

# 理科学習における生徒の科学的な探究能力と創造性の育成 —アナロジー思考を促進する指導法—

久 徳 晋 也 [鹿児島大学教育学部附属中学校]

Development of students' scientific inquiry competency and creativity in science learning:

The teaching approaches to encourage analogical thinking

KYUTOKU Shinya

キーワード：理科学習、創造性、アナロジー（アナロジー思考）、言語活動、視覚化

## 1 はじめに

人は生まれながらにして、未知への世界への憧れや探究心をもっており、知ることや新しいものを生み出すことに喜びを感じることができる。これは、人が創造的に活動する特性をもち合せているからである。このような「創造性」を育てていくことは学校教育の大きな目的の1つであるといえよう。

「創造性とは、ごまかさずに物事を考えていくことであると私は常々語っている。きちんと自分で考えて、実験をやってみて、忠実に実験結果を見て、それを解釈していく。この道筋を踏みはずさずに歩いていくことが、すなわち創造性だ」（西澤潤一・東北大学元総長）

「ドストエフスキーの創造性は、数多くの不自然な言葉を生み出す点にあるのではなく、特定の文脈で適切な言葉を思いつき、望ましい効果を創造しようと言葉を併記し、結びつける点にある。同様にアインシュタインも出来る限り多くの不自然な理論をただ案出しては、その中から選ぶことをしていたわけではない。むしろ彼は、科学的問題を解決する理論を思いついた点が創造的なのである」（シャロン・ベイリン・「創造性とは何か」）

以上は独創的な業績を上げた先人たちの創造性についての見解を示したものである。いずれも、科学的な探究と創造性が発揮されることとの深い関連性を示唆している。創造性の育成については、学校教育全般の中で行われていくべきものであるが、とりわけ理科学習においては、自然事象の中に問題を見だし、その問題を解決するために必要な情報を集めて考察し、自然の規則性を発見したり、自然に対する認識を深めたりする活動を通して行うことになる。具体的には、問題解決的な学習における実験企画や考察などの場面を充実させることによって、創造性を発揮させ、そして科学的な探究能力を育成していくことになるだろう。

そこで、本稿では「理科学習における生徒の科学的な探究能力と創造性の育成」という主題のもと、主にアナロジーの創造的な機能に着目して、アナロジー思考を促進するための有効な指導法を探ることにしたい。

## 2 理科学習における「創造性」について

高等学校学習指導要領解説数学編(2009)によると、創造性の基礎とは知的好奇心、豊かな感性、健全な批判力、直観力、洞察力、論理的な思考力、想像力、根気強く考え続ける力などとされている。このことから、本稿では理科の特性を考慮し、理科学習における創造性とは「**創造的な態度**」と「**創造的に考える力**」の2つの側面から構成されると考え、それぞれを以下のように整理した。

### (1) 理科学習における「創造的な態度」とは

これまでの既有概念や生活経験と初めて出会った自然の事物や現象がうまく結び付かないときに、「おかしいぞ」、「なぜだろう」と直観的に感じ取ったり、「知りたい」、「分かりたい」、「解決したい」と主体的に探究しようとしたりする感性である。

例えば、人の考えつかないことをよく思いついたり周囲が賛同しなくても自分の意見をはっきり言えたりする態度や、夏休みの自由研究などにおいて、失敗を恐れず試行錯誤を何度も繰り返し結論を得ていくことに価値を見いだしたりする態度などと捉えることができる。

### (2) 理科学習における「創造的に考える力」とは

初めて出会った自然の事物や現象のしくみを理解するために、具体的に想像してイメージを膨らませながら、必要な情報を集めて自然事象に働きかけ、そこで新たに得られたものを既有概念の体系と意味付けたり、関係付けたりして、新たな概念の体系をつくり出していく思考の特性である。

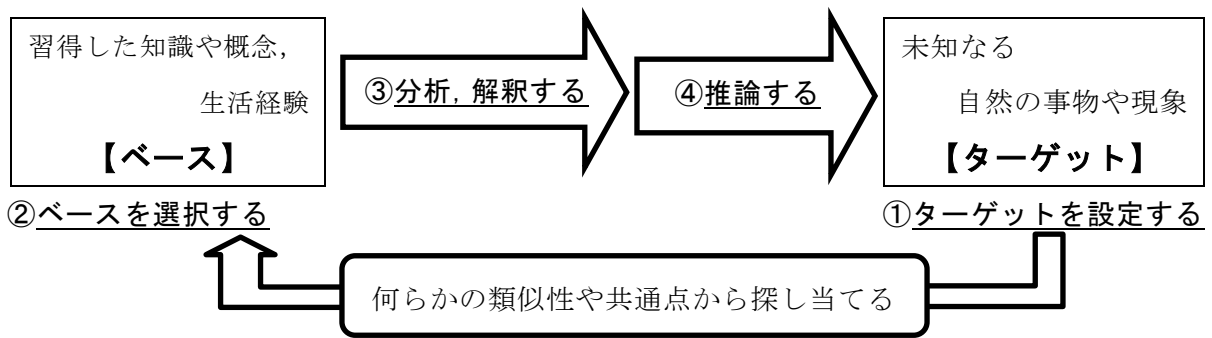
例えば、問題解決のための観察、実験を行うにあたり、目的にあったデータを得るための調べ方などを工夫・改善したり、得られた観察、実験の結果やデータから自分で新しい解釈や考察を行ったりすることができる思考などと捉えることができる。

## 3 「創造的な態度」や「創造的に考える力」を高めるために

### (1) 理科学習におけるアナロジー思考とは

上述した創造的に考える力の定義にある“新たな概念の体系をつくり出す思考”という、一見全く無の状態からスタートするような印象をもちがちである。だが、実際には新たな概念の体系は習得した知識や概念、生活経験を選択して抽出して組み合わせることによって生まれることが多い。これが「アナロジー」である。また、このアナロジーが生成される一連の思考過程を「アナロジー思考」という。このアナロジーやアナロジー思考を理科学習に積極的に導入していくことによって、知識や技能をそのまま再生したり、反復したりすることにとどまりがちであった学びが、より高次の活用が展開される学びへ変容していくと考えられる。

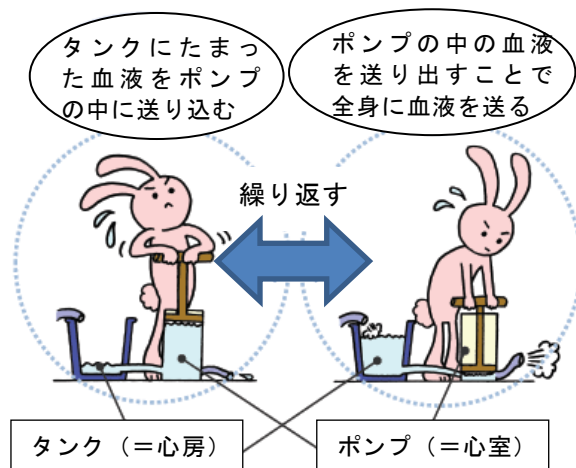
それでは、実際の理科学習において、どのようにしてアナロジー思考を展開していけばよいのだろうか。アナロジーを日本語に置き換えると、「類推」という言葉が当てはまる。類推の意味とは、文字通り「**類似のものから推し量る**」ことである。このことを基に、**図1**にアナロジーが生成されるプロセスを図解化してみる。



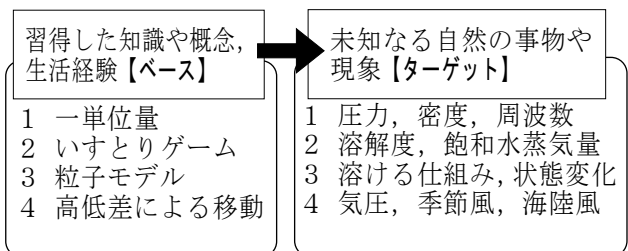
【図1】 アナロジーが生成されるプロセス

図1にあるように、アナロジーが生成されるプロセスは、①～④に示される4つのプロセスに大きく分けられる。①では、問題解決の対象となる未知なる概念の体系、すなわちターゲットを設定する。理科学習においては、これから明らかにしたい自然の事物や現象に当たる。②では、自らがもつ習得した知識や概念、生活経験の中から問題解決の基となるベースを選択する。このとき大切なことは、ターゲットとベースの類似性や共通点を探し当てることである。③では、ベースとターゲットをそれぞれ対応させながらターゲットの未知なる部分を細かく分析、解釈していく。④では、③の分析、解釈を基にターゲットを総合的に理解していくために推論していく。これら①～④の4つのプロセスを経ることによって、アナロジー思考は成立していくと考えられる。

ヒトの心臓のつくりや働きを理解するためのアナロジーを例に挙げてみよう(図2)。初めて学習する生徒にとって、心臓の心房や心室のつくりや働きを理解することはなかなか難しい。そこで、まず未知の領域であるターゲットに当たる心臓のつくりや働きと、自分の知っている知識や概念や生活経験であるベースとの間で、何らかの類似性はないか考えさせる。すると、血液と水はどちらも液体であるという共通点から、水の流れを制御するタンクやポンプを想起することができる。したがって、タンクやポンプは、今回探し当てたベースである。そして、これらを組み合わせることによって、「タンクにたまった血液をポンプの中に



【図2】 心臓のつくりや働きを理解するためのアナロジー

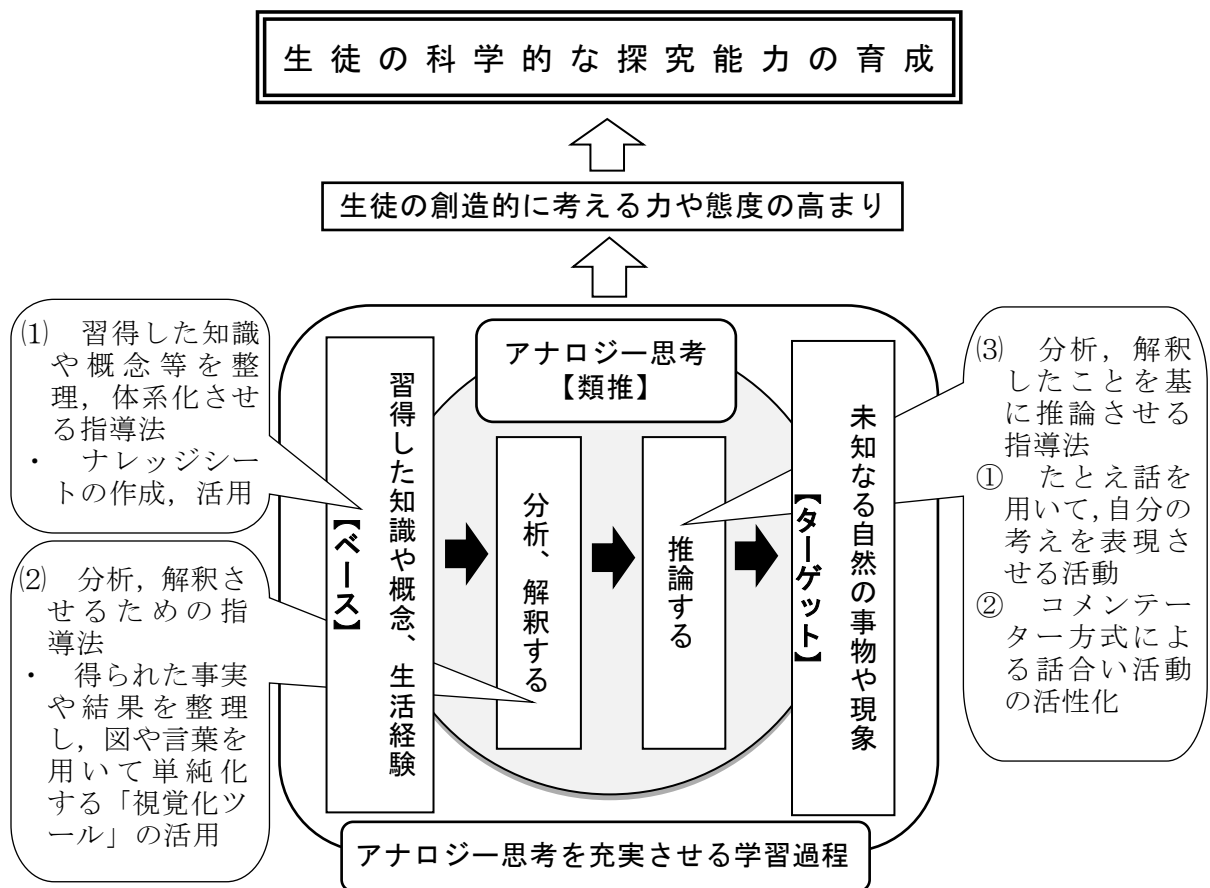


【図3】 理科学習におけるアナロジー思考の例

送りこんだり、ポンプの中の血液を押し出したりして、全身の血液の循環を制御する」という心臓のつくりや働きを理解するアナロジーを生成できる。このようなアナロジー思考を理科学習の中でいくつかのパターンに類型化できないかと考え、図3のように整理した。

(2) アナロジー思考を促進する指導の在り方

前項に述べたアナロジーの特性を踏まえ、アナロジー思考を充実させる学習過程や指導の在り方を確立したいと考えた。なぜなら、これらの学習過程や指導の在り方を確立できれば、創造的に考える力の高まりはもちろんのこと、豊かな知的好奇心や感性なども涵養されて、創造的な態度の高まりまで期待できると考えたからである。生徒の科学的な探究能力の育成に至るまでのプロセスを構想図としてまとめる(図4)。



【図4】生徒の科学的な探究能力の育成の在り方(構想図)

図4において、吹き出しの部分に指導法の部分に当たる。具体的には(1)習得した知識や概念等を整理、体系化させる指導法、(2)分析、解釈させるための指導法、(3)分析、解釈したことを基に推論させる指導法の3パートに分けて、次のような工夫・手立てを講じていくことにした。

- (1) 「ナレッジシート」の作成、活用
- (2) 得られた事実や結果を整理し、図や言葉を用いて単純化する「視覚化ツール」の活用
- (3) ① たとえ話を用いて、自分の考えを表現させる活動
- ② コメンテーター方式による話合い活動の活性化

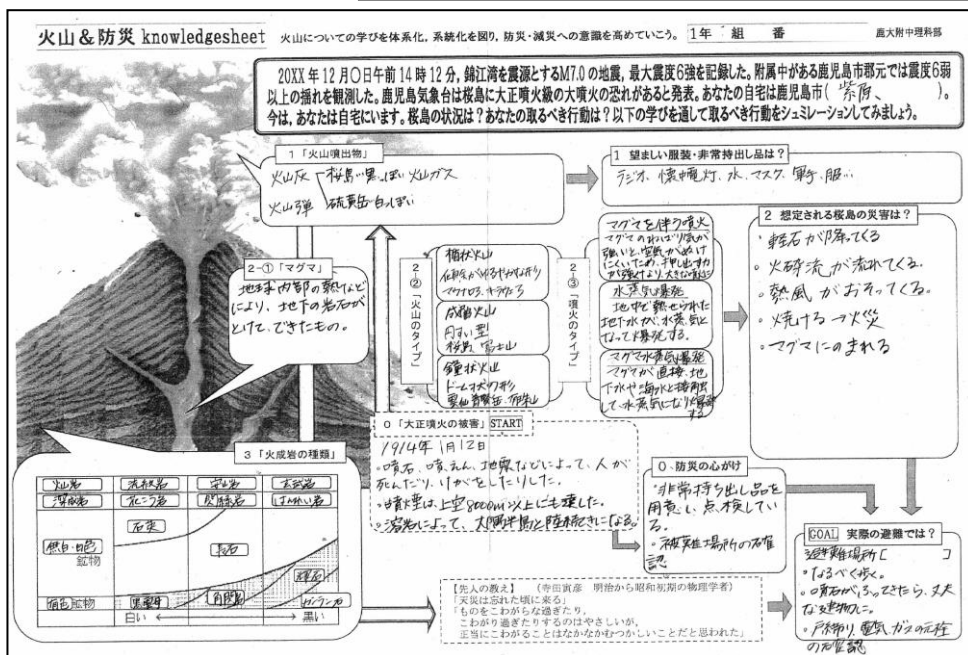
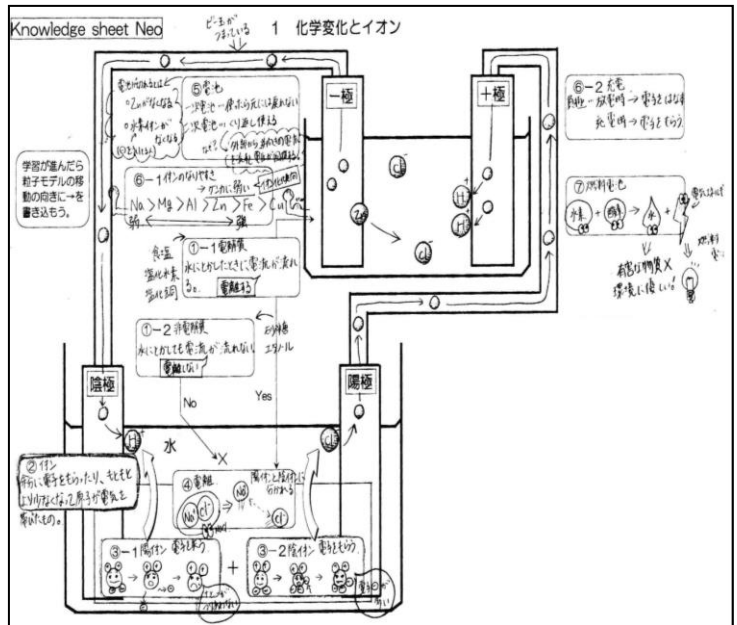
4 アナロジー思考を促進する指導法の実際

(1) 習得した知識や概念等を整理，体系化させる指導法

～「ナレッジシート」の作成，活用～

問題解決的な学習において，生徒自らアナロジー思考を行い，充実させていくためには，まず習得した知識や概念（ベース）を整理，体系化して“よく知っているもの”として定着させることが必要である。「ナレッジシート」は，予め体系化，図解化（包含，交差，連続，対立など）されている枠の中に，単元全体で習得する重要な用語や概念を生徒自らの表現で書き込ませて完成させていくワークシートである。ナレッジシートは，基本的に大単元ごとに作成されており，一単位時間のまとめのときに重要な科学的な用語や考え方をあらかじめ設定されている枠の中に書き込む形式になっている。一単元での学びが終了するとともに，習得した知識事項は体系化され，それぞれの関係（包含，交差，連続，対立など）が図解的に表されていく。

図5は，3年生1分野「化学変化とイオン」と1年2分野「火山と防災」で生徒が作成した実際のナレッジシートである。「化学変化とイオン」では，電子の受け取りを擬人化していたり，金属のイオン化傾向を“ケンカの強さ”にたとえて，「銅よりも亜鉛の方がケンカは弱いから，亜鉛の方がイオンになって一極になる」とまとめられたりしており，アナロジーが創出されていることが分かる。



【図5】生徒が作成したナレッジシート（右上：「化学変化とイオン」下：「火山と防災」）

「火山と防災」では、知識の整理・体系化とともに学びを社会で生かすことも念頭に置き、防災の心掛けや避難行動、噴火時の行動シミュレーションの枠をあらかじめ設けた。これらを既習事項などとともにまとめさせていくことによって、単元全体を通して防災・減災を自分のこととして意識できるような構成になっている。実際に生徒が作成したナレッジシートには、噴火のしくみやその特徴を踏まえながら「避難場所〇〇」、「なるべく歩く」、「噴石がふってきたら丈夫な建物に逃げる」などといった桜島の噴火を想定した避難行動の記述が見られた。

このように、ナレッジシートの作成・活用を進めていくことによって、生徒一人一人の知識や概念の整理、体系化が深まり、新たな考えとの類似性を見だしやすくなるとともに、防災・減災のような学びを実生活で生かそうとする「創造的な態度」の育成にまでつなげていく効果が伺えた。

## (2) 分析、解釈させるための指導法

### ～得られた事実や結果を整理し、図や言葉を用いて単純化する「視覚化ツール」の活用～

実際の授業場面において、観察、実験の結果を分析、解釈させる際、教師はどこまで必要な情報を与えれば生徒たちが規則性や法則を自分たちで導き出せるかを判断しなければならないことがある。さもすると、必要以上に情報やヒントを与えすぎてしまい、生徒の主体的な思考活動を阻害する恐れも否定できない。そこで、教師に頼らず、生徒自ら分析、解釈を進めていけるようなツールの開発が必要と言える。

さらに、アナロジー思考を行う際、未知なるものである「ターゲット」の特徴を整理し、その構造を単純化する過程は大切である。なぜなら、未知なる具体的な事象の特徴の構造が明確でなく分かりにくいままにしておくと、理解するために必要な既有知識や概念、生活経験である「ベース」との類似性を見だしにくいからである。ターゲットの特徴を整理し、その構造を単純化することはアナロジー思考の下準備であるといえよう。理科学習においては、観察、実験で得られた事実や結果を整理し、図や言葉を用いて分かりやすく単純化を図る過程がそれに当たると考えられる。

これらを踏まえた上で、生徒自身で観察、実験で得られた事実や結果を整理して単純化できる「視覚化ツール」を各単元において開発することにした。この「視覚化ツール」を活用するにより、生徒がこれまでに習得した知識や概念や生活経験との構造的な類似性に気付きやすくなることを目指した。ここでは、①～③の3つの事例を紹介する。

#### ① 電池の極や起電力のしくみを見いだす

本学習ではCu, Fe, Zn, Mgの金属板から2種類を組み合わせる電池をつくり、電圧の大きさや極を調べる実験を行った。各組合せの起電力を表した数直線を縦に並べて間隔が同じであることに気付き、整理、単純化してイオン化傾向の順序、極、電池のしくみを見いだしていくものである(図6)。



【図6】 起電力を「長さ」に変換して、視覚化するツール



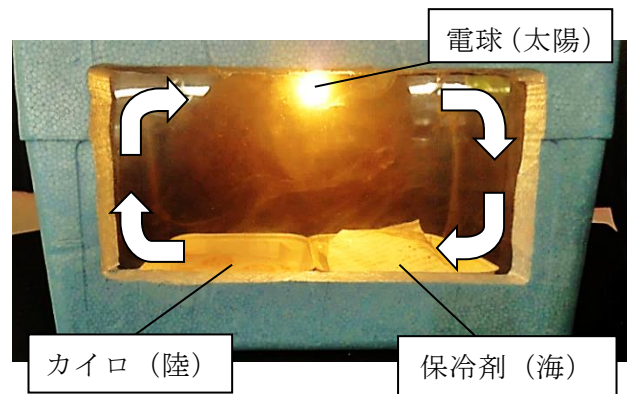
## ② 海陸風の風向が決まるしくみを見いだす

本学習では、陸や海の温度と風向との関係を探的に見いださせる展開をとった。学習過程を表1に示す。

【表1】海陸風の風向が決まるしくみを見いだす学習過程

<ol style="list-style-type: none"> <li>1 昼間に海風，夜間に陸風が吹いている映像を見る。</li> <li>2 海陸風の風向について予想する。</li> <li>3 海陸風のモデル実験を企画，実験を行う。</li> <li>4 時間帯で風向が変わる理由を考察する。</li> <li>5 海と陸の温度差と風向の関係をまとめる。</li> </ol>	
--	--

「3 海陸風のモデル実験を企画，実験を行う」の過程で，生徒の予想に基づき，陸を“カイロ”，比較的溫度が低い海を“保冷剤”に置き換えて昼の海風を再現するモデル装置を作成した（図7）。視覚化されたモデル装置を活用することによって，生徒は海陸風の風向が決まってくるしくみを気圧や気流をもとに説明できた。さらに，この海陸風のしくみがベースになって，次時の季節風の風向が決まるしくみも理解することができた。

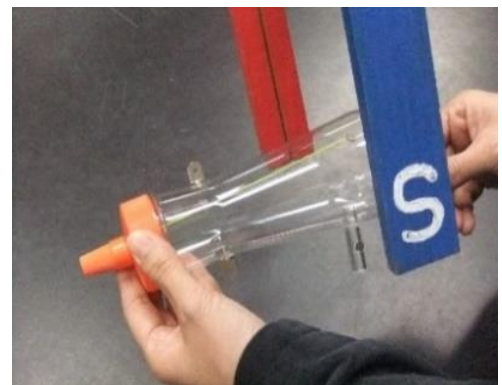


【図7】 昼の海風を再現しているようす

※ 温められた陸を“カイロ”，比較的冷たい海を“保冷剤”で再現して，線香の煙で対流をつくっている

## ③ 電流の正体を見いだす

電流の正体を見出していくためには，真空放電や陰極線などの様子を観察しながら，それぞれの結果を整理し，意味付けしながら特定していく必要がある。ただ，高圧電流を使用することもあり，生徒実験で行うことは危険である。そこで，本学習では，演示実験の結果を生徒が再現し，試行錯誤しながら考察できるモデルを開発した（図8）。この視覚化したモデルを用いることで，何度も実験結果を再現できるため，フレミングの左手の法則に基づき，電流の向きと陰極線の向きが一致しないことを見いだすことができた。



【図8】クルックス管のモデル

※ ドレッシングボトルの中に蛍光色の糸をつけたマグネットを外から磁石で引き付けて陰極線を再現している

## (3) 分析，解釈したことを基に推論させる指導法

### ① たとえ話をを用いて，自分の考えを表現させる活動

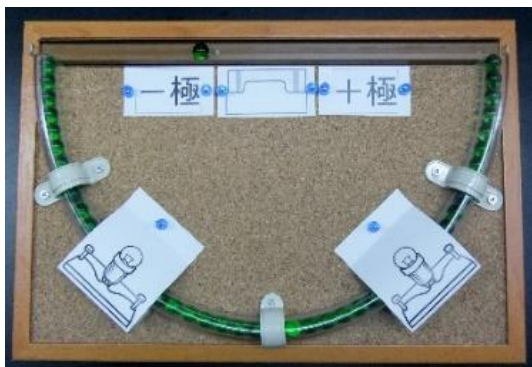
アナロジーの1つとしてたとえ話が挙げられる。理科におけるたとえ話は，未知なる自然

の事物や現象を比喩的に表現したものであり、電流の流れを水の流れに見立てたり、または、原子構造を惑星軌道に置き換えたりする例などが挙げられる。これらは、他者に分かりやすく伝えるだけでなく、自らの理解のために役立つ効果もある。よって、仮説を立てる場面や観察、実験で得た事実や結果を分析、解釈して考察を行う場面に、たとえ話を含めたアナロジーを創出・共有する言語活動を積極的に取り入れることにした。以下に、アナロジーを創出・共有する言語活動における指導のポイントをまとめる(表2)。

【表2】アナロジーを創出・共有させる指導のポイント

- ・ グループで他の生徒に説明させるため、まずは個人でアナロジーを考えさせる。
- ・ グループでの話し合いでは、たとえ話を奨励するなど、できるだけ他者に分かりやすく説明することを心掛けさせる。
- ・ 生徒からアナロジーがなかなか出てこないときは、ベースとターゲットの類似性や共通性を注目するように助言する。

前項(2)③「電流の正体を見いだす」の終末の場面では、電子をビー玉に、回路をホースに見立てたモデル(図9)を用いて、豆電球に電流が流れるしくみを考えさせた。表3は、教師が予め想定した学習の流れ(4はループリック)である。



【図9】ビー玉を詰めた回路モデル

【表3】電流の流れを見いだす学習の流れ

- 1 ビー玉(電子)1個を-極から+極に移動させる。
- 2 ビー玉(電子)1個では、直列につながった2つの豆電球が同時に点灯できないことに気付く。
- 3 ホース(回路)の中にビー玉(電子)をたくさん詰めると流れができることに気付く。
- 4 -極側からビー玉(電子)を1個押し込むと、+極側から1個押し出される。この現象を「ところてん」にたとえながら電流の流れを説明する。【ループリック】

これに対し、実際の授業で出た生徒のたとえは、以下の通りであった(表4)。

【表4】実際の授業における生徒のたとえ

- 生徒A 回路を“電車”，電子を“乗客”として、「満員電車に乗客が1人乗ると，1人押し出されて降りる」ように電流が流れるととれた。
- 生徒B 電子を“新幹線の車両”として、「新幹線の車両同士が連結しているように，電子が回路の中でつまっている」と電流の流れをとれた。

また、2年1分野における「レンツの法則」の規則性を見いだす場面についても、たとえ話を出させた。レンツの法則を本質的に理解するためには、磁束密度の考え方が必要となり、中学生が原理・原則のまま理解するのは難しい。そこで、生徒にレンツの法則の規則性を自分たちがよく知っているものにとえて表現するように助言した。すると、磁石とコイルを、男性と女性の関係にとえ、「来れば、拒む。逃げれば、追う」という男女の関係になぞらえたグループがいくつか出た。このたとえ話を聞いた周囲の生徒は、思わず納得の声をあげ、電磁誘導における磁石とコイルの関係についての理解が深まり、知識の精緻化が図れた。実際、授業後のアンケートでも「難しく感じていた電気の学習も、何かにとえることによっ



て分かりやすくなった」と回答した生徒も見られた。

## ② コメンテーター方式による話し合い活動の活性化

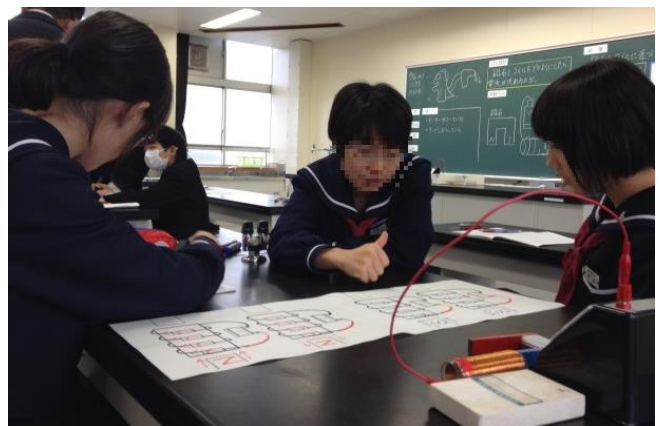
仮説を立てる場面や観察、実験で得た事実や結果を分析、解釈して考察を行う場面では、グループの考えをまとめたり、意見交換の場をとしりきったりする役割を果たす「コメンテーター」をグループ内の一人の生徒に役割を与えることが有効である。具体的には、4人グループであれば、そのうち3人は自ら導き出した結論を発表する「発表者」の役割を担う。そして、残りの1人は「コメンテーター」として、3人の「発表者」によるそれぞれの意見をそれぞれ質問したり、まとめたりすることによって、その意見を吟味し、妥当かどうかを検討させる役割を担わせる。コメンテーター方式による話し合い活動のポイントを以下に示す(表5)。

【表5】コメンテーター方式による話し合い活動のポイント

- コメンテーター以外のメンバー全員を発表者とし、コメンテーターの指示により考えを述べさせる。
- コメンテーターは固定化せず、グループ内のメンバー全員がその役割を経験できるようにする。
- コメンテーターは、他のメンバーの意見を比較したり、それを批評したりしてグループとしての考えをまとめる。

上記にもあるように、コメンテーターには、グループ内の複数の意見を①「比較する(複数の意見を比べる)」→②「判断する(より妥当性があるものはどれか)」→③「批評する(筋道立てて説明する)」という過程を踏ませることを心掛けさせる。また、コメンテーター以外のメンバーには、自分が導き出した結論が、「客観性があるか」、同じ条件ならば必ず同じ結果になるかという「再現性があるか」、結果と照らし合わせて整合するかという「実証性があるか」というチェック機能を働かせることによって、自らの考察を練り上げてさせていくことが重要となる。

前項の「レンツの法則」を既習の右ねじの法則から見いだす際、生徒Aは「前回学習したから、フレミングの左手の法則を使うんじゃない?」と発言し、生徒Bは「コイルに流れる電流の向きから、右ねじの法則で磁界の向きを調べてみよう」とそれぞれ発言した(図10)。これらの意見を踏まえた上で、



【図10】右ねじの法則からレンツの法則の規則性を導き出す様子

コメンテーター役であった生徒Cは、それぞれの意見を比較して、より妥当

性のある根拠を基に主張していた生徒Bの意見に同調して、グループ全体としてその規則性

を見つけることができていた。このことから、グループ全員で納得のいく合意点を見いだしながら、協働的に考えをまとめることができたと考えられる。

## 5 おわりに

生徒のアナロジー思考を促進するための指導法を2年間実践した第3学年を対象に、平成30年4月に実施された全国学力調査の平均正答率を調査したところ85%となり、全国平均の66%を大きく上回った。また、学習状況調査でも「理科の勉強は大切である」、「理科の授業で学習したことは、将来、社会に出たときに役に立つと思いますか」と回答した生徒はそれぞれ80.0%（全国70.9%）、77.0%（全国56.1%）であった。探究能力の高まりに加え、理科学習の有用性を感じている生徒も多い結果となり、これまで行ってきた実践が一定の成果を上げていると判断できる。

また、アナロジー思考を見取る評価問題として、図11のような出題を2年生で行ったところ、アナロジー思考を基にした回答が多く見られるなど、創造性の高まりも見取ることができる。

一方で、アナロジー思考の活性化を図ることができる単元、教材は数、質ともに

にまだ十分ではないと考えられる。今後も、その実践、取組を継続して進めていきたい。

Q. 熱の移動のように、  
「高い」ものから「低い」ものに移動していきくみは、他の自然現象や科学的な現象でも見られる。具体的にどのような現象が挙げられるか。

① 空気は高気圧から低気圧へ動く。  
② 坂道にボールを置くと重力で高い方から低い方へ動く。  
③ 石灰石の間にコイルを入れると、石灰石が強い方から弱い方へ動く。

【図11】アナロジーを意識した出題と実際の回答（2年生）

## 引用及び参考文献

- 西澤潤一（1994）「私の独創教育論 『暗記偏重』教育が日本をダメにする」PHP文庫  
 シャロン・ベイリン（2008）「創造性とは何か—その理解と実現のために」りぶらりあ選書  
 文部科学省（2009）「高等学校学習指導要領解説 数学編」実教出版  
 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かわりに注目して—」静岡大学教育学部研究報告教科教育学編，91-106  
 細谷功（2011）「アナロジー思考」東洋経済新報社