

## 中学校理科におけるイオン概念の構築に関する研究 —大学生に対する実態調査をもとに—

A study on the construction of the concept of ion in lower secondary school science; Based on an investigation of university students

深 田 貴 史

Takafumi FUKADA  
古賀市立古賀東中学校

甲 斐 初 美

Hatsumi KAI  
福岡教育大学理科教育ユニット

(令和元年9月30日受付, 令和元年12月12日受理)

### 抄録

平成20年度の学習指導要領の改定で, 中学校理科においてイオンに関する学習が復活した。しかしながら, 先行研究によって, イオンに関する学習内容には, 多くの課題が見られることが明らかとなった。そこで, 本研究では, 学習内容のイオン概念の定着を図ることを目的として, 「化学変化とイオン」単元における電池と電気分解の学習内容を取り上げ, 先行研究および教科書分析をもとに, 電池と電気分解の仕組みを理解する上での問題点を整理し, その問題点の改善を図るための調査を実施し, 結果の分析を行うこととした。その結果, 中学校および高等学校で学習した学生であっても, 「塩素発生群」のような誤った考えを保持していることが明らかとなった。さらに, このような考えをもつ学習者に対してイオンの安定性の情報を与えることは, 「塩素発生群」の割合を減少させるために有効な手段であると考えられる。また, 電池と電気分解の仕組みを理解させ, 金属めっきなどの応用的な内容についても理解させるためには, 電池がイオン化傾向の差によって引き起こされる自動的な電子の授受に関する反応であることと, 電気分解が乾電池(電源装置)によって引き起こされる強制的な電子の授受に関する反応であるという電池と電気分解の仕組みの違いについて明確に理解させたい。イオンの安定性の情報の提示が必要になると考えられる。

### 1. はじめに

田中(2015)は, 電池の仕組みの理解における溶媒の電離とイオン化傾向の情報の重要性を明らかにするため, 大学生を対象に調査を行っている<sup>(1)</sup>。この調査は, 対象者を「溶媒の電離とイオン化傾向の情報を与える群」, 「イオン化傾向の情報のみを与える群」, 「どちらの情報も与えない群」の3つの群に分け, 各群それぞれに教材文を読ませた後, 水溶液に食塩水(NaCl), 電極に銅板(Cu)と亜鉛板(Zn)を用いた電池に関する問題について解答させたものである。

調査の結果, 「溶媒の電離とイオン化傾向の情報を与える群」において, -極で $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ , +極で $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ のように, 正答の割

合が高くなることが明らかとなった。一方で, 「イオン化傾向の情報のみを与える群」, 「どちらの情報も与えない群」においては, -極で $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ , +極で $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ のように, -極で塩素が発生するという誤った考えをもつ学生の割合が高いことが明らかとなった。このことから, 田中は, 食塩水を用いた電池においては, 水溶液中の陰イオンである $\text{Cl}^-$ は安定しており反応しにくいという知識が欠如していること, および, 電池と電気分解の仕組みの違いについての理解ができていないことに課題があると指摘している。

そこで, 本研究では, イオン概念の定着を図ることを目的として, 電池と電気分解の仕組みを理

解する上での問題点を整理し、現在の教育課程で学習を行った学習者の実態を踏まえ、問題点の改善を図るための調査を実施、分析することとした。

## 2. 教科書分析による問題点の整理

### 2.1 電池と電気分解の仕組みの理解に関する問題分析

中学校段階の教科書における学習順序をまとめたものが、表1である。表1を見ると、すべての出版社において、はじめに、電気分解の内容を学習することが確認できる。これは、中学校学習指導要領理科編において、電気分解の学習が、イオンの存在を見出すための手立てとして扱われることが記載されているためである<sup>(2)</sup>。したがって、電気分解の実験では、水溶液中の陽イオンと陰イオンの電気的性質と各電極への移動に着目した内容が中心となり、乾電池（電源装置）によって、強制的な電子の移動が起こるとする電気分解の仕組みには、ほとんど着目しない内容となっている。

また、電池の学習は、図1のように、水溶液に塩酸（HCl）、電極に亜鉛板（Zn）と銅板（Cu）を用いた電池の実験を通じて、亜鉛板では、「 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 」の反応が起こり、銅板では、「 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 」の反応が起こるということのみを扱う<sup>(3)</sup>。そのため、電池の仕組みである自動的な電子の移動に着目した学習が不十分となり、電気分解の仕組みとの比較も行うことができなくなっていると考えられる。

以上のことから、中学校段階の学習では、電池と電気分解の各電極での反応について、反応式を用いて学習するものの、電池と電気分解の仕組みの違いについての理解が困難な内容となっていると考えられる。したがって、電池の反応であっても、電気分解と同様に、水溶液中の陰イオンが反応に関与するという誤った考えをもつ可能性があると考えられる。

### 2.2 イオンの安定性の考え方に関する問題分析

教科書分析の結果から明らかとなったイオンの安定性の学習に関する問題点について3点述べる。

まず、1点目は、中学校理科の学習では、イオンの電気的な性質のみに着目している点である。多くの出版社の教科書において、電気分解は、電極に炭素棒を用いて塩化銅水溶液に電流を流す実験を通じて、「 $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{Cl}_2$ 」の反応が起こることを学習する。その際、電解質水溶液中に電流が流れる仕組みについて、「電解質は水中で電離し、イオンになることによって、…回路に電流が

表1 中学校教科書5社におけるイオンの学習の流れ

| 学校図書                            | 教育出版                            | 啓林館                             | 大日本図書                           | 東京書籍                            |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 電気分解<br>↓<br>イオンのでき方<br>↓<br>電池 | 電気分解<br>↓<br>イオンのでき方<br>↓<br>電池 | 電気分解<br>↓<br>イオンのでき方<br>↓<br>電池 | 電気分解<br>↓<br>イオンのでき方<br>↓<br>電池 | 電気分解<br>↓<br>イオンのでき方<br>↓<br>電池 |

HCl aqの電池  
(+)Cu (-)Zn

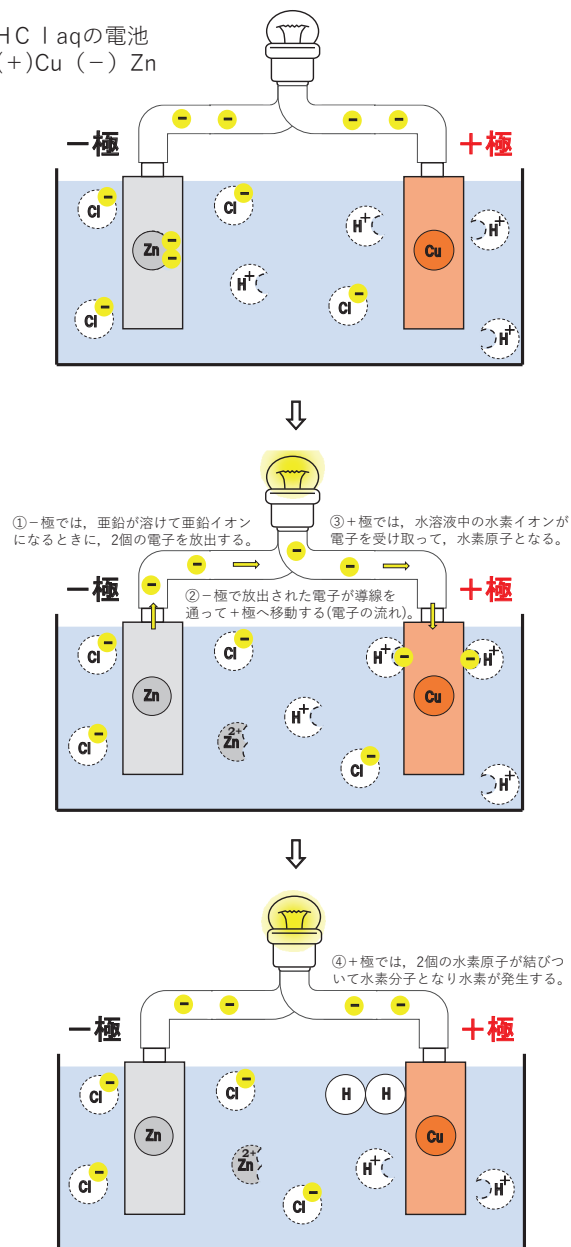


図1 電池モデル

流れる」と説明されている<sup>(4)</sup>。つまり、電気分解を行う装置を1つの回路とみなし、電子の移動に着目し、電気分解の仕組みについて学習する流れになっていると考えられる。また、イオンのでき方に関する学習では、「-の電気をもつ電子を放

表2 高等学校「化学基礎」におけるイオンの学習の流れ

| 啓林館   | 実教出版  | 数研出版  | 第一学習社   | 東京書籍  |
|---|---|---|---|---|
| 第2部<br>第1章 物質の構成<br>・原子の構造と電子配置<br>・イオンの生成<br>・元素の周期表                 | 第2章<br>第1節 物質と化学結合<br>・イオン結合とイオンからなる物質<br>・身の回りのイオンからなる物質           | 第1編<br>第2章 物質の構成粒子<br>・原子とその構造<br>・イオン<br>・周期表                            | 第1章<br>第3節 物質と化学結合<br>・イオンとイオン結合<br>・分子と共有結合<br>・金属と金属結合<br>・結晶の比較<br>・金属の結晶格子      | 第1編<br>第3章 化学結合<br>・イオン<br>・イオン結合<br>・共有結合<br>・配位結合<br>・分子間の結合<br>・金属結合<br>・化学結合と物質の分類・用途 |
| 第3部<br>第3章 酸化還元反応<br>・酸化と還元<br>・酸化剤と還元剤<br>・金属の酸化還元反応<br>・酸化還元反応と人間生活 | 第3章<br>第3節 酸化還元反応<br>・酸化と還元<br>・酸化剤と還元剤<br>・金属の酸化還元反応<br>・酸化還元反応の利用 | 第3編<br>第3章 酸化還元反応<br>・酸化と還元<br>・酸化剤・還元剤<br>・酸化還元反応の起こりやすさ<br>・身の回りの酸化還元反応 | 第2章<br>第3節 酸化還元反応<br>・酸化と還元<br>・酸化剤と還元剤の反応<br>・イオン化傾向<br>・酸化還元反応の利用<br>・電池<br>・電気分解 | 第2編<br>第3章 酸化還元反応<br>・酸化と還元<br>・酸化剤と還元剤<br>・金属の酸化還元反応<br>・さまざまな酸化還元反応                     |

出すれば、+の電気を帯びた陽イオンになる。電子を受け取れば、-の電気を帯びた陰イオンになる。」といった記載もあり<sup>(5)</sup>、イオンの電気的性質を中心とした学習になっていると考えられる。このことから、中学校段階までの知識で電気分解の仕組みについて考える際、-の電気を帯びた陰イオンが、電子の出し手として陽極での反応に関係するという考えが保持されやすくなると考えられる。

2点目は、高等学校のイオンの生成の学習が、電池および電気分解の学習と孤立して扱われており、電池や電気分解の仕組みについて考える際、イオンの性質に関する考えが用いられないという点である。高等学校化学基礎の学習内容を抜粋すると、表2のとおりとなる。表2から、各社教科書すべてにおいて、赤枠で囲った「イオンの生成」の学習を行った後に、黄枠で囲った「電気分解」、「電池」に関する学習が行われていることがわかる。学習時期に関しては、主にイオンの生成の学習は、化学基礎の教科書の前半で学習し、電池と電気分解の学習は、後半で発展内容として取り上げられていることから、2つの学習内容の学習時期が離れていることがわかる。また、具体的な学習内容については、イオンの生成について学習する前に、原子の電子配置がAr, Kr, Xe, Rnのような閉殻の電子配置を取るとき、電子配置が安定し、ほかの原子と結びつきにくいことを学習する<sup>(6)</sup>。そして、化学基礎の教科書では、イオンの生成について、「原子は、原子番号が最も近い希ガスの原子と同じ安定な電子配置をとる傾向がある」こと、「ナトリウム原子Naは1個の価電子を失い、ネオン原子Neと同じ安定な電子配置をもつナトリウムイオン $\text{Na}^+$ になりやすい。…塩素原子Clは、電子1個を外部から得て、アルゴン原子Arと同じ安定な電子配置をもつ塩化

物イオン $\text{Cl}^-$ になりやすい」ことが記載されている<sup>(7)</sup>。つまり、高等学校段階のイオンの生成の学習では、中学校段階での電気的性質に加え、原子がイオンになる際、希ガス（ただし、貴ガスという表記に移行しつつある）と同じ安定な電子配置をとるという性質についての学習が行われる。

しかしながら、高等学校化学の電池の学習における教科書のモデル図は、イオンの電気的な性質しか視覚的に捉えることができないモデルとなっている<sup>(8)</sup>。また、高等学校化学の教科書の本文中においても、水溶液中の陰イオンが安定な状態であることの記載がなく、電池の反応に関与しない理由が記載されていない。つまり、電池と電気分解の学習では、電子配置および閉殻構造によるイオンの安定性について考慮されず、電気的性質のみに着目して、各仕組みについての説明がなされている。

さらに、現行の高等学校化学基礎では、中学校段階からイオンの電気的性質に関する学習を行うため、平成15年度出版の教科書「化学I」よりも、イオンの電気的性質に関する学習内容が丁寧な扱われていることがわかる。このことにより、平成15年度の学習よりもイオンの電気的性質に関する考え方がより強固なものとなると推測されるが、一方で、電池と電気分解の仕組みに関するモデル図には変化が見られない。したがって、田中（2015）の報告にもあるような、電池の仕組みについて誤った考えをもつ学習者がより多くなると考えられる。

以上のことから、高等学校化学基礎における電子配置および閉殻構造による安定性の学習が、高等学校化学の電池および電気分解の学習と関連付けられるような配置になっておらず、電池と電気分解の反応について考える際、イオンの安定性を考慮した反応物の判断ができないと推測される。



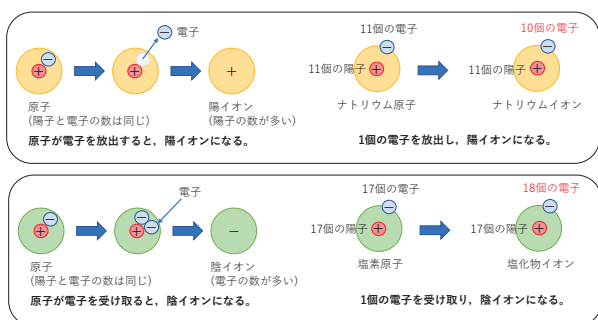


図2 イオンのでき方に関するモデル (中学校理科)

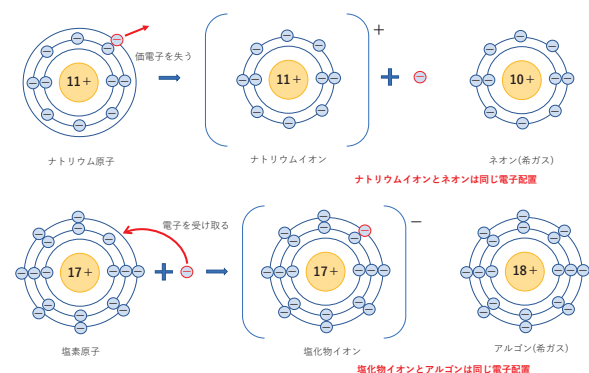


図3 イオンのでき方に関するモデル (高等学校化学基礎)

3点目は、中学校理科と高等学校化学基礎における、イオンのモデルで連続性がみられない点である。平成28年度出版の中学校理科の教科書において、イオンモデルは、どの社も、図2のようなモデルとして表現されている<sup>(9)</sup>。このイオンモデルは、-の電気をもつ電子を放出すれば、+の電気を帯びた陽イオンになり、電子を受け取れば、-の電気を帯びた陰イオンになることが示されたモデルとなっている。つまり、中学校段階では、電気的性質に着目したモデルとなっている。

一方、平成23年度出版の高等学校化学基礎の教科書では、どの社も、図3のようなモデルで表現されている<sup>(10)</sup>。このイオンモデルは、最外殻電子の数が8個の場合は、その電子配置が安定となること、および、原子は、原子番号が最も近い希ガスの原子と同じ安定な電子配置をとる傾向にあることが示されたモデルとなっている。つまり、高等学校段階では、原子の電子配置と閉殻による安定性に着目したモデルとなっている。これら2つのイオンのでき方に関するモデルは、中学校と高等学校のそれぞれの学習目的を達成するためには、有効なモデルであると考えられる。しかしながら、これらのモデルを用いることで、中学校段階でのモデルは、電子が不足している粒子を

陽イオン、電子を余分にもっている粒子を陰イオンとして捉える可能性があり、高等学校段階でのモデルでは、電子を1つ失うことで安定な電子配置をとる粒子を陽イオン、電子を1つ受け取ることによって安定な電子配置をとる粒子を陰イオンと学習するため、中学校段階と高等学校段階でのイオンに対する認識が異なる。このことが学習者に説明されないままであれば、学習者が混乱する可能性もあると考えられる。

### 3. 調査の実際

調査は、電池と電気分解の仕組みに関する学生の理解状況を把握する予備調査と、教材文による理解の変容について明らかにする本調査の2つを実施することとした。

#### 3.1 予備調査について

##### 3.1.1 予備調査の目的および概要

田中(2015)の調査は、中学校理科でイオンの学習を行わず、高等学校でイオンの学習を行った学生を対象として行われた。そのため、現在のように中学校および高等学校でイオンの学習を行っている今回の調査対象者の学生の実態とは異なる。また、中高等学校の教科書分析から、現行の学習内容では、学習者に誤った認識を生じさせると考えらえる。そこで、まず、本研究における予備調査では、中学校および高等学校で電池および電気分解の仕組みについて学習した学習者の電池と電気分解の仕組みに関する理解状況を把握し、電池と電気分解の学習における問題点を明らかにする。

調査は、平成30年11月に、国立大学理学部に所属する大学生62名を対象として、質問紙を用いて行った。問題は、基本的な電池の仕組みが理解できているかどうかを把握し、電池と電気分解の知識を用いて、応用的な内容について考えることができるかどうかを調べるため、3つの問題で構成した。具体的な内容は、図4に示す。図4にあるように、水溶液に塩化銅水溶液( $\text{CuCl}_2$ )、電極に亜鉛板(Zn)と銅板(Cu)を用いた電池を問①、陰極に亜鉛板(Zn)、陽極に銅板(Cu)を用いた電気分解(めっき)装置を問②、陰極に銅

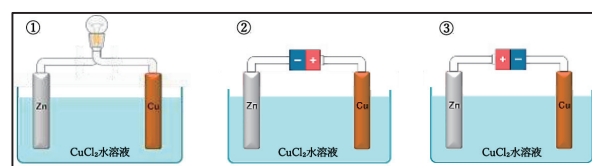


図4 調査問題について

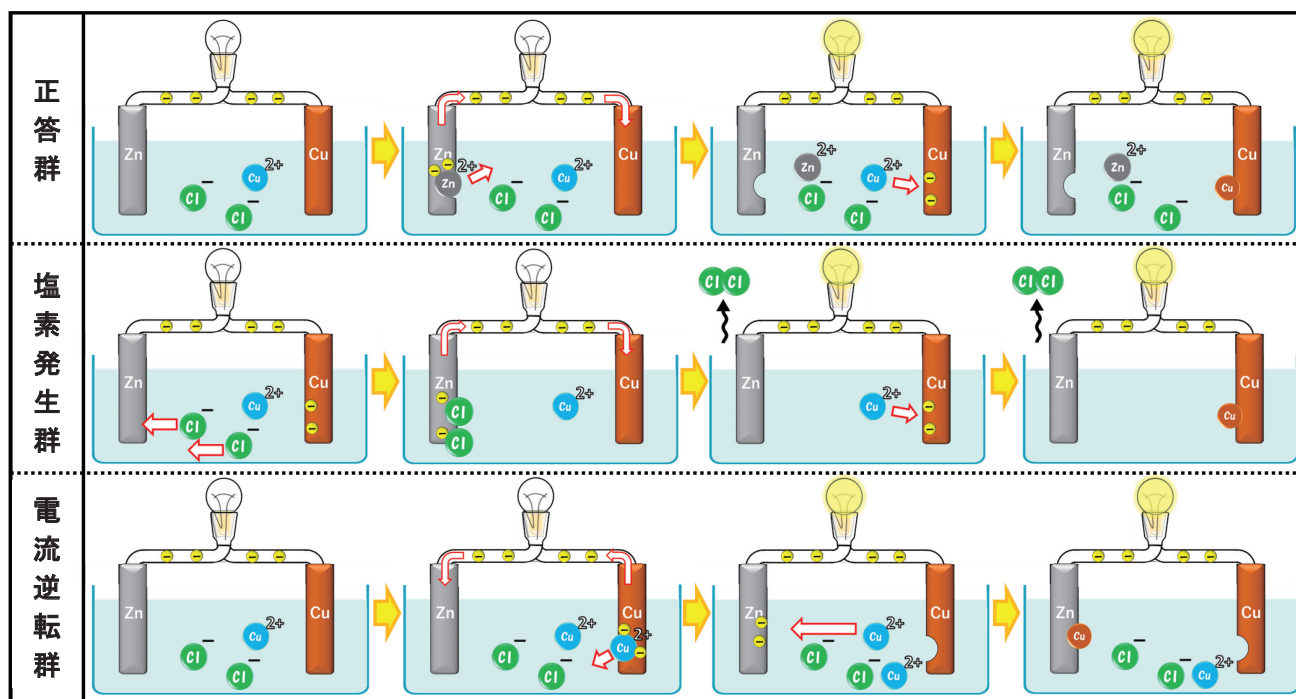


図5 解答の分類について (問①)

表3 問①の解答分類と解答者の割合 (%)

| 解答傾向の分類 | 正答群   | 塩素発生群 | 電流逆転群 | 無反応群  | 不明群 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-----|
| －極の様子   | 亜鉛の溶解 | 塩素の発生 | 銅の溶解  | 反応しない | ※   |
| ＋極の様子   | 銅の析出  | 銅の析出  | 銅の析出  | 反応しない | ※   |
| 解答者の割合  | 81%   | 3%    | 2%    | 3%    | 11% |

表4 問③の解答分類と解答者の割合 (%)

| 解答傾向の分類 | 正答群   | 塩素発生群 | 電流逆転群 | 無反応群  | 不明群 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 陽極の様子   | 亜鉛の溶解 | 塩素の発生 | 銅の溶解  | 反応しない | ※   |
| 陰極の様子   | 銅の析出  | 銅の析出  | 銅の析出  | 反応しない | ※   |
| 解答者の割合  | 42%   | 24%   | 2%    | 14%   | 18% |

板 (Cu)，陽極に亜鉛板 (Zn) を用いた電気分解 (めっき) 装置を問③として，問①から問③の各電極で起こる反応と，その判断理由を記述させるものとした。この調査では，イオン，電池および電気分解に関する情報を一切与えず，解答に十分な時間であると思われる 10 分で解答させた。

### 3.1.2 予備調査の結果および考察

各問題における解答結果は，表 3，4 のとおりである。ここでは，学生の電池と電気分解の仕組みに関する理解状況を把握するため，問①と問③の解答のカテゴリーごとの割合を比較することとした。問①と問③の調査結果を取り上げた理由は，問①と問③は，電極につなげるものを豆電球から乾電池 (電源) に変えただけの違いであり，ともに亜鉛板で  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，銅板で  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  の反応を正答とする問題であ

るためである。つまり，問①と問③を比べることで，電池と電気分解の違いをどのように認識しているかを明らかにすることができると考える。

また，解答結果は，各電極での反応とその判断理由をもとに，以下のように分類した。まず，問①において，－極で「亜鉛が溶け出す」や  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，＋極で「銅が析出する」や  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  という意味を含む解答を「正答群」とした。また，問③では，陽極で「亜鉛が溶け出す」や  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，陽極で「銅が析出する」や  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  という意味を含む解答を「正答群」とした。さらに，誤答の場合は，電池の－極，電気分解の陽極で  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ ，電池の＋極，電気分解の陰極で  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  の反応が起こるとするものを「塩素発生群」，電池の銅板の電極，電気分解の陰極で  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，電池の亜鉛板の電極，電気分解の陽極で  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  の反応が起こるとし，電流の向きを逆向きに考えているものを「電流逆転群」に分類した (図 5)。また，両電極での反応が起こらないとするものを「無反応群」，解答が中断されているもの，未記入のもの，＋極で  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  の反応が起こり，－極では「反応しない」といった理論に一貫性がないものを「不明群 (表の※で示した部分)」として分類した。

以上のことを踏まえ，調査結果について見てみ

ると、問①では「正答群」の割合が高いのに対し、問③では「正答群」の割合が低いことがわかる。また、「塩素発生群」について見ると、問①に比べ、問③の割合が高いことがわかる。さらに、表5のように、問①の「正答群」における問③での解答の分類を整理すると、電池と電気分解（めっき）の仕組みについて、問①で正答しているものの、問③では塩素発生と答えた学生の割合が26%であることがわかった。電池の場合も電気分解（めっき）の場合も、電極に金属板が用いられているため、水溶液中の陰イオンは反応に関与しないにもかかわらず、めっきが電気分解の仕組みを応用していることから、陽極に陰イオンが引き寄せられて発生するという短絡的認識をもっている学生が多いと考えられる。すなわち、陰イオンの安定性についての認識が欠落していると推

表5 問①の正答群における問③の解答傾向の分類 (%)

| ① \ ③ | 正答群 | 塩素発生群 | 電流逆転群 | 無反応群 | 不明群 |
|-------|-----|-------|-------|------|-----|
| 正答群   | 50% | 26%   | 2%    | 14%  | 8%  |

測できる。また、教科書に記載のある基本的な電池について理解できているが、金属めっきの応用的な内容について、電池と電気分解の仕組みを考慮して、電気分解（めっき）について考えることができない実態にあると推測される。

### 3.2 本調査について

#### 3.2.1 本調査の目的および概要

上述した予備調査の結果から、電池と電気分解の仕組みの理解には、イオンの安定性、および、電池と電気分解の仕組みの違いに関する説明が必要であると考えられる。そこで、これらの内容を記載した教材文を作成し、学生に提示することで、電池と電気分解の仕組みに関する学生の認識がどのように変容するか調査した。

本調査は、平成30年12月に、国立大学教育学部（理系）に所属する大学生78名を対象として実施し、イオンの安定性の情報が明記されていない教材文Aとイオンの安定性の情報が明記されている教材文B（図6）を学生に無作為に配布し、黙読させた後、電池と電気分解に関する問題を解答させた。調査手順は、図7のように、ま

#### 教材文 A

2

図1のように塩酸(HCl)に亜鉛板(Zn)と銅板(Cu)を入れ、豆電球に導線をつなぐと豆電球が点灯する。このように、異なる2種類の金属を電解質水溶液に入れたとき、電流が流れる装置を電池という。

電池の仕組みには、イオンが関係している。ここで用いられた塩酸は、塩化水素(HCl)が水に溶けたものであり、水溶液中に水素イオン(H<sup>+</sup>)と塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)が存在している。

電池の仕組みを理解する場合、イオン化傾向の考え方が必要となる。イオン化傾向とは、金属のイオンへのなりやすさを示したものであり、イオン化傾向が大きいほどイオンになりやすく、イオンのままで居続けようとするのである。

今回の電池で用いられた亜鉛板(Zn)と銅板(Cu)では、亜鉛と銅を比べたとき、銅よりも亜鉛の方がイオン化傾向が大きい。亜鉛板から亜鉛イオン(Zn<sup>2+</sup>)が水溶液中に溶け出る(図2)。この反応によって導線中に電子が放出されると、その電子によって導線にあった他の電子が銅板側に押し出される(図3)。押し出された電子を、水溶液中の水素イオン(H<sup>+</sup>)が受け取り、水素原子となり、その後、水素分子が発生する(図4)。この反応により、電子が導線を移動し続ける間は、豆電球の点灯が見られる。

一方、図5のように電極を入れ、電池(電源)を使って電子の流れを強制的につくり出し、物質を分解することを電気分解という。

今回の電気分解の装置は、電極が炭素(C)であり、水溶液中には、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)と水素イオン(H<sup>+</sup>)が存在している。そして、この装置に電池(電源)を使って電流を流すと、陽極で水溶液中の塩化物イオンが電子を失う反応がおこる(図6)。その結果、塩化物イオンから電子が奪われ、塩素原子となり、その後、塩素分子として陽極で発生するとともに、陰極に電子が押し出される(図7)。陰極に押し出された電子を水溶液中の水素イオンが受け取り、水素原子となり、その後、水素分子として陰極で発生する(図8)。

電池と電気分解装置はよく似た構造をしているが、その反応には大きな違いがある。電池は、電極に2枚の異なる金属板を用いることで、イオン化傾向の大きな金属からイオン化傾向の小さな金属へと自動的に電子の移動がおこる。一方、電気分解装置は、電池(電源)のはたらきによって電子の流れが生じ、陽極で電子を強制的に奪う反応がおこり、陰極で電子を渡す反応がおこる。

イオン化傾向

Na>Mg>Al>Zn>Fe>Cu>Ag

3

#### 教材文 B

2

図1のように塩酸(HCl)に亜鉛板(Zn)と銅板(Cu)を入れ、豆電球に導線をつなぐと豆電球が点灯する。このように、異なる2種類の金属を電解質水溶液に入れたとき、電流が流れる装置を電池という。

電池の仕組みには、イオンが関係している。ここで用いられた塩酸は、塩化水素(HCl)が水に溶けたものであり、水溶液中に水素イオン(H<sup>+</sup>)と塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)が安定した状態で存在している。

電池の仕組みを理解する場合、イオン化傾向とイオンの安定性の考え方が必要となる。イオン化傾向とは、金属のイオンへのなりやすさを示したものであり、イオン化傾向が大きいほどイオンになりやすく、イオンのままで居続けようとするのである。

今回の電池で用いられた亜鉛板(Zn)と銅板(Cu)では、亜鉛と銅を比べたとき、銅よりも亜鉛の方がイオン化傾向が大きい。亜鉛板から亜鉛イオン(Zn<sup>2+</sup>)が水溶液中に溶け出る(図2)。その際、水溶液中の塩化物イオンは安定しており、電子を放出しない。この反応によって導線中に電子が放出されると、その電子によって導線にあった他の電子が銅板側に押し出される(図3)。押し出された電子を、水溶液中の水素イオン(H<sup>+</sup>)が受け取り、水素原子となり、その後、水素分子が発生する(図4)。この反応により、電子が導線を移動し続ける間は、豆電球の点灯が見られる。

一方、図5のように電極を入れ、電池(電源)を使って電子の流れを強制的につくり出し、物質を分解することを電気分解という。

今回の電気分解の装置は、電極が炭素(C)であり、水溶液中には、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)と水素イオン(H<sup>+</sup>)が存在している。そして、この装置に電池(電源)を使って電流を流すと、安定な状態の塩化物イオンからでも、無理やり電子を奪うことができ、陽極で水溶液中の塩化物イオンが電子を失う反応がおこる(図6)。その結果、塩化物イオンから電子が奪われ、塩素原子となり、その後、塩素分子として陽極で発生するとともに、陰極に電子が押し出される(図7)。陰極に押し出された電子を水溶液中の水素イオンが受け取り、水素原子となり、その後、水素分子として陰極で発生する(図8)。

電池と電気分解装置はよく似た構造をしているが、その反応には大きな違いがある。電池は、電極に2枚の異なる金属板を用いることで、イオン化傾向の大きな金属からイオン化傾向の小さな金属へと自動的に電子の移動がおこる。一方、電気分解装置は、電池(電源)のはたらきによって電子の流れが生じ、陽極で電子を強制的に奪う反応がおこり、陰極で電子を渡す反応がおこる。

イオン化傾向

Na>Mg>Al>Zn>Fe>Cu>Ag

3

図6 電池および電気分解の仕組みに関する教材文



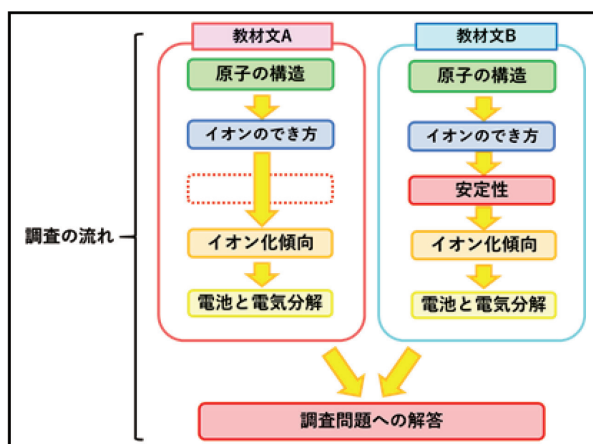


図7 調査の概要

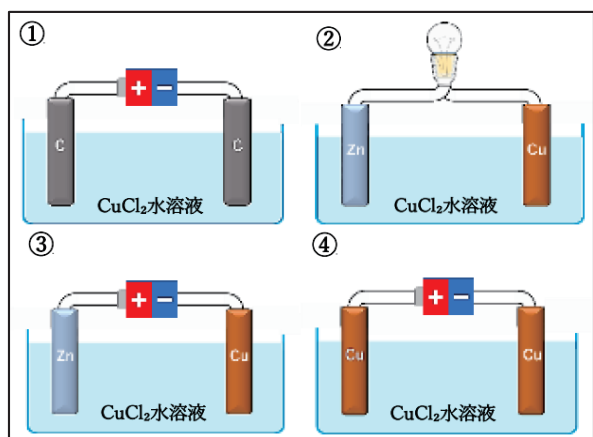


図8 調査問題について

ず、「原子の構造」、「イオンのでき方」についての内容を黙読させ、教材文Bを与えた群のみに「イオンの安定性」についての内容を黙読させた。その後、両群に対し「イオン化傾向」、「電池と電気分解の仕組み」についての内容を黙読させ、問題に解答させた。問題は、基本的な電池と電気分解の仕組みが理解できているかどうかを把握し、教材文を用いて、応用的な内容についても考えることができるかどうかを調べるため、4つの問題で構成した。具体的な問題の内容は、図8のように、塩化銅水溶液に2本の炭素棒を入れた電気分解を問①、亜鉛板（Zn）と銅板（Cu）を入れて豆電球とつないだ電池を問②、亜鉛板（Zn）と銅板（Cu）を入れて乾電池とつないだ電気分解（めっき）装置を問③、2枚の銅板（Cu）を入れて乾電池とつないだ電気分解（めっき）装置を問④として、両極にどのような反応が生じるかを解答させた。

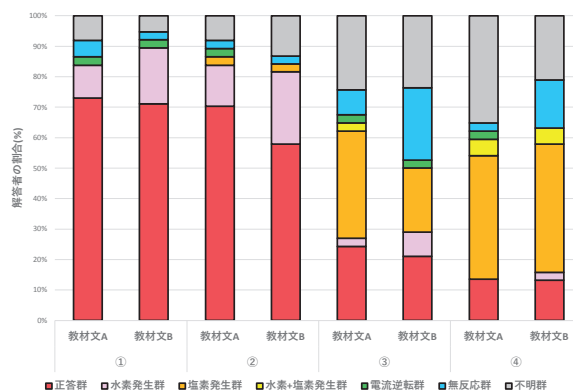


図9 本調査の結果

### 3.2.2 本調査の結果および考察

本調査における学生の解答の割合を図9に示した。図9において、各問の赤色で示した「正答群」を見ると、問①、問②で割合が高く、問③、問④で割合が低いことがわかる。このことから、予備調査の結果と同様に、教科書に記載のある基本的な電池や電気分解については正答できているが、金属めっきのような応用的な内容に対して、電池と電気分解の仕組みに関する正しい知識を用いて考えることができていないと推測される。

また、各教材文における「正答群」の割合を比較すると、教材文Aを読んだ群に比べ、教材文Bを読んだ群の割合が低いことがわかる。一方で、教材文Aと教材文Bを読んだ群における、桃色で示した「水素発生群」を比較すると、教材文Bを読んだ群の方が高いことが伺える。ここで、「水素発生群」とは、問②の電池の+極、または、問①、問③、問④の電気分解の陰極で水素が発生すると考えた解答を分類したものである。つまり、教材文Bを読んだ群で「正答群」の割合が下がった要因は、「水素発生群」の割合が高くなったことにあると考えられる。教材文Bを読んだ群で「水素発生群」の割合が高くなった理由としては、教材文の「電池と電気分解の仕組み」の説明が影響していると考えられる。教材文Aと教材文Bでは、水溶液に塩酸（HCl）を用いた電池および電気分解の仕組みについて記載があり、電池の+極、または電気分解の陰極で、水素が発生することが説明されている。さらに、教材文Bでは、イオンの安定性の説明の記載があったため、「水溶液中の銅イオンは安定であり、水素イオンは電子を受け取って水素分子になる」という誤った考えを促したと考えられる。

このことから、多くの学生は「 $H^+ > Cu$ 」のイオン化傾向について理解できていないと考えら

える。ここで、「 $H^+ > Cu$ 」の正しい判断ができなかった原因は、中学校第3学年の教科書<sup>(11)</sup>をもとにした「 $Na > Mg > Al > Zn > Fe > Ag$ 」のみを教材文のイオン化傾向の情報として記載したためであると考えられる。本調査では、溶媒の電離を含む問題がなかったため、イオン化傾向に水素を含まないものを用いた。その結果、水素と銅のイオン化傾向の比較ができず、「水素発生群」の割合が高くなったと考えられる。このことから、水素を含んだイオン化傾向についても情報を提示する必要があると考えられる。

次に、問③の結果から、教材文Bを読んだ群は、教材文Aを読んだ群と比べて、橙色で示した「塩素発生群」の割合が低く、青色で示した「無反応群」の割合が高いことが伺える。この理由は、教材文Bを読んだ群では、「イオンのでき方」、「電池と電気分解の仕組み」の内容において、イオンの安定性の説明があるため、塩化物イオンが電子を放出しないことを理解できたが、陽極で、どの物質が電子を放出するのかわからないとする学生の割合が高くなったためであると考えられる。一方、問④では、両群において、学生の約半数が陽極で塩素が発生すると解答しており、「塩素発生群」の違いがほとんど見られないことがわかる。これは、「電極が一緒なので、 $Cl^-$ から電子が奪われ、 $Cl_2$ が発生する」という陽極での反応の判断理由から、問④の反応は電気分解であり、電気分解の反応は、水溶液中のイオンが関与すると誤った考えを用いて解答したためであると推測される。

このことから、イオンの安定性についての情報を与えることで、ある程度は、「水溶液中の陰イオンは安定であるため、電極での陰イオンの反応はおこりにくい」という考えに至らせることができると考えられる。一方で、問③、④のような金属めっきの仕組みの理解には、イオンの安定性の学習だけでは不十分であると考えられる。これは、学生が、教材文による学習以前から、電池は金属板と陽イオンのみで起こる反応、電気分解は水溶液中のイオンのみに関係する反応と考えており、「電池と電気分解の仕組み」の説明を読んだとしても、電池と電気分解の仕組みの違いを正しく理解ができず、イオンの安定性の情報を与えても、金属めっきの理解に至らなかったためと推測される。この電池と電気分解の仕組みに関する認識は、中学校理科における電池と電気分解の学習が影響していると考えられる。

中学校における電気分解の学習は、イオンの存

在を見出すための手立てとして扱われる<sup>(12)</sup>。そのため、電気分解の学習は、水溶液中の陽イオンと陰イオンの電気的性質と各電極への移動に着目した内容となり、電気分解の仕組みである乾電池（電源装置）によって強制的に電子の移動を起こしていることに着目した学習は行わない。また、電池の学習は、電池の仕組みについて、－極での金属板の変化と＋極での陽イオンの反応のみを扱うため<sup>(13)</sup>、電池の仕組みである自動的な電子の移動に着目した学習が不十分であり、電気分解の仕組みとの比較も行うことができなくなっていると考えられる。

また、高等学校学習指導要領理科編では、電池と電気分解の仕組みの理解に関する内容が記載されているが<sup>(14)</sup>、電池と電気分解の違いについて、各仕組みを比較しながら明確に記載していた教科書は、1社でのみであった。しかしながら、記載のあった1社の教科書においても、参考内容として取り上げられているにすぎなかった<sup>(15)</sup>。つまり、上述のような中学校理科における電池と電気分解の仕組みに関する学習が、高等学校の学習においても改善されない状態となっていると考えられる。

これらのことから、本調査を行った学生においても、電池と電気分解について、各電極での反応が反応式のための知識にとどまり、イオン化傾向や電子の授受等の知識を踏まえて、電池や電気分解の仕組みについて理解しているのではないことが明らかとなった。したがって、それらの知識を応用しなければならぬ金属めっき等の応用的な内容についても考えることができなくなっていると推測される。

#### 4. おわりに

本研究の調査から、中学校および高等学校で学習した学生であっても、「塩素発生群」のような誤った考えを保持していることが明らかとなった。さらに、このような考えをもつ学習者に対してイオンの安定性の情報を与えることは、「塩素発生群」の割合を減少させるために有効な手段であると考えられる。

また、電池と電気分解の仕組みを理解させ、金属めっきなどの応用的な内容についても理解させるためには、電池がイオン化傾向の差によって引き起こされる自動的な電子の授受に関する反応であることだけでなく、電気分解が乾電池（電源装置）によって引き起こされる強制的な電子の授受に関する反応であるという電池と電気分解の仕組



みの違いについても明確に理解させたい。イオンの安定性の情報の提示が必要になる。

そこで、今後は、高等学校との学習内容の接続について考慮し、イオンの安定性の情報および電池と電気分解の仕組みの違いを踏まえた、具体的な学習展開および学習内容について検討していきたい。

## 5. 引用文献

- (1) 田中将希『中学校理科における粒子概念の構築に関する基礎的研究－中学校第3学年「化学変化とイオン」単元を中心に－』, 福岡教育大学理科教育教室卒業論文, 2015, pp.21-25
- (2) 文部科学省『中学校学習指導要領理科編』, 大日本図書株式会社, 2008, p.50
- (3) 有馬朗人ほか『新版 理科の世界3』, 大日本図書株式会社, 2016, p.166
- (4) 同上書, p.154
- (5) 同上書, p.157
- (6) 竹内敬人ほか『化学基礎』, 東京書籍株式会社, 2012, pp.44-45
- (7) 同上書, p.57
- (8) 竹内敬人ほか, 『化学』, 東京書籍株式会社, 2013, p.109
- (9) 前掲書 (3), p.157
- (10) 前掲書 (6), p.57
- (11) 前掲書 (3), p.167
- (12) 前掲書 (2), p.50
- (13) 前掲書 (3), p.166
- (14) 文部科学省『高等学校学習指導要領 理科編 理数編』, 実教出版株式会社, 2009, pp.64-65
- (15) 前掲書 (6), p.195

