

子どもに問題発見力を育てる指導法の基礎的な研究

—小学校理科の教科書分析を基にして—

A basic study for the instruction method development that a child can do problem discovery.

—Through learning of the elementary school science—

石井 雅幸¹, 高木 正之², 阪本 秀典³, 浅島 千恵⁴, 笠原 秀浩⁵, 細谷 夏実⁶, 伊藤 知子⁷, 小島 章宏⁸,
田添 里佳¹, 塚本 麻美¹

Masayuki Ishii¹, Masayuki Takagi², Hienori Sakaoto³, Chie Asshima⁴, Hidenori Kasahara⁵,
Natsumi Hosoya⁶, Tomoko Itou⁷, Akihiro Kojima⁸, Rika Tazoe¹, and Asami Tsukamoto¹

¹大妻女子大学家政学部, ²岐阜聖徳大学教育学部, ³共江戸川区立下小岩小学校,
⁴国立市立国立第三小学校, ⁵豊島区立富士見小学校, ⁶大妻女子大学社会情報学部,
⁷杉並区立桃井第五小学校, ⁸福生市立福生第六小学校

キーワード : アブダクション, アナロジー, メタファー, 問題解決, 問題発見力

Key words : Abdaction, Analogy, Metapha, Problem Solving, Ability of Problem Discovery

1. 研究目的

平成 28 年 12 月に出された「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」の中央教育審議会答申では, 2030 年とその先の社会の在り方を見据えていくと, 学校教育を通じて子どもたちに育てたい姿を 3 つ描いている. この 3 つの内の一つとして, 以下の点をあげている.

「変化の激しい社会の中でも, 感性を豊かに働かせながら, よりよい人生や社会の在り方を考え, 試行錯誤しながら問題を発見・解決し, 新たな価値を創造していくとともに, 新たな問題の発見・解決につなげていくことができること.」(2016, 中央教育委審議会)このことは, 問題発見力の大切さが強調されていると言える.

これからの時代を考えたとき, 人工知能の発達が目ざましい. 野村総合研究所があげた 2030 年の日本の職業の半数近くが AI にとって変わることを予測している. その中であっても, 「芸術, 歴史学・考古学, 哲学・神学など抽象的な概念を整理・創出するための知識が要求される職業, 他者との協調や, 他者の理解, 説得, ネゴシエーション, サービス志向性が求められる職業は, 人工知能等での代替は難しい傾向があります.」(2015, 野村総合研究所). 野村総合研究所の報告を見ても, こ

れからの時代を生きる子どもたちに強く求められる能力の一つとして問題発見力の育成があげられる.

ここで子どもの学びを考えると国立教育政策研究所があげる 21 世紀学力の中でも小学校段階で特に育成が求められるのは問題解決力並びにその過程で発揮される論理的・批判的思考力である. とりわけ問題解決における問題発見力については, 理科教育では仮説設定の重要性としてあげられている(例えば木下(2013))などがあげられる).

これまでの多くの実践的な理科教育の研究においては, 問題発見場面の研究や子どもが問題意識をもつための教材の開発などが盛んになされてきている.

これからの教育に求める創造性の視点からみた問題の発見能力に関わる指導のあり方の研究はまだ進んでいない. むしろ, これから開発されていくところにある.

そこで, 本研究においては, 小学校における理科を通して育てる問題発見能力を育てる指導法開発のための基礎的な研究を行うことを目的とした.

具体的には以下の 2 点になる

①子どもが問題を発見する過程を, 理科の学習過程から抽出し, 教師の働きかけとの関係を明らかにする.

②子どもが問題を発見することを促す教師の働きかけや場の設定は具体的な単元の授業の中でどのような思考の過程を経て、子どもは問題を発見していくのかを明らかにする。

以上の2点を踏まえて、これまでの問題設定場面における指導法との視点との違いを明確化する。

これまでとの違いをより顕在化させるために、子どもが使う推論に視点をあてることにする。本研究においては問題を発見する場面で人が使う能力を推論として考えることにする。問題解決過程における推論に関しては、Peirce C.S が提唱している演繹、帰納、アブダクションの3つが想定できる。これまでに、演繹や帰納という推論形式から仮説設定に至る過程を多くの人は考えてきている(例えば演繹に関してはK・ポパーが、帰納に関してはライヘンバッハが主張している。ポパーはライヘンバッハの主張を否定し、ハンソンは、ポパーの論を否定してパースの考えを支持している)。一方、Peirce C.S は、仮説設定場面におけるアブダクションと言う推論に着目している。この研究に関しては、すでに、本共同研究において我々が研究をすすめ、小学校理科の教科書においてアブダクションが見られた単元展開を取り上げ検討を始めている。

また、アブダクションとともに、類推(以下、アナロジーと呼ぶ)や比喩(以下、メタファーと呼ぶ)といった推論も取り上げられる。

アナロジー、メタファーの研究は理科教育の中でも注目されており、科学概念においてとても関わりがあるとされている。

中山(1998)は、科学概念の比喩的側面、自然にかかわる概念の比喩的側面の存在を考察したうえで、理科学習において比喩的な概念に着目することの意義について議論している。中山(1989)の先行研究に当たるのが、科学概念の学習あるいは科学的推論において、比喩的な側面の重要性が指摘されている研究(Solomon, et, al, 1985)、子ども自身が生み出すメタファーによる表現を理科授業に積極的に生かす面を強調する研究(森本・尾崎, 1995)、教師によって吟味されたアナロジーやモデルを概念の教授に利用する面を狭量する研究(Black and Solomon, 1987)がある。

内ノ倉(2010)は、科学的な概念の形成との関わりに着目して、子どもの理科学習におけるアナロジーやメタファーの内容や生成・活用方法に関する先行研究を横断的に探り、その知見を整理・

総括する研究を行っている。その中の先行研究に当たるのが、特定の教育内容に対して、どのようなアナロジーやメタファーがよいのか、という教材論的な研究(Gentner, D., Gentner, D.R., 1983)、構成主義的な学習観が興隆して以来、子ども自身が科学的な事物や事象を意味付ける典型的な手段の一つとして、子どものアナロジーやメタファーの内容や生成・活用方法が明らかにされた研究(Christidou, V.etal, 1997)がある。

また、内ノ倉(2010)は、「近年、科学的な概念形成のためのアナロジーによる教授法として、教師主導によるアナロジーの導入ばかりではなく、子どもによるアナロジーやメタファーの生成が重視されるようになってきている。」と述べている。

こうした中で、内ノ倉(2010)は、「子どもたちのアナロジー・メタファーの生成・活用を規定するコンテクスト的要因(例えば、理科授業の流れ、理科教育観・科学観、社会・文化的環境など)や、認知的な要因(例えば、アナロジー・メタファーの生成・活用の認知スキルの具体的な内容とその育成方法など)など、まだまだ検討すべきことは多く、これらは今後の課題と言えよう。」と述べている。

内ノ倉(2010)は、以下の4点を明らかにした。「第一に、ベース(見立てるもの)とターゲット(見立てられるもの)との距離は、アナロジー・メタファーの生成が求められるコンテクストや、その生成の認知プロセスによって変化しうる状況性や可能性という性質をもつことが明らかになった。第二に、ベースとターゲットとの距離が離れているアナロジー・メタファーとして、各内容領域や校種段階に関係なく、多種多様な擬人化が見られることが確認された。第三に、子どもが自分自身を対象として、アナロジー・メタファーを伴った説明を考えているときに、科学的な知識が精緻化されるなどの概念的な理解が深まることが明らかとなった。第四に、子どもに意識的にアナロジー・メタファーを生成させることは、概念的な理解の促進や新たな疑問の創出など、効果的な教授ストラテジー(子どもにとっては、学習ストラテジー)の一つとして位置づけられることが分かった。」

以上の4点が明らかになったが、これらが理科の学習においてどの場面でのどのように使うのかは明らかとなっていない。

アナロジーとメタファーは近接する概念であり、

いずれも既知のもの（ベース）を通じて新奇のもの（ターゲット）を知る認知作用ならびにそのような認知を伴う言語表現といえとされている。どちらも「AをBに見立てる」という構図は同じで、未知の対象であるAを「ターゲット」、既知の対象であるBを「ベース」と呼んでいる。この2つはとてもよく似ているために、使い分けが非常に難しい。使い分けが難しい2つを区別するために、本研究ではアナロジーとメタファーを以下のように定義付けして用いることにする。

アナロジーは、ベースとターゲットが互換的にもちいることができる、比喩性がより低く、類似性に基づいた比較であると判断できるもの。（内ノ倉，2010）。

メタファーは、ベースとターゲットを互換的に用いることができず、比喩性がより高く、類似性もしくは共起性に基づいた関連付けであると判断できるもの。（内ノ倉，2010）

鈴木宏明（1996）によると、アナロジーは以下の3つに分類することができる。

1つ目は、対象レベルの類似性（object-level similarity）である。「この類似性は、2つの対象の間の類似であり、2つのものの中で特徴がどれだけ共有されているかで決まる。たとえば、りんごとみかんは似ているが、これはりんごとみかんは果物であったり、食べられたり、丸かったり、大きさが比較的近いなど、多くの特徴を共有しているからである。またいわゆる「そっくりさん」などにおける類似の認識もこのレベルの類似に基づくものと考えられる。」（「」内は鈴木(1996)から引用）

2つ目は、関係レベルの類似性（relational similarity）である。「この類似性はベースに存在する関係とターゲットのその共有の度合いに基づく類似性である。たとえば、電気回路と水流の類推においては、対象レベルではほとんど何も共有されるものがない。しかし、この2つのドメインにおいては、「xが増加するとyも増加する」とか「pが増加するとqが減少する」などの関係が共有されている。」（「」内は鈴木(1996)から引用）8）つまり、日常生活などの経験から類推しているものが含まれる。

3つ目は、プラグマティックな類似性である。この類似性は問題の解法、あるいは目標構造レベルでの類似性である。たとえば、「この問題と前に解いた問題あの問題は（三平方の定理を使うので）

似ている」という場合の類似性の認識をいう。つまり、既習事項に基づき類推しているものが含まれる。（「」内は鈴木(1996)から引用）

瀬戸賢一（1995）『メタファー思考』講談社現代新書18）によると、メタファーは以下のように分類できる。

- ・見守る，分かる，つながり，光などの「言葉」のメタファー
 - ・見るを中心とする「視覚」のメタファー
 - ・私たちの身体的な近くに基づいた「感性的」なメタファー
 - ・私たちの精神的認識に基づいた「悟性的」なメタファー
 - ・視覚のメタファーの太い幹を受け継ぐ「空間」のメタファー
 - ・森羅万象をもの化してしまう力を秘めている「存在」のメタファー
 - ・あるものが空間内に位置を得るための「位置づけ」のメタファー
 - ・ある種の経過，プロセスである「運動」のメタファー
 - ・因果関係の起点である「出発」のメタファー
 - ・旅の，あるいは一般的な進行の終着点の意味する「到着」のメタファー
 - ・進む方向を定めるための「方向」のメタファー
 - ・進行，手段，進路，障害の観点での「動き」のメタファー
- 以上から分類する。

アブダクション，アナロジー，メタファーといった論理的推論を使いながら，子どもは問題発見，仮説設定を行っていることが想定される。そこで，アブダクションは仮説設定に大きく関わっていることが昨年までの研究で明らかになってきた。本年度はアナロジーとメタファーに着目して検討を試みた。以下を本研究の目的に設定した。

本研究の目的

小学校理科の学習において子どもは問題解決の中のどの場面で，アナロジーやメタファーをどのように使っているのかを検討する。

2. 研究実施内容

(1) なぜ教科書分析か

本研究では，子どもたちが小学校理科の学習において，どの場面でアナロジーやメタファーを使うのかを明らかにするために教科書分析を行うことにした。本来ならば，あらゆる学習内容の授業

観察という手法もあったが、理科授業の一般的な姿に基づいた検討を行うために、あえて本研究では教科書分析という方法をとった。理由は、小学校理科の学習は教科書を主たる教材として進められているため、この点を考えると、教科書分析を行うことによって一般的な理科授業の姿を検討できると考えたからである。

(2) 教科書分析方法

〈調査対象〉

小学校の理科で使われている 6 社のうちの 2 社の教科書会社 Ky 社と T 社の 2 社を取り上げた。

本研究では教科書によるアナロジーとメタファーの使われ方の違いを明らかにしたかったのではなく、どの内容のどのような場面で子どもたちがアナロジーやメタファーを使うのかを明らかにすることが目的であるため 2 種類の教科書の分析で十分であると判断した。塚本 (2016) は、本研究のように教科書分析方法を研究に取り入れており、アブダクションを小学校理科の学習で使われている 6 社全てから抜き出している。その結果、Ky 社と T 社が教科書全体のアブダクションを使っている割合が高かった。そこで、塚本 (2016) に従いアブダクションが比較的多用されていると報告されている Ky 社と T 社の教科書を分析することにした。

〈調査方法〉

目的である「小学校理科の学習において子どもは問題解決の中のどの場面で、アナロジーやメタファーをどのように使うのか検討する」ために以下の方法で調査を行う。

① アナロジーの定義は、これまでに論じてきた

鈴木宏明 (1996) のアナロジーの 3 つの定義を用いた。また、メタファーの定義は瀬戸賢一 (1995) の定義する 11 個から、理科の問題解決の場面で多用されることが想定される 3 つを抽出した。その結果が、以下のものである。①メタファーとして、「1.視覚」「2.言葉」「3.位置づけ」、②アナロジーとして、「4.対象レベル」「5.関係レベル」「6.プラグマティック」とした。

- ② Ky 社と T 社 2 社の小学校理科第 3 学年から第 6 学年の 4 学年分の教科書合計 8 冊の全てのページを読み、定義づけたアナロジーとメタファーを抜き出していった。
- ③ 理科学習における場面を「1.事象との出会い」「2.仮説設定」「3.観察, 実験計画」「4.観察, 実験の実施」「5.考察」「6.結論付け」「7.発展」「8.タイトル」の 8 つに分類した。そのいずれの場面でアナロジーやメタファーがよく出現するのかを検討した。
- ④ 学年差, 場面による差から, 理科学習のどのような場面でアナロジーやメタファーが出現していくのかを検討した。なお, アブダクションとの関係に関しては, 2016 年の塚本の報告と比較しながら考察の中で検討を加えることにした。

(3) 教科書分析結果

- ① 学年によるアナロジーやメタファーの出現数の違い
アナロジーとメタファーが、各学年でどのくらいの出現したのかを表した結果が (表 1) である。

表 1. 学年別のアナロジーとメタファーの出現数

学年	メタファー			アナロジー			合計
	1. 視覚	2. 言葉	3. 位置づけ	4. 対象レベル	5. 関係レベル	6. プラグマティック	
第 3 学年	15	7	0	11	17	6	56
第 4 学年	27	15	3	12	10	19	86
第 5 学年	21	28	6	15	17	16	103
第 6 学年	5	19	2	7	20	21	74
合計	68	69	11	45	64	62	319

表 2. カイ 2 乗の結果

カイ 2 乗値	自由度	確率
38.08	15	0.00

学年によってアナロジーやメタファーの出現数に違いが見られるのかを見るためにカイ 2 乗検定をかけた。その結果が、表 2 である。有意差が 0.05 以下になったことから、アナロジーとメタファーの出現数の分布には各学年によってばらつきがあり、有意な差があることが分かった。

そこで、表 1 より以下のことが読み取れる。

(アナロジー)

- ・プラグマティックは第 3 学年が少ない。
- ・対象レベルと関係レベルでは学年での差があまり見られない。

(メタファー)

- ・どの学年からも同程度に出現が見られた。
- ・3.位置づけが全学年ともに検出される数が少なく、第 3 学年では見られなかった。

(2) 場面によるアナロジーやメタファーの出現数の違い

アナロジーとメタファーが、問題場面ごとでどのくらいの出現したのかを表した結果が (表 3) である。

表 3. 場面別のアナロジーとメタファーの出現数

問題解決場面	メタファー			アナロジー			合計
	1. 視覚	2. 言葉	3. 位置づけ	4. 対象レベル	5. 関係レベル	6. プラグマティック	
1. 事象との出会い	5	5	0	1	0	0	11
2. 仮説設定	2	1	1	33	60	50	147
3. 観察実験計画	2	8	0	6	2	12	30
4. 観察実験実施	22	7	0	1	2	0	32
5. 考察	0	1	1	0	0	0	3
6. 結論づけ	3	12	1	3	0	0	19
7. 発展	28	18	6	1	0	0	53
8. タイトル	6	17	2	0	0	0	25
合計	68	69	11	45	64	62	319

表 4. カイ 2 乗値の結果

カイ 2 乗値	自由度	有意差
329.77	35	0.00

問題解決場面によってアナロジーやメタファーの出現数に違いが見られるのかを見るためにカイ2乗検定をかけた。その結果が、表4である。有意差が0.05以下になったことから、1~8の問題解決の場面はアナロジーとメタファーの出現数の分布に有意差があり、問題場面によってアナロジーやメタファーの出現数に有意な差があることが分かった。

そこで表3より以下のことが読み取れる。

(アナロジー)

- ・2.仮説から他の場面と比べて一番多く出現していた。
- ・3.観察実験計画でも出現していたが、仮説場面ほどではなかった。
- ・2.仮説 3.観察実験計画以外からは、ほとんど出現が見られなかった。

(メタファー)

- ・7.発展から他の場面と比べて一番多く出現していた。
- ・7.発展以外の他のすべての場面で出現していた。
- ・2.仮説, 5.考察からは他に比べて出現数が少なかった。

(4) 研究の考察

教科書分析から、小学校理科の学習において子どもは第3学年から第6学年までの全ての学年でアナロジーとメタファーを使っていることが分かった。更にアナロジーとメタファーを問題解決場面で使い分けていることが想定される。

(アナロジー)

学年差から、第3学年のプラグマティックが他の学年に比べて少ないことが言える。小学校理科の学習は第3学年から始まるため、第3学年ではまだ既習事項が少ないことが理由だと考える。第4学年、第5学年、第6学年と学年が上がると、既習事項を使い問題解決をするようになると言える。そのことから、アナロジーを多くの場面で使うようになっていくことが想定できる。

問題解決場面の差からは、「2.仮説設定」から非常に多くのアナロジーが検出され、「3.観察, 実験計画」からもアナロジーが検出された。それ以外からは、ほとんど検出されなかった。このことから、仮説や仮説を確かめる観察や実験の計画を立てる場面でアナロジーを使いながら求めている仮

説や計画を見立てながら考えていることが想定できる。

(メタファー)

学年差から、メタファーは学年に関係なく使われていることが分かる。

また、問題解決場面の差から、「7.発展」が非常に多く検出された。発展学習は説明文のために、吹き出しに比べて多くのメタファーが使われるのだと考えられる。アナロジーと異なった出現の仕方が出たことは、それ以外の問題解決の全て場面からもメタファーが検出されたことである。「5.考察」の場面は他の場面よりもメタファーの出現数が少なかった。これは、小学校理科の教科書では考察の場面の記述が少ないことが関係しているのだと考えられる。実際の授業場面においては、考察の場面でメタファーを使いながらノートに記述することが多く見られることが想定されるが、今後検討する必要がある。

以上のことから、アナロジーは、まだ分かっていない事象を説明する際に使われる。そのために、仮説設定や仮説を確かめる観察や実験の計画を立てる際に使われているといえる。ただし、アナロジーは学年の進行に伴い多く出現してくるという傾向が見られる。

メタファーは、人に分かりやすく事物や事象を伝える場面で使われる傾向がある。そのために、様々な場面で使われているとともに、発展や単元タイトルなどで多く出現しているといえる。

アブダクション、アナロジー、メタファーといった論理的推論を使いながら、子どもは問題発見、仮説設定を行っていることを想定してきた。塚本(2016)は、アブダクションが理科の教科書において仮説設定の場面で使われていることを見出している。また、本研究においてはアナロジーを使いながら仮説設定を行っていることを見出されている。また、アナロジーは学年進行に伴って多用されている。以上の点を合わせて考えると、アナロジーをしていく力を高めていくことがアブダクションやアナロジーを働かせて仮説設定や問題発見ができるようになっていくことが想定できる。これらアブダクション、アナロジー、メタファーといった論理的推論を、子どもはどのように使い、どのようにして論理的推論の力を身に付けていくのかを今後検討する必要があると考えられる。

3. まとめと今後の課題

小学校の理科の学習のどのような場面でアナロジーやメタファーを使っているのかを教科書の記述から検討した結果、以下のことが分かった。子どもは小学校理科の学習において、「仮説設定」「観察、実験計画」の場面でアナロジーを使い、「事象との出会い」「仮説設定」「観察、実験計画」「観察、実験の実施」「考察」「結論づけ」「発展」「タイトル」のすべての場面でメタファーを使っている。

今後の課題として、小学校理科の教科書分析では見ることの出来なかった「考察」の場面において、子どもがアナロジーやメタファーをどのように使うのか検討していく必要がある。そのために、授業観察や子どもの理科授業内での言語記録分析を行う必要がある。

引用文献

- 1) 中央教育審議会「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」、2016。
- 2) 内ノ倉真吾「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）、第41号、p98, p91, p101, p92, 2010。
- 3) 鈴木宏明「類似と思考」共立出版株式会社、p37, p38, 1996

参考文献

- 1) 野村総合研究所、「日本の労働人口の49パーセントが人工知能やロボット等で代替可能に～601種の職業ごとに、コンピューター技術による代替確率を試算～」Copyright (c) 2015 Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved. No reproduction or republication without written permission. 2015, 2017年2月17日ダウンロード。
- 2) 木下博義、「理科の観察・実験における小学校教師の考察指導に関する研究、日本教育工学会論文誌、36(4)、439-449, 2013。
- 3) 米盛祐二「アブダクション」勁草書房、2007
- 4) Clement, J., “Generation of Spontaneous Analogies by Students Solving Science Problems”, in Donald et al.(eds.), Thinking Across Cultures, pp.303-308, 1989, Erlbaum Associates.

- 5) 中山迅「子どもの科学概念の比喩的な構成」科学教育研究, vol.22 No.1, 1998.
- 6) Solomon, J., Black, P., Oldham, V. and Stuart, H., The Pupils' View of Electricity, European Journal of Science Education, 7(3), 281-294, 1985.
- 7) 森本信也・尾崎幸哉、「子どもの自然認識におけるメタファー表現の意味するもの」、日本理科教育学会研究紀要, 35(3), 1-9, 1995.
- 8) Black, D. and Solomon, J., Can Pupils Use Taught Analogies for Electric Current?, School Science Review, 69, 249-254, 1987.
- 9) 内ノ倉真吾「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）、第41号、2010。
- 10) Gentner, D., Gentner, D.R., “Mental Models of Electricity”, in Gentner & Stevens (eds.), Mental Models, pp.111-119, 1983, Lawrence Erlbaum Associates (邦訳書、淵一博(監修), 『メンタル・モデルと知識表現』, 53-61頁, 1986, 共立出版)。
- 11) Christidou, V., Koulaidis, V., Christidis, T., “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), pp. 541-552, 1997.
- 12) 鈴木宏明「類似と思考」共立出版株式会社、p38, 1996
- 13) 瀬戸賢一「メタファー思考」講談社現代新書、1995
- 14) 塚本麻美「理科の学習におけるアブダクションの役割—教科書分析を中心に—」2016, 平成28年度 大妻女子大学家政学部児童学科卒業研究発表会要旨集, p.74-75

4. この助成による発表論文等

②学会発表

[1]阪本秀典, 石井雅幸, 考察が書ける児童を育成するための指導法—小学生3年生に対する, 考察の書き方の活用—, 日本理科教育学会福岡教育大学での大会

[2]小島宏, 石井雅幸, 小学校理科における考察②の指導による中学生の意識変化について, 日本教科教育学会北海道教育大学札幌校での大会