

# モデル適用型授業による生徒の論理構成・課題解決意欲の開発研究

## —中学校理科「化学変化と原子・分子」—

理科教育専攻 原山 慎

### 【要約】

本研究は、中学校理科「化学変化と原子・分子」では原子モデルの導入にも関わらず、他の化学単元と同様に、観察・実験から得た事実をもとに帰納的に物質の性質、状態変化、化学変化について知識化する活動が多い。本研究は、授業展開を見直し、モデル学習を単元冒頭に導入して、主体的な課題解決やその中の観察・実験において意識的なモデル適用を生徒に行わせることで得られる、目的意識や課題解決意欲の持続と論理的な知識構成行為を促す教育効果を、試行実践によって測るものである。原子モデルは立体モデルを開発し、分子組成や物質の熱分解などの化学変化をモデル操作で探る活動を授業に導入した。教育効果は数回ある仮説検証型の実験活動での、原子モデルや化学式などの組成表現を用いた物質の分解に関する生徒の説明ポートフォリオをもとに探り、化学変化を粒子の結合や保存性に基づいて論理的に知識構成していく変容の姿が見られた。また、ワークシートに記入された仮説の原子概念適用率や、生成物への同定意欲の高さから、実験目的の意識化が質高く促されたものと考えられる。

### 1. はじめに

#### (1) 研究の背景

現行の中学校学習指導要領解説理科編では教科目標に関わって、「目的意識をもって観察、実験などを行うこと」は、観察、実験を行う際、生徒自身が観察や実験を何のために行うか、観察や実験ではどのような結果が予想させるかを考えさせるなど、観察や実験を探究的に進める上で大切である。」と指摘している<sup>1)</sup>。生徒は主体的に課題解決に向かうためには、どんな考えを確かめようとするのか、どんな方法によって検証ができるのかを論理的に対応づけて形成することが求められる。

一方で、平成 27 年度全国学力・学習状況調査の結果による教師や生徒の実態の指摘では、「自ら考えた仮説をもとに観察、実験の計画を立てさせる指導を行った」と肯定回答した学校は 65.8%あるにも関わらず、「理科の授業で、自分の予想をもとに観察や実験の計画を立てる」ことを否定回答した生徒は 53%にのぼる<sup>2)</sup>。つまり、過半数の生徒が実際には予想と計画を切り離して、もしくは、予想や計画がないまま実験をしていると解釈できる。これでは、生徒は授業の目的意識はもてても、実験の目的を把握できないままであるから、論理的に結果を検討して考察を行うことは教師の働きかけ無しには困難であると推察される。

生徒が問題解決の能力や科学的な探究能力を主体的に育成する手立てとして、山田らの 4QS の適用による理科授業の授業構想が挙げられる<sup>3)</sup>。しかし、中学校 2 年化学分野での課題解決では観察・実験を通じて得られた事実を踏まえて、取り扱う物質の性質、状態変化や化学変化を帰納的にまとめる場合が多く、条件制御を伴う実験ではないため、4QS の適用が難しいと指摘されている。本研究が取り上げる大単元「化学変化と原子・分子」では、まず単元「物質の成り立ち」で物質の分解・つくりを、次に「化学変化」で化合や酸化・還元などの反応を、そして「化学変化と物質の質量」で化学変化を通じた質量保存を順に学ぶ。「物質の成り立ち」は、物質の分解反応の実験をきっかけに生徒が物質の構成を考え始め、原子概念を教わる流れである。予想段階で原子・分子概念を理解しないまま実験で現象を観察しても根拠ある検討が十分になされないため、必ずしも実験目的が理解される状況になっていないと考えられる。

また、中学校学習指導要領解説理科編には、「化学変化についての観察・実験を通して、化合、分解などにおける物質の変化やその量的な関係について理解させるとともに、これらの事物・現象を原子や分子のモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う」ことが示されている<sup>4)</sup>。これは、化学

的な事象を理解するために原子・分子概念は基盤であり欠かせないとの指摘でもある。さらに堀は、「多くの児童・生徒は、目に見えないものは存在しないと考えがちである。理科の授業では観察や知覚不能な事象まで思考の対象に加えるので極めて難しく感じることになる」<sup>5)</sup>と指摘している。粒子概念の形成は困難と推察されるため、目に見えず日常でイメージしにくい抽象的な原子や分子についてモデルを用いながら、どのように概念形成をしていくかが重要になる。現行の理科教科書で使用される原子モデルには平面と立体の2タイプあるが、同じく習ったばかりの化学式と合わせて、これらを分子組成や化学変化の表現に用いたり、相互間で表現の変換ができたりすることが必要となる。しかしながら、分子の構造や結合の様子を正しく意識しながら取り扱うことは甚だ難しいものである。

## (2) 研究の目的

このような現状を踏まえ、本研究では単元「物質の成り立ち」の冒頭部で生徒が分子概念を正しく理解できるように原子モデルを用いつつ原子概念を教える変更を加えたうえで、その後の物質の熱分解などの化学変化の学習でモデルを適用しながら考えて立てた仮説を実験で検証して理解構築に活かすような、主体的かつ課題解決的な展開を導入することで、生徒に実験の目的意識や課題解決意欲の持続と論理的な知識構成行為を促す実践を実現することを研究目的とした。なお、主に「教材開発」と「授業実践」、「生徒理解調査」を通じた実証的アプローチを、本研究では採用した。

## 2. 教科書の単元展開構造が示す論理構成の分析

### (1) 分析の概要

教材開発や授業設計に先立ち、生徒や教師の参照する教科書の単元構造を解釈するため、愛知県で採択される3社の教科書に見られる課題解決の論理構成を分析した<sup>6)~8)</sup>。なお、分析結果では社名は伏せてA~C社と表す。分析方法は、大単元「化学変化と原子・分子」に含まれる全ての課題解決過程を抽出し、①説明テキストや写真・絵・図表等についてそれらが指摘する課題解決過程上の要素によって区分して分類し、②各区分が実験目的や結論の提示に向けてどのような相互関係を

有する展開構造を形成しているか矢印図により示したうえで、③各教科書の典型的な論理構成を導出して比較を行った。

### (2) 分析の結果

#### 1) 概要

実験目的の提示までの論理構成に関しては、各社によって異なる特徴を持った、図1のような典型的な構造が見い出された。

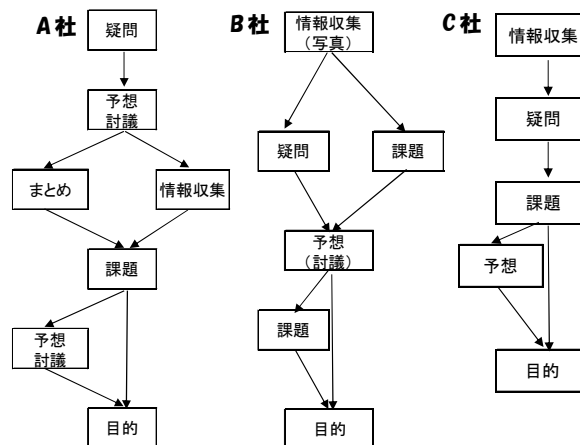


図1. 実験目的の提示に至る各社の典型的論理構成

A社は、「課題」とは直接関わらない「疑問」が学習課題提示以前に示され、「情報」の提示や「まとめ」によって疑問を解決して、先行知識に位置づけ、それを前提に「課題」を考えていく展開となっている。また、「疑問」や「課題」に対する「予想」の事例が多く示される点も特徴に挙げられる。

B・C社ではA社と異なり、写真やテキストで示す情報からの「疑問」や「課題」が提起されることで展開される。また、「疑問」や「課題」に対して「予想」の事例が多く示されることも特徴となっている。C社では、「課題」に対する「予想」の事例は示されるものの、討議の様式はとられていないことが特徴に挙げられる。各社の酸化銀・炭酸水素ナトリウムの熱分解における課題解決の論理構成を典型と比較した結果を表1に示す。

表1. 各社の熱分解での論理構成と典型との比較結果

	酸化銀の熱分解	炭酸水素ナトリウムの熱分解
A社	情報収集と課題のみで他はない	課題後の予想討議がない
B社	予想討議後の課題がない	課題後が予想討議ではない
C社	情報収集と疑問がない	典型と同じ

## 2) 考察

3社共通にみられる特徴として次の点が明らかになった。第1に、学習課題につながる情報提示がなされる点である。生徒に既習事項や生活情報に注目させ、課題をより明確に把握させる利点があると考ええる。第2に、疑問や課題に対する予想討議が記載される点である。課題をどのように解決するか実験方法を検討する場を確保し、課題と実験目的を結びつける利点があると考ええる。しかし、事例提示によって検討の必要な事項全てを結びつけるものではないと考えられる。

分解現象を扱う実験は、表1からもわかるように、実験の手順が目的意識から離れて唐突に提示される状況にあり、課題探究的な展開であるとはいえない。また、予想討議を含む構成で学習過程が展開したとしても、根拠のある仮説立てを行うことは難しいものと考えられる。

### 3. 生徒の思考・表現を促す原子モデル教材の開発

原子・分子概念や物質の構成・化学変化の思考や表現を促して生徒の理解を図るために、表2の項目を満たすような立体タイプの原子モデルを制作し、生徒の学習活動に導入することにした。

表2. 原子モデルの作成基準

- ・生徒自身の「取り扱いが可能」な大きさ。
- ・「原子の大きさ」の違いが意識できる、異なる直径。
- ・原子同士の「結びつき」が意識できる、腕つき。
- ・原子の「組み換え」が意識できるような、着脱機構。
- ・取り扱うなかで視覚的に意識できる「立体構造」。

制作した原子モデルを図2に示す。モデルの構造は、発泡スチロール球にビニル管を価数に合わせた本数だけ腕状に差し込み、外端に小型強力磁石を詰めてある。磁石の引き合わせで共有結合を表現し、原子ごとにサイズ・色を設定した。



図2. 作成した原子モデル

この原子モデルを用いて、「分子モデル作成演習課題」プログラムを開発した。4人を1グループとして編成し、与えられた原子モデルを用いて組成可能な分子モデルの制作を作業分担しながら制限時間内で進め、できた分子の種数や組成の巧妙さをグループ間で競う展開とした。表3のようなセット教材をグループに用意することで、構成員全員が時間内により長く自由に原子モデルを操作し、学びを深められるようにした。

表3. プログラムでグループに用意するセット教材の概要

プラスチック製 収納ケース	1個
原子モデルセット (4元素, 計12個)	2セット
[内訳] 水素5個, 酸素4個, 窒素2個, 炭素1個	

この原子モデルを使って多種の分子を作成するためには、素早く1個1個をくっつけたり、組み替えたりしなければならないため、その操作からも、分子は原子の組み合わせであると強く意識し、分子の組成や構造について理解を深めることができる。また、グループで行うことで、自分の作成した分子とは異なる分子の存在に気づき、4種の原子12個でも多くの分子ができることを受けとめるようになると考える。このプログラムの使用を含めて、モデル適用型の授業を構想した。

### 4. モデル適用型授業の立案と実施

単元「物質の成り立ち」の冒頭に原子概念を教える変更を加えたうえで、その後物質の熱分解などの化学変化の学習で、概念モデルを用いて立てた仮説を実験で検証して理解する課題解決的な展開となるように、授業展開を立案した(表4)。

表4. 単元「物質の成り立ち」の授業展開と時間配分

大単元 化学変化と原子・分子		
単元	物質の成り立ち	(16時間完了)
第1次	物質をつくっているもの	(6時間)
第2次	熱分解	(7時間)
第3次	水の電気分解	(3時間)

第1次「物質をつくっているもの」の授業展開と活動内容の詳細を表5に示す。第1・2時の物質の三態による粒子的表現の導入では、水の状態変化での粒子表現のルールを復習してモデルのルール化を行わせたうえで、物質の成り立ちに関する考えへと拡張させていく。第3・4時の周期表と

関連付けた原子概念の理解では、最小構成の粒子であることや原子毎に大きさや質量が定まることを、周期表やモデルを用いて理解させていく。第5時では「分子モデル作成演習課題」プログラムを導入して、原子の結合によって作られる分子の構造を意識させていく。第6時の物質の成り立ちの類型の理解では、化学式や、単体と化合物の考え方を含めることで、原子に基づいて物質の成り立ちを類型に分けられることを理解させていくことを目指した。

なお、原子・分子概念の理解状況調査として、ポートフォリオを用意し、共通の質問である「物質はどのような粒子からできていると考えられるか」へ、授業開始前と授業①～④を終えるごとに回答させることとした。

表5. 第1次で設定した展開計画

時間枠	活動内容
①物質の三態による粒子的表現の導入(2時間)	(授業前) ←理解状況調査1回目 ・水の状態変化での粒子表現のルールを復習する。 ・粒子表現のルールを通して、物質の成り立ちに関する考えへと拡張させていく。 ←理解状況調査2回目
②周期表と関連付けた原子概念の理解(2時間)	・原子は物質の最小構成の粒子であり、大きさや質量がそれぞれあることを理解させる。 ・周期表やモデルを用いて、さらに原子概念を深く理解させる。 ←理解状況調査3回目
③モデル作成による分子概念の理解(1時間)	・分子モデル作成演習課題を行い、分子の構造を意識させていく。 ←理解状況調査4回目
④物質の成り立ちの類型の理解(1時間)	・化学式や単体と化合物の考え方を含め、原子に基づいて物質の成り立ちを類型に分けられることを理解させていく。 ←理解状況調査5回目

次に、第2次「熱分解」の授業展開と活動内容の詳細を表6に示す。第1～3時の酸化銀の熱分解では、化学変化の概念とその種類を説明した後、演示実験で酸化銀を試験管に入れてガスバーナーで加熱した際に見られる化学変化の現象を確認させる。そして、酸化銀の「化学式」情報を与えたうえで、学習課題「酸化銀を熱すると、どんな変化が起こるだろうか。」を示し、仮説立てを行なわせ、その仮説を検証する方法を考え、実験レポー

トを作成し、考察、まとめへとつなげていく。第4時の化学反応式では、酸化銀の化学変化を基に、既習であるモデルや化学式を用いて正しく化学反応式を理解していくことを目指した。第5～7時の炭酸水素ナトリウムの熱分解では、演示実験によって重曹の有無によるカルメ焼きの違いを確認したうえで、学習課題「炭酸水素ナトリウムを加熱するとどのような気体が発生しているか。また、気体発生他に、どのような変化が起こるのか。」を示し炭酸水素ナトリウムの「化学式」を確認した上で、仮説立てを行なわせた。そして、その仮説を検証する方法を考え、実験レポートを作成し、考察、まとめへとつなげていく仮説検証型授業の展開とした。

なお、分解のルールに関する理解状況調査としてポートフォリオを用意し、共通の質問「物質が分解するとき、どんなルールがありますか。」へ授業①～③を終えるごとに回答させることとした。

表6. 第2次で設定した展開計画

時間枠	活動内容
①酸化銀の熱分解(3時間)	・化学変化の概念・種類の説明後、酸化銀を燃やすす演示実験を基に仮説立てを行う。←仮説立て1回目(調査A) ・検証方法を考え、グループで実験レポートの作成を行う。 ・仮説検証実験後、考察やまとめを行う。 ←理解状況調査1回目(調査1)
②化学反応式(1時間)	・酸化銀の熱分解を基にモデルや化学式を用い、正しく化学反応式を理解する。←理解状況調査2回目(調査2)
③炭酸水素ナトリウムの熱分解(3時間)	・演示実験にて気体の発生観察の後、化学反応式を基に仮説立てを行う。 ←仮説立て2回目(調査B) ・検証方法を考え、実験レポートの作成を行う。 ・仮説検証の実験後に考察やまとめを行う。←理解状況調査3回目(調査3)

## 5. 検証授業における論理構成・課題解決意欲の分析

### (1) 分析の方法

#### 分解のルールに関する生徒の理解状況調査

計3回の理解状況調査(調査1～3)として生徒が使用したポートフォリオを図3に示す。この記述における粒子の結合、化学反応式の使用、粒子の保存性の適用状況やそれらの変動から分類し、

分解ルールに関する理解形成度を検討した。

1 化学変化と原子・分子 ( )組( )番名前( )

2. いろいろな化学変化 その1~物質の分解~

(書く項目)  
A1 物質が分解するとき、どんなルールがありますか。授業で分かったこと・学んだことを記述しよう。  
B1 自分の考えをしっかりと、その考えを書いたり伝えたりすることができたか。  
B2 実験や授業に仲間と協力しながら、進んで行動することができたか。

/ A1

B1 (アイウエ)  
B2 (アイウエ)

/ A1

B1 (アイウエ)  
B2 (アイウエ)

図3. 使用したポートフォリオ (一部抜粋)

### 仮説立てにおける生徒の着眼点

酸化銀や炭酸水素ナトリウムの熱分解実験の事前に行った仮説立てにおいて、考えの着眼点を分類し、生徒の実験目的の意識への影響を検討した。(調査A・B)

#### (2) 知識・技能の理解状況の分析

理解内容のカテゴリーを表7のように1~5で設定した。1は内容が不適当なもの、2は粒子の結合について記載されているが内容が不足しているもの、3は基準「(1つの)ある物質は、異なる2つ(以上)の物質に分かれる。」のように粒子の結合の記載があるもの、4はカテゴリー3に加えて化学式を使用しているもの、5は粒子の保存性について記載されているもので基準を「ある物質は、化学式に含まれる原子がすべて分かれて、化学式の異なる2つ以上の物質に分解される。」として、各調査で分類した。

図4は、調査1~3までのカテゴリー別の記載の変動を示している。調査1の段階で、少なくとも「物質がちがう物質に分かれる」こと指摘でき

表7. 酸化銀の熱分解終了後(第9時)の調査結果

カテゴリー	特色	具体的記述例	人数
1	内容が不適当	・分子を正しい形に直さないといけない。 ・物質は化学式で表せる	9
2	粒子の結合内容不足	・その物質の化学式にある原子ごとにわかれるルールがある。 ・化学式にのって化学式に入っている原子や分子が必ず発生する	12
3	粒子の結合	基準：(1つの)ある物質は、異なる2つ(以上)の物質に分かれる ・物質が分解するときは必ず2つ以上の物質に分かれる。例えば、酸化銀は酸素と銀にわかれた。 ・1種類の物質が2種類以上の物質に分かれることが分かった。 ・その物質がなくなったり変わったりしないから、酸化銀を分解すると、酸素と銀に分かれる。	7
4	粒子の結合+化学式使用	・2つの物質が合わさってできている物質が、それぞれに分かれてちがう物質がなくなったり変化したりすること。 例 $Ag_2O \rightarrow Ag + O_2$ に分かれる	3
5	粒子の保存性	基準：ある物質は、化学式に含まれる原子がすべて分かれて、化学式の異なる2つ以上の物質に分解される	0

カテゴリー

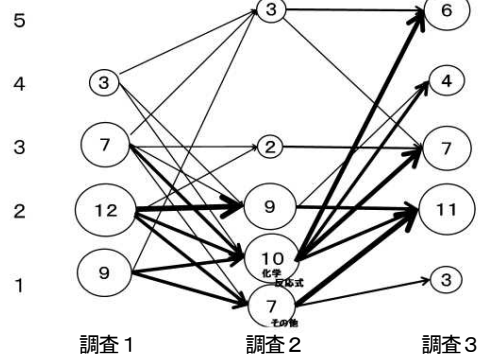


図4. 各調査でのカテゴリー回答と遷移の状況

ているカテゴリー3以上の人数は全体の3分の1程度であった。調査2の段階で、粒子の結合を意識した説明が少なくなったが、これは直前に学習した化学反応式のルールを説明に用いたための変動である。調査3の段階では、カテゴリー3以上の人数は半数以上となり、粒子の保存性も指摘できる生徒は約2割まで増した。また、調査1から調査3へと、内容が不適当のカテゴリーに属する生徒は減っており、2つの実験で分解のルールに関する基本的な理解を深めたことで、徐々に詳しい説明をすることができるようになったものと解釈できる。

#### (3) 課題解決意欲や態度の状況の分析

##### 調査Aについて

理解内容のカテゴリーを表8のように設定し、一人の生徒の記載で重複ありとして分類を行った。

分析結果より、仮説立てに利用される情報は、「化学式」が約6割、「演示実験事実」(色の変化・金属光沢など)が約6~7割、「物質名」が1~2割であった。「化学式」が「演示実験事実」なみに利用が多い点から、原子概念の適用率は高いと判断できる。また、記述では生徒の9割以上が酸素

表8. 酸化銀の熱分解の仮説立ての結果

カテゴリー	特色	具体的記述例	人数
1	化学式	・酸化銀の化学式は $Ag_2O$ だから、 $Ag$ は銀、 $O$ は酸素に分解した。 ・化学式 $Ag_2O$ で $Ag$ は銀で $O$ は酸素なので・	19人
2	色	・加熱前は黒色だったが、加熱後に白色になったから・ ・熱した後の物質は銀色だったので・	17人
3	金属光沢	・加熱後の物質は金属光沢がでているので・ ・加熱後の物質は、こするとピカピカしたので・	11人
4	物質名	・酸化銀は、酸素と銀からできているので・	8人
5	原子の時間で学習した事項	・もう(原子モデルの)腕がなくなっちゃうので・ ・酸化銀は化合物なので、分解できるのではないかと考え・	4人



原子の存在を指摘しており、分解が起きることを説明している。気体である酸素分子の生成への確認意識も高まるものと解釈でき、実験目的に含めて意識化した可能性が指摘できる。

### 調査 B について

調査 A と同様に、理解内容のカテゴリーを表 10 のように設定し、より高いカテゴリーを記入していればそれを人数に含める形で、重複はなしとして分類した。カテゴリー内に表 9 のような回答内訳を設けて、さらに分類を行った。

表 9. カテゴリー内に設けた回答内訳

○: 炭酸水素ナトリウムの熱分解で、二酸化炭素の発生と、他の生成物について正しく記載される仮説
△: 二酸化炭素の発生は記載されるが、他の生成物について違っている、もしくは記載がない仮説
×: 二酸化炭素の発生も記載されない仮説

表 10 より、仮説立てに利用される情報は、「化学反応式」が約 4 割、「化学式」が約 3 割、「物質名」が約 2 割であった。学習直後の化学反応式を 4 割の生徒が利用しており、必ずしも完全に正しい仮説にはならなかったものの、原子概念の適用率は高いと判断できる。また、化学反応式を利用することで、気体以外の物質の生成の指摘や確認意識も高まったと解釈できる。よって、生徒の実験目的への意識は高まったものと指摘できる。

表 10. 炭酸水素ナトリウムの熱分解の仮説立ての結果

カテゴリー	特色	具体的記述例	人数
1	化学反応式	・炭酸水素ナトリウムは $\text{NaHCO}_3$ なので、 $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ・分解されて、水素原子が酸素原子と結びついて水になり、 $2\text{Na} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CO}_2$	12人 ○:7 △:3 ×:2
2	化学式	・Na, H, C, O × 3 の原子を使って気体をつくると、 $\text{O}_2$ , $\text{CO}_2$ , $\text{O}_3$ のどれかとなる。 ・ $\text{NaHCO}_3$ より、 $\text{Na} + \text{H} + \text{CO}_3$ なので $\text{CO}_2$	10人 ○:1 △:7 ×:2
3	物質名	・炭酸水素ナトリウム → 炭酸ナトリウム + 二酸化炭素 + 水 炭素原子と酸素原子があるので、熱すると二酸化炭素になる。	6人 ○:3 △:3
4	観察事項	・重曹の入っていたカルメ焼きは、泡がぶくぶくしてそこから酸素が発生した。	2人 ×:2

## 5. おわりに

本研究で提案した、単元冒頭部に原子概念を教えた後にモデル適用型で主体的かつ課題解決的な展開を導入することで、生徒に実験の目的意識や課題解決意欲の持続と論理的な知識構成行為を促すことを目指した実践により、物質の分解に関し

て化学式や化学反応式で仮説立てができ、実験目的の意識が高まった生徒であっても、分解ルールの理解として「粒子の保存性」を含めて説明できるのは約 2 割であり、原子概念や化学式等の学習後すぐに理解が完全なわけではないことがわかった。「物質の化合」の化学変化の学習でも、原子モデルや化学式などの組成表現を用いて仮説立てを行うなど実験目的を意識させた活動を繰り返すなかで、理解の説明で「粒子の保存性」の指摘が増すかどうかについて、今後実践データから検証をしていきたい。

### 【主要引用・参考文献】

- 1) 文部科学省, 『中学校学習指導要領理科編』, 大日本図書, 2008 年, p. 16.
- 2) 文部科学省・国立教育政策研究所, 『平成 27 年度全国学力・学習状況調査 調査結果のポイント』, 2015 年.
- 3) 山田貴之・田代直幸・田中保樹・小林辰至, 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における “The Four Question Strategy (4QS)” の適用の可能性に関する研究—自然現象に関わる因果関係の観点から—, 『理科教育学研究』, Vol. 56, No. 1, 2015 年, pp. 105-122.
- 4) 上掲書 1), p. 38.
- 5) 堀哲夫, 理科教授・学習における児童・生徒の思考の特徴—科学的概念の形成と理解の実態調査・研究を基礎として—, 『日本理科教育学会研究紀要』, Vol. 31, No. 2, 1990 年, pp. 61-72.
- 6) 有馬朗人・小林誠ほか, 『新版 理科の世界 2』, 大日本図書, 2015 年.
- 7) 岡村定矩・藤嶋昭ほか, 『新編 新しい科学 2』, 東京書籍, 2015 年.
- 8) 細矢治夫・養老孟司・丸山茂徳ほか, 『自然の探究 中学校理科 2』, 教育出版, 2015 年.
- 9) 原山慎・平野俊英, 教科書分析から考える実験目的の思考場面—「化学変化と原子・分子」を事例に—, 『日本理科教育学会第 62 回東海支部大会研究発表要旨集』, 2016 年, p. D-15.
- 10) 原山慎・平野俊英, 実験目的の意識化を促す概念理解—「化学変化と原子・分子」を事例に—, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, No. 15, 2017 年, p. 366.