

豊かな「観」を育む理科の授業づくり

菊川市立菊川東中学校 教諭 栄山 裕策

1 はじめに

生徒が見ている世界は、生徒自身がもつ知識や見解、つまりその生徒の「観」で構成されている。理科の授業を通して事物・現象の本質に迫り、自然に対して感動や畏敬の念を覚えることで、生徒はその「科学観」を深め、「世界観」を広げていくことができる。そんな豊かな科学観をもつ生徒を育む理科の授業づくりを試みた。

2 研究動機

平成29年告示の学習指導要領において、理科における各分野・領域においての科学的な見方が示された。特に、「粒子」を柱として扱う領域では、「自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点でとらえること」とある。

未知なる現象に出会ったときに感じる感動は、生徒にとって具体的で理解しやすい巨視的視点での「質的」なとらえである。一方で、現象の本質を理解するための「実体的」な見方は、例えば粒子概念など目に見えない微視的視点でのとらえであり、生徒にとって理解が難しい。そこで、巨視的視点と微視的視点を一致させる授業を実践することで、生徒が自然の事物・現象を科学的な見方でとらえ、その科学観を深めることを目指した。

3 研究目的

本研究にあたり、次のような研究仮説を立て、授業開発・授業実践を行った。

巨視的視点でとらえた事物・現象を微視的視点で分析・再構築することで、生徒の自然の事物・現象に対する科学的な見方が変容し、その科学観を深めることができる。

実際の生徒の学習の深まりや変容から、この仮説の有効性を検証することを本研究の目的とする。

4 研究方法

中学校3年生「酸・アルカリとイオン」の単元において、「水という巨視的物質をイオンの微視的視点で科学すること」をテーマに、生徒が科学的な見方を深める授業開発、授業実践を行い、その有効性を検証した。授業開発、授業実践における具体的な取組は次のとおりである。

(1) 系統性を意識した科学概念の育成

3年間の学習を見通し、1・2年生の段階から中学校理科第1分野における系統性を意識した単元計画、授業実践を行った。また、その実践により本単元実施の際に有効な表れがあるか検証した。

(2) 適切な教材の採択

「巨視的視点でとらえられるよう、現象が明瞭であること」「単元で学習する微視的要素をすべて含むこと」を条件に教材開発を行い、水の電気分解で使用する電解質として硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)を採択した。

(3) 寒天を用いた粒子概念の可視化

筆者は3年生2学級に対して理科の授業を担当している。一方の学級では硫酸ナトリウム水溶液を寒天で固めて電気分解を行うことで、水溶液が変化した面積を可視化し、イオンの粒子概念を視覚的に理解することにつながるか検証した。

(4) 自由レポートによる科学的な見方の変化の検証

単元のまとめとして、「水とは?」というテーマで自由記述のレポート課題を実施し、生徒の水という巨視的物質に対する見方がどのように変化したか検証した。

5 研究経過

(1) 系統性を意識した科学概念の育成

学習指導要領において、中学校理科第1分野の内容構成が示されている(資料1)。これを踏まえ、「水という巨視的物質をイオンの微視的視点で科学する」という本単元のテーマに合わせた、3年間の系統的な授業構想を立てた(図1)。

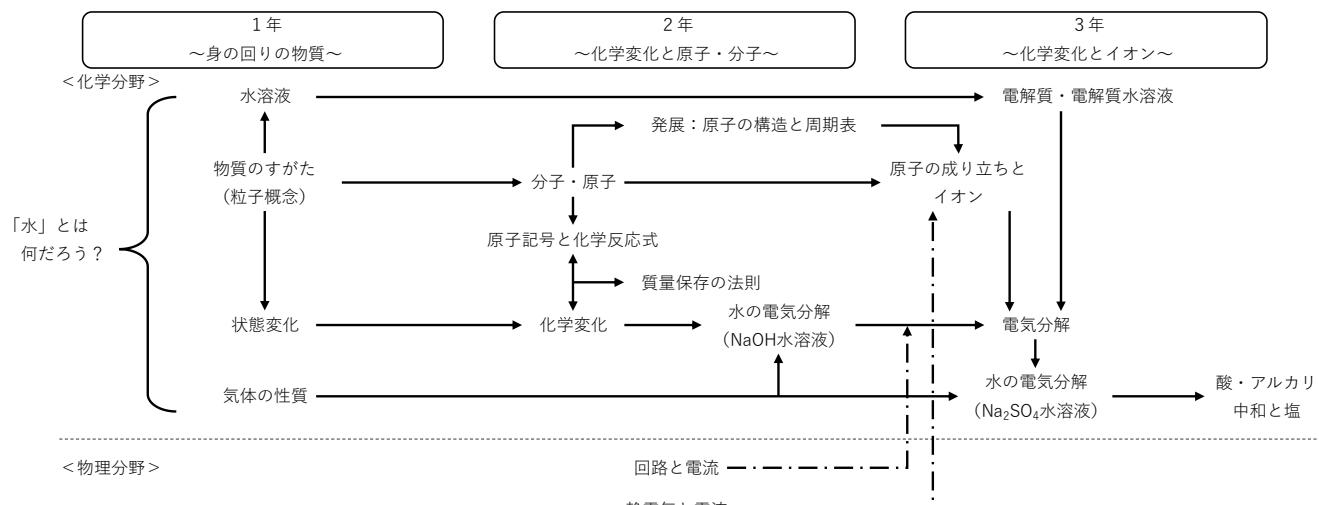


図1 本単元実施に向けた中学校理科第1分野学習内容の系統図

この授業構想において、生徒が学習内容を系統的にとらえることができるよう、学習段階に合わせて学習内容を関連付けるための取組を実践した(表1)。

学年	単元	実践内容
1年生	化学分野	<ul style="list-style-type: none"> 牛乳に含まれる高分子のブラウン運動を顕微鏡で観察し、物質が粒子でできていることを体感した。 状態変化の学習では、粒子モデルを多用する授業実践を行った。また、生徒自身が粒子モデルを用いて自分の考えを表現するよう促した。
2年生	化学分野	<ul style="list-style-type: none"> 原子についての学習では、周期表から発展させ、原子の電子配列や最外殻電子数について紹介した。
	物理分野	<ul style="list-style-type: none"> 電子や電流の学習では、電子の流れや+と-が引き合う電気的性質について丁寧に指導を行い、イオンの性質と関連付けられるようにした。

表1 学習段階に合わせた生徒に系統性を意識させるための手立て

本单元の学習では、生徒が自然と原子や分子、イオンモデルを活用し探究する様子が見られた。特に、電気分解の探究では、2年生物理分野で学習した電子の流れや電気的性質と関連付けて、水溶液中のイオンの動きや電子の授受を考察する様子が見られた（図2）。

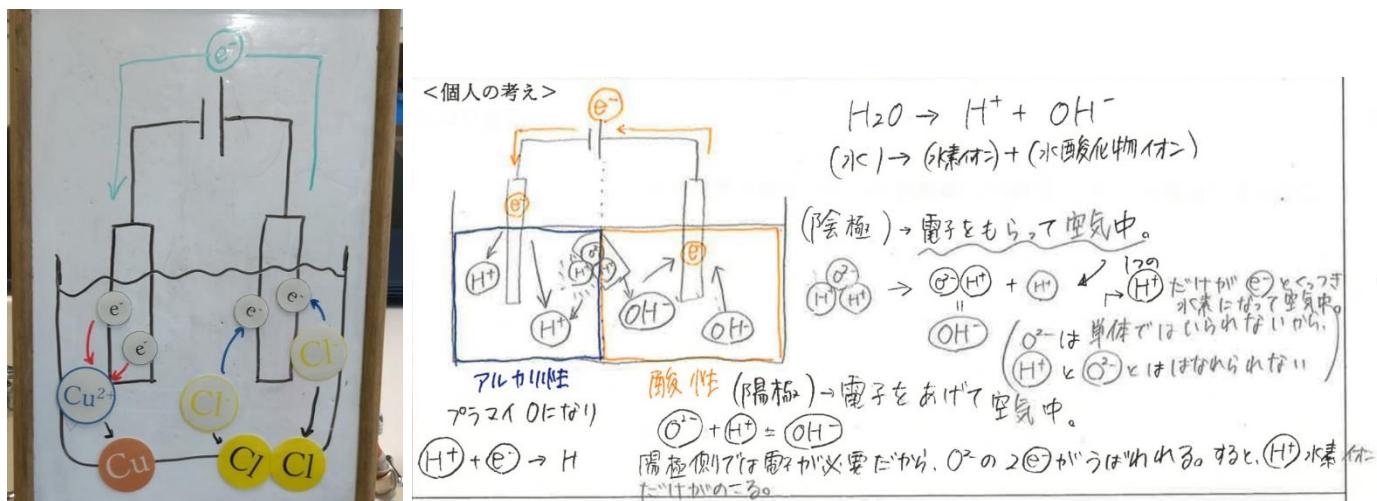


図2 粒子モデルを用いて、イオンの動きや電子の授受を考察する様子

(2) 適切な教材の採択

一般的に、純粋な水は電流を流しにくいため、水に電解質を加えて電気分解を行う。2年生で行う水の電気分解では、電解質として水酸化ナトリウムを用いるため、水溶液がアルカリ性に偏ってしまう。一方で、今回用いた硫酸ナトリウムは水溶液が中性を示すため、水の中性という性質を崩すことなく電気分解を行うことができた。授業では、硫酸ナトリウム水溶液をBTB溶液で着色し、中性を示す緑色の状態で電気分解を行った。ただし、水中に含まれるイオンの種類が増えると探究が難しくなると考え、生徒には実験前に硫酸ナトリウムの紹介はせず、あくまで水の電気分解として実験を行った。

① 単元の導入

硫酸ナトリウム水溶液に電流を流すと、すぐに陽極が酸性を示す黄色へ、陰極がアルカリ性を示す青色へと変化していく様子が確認できた（図3）。

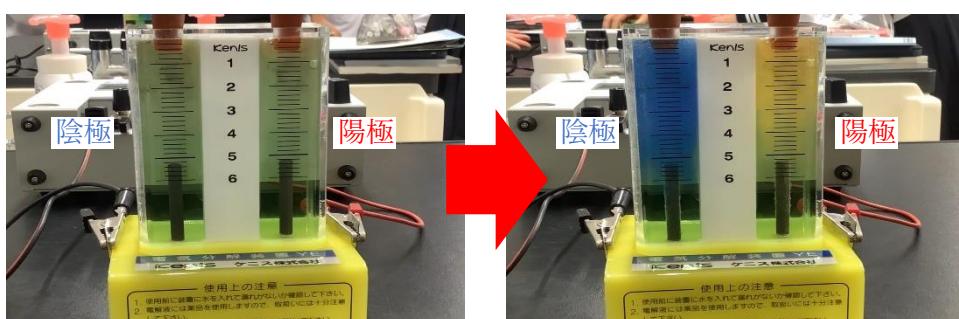


図3 水の電気分解によって、陽極が酸性、陰極がアルカリ性に変化していく様子

2年生の学習で、水の電気分解における各電極で発生する気体については学習済みであったことから、探究対象が各電極における水溶液の性質の変化に焦点化された。生徒はこの変化の原因是水溶液中のイオンによるものであると考え、酸・アルカリの正体についてイオンモデルを用いて考察を始めた（図4）。



図4 電極の変化についてイオンモデルを使って考える様子

② 酸・アルカリの正体

水の電気分解では、各電極で酸素・水素がそれぞれ発生する。気体ボンベと BTB 溶液を用いて、発生した気体は酸性・アルカリ性を示さないことを実験的に確認し、酸・アルカリの正体が水中のイオンであることの共通理解を図った。生徒たちは、イオンモデルや化学反応式を用いて考察し、次の仮説を立てた。

- ・陽極の化学変化は $2 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ であるから、酸性を示す物質の正体は水素イオン (H^+) ではないか (図5)。
- ・陰極の化学変化は $4 \text{H}^+ + 4 \text{OH}^- + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2 + 4 \text{OH}^-$ であるから、アルカリ性を示す物質の正体は水酸化物イオン (OH^-) ではないか。

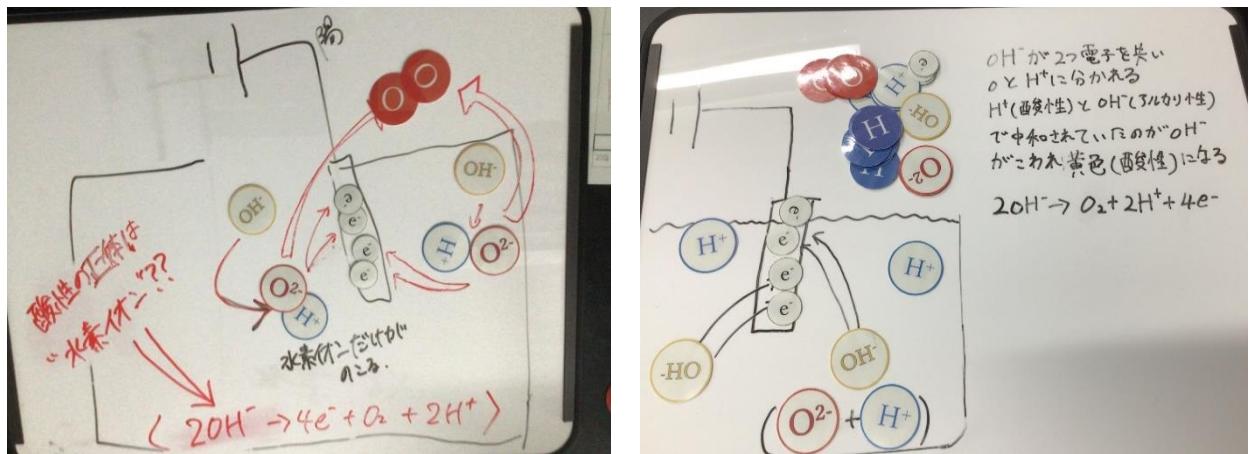


図5 酸の正体について、イオンモデルと化学反応式を用いて仮説を立てる様子

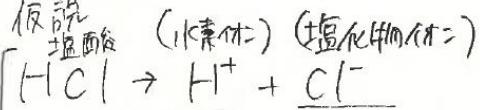
生徒たちは、水の電気分解から考察した仮説と、これまでに扱ったことのある酸性・アルカリ性の物質が電離する際の化学反応式を比較し、自分たちが立てた仮説の妥当性を検討した。比較を通して、酸性の物質には水素イオンが、アルカリ性の物質には水酸化物イオンが共通して含まれていることから、仮説の妥当性が高いと判断し、検証実験を行った。

検証実験では、酸・アルカリの物質をつけたろ紙に電圧をかけ、その変化を確認する電気泳動実験を行った。生徒たちは仮説と実験結果を比較し、イオンの電気的性質を結び付けた考察をすることで、酸・アルカリの正体がそれぞれ水素イオン・水酸化物イオンであると結論付けた (図6)。

<考察>

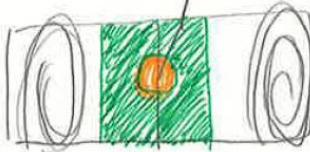
マイナスの電極の方に黄色い酸性の反応が出了。

仮説



(電子をもらうために) (電子をあげるために)
陰極へ動く。 陽極へ動く。

塩酸 HCl



BTB溶液の上にたらした塩酸の電気分解!

(黄色)
陰極側に酸性を示す黄色が広がったということは、陰極側に酸の正体となる物質が引き寄せられているということ。 $\rightarrow \text{HCl}$ の電気分解で陰極に引き寄せられる H^+ だから、黄色は H^+ 、酸性の正体は H^+

<まとめ>

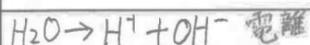
仮説では $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ 。BTB溶液の上に塩酸をたらしたから、塩酸が黄色である。そこに電流を流すと、電気分解されるから、 H^+ が陰極へ行つて電子をもらう。 Cl^- は陽極へ行つて電子をあげるという動きになる。電気分解をしたとき、陰極側に酸性を示す物質が動いたことだから、陰極側に動いた構体が酸性の正体。

図6 イオンの電気的性質を踏まえて考察することで、酸の正体が水素イオンであることを実証した

③ 中和と中性

酸・アルカリの正体を見出した生徒たちに、「なぜ水は中性なのか。」と問いかけると、水に含まれるイオンに注目して考察する姿が見られた(図7)。

課題 なぜ水は中性なのか



酸性のイオンが一つ

アルカリ性のイオンが一つでこの2つが消しあっている

$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ この2つのイオンは中性だから変化しないだから
中性

H_2O が電離しても酸、アルカリのどちらにもならなり H^+ と OH^- の数が同じだから

酸性の H^+ とアルカリ性の OH^- のイオンの数が同じ

だから中性



図7 水が中性である理由を、イオンの数に注目して考察する様子

考察を通して、水は酸・アルカリの正体である水素イオンと水酸化物イオンが同数含まれていることから、次の仮説を立てた。

水素イオンと水酸化物イオンが等しい数になるように酸・アルカリを混ぜれば、中性になるはずだ。

この仮説をもとに、塩酸(HCl)と水酸化ナトリウム水溶液(NaOH)を用いた中和実験を行い、仮説の検証実験を行った(図8)。

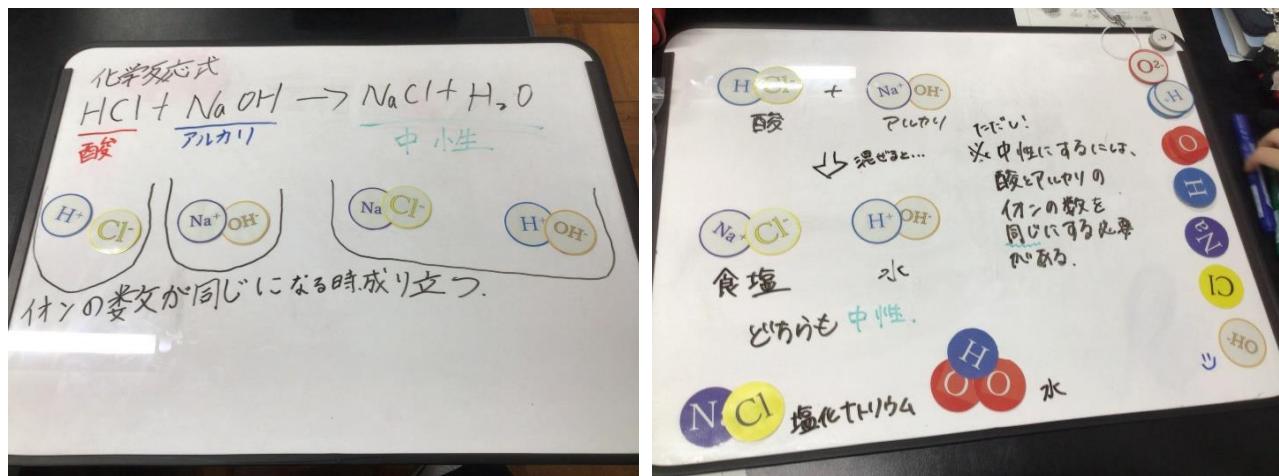


図8 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和について、イオンの数に注目して仮説を立てる様子

この実験から中和反応では水と塩が発生することを確認し、発展として様々な酸・アルカリの物質で中和反応を行ったときの化学反応式を考えた。硫酸 (H_2SO_4) と水酸化ナトリウム水溶液を用いた場合では、中和反応は $H_2SO_4 + 2 NaOH \rightarrow 2 H_2O + Na_2SO_4$ という化学反応式で表され、塩として硫酸ナトリウムが発生することを導き出した。ここで、この硫酸ナトリウムが本単元の水の電気分解で用いた電解質であったことを紹介し、中性の水として行った硫酸ナトリウム水溶液の電気分解では、各電極で硫酸と水酸化ナトリウム水溶液が発生しており、中和反応とは逆の反応が起こっていたことを解説した。生徒たちは、酸・アルカリを示す劇薬同士を中和させることで安全な水と塩ができるここと、反対に、硫酸ナトリウム水溶液の電気分解では安全な中性の水溶液からよく知る劇薬である硫酸と水酸化ナトリウム水溶液が発生していたことに驚く様子が見られた。

(3) 寒天を用いた粒子概念の可視化

液体での電気分解に比べ、寒天を用いた電気分解の方が変化に若干時間がかかるものの、どちらも変化が明瞭であり、生徒はすぐに各電極が酸性・アルカリ性に変化したことに注目することができた。酸・アルカリの正体について探求する学習過程では、液体での電気分解を行った学級と寒天を用いた電気分解を行った学級で、考え方には大きな違いは見られなかった。

中和と中性について探求する学習過程では、液体での電気分解を行った学級は水素イオン・水酸化物イオンに着目し、化学反応式やイオンモデルを用いて仮説を立てた。一方で、寒天を用いた電気分解を行った学級は、化学反応式やイオンモデルを用いて考察するだけでなく、電気分解を行った寒天が等しい面積で酸性・アルカリ性に変化した現象（図9）を結び付け、水素イオン・水酸化物イオンが等しい数存在する場合に中性になることを見いだしていた（図10）。

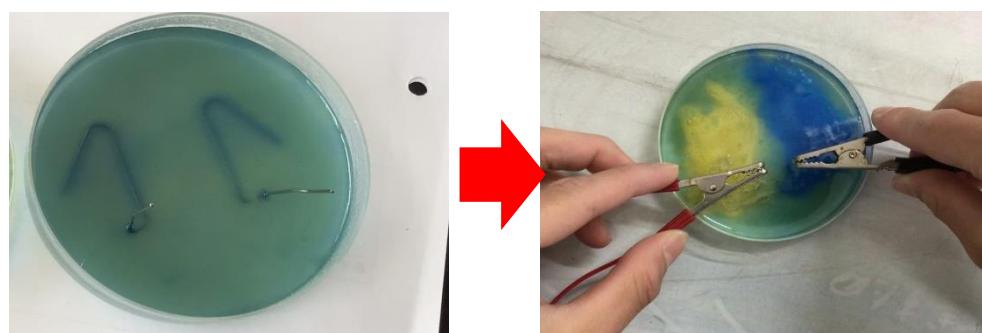


図9 寒天を用いて実験することで、電極の変化の様子が面積で比較することができる

アルカリ性と酸性のイオニの数が等しいから。



← 比率が同じ。

<仮説>

水の電気分解の実験で酸性とアルカリ性の割合が同じくらいになかった。→ $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ H^+ は酸性の物質で OH^- はアルカリ性の物質。どちらも H_2O から同じ数だけ電離するところが分かっている。なので、酸性とアルカリ性の物質の割合が等しくなり、中性という反応を示すと思う。

授業の振り返り 授業の理解度(5 4 3 2 1) 意見を伝えることができた Yes or No

挙手回数

酸性は H^+ 、アルカリ性は OH^- がそれ正体だから、中性も共通して何かの物質があると思ったけど、中性の物質全てに共通するものはなかったので、 H^+ と OH^- のイオニの数に注目した。

0

図 10 寒天の変化した面積とイオンの数を結び付けて考える様子

(4) 自由レポートによる科学的な見方の変化の検証

単元のまとめとして、「水とは?」というテーマで自由にレポート作成を行い、理科室前に掲示した(図 11)。生徒は本単元で探究したことをもとに、イオンを用いて酸・アルカリや中和といった概念をまとめ直し、水に対する理解をイオンの視点で深めている様子が見られた(資料 2)。

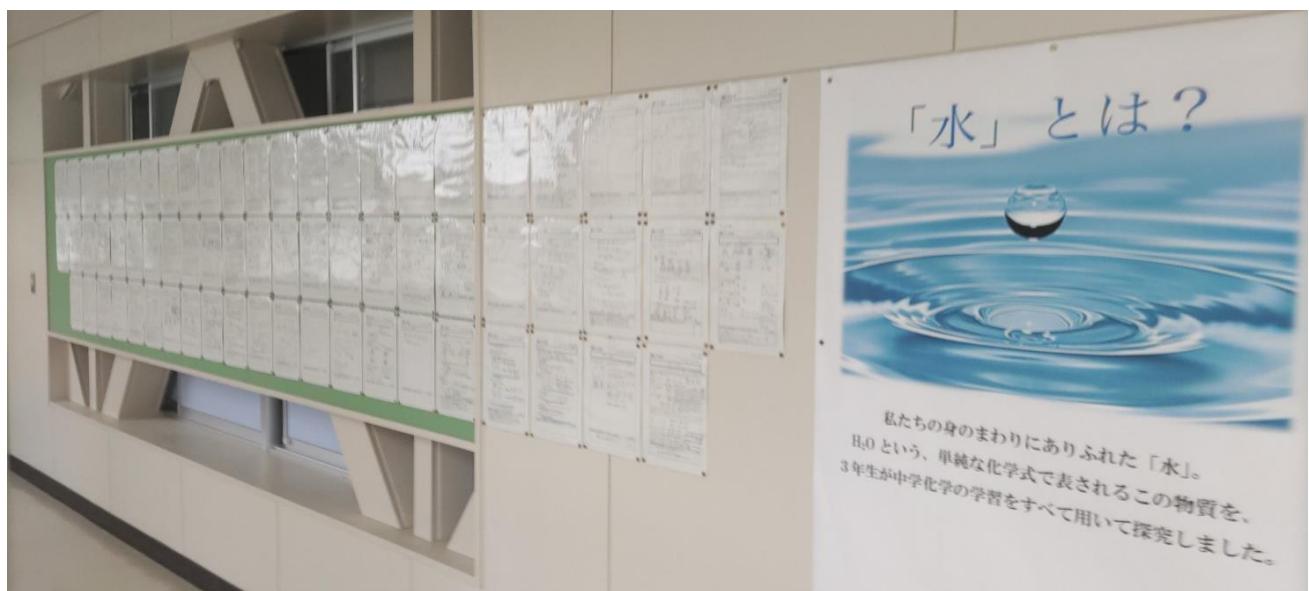


図 11 単元のまとめのレポートを理科室前に掲示し、自由に閲覧可能にした

また、生徒が作成したレポートの内容を分析し、巨視的物質である水について、イオンの微視的視点でとらえることができているか評価した(表 2)。

(N=57)

水や水の電気分解について、酸・アルカリの正体や中和反応と関連付けながらイオンの微視的視点でとらえ、探究したことを適切にまとめている。	32
水や酸・アルカリの正体、中和反応について、イオンの微視的始点でとらえ、探究したことをまとめている。	17
水や酸・アルカリの正体、中和反応について、イオンの微視的視点でとらえ、探究したことをまとめられていない。	4

表 2 水についてまとめたレポートの分析結果

6 成果と考察

(1) 系統性を意識した科学概念の育成

本单元の探究活動において、生徒が粒子概念を用いた微視的視点で思考する様子が見られた。このことから、生徒が1・2年生での学習を系統的にとらえ、関連付けることができていたとわかる。

1年生の学習では、粒子概念の導入の際、牛乳に含まれる分子のブラウン運動を観察した(図12)。物質が粒子からできていることを実際に体感することができたため、その後の探究活動で粒子概念を用いた思考をすることが容易になったと考えられる。特に、状態変化についての学習では、物質の状態が変わっても粒子の数が変化しないことから、2年生で扱う質量保存の法則を見いだすことができた。



図12 顕微鏡で見た牛乳の分子(水色の粒子)の観察から、粒子概念を構築したと考えられる

2年生では周期表の学習を発展させ、原子の構造について紹介し、周期表の縦の列(族)に含まれる原子は最外殻電子数が共通であることを確認した。原子の電気的性質について扱ったことで、2年生物理分野における電子や電流の学習と系統性をもたせることができた。このことが、3年生の電気分解の学習において、イオンや回路を流れる電子の電気的性質を正しく判断し考察することを可能にしたと考えられる。また、最外殻電子数を確認したことで、イオンの価数を暗記ではなく周期表から求めるようになり、複数の原子から構成された多原子イオンであっても、イオンの価数を正しく判断することができた。特に、水の電気分解における陽極の化学変化では、多原子イオンである水酸化物イオン(OH^-)に含まれる酸化物イオン(O^{2-})が電子を受け取って酸素分子(O_2)となり、水素イオン(H^+)のみが水中に残ることを、複雑な化学反応式を立てて考察することができた。

したがって、学習内容を系統付けることで発展的な考察ができたことから、系統的な科学概念を育成することは探究を深めるうえで有効であったといえる。

(2) 適切な教材の採択

硫酸ナトリウムを電解質として水の電気分解を行うことで、中性の状態から酸・アルカリに発展し、中和反応まで一貫して探究することができた。

① 単元の導入

BTB溶液で硫酸ナトリウム水溶液を着色して電気分解を行ったことで、水溶液の性質が変化する様子が明確になり、水溶液中のイオンに焦点を当てた探究活動につながったと考えられる。

また、単元の導入に当たる第1時を、本校校内研修における提案授業として公開した(図13、資料3)。事後研修では、「簡易的な実験で、変化が明瞭であったため、生徒にとって興味深いものとなり学習意欲が高まっていた。」という意見があがった。

したがって、本教材は「巨視的視点で捉えられるよう、現象が明瞭であること」という条件を満たすものであったといえる。



図 13 授業公開と事後研修で、生徒の表れを客観的に評価した

② 酸・アルカリの正体

酸・アルカリの正体に迫る学習過程では、生徒は電気分解の各電極における水素イオンと水酸化物イオンに注目して探究活動を行っていた。

水の一部が電離している様子は、 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ という化学反応式で表され、水が水素イオンと水酸化物イオンのみで構成されていることがわかる。また、硫酸ナトリウムが電離すると、ナトリウムイオン(Na^+)と硫酸イオン(SO_4^{2-})が発生する ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$)。硫酸ナトリウム水溶液に含まれるこれらのイオンは、溶媒である水の電気分解を助けるはたらきをするものであり、電気分解反応には直接関係しない。

したがって、硫酸ナトリウム水溶液を用いた水の電気分解は、探究の視点を酸・アルカリの正体である水素イオン・水酸化物イオンに焦点化することを可能にした教材であったといえる。

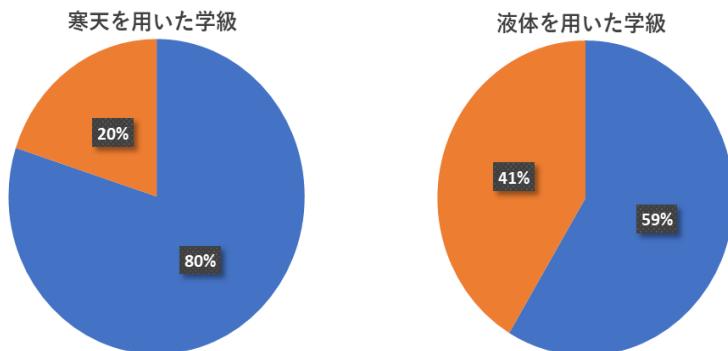
③ 中和と中性

酸・アルカリの学習と同様、中和や中性について、水素イオンと水酸化イオンに注目して仮説を立てることができた。このことから、硫酸ナトリウムは単元を通して探究の視点を焦点化する教材であったといえる。

また、中和反応で発生した塩に注目し、硫酸ナトリウムについて考えることで、学びを深める様子が見られた。これは、導入で体験した巨視的現象と単元で学習した微視的要素が一致し、水の電気分解に対する科学的な見方が深まった姿だといえる。

(3) 寒天を用いた粒子概念の可視化

中和と中性の探究において、実験方法の異なる学級では生徒の表れに差異があった。それぞれの学級のワークシートを分析すると、次の結果が得られた（図 14）。



■中和や中性について、粒子モデルや化学反応式を用いて考察し、中性になるのは水素イオンと水酸化物イオンの数が等しい場合であることを言及して仮説を立てている。

■中和や中性について、粒子モデルや化学反応式を用いて考察し、水素イオンと水酸化物イオンに注目して仮説を立てている。

図 14 異なる実験を行った学級ごとのワークシートの分析結果

寒天を用いた学級は、液体を用いた学級に比べイオンの個数に注目した生徒の割合が多い。このことから、寒天を用いたことで粒子概念の可視化に一定の効果があったことがわかった。

また、生徒たちはタブレット端末を用いて、電気分解の様子を記録していた（図15）。映像や写真で現象を記録しておくことで、実験結果と化学反応式を用いた仮説を適宜比較することが可能になり、粒子概念を可視化するために寒天を用いたことの有効性を高めることができた。

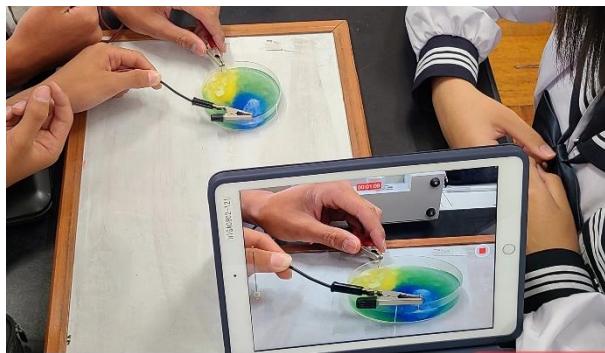


図15 タブレット端末を用いて、実験の経過を記録する様子

したがって、寒天による粒子概念の可視化を目指した試みは、巨視的視点でとらえた現象を微視的視点で分析・再構築するうえで有効であったといえる。

（4）自由レポートによる科学的な見方の変化の検証

表2より、過半数の生徒が、水という巨視的物質をイオンの微視的視点で分析・再構築することができていたことがわかった。自由形式のレポートであったが、ほとんどの生徒がイオンの視点でまとめることができており、また、「イオンで考えることで物質の様々な性質に気付くことができた。」「水について、知っているようでまだまだ知らないことがたくさんあった。」という感想があったことから、生徒の科学的な見方が深化したことがわかる。したがって、本研究における授業実践は、生徒の科学観を深める取組であったと判断できる。

7 仮説の検証

本研究の授業実践における生徒の表れから、生徒の科学的な見方が変容していることがわかる。また、単元の振り返りでは、以下のような記述が見られた。

- ・今回の単元を通して、物質を分子やイオンで細かく考えることで見分けられるようになり、新しい発見ができた。
- ・水は自分たちにとって身近なものであるのに、危険な酸やアルカリの原因も含んでいるし、また危険な酸とアルカリを混ぜ合わせることで安全な水が発生することがとても不思議だと感じた。
- ・イオンの学習を通して、2年生のときの疑問が解消されました。水の電気分解では、「あたりまえ」と思っていたことが実は奥深くて、何度も考え直しました。そしてそれが、理科の中で水が特別な物質である理由だと思いました。たくさんの物質の見方が変わり、とても楽しく面白い単元でした。

このことから、「質的」にとらえた水という巨視的物質について、イオンの微視的視点による「実体的」などとらえで分析・再構築したことで、生徒の水に対する科学観が深まったことがわかる。したがって、本研究における研究仮説は実証されたと結論付ける。

8 今後の課題

有志で月1回行っている理科教育研究会にて本単元の実践を紹介したところ、「導入の際、水の電気分解を電子の授受で考えることと、酸とアルカリの正体が水素イオンと水酸化物イオンであることを考えることの、2つの課題が含まれている。これは生徒によっては困難なことではないか。」という意見があった。今回の題材は、単元における微視的な要素をすべて含んだ複雑なものであったため、苦手意識のある生徒はまわりの生徒に助けてもらしながら学習を進める様子が見られた。対話的な学習の姿ではあるものの、苦手意識のある生徒にとっても取組みやすい導入ができれば、さらなる学習意欲の高まりが期待できるだろう。

本単元実施にあたり、授業者が1年時から3年時まで継続的に授業を行うことができたため、先を見通した指導を実施することができた。そのため、一定の科学観に基づいた系統的な指導を継続して行うことができた。公立中学校では、3年間同一の教員が教科指導を担当するとは限らない。指導者の科学観を共有し、系統的な指導を行っていくための工夫を今後考えていきたい。

9 おわりに

生徒に新しい科学観を与え、深めていくことが我々理科教師の使命だと感じる。しかし、教師が生徒に与えることのできる科学観は、教師自身がもつ科学観の範囲内ではないだろうか。今後も、教科教育のプロとして、自分自身の科学観を深め続けることで、生徒の「観」を深めるより良い授業づくりを行っていきたい。

10 参考文献

- ・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』
- ・山口晃弘ほか編著(2021)『板書で見る全単元・全授業のすべて 中学校理科3年』東洋館出版社
- ・大高泉編著(2013)『新しい学びを拓く理科授業の理論と実践 中学・高等学校編』ミネルヴァ書房
- ・板倉聖宣(1974)『仮説実験授業 授業書くばねと力によるその具体化』仮説社