸レンズによる結像」を事例として-」 『理科教育学研究』, 52(2), 33-45.
- 内ノ倉真吾 (2012). 「理科授業におけるアナロジー思考の方法論的原理としての「変形」の導入-小学校3年生の電気単元を事例にして-」 『静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇)』, 43, 119-134.
- 内ノ倉真吾 (2012). 「理科の学習論」大高泉・清水美憲(編). 『教科教育の理論と授業II(理数編)』, 207-222, 協同出版.
- 内ノ倉真吾 (2016). 「アメリカ中等科学教科書におけるモデルの開発・利用に関する内容構成の特質-ホルト科学教科書と日本の理科教科書との比較に基づいて-」 『教

材学研究』, 27, 117-124.

内ノ倉真吾 (2016). 「長期の理科学習者としての理科系大学生のアナロジーの使用- 「物質の状態変化」の学習の振り返りに基づいて-」『鹿児島大学教育学部研究紀要 (教育科学編)』, 67, 13-33.

内ノ倉真吾 (2016). 「科学領域の熟達者のアナロジーの使用方法-問題解決および科学的な探究過程に着目して-」『鹿児島大学教育学部研究紀要 (人文・社会科学編)』, 67, 49-70.

内ノ倉真吾 (2017). 「理科教育におけるアナロジーとその有用性」大高泉 (編著). 『理科教育基礎論研究』, 211-224, 協同出版.

内ノ倉真吾 (2018). 「初等理科の基礎的な学習理論とそれを踏まえた指導」大高泉 (編著). 『初等理科教育』, 95-104, ミネルヴァ書房.

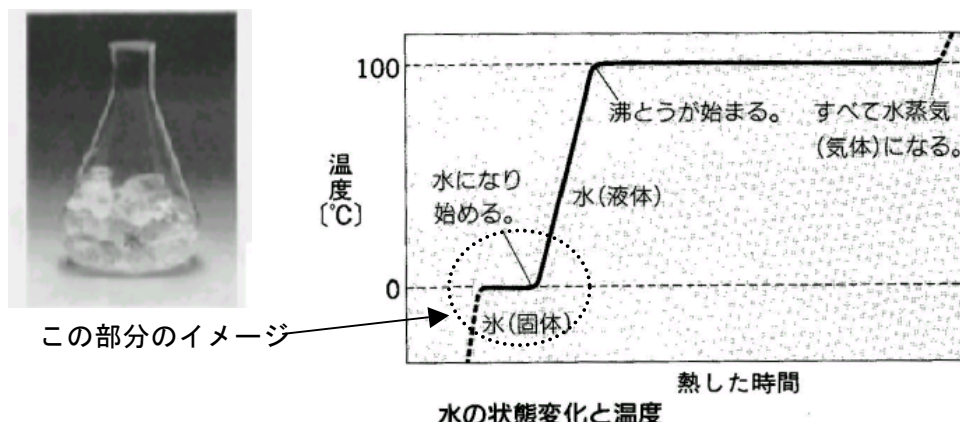
資料1

これはテストではありませんから、あなたの思っているとおりに書いてください。

年 組 番 名前 男・女

あなたの生活に身近な水の変化についてです。水を氷から加熱していくと温度はグラフ(右下)のようになります。氷を加熱しているとどんどん温度が上がります。でも、 0°C になると、温度はしばらく変化しません。それがしばらく続いた後、また温度が上がっていきます。

問 加熱しているのに、どうして氷の温度は 0°C からしばらく変わらないのでしょうか？あなたのイメージを書いてみましょう。そして、そのイメージの説明も書いてください。

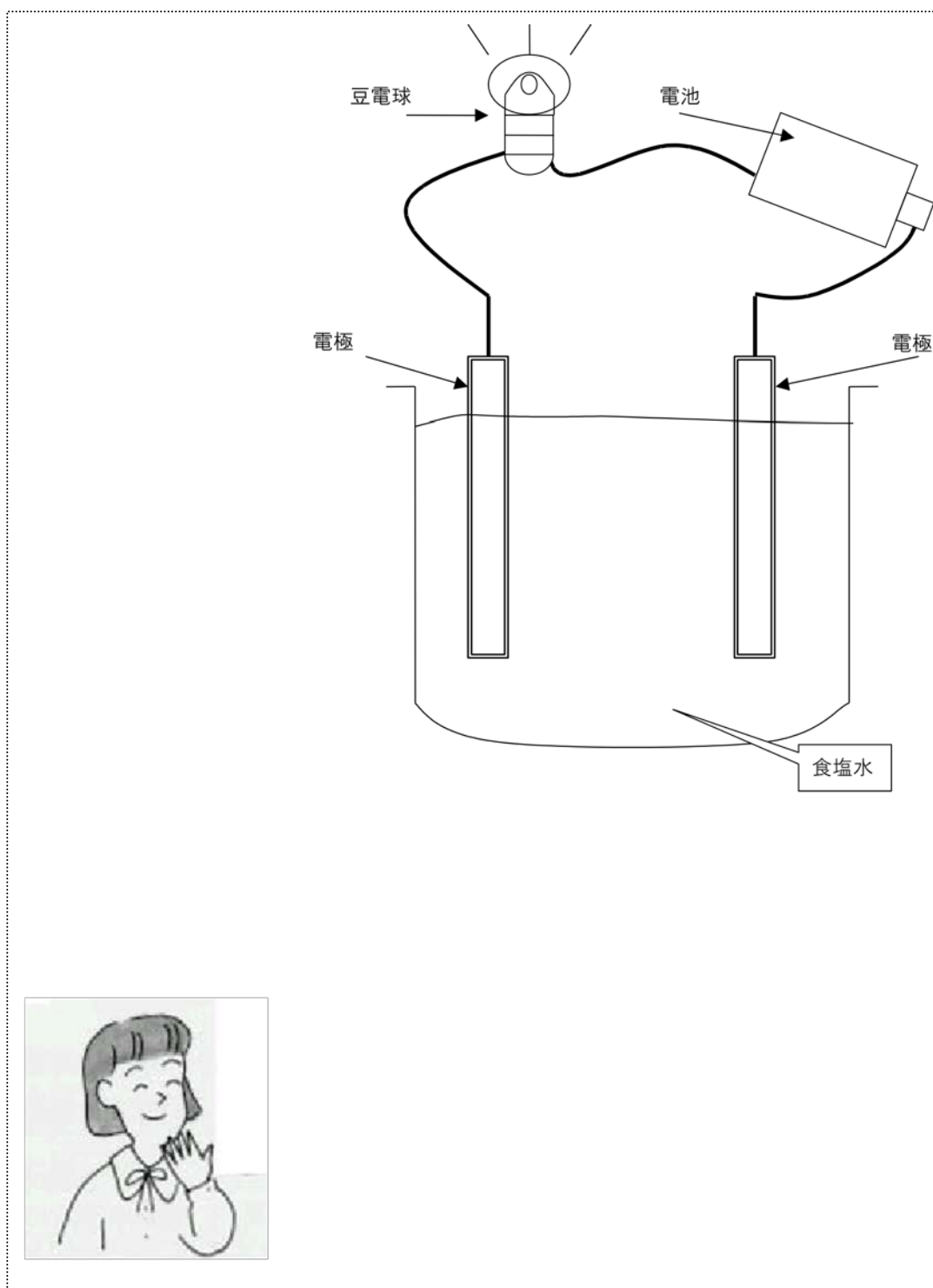


Area for student response, including a drawing of a boy thinking.

資料2

食塩だけだと電流は流れません。また、精製水だけでも電流は流れません。でも、食塩を精製水に溶かしたもので、つまり、食塩水（塩化ナトリウム水溶液）になると電流が流れます。

問 食塩水はどのような仕組みで電流が流れるのでしょうか？食塩水の中や導線の中がどのようなになっているか想像して、あなたのイメージを書いてみましょう。そして、そのイメージの説明も書いてください。



資料3

塩酸の電気分解についてです。塩酸（塩化水素の水溶液）は、電流が流れる水溶液です。下図の塩酸（ HCl ）に電流を流すと、左（陰極）には水素（ H_2 ）、右（陽極）には塩素（ Cl_2 ）が発生します。

問 塩酸にはどのように電流が流れ、どのような仕組みで水素（ H_2 ）と塩素（ Cl_2 ）が発生するのでしょうか？あなたのイメージを書いてみましょう。そして、そのイメージの説明も書いてください。

水素 (H_2)

塩素 (Cl_2)

陰極 (-)

陽極 (+)

塩 酸

炭素棒電極

バットなど

この中のイメージ

この図は、塩酸の電気分解の実験装置を示しています。装置は、バットなどに塩酸を入れた状態で、炭素棒電極を挿入し、電源に接続して電流を流します。左側の陰極（-）では水素（ H_2 ）が、右側の陽極（+）では塩素（ Cl_2 ）が発生します。図には「この中のイメージ」という指示があり、生徒が電流の流れる様子や発生メカニズムをイメージして描くことが求められています。

理科教師を対象としたインタビュー調査の質問項目

I. 物質の状態変化および電気分解に関する学習（教科内容の知識・理解）

- (1) アナロジーの活用に関わらず、状態変化もしくは電気分解を現在どのように理解していますか。
- (2) 学生るとき、どのように当該概念を学習してきましたか。
- (3) 当該概念をわかったと感じられたのは、どのようなときですか。
- (4) 当該概念を理解するために用いているがありますか。ある場合はどのようなアナロジーですか。

II. 物質の状態変化および電気分解に関する教授（教科内容の指導）

- (1) 状態変化もしくは電気分解をどのような授業構成で教えていますか。
- (2) その授業構成で生徒がどのように理解すると想定していますか。
- (3) 当該概念をどのように説明していますか。
- (4) 当該概念を説明するためにどのようなアナロジーを用いていますか。
- (5) 生徒に説明するアナロジーと自分が理解しているアナロジーは同じですか。
- (6) 一般的に科学的な概念を説明するときどのようなアナロジーを用いていますか。
- (7) 科学的な概念を説明するときにアナロジーを用いる意図は何ですか。
- (8) アナロジーの有効性をどのように考えていますか。

ダニエル電池の授業構成に関する質問項目

1. どのような授業構成および流れでダニエル電池を教えましたか。
 - 1) 概念的な知識
 - 2) 内容の程度（化学式をたくさん使ったなど）
 - 3) 実施時間数（内訳）
 - 4) 実験等の活動
 - 5) 板書事項
 - 6) 問題演習
 - 7) 使用教科書

2. ダニエル電池の授業を終えて、生徒はどのように理解したと思いますか。
 - 1) 生徒がよく理解できたと思うところはどこですか。
 - 2) 生徒があまり理解できなかったと思うところはどこですか。

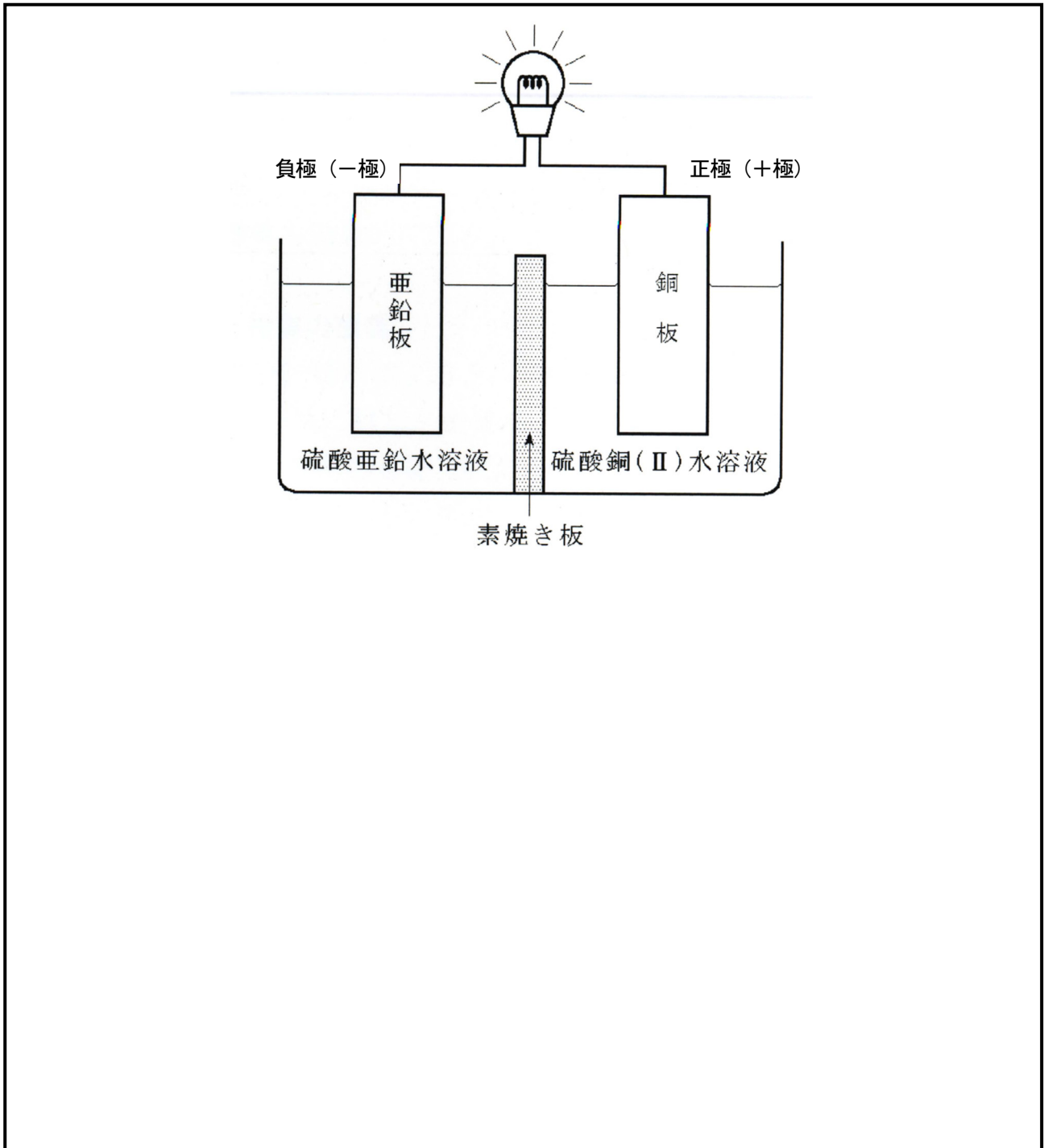
3. そのときのたとえを使いましたか。
 - 1) たとえを使った場合、どのようなたとえを使いましたか。そのとき、どのようなことを意図していましたか。

 - 2) そのたとえに対して、生徒はどのような反応を示しましたか。例えば、「興味・関心をもった」など。

 - 3) そのたとえを用いたことによって、生徒はどのような誤解をしたと思いますか。

高等学校 年 組 番 氏名

下の図は、亜鉛板をひたしたうすい硫酸亜鉛($ZnSO_4$)水溶液と、銅板をひたした濃い硫酸銅(Ⅱ)($CuSO_4$)水溶液の間を素焼き板で仕切った「ダニエル電池」を表します。この電池では、どのようにして電流が流れるのでしょうか。自分なりの考えをできるだけ詳しく説明してください。ただし、説明のために図や絵をもちいてもかまいません。



ダニエル電池の原理は、

(よくわかった・だいたいわかった・ふつう・あまりわからなかった・まったくわからなかった)
その理由は……

調査1

高等学校 年 組 番 氏名

「電池」について知っていること、イメージすることを文章にて表現してください

書き方) 最初の欄に「電池」もしくはそれに関連するキーワードを入れて、次の欄にそれを説明する文章を記入します。1つの欄に、1つの特徴やイメージを書きます。詳細は、例を参考に。

	キーワード	説明する文章
例	キリン	は、首が長くて、草を食べる。 → ×
	キリン	は、首が長い。 → ○
	キリン	は、草を食べる。 → ○
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

調査2

高等学校 年 組 番 氏名

「電池」の原理の説明を聞いて、わかったこと・考えたこと・イメージしたことを文章で表現してください(自分自身がどう思ったのかが、重要です)

書き方) 最初の欄に「電池」もしくはそれに関連するキーワードを入れて、次の欄にそれを説明する文章を記入します。

	キーワード	説明する文章
例	キリン	は、首が長くて、草を食べる。 → ×
	キリン	は、首が長い。 → ○
	キリン	は、草を食べる。 → ○
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

キーワード	説明する文章
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

調査3

「電池」の原理の説明を聞いて、どのように感じましたか？ その理由も説明してください

- (1) ぜんぜんわからなかった
- (2) あまりわからなかった
- (3) どちらでもない
- (4) だいたいわかった
- (5) よくわかった

ダニエル電池に関する面接調査の質問項目（実験群）

- (1) 質問紙調査の回答を改めて説明して下さい。
- (2) 電池の原理でよく理解できたと思うところはどこですか。
- (3) 電池の原理であまり理解できなかったと思うところはどこですか。
- (4) たとえによる説明は、分かりやすいでしたか。
 - 1) 分かりやすいと感じたところは、どこですか。
 - 2) 分かりにくいと感じたところは、どこですか。
- (5) 先生のたとえから、他に考えたことはありませんでしたか。
- (6) 自分自身で、何か別のたとえを考えましたか、もしくは、考えられますか。

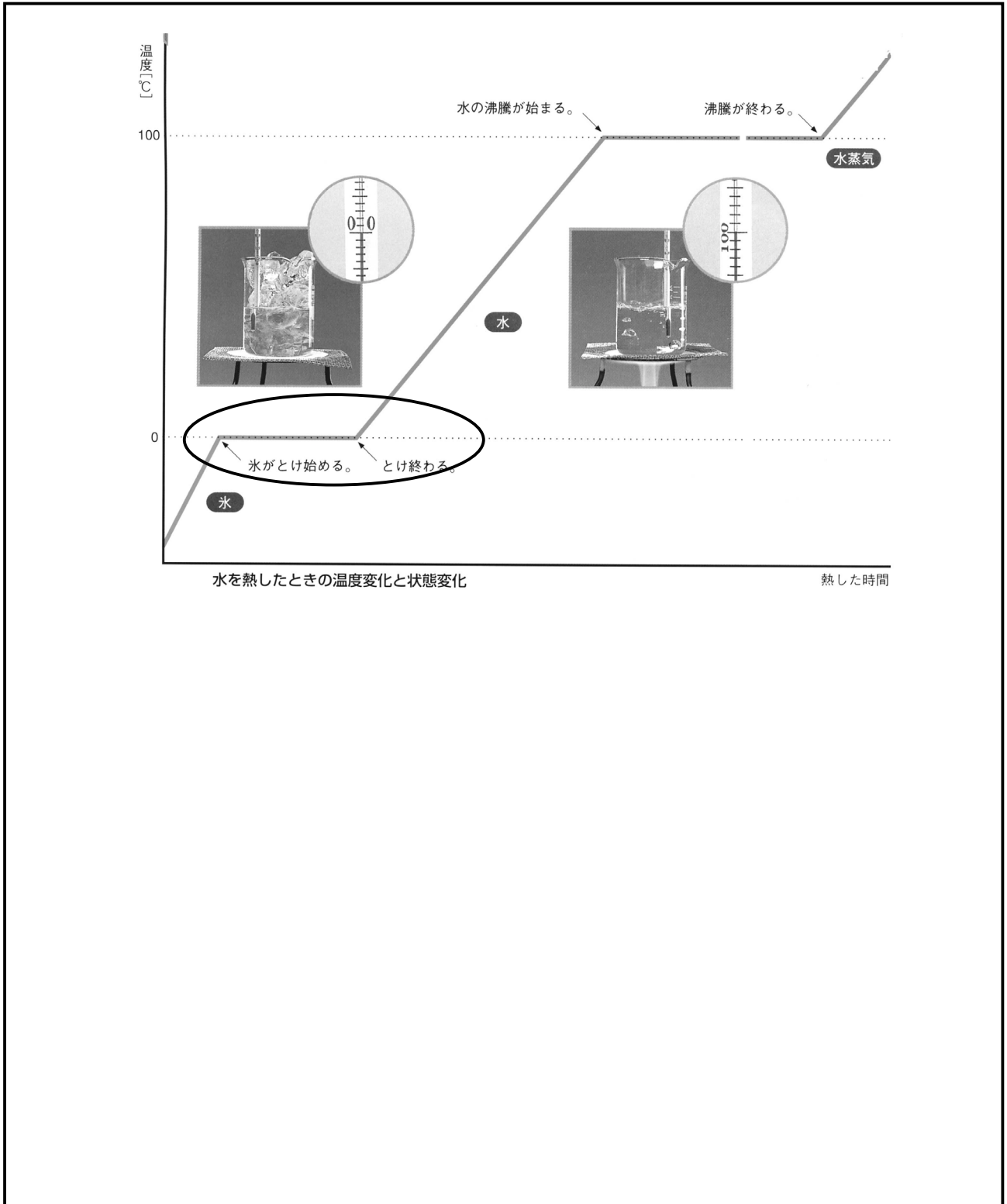
資料10

調査問題 (その1)

高等学校 年 組 番 氏名

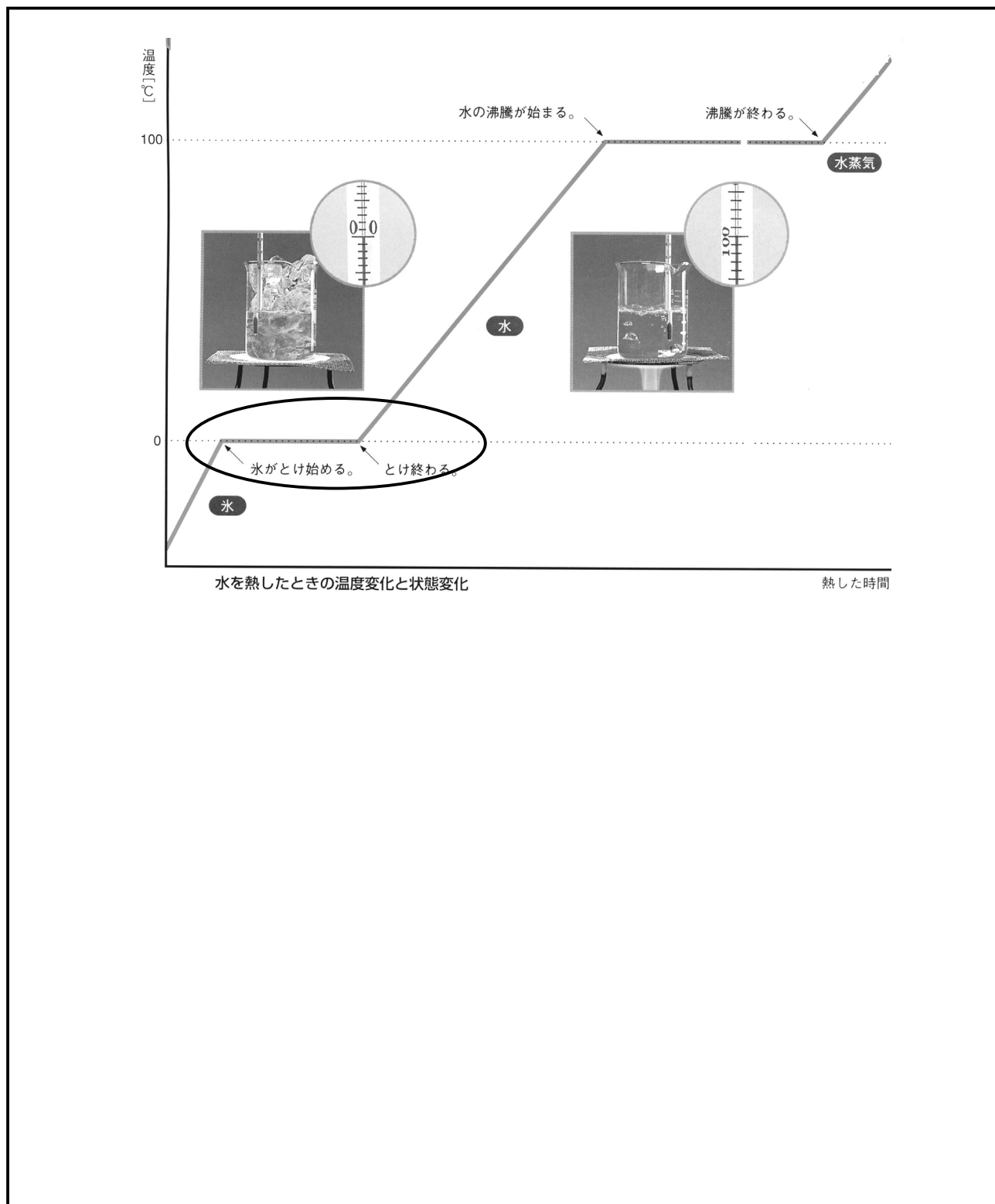
(1) 自然現象を科学的に説明する問題

水を氷の状態から加熱すると、 0°C になるとしばらく温度が上がらなくなります(グラフ中の○のところ)。加熱を続けているにもかかわらず、温度が上がらない理由とこのときに起こっている変化を、詳しく、科学的に(これまでの理科の知識や考え方を用いて)説明しなさい。ただし、説明のために図を用いてもよい。



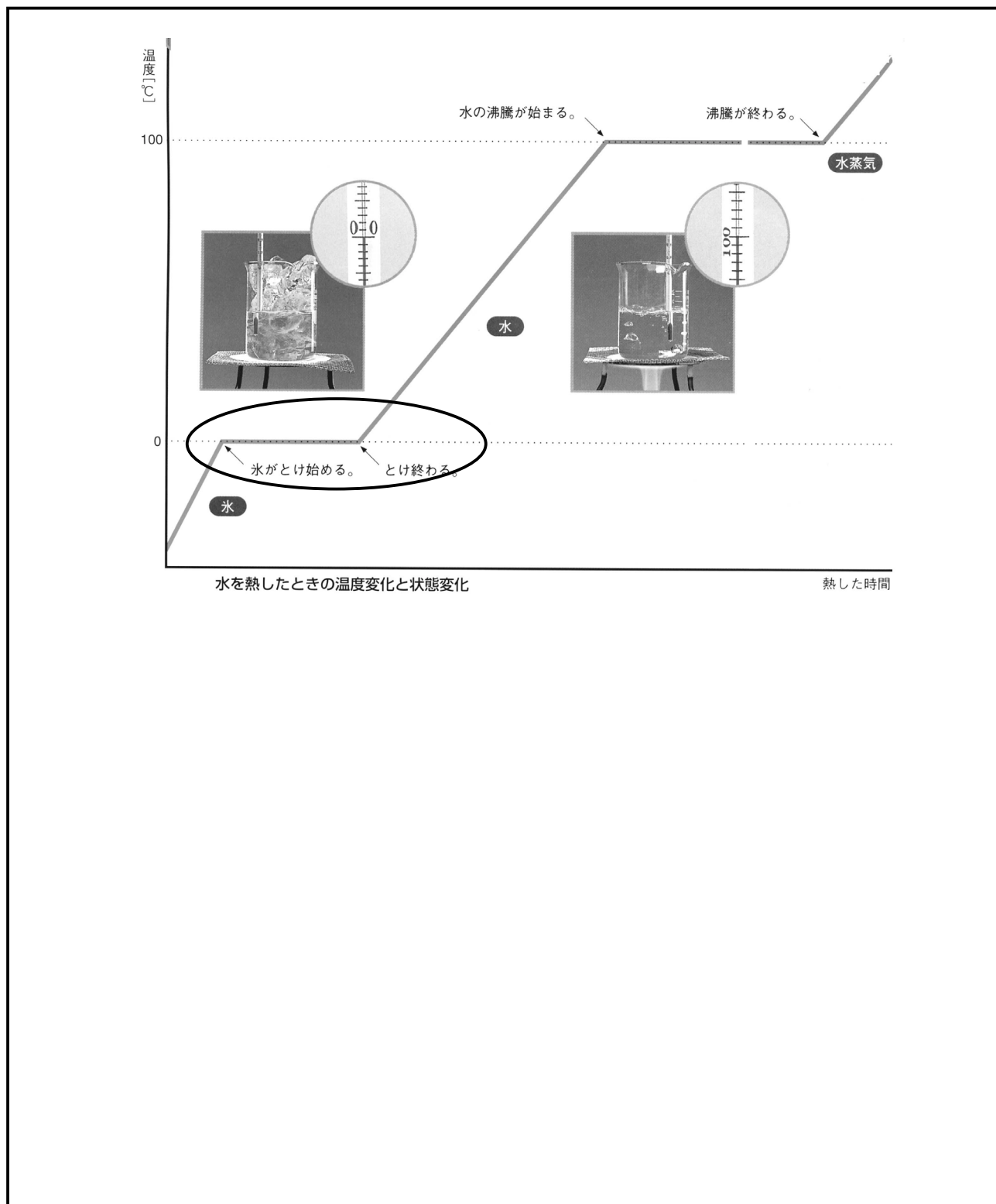
(2) 自然現象を自分のイメージや考えで説明する問題

(1)と同様の現象を、あなたのイメージや考えで化学の知識や考え方を知らない人にもわかるように(納得できるように)図・絵などの多様な表現を用いて説明しなさい。ここでいう「化学の知識や考え方を知らない人」とは、「水が固体・液体・気体に変化すること、一般的に加熱すると温度が上昇すること」しか知らない人とする。



(3) 自然現象を学習する前の自分に説明する問題

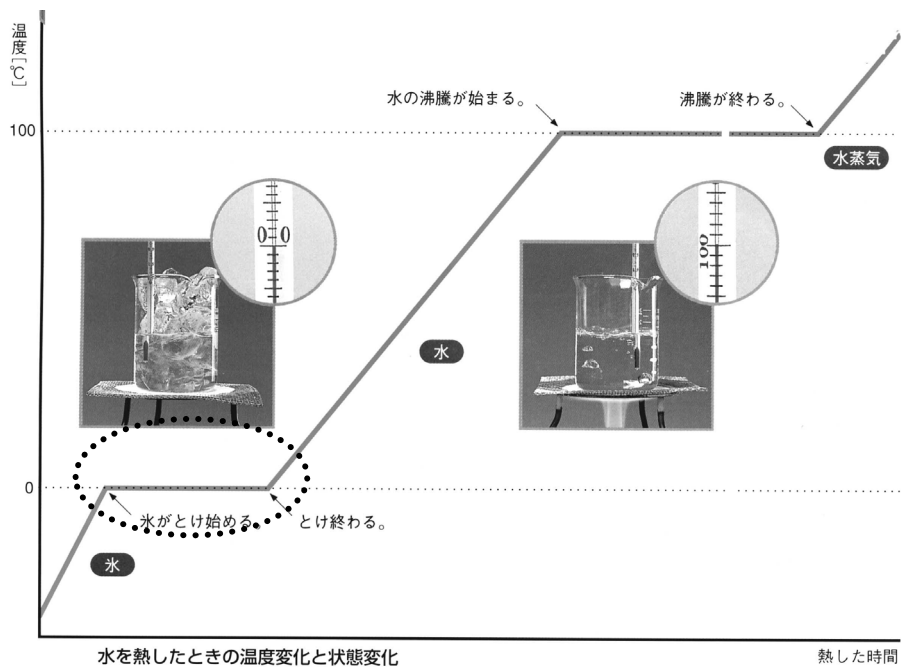
水を氷の状態から加熱すると、 0°C になるとしばらく温度が上がらなくなります(グラフ中の○のところ)。加熱を続けているにも関わらず、温度が上がらない理由とこのときに起こっている変化を、(1)と(2)の説明を取り入れて、小学生もしくは中学生のときの自分にわかるように(納得できるように)説明しなさい。



高等学校 年 組 番 氏名

水を氷の状態から加熱すると、 0°C になるとしばらく温度が上がらなくなります(グラフ中の○のところ)。加熱を続けているにもかかわらず、温度が上がらない理由とこのときに起こっている変化について、自分なりの考えをできるだけ詳しく説明してください。

なお、説明のために図や絵を用いてもかまいません。



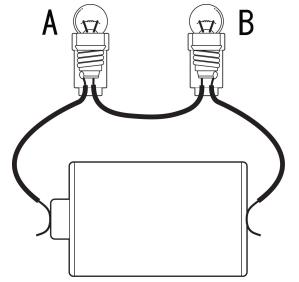
中学生・高校生を対象としたインタビュー調査の質問項目

- (1) 氷を加熱しているにもかかわらず、温度が変化しないのはどうしてだと思いますか。
- (2) (生徒の回答を受けて) どうしてそのように考えたのですか。
- (3) 氷を加熱し始めてからすべて融け終るまでの間、ビーカーの中はどのようなになっていると思いますか。
- (4) (生徒の説明に応じて) その説明だと次の点が説明できないと思うのですが、どうですか。
 - 1) (氷が冷やすのであれば) 0°C まで温度が上がらないと思うのですが？
 - 2) (氷が冷やすのであれば) 0°C よりも温度が下がってしまうのではないですか？
 - 3) (蒸発を例に挙げても) 氷が融けるときのどうして温度が変化しないのか説明していないと思うのですが？
 - 4) 熱と温度はどのような関係があると思いますか。
 - 5) 熱と状態の変化にはどのような関係があると思いますか。
- (5) (生徒の記述や説明の中でアナロジーが確認できた場合) その説明をもう少し分かりやすく説明してもらえませんか。また、どことどこが対応していると思いますか。

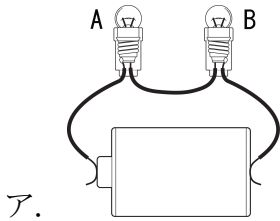
電気回路に流れる電流

(1) 電気回路に流れる電流

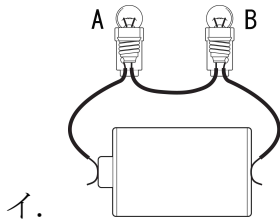
2つの豆電球A・B、導線、電池をつなげた回路（右図）があります。この回路では、豆電球Aと豆電球Bに明かりがつくまでの時間に違いがあるでしょうか。また、そのとき、導線にはどのように電流が流れているでしょうか。自分の考えを文章や図で分かりやすく説明して下さい。



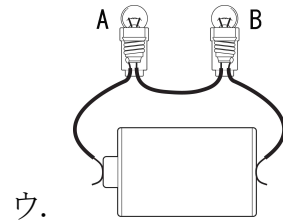
(2) こんなふうに電気回路を考えたなら…（その1）



A () B ()



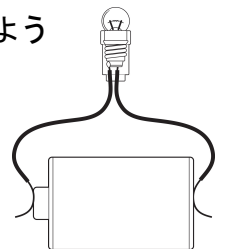
A () B ()



A () B ()

(3) こんなふうに電気回路を考えたなら…（その2）

(4) 「電流が流れる」ということについて、分かったことや考えたことをまとめよう



中学校「電気回路」授業会話記録（2年1組）

*教師用の音声録音に基づく逐語的書き起こし

【凡例】T：教師， S：中学生 空白：発話の間

<>：聞き取り不能 []：主たる学習行動

T1：改めまして、こんにちは。

S1：こんにちは。

T2：お、元気いいですね。じゃ、早速授業をやらしてもらいますが、ちょっと待ってください。まだ、あれですね。それで前と横に、後ろにですね。カメラありますけど、これ気にせず、これ私が授業してどうだったかなっていうの後で反省するためのものですので、あとしゃべってるところはちょっと音をとりたいたと思います、気楽にしてください。いつもどおり気楽に。

T3：さて、ではですね、いいですか。今日は私、S大学、浜松じゃなくて静岡にあるほうのところから来ました。今日は電気回路に流れる電流ということで、これまで皆さん、電気について何勉強してきましたか。昨日まで、昨日までは。あれ、急に元気がなくなりましたね。覚えてる？ 何だったっけ。

S2：静電気。

T4：静電気ですね。冬になるといっぱいバチバチきますね。あれをなんか体験してというふうに聞いてますが、今日はこの授業はどこをやるのかということ、この次に皆さんは中学校では電気が流れるっていう仕組みをいろいろ勉強することになってるんですが、それを考えるためのきっかけになるような授業をしたいと思って来ました。それで、まず復習ですが、これまで電気について何を勉強してきましたか。

S3：直流つなぎ。

T5：ああ、直列つなぎ。

S4：並列つなぎ。

T6：並列つなぎ。おお、いいですね。

T7：直列って何、並列って何はいいかな。これが何でってね。これまで小学校の頃からずっと勉強してきて中学校ではまとまって電気をやるのは初めてだと思いますが、まずざっとこれから確認しようかなと思ってたんですが、まず電流の向きってありましたよね。どっちからどっちに流れるんでしたっけ。プラスからマイナスでしたよね。乾電池も、入れるときにちゃんとプラスとかマイナスの方向にちゃんと入れないといけなかったですね。ああいうやつですね。

T8：そして、これちょっと質問が難しい。流れるときのつなぎ方。直列と並列があるよっていうのはみんな答えてくれましたが、どんなときに電気が流れたか。当たり前のことですが、どんな

ときに流れました？ いつどんなふうによっても、つきました？ 豆電球、乾電池とか。ん？ どうでもやったら、つく？ 乾電池のこんなところに横に付けたら、つきました？ 当たり前によってるようなことですが、なぜ何を確認したかったかという、一つの輪のようになってないと駄目ですよって。だから、どこでも乾電池があつてつなげられないですよっていうのを勉強してきていると。

T9：今日は、その電気が流れる仕組みについて、今ある知識等を使ってもう少し考えてみようという授業をしたいと思いますが、ちょっと今はプリント配りますね。名前を書くほうが上にして、まず名前を書いてください。裏のほうは、まず、まだ見ないでね。裏表ありますけど。じゃ、ちょっと多めに回してるので、後ろのほうの人に回してあげてください。

[生徒がプリントを回覧配布する]

T10：まず名前があるほうだけ、まず見てもらって、今日は授業のお話が聞いてすっきりしたか.....

S5：1枚足りません。

T11：1枚足りない？ じゃ、回してあげて。すっきりしたか、もやもやしてるかという捉え方で.....はい、ありがとう。捉えたいと思います。まず今、復習をした段階でどうでしょう。みんなの状態を、すっきりしてる.....

S6：1枚足りません。

T12：1枚足りない。はい。

S7：ありがとうございます。

T13：はい。自分の中ですっきりしてるって、人と比べてじゃなくてでいいですよ。すっきりしてると思うなら、ゼロから右側のプラス1、プラス2、プラス3みたいなところに書いてください。電気、だからプラスからマイナスに流れるとかつなげるっていうのは、「ん？」「ん？」「むむむ」と思った人は、もやもやのほうを書いてください。その授業のはじめのところに書いてみてください。どうでしょうか。もし今日、授業の中で所々書いてくださいってお話をしますね。そのときにはそう書いてください。で、かっこ。端のほうに空欄のところにかっこありますが、それはもしプラス3よりもすっきりしたと思うときがあったら、それ書いて、数字を入れて書

いてください。マイナスのほうも一緒です。いいですか。今の皆さんの感覚を書いてみてくださいということですよ。

[生徒がワークシートに記入する]

T14: 書けた人は裏側を見てもらって、今日は電球に流れる電流ということで、まずこの問題を考えてもらいたいのですが、まず他の人と話をせずにちょっと考えてみてください。自分の持つ手持ちの知識を使って。

T15: 豆電球が2つ、つながっている回路があります。この回路にスイッチを入れてつなげた。これスイッチがありませんが、つなげたら、豆電球AとBに明かりがつくまでの時間には違いがあるのでしょうか。今の手持ちの知識で考えてみてください。じゃあ、どうしてそういうふうにしたのかってのは、どのように電流が流れてるかって考えたのか、まず自分の考えを書いてみましょう。まず、他の人がどう考えてるのかってというのは抜きにして自分の考えを書いてください。違いがあるのか、ないのか。ないんだったら何でないのか。あるんだったら、順番はどちらから先につく？ それはどうしてとか。もし微妙に違うと思う人がいても、どちらがどうかってのは書いてください。これまでの経験や自分の考え、知っていることで、まず考えてみてください。さあ、どちらだろう、よく.....。

[生徒がワークシートに記入する]

T16: ちょっと考えるのが難しいよという人も、可能性としては違いがある、違いがない、どちらとも言えないっていうのもあるかもしれませんが、授業ですので、どちらかの考えに考えてみてください。

T17: じゃ、書けた人はもう一回、今問題をやってみて、その問題を考えたらどうだろう。自分の中のその問題を考えると、その問題を考えた自分って頭の中、今すっきりしているかな。それとも、もやもやってかな。さあ、書けた人は自分の感じですから、どうでしょう。違いがあるか、違いがないか。

T18: じゃ、ちょっと周りのグループの人に意見を聞いてみてください。周りの人どんなふうに思ってるのか。

[生徒がグループで話し合いをする]

T19: はい、じゃあ話し合いをやめてください。いい

かな。

T20: じゃ、周りの人の考えは分かりましたかね。じゃ、ちょっと全体で聞いてみますよ。まず、まず違いがあったかないかだけ聞きますね。違いがないと思った人はどれぐらいいます？ ないは2人かな。3人か。4人か。

T21: じゃ、違いがあると思った人。ほとんどかな。じゃ、その中でどれぐらい違いあるだろう。じゃ、違いがあった派。なんかいろいろどれぐらい違いがあるのかなっていう話はあったけど。すげえ違いがある、それともほんのちょびつとかな。どうだろう。

T22: じゃ、違いがあるっていう人で、何かこんな考えだっていう人、言ってくれる人いないかな、誰か。難しいかな。急に静かになったね。じゃ、Aさん。違いが、自分の考え、どっちでした？

S8: 違いがある。

T23: 違いがある。どうしてそう思った？ 理由は何かありました？ みんなに教えてください。

S9: AとBの間の距離があるので、電流は一つの輪のようにして回ってるってさっき言ってたんで、それで回るときには、絶対Aを通過してからBを通らなきゃいけないので時間差がある。

T24: 時間差があると。なるほど。で、多くの人が違いがあるって取りあえず思ったっていうことでしたが、同じような考えでした？ プラスからマイナスから流れるから、じゃ、順番でいくとAから先に到着するんじゃないのっていうことかな。それとは違ったよっていう人います？ どうか。違いがあるっていう人。

T25: じゃ、誰だっけ。B君、どうですか。今言ってくれたけど。

S10: 電流の流れはプラスからマイナスだけど、電子の流れがマイナスからプラスの向きに流れているのでBからAなんじゃないか。

T26: BからAじゃないかと。じゃ、向きが違うんじゃないかと。ほうほうほう。電子。みんな習ったかな、電子。今の説明で分かったかな。じゃ、どっち、取りあえずプラスかマイナスかあるけど、AかBか、取りあえず置いといても、そういう順番が近いほうがつくんじゃないかと。じゃ、違いがない派っていうのはどうでしょう。誰かいたけど、自分で説明できる人いるかな。3~4人。難しい？

T26: C君、どうか。違いがないと、言ってたけど。

S11: 電流が流れるけど、僕が考えるのは、電池から流れるだけではなくて、電池をつけることによって、導線の中の、中にあるものが動く。要は、電池は磁石のようなもので、吸い付けて、反発

して、こうやってサイクルになるじゃないかと
思っていて。で、斜めの中になっている水をせ
き止めておいたら、せき止めておいた水が下の
やつから全部が一って流れていくのではなくて、
全部いっしょが一って流れていく、一斉に流
れていくじゃないですか。なので、その導線の
中も一斉が一って回るから、えーっと、A の
部分も B の部分も同時に流れていくから。

T27: なるほど。どうかな。みんな今、C 君だったか
な、説明してくれたこと分かりました？ で、
この2つの考えを今日は中心にお話しをしてい
きたいと思いますが、まず先に、違いがあるっ
て言ってくれた人は、なんかぐるぐる回って
いくと、先につくほうがあるんじゃないか。違い
がない派っていうのは、同時に動くんじゃない
のっていうことでしたね。同時か、例えばスイ
ッチ入れたら、あっち側とあっち側一緒につく
か、どっちが先につくっていう問題って考える
とどうだろう。ん？ 違いはあったか、一緒に
どうだったか。とか、回るんだったら当然、順
番が近いほうから早くつくよね。って、こんな
どっちかよく分からない状態で、今みんなグル
ープで聞いたりしたけど、どうかな。今、幾つ
か意見が出たけど。まずここで、じゃ、どうか
な。他の人の話を聞いて……さっきは自分で考
えたらどうだったかなって。これは今、他の人
の考えを聞いたらどうかなって。

T28: どうでしょう。いいかな。それでこの問題を考
えますが、みんなに必要な知識は、なんかさっ
き電子の話が出てたけど、電子を知らなくても
分かります。必要な知識はこれとこれ、この3つ
と皆さんの経験があれば考えられる。だから今
日は新しい言葉は出てきませんが、これよかつ
たよね。さっき確認をしたら、プラスからマイ
ナスに流れる。電池、向きがあったね。一つの
輪につながってなければ、要はちゃんとつなが
ってないと流れないし、電気っていうのはスイ
ッチで切ったり止めたりできると。これ常識で
知ってるよね。電気消しなさいって言ったらス
イッチをピッと押しますよね。これだけです。

T30: で、先ほど C 君が、じゃ、何で同時かなって
いったときに、磁石とか水に=なんか中=を例
えてくれました。違いがあると考えた人のイメ
ージって、何に例えられるかな。自分らのこの
……

S12: 流しそうめん<聞き取り不能>。

T31: お、いいね。ちょっと、じゃ、D 君か。D 君だ
つけ。今の、みんなに聞こえるように。恥ずか
しがらないで。うん、いいよ。

S13: 流しそうめんがこうやってあって、そこに2人
の人間が立ってて、それでが一って一気にたく
さんのそばの中にめんが流れてきて、最初の人
のほうに先にキャッチできる。

T32: うんうん、なるほど。流れてくるそうめんって
何だろう。じゃ、電気回路でいくと。

S14: 電流。

T32: 電流で。2人の人が電球だと、うん。回って
くる最初にいっぱい取っちゃったら後の人ないよ
っていう。ああ、流しそうめんね。そんなだ
ったら俺も言えるぞとか、私も言えるぞって
いう人はいませんか？ 流しそうめんって出たけど。
何かあるかな、流しそうめん以外に。どう？ 流
しそうめんって考えがありましたけど。おお、
いいね。

T33: で、いろんな皆さん例えがあると思いますが、
今日は何を使って考えるかって、皆さんの経験
が大事だっていう話をしました。今日は例えを
使って考えたいと思うんですが、一応みんなか
らどんな例えが出るかなって思っていました。
私はこの例えで、みんなこんな感じで考えてる
かなと思って、私だったら駆けっこかなと思っ
て。マラソンとか何でもいいんですけど、出発
がある。用意スタート、スタートする場所があ
ってゴールがあると。

T34: 走ってるものが、皆さん走るんだったらこれが
電流で、どこ走るのかって。第1コースか、第
2コースか、コースが決まってるって走りま
すよね。飛び出しませんよね、電流。だから走る
コースが決まっていると。しかも普通は逆走し
ちゃいけませんよね。用意スタートって、後ろ
向きに走りだす人はいないと思いますが、これ
は走る向きは決まってますよね。場合によっ
ては、コースにはいろんなものがある。ハードル
だったり、これが豆電球だったりとか、そんな
モーターだったりとかいろんなものっていうふ
うに考える。で、スイッチが、じゃ、いつ走りだ
したらいいか分からないんで、笛やピストルと
か走りだす出発になると。

T35: こんな感じかなと思って、さっきそうめん流し
の話はありましたけど、それに似てますよね。
基本的には、だから何に例えるのかの違いはあ
るけど、大体例えてる感じのイメージはこんな
イメージだと思いますが、じゃ、この例えで考
えると違いがあるかないかっていうのがちょっ
と考えられるようになりますんで、ちょっとこ
の例えで考えてみたいと思います。例えの世界
で。

T36: 走ることだったら分かるよね。電気が得意じゃ

ない人も、走るくらいだったら分かりますよね。それで、みんなのプリントでいくと、電気回路に流れている、すっきりの後ろ側にある2番。こんなふうに電気回路を考えたなら、その1つ書いてあるのは、じゃ、こんな例えで考えたらっていうお話です。これが駆けっこの話です。いいかな。だから駆けっこで考えてください。電気って考えないで駆けっこを考えてください。

T37: 皆さん、出発ライン、スタートラインに立っています。1人で走っていると考えてください。ピーって笛が鳴ったら走りだしました。そして、勢いよく走りだしたにもかかわらず、すぐストップ。フライングがあったのかどうかは分かりませんが、止められました。これと、もし電気回路を対応させられたとしたら、ハードルが電球ですね。ハードルを越えたら電気がつくと考えるとすれば、こんなときはAとBって電気がつきます？ つくなら丸、つかないならバツ。こんなふうに考えたら書ける。ハードルを越えたときに、越えたら電気つくよっていうふうに考えるならば、走りだしてハードルの手前で「うっ、あと少し」っていうところでストップって言われちゃった。あまり電気って思わないでね。いや、ハードル越えましたがって聞かれたらどう？ ハードルは越えてないですよ、2つとも。

[生徒がワークシートに記入する]

T38: では2つ目。じゃ、今度はストップって掛けられたら、もう少し、1つ目のハードルを越えたところで止まってくださいって止められた。1つ目を越えたんだから、もしこれを豆電球と対応つけば、AとBどっちまで行ったことになるか。丸バツで付けてくださいね。

[生徒がワークシートに記入する]

T39: で、ウ。じゃ、今度はもう少し長くて、1つ、2つ越えたところで止められちゃったと。そしてどうだ。2つは越えたことになるから。結果はどうになりましたか、丸バツ付けていくと。そうめん流しでもいいですが、1人目の人が食べるころまで行くので止めた。流れが止まらない場合もありますでしょうけど、そうめんだったら。

[生徒がワークシートに記入する]

T40: よくよく考えてみると、いいですか。ちょっと頭を使って大変なところだと思いますが、考えの中にヒントがあります、全てね。いいですか。そもそも押さえていたのはこれでしたね。いや、つながってれば電気つくんですよ。って答えますよね。皆さん、これ電気つきますかって聞くと、つくって答えますよね。いや、これ壊れたりとか、こんなちょっとひねくれたことを言わなければ、つきますよね。今みたいな駆けっこで考えると、Aは2つともつかない。Iは1つに明かりがつく。Uは2つとも明かりがつくって、みんなはもしそういうふうに書いてれば、これが3つ成り立つということに認めたことになる。いや、そんなつもりはないよと言うかもしれないけども、もしそんなふうに書いていけばなると。こんなことがありますかね。だから皆さん、あるときに見たら1個しかついてない回路がある。

T41: それは目に捉え、速くて見えないとかじゃなくて、もし速ければ写真撮ったりとかできるとすればね。ビデオ撮ってて止めて、ちっちゃって早送りをしていけば、あ、1個ついてる、2個、2つともついてないとかさ、あるかな。ちょっと「うーん……」ってなったと思いますが、じゃ、こんなふうに考えていくと、そもそも何がおかしいのかなと思います？ っていうのを、そのかっこ2の下の方の空いてるところに、どこがおかしかったのか、いや、おかしくないよって、もし気付いたところがあるならば、そこへちょっと書き込んでください。何がおかしい、そんなふうに考えると。ありか。まず、ありかなしか。だって、駆けっこモデルってこうやって走り回るので、駆けっこじゃなくてもいいけど、こう回るんだったら、ここで止めた、ここで止めた、ここで止めたってことだから。そもそも何がおかしい？ おかしくない？

T42: 難しいね。いいかな。じゃ、ここはみんなね、しっかりしてるよっていうことなんだけど、どうだろう。「ん、ぬぬぬぬ」と思った人もいろいろいるだろうけど、じゃ、どうでしょう。ここで一回区切って、自分の考えをもう一回どうかなってのを考えてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T43: 書きました？ じゃ、今駆けっこの例えをしましたが、例えだけじゃちょっと分かりにくいんで、モデルを使って見てみたいと思います。

T44 : じゃ、そこの目の前にいる E 君かな。ちょっと手伝ってくれる？

[生徒 E が教卓の近くに移動する]

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

T45 : はい、コースです。もう大体分かるよね。これが導線だと考えますね。駆けっこって考えたら、駆けっこでもいいですけど、それが走ってるし、皆さんこういう玉、ビー玉だとします。こんなイメージでしたか。じゃ、そっち持っててね。普通に持っててください。こんなイメージでしたか、皆さんのイメージ。おお、こんなイメージでしたか。プラスからマイナス。取っていいよ。

S15 : <聞き取り不能>。

T46 : ああ、じゃ、後からでいいよ、はいはいはい。いい、いい、いい。

[生徒 E が落ちたビー玉を探す]

S16 : カメラとかも下、下、下、下。その棚の下。

T47 : ああ、じゃ、後から大丈夫、大丈夫。いいかな。さあ、こんなのも一緒だよ。こっちからこっちに流れてくるというイメージだよ。

T48 : はい、いいよ、いいよ。ありがとう。こんなふうに考えていると、どこで止めたかによって、この途中で豆電球があったとするならば、場合によってはどこにも到達してないときに止まっちゃったよっていうアのときもあるし、いや、1 個だけ行ったらついたよ、でもそこで途中で止まっちゃったよって。もしくは 2 つとも通り過ぎちゃったよっていうことがあるかもしれない。でも 2 つつなげてればつくはずなので、みんなが、見た目が、こういう実験でこうやって調べるといよりも、その実験をするための考えが違ったのではないかと。もしこの考えに気付かなければ、何百回やってもこの実験では分かりませんよね。いや、だって違いがあるから、もっとよく測れるやつでやったら分かるかもしれないって、ずっとずっとやることになると思いますが、こういうふうに考えてたのではないかと。違いがあるならばこれじゃないといけないけど、じゃ、どんなふうに考えたらいいいんでしょう。

T49 : 先ほど C 君が言ってくれたような考えもありました。もう一回、じゃ、C 君は、そうじゃない考えもう一回説明してくれる？ さっきと一緒かな。もう少し分かりやすく。

S17 : さっきは、走るときに人を電流の流れの<聞き

取り不能>ですが、僕の考え方は、止まってるもの、水が例えば止まっててせき止められてたら、そういう状態、止まってる状態が電流が流れてないっていう状態で、それを流すために道を開放して流れ出したその流れが電流だと思ってるんですよ。なので、導線の中にはもともとそういうようなものが全部詰まって、それを電池によって道をつくってあげて、道をつくってあげることで全部が一斉に流れ出すという、そういうふうに思うので<聞き取り不能>差がないと思います。

T50 : 差がないと。分かったかな。C 君の言ってくれたのは、これでいくと、ここが全部詰まってんじゃないのっていう、水が。同じような水でも、こっちから水をちょろちょろ流しても、たら、さっきと一緒だよ。ボールを転がしたのと一緒。それとは違って、この中が詰まってんじゃないのっていう、水に例えてくれましたが、他に何か自分たちで考えたのありますか。

[生徒が考える]

T51 : 例えば、さっき他のクラスでは列車だって。列車。つながった輪になった列車って言ってくれた人がいました。言ってる意味、分かる？ 一個一個は列車です。列車一個、ずっと全部、全両つながってると考えてください。1 個の列車が動くと全部一緒に動くんじゃないって、こういう例えをしてくれた。伝える意味は分かりますかね。列車がずっとつながってたら、輪っかになってれば、1 個したらぴゅっと回るじゃない？ とか、自転車のチェーン。皆さん自転車持ってます？ チェーンは一つの場所がふっと動いたら全部が動くと。っていう例えとかありますけど、じゃ、みんなだったらどんな例え、自分にじっくりいくのはどんな例えでしょうか。ちょっと今のをヒントにして 3 番、こんなふうに考えたらいいんじゃないのって。ちょっと駆けっこみたいなふうに行くのはうまくいかなさそうなので、水だとかそんな例えがあると。書いたら、周りでグループの人でいろいろちょっと意見を交換してみてください。これがいいんじゃないのって、自分で考えて思い付かないけどとか、人に聞いてみてください。どんなだったら、じっくりいくかな。

[隣席の生徒同士で話し合いをする]

T52 : 要は、さっきと一番の違いは、中が空っぽだったのか、詰まってるのかっていう、この 2 つの

違いですね。さっきの玉を転がそうが、水をちよろちよろ端から転がそうがの違いは、一番のポイントは中は空っぽか、詰まってる、最初から詰まってるかです。どんなふうに考えたら自分が頭の中で整理できるだろうか。だって、電池見ても出てこないよね、自分の頭の中で考えないと。豆電球が光ってるだけなので、頭の中でちょっと考えてみる。大事ですよ。今紹介した水とか列車とか自転車のチェーンとかもあったし、何かそれに近いような自分でじっくりくるような考えてみて。

T53:何か自分たちで考えられた人いますか。みんなに教えてくれるといいんだけどな。難しいですか。じゃ、さっきいろんなみんなが出してくれ、ありそうな例えをお話ししましたが、じゃ、私がこういう例えを皆さんに紹介をしたいと思います。聞いてください。今からお話しするのはところてんモデルって、ところてんって知ってますか。中学生の皆さんは分からないかな。知ってる？ 何人か、手の動きをしてる人がいる。ところてんってこういうなんか、夏になるとよく食べますが、ところてん.....じゃないか。ところてん、何がところてんか。何だ。そう、ところてん、塊で買ってきて、押すとびゅーって出てくるやつです。中に入れて押すと、ところてんが出てくるんです。

T54:ほうほうほう、これで分かるかって、何だっていうところありますが、これをモデルにしてみんなに見せたいと思いますが、ちょっと待っててね。さすがにところてんはできませんので、ビー玉にしたいと思います。ちょっと見るところに来てください。もう一回、手伝って。見えるところにね。見えるところで見てくださいね。

[生徒が教卓の近くに移動する]

T55:これ、さっきの玉、同じ玉を使ってるけど、今度は中身が詰まってるよっていうタイプです。中は電流ですね。1個入れます。要は押します。そうすると、どうなるかな。うん、テープ取って。取った？ 取れた？ じゃ、1個押します。とすると、どれぐらいの速さであっち出るかな。ん？ どのタイミングで出る？ 入れてすぐ？ ちょっとしてから？

T56:E君、いつ出ると思う？

S18:押したときですかね、一番。

T57:あら、ちょっと、ちょっと待ってね。ちょっとゆがんでんな。いきます。あれ？ ちょっとね。入らなくなってるな。はい。あれ？ ごめん。

あれ？ ちょっとホースがあつたまって動かなくなってる。ちょっと下げ気味にやってくれる？ はい。あれれれれ。ちょっと曲がっててね、たるんでるんだけど。出た？

S19:1個。

T58:ん？

S20:1個出ました。

T59:1個出た？ 見えました？ みんなに見えるように。どのタイミングでした？ 押してすぐ？ 押してすぐ？ 押してすぐ？

S21:押してすぐは<発言が重なり聞き取り不能>。

T60:どれぐらい今入れました？ で、よく今度は考えてもらいたいのは、中の玉は、速さはどうです。中の玉の速さは。赤とかちょっとたまに入れてんだけど、どうだ。速いかい、遅いかい、感覚でいうと。ん？ どうでした。もうちょっとそっち、だんだんこっち来ちゃった。いい？ 中の玉の速さは、これは、端っこはびゅーって出るのはあつという間だね、同時。けども中の玉の動きはゆっくり。不思議だよ。電気つけたらすぐつくから、なんかびゅーって走ってるようなつもりがあるよね。けども効果はすぐ。効果はすぐ。効果は同時。けど中の玉の動きは、思ったよりもゆっくりです。

T61:実際、導線に流れてる電気、さっき電子っていう話をしてくれた人もいましたが、速さはみんなが駆けっこしてもそう違いがありません。つくのはあつという間ですよ。こういうふうに、ところてんみたいに押し出すようなものと考えると、あつという間につくと。さっきのC君が言ったやつ、水。この中に水が入っていても水道をひねると、すぐ出るよね。水道管、皆さん水道を見て。開いた瞬間出るよね。待ってて、お、今出たみたいにならないですよ。開いた瞬間に出る。それは、ここまで水が来ているから、開けた瞬間にびゅーっと出ると。

T62:とすると、ここに豆電球AとBがあつたら、どのタイミングでつきます？ 電流が通る、動いているときに通るんだから。そしてプラス、全ての玉がどちらからどちらに動いてます？ こちらからこちらへ全部一緒に動いてると。これを指して、プラスからマイナスに流れてると。分かります？ 全部プラスからマイナスという方向は変わりませんね。どうだ、はい。というのが、むしろ電流のイメージに近いんじゃないか。じゃ、席に戻って。ああ、いいよ。

[生徒が各自の席に戻る]

T63:今のところでどうでしょう。今いろんな例えが

ありました。今の説明のところ、そして最後、これ、丸4のところ。そして、電流が流れるとはっていう最後の4番のところ。そして、後ろのほうのすっきりをまとめてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T64: いいですか。プラスからマイナスって、順番に空っぽで電流が動いているならば差は出るけども、中は詰まっていて動いていないと。もう少し正確に言うと、ちょっと動いてる、電流としては動いてないと。何かあると。スイッチが入ると玉突きのように一緒に動く。チェーンも動きだすと、遅れて動くわけじゃなくて一緒に動く。効果は速い。電気がつくというのは速いけど、中の動きは別にそれほど速くないし。

[生徒がワークシートに記入する]

T65: 最後4番のところ、もう一度電気について流れるってどういうことかって、自分が持っていたイメージ、最初に書いてもらったイメージと同じだったのかどうだったのか。もしくはどう考えたのか。最後、全体として自分の考えってどうだったかって、振り返ってみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T65: いいですかね。今日のまとめを書いてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T66: じゃ、ちょっと書けてない人もいるかもしれない。ちょっと手を置いてください。ちょっと時間過ぎたから、まとめをしておきますね。今日は電流の導入、もう一回勉強するという導入で復習をやらしてもらいましたが、電気が流れるって単純に知ってるけども、よく考えてみると不思議なところがあります。電流は実験もいっぱいありますが、自分の中でモデルというか、例えを考えると分かるようになる。いくら見ても分からないと。今、なんか玉突きの話をしました。

T67: こんなのもいいんですよ。みんなが手をつないで、せえので右に動こうって決めていれば、一緒にみんな動くと。それでも同時に動くことになりますよね、全てのものが。というふうに、何でもみんなが知っていることでうまく例えがつくれます。ただ、例えなので、どこがうまくいかないかっていうのを常に考えながらやっ

くと、電流っていうのはもう少し、みんなイメージしやすくなると思いますね。今後もう少し電気回路の勉強が続くと思いますが、頑張ってください。あと1週間ありますが、夏休みですが、電気長く続きますが、そういうイメージを持ってよく勉強してください。今日は突然でしたが、この授業はこれで終わりたいと思います。ありがとうございました。

S23: 起立。ありがとうございました。礼。

T68: ありがとうございました。

中学校「電気回路」授業会話記録（2年2組）

*教師用の音声録音に基づく逐語的書き起こし

【凡例】T：教師， S：中学生 空白：発話の間

<>：聞き取り不能 []：主たる学習行動

T1：はい。改めまして、おはようございます。

S1：おはようございます。

T2：今、K先生に紹介ありました、S大のUといいます。K先生、教授と言われましたが、教授ではまだありませんが、付属中のほうには何回か、皆さんの授業に見に来さしてもらったりしてます。今日、なぜ私がここにいるのかというお話ですが、今日は皆さん、今、電気を学んでいて、この間まで何を勉強しました？

S2：静電気。

T3：静電気ですね。それをしたと思うんですが、今日、この後に、電気が流れるという仕組みを勉強することになってるんですが、その電気が流れるという仕組みをみんなに考えてもらうきっかけになってくれたらと思って、今日は1時間ですが、授業をささせていただきます。それで、私も中学校で授業、あんまりする機会がないので、私のためにビデオとか、皆さんの発言を撮らせてもらいますので、いつもと同じようにお話をしてください。

T4：それで、これまで小学校とかの授業で、電気、電気回路というのは何かでつなげたやつのことを回路というのですが、電気が流れる仕組みってものを勉強していきましたが、どんなことを勉強したのか覚えてますか。

[一部の生徒が挙手する]

T5：言ってくれる人。じゃあ、その前の。はい。お名前、何だっけ。A君かな。

S3：はい。

T6：A君、どうぞ。

S4：直列つなぎと並列つなぎ。

T7：つなぎがあった。なるほど。

[一部の生徒が挙手する]

T8：その、じゃあお隣、B君、いかがですか。どんなこと勉強した？

S5：今言った直列つなぎと並列つなぎぐらい。

T9：ぐらい。

S6：<聞き取り不能>。

T10：なるほどね。質問が悪かったですね。じゃあ、そういうふうに考えられるかもしれない。電流の流れ、どっちからどうでした？ プラスから

マイナスでしたね。いや、違ったぞ、「僕が習ったの、違ったぞ」っていう人はいませんよね。プラスからマイナスに流れるよっていうのは勉強しました。そして、つなぎ方。流れるつなぎ方ですね。直列回路や並列回路というのをお話ししたけど、どんなときに電流って流れるんです。どうつないでもいいんですけど。

T11：小学校でこう習いましたね。それを何ていうかって、言葉で表現すると、豆電球とかをつなげるんだったら、豆電球と乾電池と導線がひとつながりにつながってるときに流れるよ、そうやってないと流れないよっていうのを＝大きく＝勉強しました。そのつなぎ方に、直列というつなぎ方と並列というつなぎ方があったと思いますけども。

T12：それでは、今からプリントをお配りしますので、まず名前が書いてあるほうを上にして、裏にもありますけど、名前が書いてあるほう上にして、名前を書いてください。じゃあ、1枚ずつ取って回してください。はい。

[生徒がプリントを回覧配布する]

T13：こちらも回してください。

[生徒がプリントを回覧配布する]

T14：まず、こんな男の子と女の子が載っている絵があると思いますが、ありました？

S7：2枚。

T15：あります、あります、あります。

T16：回してください。

S8：ない。

T17：足りないところは大丈夫ですか。後ろのほうは、取りあえず、まず見ないで、今、復習をちょっと簡単にしましたが、表のほうに、自分の頭のすっきり度をチェックしてみようと思ってるんですが、まず復習のところ。あ、ありがと。復習のところ、うん、確かに今の話、そうだったな、思い出したな、思う人は、今日は授業が、このお話が分かったかっていうか、っていうのは、すっきりしたか、もやもやしてるかっていうのでチェックしていきたいと思うん

ですが、まず復習のところ。「うんうん、そうだった」と思う人はすっきりのように、もやもやだ、「うん、そうだったかな」と思う人はもやもや。ゼロっていうのは真ん中です。それが、程度があると思いますね。すごいとか、ちょっととか。それをおっきいほどすごいすっきりという。マイナスのほうが大きいほど、すごいもやもや。

T18: その両端にかっこがあるのは、うん、いや、3とかじゃあ表現できないよっていうときには、その数字。まず、これまでの復習のところはどうだろう。始まりとして、まず付けてみてください。いいかな。まず、電気の復習のこのところで、どうだったかってことですね。

[生徒がワークシートに記入する]

T19: 大体の人が、これは大丈夫だよっていうことで、今日はお話をしたい、いきたいと思うんですが。今日は導入なので、これまでの復習のところをもう少しよく考えてみたいと思うんですが、そこで、後ろを見てください。

T20: 皆さんのプリントに、電気回路に流れる電流ということで、こういう図があります。豆電球が2つつながった。AとBでスイッチを入れて、同時に電気を流した。じゃあ、スイッチを入れたとしたら、この2つが明かりがつくまでに時間に違いがあるでしょうか。ないでしょうか。まず、自分の考えを書いてみてください。今、自分の知ってるところで結構ですので、書いてみてください。どうしてそう思ったのか。どうしてそんな、そのときはどう電流が流れていると考えたんですかっていうのも、併せてちょっと書いてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T21: いや、違いがある。違いがあるんだったら、じゃあ、どっちが先につくの。順番がある。あまり考えたことがない人もいるかもしれないですけど、ちょっと考えてみて。じゃあ、どうしてそう思ったのか。

T22: まず、大きく違いがある、ない?

[生徒がそれぞれ挙手する]

T23: 分かれたね。もしくは、何ともいえないものもあるかもしれないね。違いがあるんだったら、じゃあ

あどっち先なんだろう。あんまり考えたことがない人もいるかもしれない。考えてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T23: じゃあ、書けた人は今の問題を考えて、今の問題を考えてみて、まず、じゃあ次、課題をやってみてどうだろう。今持っている考えで、今の課題がすっきり考えられたか。いや、よく分からないなと思った人は、まあ、もやもや。どうでしょう。

[生徒がワークシートに記入する]

T24: じゃあ、書いた人は、ちょっともう班の人がどう思ったのか、ちょっと話をしてみ、聞いてみてください。どうですか。班の中で違いがあったか。どうだろう。互いにちょっと意見を聞いてみて<聞き取り不能>。みんな同じでした? 例えば、違いがあるっていてもみんな同じような理由で違いがあるって考えているわけでもないだろうし。どうかな。

[生徒がグループで話し合いをする]

T25: はい。じゃあ、ちょっと一回、じゃあ、グループの話し合いをやめて。はい、注目。はい、ちょっと一回やめてみよう。はい、話し合いやめて、いいですか。

T26: じゃあ、話し合いをする前の考えで結構ですので、まず、違いがあるかないか。それ以外の人もいたかもしれないですけど、ざっと見るといかなかったかもしれないです。

T27: まず、違いがないって最初自分で思った人はどれぐらいいらっしゃいます?

[一部の生徒が挙手する]

T28: 以上で? お、6人、7人ぐらい? はい。じゃあ、あとは、違いがあると思った人は?

[一部の生徒が挙手する]

S9: 最初の?

T29: 最初の。

T30: 最初の考えでいいよ。はい。じゃあ、その中で、じゃあ違いがあると思った。じゃあ、この彼。A君。どうしてそう思いました? 違いがある派

として。

S10: プラスからマイナスに流れてるので、こう、こう、<発言が重なり聞き取り不能>。

T31: いいよ、絵でも描いてくれても。

S11: まあ、いいです。

T32: 大丈夫?

S12: 電池の、こう、ぼこってなってるところから、平らなほうに流れてくと思ったので、順番に A から B に行くと思ったので、違いがあると思いました。

T33: 順番に B から A?

S13: A から。

T34: A から B につくんじゃないか。じゃあ、プラスから、こういう感じでいいかな。プラスからマイナスに流れるっていうんだから、乾電池の出っ張ってるほうから、ずっと回ってまず A がつく。そしてその後に B に行つて、戻ってくるんじゃないかっていう考えですかね。

T35: 今の考えで大体同じだった人は? じゃあ違いがあるで、じゃあみんな A と B, A から B, 順番。だって、復習しましたよね。プラスからマイナスに流れるんだから、プラスから順番に行くんじゃないか。プラスからマイナスに流れるんだからということでもいいかな、みんなの考え。

T36: それじゃあ、違いがないというふうな考えを持っている人で、何か意見が言える人いますか。違いがない派。

[一部の生徒が挙手する]

T37: お、どうぞ。

S13: いや、何か、みんな今のところ、A から、A のほうが先につくって言ってるけど、それはもともと導線の中に電気がなくて、電池から電気が流れてるって考えると確かにそうなりますよね。でも、実際はそうじゃなくて、導線の中にもう、つまり電気になる、動ける電子、電子っていうかな、電気の流れをつくっているものみたいな、もうあって、単に動いてないだけって考えると、電池をつなぐと同時にそれが動きだすって考えれば、その導線の中にある電気の流れをつくってるものは、どの箇所でも一遍に同じように動きだすわけですから、そうするとどこでも同じように動きだすから、同じようにつく。つまり、違いがないということに。

T38: 違いがないと。はあ、はあ、はあ。はい、ありがとう。B 君は今のお話はどっかで勉強した? 自分で今考えた? どっちでしょうか。どっか

で勉強した記憶はあるのかな。

S14: 勉強しました。

T39: 勉強した。おお、すごいな。今のお話で、みんなは理解できたかな。B 君の話は。何を言っていたのか。え?

S15: <発言が重なり聞き取り不能>。

T40: どうか。他に、違いがないって<聞き取り不能>考えた人、いるかな。

T41: じゃあ、何でプラスからマイナスに流れていくと習ってきたのでしょうか。あんまり考えたことないと思いますが、じゃあ今、大きく違いがある派の人の話、違いがないっていうシライ君の話がありましたが、もう少し考えてみたいと思うのですが、じゃあ今、グループで話をしたりして、人の意見を聞いて自分の考え、どうだろう。後ろのすっきりのほうで、どうか。8割以上の人は、A から B に流れるんじゃないのって。プラスからマイナスに流れんだから、流れんじゃないの。シライ君がいろいろ何か説明してくれて、じゃあ電子ってどんな働きしてんだろうとか、疑問に思いませんか? どこでもある。何でプラスからマイナスっていうんだらう。流れるっていうんだらうか。どうだろうね。みんなが今言ってくれた。どういうって話し合いをして、いろんな人の意見を聞いたところで、付けてみてください。

T42: さて、じゃあ、今は大きく2つの考えがあったと思いますが、もう一度、今日使える知識はこれだけです。で、今の問題を考えてみた。いいですか。今、シライ君が、電子がついていうお話をしてくれた。まあ、取りあえずそれは置いて、今日はみんなが知っているこの知識だけで考える。これ、知ってるでいいよね、さっき確認したから。プラスからマイナスに流れる。そして、一つの輪につながっていなければ電流が流れない。そして、あと日常的に知っているように、電気回路の電流ってスイッチを切ると流れが止まる。止めることができますね。入れると流れる。ここの電気だって、スイッチ入れて消しましょう。消せますよね。で、この問題を考えることができます。

T43: さっき、プラスからマイナスに流れるよって言ってくれた人のを、じゃあ、これだけで考える。これだけで考えると難しいので、じゃあ、ちょっと例えを使って考えてみよう。そしたら、ちょっと電気苦手だっていう人にも考えられるので。先ほど、プラスからマイナスに、こう、順番

に行くんじゃないかって考えた人は、もし例えるならばこんな感じかなと思うんですが。駆けっこモデル。モデルってのは何か考えを表すもの。駆けっこの例え。

T44: イメージ, こんな感じですよ。走る人がいて、電気が、だから中走ってる。皆さんが陸上競技場か何か、トラック、学校走る<聞き取り不能>走る人がいて、これが電気。そして、走る場所が決まってる。導線の中かな。陸上競技場だったら、ハードルがあったりとか、何かそういう障害になるところが電球。スイッチを入れるっていうのが、運動会だったら笛が鳴ったり、ピストルの音で走りだす。こういうイメージですよ。スイッチ入れると、プラスからずっと走りだして、こういう走る場所が決まってる、所々、電球みたいな、ハードルでもトンネルでもいいですが、そういうのがあると。基本的にこういうふうに考えていたんじゃないかなと思うんですが、近いですかね。プラスからマイナスに行くんだって。

T45: そう考えるなら、じゃあ、この、皆さんの裏のプリントでいくと、電気回路に流れる電流かっこ2ってところ。後ろのすっきりじゃなくて反対側見てもらうと、その話を今からしたいと思いますが、こんなふうに電気回路を考えた、その1。その1っていうのは、この駆けっこモデルで、この違いがあるかないかを考えた。話をした<聞き取り不能>。みんなが走ってる。プラスからマイナス、要は、スタートがあつてゴールがあるほうに向かう。

T46: 皆さんが陸上競技、走るというイメージでいくと、皆さんが電気になったと思って。笛が鳴って走りだしたとします。そうすると、最初にハードルが置いてある、電球のところだと思ってください。そこに達する前に止められちゃった。ピーっと止められた。いいですね。Aから出て、出発して、ピー、走りだした。たら、また笛が何か鳴って、「止まってください」と言われた。こんなことがもしてきたとしたら、そこにアというのがあると思いますが、アのところ。AとB、2つの回路には、じゃあ、明かりがつくでしょうか。そんなふうに。もし、すぐスイッチ入れてびびってやったとしたら。豆電球に着く前にびびっとしたら、豆電球2つが明かりがつくでしょうか。丸とバツで考えてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T47: 言ってる意味分かるかな。アから出発して、最初の豆電球に到達する前に、どれぐらいの早さか分からないけど、止められたとする。電球は、豆電球に達する前に止められたとするならば、AとBってつくんだらうか。AとBがハードルです。ハードルを越えたときに電気がつくと考えます。ハードルに着いたら初めて電気がつくとすれば、走りだして、じゃあその前にすぐストップかけられたら、電球って明かりがつくんだらうか。素朴な日常的な体験のこと聞いてますからね。それで考えると、AとBって明かりがつくかな。

T48: 到達しないんだから、恐らくAとBはつかないですよ。すぐ切っちゃったら。まず、違いがあると思ってる人、ない人もある人もない人も、電気の流れが駆けっこみたいなもの、何かずっと走ってるものって考えたらばですよ。イエスって考えてください。いいかな。

[生徒がワークシートに記入する]

T49: 次、イ。こんな場合だったら。じゃあ、同じように走りだした。今度は1つ目越えた、ハードルを越えたら、越えたは越えたんだけど、そのAとBの間でスイッチが切れちゃった。そしたら、Eの場合だったら、どっちがつかます? 1つ目のほうはクリアした。

[生徒がワークシートに記入する]

T50: で、3つ目。同じハードルでいくと、じゃあ、今度は最後まで飛び切った。2つあったら、2つ飛び切ったら、AとBはつかか。丸かバツかでいくと。こんなイメージだとする。

[生徒がワークシートに記入する]

T51: 今のように考えると、結果としてはこんな感じになってるのかな。最初がバツ、バツ、次が丸、バツ、次が丸、丸、2つともつくね。最初、2つともつかない、次は1つだけつく、ウはどっちもつくって、多分、考えた人が多いですよ。それは、まあ、分かった。じゃあ、これが何だっと思うと思うんですが、よく考えてください。これ、実際に実験をしないで頭の中で考えているものなのでね。

T52: そもそも、みんなが知ってる知識でいくと、AとBは2つ輪っかにつなげてんだから、電気を流すとつくはずだ。当たり前ですよ。当たり前

前。壊れてるとか、そんな、何かそんなことがなければ。こんなふうに分けていって考えると、皆さんの結果はこんなふうに分かれる。常識からいくと2つともつくはずなのに、あるときは2つともつかない。あるときは1つしかつかない。あるときは2つともつく。つまり、Aから出発していって、中を駆け抜けていく。それがすごく速くても遅くても、こういう結果になりますね。中に走ってくのが、すごい、光の速さぐらい速かったとしても、そこでストップがかけられれば、これ3つがあるという結果になります。この例えで、こんな感じに中走ってるって考える。

T53: では、こんなふうに考えて、今、おかしいなと思ったところがあれば、じゃあ、その下のところに、何がおかしいんだろうかって。こういうふうにプラスからマイナスに考えていくことのおかしいとこって何だろう。気付いた人、考えた人がいたら、その下にちょっと書いてみてください。プラスからマイナスに流れるっていう、走っていく、駆けっこのように走っていくものだって考えると、何か、全部つくはずなのに、いや、ついたりつかなくなったりするところがあると。この考え方の、こういう、何か、こんなおかしいことが起こりそうなところはどこに原因があるんだろう。

T54: 「いや、起こる？」っていうのもあるからね、もちろん。いや、そんなこともあるかもっていう考えでも、別に結構ですよ。普通に考えたら、これは、だから、皆さんがテストで、「これつきますか」って聞いたら、ついたりつかなくなったりしますってことになるのかということですね、質問は。いや、そんなこともあるねっていう人は、「そんなこともあると思います」でいいんですが、いや、そんなことないなと思う人は、じゃあ、何がおかしいのかなって考え。考えられるかな。何がおかしいんだろうね。これは、実験をしてるところの何かじゃなくて、考え方を考えることなんです。じゃあ、実験すれば分かるじゃないか。じゃあ、あまりにも速過ぎて、違い分からなかったらどうするってなるよね。

T55: さあ、何がおかしいかな。こんなところがおかしいんじゃないか。難しいかな。ここがおかしいんじゃないか。気付いたことでもいいから書いておくと、後でちょっと説明したときに、自分の考えが見直せると思うので、まず、そんなことあり得ると思うか。分からない人は、考えにくい人は、3つの状態が起こるのか起こらないのか。

T56: では、いろいろ考えがあると思いますが、今のところで、じゃあ、今の話を聞いて、＜聞き取り不能＞すっきりか、もやもやか。もやもや？すっきり？ 3までに入り切らない人は。ちょっとなかなか、もやもや、もやもやしてくるで、全然いいですよ。何人が書いてくれましたね。ちょっと見にくいかな、ごめんなさいね。最初、Aの状態は全部つかない。イのときは、一方つく。で、どっちもつく。こんなこと、同時につなげたら、ないですよ。起こらないっていうのが直感的に、どうか。納得できるか。

[生徒がワークシートに記入する]

T57: あるときに君らが電池見て、あ、ついた。あるときは、つかないって思うところのきっかけは、駆けっこって、さっき例えをしましたね。駆けっこ、要はプラスからマイナス、ずっと駆けっこしてるように流れてるって思っている限りは、これが、こういうときがいつでも考えられる。速くて気付かないっていうのも、実験でうまくやれば、違いは出るかもしれないということなので、実験操作の問題じゃないか。もちろん、駆けっこで考えていると、違いがここにある。じゃあ、そうすると違いがないのかなって思う人が多いんですが、じゃあ、どんなふうに考えたらいいんだろうか。プラスからマイナスでなくて、多分、違いがないんだったら、同時っていうことですよ。同時に流れるにはどうだろうか。さっきシライ君が言ってくれたような考えもありましたけど。もし考えが思い付く人は、何か、もう既に書いてくれてる＜聞き取り不能＞どんなふうに考えたらいいかな。

T58: 難しいか。さっきみんなが駆けっこ……ちょっと＜聞き取り不能＞。駆けっこで考えてくれた人＜聞き取り不能＞人のイメージというのは、電気がこんな感じで流れてるイメージね。あ、逆流はしませんからね。こんなイメージだったら、どこでストップかけるかで。＜聞き取り不能＞。

S16: はい。

[生徒が教卓の前で教師の援助をする]

T59: 落とさないでね。こう考えてると、どこで、ここで止めるか、ここで止めるかで必ず差が出るよね。駆けっこっていうイメージ。これが、ボールが転がっててもいいし、水をこっちからジャーって流してるんでも、全然どういう。こん

な駆けっこのモデルだとどんなふうに考えたらいいだろう。

[一部の生徒が挙手する]

S17 : <発言が重なり聞き取り不能>。

T60 : はい、ありがとう。最初にみんなが考えてたのは、こんな感じ。中を一方から、プラスからマイナスに流れるっていうの、そのままいくと、こういう＝にゅっと＝。さっき、後ろのほうに書いてた人がいたのを見たんだけど、どっか、言える人いますか。こんなの。みんなに分かりやすいモデル。だから、何か難しい話じゃなくて、こんな例えで考えたらいいんじゃないのっていうのを教えてくれる。じゃあ、後ろの、最初、手挙げたC君。

S18 : はい。

T61 : かな。はい。

S19 水に例えて、導線を道として、豆電球を風車.....風車じゃない、水車として、電池をポンプとして考えれば、分かりやすいんじゃないか。

T62 : みんな、どう？ そうだと考えると、違いがあるの、違いがないの。

S20 : 何か、僕は、電池の中に、電池の中から何か出てくると思ったんで、よく分かんないですけど、B君は、もともと導線の中に水が入ってるってだったので、違いがないと。もともと入って、けど、ポンプがふんって押したら全部一気にがーって動くから、違いはないんじゃないですかみたいな。

T63 : ああ、違いがない。どうだろう、みんな分かった？ 今の説明。じゃあ、さっき水の話もしたけど、一方からびゅーって出て、こっち空っぽで、ホースに水が出てくるのではなくて、この中に全部水が詰まってるんじゃないのっていう考え方かな。それだったら、違いがないんじゃないか。

T64 どうか、みんな、他の人。じゃあ、E君だったかな、手挙げてくれたの。はい。同じかな。違って。

S21 : 線路にある長い電車を、怪力マンが。

T65 : 怪力マンが。

00 : 39 : 56

S22 : どうって押すと、もう全部の車両ががーって引っ張られて、そういう。電車がこっからスタートするわけじゃなくて、もうある電車をがーって押すと、こっちもぼんっていう。

S23 : 先生困ってる。

T66 : ああ、いや、言ってることは分かるよ。みんなは分かったかな。怪力マンが何だろうっていうのは気にはなったけど、みんな、分かった？ うん。はい、ありがとう。

T67 : 他にいるかな、今、水と怪力マン。

T68 : お、B君かな、じゃあ、もう一回言ってくれる？

S24 : ただの管(かん)を。

T69 : ただの缶？

S25 : 管、管。

T70 : 空き缶？

S26 : 「かん」が違います。管(くだ)。

T71 : ああ、管。ごめんね。ごめんね。

S27 : だからガラスで、空気が入ってる管を丸めて、輪っかみたいにしたところで、途中に何か邪魔になるようなものを入れて、そのつなぎ、輪っかにしてつなぎ合わせるところに、「ぶおー」みたいなやつ。片方から空気吸い込んで、もう片方に送り出す。そんなものをつなげた感じです。その空気の流れ、つまり、中で回ってる風？ 風みたいなものを<聞き取り不能>流れてる感じで。

T72 : ああ。はい。

T73 : 今の3つ出たけど、どうかな、皆さん。いいなと思うことがあったらメモしといてね。こんなふうに考えたら。今の考えでもいいし、こんなふうに考えたらいいなって3つ出たね。中が水が詰まってる。怪力マンがいて電車<聞き取り不能>。で、空気の流れがあるってね。空気の何か、押し出したり吸ったりする流れが。さあ、どんなふうに考えたらいいかな。今、3つアイデア出たけど、そっから何かヒントもらって、「おお、俺のこれのほうがいいぞ」っていうのがあったら、ちょっと考えてみて。そうすると、3人とも、考えでいくと、違いがないという考え方でいいのかな。いや、こう考えると絶対違いがあるってうまく説明できるっていうのもいいけど。さあ、どう。

[生徒がワークシートに記入する]

T74 : いけてる、これはいける、今のは友達のもらっちゃおう。もしくは自分で考えた、いいぞ。どうだ。じゃあ、考えてみて。

[生徒がワークシートに記入する]

T75 : 例えだから、いくらでも自分でいろいろアレンジしても全然問題はないですからね。一応、私も、そのために用意はしましたけど。考えてたのお話しはしますが、まず自分のものを書いてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T76: 書けたかな。自分なりに、電気っていうのは、考えを持たないと、理解していくの難しいですからね。何か例えだからってばかにしちゃいけないですよ。例えみたいなもので考えを持つということが大事です。

T77: さあ、じゃあ、大体書けたかな。じゃあ、私がお話しするモデル……モデルっていうか、それぞれあるかなとはちょっと予想してたんですけど、怪力マンとか容易にいなさそうだし、水もちょっとあれだなって。で、空気もなかなか見にくいなってね。見えやすいのをちょっと用意してみたんですが、名前はこれです。ものはこれではありませんが。ところてん。知ってる？ 食べ物。こう、こんにゃくのような。知らないかなって中学生<聞き取り不能>。勝手に覚えている、こう呼んでるものなんですけど、ところてんを流すわけじゃありません。

T78: ところてんっていうのは、中にこんにゃくみたいなものを入れて、端から押し出すと、ぴゅうって先に出てくる。こうやって作る。こんなのが売ってたりしますが、で、最後こうやって食べる。こんなふうになってるんじゃないのって考えたらどうだろうってみんなに紹介しようと持ってきたんですが。

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

T79: じゃあ、ちょっと待ってください。ところてんが出てくるわけじゃない<発言が重なり聞き取り不能>。

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

T80: じゃあ、もう一回名誉挽回。さっき、列車とか空気とか、つなげてやったらなってるんじゃないか、水もこうつながってないって話だったけど、つながってるのはちょっとやるのが難しいので、一応切り離したと想着て、導線の途中を切り離したと想着てください。

T81: じゃあ、そこ、シールを剥がし、テープ剥がして。

T82: さっきみんなが共通する、空気でも列車でも、全部共通するの何かあってあって、何かちょっとずつ例え違うんだけど、要は中が詰まっている。さっきの駆けっこは詰まってなくて走っていくっていうね。詰まっているものとして考え

たらどうだろう。

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

T83: 行くよ。1個入れますね。どれぐらい速くなると思う？ すごく緊張して待ってるみたいだけど。どう？

T83: 今、1個入れますが、D君、どれぐらいで来ると思う？

S28: いや、もう、すぐ来ると思う。

T84: すぐ来る？ 行くかな。ちょっと待ってよ。装填完了。行きます。一個一個ですよ。

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

S29: あ、やばい。

T85: どうですか。

S30: :すごい。

T86: こっちに1個、ぴゅっと入れます。どうだろう。それで、さっき、最初、みんなの知ってる知識。もうちょっと上げようかな。1個入れると……。あ、ちょっと流れ過ぎました。あれ？ ちょっと押しすと、すぐ、このタイミング。違いがあると見えるかな。中に赤いのが入ってると思うけど、これ、全部はどのタイミングで動きます？ 別々に動いてるのか、一緒に動いてるのか。赤いの。

T87: 見にくいかな。見えない人は前に来ていいよ。見えるとこで立って見てね。

[生徒が教卓の近くに移動する]

T88: よく見てほしいのは、電気ってスイッチ入れたらすぐつくよね。スイッチ入れたらすぐつくけど、中の玉の動きは速いか遅いかどうかもよく見て。中の動きは、速いだろうか、遅いだろうか。あっちは、あっちはどう？ ここ入れて、すぐ、すぐ、入れたらぴゅってしたら出る。だから、ここは、ここを入れるとあっちが出るのはあっという間。あっという間。いい？

[生徒は、教師のモデル実験を観察する]

T89: あっという間。同時ね。中の玉は動いてるのか動いてないのか分からないぐらいゆっくり。だから、電気が伝わる、何かスイッチがつく速さはあっという間だけど、中の玉は必ずしも速く動いてなくても効果はすぐ伝わる。

T89: さっきの列車のモデルも、電気、水を流してても一緒ね。水道の場合も、ホースまで水が水道

管まで来てて、ひねるとすぐ出るでしょう。だから、ひねった瞬間に、しばらく待ってから、おお、やっと出たっていうふうにならないね。効果はすごく早いけど、中身は必ずしも速くない。微妙な違いがあると思ってた人は、多分、中がすごく速く走ってるんじゃないかと思ってた人、どうでしょう。押すと、中身はゆっくり動くけど、向こうに伝わるのはあつという間。いいかな。大体納得してもらえた？

T90: じゃあ、ちょっとやってみようか。はい。大丈夫。E君が全部受け止めてくれるから。

[生徒の一部がモデル実験を行う準備をする]

T91: もうちょっと持ち上げて。持ち上げて。垂れ下がってるから。はい。

[生徒の一部がモデル実験を行う]

T92: 自分が押した瞬間に速く、出てくるのが分かるかな。はい。じゃあ、席に戻って。はい、ありがとう。

[生徒が各自の席に戻る]

T93: じゃあ、そこで、ちょっと時間<聞き取り不能>きつきつになりましたが、最後、今の説明、全部、他の人の例えを聞いてどうだったか。そして、最後のまとめ、電流が流れるとはどういうことかというところまで、ちょっとまとめてみてください。今、いろんな人の例え、そして最後、授業終わって、どんな話するだろうなと思いつつ聞いてたと思いますが、全体としてね。だから、電気が流れるっていうのは、これ、もう、どんなモデルでもプラスからマイナスにどこでも動いてるってね。どの場所のビー玉も。こちらから、こちらプラスマイナスすると、どこでもプラスからマイナスに流れる。これ全体を指して、プラスからマイナスに流れてるという。だから、言葉に何かちょっとだまされてるところあるけども、イメージとしては、端から行く。端から端に行くって考えると、何かついたりつかなくなったりするっていう、何かよく分からないことになっちゃう。

T94: じゃあ、今日の、今、ちょっとお話をさしてもらったところで、自分が思ってたイメージとどうだったのかなと、そのすっきり具合。みんなの説明、この例えを聞いたところのすっきり具合。そしてまとめ。電流って、プラスからマイ

ナスって考えるってどうだったのかな。どんな部分がイメージと違ったのかっていうのをまとめてみてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T95: 流れるってどういうことだろう。全体を終わって、すっきり具合、どうだろう。振り返って。一番もやもやしてたのどんなとき。すっきりしたのはいつだろう。何かそんなテレビありましたよね。「スッキリ」。

[生徒がワークシートに記入する]

T96: 大体書けたかな。じゃあ、ちょっと最後まとめをします。書いてる人は書きながら聞いてください。

[生徒がワークシートに記入する]

T97: 今、今日は、電流が流れるという復習でお話をさせていただいて.....まだ書いてるかな。じゃあ、もうちょっと待ちましょう。

[生徒がワークシートに記入する]

T98: じゃあ、一回、ごめんなさい、手を止めて。

T99: じゃあ、まとめをしますが、今日、さっき言った知識の話はやりました。電気というのは、見ても分からないので、さっき皆さんがプラスからマイナスに流れると思っていたとおりに考えてると、何かおかしいことが起きる。それは、ちゃんとイメージを持つてることが大事です。だから、何か勉強するときに、どういうことかなってイメージをすると、自分のおかしいところは何か気付きますので、そういう意識して、この後、勉強してください。

T100: 1時間でしたが、ちょっと時間オーバーして申し訳ないですが、これで終わります。今後もまた勉強頑張ってくださいと言いつつ、夏休みになります。引き続き頑張ってください。じゃあ、今日の授業はこれで終わりにさせていただきます。ありがとうございました。

S31: 起立。ありがとうございました。

T101: ありがとうございました。

謝 辞

本研究を進めるにあたっては、多くの皆様に多大なるご指導およびご支援を賜りました。心より御礼申し上げます。

大高泉先生（筑波大学名誉教授，現常盤大学教授）には、修士課程教育研究科から今日に至るまで、家族的な暖かさと学問的な厳しさのある雰囲気の中で、理科教育学の基礎を学ばせていただきました。鹿児島県の公立高等学校の教員として勤務していたころ、ようやく実践的な手ごたえを感じられるようになったころ、実践研究に取り組んでみたいとの思いを相談した折りに、想像だにしていなかった博士課程に進学して研究する可能性をご示唆いただきました。そのときにいただいたお言葉と研究冊子は、退職して研究者としての道を進むことへの勇気を与えてくれるものとなりました。一方で、その後の研究活動や論文執筆は遅々として進まず、ご心配ばかりをおかけしたように思います。学恩に十分報いるような論文になっていないことは忸怩たる思いですが、ようやく博士論文としての体裁を整えることができたことは、先生のご指導・ご鞭撻のおかげだと思っております。心より感謝申し上げます。

長洲南海男先生（筑波大学名誉教授）には、大高先生と同様に修士課程の院生時代から、研究室の垣根を越えて、同じ舎（学派）の一員として認めていただき、常に叱咤激励を賜りました。先生も同じく高等学校の教員を経験されていたこともあり、博士課程へ進学することに強く共感していただき、ご支援をいただきました。院生時代はもちろんのこと、静岡大学へと就職してからも、先生が主催される研究会に参加させていただく貴重な機会をいただき、理科教育学研究の歴史やアメリカの科学教育について、多方面から学ばせていただきました。熱心にご指導いただける先生の存在は、強力な指導教員がもう1人いるように感じ、大変心強い思いをしておりました。心より感謝申し上げます。

片平克弘先生（筑波大学教授）には、論文完成の見通しや希望を失いかけていた中で、学位論文審査の主査を快くお引き受けいただき、学位取得まで導いていただきました。先生には、重責多忙にも関わらず、ご自身の博士論文の執筆体験に基づいて、何度も論文の手直しのご助言をいただき、いつも親身にそして、終始丁寧にご指導を賜りました。先生とは、研究領域として、理科の認知研究や理解研究を、内容領域として、化学分野を専門としていることから、誠に勝手ながら、同じような問題意識を共有していただいているという気持ちを抱きながら、論文の執筆や修正に取り組むことができたように思います。心

より感謝申し上げます。

清水美憲先生（筑波大学教授）、樋口直宏先生（筑波大学教授）、長田友紀先生（筑波大学准教授）、森下將史先生（筑波大学准教授）には、学位論文審査に当たって丁寧に査読していただき、貴重なご教示とご示唆を賜りました。先生方からいただいたご助言等は、今後の研究に活かして参りたいと思っております。心より感謝申し上げます。

熊野善介先生（静岡大学教授）、丹沢哲郎先生（静岡大学教授）、土田理先生（鹿児島大学教授）には、同じ職場の上司・同僚、そして、茗溪の先輩として、当方の教育・研究活動を温かく見守っていただきました。先生方のご配慮とご指導のおかげにより、良好な環境の中で、研究活動や論文執筆に従事できたと感じております。心より感謝申し上げます。

この他にも、お一人お一人のお名前を挙げることはかありませんが、同じような思いや悩みを考えながら切磋琢磨してきた理科教育学研究室や数学教育学研究の皆様、貴重な時間を割いて調査にご協力いただきました中学校・高等学校の生徒の皆様、教育方法の本質的な重要性と実践的な課題を教えていただきました鹿児島県をはじめとする小学校・中学校・高等学校の先生方に対して、心より御礼申し上げます。

最後に、いつも惜しみない支援をしてくれる祁答院の両親、常に心の支えとなっている妻とうちの三姉妹に対しても、ここに記して、感謝の意を表します。

これらの皆様のご指導やご支援に応えるためにも、これからも研鑽を積み、より一層理科教育の研究・実践へと貢献できるように努めたいと思っております。

令和3年3月

内ノ倉 真吾