

「化学変化と化学反応式」の理解を促すための指導

筑波大学附属視覚特別支援学校

佐藤 深五

1 はじめに

意欲的に実験には取り組んでいるのに、実験を論理的に理解しようとすると、たちまち躓いてしまう生徒が多い。このことは、事物・現象に積極的に関わることができる一方、科学的に探究する力を身に着けることが困難であることを示している。また、内容の複雑さは理科嫌いを助長することとなる(宮城、1993)。なぜ生徒たちは、理科の理論的な内容は複雑であると感じてしまうのだろうか。電気分解の実験などにおける観察可能な現象を巨視的レベルという。そして、分子や原子など目には見えない粒子の概念を微視的レベル、化学式や化学反応式等の描写を記号的レベルという(小倉、藤井、2013)。巨視的レベルは観察可能な現象で実体験を伴うため、生徒たちにとって理解しやすいレベルである。一方、微視的レベルや記号的レベルは、実生活とは完全にはかけ離れた世界であるため、生徒たちがこれらのレベルを理解できないのも無理はない。生徒が躓かないためには、生徒たちが時間をかけてこれらのレベルを理解することが重要である。また、生徒の理解度を図るために、授業における対話も欠かせない。

本稿では、中学 3 年「塩酸の電気分解」の考察について、対話を多く取り入れた授業実践例を、教員(T)と生徒(S)との対話形式で紹介したい。なお、授業実践例の前に、電気分解の考察の授業に至るまでの生徒の学習の過程も紹介する。

2 学習の流れ

1. 中学 1、2 年生における化学反応式

中学 1、2 年生では、化学変化を伴う実験を行うたびに化学反応式を取り扱った。原子について学習はしていなくても、物質は記号で表すことができることや、反応前と反応後で記号の数に変化がないことなどを理解させながら、記号的レベルの概念構築を中学 1 年生の段階から図った。最初は化学反応式を生徒自ら構築できず、反応式を生徒に提示していた。しかし、回数を重ねるにつれ化学変化の前後の物質の化学式を提示するだけで生徒自身の力で式を導けるようになった。

2. 中学 2 年生での原子の学習

原子に関する講義を行った。すべての物質は原子という粒子から構成されていることや、物質を、混合物や純物質、化合物や単体、分子や分子以外の物質など、様々な観点から分類することができることを 1 時間の授業で学習した。粒子レベルは授業で初めて取り扱ったが、記号的レベルに慣れていたためか、比較的円滑に原子や分子について理解した。

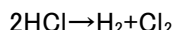
表 1. 中学 1、2 年生で扱った化学変化と化学反応式

① 酸素の発生	$2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
② 二酸化炭素の発生	$\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
③ 水素の発生	$2\text{HCl} + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$
④ アンモニアの発生	$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$
⑤ 炭酸水素ナトリウムの熱分解	$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
⑥ 酸化銀の熱分解	$2\text{Ag}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Ag} + \text{O}_2$
⑦ 水の電気分解	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
⑧ 水素と酸素の化合	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
⑨ 鉄と硫黄の化合	$\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$
⑩ 硫化鉄と塩酸の反応	$\text{FeS} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$
⑪ 鉄の酸化	$2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$
⑫ マグネシウムの酸化	$2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$
⑬ 酸化銅の還元	$2\text{CuO} + \text{C} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{CO}_2$

3. 塩酸の電気分解の実験

林(2012)は、中学校 3 年「電気分解」の学習過程の例として、実験後に粒子モデルを用いた展開を例示している。本稿でもそれに倣い授業を展開した。

ホフマン型電気分解装置を用いて、塩酸の電気分解を行った。実験は、二人一組で行い、電源装置および電気分解装置は二人の中央に配置した。電極の取り付けおよび発生した気体の検出は生徒が行った。このとき、陽極の電極を取り付けた生徒は陽極で発生した気体(塩素)の検出を行い、陰極の電極を取り付けた生徒は陰極で発生した気体(水素)の検出を行うようにさせた。発生した気体を検出した後に水素および塩素の分子式を生徒と一緒に確認した。塩酸の電気分解の化学反応式は生徒たち自身で導き出した。塩酸の電気分解の化学反応式は、



となる。中学 1、2 年生の段階で十分に化学反応式を立てられるようになっていたため、上記の式を求めるのは順調であった。

4. 原子およびイオンに関する講義

原子の構造や電子殻、電子配置およびイオンに関する講義を 2 時間にわたって授業した。電子殻は K 殻、L 殻、M 殻など複数あることや、最外殻電子は 8 個以下であること、原子番号 1 番から 18 番までの電子配置を扱った。電子配置について、墨字の生徒は図を提示して授業を行った。点字の生徒については、アルゴン原子の電子配置の点図を 1 枚提示した後、原子番号 1 番から 18 番までの電子配置を文字にしたプリントを配布した(表 2)。電子配置の図ではなく表を用いることで、原子番号の増加とともに最外殻電子が増加することに気づいたり、各原子における電子の合計数を導き出したりすることができるようになった。また、こ

の表を用いることで、イオンの学習も円滑に進んだ。表を見ながら、塩素原子は電子を 1 個もらうとネオン原子と同じ安定な電子配置になることや、水素原子は電子 1 個失うと、安定な電子配置になることを確認した。

表 2 点字生に配布した電子配置のプリント(墨訳)

H K1							He K2
Li K2 L1	Be K2 L2	B K2 L3	C K2 L4	N K2 L5	O K2 L6	F K2 L7	Ne K2 L8
Na K2 L8 M1	Mg K2 L8 M2	Al K2 L8 M3	Si K2 L8 M4	P K2 L8 M5	S K2 L8 M6	Cl K2 L8 M7	Ar K2 L8 M8

3 授業実践例(塩酸の電気分解の考察)

1. 粒子モデルを用いた考察

上記「2 学習の流れ」で述べた学習の後に、塩酸の電気分解について考察した。まず、粒子モデルを用いて塩酸の電気分解について探究を行った。教員(T)と生徒(S)との対話形式で以下に手順を述べていく。

(1) 粒子モデルの提示

T:これから、塩酸の電気分解の考察を行います。机の上に、ホワイトボードがあります。ボードの両端に、同じ大きさの丸い磁石が 2 つずつあります。右手の磁石はただの丸だけど、左手の磁石の中には、もう 1 つ小さい磁石があります。この小さい粒が何かは後で説明します。中に小さい磁石がある左手の丸磁石を水素原子、ただの丸い右手の磁石を塩素原子とします。さて、塩酸は何が水に溶けたものだったでしょうか？

S:塩化水素！ 塩化水素の化学式は HCl だから、H の原子と Cl の原子をくっつけたものが塩化水素の分子だ。

T:その通り！ では、水素原子と塩素原子を使って、塩化水素の分子を 2 つ作ってください。

S:(4 つの原子すべてくっつけて)できた！

T:残念！

S:違うの？ (試行錯誤して)できた！

T:正解です！ さて、このホワイトボードを電気分解装置とします。塩酸が、このホワイトボードの中に入っていると考えてくださいね。

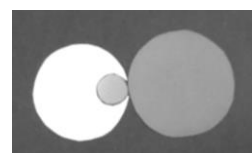


図 1 粒子モデル
(塩化水素分子。左が水素原子、右が塩素原子、水素原子内部の粒子が電子)

生徒たちが試行錯誤を繰り返しながら答えにたどりつく様子が見られた。

(2) 電気分解による気体の発生

T: 電気分解では、陰極と陽極にそれぞれ何が発生しましたか？

S: 陰極に水素、陽極に塩素！

T: では、ホワイトボードの左側を陰極、右側を陽極とします。4つの原子を陰極と陽極に動かしてください。

S: できました！ 左手に水素、右手に塩素の磁石をもってきました。

T: 正解！ では、気体の水素の化学式は何でしたか？

S: H_2 だから、2つの磁石をくっつけなきゃいけないんだ。

T: そうですね。塩素は？

S: Cl_2 だから、これもくっつけないと。

(3) 電極に集まる粒子

T: どうして陰極に水素、陽極に塩素が集まるのでしょうか？

S: ...。

T: 陰極の別名は？

S: マイナス極！

T: マイナス極にはどんな粒子が集まりそう？

S: プラスの粒子？

T: そうですね！ プラスは別名何でしたか？

S: あ、陽イオン！ 陰極に陽イオンが集まって、陽極に陰イオンが集まるんだ。

T: ホワイトボードの陰極には今何が集まっている？

S: 水素原子。これが陽イオンなんだ。

T: では陽極には何が集まっていますか？

S: 塩素原子で、これが陰イオンか。

(4) イオン式の導入

T: 水素原子の中の小さな粒の正体を明かします。これは、電子です。水素原子は原子なので、陽イオンでも陰イオンでもありません。水素イオンが陽イオンになるためには、この電子をどうすればいいでしょうか。

S: 電子はマイナスの電気をもっているから、電子が水素原子から外れればいい？

T: 正解！ では、塩素原子が陰イオンになるためにんはどうすればいいでしょうか？

S: 水素の電子をくっつければいいんだ。

T: 正解です！ 実際に電子を動かしてみましよう。ホワイトボードに塩化水素の分子を1つ作ってください。できたら声をかけてください。

S: できました。

T: いいですね。では次に、電子を動かして、陽イオンと陰イオンの2つのイオンにばらして

ください。

S: そうですね？

T: 正解！ 塩化水素は電解質でしたね。今のように、電解質が電気をもったイオンに分かれることを、電離といいます。電離はいつ起こるのでしょうか。電解質の特徴を思い出してください。

S: 水に溶けると電気を通すのが電解質。だから、水に溶けると電離する？

T: その通り！ ちなみに、水素のイオンを水素イオン、塩素のイオンを塩化物イオンといいます。塩化水素が水に溶けると・・・

S: 電離して水素イオンと塩化物イオンに分かれる！

T: 正解！ では、リセットします。今、塩化水素 2 分子をホワイトボードに作ってください。できたら呼んでください。

S: できました。

T: 素晴らしい！ 次に、それぞれの塩化水素を水に溶かして電離させてください。

S: イオンが 4 つできました。

T: そうですね。次に何をするか予想できますか？

S: 陰極に水素イオンを、陽極に塩化物イオンを移動させる。

T: その通り！ できましたね！ 次は、陽極の反応を再現したいと思います。陽極では何が発生しましたか？

S: 塩素！

T: 塩素ということは、プラスマイナスは・・・？

S: 0！

T: 電子はどんな電気をもっていましたか？

S: マイナスの電気。電子が外れる？

T: そうなんです！ 電子と電流の関係を思い出しましょう。電流は何極から出て何極に行きますか？

S: プラス極から出てマイナス極。電子はその逆で、マイナス極からでてプラス極に移動する。

T: そうですね。電源装置のプラス極とマイナス極は、正極と負極で表現しましたね。質問です。電気分解装置の右手の陽極は、電源装置の何極と繋がっていますか？

S: プラスとプラスだったから、正極？

T: 正解！ 電子は何極から出て何極に戻りましたか？ 正極と負極を使いましょう。

S: 負極から出て正極に戻る。あ、外れた電子は陽極から正極に向かうのか。

T: 大正解！ 自分の体が電源装置としましょう。右手の陽極で外れた電子はこの後どのように移動しますか？

S: 自分の体を通して、負極からでて、陰極に向かう。

T: その通り！ 陰極には穴あき水素イオンがありますね。電子を欲しがっています。さあ、どうしますか？

S: 水素イオンに電子がはまって、最初の水素原子と同じ形になる。あ、気体の水素だから

2 つくつつくんだ。

T: そうですね。これで、陽極からは塩素が、陰極からは水素が発生したことになりますね。

2. 化学式カードを用いた考察

粒子モデルでの塩酸の電気分解の考察の後に、化学式のカードを用いて、塩化水素の電離から塩酸の電気分解までの種々の反応を化学反応式に表す作業を1時間かけて行った。

(1) 化学式カードの提示

指導者が準備した表3のような化学式のカードを、ホワイトボードに配置させた。並べながら、水素イオンや塩化物イオン、電子の表記やイオン式について説明した。授業の様子を、対話形式で以下に述べていく。

表3 化学式カード

HCl	1 枚	H ⁺	2 枚
H ₂	1 枚	Cl ⁻	2 枚
Cl ₂	1 枚	e ⁻	2 枚
→	1 枚		

(2) 化学反応式の組み立て

T: これから、塩酸の電気分解に関わる様々な化学反応式をホワイトボード上に表していきます。

① 塩化水素の電離(電離式)

T: 塩酸は何が水に溶けたものでしたか？

S: 塩化水素です。

T: そうですね。では、塩化水素が水に溶けると、どのような反応がありましたか？

S: 水に溶けると電離して、水素イオンと塩化物イオンに分かれました。

T: 正解！ では、この反応を、化学式のカードを使って表しましょう。必要なカードは何でしょう？

S: HCl、H⁺、Cl⁻。あと、→。

T: その通り！ 電離の化学反応式を電離式といいます。では、電離式を作っていきますよ(図2)。

S: そのまま並べるだけじゃん。

T: そうなんです。正解です！

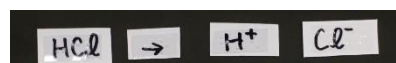


図2 塩化水素の電離

② 陽極での反応(イオン反応式)

T: では次に、陽極での反応をイオン反応式で再現してきましょう。

S: 陽極に集まったのは、塩化物イオン Cl⁻ 2 つ、発生したのが塩素 Cl₂。カードを並べると、

こうなるかな？



T:不正解！ 陰イオンから分子に変わるときに、何かが外れました。

S:電子だ。



T:残念！ 電子の位置が違います。みかんが目の前に 2 つあるのを想像してください。このみかんが塩化物イオンです。みかんの皮をむくと、中身のみかんと皮に分けられますね。式で表すと「みかん→中身のみかん+皮」となりますね。この中身のみかんが塩素の原子、皮が電子です。そうすると、陽極のイオン反応式はどうなるでしょうか。電子の位置に気をつけながら完成させましょう。

S:こうですか？



T:正解です！

③ 陰極での反応(イオン反応式)

T:そういうことです！ この電子は、次にどこを通過してどこに到着しましたか？

S:電源装置を通過して、陰極に移動する。

T:正解です！ では、次に陰極のイオン反応式を再現しましょう。

S: H^+ と e^- と H_2 が必要。イオン反応式はこうかな。

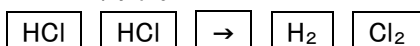


T:その通り！

④ 塩酸の電気分解(全体を通した化学反応式)

T:それでは最後に、塩酸の電気分解の全体の化学反応式を作りましょう。

S:これは簡単。



T:さすが！ 完璧ですね！

カードを用いた一連の学習の後に、上記①～④の反応をそれぞれノートにまとめ、確認テストを実施した。

4 生徒の反応と学習の効果

塩酸の電気分解の化学変化および化学反応式に対する生徒の理解度は高かった。確認テストでは、ノートを見返す生徒もいたが十分に解答できていた。

化学変化についての微視的な理解を図るためには、化学変化についての巨視的な理解が求められる(小倉、藤井、2013)。本稿で対象とした生徒は、多くの実験を経験し、実験に関わる化学反応式を学習してきた。そのため、巨視的な理解が十分に進んでいて、イオンといった微視的レベルでの概念構築も容易だったと思われる。考察では、生徒の発言を引き出し

生徒自らが気づけるよう、教員からの発問を多くし対話的に授業を展開した。理解状況の把握が、生徒の躓きを防止していると考えられる。

5 まとめと今後の課題

生徒に微視的レベルおよび記号的レベルを十分に理解させるには、中学生の早期の段階からその概念について触れることが必要である。また、巨視的な理解を深めるために、実験を行うことも重要である。これらのことを考慮することで、生徒の化学変化と化学反応式に対する理解を促進させることができる。教員と生徒との対話が多かったが、今後は、生徒同士の対話をより重視できるような授業展開も必要と考える。

6 参考文献

- 1) 小倉恭彦, 藤井浩樹. 生徒の化学変化についての理解を促すための指導法の考案-中学校 2 年「物質の分解と原子・分子」の内容において-. 理科教育学研究. 2013, vol. 54, no. 1, p. 105-115.
- 2) 林誠一. 科学的な思考力, 表現力等の育成を目指して～粒子概念を中心に～. 化学と教育. 2012, vol. 60, no. 7, p. 296-289.
- 3) 宮城陽. 化学は好きか嫌い-大学入学時での調査-. 化学と教育. 1993, vol. 41, no. 11, p. 773-774.