

【原著論文】

## 実験結果の理論値と実測値の提示によって高校生に疑問が生じるか

上村 礼子\*1・山根 悠平\*2・稲田 結美\*2

\*1 日本体育大学大学院教育学研究科博士後期課程

\*2 日本体育大学

本研究は、高等学校の化学実験における理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生徒に生じるかどうかを明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、高等学校第1学年の生徒を対象にして調査問題を実施し、生徒の記述を探究につながる疑問になっているかどうかという観点で分析した。調査問題は理論値と実測値を示した問題1「銅の酸化についての定比例の法則」、問題2「炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則」と、理論値と実測値を示さない問題3「ヨウ化カリウム水溶液の電気分解」の3問とした。この3つの調査問題では共通する設問として「結果から「疑問」に感じたことを書きましよう。」を設定し、生徒が自由記述で回答する方式とした。調査の結果、理論値と実測値を示した問題1と問題2では、問題3と比べて探究につながる疑問となっている生徒の記述が顕著に多く現れた。このことから、理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生徒に生じやすくなることが示唆された。

キーワード：疑問，理論値，実測値，探究

## Does the Presentation of Theoretical and Actual Experimental Results Raise Questions for High School Students?

Reiko KAMIMURA<sup>\*1</sup>, Yuhei YAMANE<sup>\*2</sup>, Yumi INADA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate Student of Doctor Course, Graduate School of Education,  
Nippon Sport Science University

<sup>\*2</sup> Nippon Sport Science University

This study aimed to determine whether the theoretical and actual values from high school chemistry experiments can be utilized to raise questions that lead to inquiry. To achieve this purpose, we conducted a survey of students in the first grade of high school and analyzed them from the perspective of determining whether the students' descriptions were questions that led to an inquiry. The survey consisted of three questions: Problem 1: "Law of definite proportionality for oxidation of copper," Problem 2: "Law of conservation of mass for the reaction between sodium bicarbonate and hydrochloric acid," and Problem 3: "Electrolysis of potassium iodide aqueous solution," which did not display theoretical and actual measured values. As one of the common questions in these three survey questions, students responded to "Let's write what you feel is a question from the results" by providing a free description. Following the survey, Problems 1 and 2, which displayed theoretical and actual values, revealed significantly more student descriptions of inquiry-provoking questions than Problem 3. These results suggest that students are more likely to engage in exploratory inquiry when theoretical and actual values are presented.

**Keywords:** Question, Theoretical Value, Actual Value, Inquiry

## 1. 研究の背景

高等学校の理科において「探究」の重要性は広く共有されており、高等学校学習指導要領化学基礎の目標には「物質とその変化を科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する」と明記されている(文部科学省, 2018, p.83)。中村(2019)は高等学校において探究活動を経験している生徒と、経験していない生徒を対象として比較した大規模調査を行い、探究活動が科学に対する意識意欲増進と、探究能力の向上に効果があることを明らかにし、通常の正課の授業内で探究的な要素を取り入れた授業方法を開発していくことが求められていると指摘している。

このように探究が重要とされている中で、理科の授業での探究については、実験操作や調査を行うことが目的となり、手段の目的化が垣間見られ、問いや目標が不明確な学習活動に陥っている危険性があると指摘されている(中山, 2018)。生徒にとって何かを知りたいという目的があり、その知りたいことを解決するための手段として観察・実験を生徒が行うためには、生徒自身を知りたいと思うような疑問をもつというプロセスが必須であると言える。

一方で、高等学校の化学の教科書では、理論を学習した後、単元末に実験を行う構成となっており、教科書には生徒が疑問を感じるような発問がほとんど見られない。鶴岡(2012)は、高等学校の化学では探究の過程での「疑問の明確化」の機会が少ないという問題点を、高等学校の化学の教科書に記載されている実験課題の分析により指摘している。

また、平成 27 年度高等学校学習指導要領実施状況調査報告書の化学基礎における教師質問紙調査でも、「生徒が自分の考えで、予想をしてから観察・実験を行う学習活動を取り入れていますか」という質問に対して、「行っている」、「どちらかといえば行っている」と肯定的な回答をしている教師の割合は 36.9%となっており、半数にも満たない状況にある(国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2020)。この結果からも、実験に取り組

む前に、生徒が感じた疑問から仮説を設定するような、生徒に疑問を感じさせる機会となる学習活動が十分に行われていないことが示唆される。

では、生徒に疑問を感じさせるにはどうすればよいのだろうか。角屋(2019)は、得た情報と自らの経験や知識と異なる結果を見せることが有効であると論じている。この指摘に基づき、生徒が理論について学んでいる既知の内容に関して、実際の実験での結果つまり実測値と理論値にずれが生じている状況を生徒に提示することによって、生徒に疑問が生じることが期待される。

しかし、角屋(2019)はこのことに関して理論的に述べているが、高校生を対象として予想した実験の結果の数値である理論値と実際に実験を行って得られた数値である実測値のずれから疑問が生じるかどうかを実証的に明らかにしてはいない。よって、中学校ですでに理論について学習している化学の内容であれば、高等学校の生徒は理論値をもとに結果の予想をし、理論値と実測値にずれが生じたときに、疑問を感じやすくなるのではないかと予想される。

理科の探究において異なる事象に着目させる先行研究としては、例えば中村・佐久間(2022)の中学生を対象とした指導法の研究があげられる。この研究では、理科授業における仮説設定において、複数事象を生徒に比較させることで、複数の変数を生徒に見出させている。また、松永・池田(2012)は、中学生を対象とした「銅の酸化」について、銅と酸素の質量の比が 4:1 となるが実験結果が 4:1 にならないことについて検討する授業実践を行っている。

しかし、中村・佐久間(2022)や松永・池田(2012)の研究は、中学生を対象としている点において本研究と異なる。そのため、高校生を対象にどのように疑問が生じるかを調査することは、高等学校の化学において、生徒が疑問に感じたことから探究に取り組む授業を考える際に必要である。理科教育関連の代表的な学術論文誌である『理科教育学研究』と『科学教育研究』、さらには化学教育の学術論文誌である『化学と教育』の 2000 年～2023

年を通読したところ、関連する先行研究は見当たらなかった。さらに、国内の学術誌を CiNii (NII 学術情報ナビゲーター) および J-STAGE (JST 科学技術情報発信・流通総合システム) によって「化学, 疑問, 理論値, 実測値, 高等学校」などのキーワードを組み合わせた検索をおこなったが、他に先行研究は見当たらなかった。

## 2. 目的

本研究では、高等学校の化学実験の内容において理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生徒に生じるかどうかを明らかにすることを目的とする。

本研究での疑問とは、生徒が事象の観察により気付いたことから生じた疑問のうち、その後の探究活動につながるものに限定する。本研究では、中学校の理科で既に学習した内容である「定比例の法則」、「質量保存の法則」、「水溶液の電気分解」の実験を題材として、高等学校の生徒が探究につながる疑問を感じるかどうかを調査した。

## 3. 方法

前項で述べた目的を達成するために、以下の方法を用いた。

ア 実験結果の理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生じるかを調べるための調査問題を実施する。

イ 調査問題に対する生徒の自由記述の内容を分析する。

これらの詳細を以下に示す。

### 3.1 調査対象及び調査期間

東京都の文系と理系に分けていない高等学校 1 年生 112 名を対象とし、化学基礎の授業で調査を実施した。調査期間は 2022 年 10 月で、調査問題を実施する際に、生徒が評価を気にするがあまりに、正解を無理やり探ったり、正解が分からない場合に回答を書かなかったりして、率直な疑問を記述しないことを避けるため、回答の内容が化学基礎の評価に関係することはないことを説明の音

ナレーション付きのスライドで生徒に説明した。したがって、本調査問題の記述を分析することで生徒の現状や実態を明らかにすることができると考えられる。

### 3.2 調査問題の構成

本研究では、中学校で全ての生徒が理論について学び、経験したことがある実験の結果を用いた調査問題とした。調査問題は 3 問とし、理論値と実測値を扱っている問題 2 問と、扱っていない問題 1 問を作成した。詳細については以下のようになっている。

問題 1 「銅の酸化についての定比例の法則」

- ・実験結果が理論値と実測値で表されている。

問題 2 「炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則」

- ・実験結果が理論値と実測値で表されている。

問題 3 「ヨウ化カリウム水溶液の電気分解」

- ・実験結果は理論値と実測値で表されていない。
- ・水溶液の電気分解は中学校で学習する内容であるが、溶質であるヨウ化カリウムだけは高等学校で扱う物質である。

理論値と実測値の違いを見せるために、問題 1 では、中学校の実験の授業の中で実際に起こりうる状況を設定した。授業のまとめの段階で、他の班の実験結果を見たところ、理論値と実測値に差が生じていることを気付くという場面を設定した。一方、問題 2 では他の班と照らし合わせる状況ではなく、自分の班の中で実験を行ったところ、結果が予想していた数値にならなかったという場面を想定し設定した<sup>1)</sup>。また、問題 1 のように複数の実験での結果の数値で示した場合と、問題 2 のように 1 つの実験での結果の数値で示した場合で、疑問の感じ方に違いがあるかを比較するために、問題 1 と問題 2 を設定した。

問題 3 に関しては、中学校の理科で学習する電気分解は、水の電気分解と塩化銅水溶液の電気分解であることから、調査問題で水や塩化銅の水溶液の電気分解を扱った場合、陽極と陰極での反応の結果が明白であり、知識として記憶しているこ

とを記述するのみになってしまう可能性があり、疑問を生じることがないのではないかと考えた。そこで、電気分解の操作は知っていても、記憶によらず疑問が生じるようにするため、水や塩化銅ではなく、小学校や中学校でも身近な物質であるヨウ素とカリウムから成るヨウ化カリウムを用いた。

### 3.3 設問の概要

調査問題の実施は、ナレーション付きのスライドの進行に合わせて、生徒が 15 分間で問題に取り組む形態とした。クラスによる差が出ないように、授業者との打ち合わせを行い、生徒への説明は調査問題だけでは実験の目的がわかりにくい可能性があるため、ナレーション付きのスライドを用いて問題を説明した。スライドでは、カラー写真とナレーションで、反応前後で、どのような変化が見られたか、実験結果についての説明を行った。問題 3 は法則として示していないが、スライドを使用した説明により、実験の目的を生徒が理解できるようにした。各調査問題には以下の 2 問を設定した。なお、実際に使用した調査問題の全体は論文末の資料に示す。

設問 (1) 結果から「疑問」に感じたことを書きましょう。

設問 (2) 「疑問」に感じたことから調べてみたいことや、やってみたいことを書きましょう。

上記の 2 つの設問に、生徒が自由記述式で回答する形式とした。設問 (1) では、まず各問題の実験結果を見て感じた疑問が、探究につながるものとなっているかを調査する。そして、設問 (2) は設問 (1) の記述に基づき、実証性のある実験を立案できるかどうかを調べるために設定した。本研究では、理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生じるかどうかを明らかにすることを目的としている。設問 (2) は、疑問を生じた後に、実験の計画を立てられるかどうかということになり、本研究の目的のさらに先にあるものとなっている。よって、本研究では設問 (1) のみを分析対象とする。

### 3.4 分析の方法

まず、本研究での調査問題に対する設問 (1) の生徒の記述が探究につながる疑問となっているかいないかという観点で分類した。本研究における探究につながる疑問とは、既存の知識や概念について教科書や Web 等で調べれば解が導かれるものではなく、仮説を立て、その仮説を検証する実験を行うことにより実証的に解決していくことができるようなものと規定する。

本研究では、理論値と実測値を示すことで、探究につながる疑問が生徒に生じるかどうかを明らかにする。そこで、探究につながる疑問になっているかは、実験で確かめることのできる疑問になっているかどうかで判断した。なお、本研究は「ヒトを対象とした実験等に関する規定」に基づき審査申請書と研究計画書を提出し、日本体育大学倫理審査委員会の承認(承認番号:第 020-H106 号)を得て実施された。

### 4. 結果

以下、問題ごとの設問 (1) の生徒の記述について分析結果を示す。記述の分類基準は表 1 に示すとおりである。なお、生徒の記述の分類基準の設定及び生徒の記述の分類については高等学校教諭 1 名と大学教員 2 名によって行った。

生徒の記述は、探究につながる疑問を I に、探究につながらない疑問を II に、そして、無記入やその他を III に分類した。例えば、問題 1 の「班によって結果の質量が異なるのはなぜ？」という回答は、銅の質量を班によって変えているという実験操作の理解ができていないために生じる疑問であると推測される。そのため、探究につながる疑問ではなく、分類 II と判断した。

表 1 生徒の記述の分類と基準

分類	分類の基準
I	探究につながる疑問となっている。
II	探究につながる疑問となっていない。
III	無記入、分からない、特にないなど。

#### 4.1 問題 1 の生徒の記述の分析

問題 1 は「銅の酸化についての定比例の法則」についての調査問題である。問題 1 に対する設問 (1) 「結果から「疑問」に感じたことを書きましよう。」の生徒の記述を該当する基準ごとに抽出した結果の一部を表 2 に示す。

分類 I には、例えば「理論値の結合する酸素の量より実測値の結合する酸素の方が、質量が少ないのはなぜか？」や、「4・5 班の実測値が同じなのはどうか。」などが該当した。これらには、実測値と理論値の差や、予想していた数値とのずれなどが述べられていた。

分類 II には、例えば「色は変化するのか。」や「班ごとに数値が全く異なっているのはなぜか。」などが該当した。これらには、銅の酸化の理論に関する素朴な疑問や実験操作の理解の不十分さが表れていた。

表 2 問題 1 の生徒の記述例と分類

分類	生徒の記述例
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>・理論値の結合する酸素の量より実測値の結合する酸素の方が、質量が少ないのはなぜか？</li> <li>・4・5 班の実測値が同じなのはどうか。</li> <li>・1 班, 2 班, 3 班, 4 班は銅の質量にともなって結合した酸素の質量が増えているけど、5 班は銅の質量が 4 班と違うのに結合した酸素の量が同じということ。</li> <li>・どの班も結合する酸素の質量の理論値にとどいていない→加熱のしかたによって結合する酸素の量は変化する？それとも銅の量の限界？</li> <li>・理論値は、理論上の計算などを行って理論上その値が出ると考えられるものなのになぜ実測値と理論値の間で差が生じるのか。</li> <li>・銅粉が多いほど酸素の質量は上がっていくのか、また、どこまでも増えるのか。</li> <li>・なぜ、銅の質量が増加するのに伴い実測値と理論値の差が大きくなるのか。</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>・色は変化するのか。</li> <li>・班ごとに数値が全く異なっているのはなぜか。</li> <li>・なぜ酸素が結合したのか。</li> <li>・空気に重さはないのに酸化すると重くなるのはなぜか</li> <li>・班によって質量が違うのはなぜか。</li> </ul>
III	無記入, 分からない, 特にないなど。

各分類の人数を表 3 に示す。結果として、分類 I の探究につながる疑問となっている記述が 9 割

以上となっていた。

表 3 問題 1 の基準ごとの人数 N=112

分類	基準	人数
I	探究につながる疑問となっている。	101 人
II	探究につながる疑問となっていない。	9 人
III	無記入, 分からない, 特にないなど。	2 人

#### 4.2 問題 2 の生徒の記述の分析

問題 2 は「炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則」についての調査問題である。この問題 2 に対する設問 (1) 「結果から「疑問」に感じたことを書きましよう。」の生徒の記述を該当する基準ごとに抽出した結果の一部を表 4 に示す。

表 4 問題 2 の生徒の記述例と分類

分類	生徒の記述例
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なぜ、反応前と反応後で質量が変化したのか。試験管が密閉されているのにも関わらず、反応後に質量が減ったのはなぜか</li> <li>・質量保存なのに反応前と反応後で質量が異なったのはなぜか。</li> <li>・質量保存の法則であるが 54.58 g→54.28 g と少し減っている点。→二酸化炭素が外に出た？</li> <li>・風船は輪ゴムでしっかりととめているので密閉されているはずなのに気体の発生後質量が減っていたこと。</li> <li>・風船は輪ゴムでしっかりと留められていて、発生した気体分の質量は逃げないはずなのに何故質量が減っているのか。</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学反応して物質が変わっても、質量はなぜ変わらないのか。他にはどんな物質でできるのか。</li> <li>・なぜ、質量保存の法則が成り立ったのか。</li> <li>・風船がどんな役割をしているのか。</li> <li>・気体と物質の質量は違う？</li> <li>・炭酸水素ナトリウムと塩酸がどのようにして反応したのか？</li> <li>・液体が気体に変化したのか、気体が発生したのかわからない。</li> <li>・気体が発生したのに、質量が 0.3 しか変わらないのはなぜか。</li> <li>・二又試験管って何でしょうか。</li> <li>・なぜ、質量が同じになったのか。(なぜ、質量保存の法則が成り立ったのか)</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無記入</li> <li>・なぜ質量を測定する必要があったのか。</li> </ul>

分類 I には、例えば「なぜ、反応前と反応後で

質量が変化したのか。」「試験管が密閉されているのにも関わらず、反応後に質量が減ったのはなぜか」などが該当した。これらには、質量保存の法則を前提にして、なぜ反応後に質量が減ったのかという実測値と理論値の差や、予想していた数値とのずれなどが述べられていた。

分類Ⅱには、例えば「化学反応して物質が変わっても、質量はなぜ変わらないのか。他にはどんな物質でできるのか。」や「なぜ、質量保存の法則が成り立ったのか。」、「風船がどんな役割をしているのか。」、「気体と物質の質量は違う？」などが該当した。これらには、炭酸水素ナトリウムと塩酸の化学変化の理論に関する疑問や結果の読み取り方を誤っているものや、実験操作や実験器具についての質問が述べられており、質量保存の法則の理論に関する素朴な疑問や実験操作の理解の不十分さが表れていた。

各分類の人数を表5に示す。結果として、分類Ⅰの探究につながる疑問となっている記述が8割以上となっていた。

表5 問題2の基準ごとの人数 N=112

分類	基準	人数
I	探究につながる疑問となっている。	91人
II	探究につながる疑問となっていない。	15人
III	無記入, 分からない, 特にないなど。	6人

#### 4.3 問題3の生徒の記述の分析

問題3は「ヨウ化カリウム水溶液の電気分解」に関する調査問題である。この問題3に対する設問(1)「結果から「疑問」に感じたことを書きましよう。」の生徒の記述を該当する基準ごとに抽出した結果の一部を表6に示す。

分類Ⅰには、例えば「ヨウ化カリウム以外を入れると色は変わるか、また色はつくのか。」や「電流を流す時間を変えたらどうなるのか気になった。」などが該当した。これらには、溶質や電流を流す時間などの実験の条件を変えたらどうなるのかなどが述べられていた。

分類Ⅱには、例えば「なぜ陽と陰で反応が変わ

るのか」や「陽極付近が黄褐色になったり、陰極付近が赤色になったりするのなぜか。」、「陽極付近と陰極付近で色が違う。」などが該当した。

これらには、水溶液の電気分解の理論に関する疑問や色の変化などの実験結果に対する疑問が述べられており、水溶液の電気分解の理論に関する素朴な疑問や実験操作の理解の不十分さが表れていた。

表6 問題3の生徒の記述例と分類

分類	生徒の記述例
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヨウ化カリウム以外を入れると色は変わるか、また色はつくのか。</li> <li>・電流を流す時間を変えたらどうなるのか気になった。</li> <li>・陽極付近で赤、陰極付近で黄褐色になることはあるのか。(内容や水溶液を変えるなどして)</li> <li>・電圧の強さは関係あるのか。</li> <li>・赤色の範囲が黄褐色より広いのは何故なのか。</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なぜ陽と陰で反応が変わるのか</li> <li>・陽極付近が黄褐色になったり、陰極付近が赤色になったりするのなぜか。</li> <li>・陽極付近と陰極付近で色が違う。</li> <li>・なぜ、陽極と反応すると黄褐色になるのか。</li> <li>・なぜ陽極と陰極で変化した色が異なるのか。</li> <li>・色の変化が陽極陰極で異なるのと、変化する色が違うのには何か理由があるのか。</li> <li>・フェノールフタレインを1滴加えたらなぜ赤色になるのか。</li> <li>・黄褐色から赤色への変化。</li> </ul>
III	・無記入

各分類の人数を表7に示す。問題3では分類Ⅰとなった生徒が11名と少なかった。問題3では分類Ⅰに該当した生徒の記述は「電流を流す時間を変えたらどうなるのか。」のように電流を流す時間についての記述が4名、「赤色の範囲が黄褐色より広いのは何故なのか。」のように陽極や陰極付近の色についての記述が4名となっていた。分類Ⅰで色についての記述は、色の変化そのものに疑問をもっているものではなく、色が変わる範囲や電極と色の変化の関係について記述しているものが該当するとした。

表7 問題3の基準ごとの人数 N=112

分類	基準	人数
I	探究につながる疑問となっている。	11人
II	探究につながる疑問となっていない。	95人
III	無記入, 分からない, 特にないなど。	6人

#### 4.4 問題間の結果の比較

表8に問題1から問題3までの生徒の記述について3つの基準で分類し、それぞれに該当する人数をまとめた。表8では、問題1と問題2では、分類Iの「探究につながる疑問となっている。」と判断した記述がそれぞれ9割以上及び8割以上の高い割合で見られていた。

表8 各問題の分類ごとの人数と割合 N=112

分類	問題1	問題2	問題3
I	101人 (90%)	91人 (81%)	11人 (9.8%)
II	9人 (8.0%)	15人 (13%)	95人 (85%)
III	2人 (1.8%)	6人 (5.4%)	6人 (5.4%)

問題3では「探究につながる疑問となっていない。」と判断した記述が8割以上の高い割合で見られた。探究につながる疑問の多くが、問題1で「理論値と実測値の値がなぜ違うのか。」や、問題2で「なぜ、反応前と反応後で質量が変化したのか。」などの生徒の記述に見られるように、結果のデータが予想していたこととずれが生じているものであった。

以上から、実験の結果のデータとともに理論値を提示することで、生徒が気付いたことから疑問を感じやすくなっていることが示唆された。一方、問題3では分類Iの探究につながる疑問が少数しか生じていなかった。

#### 5. 考察

問題1と問題2では、分類Iの「探究につながる疑問となっている。」記述が高い割合で現れた。探究につながる疑問となっている生徒の記述は、理論値と実測値は一致するはずであるのになぜ一致していないのかという内容の記述が多く含まれ

ていた。実測値を理論値に近づけることができるのか確認するためには、条件を制御して実験を試みないと確かめることができず、既存の知識や概念について教科書やWeb等で調べれば解が導かれるものではない。つまり、理論値と実測値のずれがある実験結果を提示されることにより、探究につながる疑問が生じていることが明らかになった。また、問題1と問題2では、探究につながる疑問に該当する記述がそれぞれ101人、91人となっており、問題1の方がやや多くなっていた。問題2のように班の中での実験結果より、問題1のような複数の実験結果の方が、分類Iに該当する探究につながる疑問を生じやすくなる可能性がある<sup>2)</sup>。この要因として以下のように推察した。

1つの班だけで理論値と実測値にずれが生じている場合、実験操作を失敗したことが原因であるなど、理論値と実測値が偶然にずれたと考えるしまう可能性がある。一方、複数の班でずれが生じている場合、全ての班で理論値と実測値がずれたとは考えにくく、探究につながる疑問が起りやすくなるのではないかと推察される。このことから問題1は、提示されている理論値と実測値のデータが問題2より多いため、複数の班の数値を見比べることで理論値と実測値のずれに気付きやすいということが予想される。他の要因として、問題1では全ての数値が1.00g未満であるが、問題2では全体の質量が50gを超えている中で、反応前後の質量のずれが0.3gであることから、生徒はこれくらいのずれであれば誤差の範囲内であると考えて、質量が保存されていないという疑問を生じなかった可能性もある。また、問題1では、結果の表中に理論値と実測値を示しており、生徒はこれらの用語から両者の値の差に着目することができたと考えられる。一方、問題2では問題文中に反応前と反応後の数値を示しているが、理論値と実測値という用語が記載されていないため、探究につながる疑問に該当する記述が問題1と比較して少なくなったと推察される。

本研究で調査問題として設定した「銅の酸化についての定比例の法則」と「炭酸水素ナトリウム



と塩酸の反応に関する質量保存の法則」は中学校では実験結果から規則性を見いだすことがねらいとなっている(文部科学省, 2017, p.50)。しかし, これらの実験を実際に行うと理論値と実測値のずれが生じやすく, 松永・池田(2012)は, 中学校の「銅の酸化」における実験結果のまとめにおいて, 理論値どおりの実験結果を導くことは難しいことを述べている。生徒の記述の「理論値は, 理論上の計算などを行って理論上その値が出ると考えられるものなのになぜ実測値と理論値の間で差が生じるのか。」に見られるように, 理論値と実測値は一致するはずであったのにもかかわらず, ずれが生じたと推察される記述が見られた。このことから, なぜ理論値と実測値が一致しなかったのか疑問が残ったままとなっていることが推測される。

また, 化学変化の前後では全体の質量に変化はないという理論については既に学習しているが, 「炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則」についても, 「なぜ反応前と反応後で重さが変わったのか。」のような記述が見られることから, 理論値と実測値にずれが生じている理由について, 疑問をもったままになっていると推察される。そこで, 高等学校の化学において, 質量保存の法則が成り立たなかったことに対しての生徒の疑問から仮説を設定して解決していくような授業を実施できると考える。

問題3では分類Ⅰに該当する生徒の記述が少なく, 分類Ⅱに該当する生徒の記述が多くなった。問題3では, 化学実験における理論値と実測値を示していないため, 探究につながる疑問に該当する記述が少なくなったことが示唆される。問題3において, 探究につながる疑問が生じるためには電流を流す時間や溶質の種類の違いなどに着目しなければならないが, その部分が目の前の実験結果とこれまでの経験や知識とを関連させて考えることが十分でない生徒には困難であると推測される。

なお, 分類Ⅱに関しては, 生徒が感じる疑問としてふさわしくないということではなく, 本研究

では探究につながる疑問を分類Ⅰとしている。また, 分類Ⅱのように記述した際には, 生徒に「疑問に感じたことを調べるために, 探究的に調べられる疑問を書きましょう。」というような声かけなどの介入を教師が行うことで, 分類Ⅱから分類Ⅰの疑問に変化させることができる可能性がある。

## 6. 結論

本研究は, 高等学校の化学実験における理論値と実測値を示すことで, 探究につながる疑問が生徒に生じるかどうかを明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために, 高等学校第1学年の生徒を対象にして調査問題を実施し, 生徒の記述を探究につながる疑問になっているかどうかという観点で分析した。

調査問題は理論値と実測値を示した問題を2問, 理論値と実測値を示さない問題を1問設定した。そして, 調査から得られた生徒の記述を探究につながる疑問, 探究につながらない疑問, 無記入やその他に分類した。調査の結果, 理論値と実測値のずれがあるような実験結果を提示すると, 理論値と実測値のずれがあるような実験結果を提示しない場合と比較し, 探究につながる疑問がより多くの生徒に生じることが明らかになった。

## 7. 今後の課題

今後の課題は, 本研究の調査で用いた「定比例の法則」や「質量保存の法則」などの内容を実際の授業へ展開していくことである。そして, 今回は理論値と実測値の数値のみを提示して生徒に疑問が生じるかを調査したが, 理論値と実測値の数値以外のもので, 予想や仮説と異なる結果であった場合にも探究につながる疑問が生じるのか調査が必要である。また本研究では, 分析していない設問(2)の記述についても今後分析をしていきたい。

## 注

1) 化学領域で小学校から中学校までに取り扱っている法則, かつ定量的に数値を取り扱う実験は

質量保存の法則と定比例の法則の2つであるため、これら2つの内容に関する問題を設定した。

2)「銅の酸化についての定比例の法則」の扱いと、「炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則」の扱いに教科書やテストにおいて差はなく、出題頻度にも差は見られない。現行の教科書、例えば啓林館の「未来へひろがるサイエンス」(大矢ほか, 2021)でも、章末問題でそれぞれ大問として各1問が掲載されており、どちらかが重視されている状況は見られない。

大矢禎一・鎌田正裕ほか(2021).『未来へひろがるサイエンス2』啓林館

鶴岡森昭(2012)「高校化学教科書実験課題の探究関連分析」『理科教育学研究』第52巻, 第3号, pp.113-120.

## 引用文献

角屋重樹(2019)『なぜ、理科を教えるのか - 理科教育がわかる教科書 - 』文溪堂.

国立教育政策研究所教育課程研究センター(2020)「平成27年度高等学校学習指導要領実施状況調査報告書結果のポイント及び教科・科目等別分析と改善点高等学校理科化学基礎」[https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido\\_h27/h27/11h27kyoushi\\_kagakuKiso.pdf](https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h27/h27/11h27kyoushi_kagakuKiso.pdf)(2023年2月20日閲覧)

松永武・池田幸夫(2012)「理論依存型による理科授業の実践的研究:(1)中学校理科における『銅の酸化』」『山口大学教育学部附属教育実践総合センター紀要』第33号, pp.143-152.

文部科学省(2017)『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編』学校図書

文部科学省(2018)『高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説理科編理数編』実教出版株式会社

中村大輝・佐久間直也(2022)「複数事象の比較を通じた仮説設定の段階的指導法の効果」『理科教育学研究』第63号, No.2, pp.357-371.

中村琢(2019)「高等学校における理数の探究活動と効果—中学校・高等学校の理数課題研究の取組と探究能力調査から—」『日本科学教育学会研究会研究報告』第33巻, 第8号, pp.47-50.

中山迅(2018)「理科授業における「問い」とは何か—問い・疑問・問題・課題—」『理科の教育』第67巻, 第10号, pp.637-641.

資料：調査問題

問題1 銅の酸化についての定比例の法則

実験手順

- ① 銅粉をこぼさないように班に持って行き、ステンレス皿と銅粉の質量を記録する。
- ② 実験用コンロを用いて、銅粉の変化を観察しながら、5分間加熱する。
- ③ 加熱が終了したら、実験用コンロ上でそのまま5分間冷ます。
- ④ 電子てんびんで質量を測定する。



結果表 銅の質量と酸化銅の質量、結合した酸素の質量の関係

班	1班	2班	3班	4班	5班
銅の質量 (g)	0.11	0.20	0.30	0.42	0.52
酸化銅の質量 (g)	0.13	0.24	0.36	0.51	0.61
結合した酸素の質量 (g)【実測値】	0.02	0.04	0.06	0.09	0.09
結合する酸素の質量 (g)【理論値】	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13

結果の表は銅の質量と酸化銅の質量、実験で得られた結合した酸素の質量の実測値、そして銅粉の質量から計算した結合する酸素の質量の理論値をまとめたものです。

- (1) 結果から「疑問」に感じたことを書きましょう。
- (2) 「疑問」に感じたことから調べてみたいことや、やってみたいことを書きましょう。

問題2

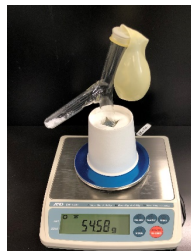
炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応に関する質量保存の法則



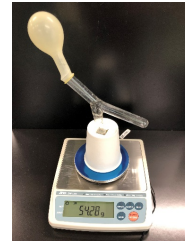
実験手順

下の図のように、二又試験管の片方に炭酸水素ナトリウムを、片方にうすい塩酸を入れる。  
二又試験の口に風船を取りつけ輪ゴムでしっかりとめて質量を測定したところ 54.58 g であった。  
二又試験管を傾けて反応させ、気体の発生がおさまったところで質量を測定したところ 54.28 g であった。

- ①
- ②
- ③



反応前  
54.58 g



反応後  
54.28 g

- (1) 結果から「疑問」に感じたことを書きましょう。
- (2) 「疑問」に感じたことから調べてみたいことや、やってみたいことを書きましょう。

問題3

ヨウ化カリウム水溶液の電気分解

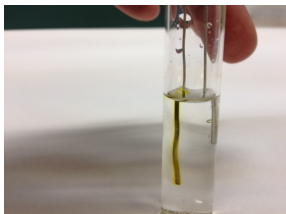
準備 電解槽、ステンレス電極、乾電池 (2 個)、導線 (2 本)

ヨウ化カリウム (KI) 水溶液、フェノールフタレイン溶液

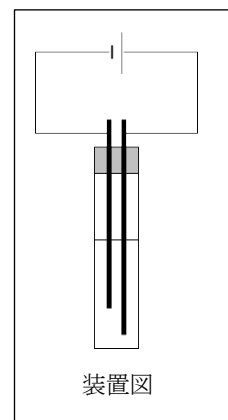
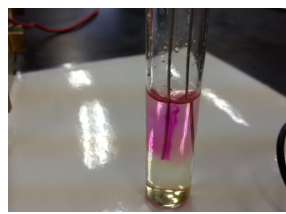
実験手順

- ① 電解槽にヨウ化カリウム (KI) 水溶液 5 mL ほど入れ、ステンレス線電極をつけ、乾電池 (3 V) をつなぐ。
- ② 10 秒間電流を流し、電極の様子を観察する。
- ③ 同じ電解槽に、さらにフェノールフタレイン溶液を 1 滴加え、よく振り混ぜてから 10 秒間電流を流す。

結果②



結果③



装置図

注

実験手順②の結果を結果②、実験手順③の結果を結果③としており、手順①の結果はない。紙幅の関係で手順③の下に「結果②」と「結果③」を配置している。

- (1) 結果から「疑問」に感じたことを書きましょう。
- (2) 「疑問」に感じたことから調べてみたいことや、やってみたいことを書きましょう。