

理科教育授業における教材作成力の検討

— 途上国での経験を活かして —

川崎友紀子* , 福田 幸司** , 宍野 彰彦** ,
栗田 高明*** , 寺島 幸生***

(キーワード：粒子モデル, 途上国, 教材作成, 化学変化)

1. 研究の背景と目的

アフリカ大陸の東南部に位置するマラウイ共和国（以下、マラウイ）は、北海道と九州を合わせたほどの面積のアフリカの農業国であり、世界最貧国の一つである。マラウイの中等教育（日本の中学3年～高校3年生の学年に相当する）では、教員免許制度を採用しておらず、教師の教育歴に応じて中等学校資格教師を定めている。同国政府は準学士（Diploma）または学士（Degree）を保有する正規の中等学校教師を「有資格教師（Qualified teacher）」と認定する一方、小学校教師資格者を「低資格教師（Unqualified teacher）」として配置している。マラウイでは教科の専任制度を採用しておらず、教師の力量や学校現場の需要に応じて必要な教科を随時教師が受け持っている。中等学校修了認定国家試験の合格率は、約56%（2019年）に留まり、教育の質的側面でも改善の余地がある。特に理数科目での低成績が指摘されている。現地で理科教材のために調達できる資材も限られており、適切な教育を提供できる体制が整備されていないことが課題であり、これまで日本からの支援を受けてきた。

現在、マラウイでは中等学校2年生まで化学が必修科目となっているため、すべての生徒が化学を学ぶ。実験室がない学校も多く、教科書も教師しか基本的には持っておらず、授業は教師が板書をした文字情報を生徒がノートに写して学習するスタイルである。多くの生徒は理数科目において苦手意識が高い。

筆者の川崎は、2015年9月～2017年9月まで、青年海外協力隊員としてマラウイの中規模都市郊外の中等学校で物理・化学の教科を担当し教育支援活動を行った。身近な素材を代用しながら、マラウイの教育理念に沿うように、さらに生徒に知識と経験を身につけさせるために教材を作成した。現地教員と協力して、現地にあるコーラやスプライト等に用いられている瓶のキャップを用いて主な粒子モデルの作成を行い、元素の原子・分子、化

合物や化学反応式をモデルで表現した。この教材はマラウイの教員たちからは非常に好評で、彼らの授業にも用いられ、生徒たちの中等学校卒業後の修了認定国家試験の合格率も向上した。

本研究の目的は、著者の川崎がマラウイで作成した化学分野の粒子モデル教材を改良し、これを利用して徳島県の中学校で授業を行い、国際的に有用で効果的な理科の教材と授業のあり方を模索することである。本稿では、実践した授業の概要を報告し、その結果を踏まえて今回の教材および授業の成果や課題について検討する。

2. 授業実践

(1) 授業概要

実践した授業の概要は以下のとおりである。

- ・実施時期：2019年11月 50分 × 2 = 100分
- ・実施対象：徳島県内N中学校第2学年15名
- ・授業科目：「理科課題探究学習（総合的な学習の時間）」

本授業では、中学校第2学年で履修する「化学変化と原子・分子」の学習単元に、高等学校化学で学習する原子の電子配置を含めた発展的な内容を扱った。原子・分子を微視的にとらえて説明できる見方や考え方に着目して、粒子モデルを用いた授業を実施した。授業前後に、生徒に対して理科への興味・関心や学習意欲を問う質問紙調査（授業前・後アンケート）を実施した。アンケート結果と生徒の活動実態に基づいて、本授業の教育効果を考察した。

(2) 授業前の生徒の実態（授業前アンケートの結果）

授業前に受講生徒15名を対象に、「理科が好きですか?」、「実験が好きですか?」、「教科書に載っている以上のことを知りたいですか?」、「元素について学習したことを覚えていますか?」という各質問に対して「よく当てはまる」、「当てはまる」、「当てはまらない」、「まっ

*鳴門教育大学大学院 国際教育コース

**鳴門教育大学附属中学校

***鳴門教育大学 高度学校教育実践専攻（教科系）

たく当てはまらない」から1つを選ぶ4件法のアンケート調査を行った。

授業前アンケートの結果を図1に示す。この理科課題探究学習には、自ら希望して理科を選択した生徒が参加している。参加生徒は、理科に対する学習意欲も高く、既習内容をよく覚えており、より深く学びたい気持ちが強いことがうかがえる。また生徒は、普段の理科授業で身に付けた知識を活用して、探究的な見方・考え方を働かせ主体的に判断して学習を進めていく資質を有していると考えられる。

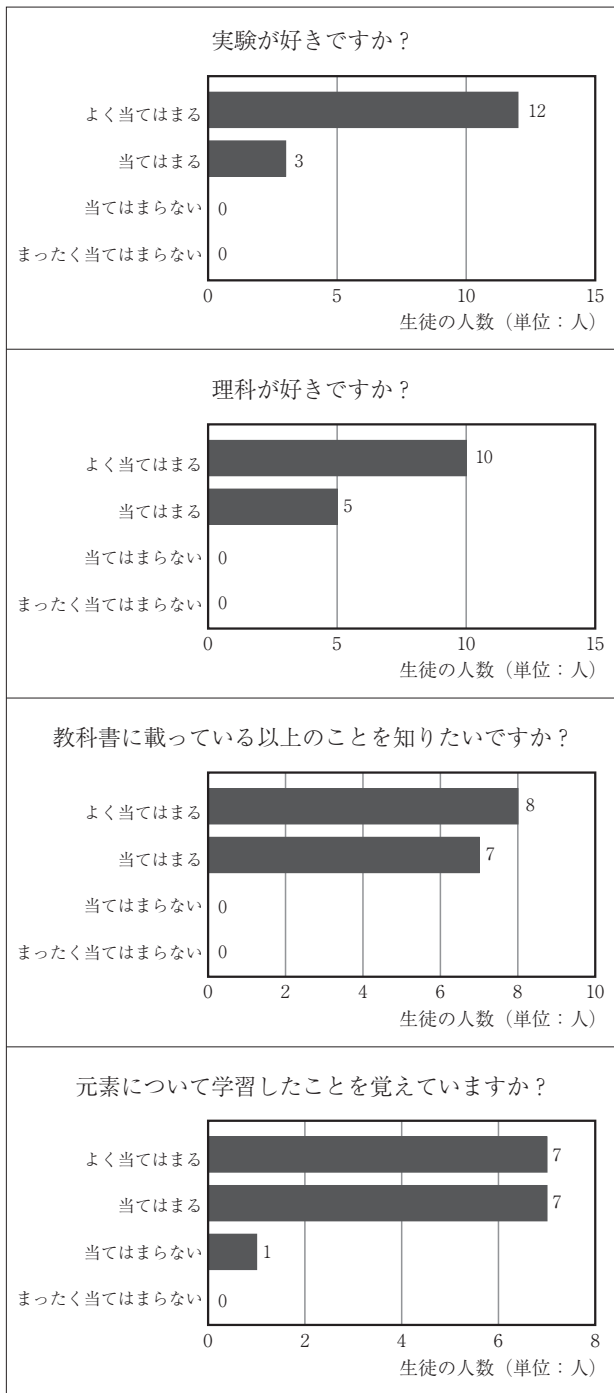


図1 授業前アンケートの結果 (n = 15)

(3) 授業のねらいと工夫

中学校第2学年理科の「化学変化と原子・分子」の単元を基準に、中学校第3学年と高等学校化学基礎の一部の内容を縦断的に含みながら、簡単な原子および2原子分子の構造について学ぶ発展的な授業を展開した。以下に、本授業に関連した各学年の学習項目（文部科学省、2017）を抜粋して示す。

中学校第2学年
物質の成り立ち
・物質の分解
・原子・分子

中学校第3学年
水溶液とイオン
・原子の成り立ちとイオン
・酸・アルカリ
・原子の成り立ち

高等学校 化学基礎
物質の構成粒子
・原子の構造
・電子配置と周期表
・物質と化学結合
・分子と共有結合

中学校理科では、第3学年の「水溶液とイオン」の単元において、後掲の図4左下に示すように、原子の構造（電子・陽子・中性子）について簡単に学習する。高等学校化学では、電子は原子核を中心とする電子殻と呼ばれるいくつかの層に分かれて存在すると捉え、その電子配置について学習する（辰巳ほか9名、2016）。電子殻は内側から、K, L, M…殻と呼ばれ、各殻に安定的に入ることができる電子の最大数は、K, L, M殻から順に、2, 8, 18, …と決まっている。最外殻に存在する電子（価電子）は、化学結合やイオンの生成において重要なはたらきを示す。例えば、水素分子では、2個の水素原子が接近して両原子のK殻が一部重なると、両原子の各価電子が対になって原子間で共有され、安定なヘリウム原子と同様に、K殻に2個の電子をもつ電子配置となる。このように対になった価電子（電子対）を原子間で共有してできる結合は共有結合と呼ばれ、窒素分子や酸素分子などの分子性物質は共有結合を介して形成されている。

本授業では、中学2年生が原子・分子の構造の初歩的な概念を学び、化学現象を原子・分子のモデルで考える抽象的な思考に慣れることを意図した。身近な物質の成り立ちを視覚的に表現する原子・分子モデルを生徒自身が作成する学習活動を取り入れた。原子のモデルを使うことで、物質を構成粒子の数に着目して捉えられるよう

に生徒の思考を促した。頭の中だけで考えるのではなく、生徒が作業していく中で視覚的に粒子概念を持つことができるように工夫した。第2周期の元素では、8個の最外殻電子を持つ希ガス(Ne)の電子配置をとって分子を形成しようとするオクテット則(山本, 1997)が成り立つ。この経験則を意識して、酸素、窒素の各分子モデルを作成した。

(4) 今回作成した教材の特徴

マラウイでは、色の異なるジュース瓶のキャップを電子、陽子、中性子に見立て、白紙に同心円を描いて電子殻の台紙として使用した。今回は、画用紙で電子を、ダンボールで陽子、中性子、原子核の各モデルを作り、電子殻の台紙として同心円を描いたOHP用透明シートを用いた(図2)。この透明シートの利点として、水素や酸素などの分子モデルを作成する際、シートを重ねるだけで構成原子の電子殻が部分的に重なり、価電子が対になって原子間で共有され、原子が結合する様子を視覚的に表現することができる。このため、中学生にとっては、 H_2 などの化学式で抽象的に表現される分子の構成を、より構造的かつ実体的に理解することが容易になると期待される。本授業で使用した指導案を図3で示す。

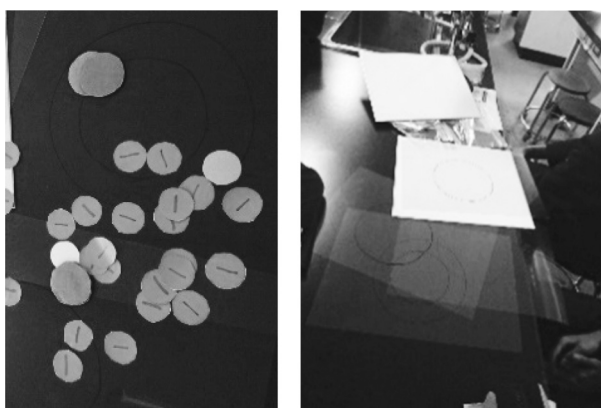


図2 今回作成した粒子モデル(左)と台紙に使用した色紙と電子殻を描いた透明シート(右)

(5) 授業展開

授業の前半50分では川崎のマラウイでの理科教育支援活動(主に化学分野に関する)を紹介し、後半50分の時間を活用して、生徒主体の理科探究活動を実施した。15人の生徒を3~4名ずつのグループに分けて、4班を編成した。図2に示す粒子モデルの各材料をチャック付きポリ袋に入れて各班に配布して、以下①、②の手順で授業を進めた。

単元の目標

原子・分子のモデル(身近な素材を使用して)で考える

本時の学習

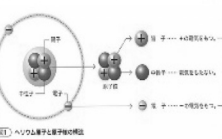
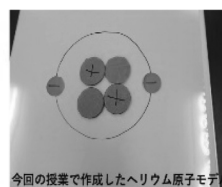
(1) 展開

時間	学習活動	指導上の留意点	注記
40	マラウイ紹介	「風をつかまえた少年」を通じてマラウイの理科教育事情を説明する	・アンケート(授業前) ・プレゼン資料 ・粒子モデルセット配布(4組)
10	世界の化学知識	日本と世界の違い ・学習順番が違う ・元素の発音が違う (元素記号がラテン語から来ているものがある)	・マラウイの経験を基に紹介する
20	元素と原子	水素~ネオンまで電子配置をモデルで作成してみる	・原子番号1~20までの元素を取り上げる ・原子は陽子、中性子、電子からできている
20	分子	水素分子、酸素分子、窒素分子の電子配置を作成してみる	・個人で考える時間、班で話し合う(意見交換)時間を十分確保する ・個人→小集団→全体という流れを踏むことで、個人の責任・集団の責任を自覚させる
10	まとめ ディスカッション (発明・発見等について) アンケート		アンケート(授業後)

図3 本授業の指導案(一部抜粋)

① 原子モデル(水素~ネオン)

K殻に最大2個まで電子が配置すること、質量数、原子番号と原子核内の陽子数、中性子数との関係について適時説明しながら、原子モデルの原子核枠内に陽子・中性子を、電子殻に電子をそれぞれ適切な個数だけ配置する学習活動を行った。実際に作成したヘリウム原子モデルを図4左上に例示する。中学3年生の教科書(岡村ほか48名, 2013)には、図4左下のようなモデルが紹介



教科書のヘリウム原子モデル

途上国(マラウイ)で作成したヘリウム原子モデル

図4 ヘリウム原子モデル

左上: 今回のモデル, 左下: 教科書での説明
右: マラウイで作成したモデル

されている。中学2年生にとって、中学校第3学年で学習する原子の成り立ちは未習事項であるため、詳細な説明は行わず、川崎が主導して原子モデルを作成した。その際に川崎がマラウイ滞在中に作成したヘリウム原子モデル(図4右)の写真を提示して、粒子モデルの素材は異なっても原子を構成している粒子には違いがないことを確認した。水素原子(${}^1\text{H}$)モデルとヘリウム原子モデル(${}^4\text{He}$)については、教師が誘導する形で生徒に作成するように指導した。

リチウム原子(${}^7\text{Li}$)までは、陽子と中性子の両モデル粒子を原子核枠内に各個数通りに配置した。原子核モデルの枠内のスペースに規定の陽子数と中性子数を配置することが難しかったため、生徒はどのように配置すべきか悩んでおり、積み重ねて立体的に配置するように指導した(図5左)。リチウム原子(${}^7\text{Li}$)以降の元素については、原子核内の粒子数も増えるため、リチウム原子(${}^7\text{Li}$)の時点で原子核を「原子核」と書いた1つの粒子モデルに置き換えた(図5右)。さらにリチウム原子(${}^7\text{Li}$)からはK殻の外側にL殻が追加されることも中学校第2学年では未習事項であるため、電子は原子核に近い電子殻から順に入ることも説明した。ベリリウム原子(${}^9\text{Be}$)～ネオン原子(${}^{20}\text{Ne}$)までは班ごとに(同じ元素を作成する班もあり)2種類の元素の原子モデルを作成した。生徒が作成したモデルを書画カメラでテレビモニターに



図5 リチウム原子モデル

左：陽子、中性子を原子核枠内に配置したモデル
右：原子核モデルで簡便化したモデル

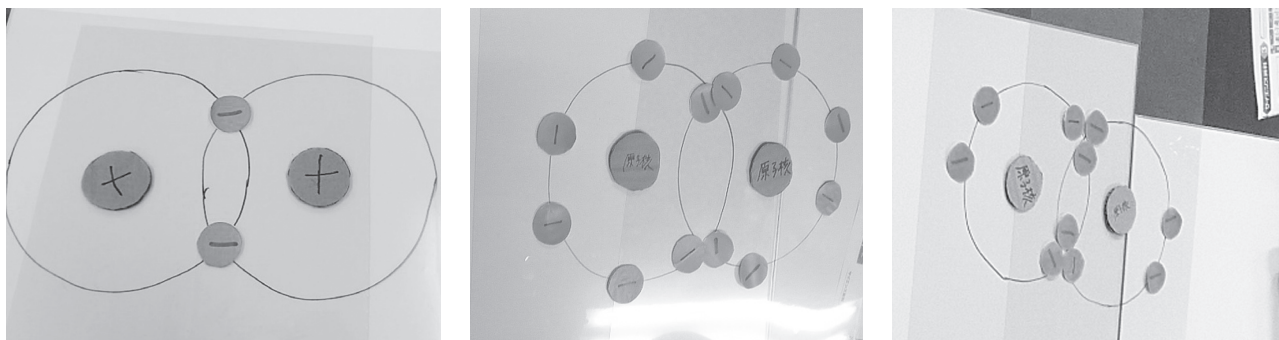


図6 透明シートを使用して電子の共有が可視化できるように改良した分子モデル
左：水素分子(単結合)、中央：酸素分子(二重結合)、右：窒素分子(三重結合)

映し出し、全員で答え合わせを行った。電子数は原子番号に一致することを伝えて、最外殻電子の数が元素(原子番号)によって変化することを考慮しながら各原子モデルを作成するように指導した。

② 分子モデル(水素分子(H_2)、酸素分子(O_2)、窒素分子(N_2))

今回の授業の特徴として、透明シートを活用することで、原子間で電子殻が重なり電子が共有されて分子が形成される過程を確認することができる。水素分子モデル(H_2)を作成する時、生徒たちは水素原子モデル(${}^1\text{H}$)の価電子をどのように配置すべきか悩んでいた。そこで、透明シート上に描かれたK殻が重なる場所に各水素原子の価電子を共有させて共有結合を作成するように指導した。酸素分子(O_2)、窒素分子(N_2)においては、直接結合に寄与する最外殻のL殻だけに注目してK殻を省略した。生徒にはオクテット則に基づいてL殻上に8個の電子を配置して分子モデルを作成するように指導した。電子をどのように共有して置くべきか考えている班が多かったため、適宜机間巡視を行い、酸素分子(O_2)は二重結合、窒素分子(N_2)は三重結合であることを個別に説明しながら、重なったL殻上に電子対を配置して共有結合を作成するよう指導した(図6)。生徒は、通常の授業では H_2 としか学習しない分子の成り立ちを、今回の活動を通して一つ一つ丁寧に学習し理解できたと考えられる。

3. 結果と考察

(1) 授業後アンケート結果

授業前のアンケート調査において、授業前は「元素について学習したことを覚えていますか?」の質問に対して「よく当てはまる」と回答した生徒が7名、「当てはまる」と回答した生徒は7名、「当てはまらない」と回答した生徒は1名であった。授業後アンケートの「化学に興味が増えた」の質問に「よく当てはまる」と回答した生徒が9名、「当てはまる」と回答した生徒が6名であった

(図7)。15名全員が「よく当てはまる」または「当てはまる」と肯定的に回答しており、今回の学習を通して化学分野の単元において興味が深まり学習意欲が高まったことがうかがえる。

(2) コメント結果分析

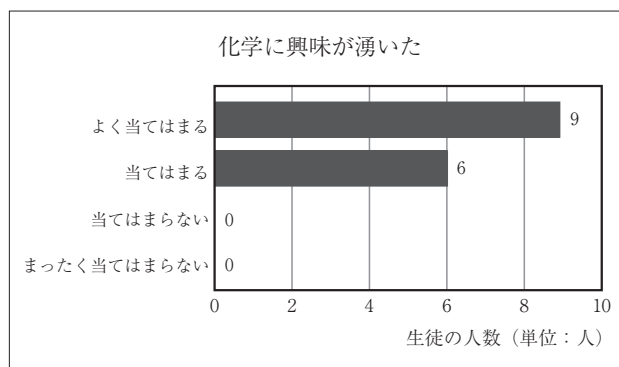


図7 授業後アンケートの結果 (n = 15)

授業後アンケート内に自由記述欄を設けて、生徒の授業に対する見解を記述させた。生徒の授業に対する主な意見を表1に示す。平成29年告示の学習指導要領(文部科学省, 2017)では、育成すべき資質・能力の3つの柱において、「知識及び技能」、「思考力・判断力・表現力等」、「学びに向かう力、人間性等」を示している。この

表1 授業後の生徒の感想 (一部抜粋)

○図を活用して身の回りの原子・分子の特徴や構造を理解することができた。他にも原子があるので実践してみたいです(今回の法則を用いて)。
○モデルを使って原子・分子の仕組みが理解できた。
○たくさんの法則に基づいて考え楽しかった。
○班の友達と原子レベルでの話をするのができたのでよかったです。
○友達と一緒に作業することで楽しかった。
○前情報がないと途中はわからなかった。でもそれがわかると楽しかった。
○化学の基礎について教えてくれた。
○難しいこともあったけど初めて知ることが多くあって楽しかったです。
○分子はどのようにつながっているのかを分子モデルを使ったのでわかりやすく覚えられた。
○原子・分子など普段学校の授業で習わないところに触れ貴重な時間となりました。この時間を次からの学習に活かしたいです。
○分子についての授業で実際にモデルを作ったりするのは初めてでおもしろかったです。
○原子のモデル作りは理解しやすかった。班の人とも協力することができた。
○わかりやすい方法を教わることができたので次の単元にも活かしたい。
○ありがとうございました。
○分子構造について学習したことがなかったので考えるきっかけになった。
○原子・分子模型を実際に作って楽しかったです。

3つの視点から、生徒の本授業に対するコメントを分析した結果、生徒の肯定的変容が読み取れた。このことより、本研究で用いた教材は有用であり、授業実践は有意な実践であったと考える。ここでは本研究の結果を考察するとともに今後の方向性についてまとめた。

① 知識及び技能

中学校第2学年理科の「化学変化と原子・分子」の単元で、生徒たちは原子・分子について既習している。しかし、その構造や成り立ちについて学習していない。授業後アンケートのコメントにおいて「原子・分子の特徴や構造を理解できた。」や「原子・分子の仕組みが理解できた。」等を記述している生徒が5人いた。このことから、今回の教材は生徒が原子・分子を微視的にとらえることに成功し、知識理解につながったことがうかがえる。

② 思考力・判断力・表現力等

リチウム原子(${}^7_3\text{Li}$)を作成する場面では、生徒たちは陽子と中性子の両モデル粒子を原子核内に各個数通りに配置しようとする、原子核内が粒子であふれてしまうことに悩み、原子番号や質量数の増加に伴って増える陽子と中性子を核内にどのように配置するべきかを検討していた。生徒たちは規則性や関係性を見出して、これまでに学んだ知識を活用して表現しようとしたことが読みとれる。他のコメントでも「たくさんの法則に基づいて考え楽しかった。」や「他の原子があるので実践してみたいです(今回の法則を用いて)」と記述している。このことから、生徒たちは獲得した知識を用いて思考を深めていることがわかった。

③ 学びに向かう力、人間性等

グループの友達と一緒に原子・分子モデルを作成する今回の活動は、生徒が原子・分子の構造や電子配置の規則性を理解するきっかけとなり、生徒同士の主体的で対話的な学びを誘発したと考えられる。また、近年日本の研究チームが新元素を発見・命名したことに関連して、元素を身近な存在として捉えて、本授業を通して新しい元素に関する知識を拡充しようとする生徒もいた。授業後アンケートでは、図8のような自作のニホニウムモデルの記述が見られた。今回の授業は生徒の学習意欲を喚起し、主体的に探究しようとする態度の育成につながったと考えられる。授業後アンケートの自由記述において「班の友達と原子レベルでの話をするのができたのでよかったです。」と書いていた生徒もおり、本授業のグループワークは、生徒たちの主体的で対話的な学びのきっかけになったと考える。

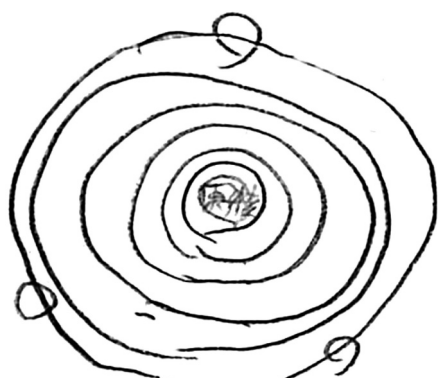


図8 生徒が授業後アンケートに描いたニホニウムモデル

(3) 利点と欠点

今回の授業の利点は、粒子モデルを作成する活動を通じて、原子・分子の構造について実感を伴って理解しやすいことである。中学2年生が高校の内容を含む知識を習得できたことを鑑みると、短時間で学習効果がでやすいと考えられる。授業後アンケートの結果からも、「友達と一緒に作業することで楽しかった。」と答えている生徒もおり、グループワークに向いていると考えられる。

欠点としては、事前の教材作成に時間がかかることや、電子殻数や電子配置等の高校の学習内容を中学2年生に分かりやすく説明しておく必要があり、混乱しやすいことなどが考えられる。実際に、授業後アンケートで「途中はわからなかった。」と回答している生徒もいた。

(4) 今後の方向性

今回作成したような安価な教材を教師が自作して授業で使用することで、どの国の生徒も原子・分子レベルの化学現象を視覚的に捉えることができる。現在日本では、各教科等において言語活動を充実することとしている(文部科学省, 2017)。言語力を向上させることで、感じ取った事実等を正確にとらえて、他者に的確に伝え説明したり、お互いの考えを伝えあうことで深い学びに発展させたりすることができると考えられる。母語活動の充実は外国語活動の充実にもつながり、以下に述べる国際理解知識交流にも役立つと考える。川崎は今年再びマラウイに渡航し、かつての配属先において、生徒と教員に対して、今回と同じ、もしくは発展した内容のワークショップを開催する予定である。日本、マラウイ共に、中等教育のほぼ同学年において原子や分子の構造について学習する。日本とマラウイの中高生同士が国際交流できるなら、両国で共通する学習項目をテーマに交流し学び合うことで、両者にとってより深い学びが実現すると期待する。

また、各国教師がグローバル又はユニバーサルに有用な教材を開発する能力を身に付けることは重要であり、

理科教材を通じて新しい国際知識交流を切り開く可能性がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、授業に協力いただきました中学校の生徒の皆様へ心より感謝申し上げます。

文献

- 岡村定矩ほか48名, 『新しい科学3年』, 東京書籍, p.9, 2013.
- 後藤顕一・田代直幸・小林辰至・江崎士郎, 『平成29年版 中学校新学習指導要領の展開 理科編』, 明治図書出版, pp.8 - 53, 2017.
- 辰巳敬ほか9名, 『改訂版 化学基礎』, 数研出版, pp.27 - 63, 2016.
- 山本嘉則 編著, 『有機化学100のコンセプト基礎の基礎』, 化学同人, p.5, 1997.
- 文部科学省, 『高等学校学習指導要領(平成30年告示) 解説理科編理数編』, 大日本図書, pp.88 - 90, 2018.
- 文部科学省, 『中学校学習指導要領(平成29年告示) 解説総合的な学習の時間編』, 大日本図書, 165p., 2017.
- 文部科学省, 『中学校学習指導要領(平成29年告示) 解説 理科編』, 大日本図書, 183p., 2017.