

理科授業における ICT を活用した科学的モデリングの実践

教育学研究科 教育実践創成専攻 教育実践開発コース 中等教科教育分野 伊藤雄斗

1. はじめに

現代の社会は、高度な情報社会となり、スマートフォンやインターネットの無い生活は考えられなくなった。そして近未来の世界では、仮想空間と現実世界がさらに融合し、新たな社会=Society5.0の幕が開けると言われている。Society5.0とは、狩猟社会(Society1.0)、農耕社会(Society2.0)、工業社会(Society3.0)、そして現代にあたる情報社会(Society4.0)の次に訪れる新しい社会のことであり、2016年に閣議決定された第5期科学技術基本計画の中で提唱された。

Society4.0である現代社会では、情報通信技術の発達やデータ処理能力の向上によって、それらに新たな価値が生み出された。そして、新たな仕事が作られ、社会に情報が溢れるという結果となった。こうした先端技術と社会との高度な融合は、教育現場にも大きな変化をもたらすことになると考えられる。

2018年、文部科学省は「Society5.0に向けた人材育成に係る大臣懇談会」で学びのあり方の変革を提唱した。ここでは、「一斉一律授業の学校は、読解力など基盤的な学力を確実に習得させつつ、個人の進捗や能力、関心に応じた学びの場を目指す」、「同一学年集団の学習は同一学年に加え、学習到達度や学習課題等に応じた異年齢・異学年集団での協働学習の拡大を行う」、「教室での学習は、大学や研究機関、企業、NPO、教育文化スポーツ施設等も活用した多様な学習プログラムが望まれる」といった3点のことが挙げられていた。

また、個人の学習状況のスタディ・ログを、学びのポートフォリオとして電子化・蓄積することによる学習計画や学習コンテンツの提示や、精度を高めた学習の支援が求められている。

2. 研究の背景と目的

研究を進めるにあたり、まずは国際的な理科の実態を調査した。2018年に実施されたPISA(生徒の学習到達度調査)や、2019年に実施されたTIMSS(国際数学・理科教育動向調査)において、理科の得点は各国と比較しても、引き続き高い水準を維持しているが、「観察・実験の結果などを整理・分析した上で解釈・考察し、説明すること」などの資質・能力や、「観察・実験から得られた結果をもとに比較・数量化・モデル化する」などの規則性を考えることができているといった課題があると示されていた。

上記の内容注目し、今回は理科の中でも「粒子分野」に焦点を当てることで、ICTを活用して「科学的モデリング」を行うことの有用性や必然性を生徒たちに実感してもらえないか考えた。

また、授業実践を行う実習校の生徒の理科(粒子分野)の実態を知るために、全国学力・学習状況調査の分析を行った。全国の生徒と実習校の生徒の理科(粒子分野)の正答率の比較や報告書の記載の分析、理科授業の実態といった調査を行った。

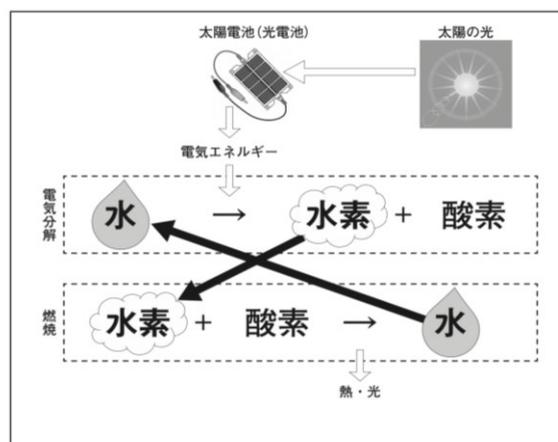


図1. 全国学力・学習状況調査
大問3 (モデル)

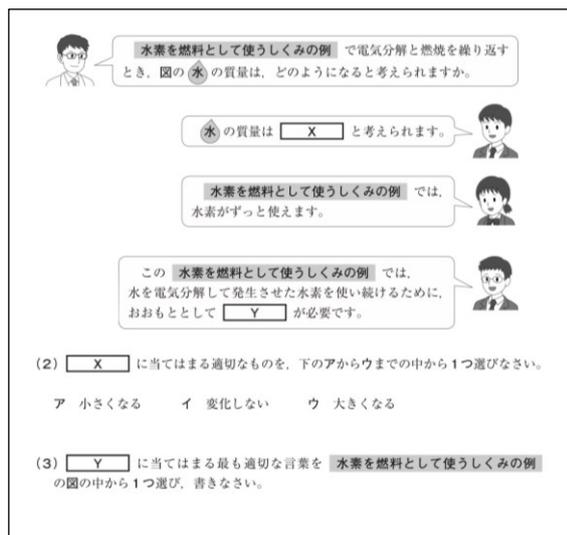


図2. 全国学力・学習状況調査 大問3 (選択肢)

図1および図2は、2022年5月に行われた全国学力・学習状況調査の大問3の問題である。

(2)は、水素を燃料として使い、化学変化によって水の質量がどのように変化するのかという「化学変化の様子を答える問題」である。この問題では、全国正答率60.2%、実習校正答率51.3%という結果になっていた。

(3)は、化学変化のモデルを見て、水素を燃料として使う仕組みのおもとは何かを指摘するという「モデルをもとに原子や分子について考える問題」である。この問題では、全国正答率24.8%、実習校正答率15.2%という結果になっていた。

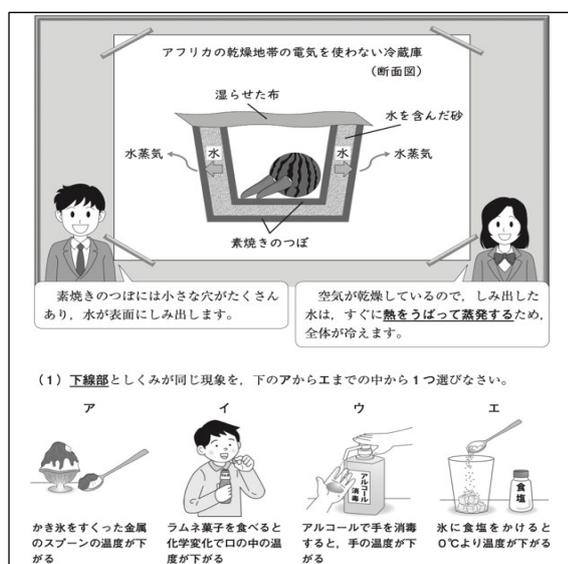


図3. 全国学力・学習状況調査 大問7

図3は、全国学力・学習状況調査の大問7である。大問7は「実験と身近にある現象を関連させる問題」である。この問題では、全国正答率35.9%、実習校正答率23.1%という結果になっていた。

また、これらの結果を踏まえた報告書内では、「水素・酸素・水を化学式で表すことはできているが、化学変化に関する原子や分子の種類や数に着目し、原子や分子のモデルで表した図をもとに化学反応式の係数を正しく表すことができていない」、という課題点が示されていた。そして、指導にあたっては、「身近に見られる化学変化を原子や分子のモデルで微視的に現象を捉えることで、化学変化に関する原子や分子の種類や数に関することを可視化して理解すること」などが考えられるとされていた。

実習校の生徒においても、全国の生徒との比較や授業中の様子から、報告書内に示されていた全国と同様の課題や傾向がみられた。特に、化学変化のモデルをもとに原子や分子について考えるといった微視的な捉え方や、身近なものとの関連付けに課題があると感じた。

また、私は昨年度まで、応用化学科にて理科(化学)分野を専門に学び、その知識や経験を理科授業へ還元することができるのではないかと考えていた。この経験から、理科(特に粒子分野)では、電子の移動やイオンの生成など、直接見ることができないミクロな世界を学ぶため、実感を持ちにくくなってしまっていると感じていた。しかしながら、観察・実験を通して現象を再現したり、結果をもとにモデル化したりする活動に、理科の面白さや探究する楽しさを感じるというようにも考えていた。

先に記したように、これからの学校現場において、ICTを活用して学びを展開していく方法を考えることは、重要であると考えている。こうしたことも踏まえ、ICTを活用して「科学的モデリング」の活動を行うことで、実感を伴った学びになるのではないかとこの考えを持ち、「理科授業におけるICTを活用した科学的モデリングの実践」という研究を行うこととした。

3. 研究の流れ

本研究は、以下の流れで調査から授業実践・評価までを行った。

- I. 科学的モデリングや ICT に関する授業実践の文献調査。
- II. 実習校の生徒たちが学校生活でどの程度 ICT を使用しているかの調査。
- III. 理科授業における実習校の生徒たちの実態調査。
- IV. ICT での科学的モデリングを行う授業・教材開発。
- V. 授業実践・評価。

4. ICT と科学的モデリングの実践状況

4.1 ICT

ICT は「情報通信技術」と訳されるものである。IT（情報技術）がデジタル機器や、デジタル化された情報や技術を指すのに対し、ICT は単なる情報処理に留まらず、ネットワークを活用した人と人との繋がり、コミュニケーションに活用する視点までが含まれた概念とされている。

今や私たちの生活は、ICT が無くては成り立たない。SNS でのコミュニケーションや、ビジネス場でのテレビ会議など、日々の生活に浸透している。

また、学校現場においては、文部科学省が提唱する GIGA スクール構想に対する本格的な対応に向けた動きと合わせて、コロナ禍での学習の効率化や学校現場の負担軽減の必要性が増しているなか、ICT 教育が注目されている。

4.2 科学的モデリング

科学的モデリングについては、Taber らの解説を参考にした。理科教育で使用されるモデルは、主に思考ツールとして使用されていることが多い。モデルを理解するうえで、「何がモデルか、何がモデルでないか」よりも、「それがどのように理解され、どのように使用されるか」が重要であるとされている。つまり、単語として語られるのではなく、使用される文脈によって

変わってくるということであると考えられる。

また、科学的モデルを教えることは、科学の本質を教えるということである。理科教員として、現象の説明や予測をする理論（モデル）を、構築・修正・発展させ、同時にそのような活動を生徒たちも経験することを通して、科学とは何かを理解することができると考えられる。

しかし、生徒の科学的モデルについての理解は、教員の思っていることと同じではないことが多い。生徒たちは、モデルを「スケールを変更した模型」であると思っており、教師があるモデルを提示しても、生徒がそのモデルを適切に理解していないと、生徒にとってモデルはうまく機能しない。そのため、モデルやモデリングを行う有用性や必然性を感じることで学びにしなければならない。

科学的モデルは、カリキュラムモデル（いわゆる科学の知識に相当するモデル）とティーチングモデル（教育者が科学を教えるために作ったモデル）といったように分けられる。このようなモデルの分類を理解したうえで、モデルの限界を説明しながら教えることが重要である。

これらのことに加え、自然現象を説明することなどを目的に、生徒自身が科学的モデルを作成していく学習活動（科学的モデリング）が重要になると考えられる。

5. 研究実践内容

対象：山梨県甲府市立 A 中学校第 3 学年
（2 学級 70 名）

単元：単元 1 化学変化とイオン 第 3 章「化学変化と電池」

目標：電池の仕組みをイオンと電子に着目してモデルと化学反応式で表すことができる。

5.1 教材観

本単元は粒子概念を柱とする内容のうち、「粒子の存在・粒子の結合」に関して連なるイオンや電子に着目して化学変化を学ぶ単元の 1 つである。化学電池は私たちの生活とも密接に関係しており、将来的にもますます利用されていく技術である。日常生活において電池と関

わらない日はないと言っても過言ではない。しかしながら私たちは、電池がどのような仕組みになっているのか、どのような構造であるかを理解しないまま、電気エネルギーが取り出せるという現象面だけ捉えていることが多い。ここでは、電解質水溶液と2種類の異なる金属板を用いたボルタ電池やダニエル電池の観察・実験を通して、物質が持つ化学エネルギーが電気エネルギーに変換される電池の仕組みを、イオンや電子のモデルを用いて説明することができるようになることをねらいとしている。学習内容としては、電池の仕組みを調べる観察・実験を通して、電流が取り出せるという目には見えない現象を、電極付近での化学変化に関わるイオンや電子という粒子の視点から関連づけて考えさせることで、科学的な見方・考え方を働かせて理解を深めることができる。

また、限りある資源を有効に活用していくことが求められる持続可能な社会づくりの担い手となる生徒たちに、化学エネルギーから電気エネルギーに変換する電池の基本的な概念を理解させ、燃料電池などの次世代につながる化学電池についての学習を行うことは、大変意義深いものであると考える。

5.2 生徒観

授業を実施する学級は、前回の章までの授業の中で原子・分子の概念や電子と電流の関係、イオンの成り立ちについて学んでおり、化学電池の仕組みを考えるための基本的な知識や考え方を身につけていた。また、普段から ICT 端末を使用する機会が多く、ICT 端末での意見交換や Jamboard 等の使用については、様々な機能を駆使した表現ができていた。観察・実験の活動においても意欲的に取り組めており、基本的な技能は身につけていた。

前回の章の授業では、多くの生徒が観察・実験の結果に基づいた考察・推論を行うことができていた。しかし、観察・実験を行う前段階の「仮説の設定」の場面で苦戦する生徒が多く見られ、既知と未知を関連させて考えることや仮説を設定するための手がかりが不足していた

ことが原因として考えられた。また、考察を導き出すことができなかった生徒においては、観察・実験後の結果共有の不十分さがあったと考えられた。そのため、授業中は机間指導や問いかけを行い、既知と未知を繋ぐ手がかりを示すことや、主体的に授業に参加できる環境づくりに努め、授業についてくることができない生徒がいないか注意を払うことを行った。

5.3 指導観

本単元で扱うイオンや電子は実際に見ることは難しいが、身の回りに多く存在しているものであるため、生徒がイメージしやすいように具体的な例や図を効果的に用いて指導を行った。この際、ICT を活用してモデルを示したり、生徒が自分達で動かしたりすることで視覚的に捉えさせ、生徒の理解の補助となるように心掛けた。また、イオンや電子の存在については、前回の章の授業までに学習していたため、復習を交えながら授業を行うことで理解を深めた。

観察・実験や ICT での「科学的モデリング」の活動は生徒自身が体験し、実感を伴いながら学ぶことで「楽しく学習できる」良い機会となるため、「普段学んでいることはこういうことだったのか」と気づきの契機となることを目指した。

「科学的モデリング」の活動においては、探究の過程の「考察・推論」の場面で主に行った。Chromebook の端末と Jamboard の共同編集ツールを使用し、観察・実験から得られた結果をもとに「科学的モデリング」を行った。また、観察・実験を行う際に構成員で役割分担を行うなど、個々の技量の不足部分を互いに補完し合うことで授業全体の成功体験につなげ、楽しい学びも実感してもらえるように実践した。

6. 結果と考察

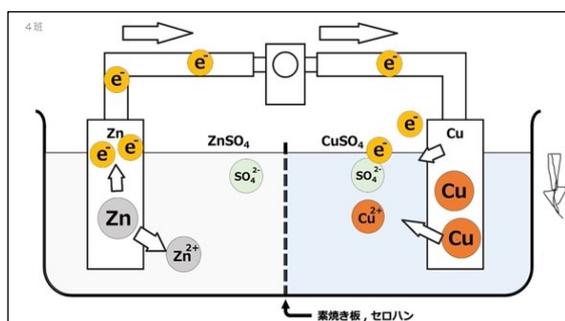
粒子分野の「化学変化と電池」の単元の中でも、微視的な捉え方や実験と身近にある現象と関連させやすい「ダニエル電池」および「備長炭電池」の観察・実験で実践した。

この観察・実験は、昨年度までは高等学校で学ぶ内容であったため、難易度の高い内容となっている。実際に ICT での「科学的モデリング」を取り入れて授業実践を行った自身の手応えとしては、生徒たちに実感を持って学んでもらうことができ、理解も促せたように思う。

実際に「ダニエル電池」および「備長炭電池」の観察・実験で生徒たちが作成したモデルを以下に示す。

6.1 ダニエル電池

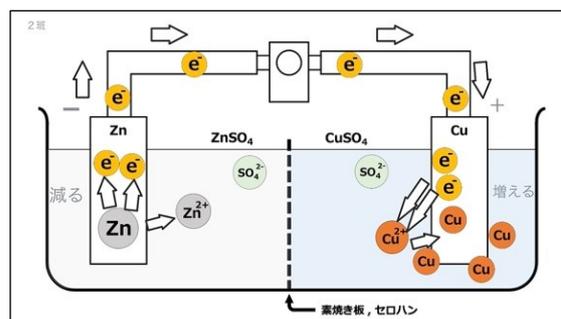
図4は、4班が作成したダニエル電池のモデルと作成中の対話となっている。4班は、前回の観察・実験で銅が電子を貰わない反応を学習していたということも影響したのか、銅板側の反応を考えるのが難しい様子であった。結果的に4班は、銅板側が誤ったモデルとなっていたが、対話からも分かるように、電子やイオンに着目しながらモデリングをしていたため、微視的な捉え方はできていたと言える。



- 生徒2：電子は-から+だよな。
 生徒4：うん。
 生徒1：亜鉛が溶けてたからイオンになってるってことだよな？
 生徒2：この前と同じだね。
 生徒3：銅の方にきた電子は？
 生徒4：うーん。
 生徒2：2-があるからここに行くんじゃない？
 生徒3：うーん。

図4. ダニエル電池のモデルと対話 (4班)

図5は、2班が作成したダニエル電池のモデルと作成中の対話となっている。2班では、-極の亜鉛板が減った（ボロボロになっていた）ことや、+極の銅板が増えた（ピカピカになっていた）という実験結果から、電子とイオンの動きを考えることによって正しいモデルを導き出しており、多くの班が2班と同じように考えていた。



- 生徒1：亜鉛が減ってたから ZnがZn²⁺じゃん？
 生徒2：うん。
 生徒4：電子の移動も-から+だしあってるね。
 生徒3：いいねー。
 生徒3：銅板の方にきた電子はどこに行くんだ？
 生徒1：うーん。
 生徒4：あ！銅が増えてたから銅が出てきてるってこと？
 生徒1：このCu²⁺が電子貰えば銅になれる！

図5. ダニエル電池のモデルと対話 (2班)

6.2 備長炭電池

図6は、先に示したダニエル電池のモデリングの際に、正しいモデルまでたどり着くことができなかつた4班が作成した備長炭電池のモデルとなっている。備長炭電池は内容が難しく、モデルも複雑となる。しかしながら、正しいモデルを完成させ、最後の係数を合わせるまで完成させることができた。また、その後の化学反応式を作成する活動の際にも正しく示すことができた。

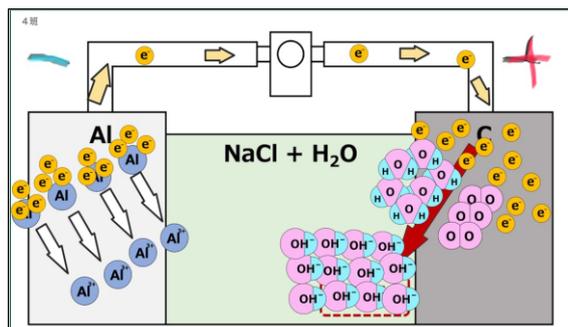


図 6. 備長炭電池のモデル (4 班)

図 7 は、ダニエル電池の際にも正しいモデリングに辿り着いていた 2 班が作成した備長炭電池のモデルとなっている。2 班は、備長炭電池の際にも最後の係数を合わせるまでモデルを完成させることができていた。また、2 班は先に示した 4 班のように、係数を合わせる際、1 つずつ粒子を増やしていく中で、最小公倍数の関係に気付き、「×4」や「×3」と示すことでモデルを見やすく省略していた。そして、その後の化学反応式も作成する活動においても、スムーズに行うことができていた。

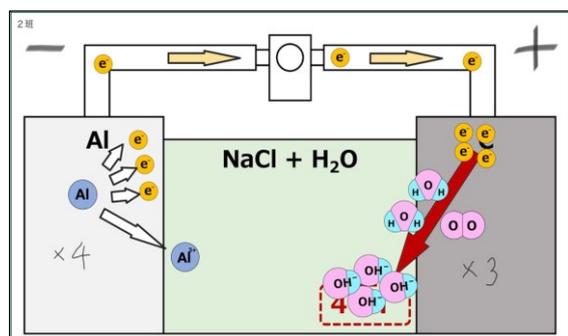


図 7. 備長炭電池のモデル (2 班)

これらの観察・実験における ICT を活用した「科学的モデリング」の活動を参観して下さった先生方からは、「話し合いの活動が活発になる」、「難しい内容を理解させられたのはよかった」、「詳しい仕組みにまで目を向けられた活動になった」、「生徒たちが楽しそうに活動していた」、「振り返りがすぐに行えてよかった」、「全体共有や意見のすい取りが容易にできた」といった意見をいただくことができた。これらのことは、授業を行っている際に自身でも感じていたため、十分に活用できる教材になったのではないかと思う。

6.3 理解度の検討

ICT を活用した「科学的モデリング」を実践したことによる、学習後の生徒の理解度について検討を行った。

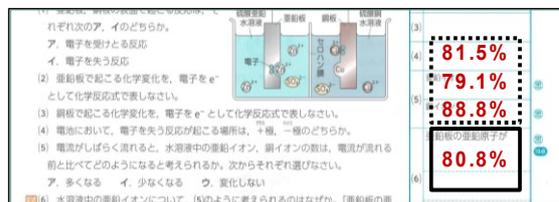


図 8. 電池分野小テスト 大問 4



図 9. 電池分野小テスト 大問 5

図 8 および図 9 は、ICT を活用した「科学的モデリング」を実践した電池分野の小テストの結果となっている。

点線で示した問題は、先に挙げた全国学力・学習状況調査の大問 3(3)の「モデルをもとに原子や分子について考える問題」と類似しており、授業実践前と比較してかなり理解が進んでいることが伺える。

実線部分は、全国学力・学習状況調査の大問 3(2)の「化学変化の様子を答える問題」と類似しており、こちらも授業実践前と比較してかなり理解が進んでいることが伺える。

図 8 および図 9 の ICT を活用した「科学的モデリング」を実践後の問題の正答率をみると、いずれの問題においても向上していることが分かった。

これらの結果から、ICT を活用した「科学的モデリング」によって、実感を持った学びを展開することができたと考えられる。今回の研究では、ダニエル電池と備長炭電池の 2 つの観察・実験での実践となったが、継続的に行うことで更なる効果向上に期待できると考えられる。

また、今回は粒子領域の考察・推論の過程での活用に焦点を絞ったが、その他の領域や気づき・仮説の設定の過程などでも活用できるのではないかと感じた。例えば、エネルギー領域を学ぶ際、観察・実験で検証する前に ICT を活用した「科学的モデリング」の活動を取り入れることで試行錯誤が何度も容易にでき、新たな気づきを見出すといったことができると考えられる。

7. おわりに

本研究では、教育現場にも大きな変化をもたらす高度な情報社会から、これからの学校現場において、ICT を活用して学びを展開していく方法を考えてきた。

PISA や TIMSS、全国学力・学習状況調査などの結果も踏まえ、理科授業で ICT を活用して「科学的モデリング」の活動を行うことで、直接見ることができないミクロな世界でも実感を持った学びにできるのではないかと考え、教材開発および授業実践を行った。

今回は、PISA や TIMSS、全国学力・学習状況調査、小テストといった問題の正答率から実践の評価を行ったが、次回の実践では、アンケートやより具体的な評価基準を設けることで、生徒がどういった思いや考えを持っているか、どういった活動を展開したいのかをさらに明確にできるようにしたい。

8. 謝辞

本研究を実施するにあたり、コロナ禍にも関わらず快く教育実習を受け入れ、ご協力いただいた実習校の先生方ならびに生徒のみなさまに心から感謝申し上げます。

9. 引用・参考文献

- ・CASIO(2021)「ICT 教育とは？-ICT 教育の意味やメリットを先生・教育関係者の現場視点で紹介-
- ・国立教育政策研究所(2018)「OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)」

- ・国立教育政策研究所(2019)「IEA 国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS)」
- ・国立教育政策研究所(2022)「全国学力・学習状況調査 報告書」
- ・宮内(2012)「粒子概念の育成を柱とした新しい教育課程-中学校における実践を中心に-」第 19 回化学教育フォーラム
- ・文部科学省 (2017)「中学校学習指導要領解説 理科編」
- ・文部科学省(2018)「Society 5.0 に向けた人材育成-社会が変わる、学びが変わる-(概要)」
- ・Taber, K.S. (2017) “Models and Modelling in Science and Science Education”, *Science Education*, pp 263-278
- ・雲財(2016)「理科教育におけるモデリング研究の動向と課題 -日本の研究動向を中心として-」広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部 第 65 号