

9	尾北	犬山市立城東中学校	キクイ シゲカズ 氏名 菊井 重和
分科会番号	5. 2	分科会名	理科教育（ 中学校 ）

研究題目

不可視な事象・現象を論理的根拠を基に説明できる生徒の育成
 — 2年「電気の世界」 3年「化学変化とイオン」の実践を通して —

研究要項

1 主題設定の理由と生徒の実態

地球温暖化による近年の気候変動は、人間の生活や自然の生態系に様々な影響を与えている。氷河の融解による海面水位の変化や洪水、干ばつ、生態系への影響、食料生産といった人間への影響が観測され始めている。国連サミットではSDGsの目標13に「気候変動に具体的な対策を」が採択され、日本でも2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」を国家目標として宣言された。カーボンニュートラルを実現するためには、様々な領域での取組が必要である。輸送機械工業の分野でいえば私たちの生活に移動手段として欠かせない自動車の排気ガスには、温室効果ガスの一つである二酸化炭素が大量に含まれている。そのため最近ではガソリン車から電気エネルギーで走る電気自動車への切り替えが進められており、中でも電気自動車の心臓部ともいえる高性能電池の開発は重要な課題として挙げられる。環境に配慮した電池の開発は、これからの地球を守る重要なものになるだろう。

次代の脱炭素社会を担う中学生が、第3学年の化学単元「化学変化とイオン」において電池内部の化学変化を本質的に理解することは、単なる科学的知識の習得に留まらず、持続可能な社会の創り手としての資質・能力を育む上で極めて重要な教育的意義をもつ。また、電気自動車や次世代電池を支える基盤技術の本質は電子の移動であり、これは第2学年の物理単元「電気の世界」で学習する静電気とも科学的に深く結びついている。

生徒の実態に目を向けると、「電池」や「イオン」の学習に対し、多くの生徒が強い苦手意識や困難さを抱えており、アンケートの「理科の電気の範囲は好きですか」という質問に対し、「かなり苦手」が20.4%、「少し苦手」が33%と半数以上の生徒が苦手意識を抱えているのが現状である。これは水溶液の色の変化や電極への物質の付着といった目に見える現象に対し、原因であるイオンや電子の移動は肉眼で確認することができないためだと考えられる。

また第2学年の物理単元「電気の世界」で学習した「静電気の正体」と、第3学年の化学単元「化学変化とイオン」の「電池とイオン」を結びつけて理解している生徒は極めて少ないだろう。どちらも正・負の電荷をもつ実体が移動する電気的な現象である。第2学年での静電気の学びが、第3学年のイオンや電池の理解に生かされないことが電気分野を苦手とする生徒が多い原因と考えた。実際に第3学年で実施したアンケートでは、「水溶液（塩酸など）に電流が流れるとき、水溶液中では何が起きていると思いますか」という質問に対し、「電気が広がる」「水溶液全体にまんべんなく電流が流れている」「水溶液が帯電する」といった抽象的な表現で答える生徒が多かった。この結果から、第2学年の物理分野で「電流＝粒（電子）の移動」という概念を理解していたはずの生徒であっても、第3学年の化学分野「化学変化とイオン」に変わった途端に「電子の移動」という概念を生かして表現することができていないのではないかと考えた。このような実態を踏まえ、本研究は、物理・化学分野における「不可視な事象・現象を論理的根拠を基に説明できる生徒の育成」を目的とし、第2学年の「電気の世界」、および第3学年の「化学変化とイオン」の単元を「電子の移動」という共通の視点で横断的に関連付け、確かな根拠をもって不可視な事象を説明できる生徒の育成を目指した。

2 研究の構想

(1) 目指す生徒像

不可視な事象・現象を論理的根拠を基に説明できる生徒の育成

(2) 研究の仮説

仮説1：ICT機器を活用した証拠の収集

不可視な事象や一瞬の出来事、長時間の変化を扱う理科授業において、タブレット端末の動画撮影機能を活用して客観的証拠を収集することによって、生徒は「なんとなく変化した」から客観的事実に基づいた科学的な証拠を集め、考察に繋げることができるだろう。

仮説 2：モデルを使用した不可視な現象の表現

目に見える実験結果を基に、電子やイオンの移動を考察する場面において、具体的な操作ができるモデルを使用してワークシート上やホワイトボード上に表現することによって、「目に見える現象」と「目に見えない原理」を結びつけ、自らの言葉で目に見えない事象を論理的に説明できるようになるだろう。

仮説 3：グループでの思考の再構築

ICT 機器による証拠の収集や、モデルを用いた不可視な現象の表現を行う過程において、グループによる対話的な活動を取り入れ、相談しながら実験・考察を取り組ませることによって、生徒は他者の多様な視点に触れることができ、自己の考えを再度練り上げ、不可視な事象について根拠をもって、表現することができるだろう。

(3) 研究の手だて

手だて 1：ICT 機器による静電気現象の可視化（第 2 学年・物理）（仮説 1）

目に見えない「電子の移動」を現象の根拠として捉えるためにタブレット端末のスローモーション撮影を活用する。

手だて 2：粒子モデルによるイオン移動と電池の仕組みの理解（第 3 学年・化学）（仮説 2）

「電流が流れた」という観察事実と理論を結びつけ、電解質の水溶液に電流が流れる仕組みを論理的に説明できるようになるために、水溶液中をイオンが移動する様子を粒子モデルを用いて表現する。また 2 種類の金属と水溶液の間で起こる反応を、「電荷（電子）の発生と移動の仕組み」と理解して説明するために、電池の仕組みを粒子モデルを用いて表現する。

手だて 3：グループでの対話とグループ同士の意見交流による論理と言語化（仮説 3）

他者の多様な視点に触れ、自己の考えを再度練り上げ、不可視な事象について根拠をもって、表現するために、グループによる対話的な活動を取り入れる。

(4) 仮説の検証方法

本研究で設定した 3 つの仮説が、生徒の「不可視な現象を論理的根拠に基づいて説明する力」の育成にどのような変容を与えたかを明らかにするため、本研究では全体アンケートの集計と、抽出生徒 A の変容を中心に捉えて考察する＜資料 1＞。生徒 A は実験の現象を見て結果をまとめることはできるが、実験結果がどのような要因で起こったか、科学的な根拠をもとに考察することが苦手である。ボルタ電池の実験では、気体が発生したが、「塩化水素という名前だから、塩素か水素が出できた」と実験を生かした考察ができていなかった。また、モーターに電流が流れたことに対し、「水溶液中を電子が移動し電流が流れた」と電気分解と混同しており、電源の有無が考えられていなかった。第 2 学年の静電気学習から第 3 学年の水溶液・電池の学習に至るまでのワークシートの記述、作図表現の変容、およびグループワーク時における発言内容を時系列で追跡・分析する。これにより、3 つの手だてが生徒 A の認知変容に与えた影響を検証する。

＜資料 1 抽出生徒 A の課題と手だてによる目指す変容＞

段階・単元	生徒 A の状況	講じた手だて	目指す変容の姿
初期状態	- 目に見えた実験の現象だけで結果を考える傾向がある。 - 結果がどのような要因で起こったか、科学的根拠に基づく考察が苦手である。	ICT 機器を活用し客観的証拠を捉え、粒子モデルで可視化し、グループでの対話活動を通して考えを再構築させる。	目の前の現象を捉え、科学的根拠を基に考察し、自分の言葉で説明できる。
第 2 学年 物理 「電流の正体」	静電気を「下敷きをこすると火花が勝手に湧いてくる」と考えた。	- タイムシフトカメラの「連続写真（1 秒間 20 枚撮影）」による撮影【手だて 1】。 - グループによる考察活動【手だて 3】。	放電の瞬間を客観的証拠として捉え、「こすると何かが移動して溜まり、それが移動し電流が流れた」と考えることができる。

第3学年 化学 「水溶液とイオン」	・水溶液に電流が流れることを「水の中に電気の通り道ができるから電流が流れる」と捉え、導線と同じように電流そのものが走ると考えた。	・電荷符号(+)・(-)を付与した粒子モデルの作図【手だて2】。 ・モデル図を見せ合うグループの対話【手だて3】。	・電気が伝わるのではなく、「電荷をもったイオンという粒が移動することによって電流が流れる」と考えることができる。
第3学年 化学 「ボルタ電池」	・ボルタ電池の気体の発生に対し「塩化水素という名前だから塩素か水素が出た」と、事実に基づかない推測をした。 ・ボルタ電池の電流が流れることに対し、電気分解と混同し「水溶液中を電子が移動した」と、電源の有無を無視した記述をしていた。	・電池の基本モデルの作図【手だて2】。 ・因果関係に矛盾がないか、グループでモデルを組み立てる相談【手だて3】。	・亜鉛の溶解と導線内の電子移動を関連付け、「水素の泡が電極を覆うことで電流が流れにくくなる」と考えることができる。
第3学年 化学 「ダニエル電池」	・ダニエル電池がボルタ電池と異なり、持続的に電流が流れる仕組みを説明する必要があると考えた。	・2種類の水溶液と電池の基本モデルとの作図【手だて2】。 ・ボルタ電池と比較しながらグループでモデルを組み立てる相談【手だて3】。	・イオンの違いに着目し、「水素の気体ではなく銅が固体として析出するため、電極が覆われず流れ続ける」と他者へ説明できる。

3 研究の実践と考察

(1) 静電気の正体を見つけよう(第2学年・物理)【手だて1、手だて3の検証】

【実践の内容(展開)】

第2学年「電流の正体」において、塩化ビニル管とネオン管を用いた放電実験を行った。実験直後、生徒は静電気を「摩擦によってその場に湧き出るエネルギー」と捉えていた。そこで、一瞬の放電現象を捉えさせるため、タイムシフトカメラの「連続写真(1秒間20枚撮影)」による撮影を行わせた。変化を連続写真として可視化し、放電の起点や光の走る向きといった客観的な証拠を生徒自身が収集できるようにした【手だて1】<資料2>。写真の比較を行う際にはグループによる考察活動を設定し、メンバー全員で連続写真を確認しながら、光の走る向きやどちらの電極から光が始まっているかについて意見を交流した【手だて3】。教師は各グループを巡回し、「一度ネオン管が光ると消えてしまい、再度こすらないと光らない」という現象に目を向けるよう支援した。

【抽出生徒Aの変容と考察】

事前アンケートでは「下敷きをこすると火花が勝手に湧いてくる」と記述し、実体の移動という認識をもっていなかった生徒Aであったが、連続写真をグループで確認した際、「よく見ると、光の線が塩化ビニル管側からネオン管に向かって走っている。全体が一度に光ったのではなく、光る物質が移動したからこちら側から光り始めた」と指摘した<資料3>。この生徒Aの指摘に対し、グループの仲間から「本当にこちらから動いているのか」「何が動いたのか」という意見や、「一度光ると消えてしまうのはなぜか」という疑問が出た。また教師から「光がスタートした塩化ビニル管側には、あらかじめ何が溜まっていたのだろうか」と問いかけた。これらの指摘や問いかけを受けて、生徒Aは「静電気を起こすために、最初にティッシュでこすったことが関係している。こすすることで、目に見えない『何か』が塩化ビニル管に移動して溜まったのだと思う。そ

<資料2 連続写真を撮影する様子>



<資料3 ネオン管が光る様子>



れがネオン管に向かって一気に流れたから光った。一度流れると管の中の『何か』がなくなるため、またこすって溜め直す必要がある」と考えまとめた。生徒 A は仲間の疑問や教師の示唆を基に、単なる事実の認識から「摩擦によって何かが移動して蓄積し、それが流れることで放電が起きる」という電気の移動と蓄積のメカニズムへと推論を深めることができた。以上のことから、ICT 機器を活用して客観的事実を収集した過程と、グループの活動を通して考えを再構築する時間を設けたことは、生徒が目に見えない現象を説明するための根拠として有効だったと考える。

(2) 水溶液に電流が流れる仕組みを調べよう (第 3 学年・化学)【手だて 2、手だて 3 の検証】

【実践の内容 (展開)】

第 3 学年「水溶液とイオン」において、物質によって水溶液に電流が流れるものと流れないものがあることに気付き、その仕組みの原因を考えることを目指した。本時では、5 種類の水溶液（塩酸、水酸化ナトリウム水溶液、塩化銅水溶液、エタノール水溶液、砂糖水）に電極を入れ、豆電球が点灯するかを確かめる実験を行った。生徒は、豆電球が光る電解質と、光らない非電解質があることを観察した。この結果を受け、電流が流れる水溶液の内部の様子について、+ やーの符号を付与した粒子モデルを用いてワークシートへ作図させた【手だて 2】。グループでワークシートのモデル図を見せ合い、班で 1 つモデル図を作成しながら、「なぜ水溶液によって電気が流れるものと流れないものがあるのか」「水の中を何が動いているのか」について検討した。またグループ同士で意見交流をし、他の班の意見を基に自分の班の意見を再構築する時間を設けた【手だて 3】<資料 4>。

<資料 4 グループで考えたモデル図>



【抽出生徒 A の変容と考察】

事前アンケートにおいて、生徒 A は「水の中に電気の通り道ができるから電流が流れる」と記述しており、水の中を電流が直接走っているという認識をもっていた。しかし、本時において粒子モデルの作図とグループでの話し合いを行ったことで、生徒 A は、砂糖水では豆電球が光らなかった事実から「砂糖の粒は電気を運べない」と考え、電解質に電流が流れた理由についてグループの仲間と議論を重ねた。すると生徒 A は「導線の中は電子が動いているが、水の中は違う」と発言した。また仲間から「塩酸や塩化銅の水溶液には、+ やーの電気を帯びた『イオン』という粒がいる」という意見が出た。さらに他のグループと交流では「水の中に最初から電流という線が流れているのではなく、イオンがそれぞれの電極に向かって移動するから、結果的に全体に電気が流れる」という意見が出た<資料 5>。それらの意見を受け、生徒 A はワークシートに、「水溶液中に電流という物質が流れるのではなく、電気を持ったイオンが移動することによって電流が流れる」と書き記した。以上のことから、モデルを用いて表現する過程と、グループで考えを相談した過程は、生徒が目に見えない水溶液内部の現象を論理的に説明する根拠として有効であったと考えられる。

<資料 5 全体で交流する様子>

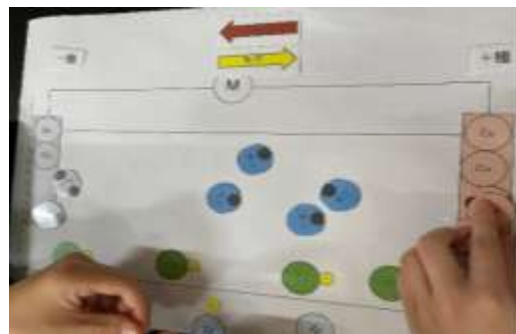


(3) 化学変化から電流を取り出そう (第 3 学年・化学)【手だて 2、手だて 3 の検証】

【実践の内容 (展開)】

「化学変化と電池」において、うすい塩酸に亜鉛板と銅板を浸したボルタ電池を作製し、電流が流れる仕組みを理解することを目指した。本時では、原子のイオン化、電子の放出と移動、もう一方の電極での電子の受け取りを表現するモデル図をワークシートに書いた【手だて 2】。その後、グループの中で各自が描いたモデル図を持ち寄らせ、メカニズムの因果関係に矛盾がないか検討した。さらにグループ同士で交流し、他の班の意見から、自分の班の意見を再構築する時間を設けた【手だて 3】<資料 6>。教師は、時間の経過とともにモーターの回転が弱まる現象に目を向けるよう指示し、電極表面の観察を促した。これにより、電流が流れる仕組みを理解するだけでなく、「銅板に水素がたまることで電流の流れが阻害される」という課題の一問題点に気付けるよう支援を行った。

<資料 6 グループでモデルを作成する様子>



【抽出生徒 A の変容と考察】

実験直後、生徒 A は「水溶液内で電子が移動し電流が流れる」と、電池ではなく電気分解に目を向けた考えを書き、また「液体が塩化水素という名前だから、出てきた気体は塩素か水素」と事象ではなく名前を根拠にした考察をしていた。しかし、モデル図の作成とグループ内での検討を行う中で、仲間から「電子はどこから出てくるのか」と問いかけられていた。これにより自身の記述の不足に気付いた生徒 A は、モデル図を修正し、「亜鉛板は亜鉛イオンになり放出された電子は、水素イオンに結びつくものと導線を通して銅板に行く電子がある」と、電荷の移動を図に示して説明していた。また実験後半にモーターの回転が弱まる様子を教師が伝え、グループでの話し合いから、「最初は電子が移動して電流が流れるが、銅板のまわりに水素の泡が溜まっている」という意見を出した。他の班と交流すると、「水素の泡は気体で、電気が流れにくい」という意見も出ていた。生徒 A はワークシートに「発生した水素（気体）が電子と水溶液中の物質の受け渡しの邪魔をし電流が流れにくい」とまとめていた。このように、生徒 A は仲間の問いかけや教師の指示を基に、モデルを活用して見えない電子の動きを考え、ボルタ電池が流れる仕組みを説明した。以上のことから、モデルを用いて考えた過程と、グループで考えを相談した過程は、有効だったと考えられる。

（4）ずっと流れる電池の仕組みを説明しよう（第 3 学年・化学）【手だて 2、手だて 3 の検証】

【実践の内容（展開）】

<資料 7 グループでモデルを作成する様子>

前時のボルタ電池で顕在化した課題を解決するため、2 種類の水溶液をセロハンで区切った「ダニエル電池」を導入した。ねらいは、「ダニエル電池において電流が流れ続ける理由を、ボルタ電池とのモデル上の違いに着目して説明する」ことである。まず、生徒にはダニエル電池の水溶液中のイオンの分布と電子の受け渡しを表すモデル図を提示した【手だて 2】。グループで示したモデル図を基に、ダニエル電池において電流が流れ続ける仕組みについて検討した。またグループ同士で交流し、他の班の意見から、自分の班の意見を再構築する時間を設定した【手だて 3】<資料 7>。その際、教師は各グループに対して「前時のボルタ電池のモデルと比べて、どのような違いがあるか」と問いかけ、2 つの電池における電極付近の現象の違いに着目できるよう支援を行った。



【抽出生徒 A の変容と考察】

生徒 A は、グループの仲間とダニエル電池のモデル図を基に仕組みを考える中で、教師からの問いかけを受け、ボルタ電池との比較を行った。その際、生徒 A は「ボルタ電池のときは水の中に水素イオンしかなかったから水素の泡が出てきた。しかし、ダニエル電池の銅板側には硫酸銅水溶液があるため、銅イオンが要る」と、電極付近に存在するイオンの違いを指摘していた。

さらに他グループとの交流活動を経て、「気体の水素が溜まると電極を邪魔するが、ダニエル電池は金属の銅ができるため邪魔にならない」とモデルを使い説明した。

【生徒 A の最終記述からの考察】

「ダニエル電池では、銅板側に銅が発生するが電子の受け渡しが続くため電流が流れ続ける。ボルタ電池は、銅板に気体の水素が発生するため、電子の受け渡しの邪魔になり電流がだんだん流れなくなる。」と記述していた。はじめは実験の表面的な結果や水溶液の名前から考察していた生徒 A が、ダニエル電池のモデル図の分析とボルタ電池との比較を根拠に、発生する物質の違いと電流が流れ続ける理由を説明できるようになった。以上のことから、粒子モデルを提示して仕組みを考えさせ、既習のモデルと比較させたアプローチと、グループ間での対話により記述を洗練させたプロセスは、生徒が目に見えない現象を論理的根拠に基づいて説明する力を定着させる上で有効だったと考えられる。

4 成果と課題

（1）研究の成果

① 仮説 1 の検証：ICT 機器を活用した証拠の収集

単元後のアンケートにおいて、「ネオン管が光る様子を『スローモーション動画』で確認したことは、理解に役立ちましたか？」という質問に対し、「とてもそう思う」「そう思う」と答えた生徒は 85.3% に達した。大半の生徒が動画

の効果を実感しており、ICT 機器を活用した証拠の収集は、電気の移動を捉えるための客観的な証拠として極めて有効であったと言える。

＜資料 8 生徒アンケート＞

電池の仕組みを説明することができますか

② 仮説 2 の検証：モデルを使用した不可視な現象の表現

「電池の仕組みを説明することができますか」という質問に対する、授業前後の変化は右の通りである＜資料 8＞。授業前は自分で説明できる生徒は 3 割程度であったが、授業後には 7 割以上の生徒が「説明できる」「モデルを使えばできる」と回答した。ダニエル電池の仕組みを理由とともに説明できる生徒が大幅に増えたことが考えられる。さらに「目に見えない粒の動きを『モデル（図や記号）』で表すことは、理解を助けると思いますか」という質問に対する、授業前後の変化は右の通りである＜資料 9＞。「少し助ける」という消極的な肯定が減り、「かなり助ける」という強い肯定が大幅に増加した。これは、実際にワークシートでイオンや電子のモデル図を描き、グループで話し合う活動を経験したことで、生徒自身が「モデルは目に見えない世界を理解するために強く役立つものだ」と実感したと考えられる。そのためモデルを使用した不可視な現象の表現は有効だったと言える。

回答の選択肢	授業前	授業後
説明できる	7%	17%
モデルを使ってならできる	25%	56%
合計（肯定的な回答）	32%	73%

＜資料 9 生徒アンケート＞

目に見えない粒の動きを『モデル（図や記号）』で表すことは、理解を助けると思いますか

回答の選択肢	授業前	授業後
少し助ける	52%	32%
かなり助ける	41%	64%

＜資料 10 生徒アンケート＞

グループで交流することは理解を助けると思いますか

③ 仮説 3 の検証：グループでの思考の再構築

「グループで交流することは、理解を助けると思いますか」という質問に対する、授業前後の変化は右の通りである＜資料 10＞。「少し助ける」という消極的な肯定が減り、「かなり助ける」という強い肯定が大幅に増加した。授業前は「一人で考えれば十分である」と考えていた生徒が、自分の予想や考察を交流する活動を重ねたことで、その重要性を強く実感するようになったと考えられる。また交流することで、自分一人の視点では気づけなかった論理の矛盾や不足を指摘されたり、仲間の多様な視点に触れたりすることで、より納得のいく表現へと自身の考えを再構築したと考えられる。そのためグループでの思考の再構築は有効だったと言える。

回答の選択肢	授業前	授業後
少し助ける	35%	12%
かなり助ける	45%	79%

(2) 今後の課題

① モデル図の表現における共通ルールの設定と個別支援

ワークシートに導入した粒子モデルにおいて、生徒が表現する図記号、 $+$ ・ $-$ の電荷符号、移動を表す矢印の向きなどに、一部曖昧さが残るケースがあった。不可視な事象・現象をより確実にするためには、表現方法の共通ルールをあらかじめ提示する必要があると考える。また作図を苦手とする生徒へは、机間指導だけでなく個別のヒントカードや、見本があるとより取り組みやすくなると思う。

② 対話活動における心理的安全性とグループ編成の検証

グループでの考察やグループ同士の交流において、自分の考えを積極的に発言する生徒と苦手な生徒がいた。すべての生徒が主体的に対話へ参加できるよう、発表する人を意図的に指名したり、時間で区切ったりするなど、話す場を設ける必要があると考える。

5 おわりに

静電気やイオン、電池といった単元は、どうしても教科書の言葉をそのまま詰め込みがちになり、暗記だけの学習に陥りやすい。本研究では、撮影写真から証拠を探し、粒子モデルを作図し、仲間と言葉を交わしながら「目に見えない現象」に挑む授業づくりを追求してきた。班数分のモデルの作成やワークシートの設計など、授業前の準備が大変だった。しかし、実践を重ねるにつれて生徒たちは、仲間とモデル図を突き合わせながら、「あ、こういうことか。」「ここが繋がった。」と目を輝かせ、自分の言葉でイキイキと電池の仕組みを説明し合う姿を見られたことは、指導者として何よりも嬉しい瞬間であった。毎回このような準備をするのは難しいが、時間を作って計画的に授業に取り組んでいきたい。