

## 高等学校化学における教材開発の視点導出に関する基礎的研究

－「単体・化合物・混合物」の単元を例にして－

植田 悠未・木下 博義

本研究は、各研究領域において、研究者の論文の読解を教材研究の一環として、自然科学の特定の研究領域における専門研究論文の読解を行い、論文の読解から研究者の「真正な学び」を見出し、研究者の学習過程を学習者の「真正な実践」へと変換するための教材開発研究の過程を究明することを目的としている。そのために、*Thermochimica Acta* 誌に掲載された Koga et al. (1998) 論文を読解し、研究者の「真正な学び」を見出し、そこから導出した教材開発のための視点に基づき、研究者の学習過程を学習者の「真正な実践」へと変換するための指導過程を構想することを試みた。その結果、研究者の「真正な学び」として、①熱力学的・動力学的な理論によって非晶質炭酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること、②今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること、③複数の実験結果を主張の根拠としていることの3点が明らかとなった。これらの研究者の「真正な学び」を、理科教師が行う教材研究の文脈で重要となる、学習者の「学び」の過程に置き換えた場合、(a) 今までの学習内容を整理し、生徒なりの仮説（実験方法・結果の予想を含む）を設定させること、(b) 考察の際にいくつの妥当な根拠を用いることができたかを評価することという2つの視点を導出した。

キーワード：真正な実践，論文読解，高等学校化学，「学び」の過程，教材研究

### Basic Research on Deriving Perspectives on Teaching Materials Development in Senior High School Chemistry:

Case Study of an Unit on “Elements, Compounds and Mixtures”

Yumi Ueta and Hiroyoshi Kinoshita

The aim of this study is to take the reading of researchers' academic papers in various fields of research as an element of teaching materials research, and to clarify the process of teaching materials development research involved in reading specialist papers in the specific research field of natural sciences, eliciting the researchers' “authentic learning” from reading the papers, and translating the researchers' study process into the learners' “authentic practice”. For this purpose, an attempt was made to read a paper published by Koga et al. (1998) in the journal *Thermochimica Acta*, elicit the researchers' “authentic learning” and, based on the perspective on materials development derived from this, plan the teaching process for transforming the

researchers' study process into learners' "authentic practice". As a result, the following three points were clarified as "authentic learning" of the researchers: (1) fundamental information on crystallization of noncrystalline calcium carbonate through thermodynamics and dynamics theory, (2) the fact that hypotheses and methods drawn from many previous studies are used as reference and sources of knowledge, (3) the fact that multiple experimental results are used as the grounds for the argument. Transferring the "authentic learning" of these researchers to the process of "learning" of students, the following two points elicited as important in the context of materials development conducted by science teachers: (a) students establishing their own hypotheses (including experimental methods and prediction of results) based on integration of content of learning so far, and (b) evaluating whether a number of valid grounds for argument are being used in discussion. Keywords: Authentic Practice, Reading Academic Papers, Senior High School Chemistry, "Learning" Process, Teaching Materials Research

## 1. 本研究の目的

本研究シリーズは、研究者が行う研究論文を、教師が教材研究の一環として読み解く際、研究者の研究内容を引用するだけではなく、専門科学者が進めるその学問領域の学習過程、つまり「真正な学び」を、専門研究論文の読解を通して見出し、教材研究の手法として活用することをねらいとしている。

そこで本稿では、上述した一連の研究の趣旨に則り、次のような目的を設定した。まず、小・中・高等学校理科における教材研究の一環として、自然科学の特定の研究領域における専門研究論文の読解を行う。その後、論文の読解から研究者の「真正な学び」を見出し、研究者の学習過程を学習者の「真正な実践」へと変換するための教材開発研究の過程を究明する。

## 2. 研究の方法

上述の目的を達成するために、次のような手順で研究を行うこととした。まず、高等学校理科の科目である化学における特定主題に関する教材研究の一環として、化学領域における論文を取り上げ、論文内容とその構造を読み解く。読み解いた論文内容とその構造は研究者の学びの構造、つまり「真正な学び」と見ることができると考えられる。その後、研究者の「真正な学び」から見出した教材開発のための視点に基づき、研究者の学習過程を学習者の「真正な実践」へと変換するための指導過程を構想する。

学習指導要領解説によると、高等学校化学基礎「単体・化合物・混合物」では、物質の分離・精製や元素の確認などの実験を通して、単体、化合物および混合物について理解するとともに、実験における基本操作と物質を探究する方法を身に付けることが、単元の目標とされている（文部科学省，2009，p.52）。ここでは特に、元素の確認に関する探究的な実験を含む指導過程を構想することとする。

物質に含まれる成分元素は、様々な方法で確認することができる。高等学校化学基礎の教科書や資料集を概観したところ、具体的な方法として、炎色反応、沈澱反応、熱分解反応、酸に溶かしたときに発生する気体の分析などが取り挙げられている（山内ほか，2013，など）。さらに、「単体・化合物・混合物」の単元においては、実験における基本操作と物質を探究する方法を身に付けることが単元の目標であるため、元素を確認するための様々な方法を用いて、物質に含まれる成分元素を調べる探究的な実験が構想されている。例えば、身近な物質を題材とした実験として、洗浄や脱臭のために家庭で用いられる重曹について、その成分元素を調べる実験などが存在する。本稿では、この重曹を用いた探究的な学習を「単体・化合物・混合物」の単元の最後の学習として位置づけ、構想することとした。

そのために、熱分析および熱量測定とその応用に関する世界的な学会誌である *Thermochimica Acta* 誌に掲載された、Koga et al. (1998) による非晶質炭酸カルシウムに関する論文 *Crystallization of amorphous calcium carbonate*（以下、対象論文とする）を読み解くこととした。

## 3. 論文の読解

初めに、池野・福井（2015，pp.4-5）の手法を参考にして、専門研究論文の読解を行うこととした。池野・福井は、文章の読解方法として、「文章的読解」、「構造的読解」、「レトリック的読解」の3つを設定している。これらの読解方法は、読解の拡大過程と見ることができ、段階的なものとして想定されている。そこで、この読解方法を参照し、「文章的読解」、「構造的読解」、「レトリック的読解」の順に、段階的に対象論文の読解を進めていくこととした。

## (1) 文章の読解

第一の段階の読解である「文章の読解」とは、論文のタイトルや節の題目に着目して、各節の概要をまとめ、その節ごとの主要な問いを見出す読解方法である。節ごとの文章の要約が、主要な問いの答えとなる。

対象論文のタイトルは、「非晶質炭酸カルシウムの結晶化 (Crystallization of amorphous calcium carbonate)」である。そして、論文は次のような章立てにより構成されている。

1. はじめに (Introduction)
2. 実験 (Experimental)
  - 2.1. 試料の調製 (Sample preparation)
  - 2.2. 測定 (Measurements)
3. 結果と考察 (Results and discussion)
  - 3.1. 非晶質炭酸カルシウムの形成 (Formation of amorphous calcium carbonate)
  - 3.2. 非晶質炭酸カルシウムの結晶化 (Crystallization of amorphous calcium carbonate)
4. 結論 (Conclusion)

各節の内容を要約すると、次のようにまとめることができる。

まず、「1. はじめに」では、着目する非晶質炭酸カルシウムの加工用素材としての有用性について触れ、非晶質炭酸カルシウムを研究の題材として扱うことの意義が示されている。そして、着目した物質である非晶質炭酸カルシウムの特徴について、これまでに明らかとなっていることは何か、本研究で明らかにしようとすることは何かということが、先行研究を踏まえながら述べられている。具体的には、加熱による非晶質炭酸カルシウムの脱水および結晶化、生成物の結晶状態への試料調製時の pH の影響について言及されている。そして、非晶質炭酸カルシウムの結晶化のプロセスを熱力学的・動力的アプローチ (Thermodynamic and kinetic approaches) によって詳細に検討するという対象論文における

目的と、それにより非晶質炭酸カルシウムの調製において有用となる基本的な知識を得ることが期待できるという研究の価値が示されている。そして章の最後には、対象論文での研究の手順についての概要が整理されている。

続く「2. 実験」では、まず、検証のための材料として用いる非晶質炭酸カルシウムの調製方法について書かれている。次に、調製した試料の組成を明らかにするための方法、および調整した試料の結晶化のプロセスを検討するための測定方法や観察方法が説明されている。具体的には、粉末 X 線回折法、走査電子顕微鏡法、示差走査熱分析などの具体的な方法と、それぞれの実験条件が記述されている。

「3. 結果と考察」では、調製して得られた試料が調製時の pH に関わらず非晶質な物質であったこと、さらに、試料調製時の pH が増加するほど試料が結晶化したあとの生成物中に水酸化カルシウムが含まれる量が増加するということなど、明らかになった試料の組成や結晶の状態について述べられている。これらは粉末 X 線回折法の測定データやフーリエ変換赤外分光光度計の測定データなどが根拠とされており、ここでの結果は先行研究での結果とよく一致しているということも言及されている。そして、結晶化に伴う試料の最大到達温度、発熱量、エンタルピー変化、見かけの活性化エネルギーと調製時の pH との関係が、熱重量示差熱同時測定や、示差走査熱量測定 of 測定データを根拠にして考察されている。そして、ここまでの分析により得られた活性化エネルギーなどの値を動力的なモデル関数に当てはめることで、結晶化の過程の動力的な特性が調製時の pH により変化することが結論づけられている。また、試料調製時の pH の増加とともに生成物の粒子サイズが系統的に減少することが、走査型電子顕微鏡の観察結果をもとに示されている。章の最後には、ここまでの考察から総合的に

どのようなことがいえるかについて述べられている。

最後の「4. 結論」においては、非晶質炭酸カルシウムの調製方法とその結果や、加熱による非晶質炭酸カルシウムの結晶化プロセスの熱力学的・動力学的アプローチによって明らかにされた内容がまとめられている。

ここで、以上の各節の要約をもとに、各節における主要な問いを見出した。見出した主要な問いを以下に示す。

1. 本論文で解決しようとする課題とその価値は何か。
2. 試料の調製や同定、種々の測定や観察がどのように行われたのか。
3. 非晶質炭酸カルシウムについてどのようなことが考察されたのか。
4. 本研究で明らかとなったことは何か。

このように、各節においてそれぞれの要約と主要な問いを整理することができた。

## (2) 構造的読解

第二の段階の読解である「構造的読解」とは、論文の各節のつながりを構造的に読み解くことである。文章の読解で整理した要約と主要な問いを手掛かりに、各節の関係を検討した。

「1. はじめに」では、対象論文で解決しようとする課題は何か、非晶質炭酸カルシウムの結晶化について、熱力学的に分析することにどのような価値があるのかが示されている。

「2. 実験」では、「1. はじめに」で述べられた課題を受け、その課題を解決するための試料として必要な非晶質炭酸カルシウムの調製方法、調製した試料の分析のための熱測定や観察の方法について説明されている。「3. 結果と考察」では、「2. 実験」における測定の結果得られたデータを分析し、調製時のpHの違いによる試料の特徴の違いを検討している。

最後に「4. 結論」では、「1. はじめに」から「3. 結果と考察」までを踏まえ、研究で明らかとなったことについてまとめられている。以上のことから、「1. はじめに」→「2. 実験」→「3. 結果と考察」→「4. 結論」というように、各節が直線的に展開されているということがわかる。

このことから、対象論文には、科学的な探究過程が適応されているのではないかと考えた。そこで、対象論文における探究の過程を、科学的な探究の過程のモデルと比較することとした。科学的な探究の過程は、小林(2008)により、「問題の把握→仮説の設定→仮説の検証方法の検討→法則の発見」(p.51)という直線的なものとして示されている。対象論文をこの過程と照らし合わせると、図1のように、おおよそ一致することが明らかとなった。よって、対象論文は、科学に関わる研究では一般的な構造である直線的な構造を持つと考えられる。

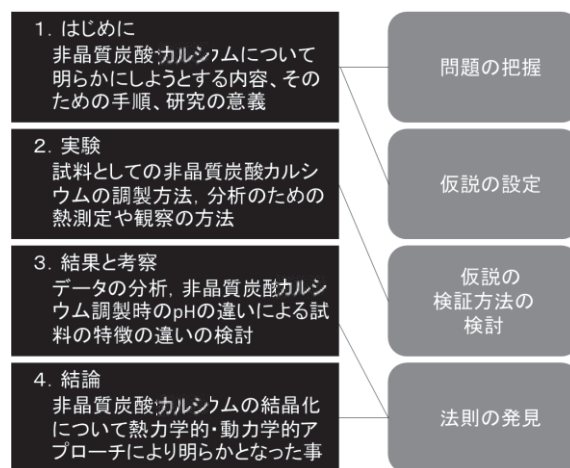


図1 科学的な探究過程との対応

※筆者作成。

## (3) レトリック的読解

ここでは、第三の段階の読解である「レトリック的読解」として、その論文の構造に組み込まれているレトリック、つまりその論文を成り立たせている認知構造を解明すること

を試みる。

対象論文では、最終的な筆者の主張に至る過程は、「3. 結果と考察」において詳細に述べられている。ここでは、測定で得られたデータの動力学的な計算結果などをもとに考察を行っている。考察の際に挙げられた根拠をまとめたものを示す。

### 3.1.

- 粉末 X 線回折法 (XRD) の測定データ
- 試料の減量率と理論値の比較
- 示差熱測定 (DTA) の発熱ピークのシフト
- フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) の測定データ

### 3.2.

- 示差走査熱量測定 (DSC) の測定データ
- マスタープロットなど動力学的な解析結果
- 走査型電子顕微鏡 (SEM) の観察結果

対象論文で特徴的なことは、考察を根拠づける方法として、熱分析による測定結果、動力学的な計算結果、および走査型電子顕微鏡での観察結果など、複数の根拠を用いて総合的に考察していることである。結晶化の過程の動力学的な特性が調製時の pH により変化するという筆者の主張を成立させるためには、一つの根拠だけでも十分な判断材料と成り得るように見える。例えば、結晶化の過程の動力学的な特性が調製時の pH により変化するという結論を導く際、動力学的指数の減少という一つの根拠から特徴づけることができると考えられる。しかし筆者は、調製時の pH の違いによるエンタルピーの変化量の違いも、結論のための根拠の一つであることを述べている。また、筆者の主張に対して明確な根拠とならないような、粉末 X 線回折法の測定データにも言及し、複数の結果を踏まえた総合的な判断を行っている。このように、対象論文では、動力学的な計算結果や、その他の実験結果を踏まえて、結論を導いている。した

がって、複数の根拠を列挙し、判断・主張の材料としていることが、対象論文に見られるレトリックであると考えられる。ここで、このようなレトリックが用いられる背景について、論文が属する研究領域がもつ特徴という観点から検討することとする。対象論文は、*Thermochimica Acta* 誌に掲載された物理化学領域の論文である。化学という学問は、角屋 (2013, pp.27-29) によると、目には見えない粒子から構成される物質を、質的・実体的に扱う学問であるとされている。これより、化学は、目に見えない粒子を質的・実体的に捉えて議論する学問であるといえる。対象論文で扱う非晶質炭酸ナトリウムについても、非晶質炭酸ナトリウムを構成する粒子そのものを観察することはできない。そのため、目に見えない粒子の反応のプロセスを、そこにある粒子がどのような動きをしているのかを仮定し、実体的に捉えて議論する必要がある。そこで、種々の測定などの複数の根拠をもとにより妥当な結論を導き出そうとすることは、対象論文の研究において重要な視点であると考えられる。したがって、複数の根拠を列挙し、判断・主張の材料としているというレトリックが、対象論文の特徴であるといえる。このようなレトリックは、論文の妥当性を高めるものであり、対象論文が化学研究としてより高度で、世界的に引用される論文として成り立つための認知構造として、有効であったのではないかと推察される。

## 4. 研究者の「真正な学び」の再生

ここでは、前項における論文読解の結果を踏まえて、研究者の「真正な学び」の再生を行う。

対象論文の読解により、論文の内容と構造の特徴として、以下の3点が明らかとなった。その詳細な導出過程を述べる。

- ①熱力学的・動力学的な理論によって非晶質炭

酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること。

②今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること。

③複数の実験結果を主張の根拠としていること。

まず①の特徴である、「熱力学的・動力的な理論によって非晶質炭酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること」について説明する。対象論文では、「1.はじめに」において述べられているように、非晶質炭酸カルシウムの結晶化のプロセスを、熱力学的・動力的アプローチによって詳細に検討することが目的として設定され、さらに非晶質炭酸カルシウムの利用の観点から、その目的を達成することの意義が示されている。そして、その後の実験や考察は、種々の熱分析や動力的関数による計算結果をもとに展開されている。そして結論では、非晶質炭酸ナトリウムの結晶化について熱力学的・動力的アプローチにより明らかとなったことが記述されている。以上のことから、熱力学的・動力的アプローチによって非晶質炭酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされているということが対象論文の特徴の一つであるといえる。

次に②の特徴である、「今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること」について説明する。対象論文では、前項の「(2) 構造的読解」で述べたように、「問題の把握→仮説の設定→仮説の検証方法の検討→法則の発見」として、非晶質炭酸カルシウムに関して明らかとなっていない問題を把握し、仮説を設定したのち、種々の方法で仮説を検証し、最終的な結論に至っている。具体的には、「1.はじめに」において、過去の先行研究を参照し、今回扱う非晶質炭酸カルシウムについて、何が明らかに

なっており、何が明らかになっていないのかが述べられている。ここから、論文全体を貫く仮説である「非晶質炭酸カルシウムの結晶化のプロセスと試料調製時の pH との関係を熱力学的・動力的アプローチによって明確化できるのではないか」という考えが導出されている。また、「2. 実験」や「3. 結果と考察」において検証や分析を行う際も、やみくもに試行錯誤をするのではなく、過去の研究を踏まえながら、その方法や理論にもとづいて行われている。以上のことから、対象論文は、今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっているということが特徴の一つであるといえる。

最後に③の特徴である、「複数の実験結果を主張の根拠としていること」について説明する。前項の「(3) レトリック的読解」において述べたように、対象論文では、物質を粒子からなるものとみなし、その組成や反応を議論するために、複数の根拠をもとに、より妥当な結論を導き出そうとしていることが特徴的な認知構造として明らかとなった。これより、対象論文の特徴として、複数の実験結果を主張の根拠としていることが挙げられる。

以上のように、対象論文の読解により、内容と構造の特徴として、3点を明らかにすることができた。これらの特徴は、研究者の学びの構造、つまり「真正な学び」と見ることができるといえる。

## 5. 学習者の「真正な実践」への変換

ここでは、上述してきた研究者の「真正な学び」から、教材開発の視点を見出し、研究者の学びとその過程を学習者の「真正な実践」へと変換するための過程を検討する。

対象論文の読解により明らかにすることができた研究者の「真正な学び」は以下の3点である。

①熱力学的・動力的な理論によって非晶質炭

酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること。

②今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること。

③複数の実験結果を主張の根拠としていること。

以上3つの研究者の「真正な学び」から教材開発の視点を見出すために、まず、高等学校化学の特定の単元、すなわち、「単体・化合物・混合物」にどのように適用できるかを検討した。検討の結果、研究者の3つの「真正な学び」は、適用の仕方によって2種類に分類できることが分かった。これから、その詳細について述べる。

1 つめの適用の仕方は、内容的な適用である。見出した「真正な学び」のうち、「①熱力学的・動力学的な理論によって非晶質炭酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること」は、内容的な適用が可能であると考えられる。例えば、非晶質な物質の学習の題材として炭酸カルシウムを扱ったり、熱化学の発展的な内容として熱力学的な理論を用いたり、pHによる生成物の組成や結晶状態の違いを議論したりすることにより、高等学校の学習単元においても再生することができると考えられる。しかし、「単体・化合物・混合物」の単元は、非晶質・アモルファス状態についての学習前の基礎的な学習の段階であり、非晶質やエンタルピー、活性化エネルギーの概念についても未習の段階である。そのため、内容的な適用が可能な研究者の「真正な学び」は、単元「単体・化合物・混合物」における教材開発の視点としては検討しないこととした。

2 つめの適用の仕方は、手続き的な適用である。見出した「真正な学び」のうち、「②今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること」

「③複数の実験結果を主張の根拠としていること」の2つは、それらの手続きを理科学習の場面に適用することが可能であると考えられる。例えば、「③複数の実験結果を主張の根拠としていること」という研究者の「真正な学び」に関しては、生徒の探究的な学習の場面においても、このような手続きを適用し、生徒に複数の根拠から総合的に考察させることで、この「真正な学び」が再生できると考えられる。

以上のことから、対象論文の読解によって見出した研究者の3つの「真正な学び」のうち、手続き的な適用が可能な、「②今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること」、「③複数の実験結果を主張の根拠としていること」の2点から、「単体・化合物・混合物」における教材開発の視点を見出すこととした。

見出された教材開発のための2つの視点を次に示す。これから、その詳細な変換の過程を述べる。

- (a) 今までの学習内容を整理し、生徒なりの仮説（実験方法・結果の予想を含む）を設定させること。
- (b) 考察の際にいくつの妥当な根拠を用いることができたかを評価すること。

まず(a)の視点である、「今までの学習内容を整理し、生徒なりの仮説（実験方法・結果の予想を含む）を設定させること」について説明する。対象論文では、今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法を踏まえながら論が展開されている。しかし、高等学校化学基礎や化学の授業では、教師が課題解決のために必要な実験を選定し、生徒は教師が準備した実験書に従って実験を行うことが多く、その実験で前提となる仮説があらかじめ設定されていることがある。そこで、教材の開発における視点として、これ



まで学習した化学の内容をもとに、生徒自身に仮説を立てさせるような活動を取り入れることが、今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となった学びである「真正な実践」を実現するために有効であると考えた。

次に (b) の視点である、「考察の際にいくつの妥当な根拠を用いることができたかを評価すること」について説明する。対象論文では、複数の根拠をもとにより妥当な結論を導き出そうとしている。しかし、高等学校化学基礎や化学の授業においては、生徒に自らの考察の根拠となるような実験を複数計画し行わせたり、教師が生徒の主張の根拠となる実験結果の「多さ」を評価したりすることは少ない。そこで、生徒に1つの実験ではなく、複数の実験を計画させるような教材を提示し、実験で得られた根拠の「多さ」を評価の対象にすることが、複数の実験結果を主張の根拠とした学びである「真正な実践」を実現するために有効であると考えた。

これらの教材開発の視点をもとに、具体的な単元における指導過程を構想することとした。指導過程の構想は、高等学校化学基礎における「単体・化合物・混合物」の単元を想定して行うこととした。

単元「単体・化合物・混合物」では、生徒は物質の分離・精製や元素の確認などの実験を通して、単体、化合物および混合物について理解することが目標とされている（文部科学省, 2009, p.52）。ここでは特に、元素の確認に関する探究的な実験を含む指導過程を構想することとする。また、探究的な実験の題材として重曹を用いることとし、この重曹を用いた探究的な学習を「単体・化合物・混合物」の単元の最後の学習として位置づけ、構想することとした。構想した指導過程を表1に示す。

表1に示した授業の内容について、その詳細を述べる。まず、単元の初めの1時間にお

表1 指導過程

時	学習内容
1	「元素の確認」についての学習
2	重曹の成分元素の確認のための実験の計画
3	重曹の成分元素の確認のための
4	実験の実施
5	重曹の成分元素についての考察

※筆者作成。

いて、単元の基本的な内容についての学習を行う。具体的には、炎色反応の元素ごとの色や実験の方法、様々な沈澱反応、石灰水の白濁や塩化コバルト紙の変色などについて、元素の確認方法に関する基本的な内容を理解する。

次に2時間目においては、生徒は3~4名の班に分かれ、重曹の成分元素の確認のための実験の計画を行う。この授業では、教師はまず導入において重曹を取り出す。そして、「重曹の成分元素を明らかにする」ための探究的な活動を行うことを生徒に提示する。生徒は、2時間目から5時間目の計4時間にかけて、重曹の成分元素の確認するための実験の計画・実行・考察を行う。実験の計画では、これまで学習した化学の内容の中から、物質の成分元素の確認に関連した化学反応および実験方法（詳しい手順までを含む）の一覧を提示し、生徒はそれをもとに仮説を立て、具体的な実験を計画していく。ここでは、先述の教材開発の視点のうち、「(a)今までの学習内容を整理し、生徒なりの仮説（実験方法・結果の予想を含む）を設定させること」を取り入れている。具体的な資料の内容の例を表2に示す。この資料では、化学反応・実験方法のうち、成分元素の確認に関する化学反応・実験方法をまとめたものである。なお、この資料では、重曹の成分元素の確認のために役立つものだけを限定して提示することはしない。そのため、生徒は自らどの実験を参考に仮説を設定するかを考える必要がある。そし

て、どのような仮説を設定するかは限定されていないため、生徒は自由な仮説設定ができ、班内で様々な意見が出ることが予想される。なお、資料は実験の詳細な手順まで示したものにすることで、仮説や実験方法を考えた経験があまりない生徒でも仮説を想起できるように配慮する。

また、考察で重曹に含まれる成分元素を結論付ける際には、妥当な根拠の「多さ」も評価の基準であることを生徒に伝え、成分元素を調べるための実験は一つではなく、複数計画するように指導する。ここでは、先述の教材開発の視点のうち、「(b) 考察の際にいくつの妥当な根拠を用いることができたかを評価すること」を取り入れている。

次に3, 4時間目において、班ごとに計画した実験を実行する。班ごとに計画している実験が異なるため、教師は、それぞれの班に合

わせて実験器具を事前に用意しておく。生徒は、2時間目に配布した資料や、班ごとの実験計画を参照しながら、班員で分担して実験を行う。計画していた実験のほかに追加の実験が必要であると判断した場合は、班で話し合い、追加の実験を行ってもよいこととする。

最後の5時間目においては、班で行った実験の結果をもとに、重曹の成分元素についての考察を行う。考察の結果、班ごとに重曹の成分元素としてナトリウム Na, 炭素 C, 水素 H が特定されることが目標である。また、複数の実験から成分元素を特定できているか否かを教師は確認するようにする。生徒の考察が終わり、班ごとに成分元素を結論付けたあとには、市販の重曹の裏面に掲載されている成分表を確認することで、主成分が炭酸水素ナトリウム  $\text{NaHCO}_3$  であったことを示し、自分たちの班の実験により重曹の組成がどの程

表2 具体的な資料の内容の例

化学反応	目的	具体的な反応	物質の成分元素の確認に関連する部分
熱分解	加熱して生成した物質からその成分元素を明らかにする。	炭酸カルシウムの熱分解反応	加熱により二酸化炭素(石灰水で確認)が発生するため反応物の成分元素として炭素が含まれることがわかる。
		酸化銀の熱分解反応	加熱により酸素(線香の炎で確認)が発生するため反応物の成分元素として酸素が含まれることがわかる。また、加熱により生成した固体は光沢・展性・電気伝導性から金属であることがわかり、反応物の成分元素として金属が含まれるということがわかる。
電気分解	水溶液に電流を流すことで電極に生成した物質からその成分元素を明らかにする。	水の電気分解	水に電流を流すと、陽極から気体の酸素、陰極から気体の水素(マッチの炎で確認)が発生するため、反応物の成分元素として酸素と水素が含まれることがわかる。
		塩化銅(II)の電気分解	水溶液に電流を流すと、陽極から気体の塩素(色および漂白作用で確認)、陰極から赤褐色の金属銅が析出するため、反応物の成分元素として塩素と銅が含まれることがわかる。
還元	物質に化合している酸素を取り除き生成した物質からその成分元素を明らかにする。	酸化銅(II)の炭素還元	黒色固体である酸化銅(II)を炭素と混合して加熱すると、二酸化炭素が発生し、赤褐色で金属の性質をもつ物質がえられる。このことから、反応物の成分元素として酸素および銅が含まれることがわかる。
弱酸の遊離反応	弱酸の塩に強酸を作用させることで弱酸を遊離させ、生成した物質からその成分元素を明らかにする。	炭酸ナトリウムと塩酸の反応 炭酸カルシウムと塩酸の反応	炭酸塩の固体に塩酸をかけると二酸化炭素が発生することから、炭酸イオンを含有する化合物が塩酸と反応すると、共通して二酸化炭素を発生する可能性があること推測することができる。
炎色反応	特定の金属元素が含まれているかを明らかにする。	様々な金属の炎色反応	様々な金属の塩化物の水溶液を白金線に付けて炎に入れると、含まれる金属元素ごとに特定の色が確認できる。これより、その金属元素が含まれているということがわかる。
沈澱反応	特定の元素が含まれているかを明らかにする。	塩化銀生成による白色沈澱	水溶液中に塩化物イオンと銀イオンが存在すると、溶解度の低い塩化銀の白色沈澱が生成する。これより、水溶液中に塩素が含まれていることがわかる。

※筆者作成。

度明らかにできたかを振り返らせる。

## 6. まとめ

本稿では、高等学校化学基礎「単体・化合物・混合物」の単元における教材研究の一環として、自然科学の特定の研究領域における専門研究論文である Crystallization of amorphous calcium carbonate の読解を行った。そして、論文の読解から研究者の「真正な学び」である、「熱力学的・動力学的な理論によって非晶質炭酸カルシウムの結晶化の基礎的な情報が明らかにされていること」「今までの多くの研究を参照した知識から導き出された仮説や方法が前提となっていること」「複数の実験結果を主張の根拠としていること」の3点を見出すことができた。そして、これらの「真正な学び」を学習者の「真正な実践」へと変換するための教材開発の視点として、「今までの学習内容を整理し、生徒なりの仮説(実験方法・結果の予想を含む)を設定させること」「考察の際にいくつかの妥当な根拠を用いることができたかを評価すること」の2点を見出し、具体的な指導過程を構想することができた。

以上のように、研究者の「真正な学び」から教材開発の視点を導出し、具体的な単元での学習における指導過程を導出することにより、研究者の視点からのより充実した学びが学習者に実現されることが期待される。教師は、日々進歩する科学の内容を授業に取り入れることはもとより、科学的な学びの本質についての考察も授業に取り入れていく必要があると考える。

## 参考文献

- 池野範男・福井駿 (2015) 「「真正な実践」価値(哲学)領域の読解を事例にして」『学習システム研究』(2), pp.1-10.
- 角屋重樹 (2013) 『なぜ、理科を教えるのかー理科教育がわかる教科書ー』文溪堂。

小林辰至 (2008) 『問題解決能力を育てる理科教育ー原体験から仮説設定までー』梓出版社。

Koga, N., Nakagoe, Y. & Tanaka, H. (1998) Crystallization of amorphous calcium carbonate. *Thermochimica Acta*, 318, pp. 239-244.

松本洋介 (2013) 『スクエア 最新図説化学』教育図書出版第一学習社, pp.20-21。

文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説理科編・理数編』実教出版株式会社。

齋藤烈・藤嶋昭・山本隆一ほか 19 名 (2012) 『化学基礎』株式会社新興出版社啓林館, pp.27-30。

辰巳敬ほか 8 名 (2015) 『化学基礎』数研出版株式会社, pp.23-24。

山内薫ほか 18 名 (2013) 『高等学校化学基礎』株式会社第一学習社, pp.38-41。

## 著者

植田 悠未 広島大学大学院教育学研究科博士課程前期

木下 博義 広島大学大学院教育学研究科