

# 中学校理科における概念形成を目指す学習デザイン

## — 思考をイオンモデルで表現しながら協働的に学ぶ —

前田 景子

金沢大学大学院教職実践研究科

**【概要】**本研究では、単なる知識の習得ではなく、学習したことを新しい状況に転移させることが可能となる高次の理解、つまり概念として形成させるための学習は、どうあるべきかについて検討する。水溶液中のイオンの様子を視覚化するために、陽イオンと陰イオンの結びつきを理解する「イオンカード」モデルと、原子が電子を受け取ったり失ったりする様子を表現できる「電子授受モデル」の2種類を作成し、生徒の対話や思考を促したい場面で繰り返し使用した。その結果、①イオンモデルでの思考が実物や実験とつながるための手立てを工夫すること、②動かせるモデルを用意して対話を活性化させること、③生徒の思考の道筋を教師が想定しすぎず、生徒の試行錯誤を尊重すること、以上3点が概念形成を目指す学習をデザインする上で重要であることを見出せた。

### I 問題と目的

#### 1. 問題

##### (1) 研究の背景

理科の楽しさは、実験を見たり体験したりすることにとどまらず、科学的な見方で身近な現象を捉え直し、新たな視点から世界が広がることにある。筆者は、子ども達が理科の本質に触れる楽しさや喜びを感じられるように、理科の授業に取り入れる実験・観察や、モデルを用いた説明を工夫してきた。それでもなお、中学校理科の化学分野では、扱う物質の種類が多く、学習内容が個別の暗記事項として受け止められ、学びを楽しむ子どもが多いとは言えない。

こうした状況に対して、次に挙げる2つの指摘を手掛かりに研究を構想した。1つ目に、子どもは早期からいくつかの科学的知識を獲得することができるものの、科学的観点からの日常的知識の捉え直しは容易でないという指摘である(中島, 2011)。2つ目に、道具を利用しながら他者と協同で課題解決を行うこ

とで、個人の認知的負担を軽減して思考への注力を支え、科学的概念の理解を促すことができるという指摘である(湯澤, 2011)。ここから、子どもが科学的知識を持っていたとしても、日常とつなげられていなければ、科学的概念を獲得し、理科の本質に触れることができたとは言えないと考えた。イオンモデルを、協働的な学びを促進する道具として活用しつつ、日常とつなげる機会を与えることで、科学的概念の形成を促せると考えた。

##### (2) 基本粒子としての「イオン」

基本粒子としての「イオン」は科学理論を説明するために最も重要な概念の1つである。佐藤ら(2006)は10カ国の教科書を調査し、全ての国で12~14歳の間にイオンを学習しており、多くの国で、原子の構造と共に学ぶよう計画されていることを報告している。一方、日本の学習指導要領では、中学3年理科単元「化学変化とイオン」でイオンを学習するが、詳しい原子の構造は高校で学習する。過去にはイオン学習が中学校段階では難しい

内容とされて削除された時期もある。

原子の構造とともにイオンを学習することで、イオン概念の理解を深め、イオンを使って理解する必要がある「電気分解」「電池」「酸・アルカリ」「中和」について科学的に思考する力を育むことができると考えた。

中和について、R5年度に所属校を含む県内中学校3校（546名）の中学3年生に調査したところ、「中和」を「中性」と混同している生徒は30%にのぼった。中和の概念形成が不十分であるがゆえに、似たような用語の「中性」と混同していると考えられる。イオン概念を用いて中和を理解していれば、用語が似ているために混同することはないだろう。

### （3）「概念」の重視

H・リン・エリクソンら（2017）は、独立した知識の集合ではなく、事実とスキルを使ってつながりを見出し、一般化して概念を形成することを重視する。この発想を踏まえて本研究では、生徒が自分自身で形成した理解をつなぎ、概念を構築できる学習のデザインを行う。単元を通して「イオン」を用いて思考することで、「イオン概念」で説明できる概念同士のネットワークを構築していく。それにより、「イオン概念」そのものの理解が深まることを期待する。

## 2. 本研究の目的

本研究では、中学校3年理科の単元「化学変化とイオン」において、生徒が科学的概念を形成する学習をデザインすることを目的とする。

## II 研究方法

### 1. 実践上の手立て

#### （1）イオンモデル

単元を通して、実験結果を予想・説明したり、実験結果や観察事実を元に現象を説明したりする際、イオンの概念を視覚化したモデルを操作しながら協働的に学ぶ経験を繰り返

す。イオンモデルは、2種類用意する。

1つ目は、陽イオンと陰イオンの結びつきを理解するための「イオンカード」（図1）である。陽イオンを赤色で凹みのあるカード、陰イオンを青色の凸のカードで表現し、陽イオンと陰イオンを結びつけるアフォーダンスを意識して設計してある。協働で操作しやすいように、各カードは縦3cm、横9cmの大きさとした。1～3章にわたって10時間以上、「イオンカード」を活用して協働的に学ぶ機会を設ける。

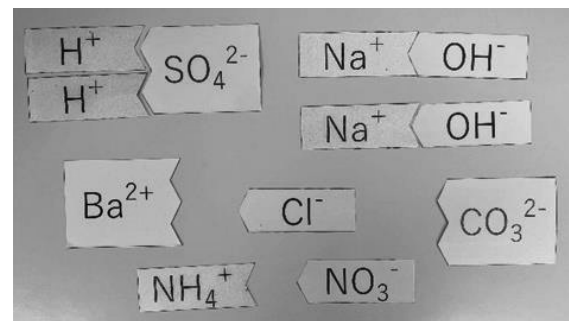


図1 イオンモデル「イオンカード」

2つ目は、金属原子が電子を失って陽イオンになったり、陽イオンが電子を受け取って金属原子になったりする様子を表現できる「電子授受モデル」である（図2）。電池の仕組みや水素の発生を説明する際に活用する。動かしながら考えることを目的としており、陰イオンの電子は取り外し不可能だが、陽イオンには発泡スチロール製の電子を乗せて電気を帯びていない原子を表現できる仕組みになっている。イオンは各カード縦3cm、横4cmの楕円形、電子は直径1cm程度である。

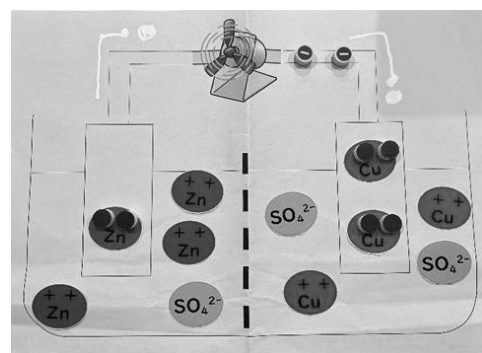


図2 イオンモデル「電子授受モデル」

## （２）モデルを協働で操作しながらの対話

単元で学習する科学的概念について、教師がわかりやすく説明するのではなく、生徒自身が概念を見出し、生徒同士の話し合いの中で理解することを目指す。そのために、生徒による思考と概念形成に必要なトピックやスキルをカリキュラムに組み込む。課題に取り組む中で、生徒がモデルを協働で操作しながら試行錯誤し、間違った考えから混乱することがあっても、生徒同士で矛盾に気づいて指摘し合う対話を大切にする。単元を通して固定の班（３～４人）とし、教師は班をまわりながら、質問や指摘を行ったり、生徒からの質問に答えたりして対話を促す。

表１は、単元「化学変化とイオン」において、生徒が協働してモデルを操作しながら対話をする活動とその時間の授業課題、使用するイオンモデルの種類を示している。

## ２．研究の対象

### （１）単元

中学校３年理科「化学変化とイオン」

【１章 水溶液とイオン】

【２章 電池とイオン】

【３章 酸・アルカリと塩】

## （２）対象生徒

石川県内公立中学校に在籍する中学３年生  
約 110 名（３クラス）

## （３）抽出班と抽出生徒

筆者が担当する３年生の３クラス全てを研究対象とするが、特に抽出班の生徒４名に注目する。

- ・生徒 A：定期テストの点数は平均以下であることが多い。班活動に積極的に参加する。
- ・生徒 B：定期テストの点数は平均以下であることが多い。学習意欲が高い。
- ・生徒 C：定期テストの点数はとても高い。前単元「生命の連続性」での班活動には消極的であった。
- ・生徒 D：定期テストの点数は平均以下であることが多い。班ではほとんど発言しないが、対話をよく聞いている。

## ３．検証方法

### （１）班での話し合いの録画分析

生徒が班でイオンモデルを活用しながら協働して試行錯誤する中で新たな気づきを得た場面を抽出し、発言の特徴や傾向を分析する。

章（配時）	モデルを協働で操作しながら対話をする活動	授業課題	使用モデル	IV 実践経過
1 章 水溶液とイオン (9)	1 価のイオンカードを元に、2 価のイオンカードをデザインする。	塩化銅が電離する様子をイオンカードと化学式で表そう。	イオンカード	1
	様々な物質の電離の様子をイオンカードを使って考え、化学式で表す。	電解質が電離する様子を、イオンカードと化学式で表そう。	イオンカード	
2 章 電池とイオン (9)	ダニエル電池の仕組みを理解する。	ダニエル電池の仕組みを、モデルで表して説明しよう。	電子授受モデル	2 (1)
	ダニエル電池の条件を変えた様子を、電子授受モデルで考察する。	ダニエル電池、こんなときどうなる？	電子授受モデル	2 (3)
3 章 酸・アルカリと塩 (9)	イオンカードを使って、酸・アルカリそれぞれに共通するイオンを見出す。	酸性の水溶液に共通するイオン、アルカリ性の水溶液に共通するイオンはそれぞれ何か。	イオンカード	
	酸性の水溶液にマグネシウムを入れると水素が発生する仕組みを考察する。	酸性の水溶液にマグネシウムを加えたとき、発生する気体は何か。	電子授受モデル	3 (1)
	中和による水の生成を見出す。	塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を混ぜて中性にしたとき、どんな水溶液ができるのだろうか。	イオンカード	4 (2)
	酸とアルカリの組み合わせにより、様々な種類の塩ができることを見出す。	酸性の水溶液とアルカリ性の水溶液を混ぜ合わせると、どんな反応が起こるのか。	イオンカード	5
	完全に中和になるときの濃度や体積の関係を説明することで、「中和」と「中性」の概念の違いを見出す。	酸の水溶液の濃度や体積が変化するとき、それを完全に中和するのに必要なアルカリの水溶液の体積は、どのように変化するのだろうか。	イオンカード	6 (1)

表 1 単元「化学変化とイオン」の中で、生徒がモデルを協働で用いる授業

## (2) ワークシート分析

生徒がワークシートに図や文章で説明したり、まとめたりした記録を分析する。

## (3) 自己評価・授業の振り返りの分析

【仕組みを理解できたか】【説明することができたか】などの達成度について、三件法で行った自己評価を分析する。また、授業後の自由記述による振り返りからも、理解の度合いや、イオンモデルの使用・実験・話し合い活動などを含めた学習方法について評価する。

## (4) 「イオン概念理解度調査 (R5年度)」、「診断テスト (R6年5月)」と事後テストの比較

「イオン概念理解度調査 (R5年度)」では、「中和」の概念理解度を調査した。「診断テスト (R6年5月)」では、中学2年生までに学習した「物質」の分野に関連する科学事象について、対象生徒がどのように理解しているのか、学習していない概念についてはどのように予想しているのかを調査する。単元学習後に、同じ問いを調査することで、理解がどのように変容したのかを検証する。また、「中和」の概念理解度から本実践の効果を検証する。

## Ⅲ 実践に向けて

### 1. 診断テストの実施

単元前に調査すると、生徒はショッピングセンターの「イオン」や「マイナスイオン」という言葉を聞いたことがあるだけで、科学の文脈における「イオン」については、ほとんど知識のない状態から学習がスタートした。

### 2. 原子の構造からイオンをイメージする

詳しい原子の構造は、高校化学の内容であり暗記する必要はない。ただし、「電子を受け取りやすい」「電子を失いやすい」とはどのような状態かをイメージするために原子の構造を図示し、生徒が自分自身の表現でまとめる

学習を行った。生徒のノートには、原子番号と陽子の数が等しいこと、陽子と電子の数の大小によって＋や－の電気を帯びることなどをまとめた記述が見られた。

## Ⅳ 実践経過

### 1. 生徒自身がイオンモデルをデザインする

原子の構造を学んだ後、1価のイオンである塩化物イオンとナトリウムイオンの「イオンカード」を提示した。塩化物イオン(1価)と銅イオン(2価)からなる塩化銅に注目し、2価のイオンモデルを生徒自身がデザインした。実践したクラスの27班中19班は、疑問点や意見を交換しながら、適切なイオンモデルを考案できた。

図3は、塩化銅を表すイオンモデルを班ごとに考えたときの例である。考案できなかった班も、他の班のデザインの説明を聞いて、なるほどと頷く様子が見られた。イオンモデルの完成形を教師が提示するのではなく、教師が提示する1価のイオンモデルを基本形として、生徒自身が2価のイオンモデルの形状を考案することで、「2価のイオン」とはどういう状態なのか、なぜ  $\text{CuCl}$  ではなく  $\text{CuCl}_2$  なのかを理解できたと考える。 $\text{Cl}_2^-$ と表現し、化学反応式としては間違えているが、イオンモデルでは正しく表現できている班もあった。全体で取り上げ、 $\text{Cl}_2^-$ という表現がどんな状態か確認し、塩化銅を形成するイオンを正しく表現できるように学習を深めた。

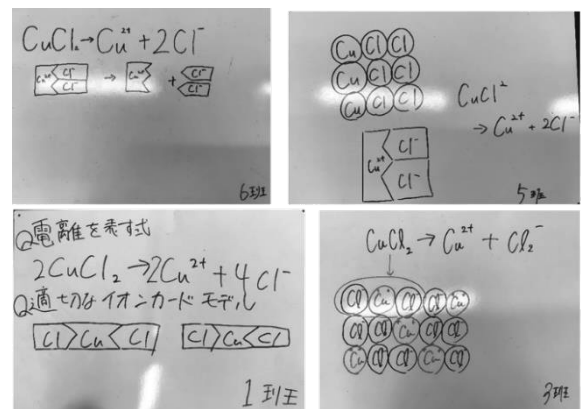


図3 生徒によるイオンモデルのデザイン

その後、班ごとにイオンカードを1セット準備し、学習で必要になるたびにカードを追加して、生徒の対話や思考を促したい場面で繰り返し使用する。(図4)



図4 生徒によるイオンカードの操作

## 2. 電子授受モデルを動かしながら思考する

### (1) 電子授受モデルを協働で動かしながら対話し、ダニエル電池の仕組みを理解する

電子授受モデルを用い、生徒が協働して試行錯誤しながら、ダニエル電池の仕組みを考えた。図5は、生徒が電子授受モデルを協働で動かしている様子である。抽出班がモデルを動かして対話した12分間の映像から、発話を文字起こしし、どの生徒がモデルを動かしていたのかを記録した。その後、モデルを動かした意図を分析し、補足説明を加えた。



図5 生徒が電子授受モデルを協働で動かしている様子

生徒の発話を整理すると、次のように分類できると考えられた。①正しい理解(ダニエル電池の仕組みを正しく説明したもの)、②思考の挑戦(間違いも含めた試行錯誤)、③友達の意見への同意、④疑問・質問、⑤同意の求め・確認、⑥(友達の意見やモデルの移動に対して)否定・反論・制止、⑦プラスの感情

(喜び・楽しさ・驚き)、⑧難しさの吐露、の8種類である。表2は、出現回数をカウントした結果である。

① 正しい理解	92回
② 思考の挑戦	24回
③ 友達の意見への同意	15回
④ 疑問・質問	50回
⑤ 同意の求め・確認	48回
⑥ 否定・反論・制止	13回
⑦ プラスの感情	52回
⑧ 難しさの吐露	13回

表2 12分間の対話中に出現した発話の種類と回数

①正しい理解に基づいた発話が一番多く、92回記録されている。ただし、「～じゃない？」などと⑤同意を求める発話が48回見られ、互いに確認しながら実際には目に見えないイオンの動きをモデルで表現している様子がうかがえた。つまり、早く正解に辿り着いた生徒が一方向的に教える側として説明しているのではないことが読み取れる。「そうそうそう!」「あ、そうか!」などと歓喜で声が大きくなる発話や、互いに笑い合う発話を、⑦プラスの感情とカウントし、52回見られた。対話によって科学的概念が形成される楽しさを捉えることができたと考える。

表3は、抽出班の対話を文字起こししたものの抜粋である。実験結果を思い返しながらモデルを動かして対話し、亜鉛原子が徐々に亜鉛イオンになって水溶液中に溶け、元からあった亜鉛イオンと区別がつかなくなることに気づいていく様子が記録されている。教師が「亜鉛原子が亜鉛イオンになる」ことを伝え、その事実を暗記させるのは簡単だが、それは表面的な知識に過ぎない。モデルを動かして対話する中で、「亜鉛原子が亜鉛イオンになる」過程を納得しながら理解している。

他の班においても、亜鉛と銅のイオンへのなりやすさの違いから、亜鉛がイオンになり

発言者	発話	モデルの操作
B	まず、こうやんな。これ回したら、（プロペラを指して）こういくんやろ。	B：プロペラを指し示してから電子を動かす。
C	こうって？したら、これ（亜鉛イオン）はどうするん？おまえ（亜鉛イオン）はどうするん？	C：亜鉛イオンを指し示す。
C	もう一回最初に戻して。	C：モデルを最初の状態に戻す。
A	こうやって、これがこっちにいて。	A：電子を動かす。
C	うん、そうそうそう。	
B	合ってますか？これ（板に残った亜鉛イオン）はどうなりますか？	B：板に残った亜鉛イオンを指し示す。
C	こいつはもう、亜鉛じゃなくなっちゃったから。	
B	じゃあ、亜鉛が消える？	B：亜鉛イオンを場外へ出そうとする。
C	こいつら（水溶液中の亜鉛イオン）と一緒にじゃない？	C：水溶液中の亜鉛イオンを指し示す。
B	じゃあ、あっとったんじゃない？さっきの。	
A	じゃあこれ（亜鉛モデルがなくなった板）は何ですか？	A：亜鉛モデルがなくなった板を指し示す。
C	2個しかないわけじゃないから。今これ代表して。	
A	これだけ、こう。	A：亜鉛モデルを1つだけ亜鉛イオンにして水溶液中に移動させる。
C	あ、そやそや。そうするか。	
B	え、どういうこと？	
C	このままのやつ、いるから。実験中、一瞬で亜鉛消えたか？	
B	ううん。	
C	多分、一個一個こうなってくから。	
B	あ、じゃあ、徐々に、イオンになってくってこと？	
C	あ、そうそうそうそう。	

表3 抽出班による、亜鉛原子が亜鉛イオンになる様子を話し合う際の発話とモデルの操作

電子を放出することに気づける生徒は多かった。ダニエル電池に使用されている金属や水溶液を用いる必要性や、半透膜の役割について、生徒自ら発見していた。基本的なダニエル電池の仕組みの理解を確認するため、生徒全員に、電子授受モデルを動かしながらダニエル電池の仕組みを説明する様子を動画に撮って提出させた。

## （2）動画撮影パフォーマンステスト

生徒 D は班での話し合いで一言しか発していない。しかし、次時でのダニエル電池の仕組みを1分間で説明する動画を撮影するパフォーマンステストでは、モデルを動かしながら、

原稿を見ることなく自分の言葉で仕組みを説明できた。表4は、生徒 D のパフォーマンステストでの発話内容である。モデルの操作は発話と一致しており、適切であった。

亜鉛は銅よりイオンになりやすいので、こっちの亜鉛が溶けて、電子が銅板の方に移動して、銅イオンとくっついて、銅になります。もう一個の亜鉛も溶けて、電子が導線を通して、銅の方に行って、銅イオンとくっついて、銅になります。これだと、電氣的に偏りがあるので、亜鉛が移動して偏りをなくします。このようにして、電流、電流が流れます。（1分01秒）

表4 仕組みを説明する生徒 D の発話

### (3) ダニエル電池の条件を変えた場合の 反応を「電子授受モデル」で考える

生徒たちはダニエル電池の仕組みを理解し、動画パフォーマンステストを成功させて自信をつけたように見えた。その自信を揺るがし、さらに考えさせてイオン概念の理解を深めることを目指して、ダニエル電池の条件を少し変えた場合の反応を考える課題を複数提示した。例えば、「銅板と亜鉛板を導線でつないでいなかったら？」などである。以下に他の2例を取り上げて様子を記述する。

「亜鉛板と亜鉛板だったら？」では、生徒A、Cが、亜鉛と銅イオンが直接反応してしまい、電子が導線を流れないと気づいた。2人の対話を聞いていた生徒Bが「亜鉛板が銅板になるってこと？」と質問し、生徒Aが「亜鉛と銅が混ざるとるんや」とつぶやいた。モデルが表すより多くのことをイメージして考えられている。そこで生徒Cは「前にそういう実験せんか？」とイオン化傾向の実験を思い出し、ノートを見返して既習事項とのつながりを説明した。これを聞いた生徒Bは「亜鉛が溶けて銅が出てくる」と納得し、「硫酸銅側で、銅ができた」とまとめている。

「セロハンの仕切りがなかったら？」では、2種類の水溶液が混ざってしまうことを互いに確認した後、生徒Cは「一瞬だけ電流流れるんじゃない？」とつぶやいた。それに対して、生徒A、Bが「何で一瞬なん？」と問い返したことを発端に、生徒Cは、「あ、やっぱりがうかも、あれ？」「そもそもさ…ちょっと、一回戻そ、わからなくなったから」と自分の考えを論理的に説明できないことに気づき、思考錯誤を伴う対話が更に深まっていった。生徒Cが、「そもそもここだけで、ここに銅つくんじゃないの？」と電流が流れない反応を見つけたことに対し、生徒Bが、「え、でも、こっちにあるかもしれんよ」と電流が流れる反応が起こる可能性を指摘し、2種類の反応が同時に起こることを見出した。その

結果、亜鉛が銅にメッキされて、しばらくすると電流が流れる反応が止まってしまうだろうということまで考えることができた。

次時では理科室が使えなかったため、課題についての発表が普段と異なるメンバー構成となった。その際、理科室での対話にほとんど参加しない生徒Dは新しいメンバーの中で自分の考えを伝え、さらには代表として発表していた。理科室での対話には積極的に見えなかったが、対話を聞き、電池の仕組みについて考えを深めている様子うかがえた。

### (4) ダニエル電池の理解度の自己評価

ダニエル電池の仕組みの学習後に、選択式の自己評価と、自由記述による振り返りを行った。全体的に、【仕組みが理解できた】【仕組みを説明することができた】という両質問共に生徒は肯定的な自己評価をしている。

生徒A、B、Cは、自己評価において、【仕組みが理解できた】【仕組みを説明することができた】のどちらの質問に対しても、Aとしている。自由記述では「班の人ののおかげで理解することができたし、よくこんな難しいものを思いついたなと思いました。(生徒A)」

「理解するだけでも大変なのに、0から作るのはすごいと思う。(生徒C)」と、協働での活動を通して思考し、理解したことがうかがえる。生徒Dは、【仕組みが理解できた】はBと評価したが、【仕組みを説明することができた】はAと評価した。班での話し合いで発言することではなく、自由記述でも「理解するのが難しく、時間がかかった。」と書いているが、友達の話合いの様子に耳を傾けることで、最終的には十分な説明をすることができるようになったと考える。

他の生徒からも、「モデルによってイオンや電子の動きが分かりやすかった」「友達と教えることで理解できた」「ダニエル電池の学習を通して、既習の電気分解やイオン化傾向について理解できた」等の意見が多く見られた。

### 3. 酸性の水溶液にマグネシウムを入れると 水素が発生する仕組みを考察する

#### (1) 「電子授受モデル」を用い、ダニエル電池の考えを応用して水素の発生を考察する

①塩酸、②硫酸、③硝酸、④酢酸の中から班ごとに1つ選び、マグネシウムを加えると水素が発生することを確認する実験を行った。結果をクラス全体で共有し、どの酸性の水溶液も共通して水素が発生していることを確認した。考察の際、班ごとに電子授受モデルを動かしながら対話を行った。ダニエル電池の仕組みを考えたのは夏休み前であり、1か月以上空いているが、同じモデルを使用することで、学習のつながりを見出しながら活発な対話が行われていた。完璧な説明とはいえない班もあったが、それぞれ2つか3つの班が集まって互いの考えを交流する時間を設け、最終的には全ての班が、イオン化傾向を踏まえ、水素が発生する仕組みをモデルで説明することができた。

今回は、硫酸にマグネシウムを入れる場合のモデルを考えた。硫酸イオンが2価であることから、塩酸をモデルにするより難しいと言える。水溶液中で2つの  $H^+$  と  $SO_4^{2-}$  をつなげたままにする班もあったが、他の班から電離するからイオン同士を離して配置するべきではないかという指摘を受け、納得して訂正していた。また、水素原子のまま空気中に出ていかせている班もあったが、これも水素分子の状態であるはずだと指摘され、訂正していた。動かせるモデルであるので、置き方を少し変えるだけで、互いの概念の相違を確認し合うことができていた。

#### (2) 協働での学びをワークシートに表現する

生徒 D は、今回も対話に積極的に参加せず、本時の学習を振り返っての感想には、「少ししか理解できなかったのと、説明がむずかしかったので、家とかでべんきょうしておき

たい」と書いている。しかし、そのワークシートには水素発生正しいメカニズムをモデル図と文章で表現できている。図6は生徒 D がワークシートに表現したモデル図である。ワークシートは授業後すぐに提出しているため、他の資料を参照していない。また、抽出班の生徒 A、B、C がそれぞれ書いたモデル図と似ているが、全く同じではない。まとめには、「マグネシウムは水素よりイオン化傾向が高く、イオンになりやすいので、Mg イオンになって水中に溶けだす。Mg から出た電子を水素イオンが受け取り、水素原子になる。それがくっついて水素分子になって気体となる。」と書いており、どの生徒とも同じではなく、明らかに生徒 D が自分で表現した独自のものである。生徒 D は対話に消極的であり、自己評価は低いものの、友達の対話の様子をいつもにこやかに聞いており、そこから十分に理解を深めている。

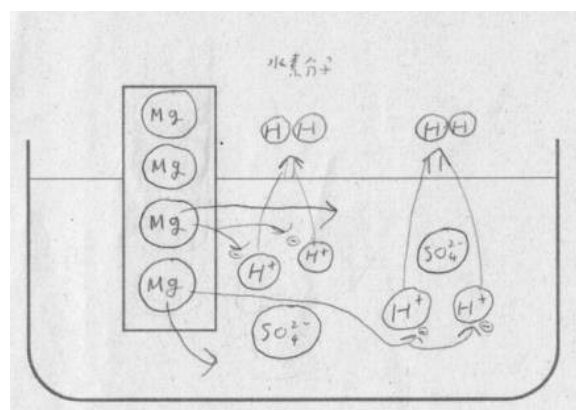


図6 生徒 D が表現したモデル図

### 4. 中和による水の生成を見出す

#### (1) 完全に中和することの難しさ

水酸化ナトリウム水溶液と塩酸を少しずつ混ぜ合わせ、中性を目指す実験を行った。フェノールフタレイン溶液または BTB 溶液を選んで中和点を見つけるのに加え、pH メーターを使用して値を確認し、完全に中和するのがとても難しいことを体感した。その操作を通して、酸性の水溶液とアルカリ性の水溶



液を混ぜ合わせても必ず中性になるわけではなく、互いの濃度と量が関係することに気づくことができた。本時では、実験結果の考察の際、イオンカードを用いることで、生徒自身の思考によって水の生成を見出せるように工夫している。

## (2) イオンカードの操作により、中和による水の生成を見出す

実験後、班ごとにイオンカードを渡し、「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を混ぜ合わせて中性にしたとき、どんな水溶液ができるのだろうか」という課題に対して、考察するように促した。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ のイオンカードを机に並べることができても、何ができただのかと問われれば、なかなか見出せない班が多かった。 $\text{H}^+$ が酸性の元となるイオンであり、 $\text{OH}^-$ がアルカリ性の元となるイオンであることは、前時でイオンカードを用いて確認している。

教師が班を巡回し、考察の進み具合を確認しながら、水発生の発見に至らない班においては、机の上にある  $\text{H}^+$  と  $\text{OH}^-$  を指しながら、「これだと、酸性かつアルカリ性ってことにならない？でも実際には、中性にすることができたんだよね、何でかな？」と発問を行った。すると、多くの班では、「 $\text{H}^+$  と  $\text{OH}^-$  が同

じ数あって打ち消し合うから」と答えるものの、打ち消し合うことが、 $\text{H}^+$  と  $\text{OH}^-$  で結びつくことと同義であることに気づかない。そのうち、班の1人が「あっ！」と声を上げ、 $\text{H}^+$  と  $\text{OH}^-$  のカードを結びつけ、「これって、 $\text{H}_2\text{O}$  じゃない?!」と気づく。周りの生徒は、「すごすぎる！」と感嘆の声を上げる。そのようなやり取りが至るところで見られた。

## (3) 事実とスキルをツールとして使い、つながりを見出して、概念化する

クラスの中には、すぐに水の発生に気づく生徒や予習することで既に知っている生徒もいるだろう。これらの生徒の発言によって授業が展開し、クラス全体に周知するというのが、従来の筆者の授業スタイルであった。しかし、本実践では、知識の伝達ではなく、生徒自身による概念化を目指しているため、少人数の気づきを即座にクラス全体に伝えることを控え、班ごとのモデル操作と対話の時間を十分にとった。これにより、班での話し合いで水や塩化ナトリウムの発生を見出し、驚きを得たという感想を書く生徒がとても多かった。また、イオンカードを参考にするので、ほとんどの生徒が中和反応を化学反応式で表現することができていた。

【仕組みを理解することができたという実感】	中性にしたときの水溶液がどうなるか理解できた。仕組みが理解できた。いつもより良く分かった。	36.8%
【水が生成することを発見した時の感動】	水（や塩化ナトリウム）が生成することに驚いた。発見した時、盛り上がった。発見した時は気持ちよかった。	22.1%
【完全に中和することの難しさを実感】	中性はとても貴重なものだ。1滴で変わってしまう。	21.0%
【イオンモデルで考えたことへの感想】	イオンカードで考察したらわかりやすかった。イオンで考えることで組み合わせの変化が理解できた。イオンの組み合わせが変わって中性になることが面白い。	13.6%
【中性についての考察】	中性を作り出すには、 $\text{OH}^-$ と $\text{H}^+$ が同じ量でなければいけない。混ぜ合わせても、中性にならないこともある。酸性とアルカリ性の関係も、化学では打ち消し合う内容のものが多いのかなと思いました。	7.3%
【理解が不十分だと言う自覚】	柔軟に考えられるようになりたい。化学式が難しくて表せなかったのが、がんばりたい。	8.4%
【実験の楽しさについての感想】	実験が楽しかった。班のみんなと協力して実験できた。	6.3%
【日常生活へのつながり】	日常生活のどの場面で使われているか考えたい。日常生活で活用できそうだ。家にある水溶液でも実験してみたい。	4.2%

表5 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の反応を学習した際の感想の分類 (n=95)

表5は、授業のワークシートに書かれた、学習後の生徒の感想を8種類に分類したものである。検証・集計には、授業後すぐに回収したもののみを使用し、回答数は95名である。また、複数の種類の感想を記入している場合は、重複してカウントしている。一番多かったのは、【仕組みを理解することができたという実感】を表現したものであり、36.8%である。次いで多かったのが、【水が生成することを発見した時の感動】22.1%、【ぴったり中性にすることの難しさを実感】20.0%である。

土井・林(2015)は理科授業に対する小・中学生の意識調査を行っている。その中で、小学生・中学生の理科授業への要望は、実験することに集中しており、特に中学生には、実験に対して刺激や面白さを求める傾向があると述べている。小・中学校で行われる観察・実験が、楽しさを求めるのではなく、自分の考えを確かめるために行われるようになれば、学習内容の難しさに正対するようになら変わる可能性があると考えしている。本授業において、【実験の楽しさについての感想】を挙げた生徒は6.3%であり、少数である。自ら科学の法則を発見して概念化する喜びは、なんとなく化学反応を起こしたり、単純に観察するだけに終わったりする実験の楽しさを上回ると考える。概念の形成を目指す上では、実験は思考のためのツールの1つにすぎない。

事実をつないで概念理解に至った喜びを率直に表現する生徒もいた。「自分の実験した経験を活かして気づきを得られたので大切だと思いました。」という感想から、1時間の中で実験とイオンカードの操作の両方を行ったことで、経験とモデルの操作というツール同士がつながり、更なる深い思考によって、中和概念を自ら発見できたことがうかがえる。「酸性とアルカリ性を混ぜると中性になることはなんとなく分かっていたけど、原理がわかると、当たり前と思うことも面白くなる。」とい

う感想から、「なんとなくわかっている」という浅い理解から、「原理」という深い理解に至ったことを自覚した生徒の様子が見て取れる。「当たり前」と思っていることも深く理解すると面白くなるという理科の本質に迫ることができている。また、「自分なりに考えて納得することができました」と書いた生徒がいる。「教えてもらって理解した」のならば、概念を伝達されたということだが、「自分なりに考えて納得した」のは、思考の末に概念を形成できたということだろう。「化学では、打ち消し合う関係のものが多いのかなと思いました」という感想からは、見出した概念が科学全体に共通して言えることなのではないかと思いを馳せている生徒の様子が見て取れる。

## 5. 酸とアルカリからどんな塩ができるか

中和の例として、3つの実験を演示した。どの場合も水と固有の塩ができることを確認し、酸とアルカリの組み合わせを色々変えて、どんな塩ができるのかをイオンカードを用いて考える活動を行った。

酸(塩酸、硫酸、硝酸、酢酸)から1つ、アルカリ(水酸化ナトリウム、水酸化バリウム、水酸化カルシウム、アンモニア)から1つ選んで組み合わせたとき、どんな塩ができるかをまとめられる表と、できた塩が身近でどのように使われているかが書かれたカード資料を配布した。本時では生成される水よりも、塩に注目させている。しかし、塩ができることではなく、 $H^+$ と $OH^-$ が結びついて水ができ、酸とアルカリの性質が互いに打ち消し合うことが、中和の本質である。中和の定義について、じっくりと考える時間は次時で確保することにした。

## 6. 中和と中性の違いを理解する

### (1) 水溶液中に存在するイオンを考える

イオン概念理解度調査(R5年度)の結果から、「中性」と「中和」という概念は互いに混

同じやすいことがわかる。概念の違いを教師が丁寧に説明して正しい表現を覚えることを促したところで、永続的な理解に到達するわけではないと考える。そこで、「丁寧な」説明は省き、イオンカードを使ってイオンを可視化し、完全に中和するときのイオンの数から中性になるときの水溶液の体積を考えたり、ワークシートにイオンモデルで表現したりする班活動を行った。図7は、生徒がイオンモデルを記入したワークシートの一部である。ワークシートには3回、「このとき、中和は起こりましたか？」と問いかける機会を設けている。このように、班活動の中で、生徒が自ら「中性」と「中和」の概念の違いを見出すための学習デザインを考え、実施した。

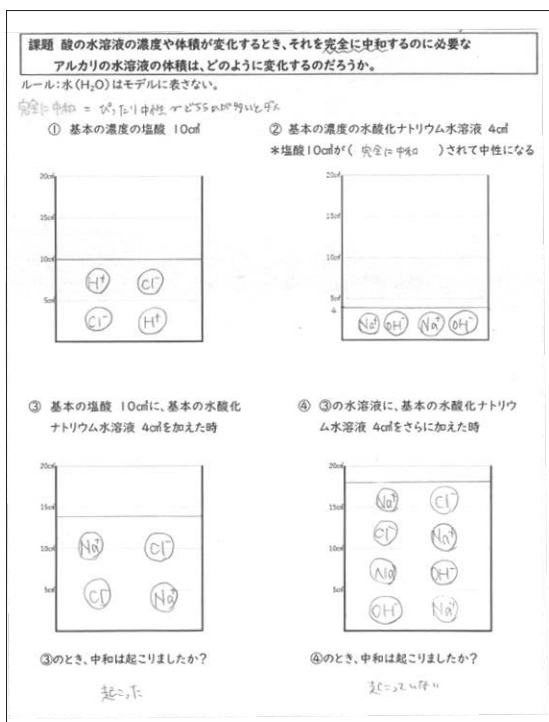


図7 水溶液の濃度や体積とイオンの数の関係を考えるワークシートの一部

まず、表6の①にある、基本の濃度の塩酸に含まれるイオンを、 $H^+$ と $Cl^-$ がそれぞれ2個と指定し、記入させる。その後、②～⑦で示す水溶液に含まれるイオンを、水溶液の体積の変化に気を付けながらモデルで表現させる。生徒は、塩酸や水酸化ナトリウム水溶液

に含まれるイオンの数に注目し、イオンカードを使って表現する。それらを混ぜ合わせる過程を、イオンカードを協働で動かしながら表現する。既習事項から、 $H^+$ と $OH^-$ が結びつき、水が発生することはよく理解できており、どの班も積極的にイオンカードを使って表現している。それをワークシートに表す際には、水ができた場合、もうイオンではないので記入しないというルールを伝えると、互いに確認しながらモデルを書く様子が見られた。生成した水を除外して記入する活動を通して、イオンカードと紙面上のモデルをつなげて考えることになる。イオンカードを使って水ができたことを表現するが、その水を紙面に記入しないという活動が「中和」概念そのものを表している。したがって、モデルを動かすこと自体が、中和の適切な概念形成に寄与していると考えられる。

- ① 基本の濃度の塩酸 10  $cm^3$
- ② 基本の濃度の塩酸 10  $cm^3$ が完全に中和されて中性になる水酸化ナトリウム水溶液 4  $cm^3$ に含まれるイオン
- ③ 基本の塩酸 10  $cm^3$ に、基本の水酸化ナトリウム水溶液 4  $cm^3$ を加えたときに残るイオン【中和は起こりましたか？】
- ④ ③の水溶液に、基本の水酸化ナトリウム水溶液 4  $cm^3$ をさらに加えたときに残るイオン【中和は起こりましたか？】
- ⑤ 基本の塩酸 10  $cm^3$ に、基本の水酸化ナトリウム水溶液 2  $cm^3$ を加えたときに残るイオン【中和は起こりましたか？】
- ⑥ 基本の塩酸の2倍の濃度の塩酸 10  $cm^3$ に含まれるイオン
- ⑦ ⑥の塩酸を完全に中和するために必要な基本の水酸化ナトリウム水溶液 (  $cm^3$  ) に含まれるイオン

表6 水溶液の濃度や体積とイオンの数の関係を考えるワークシートの問い

## （２）中和に関する理解度の自己評価

学習後に、選択肢方式の自己評価と、自由記述による振り返りを行った。

【水溶液を加えたとき、中和が起こるか起こらないかを考えることができた。】という質問に対して、75.8%の生徒がAと答えており、中和の判断に自信を持った生徒の割合がとても高いと言える。自由記述では、「中和しても完全に中和していなければ、酸性やアルカリ性になることがわかりました。」「完全に中和する（中性にする）ためには、同じイオンの数どうしにする必要があることがわかりました。」など、混同しがちな「中和」と「中性」概念を、互いに関連付けながらも、違いを明確にして理解していることがうかがえる感想が多く見られた。「中和」と「中性」の違いを教師が教えるのではなく、イオンカードを使った対話によって、生徒自らが見出して理解した成果と考える。

生徒Dは中和の判断の自己評価をBとし、「理解するのがむずかしかった。中和が起こるかどうかは理解することができた。班にたよらず、自分でも解けるようになりたい。」と感想を書いている。単元を通して、対話に傾聴するばかりで発言せず、消極的な学習態度に見える生徒Dだが、難しさを吐露しながらも「理解することができた」と自信をつけた様子が見られる。協働的な学びが「自分でも解けるようになりたい。」という成長への動機づけとなったことも嬉しい成果である。

他の生徒の、「イオンモデルを用いたことで、考えながらも感覚的に捉えることができました。」という感想から、モデルにアフォードされる感覚が、科学的な思考を促進していることがわかる。「カードで表現することで、頭の中で中和をイメージすることができた。班の人と考え合いながら授業を受けれたので、良い学びになった。」という感想からは、イオンカードで視覚化された概念と、頭の中でのイメージが繋がっている様子がうかがえる。「班

の人と考え合いながら」という表現からは、協働的な学びが効果的にはたっているという生徒の実感が見て取れる。

## 7. 「イオン」概念理解度事後調査

### （１）「中和」概念理解度の比較

R5年度には、一般的なカリキュラムで学習した石川県内の中学校3校546名の生徒に、【「中和」とはどのような反応かできるだけ詳しく説明しなさい。】という問いで中和概念の調査を行った。【正しい中和概念】を【中和とは、①水素イオンと水酸化物イオンが結びついて②水が発生し、③酸とアルカリが互いの性質を打ち消し合うこと】と定義し、①～③の3つのポイントが全て含まれ、間違った内容が書かれていない解答を、【必要十分な中和概念】とする。3つのポイントが1つまたは2つ含まれ、間違った内容が書かれていない解答を、【十分とは言えないが正しい中和概念】とする。「中和」としては間違った内容が含まれていた場合、【誤答】とする。例えば、「中性になる」「陽イオンと陰イオンが結びつくことである」などの解答は【誤答】とする。

表7は、R5年度に実施した一般的なカリキュラムでの学習後と、生徒による概念形成を重視した本実践の学習後の「中和」概念理解度調査結果の比較である。R5年度の事前調査では、特に「中和」と「中性」を混同している解答が多く見られたため、注目して調査を行った。

【必要十分な中和概念】を記述できた生徒の割合は、11%→5%と6ポイント減少した。これは、正しい中和概念を表す文章を暗記させるように働きかけておらず、中和としてどこまでの概念を記述すればよいのかの判断を生徒に委ねたまま調査をしたためだと考える。しかし、必要十分ではない場合もあるが、中和としての正しい概念を書けた生徒の割合は、54%→70%と16ポイント増加した。また、中性と混同している割合は、30%→9%と21ポイン

	R5 年度 一般的なカリキュラムでの学 習後 (n=546)	R6 年度 イオンモデルを使って概念形 成を重視した学習後 (n=103)
正しい中和概念	54%	70%
必要十分な中和概念	11%	5%
十分とは言えないが 正しい中和概念	43%	65%
誤答・無回答	46%	30%
中性と混同	30%	9%
その他	16%	21%

表7 一般的なカリキュラムと概念形成に重点を置いたカリキュラムでの、中和概念理解度の比較

ト減少した。「中和」と「中性」という似通った語感に惑わされない生徒が増加したのは、イオンカードを用いて生徒が協働で思考する中で、生徒が自ら「水」の生成を発見し、中和の概念が適切に形成された成果と言える。

## (2) イオンモデル（イオンカード、電子授受モデル）を使用した生徒の感想

単元を通して、イオンモデル（イオンカード、電子授受モデル）を使用した生徒の感想を見ると、モデル使用に肯定的な意見がほとんどであった。特に、「(問題を解くときに)モデルが頭に思い浮かぶ」「化学式が覚えやすくなる」「(感覚的に)理解しやすい」「(式よりも)図にした方がわかりやすい」「(友達に)説明しやすい」「動かせることがよい」「発展させられる(他の条件にしても考えられる)」という意見が多く見られた。事後調査を提出した 96 人の生徒の感想の中で、2 名のみ、「とても役に立ちました。ただモデルを覚えてなかったから、イオンカードを使うのが難しかったです。」「使いやすかったし、理解がしやすくて説明しやすかったが、イオンの化学式が書いてあることにより、イオンの化学式の理解が曖昧になった。」と、モデルや化学式の覚えにくさの問題点を挙げていた。

生徒の感想からは、モデルの使用による感覚的な理解のしやすさはもちろんのこと、モデルを動かせることによる、協働での学

びにおいての説明のしやすさや対話のしやすさを見出すことができる。「発展させられる」「他の条件にしても考えられる」という感想からは、自らの学びの深まりを認識し、自信をつけている様子が見える。

## V 考察

実践経過を振り返って、生徒が科学的概念を形成する学習について考察すると、そのデザインにおいては特に次の 3 点が重要であることを見出した。①イオンモデルでの思考が実物や実験とつながるための手立てを工夫すること、②動かせるモデルを用意して対話を活性化させること、③生徒の思考の道筋を教師が想定しすぎず、生徒の試行錯誤を尊重すること。以下に、各項目について詳しく述べる。

### 1. イオンモデルでの思考を実物や実験とつなげる

イオンカードを使用すると、カードの凹凸の形状にアフォードされ、陽イオンと陰イオンの組み合わせで化合物が成り立っていることを感覚的に理解しやすい。また、水の中でイオンになる「電離」をイメージしやすくする効果があった。ただ、イオンカードをつなげてできた化学式がどんな物質なのか、また、そのイオンはどのような性質なのかをイメー

ジできていない生徒にとっては、イオンカードの使用は、「カードを単に繋ぎ合わせる」パズルのようなものにしか過ぎなかったおそれがある。ワークシートに記載した物質の並び順について、電離の式を考える際の難易度や生徒にとっての馴染み深さの順を全く考慮していなかった。これでは、単なる思考パズルに陥りかねないと考える。

2章の【ダニエル電池の仕組み】や、3章の【酸性の水溶液にマグネシウムを加えたときに水素が発生する反応】【中和の仕組み】では、実験した直後にイオンモデルで対話をしたため、化学反応を実際に目にした際の細やかな気づきについてもモデルで検討し、深い理解につなげている様子が見られた。モデルはトピックから概念を見出すための有効な道具であるが、適切なトピックが準備されていなければ、机上の空論となり、生徒の心に何も残らないだろう。イオンモデルを使う際には、実物を提示するなどの方法を用いて、生徒にイメージを持たせることが必須であると考え。

## 2. 動かせるモデルで対話を活性化させる

今回の実践研究に取り組むまでの授業では、原子が電子を失ったり、受け取ったりしてイオンになることを生徒に学ばせたものの、その動きをモデルで表現させることはなかった。これまで使用していたモデル「イオンカード」は、陽イオンか陰イオンかの状態が固定されており、イオン同士の結びつきだけに特化したものだからである。1章の発展的な内容として、電気分解の仕組みを考える際には、電子の授受を表現することが必要となる。それを生徒主体で考えさせることができなかったのも、物足りない思いであった。そこで、本実践研究では、2章の電池の仕組みにおいて、生徒同士の対話によって思考を深めることを目標とし、協働で動かしながら思考できる「電子授受モデル」を開発するに至った。イオン

カードが「物質の様子」を表すのに対し、電子授受モデルは、「物質の変化」を動きで表現することができる。

1章でイオンカードを使い電離の式を考えただけにも、生徒たちはカードを使いながら対話していたが、電離の「様子」をモデルで表現し、それで良いかを互いに確認し合うような、一問一答のやりとりで終わることが多かった。対話は行われるものの、言葉がつながって思考が深まっていく様子は見られなかった。動かしながら考えることができる「電子授受モデル」は、生徒の対話をさらに活性化させた。マグネシウムが溶けだすと、マグネシウムイオンはどこに行くのか、電子はどのように動き、その後どうなるのかなど、モデルの動かし方にも多くのバリエーションが考えられる。その動き1つ1つを化学変化とつなげて言葉で説明する必要があるため、必然的に発話が増えていく様子が見られた。

動かせるモデルは、置き方を少し変えるだけで、互いの考え方の相違を確認し合うことができる。紙面に書いたモデルの間違いを指摘した場合、修正するためには書き直すことが必要となるが、動かせるモデルならば、即座に修正することができた。そのため、生徒が互いの考えの違いを指摘し合い、細やかに修正していくことで、より適切な概念を形成していくことができた。

また、「溶ける」様子や「電流が流れる」様子をモデルの動きで表せることは、生徒にとって、目に見えないイオンや電子の動き方についての理解を助ける効果があったと考える。ダニエル電池の仕組みについては、話すことが非常に苦手な生徒1名以外の103名の生徒全員が、「電子授受モデル」を動かしながら正しく説明できた。紙面にモデル図を書きながら仕組みを考えるような活動では積極的になれず周りの生徒のノートや黒板をそのまま写していたような生徒も、班での対話を経て自分で考えて説明をしていた。さらに、紙での

筆記テストを苦手とする生徒が、「電子授受モデル」以外何も参考にせずに、ダニエル電池の仕組みを紙面上の図に表現し、完璧な説明文を添えたことに、モデルを用いた対話の効果の高さを実感している。文章で説明することに苦手意識を持つ生徒でも、話し言葉で説明できたことは自信となり、文章にも書けるようになったのだと考える。正解の文章を暗記して再生できたのではなく、仕組みを理解してそれを「説明する」ことができたことについては、概念的な理解につながったと判断することができるであろう。

### 3. 生徒の思考の道筋を教師が想定しすぎず、生徒の試行錯誤を尊重する

本研究では、教師が事前に準備した思考の道筋に生徒を誘導するのではなく、どの視点から考えるのかをできるだけ生徒に委ねた。班の中に思考力があってリーダーシップをとれる生徒がいる場合、多面的多角的で活発な議論が実現した。しかし、そのような生徒が不在で、理解が不十分だったり思考することが苦手だったりする生徒ばかりが集まった班の場合、どこから思考すればよいか見当がつかず、議論を諦めてしまう様子が見られた。

生徒たちが自らの力で概念を形成していくことを目的としていた筆者は、単元当初、ヒントを出すことを躊躇してしまった。だが、この場合は、生徒からアイディアが出ることに固執せずに、教師が班に介入してヒントを出すことで、思考が進むのを促し、より効果的に学習が進められると、現在は考えている。

とはいえ、クラス全体に一律にヒントを出しすぎることは、非常にもったいない。生徒自らが発見する機会を奪い、議論の必要性を低下させてしまう。よって、班ごとに最適なヒントを出すべく、机間指導を行い生徒の議論の様子を把握する必要がある。本実践の終盤においてやっと、そのバランスの重要性が分かってきた。中和による水の生成を見出し

た瞬間の生徒の晴れやかな表情が多く見られたのは、生徒の試行錯誤を尊重した上でそれぞれの生徒の状況や必要性に応じたヒントを与えたことが功を奏したと考えている。

対話の中で、生徒が「なんで?」「どういうこと?」と尋ねることは、自らが理解できていない点を自覚する効果があると考えられる。また、イオンモデルを使うことで、完璧な理解でなくても、思考途中の自分の考えを表現することが可能となり、自分の理解の段階を細やかに自覚することにつながる。

友達の疑問に答えようとする生徒にとっては、自分の理解を表現し、その理解を確かめる場になる。さらには、友達の疑問に答えるうちに、自分の理解への自信を揺るがされ、再度深く思考することで間違った理解に気づいたり、理解への自信を深めたりする。互いの理解度を伝え合うことによって、対話に参加する双方の概念形成に効果があると言える。

単元を通して、生徒の感想の中には、「○○さんのお陰で理解できた」「考えを共有できるから良い」「図で説明したほうが自分も相手もわかりやすい」などの意見がみられた。このような感想からは、互いの理解を尊重し合い、協働的な学びを楽しみながら自分の理解に役立てている様子がうかがえる。

生徒 D のように、一見対話に参加していなかった生徒にとっても、同じ年齢の友だちが、学習内容に対して議論し理解を深めていく様子を目の当たりにすることは、教師が説明する以上の学習効果があっただろう。振り返りの文章に記されていたように、自分ももっとわかるようになりたいという向上心が芽生えたことも喜ばしい効果であった。

「ボルタの電池を取り扱った後にダニエル電池を学習すれば、生徒はこんなに迷わないのではないか。」これは、ダニエル電池の仕組みについて、生徒が試行錯誤した授業記録を読んだ同僚の感想である。知識を効率的に蓄積し、その上で活用を繰り返す指導観におい

ではもっともな指摘であるが、本実践では、生徒が迷い、時にはわからなくなるような、試行錯誤自体を重要視した。

ダニエル電池よりボルタ電池の方が簡単な仕組みであり、理解しやすい。ダニエル電池は、より深い思考が必要な題材である。ボルタ電池ではなくダニエル電池を学ばせるように学習指導要領が改訂されたのは、教師が思考の道筋を準備して一つずつ学ばせる方法から脱却し、生徒が試行錯誤しながら問いを解決していくような学びが必要とされているからではないだろうか。今回の実践において、生徒がダニエル電池の仕組みをすんなり理解したのではなく、モデルを協働で動かしながら考えを伝え合い、思考の鍵を1つずつ発見しながら、考えを行ったり来たりさせてゆくと概念を形成できたことが成果だと捉えている。

### おわりに

イオンの単元が終わり、次の単元「運動とエネルギー」の学習に入った。単元の導入では、前単元の「化学変化とイオン」において、目には見えない「イオン」を「イオンカード」や「電子授受モデル」で表現しながら考えたことを振り返り、本単元では、目には見えない「力」を「力の矢印」で表現していくことを確認した。イオンの状態を試行錯誤して考えた経験から、「力の矢印」でも、生徒は最初から正解のみを求めるのではなく、何度も書いてみてそれぞれの矢印の意味を考える習慣が身に付いているように感じる。それは、生徒の意識の変化でもあるが、授業をファシリテートする教師である筆者の意識の変化が大きいかもしれない。正解ではない力の矢印でも、どうして生徒がそのように表現したのかを説明させることで、生徒の理解を細やかに見取ることができる。生徒が安心して自分の考えを友達や教師に伝え、間違いからも理解を深める雰囲気が、理科の授業の中に醸成さ

れている。これからも、生徒が試行錯誤する授業を、筆者自身が試行錯誤して作っていかうと考えている。

### 引用文献・参考文献

- 1) 土井徹・林武広 (2015) 理科授業に対する小・中学生の意識調査—小・中学校の理科授業を円滑に接続するための検討事項を探る—、日本教科教育学会誌、第38巻、第1号、79-86.
- 2) 福田恒康・遠西昭寿 (2014) 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)、333-340.
- 3) H・リン・エリクソン、ロイス・A・ラニング、レイチェル・フレンチ (2017) 思考する教室をつくる概念型カリキュラムの理論と実践、北大路書房
- 4) 中島伸子 (2011) 天文学領域での概念変化—地球についての子どもの理解—、心理学評論、Vol. 54 (No. 3)、268-282.
- 5) 奥村好美・西岡加名恵 (2020) 「逆向き設計」実践ガイドブック「理解をもたらすカリキュラム設計」を読む・活かす・共有する、日本標準
- 6) 佐藤明子・高橋治・菊池洋一・村上祐 (2006) イオン学習の適時性—教科書の国際比較に基づいて—、理科教育学研究、Vol. 46 (No. 2)、21-27.
- 7) 武井隆明・菊池洋一・菅原尚志・青井千明・大石祐司・村上祐 (2006) 人類はどのようにしてイオンを認識してきたか—発見史からみたイオン学習—、理科教育学研究、Vol. 46 (No. 3) 345-53.
- 8) 湯澤正通 (2011) 科学的概念への変化—概念変化の要因と研究の課題—、心理学評論、Vol. 54 (No. 3)、206-217.