

<実践研究>

## 複数の知識・実験結果を融合させることに基づく イオン概念を形成するための授業構築 —タブレット・付箋紙を活用した知識構成型ジグソー法を用いて—

伊藤冬樹	信州大学学術研究院教育学系
岡宮隆吉	信州大学教育学部附属長野中学校
砂塚雄太	信州大学教育学部附属長野中学校
下條陽子	信州大学教育学部附属長野中学校
牧 健太	信州大学教育学部附属長野中学校
下崎大吾	須坂市立東中学校
吉沢寛之	飯田市立旭ヶ丘中学校

キーワード：化学変化とイオン，電気分解，既習事項の活用，ICT 活用，動画撮影，付箋紙，知識構成型ジグソー法

### 1. はじめに

理科教育において「科学的な見方や考え方を養うこと」は、教科の目標として掲げられている<sup>1)</sup>。平成20年告示中学校学習指導要領解説理科編において「科学的な見方や考え方を養うこと」とは、自然を科学的に探究する能力や態度が育成され、自然についての理解を深めて知識を体系化し、いろいろな事象に対してそれらを総合的に活用できるようになることであると記されている<sup>1)</sup>。そのような観点から、知識を体系化するためには、自然事象を論理的に思考、判断し、自分の考えを表現することができるようになることが望ましいと考えられる。これを具現するための一手段として、複数の実験結果を分析し解釈する力を高めることが挙げられる。

複数の実験結果を分析し解釈する力を高める方法として、知識構成型ジグソー法<sup>2)</sup>をベースとして、その活動を支える手段として付箋紙、ホワイトボード、マグネットの活用、さらにタブレットを用いた実験の動画撮影に着目した。知識構成型ジグソー法は、生徒に課題を提示し、課題解決の手がかりとなる知識を与えて、その部品を組み合わせることによって答えを作りあげるといった活動を中心とした授業デザインの手法である。付箋紙の活用は、知識や意見の並び替えが容易であり、既存の知識や実験結果を解釈し、体系的に整理する上で有効である。また、タブレットによる実験場面の動画撮影では、何度もくり返し見返すことができる、着目すべきポイントを拡大表示できる、グループでの討議の際に得られた知識により再度実験結果を見直すことができるといった場面で有効であり、積極的なICT活用の一場面にもなり得る<sup>3)</sup>。

本実践では、「電気分解の仕組みを説明しよう」を対象として、電気分解で生成した物質に着目し、既存の複数の知識・実験結果を融合しながらイオンの概念をとらえていく単元を構想した。中学校第3学年の化学分野で導入される「イオン」は実験によって直接的な観察をすることは困

難な概念である。電解質水溶液中を電流が流れる事実を示したところでイオンの存在を証明（説明）したことにはならない。したがって、経験的な事実の積み重ねによる推論に頼らざるを得ない。換言すると、単元「化学変化とイオン」は、複数の知識・実験事実から推論によって知識を体系化する科学的思考を身につけるのに適した題材であると考えられる。しかしながら、平成10年告示中学校学習指導要領で、「イオン」が削除された経緯から考えると、中学校段階において単なる知識教授型では取り扱いや概念構築が困難であることを意味している。化学変化とイオンは、現行（平成20年度）の中学校学習指導要領で復活するまでの間、菊池らは「(1) イオンは自然科学教育の根本要素(基礎・基本)である。(2) イオンは生活者としての科学的リテラシーの重要要素である。(3) イオン学習は思考力・探究心の育成や化学の面白さを伝えるのに良い内容である」ということを中学校教師からのアンケート結果に基づきその必要性を論じていた<sup>4)</sup>。福田、遠西は中学校において、イオン概念のような不可視な概念をどのように指導すればよいかを提案する実践的研究であり、経験によって審判を受けるのは個々の理論ではなく科学理論の体系的全体であると報告している<sup>5)</sup>。本実践では、知識構成型ジグソー法として電気分解の分担実験を行い、その結果を持ち寄り既習の知識を活用しながら、実験結果の共通点と相違点に着目して、電気分解で生成する物質のきまりについて考える場面を設定した。

## 2. 授業の構築

### 2.1 知識の系統性

平成20年告示中学校学習指導要領より、中学校理科の内容の取り扱いとして、学年ごとの分類がなされ、これまでの第一分野、第二分野の教科書体系から、学年別の教科書構成となった<sup>1)</sup>。これは、理科内での分野による系統性のみならず、分野間での系統性も保証できるという点で意味を持つ。図1は「化学変化とイオン」を学習するにあたり必要な知識とその系統性を示したマップである。中学校理科化学分野の集大成としての「化学変化とイオン」の単元において、化学分野内での系統的な学習（(2)身の回りの物質（第1学年）、(4)化学変化と原子・分子（第2学年））はいうまでもなく、第2学年の物理分野で扱われる（3）電流とその利用. ア 電流 (エ) 静電気と電流 での学習が、イオンの概念を導入する上で必要な知識となる。特に、電流の正体である電子の存在、静電気の生じる仕組み（帯電）、正電荷と負電荷の関係（引力と斥力）が引き合う等、原子の構造にも言及しながら進める物理分野での既習事項も分析・解釈の上で必要な知識である。これらの知識を体系化、また考察場面で有効に活用できるように、付箋紙を用いた。

## イオン概念形成のための授業構築

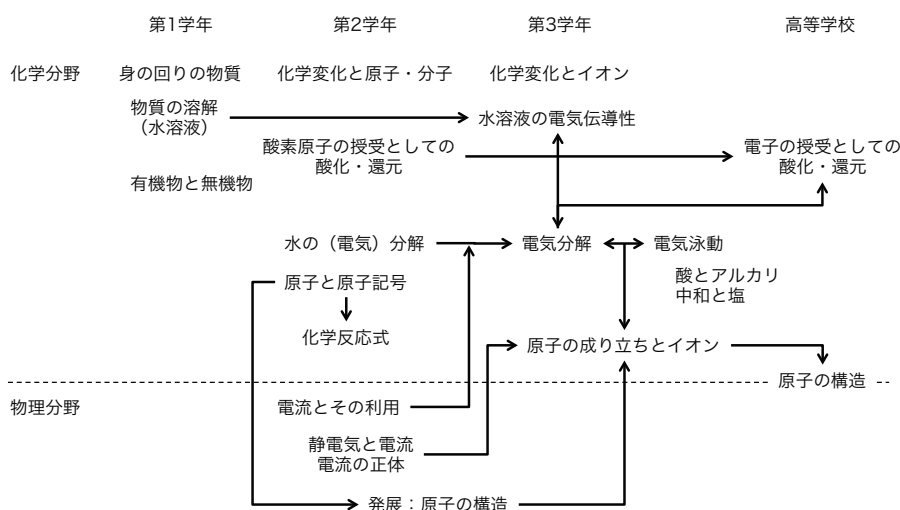


図1 「化学変化とイオン」に関連する知識の系統性のマップ

### 2.2 素材研究-4 種類の電解質を用いて電気分解の実験を行う価値

平成20年告示中学校学習指導要領理科の「(6) 化学変化とイオン (イ) 原子の成り立ちとイオンについて」には、「例えば、うすい塩酸や塩化銅水溶液などの電解質の水溶液を電気分解する実験を行い、陽極と陰極に物質が生成することから、電解質の水溶液中に電気を帯びた粒子が存在することに気付かせ、イオンの概念を形成させる」とある。表1に今回の実践において適用した電解質の物質名、化学式(電離式)、電極で生成する物質名をまとめた。塩酸(HCl)や塩化銅(CuCl<sub>2</sub>)は、その物質名や化学式から電気分解によって生成する物質が予想しやすく、電気分解を行うことで生徒にイオンの概念を形成させるには適した電解質である。しかしながら2年次「化学変化と原子・分子」で学習した水(H<sub>2</sub>O)の電気分解では、電解質として水酸化ナトリウム(NaOH)を用いた。しかしながら、電極にはナトリウムは生成せず、電気分解生成物の規則性を学ばないとその理由を説明することはできない。そのため先人の科学者たちがイオンの存在を発見したように、生徒が電気分解で生成した物質に着目することで、イオンの概念をとらえていく学習を構想した。そこで生徒が予想した通りに物質を取り出せる塩酸、塩化銅の電気分解を行った後に、塩化ナトリウム(NaCl)、硫酸銅(CuSO<sub>4</sub>)、硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、硫酸ナトリウム(NaSO<sub>4</sub>)の4種類の電解質を用いて電気分解を行う発展的な学習を構想した。

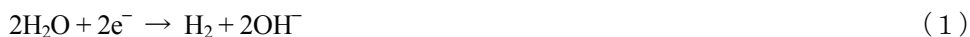
まず、塩化ナトリウムは塩化物であり、陽極に塩素が生成するため、塩酸と塩化銅との共通性を見いだしやすい。次に、硫酸銅は陰極に銅が生成するため、塩化銅との共通性を見いだしやすい。そして、硫酸および硫酸ナトリウムは、2年次に学習した水の電気分解と同じく陰極に水素、陽極に酸素が生成する。このとき、電解質の化学式に含まれる水素や酸素から気体が生成すると考える生徒が多いと予想される。しかしながら、電極に生成した水素：酸素の体積比がおよそ2:1になることから、硫酸、硫酸ナトリウムも溶媒である水が電気分解されることに気付くことができる。このように溶質である電解質が電気分解され、陰極および陽極に生成する物質が予想しやすい塩酸、塩化銅に加え、複数の実験結果の共通性を見いだしやすい塩化ナトリウム、硫酸

銅，硫酸，硫酸ナトリウムを電気分解することによって，生徒が電解質水溶液中で起こっていることをとらえやすくなると考えた。

表1 用いた電解質と電離式，電気分解で陰極と陽極に生成する物質

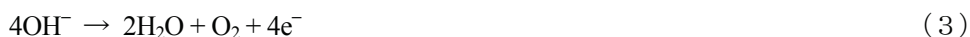
	物質名	化学式 → 陽イオン + 陰イオン	陰極	陽極
3年次「化学変化とイオン」で電気分解する物質				
①	塩酸	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	$\text{H}_2$	$\text{Cl}_2$
②	塩化銅	$\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$	$\text{Cu}$	$\text{Cl}_2$
2年次「化学変化と原子・分子」水の電気分解で用いる物質				
③	水酸化ナトリウム	$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$	$\text{H}_2$	$\text{O}_2$
発展的な学習として分担実験で電気分解する物質				
④	塩化ナトリウム	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	$\text{H}_2$	$\text{Cl}_2$
⑤	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cu}$	$\text{O}_2$
⑥	硫酸	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2$	$\text{O}_2$
⑦	硫酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2$	$\text{O}_2$

ナトリウムイオンや硫酸イオンが電解生成物として析出しないことは，以下のように考えることができる<sup>5)</sup>。まず，ナトリウムのイオン化傾向は水素よりも大きいため還元されにくく（電子を受け取りにくい），かわりに溶媒である水分子（ $\text{H}_2\text{O}$ ）が陰極で電子（ $e^-$ ）を受け取って水素（ $\text{H}_2$ ）を発生する（1式）。



また，仮にナトリウムが析出したとしても，そのイオン化傾向の大きさから大量に存在する水のなかでナトリウム単体として存在することは不利である。このことを意識付けるために，実際に金属ナトリウムを水と反応させると，水素を発生しながら溶解する現象を提示した。

また，硫酸イオン（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）などの多原子イオンは，水溶液中で安定して酸化されず（電子を与えることができず，硫黄の酸化数から考えると単体になることができない），かわりに溶媒である水分子が陽極に電子を与え酸素が発生する（2式）。また，水酸化物イオン（ $\text{OH}^-$ ）も陽極に電子を与えて酸素が発生する（3式）。



以上のような電極反応によって，水酸化ナトリウム，硫酸，硫酸ナトリウムでは，水の電気分解を行っていることと同様の反応になる。従来の中学校理科では発展的課題であるが，一部教科書には水酸化ナトリウムの電気分解を説明するというものを取り上げているものもある。また，溶質のみに注目するのではなく，溶媒も化学種であることを認識することはより高度な科学的な見方や考え方を涵養する上で効果的ではないかと考えられる。

### 2.3 実験結果と既習の知識を関連づけていく単元展開の構想

本実践は，N県N中学校の3年生を対象としており，単元展開を図2に示した<sup>7)</sup>。全10時間



イオン概念形成のための授業構築

扱いとした。本時は、第8時である。電気分解の実験結果から電解質水溶液中のイオンの存在を確かめることはできない。そこで本単元では、1・2年次の既習の知識を根拠としながら電気分解で生成する物質について考え、電解質水溶液中の様子について様々な視点をもつことによって、イオンの概念をとらえていくことを目指す。そのために、図3に示したように複数の実験結果からイオンの概念をとらえていく上で参考となる1・2年次の既習の知識を付箋紙に書きためながら学習を進めていく。

過程	学習活動	◇教師の指導・援助 ◆予想される生徒の反応	○評価規準 ※評価方法	時間
基礎・基本的な内容	1 塩化ナトリウム水溶液に電流が流れる様子を観察する。	◇塩化ナトリウム水溶液に電流を流す演示を行う。 ◆水溶液にすると電流が流れる物質は他にもあるのだろうか。物質が水に溶けて見えなくなる様子を1年生で学習したが、水溶液になると電流が流れることに何か関係があるのかもしれない。	①電解質水溶液に関する事 物や現象に興味をもち、 意欲的に追究しようとして いる。 ※ワークシート、発言から	1
	2 物質には、水に溶けると電流が流れる物質と流れない物質があることを確かめる。	◇塩化ナトリウム以外に水に溶けると電流が流れる物質があるのかどうかを確かめるように促す。 ◆塩化ナトリウムのように水に溶けると電流が流れる物質や、砂糖やエタノールのように水に溶けても電流が流れない物質があることが分かった。 ◇電流が流れた水溶液の電極に着目するよう促す。 ◆電解質水溶液に電流を流すと、電極から気体が生成する様子が観察できた。電解質水溶液に電流を流すと電気分解されるのだろうか。 単元の学習問題：電解質水溶液に電流が流れると電気分解されるのだろうか。	④水溶液に電圧を加える回路を作成し、水溶液に電流が流れるかを電流計で確かめている。 ※ワークシートから ⑤実験結果を表に整理し、物質を電解質と非電解質に分けている。 ※ワークシートから	2
	3 塩酸と塩化銅水溶液に電流を流し、電極に生成する物質を調べる。	◇塩酸と塩化銅水溶液に電流を流し、陰極と陽極に生成する物質を確かめるように促す。 ◆塩酸は陰極から水素、陽極から塩素が、塩化銅水溶液は陰極から銅、陽極から塩素が生成した。陰極に集まる物質は+に、陽極に集まる物質は-に帯電しているのではないか。 ◆電解質水溶液に電流を流したとき、化学反応式のように物質の化学式を見れば、どのような物質が取り出せるか予想できそう。	⑤塩酸と塩化銅水溶液の電気分解を行い、その結果を動画で記録しながらまとめたり、表に整理したりしている。 ※ワークシート、「ホワイトボード」から	2
発展的な内容	4 塩化ナトリウム、硫酸銅、硫酸、硫酸ナトリウム水溶液を電気分解したとき、電極に生成する物質が何かを予想する。	◇4種類の電解質水溶液を提示し、電気分解で取り出せる物質が何かを予想するように促す。 ◆塩化ナトリウムはNaClだから、陰極からナトリウムNa、陽極から塩素Cl <sub>2</sub> が生成すると思う。 ◇ナトリウムと水の反応の演示実験を行う。 ◆単体のナトリウムは水と激しく反応することが分かった。水に入れると激しく反応し、発火する金属があることを知らなかった。	⑥既習の知識を基に仮説を立て、分担した実験班での実験計画を立てている。 ※「説明シート」、「ホワイトボード」から	1
	5 分担した電解質水溶液を電気分解し、タブレット端末で撮影した結果を持ち寄って、生成する物質について考える。	◇分担した実験を行い、電極に生成する物質に着目しながらタブレット端末で撮影するように促す。 ◆塩化ナトリウムは陰極にナトリウムが生成すると思っていたが、水素が生成したことが分かった。 学習問題：電解質が化学式通りに電気分解できないのはなぜだろうか。 ◇実験結果の共通点と相違点に着目し、電気分解で生成する物質のきまりについて考えるよう促す。 ◆塩化ナトリウムは水に溶け電気を帯びた状態となり、+の電気を帯びた原子は陰極、-の電気を帯びた原子は陽極へ移動することで物質として取り出せる。ナトリウムのように電気分解で取り出すことができない原子もあり、その場合は水が分解される。だから、化学式通りに電気分解されない。	⑤計画的に実験を実施し、その結果を動画で記録しながらまとめている。 ※「説明シート」から ②電解質によっては水が分解されて電極に水素や酸素が生成し、電解質は水溶液中にとどまることを説明している。 ※「説明シート」、「ホワイトボード」から	2 【本時は第2時】
まとめ	6 原子の成り立ちとイオンについて確認し、電気分解の仕組みをモデルで表しながら単元のまとめを行う。	◇原子の成り立ちと水溶液中のイオンの生成について、映像や資料を用いて説明する。 ◆電気分解は水溶液中のイオンがもつ電気的な性質を利用していることが分かった。 ◆Na <sup>+</sup> やSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> のように水溶液中で安定したイオンがあると、よりイオンになりやすい水が電気分解されることが分かった。 ◇電気分解をイオンのモデルで表すように促す。 ◆モデルを用いると、イオンの移動や電子の受け渡しが分かりやすい。陽イオンが陰極、陰イオンが陽極へ移動して、電気分解されることが分かった。	⑥電解質が水溶液中で電離することや原子が電子を受け渡すことでイオンになることを理解し、その知識を身に付けている。 ※ワークシートから ③電解質が水溶液中で電離する様子やイオンが移動する様子について、モデルで表現している。 ※ワークシートから	2

図2 「電気分解の仕組みを説明しよう」の単元構築

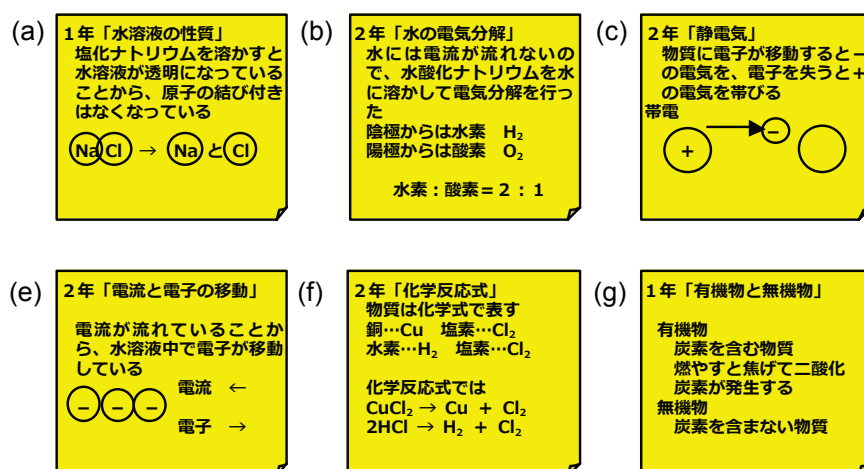


図3 知識の系統性を確認するために書きためている付箋紙の例

【第1時】塩化ナトリウム水溶液に電流が流れる様子を観察する。電流が流れない塩化ナトリウムを水に溶かすと電流が流れることと1年次に学習した「水溶液の性質」とを関連付け、水に溶けた物質が見えなくなるという事実から、塩化ナトリウムは水に溶けると塩素原子とナトリウム原子の結び付きがなくなることを確認し、付箋紙にまとめる(図3a)。

【第2,3時】6種類の電解質(塩酸、塩化銅、塩化ナトリウム、硫酸銅、硫酸、硫酸ナトリウム)とエタノール、砂糖の8種類を溶質とした水溶液に電流が流れるかを調べる。実験後、水に溶かすと電流が流れる物質を電解質、水に溶かしても電流が流れない物質を非電解質と呼ぶことをおさえる。ここで2年次に学習した「電流と電子の移動」と関連付け、電流が流れることから水溶液中に電子が移動していることを確認し付箋紙にまとめる。また、電解質水溶液に電流を流すことで、電極から気体が生成する様子から2年次に学習した「水の電気分解」と関連付け、電解質水溶液に電流を流すと電気分解されるのではないかと考えた生徒の発言を全体に広げ、単元の学習問題「電解質水溶液に電流を流すと電気分解されるのだろうか」を設定する。そして、2年次に学習した「水の電気分解」についても付箋紙にまとめるようにする(図3b)。

【第4,5時】学習班で予想を立て、塩酸、塩化銅の電気分解について分担実験を行う。生徒は、陰極からそれぞれ水素および銅が、陽極から両者とも塩素が生成することを説明し合い、化学式に着目することによって電気分解で生成する物質が予測できることを確認する。その段階で、2年次に学習した「化学反応式」と関連付け付箋紙にまとめる。さらに、陰極および陽極に生成する物質が常に決まっていることに生徒が気付いたところで、2年次に学習した「静電気」と関連付け、物質が電子を受け渡して帯電すること、帯電した物質同士が引き合ったり(引力)、反発し合ったりしたこと(斥力)を付箋紙にまとめる(図3c)。以上のような既習の知識以外にも生

徒が電解質水溶液中の様子について参考となると考えた既習の知識は、全体で確認しながら付箋紙に書きためていく。このような学習を行うことによって、生徒は実験結果と1・2年次の既習の知識を関連付けながらイオンの概念をとらえていくことができる。

【第6時】塩化ナトリウム、硫酸銅、硫酸、硫酸ナトリウムを電気分解して取り出せる物質を予想する。実験班（知識構成型ジグソー法というエキスパートグループ）で予想をモデルや文章で記入したり、既習の知識が電気分解のどの段階で活用できそうな内容であるかを位置付けたりするために「ホワイトボード」を用いる（図4）。「ホワイトボード」にはあらかじめ印刷した電気分解装置の図を貼付してある。既習の知識をまとめた付箋紙から活用できそうなものを取り出して「ホワイトボード」に貼付し、そこから予想したことをマーカーで記入したり、消したりすることができるようにする。そして電解質を水に溶かし電流を流すまでの段階を実験班で「ホワイトボード」にまとめ、その内容を参考にしながら各自が電気分解で生成する物質の予想をまとめる。また、生徒には単体のナトリウムに関する知識がないので、単体のナトリウムと水の反応を演示し「単体のナトリウムと水が激しく反応すること」を全体で確認する。

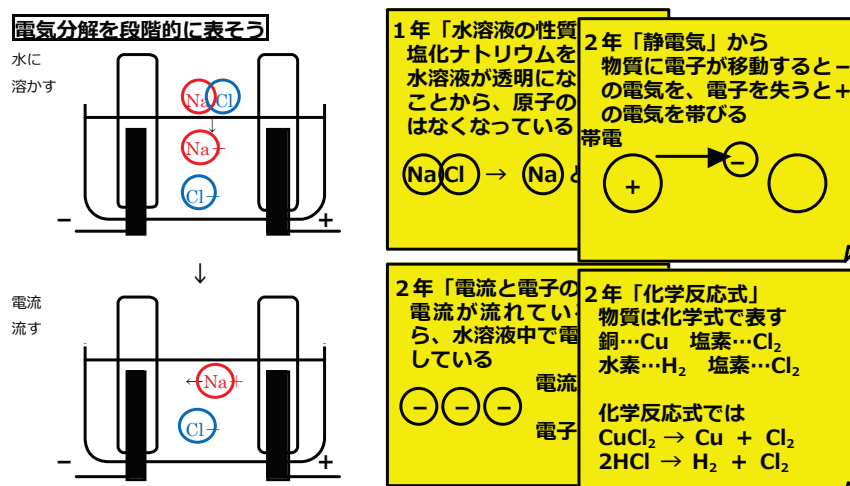


図4 実験班内での議論に用いたホワイトボードの例

【第7時】第6時の予想を基に、生徒は実験班ごとにタブレット端末で録画しながら電気分解を行う。電気分解によって陰極に生成した物質は図5に示した「説明シート」の水色の欄に、陽極に生成した物質は桃色の欄に記入する。その後、実験結果については実験班で考察し、その内容を記入する。

説明シート 3年 組 氏名

学習問題 4種類の電解質水溶液を電気分解すると、どのような物質が生成されるだろうか。

**予想**

- 塩化ナトリウムは陰極からナトリウム、陽極から塩素が生成すると思う。
- 硫酸銅は陰極から銅、陽極から硫酸と酸素が生成する。
- 硫酸は陰極から水素、陽極から硫酸と酸素が生成すると思う。
- 硫酸ナトリウムは陰極からナトリウム、陽極から硫酸が生成すると思う。

物質名【化学式】	陰極	陽極
塩酸【塩化水素水溶液】 $[\text{HCl}]$	水素 $\text{H}_2$	塩素 $\text{Cl}_2$
塩化銅水溶液 $[\text{CuCl}_2]$	銅 $\text{Cu}$	塩素 $\text{Cl}_2$
塩化ナトリウム水溶液 $[\text{NaCl}]$	水素 $\text{H}_2$	塩素 $\text{Cl}_2$
硫酸銅水溶液 $[\text{CuSO}_4]$	銅 $\text{Cu}$	酸素 $\text{O}_2$
硫酸（水で薄めてある） $[\text{H}_2\text{SO}_4]$	水素 $\text{H}_2$	酸素 $\text{O}_2$
硫酸ナトリウム水溶液 $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$	水素 $\text{H}_2$	酸素 $\text{O}_2$

**実験班での考察**

塩化ナトリウムを電気分解すると、陰極から水素、陽極から塩素が生成した。各電極から生成される物質は決まっていたが、ナトリウムは取り出すことができなかった。

**学習問題** 電解質が化学式通りに電気分解できないのはなぜだろうか。

**電気分解で生成した物質のきまり**

- 水素や銅は陰極に生成する ・塩素や酸素は陽極に生成する
- ナトリウムがあるときには水素が生成する
- 硫酸を含む電解質は硫酸が生成しない

**電気分解を段階的に表そう**

**1年「静電気の性質」**

2年「静電気」から物質に電子が移動すると-の電気を、電子を失うと+の電気を帯びる

**2年「電流と電子の移動」**

電流が流れていることから、水溶液中で電子が移動している

**2年「水の電気分解」**

水には電流が流れないので、水酸化ナトリウムを水に溶かして電気分解を行った。陰極からは水素  $\text{H}_2$ 、陽極からは酸素  $\text{O}_2$

水素：酸素 = 2：1

**考察**

塩化ナトリウムは水に溶けて電気を帯びた状態となり、+の電気を帯びた原子は陰極、-の電気を帯びた原子は陽極へ移動することで物質として取り出せる。ナトリウムのように電気分解で取り出すことができない原子もあり、その場合は水が分解される。だから、化学式通りに電気分解されない。

図5 持ち寄った実験結果をまとめ、電気分解の仕組みを整理するための説明シートの例

【第8時（本時）】各自が持ち寄った実験結果を「説明シート」に記入する。その際、ナトリウムや硫酸が電極に生成しないことを疑問に思った生徒の発言を取り上げて、学習問題「電解質が化学式通りに電気分解できないのはなぜだろうか」を設定した。「ホワイトボード」には水溶液中に存在する粒子のモデルとなる「水素」「銅」「ナトリウム」「塩素」「酸素」「硫酸」のマグネットを6種類用意しておき、マグネットを操作することによって生成する物質のきまりについて考えることができるようにした。また、電解質によっては溶媒である水が電気分解されているのではないかと生徒が気付いたときには、2年次に学習した「水の電気分解」で陰極、陽極に発生した気体の体積比に着目するように促し、タブレット端末で記録した結果から硫酸と硫酸ナトリウムでも水素：酸素がおおよそ2:1で生成していることを確認することができるようにする。そして、既習の知識を活用しながら電気分解で生成する物質について、モデルや文章でまとめるようにした。

以上の学習を通して、生徒は複数の実験結果を分析し解釈する力を高め、電解質によっては溶媒である水が分解されて電極に水素や酸素が生成し、電解質は水溶液中にとどまっていることを説明することができる考えた。



3. 授業の実際と考察

3.1 本時の指導案

(1) 主眼

電解質が化学式通りに電気分解できない理由について考える場面で、既習の知識を基に、実験結果の共通点と相違点に着目して、電気分解で生成する物質のきまりについて考えることを通して、電解質によっては溶媒である水が分解されて電極に水素や酸素が生成し、電解質は水溶液中にとどまっていることを説明することができる。

(2) 本時の評価規準

電解質によっては溶媒である水が分解されて電極に水素や酸素が生成し、電解質は水溶液中にとどまっていることを説明している。

(3) 展開

段階	学習活動	予想される生徒の反応	◇教師の指導・援助	時間	備考
課題を把握し	1 前時の実験結果を持ち寄る。	ア 電気分解でナトリウムや硫黄が生成すると考えていたが、取り出せなかった。 イ なぜ、電気分解で生成する物質は化学式通りではないのだろうか。	◇タブレット端末を用いて、前時の実験を振り返り、生成した物質や疑問を発表するように促す。	8分	実験結果を記録したタブレット端末「説明シート」 「ホワイトボード」 マグネット（水素、銅、ナトリウム、塩素、酸素、硫黄） 付箋紙 マーカー
	2 実験結果を確認し、学習課題を把握する。	ウ 電気分解した電解質水溶液の結果や既習の知識から分かることはないだろうか。 エ 塩酸や塩化銅は化学式通りに生成しているが、分担した電解質は化学式通りに生成するものそうでないものがある。 オ 水素は必ず陰極に、酸素は必ず陽極に生成するから、きまりがあるのだろうか。	◇「説明シート」の実験結果から、陰極と陽極に生成した物質について学習班で確かめるように促す。 ◇エやオのような考えを取り上げて、学習課題とし、全体で確認する。	7分	
	3 電気分解で生成する物質のきまりについて考える。	カ どの電解質で電気分解をしても、陰極と陽極に生成する物質は決まっていた。電極に生成した物質が水溶液中で+や-に帯電していると考えてみたらどうだろうか。 キ 銅や塩素は電気分解で取り出すことができるが、ナトリウムや硫黄は電気分解で取り出すことができない。 ク 取り出すことができない電解質のときには水素や酸素が生成しているようだ。 ケ 硫酸ナトリウムを化学式で表すと水素(H)を含まない。もしかしたら、水素は水から生成しているかもしれない。 コ 水の電気分解では、水素：酸素が2：1で発生していた。硫酸や硫酸ナトリウムの結果を動画で確認すると、確かに水素：酸素はおよそ2：1になっている。 サ 溶質（電解質）にばかり注目していたが、溶媒（水）が電気分解されたと考えれば、陰極から水素が生成したといえそうだ。	◇持ち寄った実験結果の共通点と相違点から、生成した物質のきまりを学習班で考えるように促す。 ◇学習班で「ホワイトボード」のマグネットを操作しながら、水溶液中の様子について考えるように促す。 ◇電気分解で生成する物質のきまりを全体で確認する。 ◇電解質だけに注目している場合は、水に着目したケのような考えを取り上げ、「水の電気分解」との比較について全体で確認する。 ◇硫酸、硫酸ナトリウムで生成した水素：酸素の体積比をタブレット端末の映像で確認するように促す。	20分	
追究し		本時の評価規準に達していない生徒への手だて ①生成する物質のきまりが見いだせない生徒には、持ち寄った結果を「ホワイトボード」で共にマグネットを操作しながら考えるようにする。 ②溶質から水素や酸素が生成すると考えている生徒には、硫酸(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )の水素と酸素の原子数と実験結果の体積比を比べるように促す。			
	4 電気分解で生成する物質のきまりについて考察する。	シ 電解質によっては、溶媒である水が電気分解されることは結果から言えそうだ。 ス 陰極に生成する銅は+の、陽極に生成する塩素は-の電気を帯びて移動していると思う。電極に移動した原子が集まって物質が生成する。電解質の種類によっては水が電気分解されて、水溶液中に残ってしまう原子もあることが分かった。 セ 硫黄は水溶液中で帯電していないのではないか。帯電しない硫黄は水溶液中に残ってしまうと考える。硫黄は、水溶液中にどのように存在しているのか、もっと考えてみたい。	◇書きためた付箋紙や段階的に「説明シート」へまとめた電解質水溶液中の様子を参考に、電極に生成する物質について個人でまとめるように促す。 ◇シやスのような、既習の知識や実験結果から考察した発言を全体に広げる。 ◇セのような考えがある場合は、全体で取り上げてイオンについて触れ、次時につなげる。	15分	
まとめ					

### 3.2 電気分解の結果と既習の知識を活用することによるY生の変容

以下、Y生の授業を通しての変容を示す<sup>7)</sup>。

【第4-5時】Y生は、塩酸、塩化銅水溶液の陰極と陽極から生成する物質を実験から確かめ、その化学反応式を付箋紙に記入し(図6)、水溶液中の様子について予想した。第6時では、2年次「静電気」の付箋紙と塩化銅水溶液の電気分解の結果を基に、硫酸ナトリウムの電気分解で生成する物質について予想を記入した。第7時では、実験班で硫酸ナトリウムの電気分解の実験を行い、陰極から水素、陽極から酸素が生成したことを確認した。その後考察を「説明シート」に記入した(図7)。また、第6時に予想した水溶液中の様子について、2年次に学習した内容の「静電気」の付箋紙と3年次に学習した「ナトリウム」の付箋紙を入れ替え、予想を図8に示したようにかき直した。

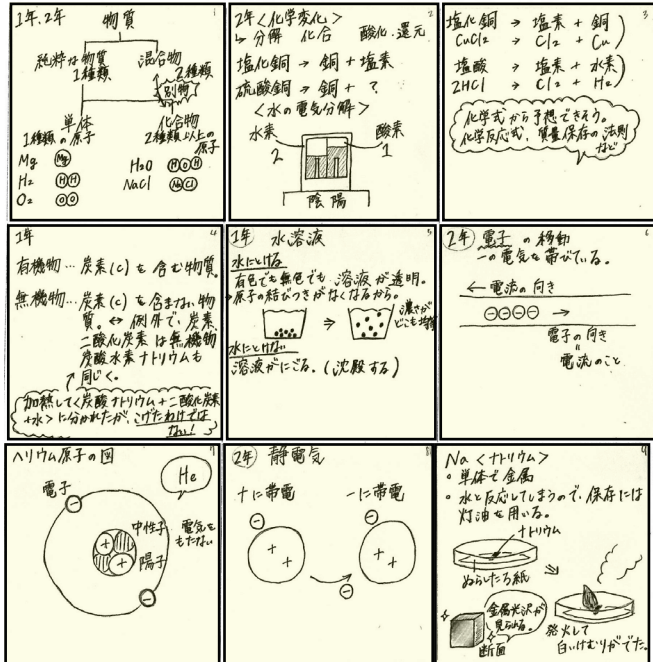


図6 Y生の作成した付箋紙一覧

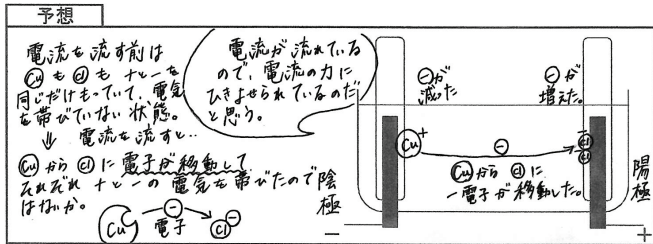


図7 Y生が説明シートに記述した予想

Y生は、第4-6時において、塩化銅水溶液に電流を流すと陰極から銅、陽極から塩素が生成した結果と2年次「静電気」の付箋紙を基に、銅は+、塩素は-に帯電し、+に帯電した銅は陰極へ、-に帯電した塩素は陽極へ引き寄せられたと考えた。そして、硫酸ナトリウムでは、金属であるナトリウムは+、非金属の固体である硫黄は-に帯電し、ナトリウムが硫黄に電子を渡すのではないかと予想した。そして、硫酸ナトリウムの化学式から、水溶液に電流を流すことによって+に帯電したナトリウムは陰極、-に帯電した硫黄は陽極へ移動して生成すること、電子の受け渡しを行わない酸素は電極から生成せずに気体となって空气中へ放出すると考えた(図8)。

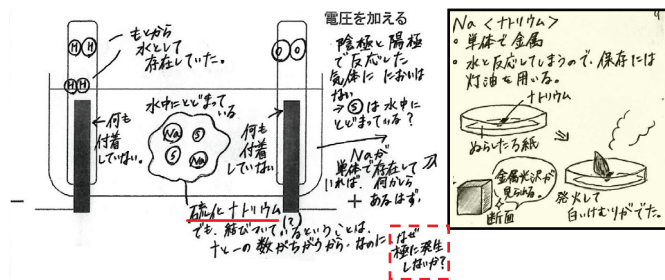


図8 Y生が実験班内で考察した場面の説明シートの記述

【第7時】Y生は、硫酸ナトリウムを電気分解すると化学式に含まれていない水素が陰極に生成したことから、水素は溶媒である水から生成したのではないかと考えた。しかし、

実験班での考察  
陰極と陽極で発生した気体においほは、 $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ が生成したことから、 $\text{H}_2$ は発生せず、 $\text{O}_2$ が水の成分として分解されたのだと思う。また、どちらの極にも物質は付着してなかったことから、 $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ は水中にとどまっていたのだと思う。ただ、 $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ が別々に存在していたら、 $\text{H}_2$ は水と結びついて引火してしまうはずなので、 $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ が結びついた硫化ナトリウムとして存在しているのだと思う。

図9 実験班内でのY生の考察

陽極に生成した酸素については、水中にとどまっている原子がナトリウムと硫黄だけであるととらえたことから、硫酸ナトリウムが分解されたものだと考えたことが伺える。そしてY生は、単体のナトリウムが水と激しい反応を起こすことを理由に、ナトリウムは水溶液中では単体で存在せず、硫黄と結び付いて硫化ナトリウムになっていると考えたとともに、その場合なぜ陽極、陰極のいずれにも硫化ナトリウムが付着せず、代わりに酸素が生成されたのか新たな疑問を抱いた。これは、電気分解の結果と既習の知識を活用することで、硫酸ナトリウム水溶液中の様子を予想することができた姿であると考えられる。

【第8時（本時）】Y生は、塩化ナトリウム水溶液の電気分解を分担したH生、硫酸銅水溶液を分担したN生、硫酸を分担したK生と学習班になり、タブレット端末を使って説明しながら陰極と陽極に生成した物質を「説明シート」の結果の表にまとめた（図10）。そして電解質水溶液中の様子について、ホワイトボードでマグネットを操作しながら、次のように意見を交わし合った。

結果		
物質名【化学式】	陰極	陽極
塩酸（塩化水素水溶液）【HCl】	水素（ $\text{H}_2$ ）	塩素（ $\text{Cl}_2$ ）
塩化銅水溶液【 $\text{CuCl}_2$ 】	銅（ $\text{Cu}$ ）	塩素（ $\text{Cl}_2$ ）
塩化ナトリウム水溶液【NaCl】	水素（ $\text{H}_2$ ）	塩素（ $\text{Cl}_2$ ）
硫酸銅水溶液【 $\text{CuSO}_4$ 】	銅（ $\text{Cu}$ ）	酸素（ $\text{O}_2$ ）
硫酸（水で薄めてある）【 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 】	水素（ $\text{H}_2$ ）	酸素（ $\text{O}_2$ ）
硫酸ナトリウム水溶液【 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 】	水素（ $\text{H}_2$ ）	酸素（ $\text{O}_2$ ）

図10 Y生が学習班でまとめた実験結果の表

- N 生 1 : 水は何かを溶かさなければ電気を流さないから、[陽極の H を水分子に戻して] H が動いたということは、[NaCl を指して] NaCl が作用しているのではないのでしょうか。僕以外は全て水素と酸素が出てきています。ナトリウムを含む硫酸ナトリウムと塩化ナトリウムは、[H<sub>2</sub>O の H 2 個を陰極へ移動して] 水素が出てきたときに硫酸よりも激しく泡が出てきたのではないですか。それは、ナトリウムが関係しているように思えるのです。
- H 生 2 : [Na を指して] でも、最終的にどこに行くのでしょうか。水に溶けたと予想したのですが、それを確かめる方法がないから分かりませんでした。
- Y 生 3 : 水中にとどまっているのではないかと思います。電極にはナトリウムとか硫黄は出てきませんでした。出てこなかったから水中にあるのではないかと考えました。[図を指して] こういう感じでとどまっているのではないかと思います。これを確かめる方法はないのでしょうか。
- H 生 4 : ないけれど、電極には発生していないから、[図を指して] この中にあるのではないかと
- Y 生 5 : と思っています。
- H 生 6 : では、酸素は空気中に出たということですか。  
[水中の O を空気中へ移動する]
- N 生 7 : 空気中に出たのですか。
- H 生 8 : それは分かりません。
- Y 生 9 : 確かめられなくて。
- H 生 10 : [空気中の O を水中に戻して] 酸素は置いていかれたのかな？
- N 生 11 : -の電子が移動して、Cl についたから-の電気を帯びて陽極へ来たのですよね。水素は-の電子を失ったから+の電気を帯びて陰極に集まった。
- H 生 12 : [残った Na を指して] で、ナトリウムが何かしているってことでしょうか。それは何でしょうか。
- N 生 13 : 硫黄もナトリウムも水に入ってはいけないものではないでしょうか。[Na を指して] 水とナトリウムは反応してしまいます。硫黄は水に溶けないです。
- Y 生 14 : [「説明シート」に貼付したナトリウムの付箋紙を指して] 以前、ナトリウムの実験をしましたよね。Na と S が単体ではありませんが、1 個ずつ存在していたら何かしら起こるはずですが。何も起こらなかったということは Na と S が結び付いた硫化ナトリウムという物質になっているのかなと思いました。でもそうだとしたら、固体になって姿が見えてきてしまうはずなのに、見えなかったからなぜだろうと思っています。



タブレット端末で説明する Y 生

ここで、教師は話し合いを止め、全体で「水の電気分解が起きているのではないか」という生徒の考えを全体に広げ、水溶液中には電解質以外に水分子が存在していることを確認した。Y 生の班では水が電気分解されると水素と酸素が生成することに着目し、さらに意見を交わし合った。



- K 生 15 : 水も電流を流したら電気分解しますよね。
- Y 生 16 : しますよね。精製水だって何かを溶かせば電気分解するはずですよ。
- K 生 17 : そう、溶かすことで電流が流れます。
- Y 生 18 : [NaCl を指して] これがあるから、電流が流れるのではないのでしょうか。
- H 生 19 : 水の電気分解。
- Y 生 20 : [図 10 を見ながら] 水素と酸素ですね。
- H 生 21 : 水素と酸素。酸素は出ていましたか。
- Y 生 22 : 塩化ナトリウムのときは塩素が出ています。
- N 生 23 : 電極から出る物質は一つじゃないのですか。
- Y 生 24 : うん、一つ。一つだと思います。
- H 生 25 : 水の電気分解…。混ざってしまいますね。
- Y 生 26 : 塩化ナトリウムは酸素が出ていないですね。
- H 生 27 : じゃあ、酸素はどこに行ったのでしょうか。塩化ナトリウムのときは水素だけ、水素と塩素が出てきています。水が電気分解されているとしたら、酸素はどこに行ったのですか。
- N 生 28 : 一つの電極に一つの物質しか発生できないとしたら、先に塩素が出てしまうのではないのでしょうか。[NaCl の Cl を陽極へ移動して] NaCl は溶けて、Cl は陽極に出るでしょう。[H<sub>2</sub>O の H を陰極へ移動して] そして、H<sub>2</sub>O の H が陰極に出てしまったら、電極に一つの物質しか発生できないとしたら、[陰極、陽極を指して] もう電極は満杯でしょう。
- H 生 29 : [O を指して] では、酸素はどこに行ったのですか。
- N 生 30 : この中にとどまってしまっているのでしょうか。
- K 生 31 : 溶けちゃった。酸素って、ちょっと水に溶けるじゃないですか。
- N 生 32 : でも、この酸素は最初から水を構成しているものだから。
- K 生 33 : ああ、そうか。溶けちゃったというより元々あったものですね。
- Y 生 34 : 一つの電極に一つしか発生できないとしたら、どうでしょうか。
- N 生 35 : そう考えた方がよいと思います。
- Y 生 36 : そうしたら、塩素と酸素では、物質によって同じ電気を帯びていても電極に引かれる強さが違うのかもしれない。強いマイナスとか、弱いマイナスとかあって、先にどちらかが電極にくっついてしまったら、もう片方は弱いからくっつけなくてとどまってしまうということでしょうか。



マグネットで考えるY生の班

その後、硫酸水溶液で生成した水素は、硫酸水溶液と水のどちらが分解されたものか、タブレット端末の映像で確認するという教師の提案を受け、Y 生は硫酸と硫酸ナトリウムの電気分解をタブレット端末で撮影した動画を見返し、水素と酸素の体積比が 2:1 であることを確認した。また「硫酸が分解しているのなら、水素：酸素=1:2 になるはず」という N 生の意見を聞いて、Y



生は2年次「水の電気分解」の付箋紙を「説明シート」に貼付し、考察を記入した(図11)。

Y生はナトリウムが生成しなかったことへの疑問(N生1, H生2)に対して、ナトリウムや硫黄は水中にとどまっていると予想したことを説明した(Y生3)が、それを確かめる方法がないこと(Y生5)や、硫酸ナトリウムから酸素が生成していると考えていたため、水が分解されたときに生成した酸素に対する質問(H生6)に答えることができなかった(Y生9)。

物質の生成

2年「化学変化」  
 ↳ 分解 化合 酸化還元  
 塩化銅 → 銅 + 塩素  
 硫酸銅 → 銅 + ?  
 <水の電気分解>  
 水素 2 酸素 1  
 陰陽

考察

陰極と陽極に発生した気体の体積比は2:1だったから、硫酸ナトリウムに含まれる水が電気分解された分は、ナトリウムと硫黄はどちらの極にも付着してはなかったから、水の中にとどまっているのだと思う。ただ、④は水に溶けると反応して爆発してしまうから、④と⑤が結び付いた「硫化ナトリウム」という形で存在していたと考えられる。しかし「硫化ナトリウム」は、ナヒーで引き合っているという点から、④と⑤は異なる種類の電気を帯びていたという点がある。なぜ極に発生しなかったのかはわからない。多分、④も⑤も水に溶け、一も帯びていなければ、④と⑤の電気の力のほうが強く、極に発生できなかったのだと思う。

硫酸(水で薄めてある)【H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 】	水素(H <sub>2</sub> )	酸素(O <sub>2</sub> )
硫酸ナトリウム水溶液【Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 】	水素(H <sub>2</sub> )	酸素(O <sub>2</sub> )

図11 Y生の説明シート上での最終的な考察結果

その後、ナトリウムと硫黄の性質から、水溶液中にとどまっていることに納得できずにいたN生の発言(N生13)に対して、Y生は3年次「ナトリウム」の付箋紙を基にナトリウムと水の反応に着目し、水溶液中でナトリウムと硫黄が結び付くことで、それぞれの原子が単体で存在しないことを説明できると考えた(Y生14)。しかし、それらが結び付くことで硫化ナトリウムという物質が固体として水溶液中に見えないことに更に疑問をもったことが伺える(Y生14)。

その後、Y生は水の電気分解に着目した発言(K生15, 17)から、電解質は電流を流すきっかけで、場合によっては溶媒である水が電気分解されることに気付いた(Y生18, 20)。

そしてY生が、塩化ナトリウムでは陽極から酸素が生成しないことに疑問を投げかける(Y生26)と、酸素の行方について話題が焦点化された。Y生は、電極に一つの物質しか生成しないとすれば、塩素が先に出てしまうというN生の意見(N生28)に大きくうなずいていた。そしてY生は、N生の意見(N生28)を基に、電解質や溶媒である水は電気を帯びても電極に引かれる強さに違いがあるのではないかと考えた(Y生36, 図11)。さらに、「硫酸が分解しているのなら、水素:酸素 = 1:2になるはず」というN生の意見を聞いて、硫酸を電気分解しても水が電気分解されるのではないかとY生が考えたことは、「説明シート」に2年次「水の電気分解」の付箋紙を貼付したことから伺える(図11)。そしてY生は、2年次「水の電気分解」の付箋紙を基に、硫酸ナトリウムでも水が電気分解されていることをタブレット端末の動画から確かめたことで、硫酸ナトリウム水溶液でも水が電気分解されているというところを深めることができた。これは、電解質によっては溶媒である水が分解されて電極に水素や酸素が生成し、電解質は水溶液中にとどまっていることを説明できた姿である。

以上の観察結果より、既習の知識を活用しながら実験結果の共通点と相違点に着目して、電気分解で生成する物質のきまりについて考える場を位置付けることは、複数の実験結果を分析し解

積することに有効であることが明らかになった。

### 3.4 単元を振り返った生徒の姿

単元を振り返ってY生は、生成しない物質について話し合うことで様々な考えが生まれ、活発な話し合いができたことを記述した(図12)。この記述からY生は、電気分解の仕組みを説明するため、6種類の実験結果から電極に生成しない物質を共通点にしながら意見を交わし合ったこと

塩酸(HCl)や塩化銅(CuCl<sub>2</sub>)などとちがって、化学式通りに分解  
できず、というのが今日の一番の難しいところでした。出て行った  
物質は、いったいどこへ行ったのかを話し合ったら、「何れも結びついて  
金属がうもりに残っている」「水中にとどまっている」といった様々な  
考えが生まれてきて、活発な話し合いができたきっかけにもなりました。

図12 Y生の単元の振り返りの記述

により自らの考えを深めたことが伺える。また、硫酸ナトリウムを構成するナトリウムや硫黄の行方については確かめることができない中で、6種類の電解質水溶液を電気分解することによって得られた結果を比較し、溶媒である水の存在に視点を広げることで、イオンを使わなければ説明できない段階まで実験結果について話し合ったり、考察したりする姿が見られた。本単元を通して「電極に生成しない物質は何らかの形で水中にとどまっている」や「電気を帯びても電極に引かれる強さに違いがあるのではないか」と考えたことは、イオンの存在やイオン化傾向などY生がイオンの概念をとらえることができたことを示唆している。

このように、複数の実験結果を分析し解釈する力を高めたY生のような生徒の姿が、授業学級の生徒39名に対して約9割見られた。それらの生徒は単元終了後のアンケートで「電気分解の仕組みを考えるために、単元を通して既習の知識を付箋紙に書きためたことについて」という問いに対して、既習の知識を書きためた付箋紙を「予想のときや話し合いのときに根拠として利用できた」ことを記述した(図12)。また、「ホワイトボード上でマグネットの原子モデルを用いて意見を交わし合ったことについて」という問いに対して、「視覚的に情報が入ってくるので理解しやすくなり、原子の数を確認したり、移動の様子を考えたりすることもできた」ことを記述した

(図12)。これらの記述から、既習の知識を付箋紙に書きためて活用したことやホワイトボード上でマグネットを操作したことは、電気分解の仕組みや電解質水溶液中の様子を考える上で有効であったことが伺える。

一方でI生のように、既習の知識を活用できず、電解質が水溶液中で電気を帯びたり、電気分解で生成する物質のきまりについて考えたりすることができなかった姿が見られた(図13上)。I生は単元終了後のアンケートで、電極に生成しなかったナトリウムについて「Naは消えたということについて

図13 I生の説明シートの一部(上)と振り返りの感想(下)

原子の数が合うという常識をねじ曲げて考えた」と記述した(図13下)。この記述からI生は、電解質が電極に生成しないことと電解質が水溶液でどのように存在しているのかを関連付けてイメージできなかつたと考えられる。このことから、視覚的にとらえることができない原子やイオンなどをモデルで表し、複数の実験結果とモデルを関連付けて考察するための手だての在り方を究明する必要性が今後の課題としてあげられる。

#### 4. おわりに

既習の知識を活用しながら、実験結果の共通点と相違点に着目して、電気分解で生成する物質のきまりについて考える場を位置付けることは、複数の実験結果を分析し解釈する力を高めることに有効であることが明らかになった。今後、視覚的にとらえることができない原子やイオンなどをモデルで表し、複数の実験結果とモデルを関連付けて考察するための手だてのあり方について多くの実践例を示していくことが必要である。また「イオン」の概念を与えてから実験を行うのか、「イオン」の概念を導入するまでに試行錯誤をくり返すのがよいのかなどを、実験群、統制群に分けた実証研究なども必要であると考えている。

一方、「イオン」の概念を導入する際に「電気分解のしくみ」に基づいて提示することに対する問題点も多く提唱されている。これは、イオンの移動を電気泳動実験によって可視化することにより、物質が電極に向かって移動する現象から荷電粒子の存在を考えなければ、「イオン」の概念の必要性を完全に説明したことにはならないという主張である<sup>8)9)10)</sup>。電気泳動実験は、時間や手間がかかる、実験の再現性が低いなどの授業運営上での問題点も挙げられている。現在、中学校理科で用いられている教科書全5社のうち3社の教科書では電気分解、残りの2社では電気泳動をイオン概念の導入に用いているように、意見の分かれるところである。今後、電気分解実験と電気泳動実験の両者を組み合わせたような知識構成型ジグソー法の構築も期待される。

さらに、理論的な枠組としては、福田、遠西が主張しているように、「イオンは見えないが、イオンの存在を信じることによって構成される理論体系全体が経験の審判を受け、理論体系全体にコミットできるとき、その構成要素であるイオンの存在を確信できると考えられる」と筆者らも考えている<sup>5)</sup>。今回の観察や実験による経験的事実に基づいて、理論体系における周辺的な事実のみでイオン概念に近づこうとすることは可能である。概念そのものの説明にはほど遠い状況であるにもかかわらず、理論体系全体に関与できれば、生徒らの中にもこのような事実の系統性の上に推論し、イオン概念を確証できるのではないかと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省、「中学校学習指導要領解説 理科編(平成20年)」,(2008).
- 2) 東京大学大学発教育支援コンソーシアム推進機構(CoREF),「協調学習 授業デザインハンドブック—知識構成型ジグソー法を用いた授業づくり—」,(2015).
- 3) (財)コンピュータ教育開発センター,「学力向上 ICT 活用指導ハンドブック」  
<http://www.cec.or.jp/monbu/19ict.html>, (2008).

## イオン概念形成のための授業構築

- 4) 菊池洋一・高橋 治・坂本有希・佐藤明子・武井隆明・村上 祐, イオン学習をどのように位置づけるか: 旧教育課程における中学校教師のアンケートを通して, 理科教育学研究 46 巻 1 号, p.15-24 (2005).
- 5) 福田 恒康・遠西 昭寿, 科学理論の内部構造の理解に留意したイオン概念の指導, 理科教育学研究, Vol. 55, No. 3, p. 333-340 (2014).
- 6) 辰巳 敬ほか, 平成 24 年度版 高等学校理科用「化学」, 数研出版, (2012).
- 7) 平成 28 年 長野県中学校連合教科研究会レポート, 信州大学教育学部附属長野中学校 理科, (2016).
- 8) 檜田豪利・森川鐵朗, 電流とイオン流との間の「類推」の実験学習, 化学と教育, 51 巻 9 号, p. 569-570 (2003).
- 9) 勝部翔太郎・園山裕之・西山 桂, 中学校理科におけるイオン概念形成を目的とした電気誘導実験の導入とその教材開発, 島根大学教育臨床総合研究 13 号, p. 111-123 (2014).
- 10) 吉田英男・桐生 徹, 「水溶液とイオン」における実験教材の開発と評価に関する研究, 日本科学教育学会研究会研究報告, 29 巻 4 号, p.89-94 (2015).

## 付 記

本実践研究の一部は, 信州大学教育学部附属長野中学校 平成 28 年度中学校教育研究会 (春の公開) での実践をまとめたものである。

(2016年11月 8日 受付)  
(2016年12月13日 受理)