

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02852

研究課題名（和文）化学反応可視化による思考深化型教材の開発

研究課題名（英文）Development of Teaching Materials for Deepening Thoughts Using Visualization of Chemical Reactions

研究代表者

山田 洋一（YAMADA, Yoichi）

宇都宮大学・共同教育学部・名誉教授

研究者番号：50143186

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、（1）環境問題を視野においた合成及び天然有機化合物の化学変化や構造変化を分光学的に認識する教材システム（高校生向け）、（2）科学的な見方・考え方を育む上での物質の状態変化と化学変化の分子レベルでの可視化・動画教材システム（小中学生向け）、（3）金属とそのイオンの酸化還元過程の可視化・動画教材システム（高校生向け）、の3つを開発対象とした。さらに、新型コロナ禍パンデミックにおける研究実施という特殊事情により得られた、完全オンライン環境下での小中高生の実験・観察活動のノウハウと、その成果検証に関しても報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平成30年度から実施の中学校学習指導要領と、31年度から実施の高等学校学習指導要領では、理科を学んだ後に「何ができるようになるか」を明確化することと、その学びを深化される道具としてのアクティブ・ラーニングを取り入れた授業改善の必要性が示されている。そのような中で、化学分野・理科分野における新しい教材や指導方法の集約・共有化が待たれている。それらの教材とそれを用いた指導事例やノウハウなどをいかに簡便に教育現場に提供するか、コンテンツや情報の提供方法に関して検討し、所期の成果を得た。

研究成果の概要（英文）：The teaching materials, such as (1)spectroscopic system understanding chemical reactions and structures of synthetic and natural organic compounds, (2)visual and video system understanding transformation among solid, liquid, and gas states and chemical reaction, (3) visual and video system understanding oxidation-reduction states of metals, are developed. Furthermore, to look at the educational system using the online contents are proposed.

研究分野：化学教育，理科教育

キーワード：観察・実験コンテンツ 観察・実験教材開発 観察・実験指導法

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中学校・高等学校理科で、課題解決型学習をどのように進めるか？

教科としての理科を学ぶ上での学習の意義を明確にすることが求められている。理科を学んだことによって身につく「知識・技能」、「思考力・表現力・判断力」、及び「学びに向かう力・人間性等」とはどのような力なのか、コンピテンシーを具体的に示していこうという流れである。

理科を学んだことによって身につく「科学的な見方・考え方」は明確である。自然界の事象に対して、(1) 根拠にもとづいて、(2) 筋道を立てて、(3) コツコツと考えを進めていくという力を獲得することである。小・中・高等学校の理科では観察や実験を交えた授業展開が重要視されているのは、そのためである。

小学校理科では、観察・実験の内容がわかりやすく、楽しいものが多くなっている。しかし、中学校・高等学校理科では興味・関心が大きく低下してしまう。実験・観察活動を通じて、「ふしぎだな」と思う瞬間を提供し興味や関心を引き出した上で、「楽しく学ぶ」ことに成功すれば、さらなる探求心に火がつき、「もっと知りたい」と、どんどん理科が好きになる好循環（いわゆるハマルという状態）に入っていくといえる。これが「学びに向かう力」へと繋がるのである。

我々は、平成 26-29 年度 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 課題番号 26350224 の支援によって「溶解と化学変化の明確化システム教材化」の研究に幅広く取り組んできた。その結果、自然界の事象の中でも化学分野にかかる事象は抽象的な概念理解を必要とするものが多く、学習者の中に具体的なイメージを作るには視覚化された実験システムやマルチメディア（特に動画）の利用による工夫が有効であることが明確になった。[9]

本研究代表者は、長年、化学ソフトウェア学会が運営する電子ジャーナル「化学教育ジャーナル」の編集と事務局の活動に携わっており、日本国内、及び韓国、台湾を中心とするアジア地域の化学教育に関する様々な研究成果の相互発信・相互利用を微力ながらサポートしてきた。海外にも同様な取り組みが見られたが、営利目的ではなく、化学教育の普及・交流をめざす活動を長年にわたり継続することは難しく、現在は、我々の活動が国内及び主としてアジア地区の化学教育の普及・交流に果たす役割が大きくなっている。[10]

そこで、本研究では(1) 環境問題を視野においた合成及び天然有機化合物の化学変化や構造変化を分光学的に認識する教材システム（高校生向け）、(2) 科学的な見方・考え方を育む上での物質の状態変化と化学変化の分子レベルでの可視化・動画教材システム（小中学生向け）、(3) 金属とそのイオンの酸化還元過程の可視化・動画教材システム（高校生向け）、の3つを開発対象とした。

新型コロナ禍に関しては、そのパンデミック期における研究実施という特殊事情が加わった。その対応として、完全オンライン環境下での実験・観察活動の実践や、大学内における実験・観察活動の規模の縮小、高校訪問型の実験・観察活動への変更等、実践面での各種変更を余儀なくされた。[1-8]

2. 研究の目的

これまで行ってきた、化学分野の溶解と化学変化の明確化システム教材化により蓄積された指導事例や教材群を基に、新規教材群と方法論としてアクティブ・ラーニングの考え方を取り入れた新しい理科の観察・実験指導法を開発することが本研究の到達目標である。

平成 30 年度から実施の中学校学習指導要領と、31 年度から実施の高等学校学習指導要領では、理科を学んだ後に「何ができるようになるか」を明確化することと、その学びを深化される

道具としてのアクティブ・ラーニングを取り入れた授業改善の必要性が示されている。

そのような中で、化学分野・理科分野における新しい教材や指導方法の集約・共有化が待たれている。また集積された新しい教材とそれを用いた指導事例やノウハウなどをいかに簡便に教育現場に提供するか、コンテンツや情報の流通性の向上も図らなくてはならない。

本研究が対象とする実験コンテンツは、小中学生向け発展課題（観察・実験）と、高等学校化学教育カリキュラムにおける発展的な課題研究として位置づけられる。このような理科学習の内容を深めるための教材の開拓を行うことを通じて、グローバル化の中で生き抜く力をつける科学教育カリキュラムとして改善することを指向している。これは小・中・高等学校理科の系統性を持たせることにも関係したものであり、系統的に学習を進めるための方策として、ともしれば消化不良となりがちな『発展』的な内容を吟味しながら加えようというものである。

3．研究の方法

自然科学の周辺分野との関連を意図して、本研究が対象とする観察・実験コンテンツは前述のように、(1)環境問題を視野においた合成及び天然有機化合物の化学変化や構造変化を分光学的に認識する教材システム(高校生向け)、(2)科学的な見方・考え方を育む上での物質の状態変化と化学変化の分子レベルでの可視化・動画教材システム(小中学生向け)、(3)金属とそのイオンの酸化還元過程の可視化・動画教材システム(高校生向け)の3つに大別される。

加えて、これまでに我々が開発した教材[9]は、(4)合成及び天然高分子化合物の溶解に伴う物理変化を光学的に認識する高分子化合物の溶解認識教材、(5)分解生成物の分子、無機及び有機塩類の安全確実な分析手法体験コンテンツ集(以上高校1年生用)、(6)目に見えない化学変化を追跡する簡易クロマトグラフィー手法体験(同2、3年生用)コンテンツ集、(7)高分子有機化合物、分解生成物、それぞれの構造(化学結合)に特徴的なスペクトル特性を用いた「水溶液成分の可視化」、(8)溶媒抽出と組み合わせたクロマトグラフィー(薄層クロマトグラフィー等の簡便なもの)や基本的な呈色反応を用いる手法、(9)水を溶媒として使用しない条件での化学反応(特に脱水縮合反応)から生じる水を検出する方法、(10)金属結合の中で電子(自由電子)が移動する様子を、導体の電気抵抗の温度依存性から考える教材、である。

本研究では、上記(1)から(3)までの新規開発分教材と、これまでの開発教材(4)から(10)の蓄積を合わせて、それぞれを学習教材コンテンツとしてユニット化した。

それらの活用実践活動としては、栃木県教育委員会(特に栃木県総合教育センター)、栃木県立高等学校(中学校)との協力の下で、高等学校(一部は中学校)での試行と、大学での「とちぎ子どもの未来創造大学」企画、及び高大連携科学実験講座でのテーマとして試行した。その結果のフィード・バックにより改善を加え、実践事例の集積を行った。さらに、新型コロナ禍パンデミック期における研究実施という特殊事情により得られた、完全オンライン環境下での小中高生の実験・観察活動と、その成果検証に関しても報告した。

4．研究成果

(1) 開発した実験コンテンツ群とその流通手段

合成及び天然有機化合物の化学変化や構造変化を、分光学的に認識する新規教材システムとして、主に以下の二つに関して述べる。他の実験コンテンツについては、参考文献[1-8]に記述した。

第一に、単糖類の中でも高校化学の教科書内でよく用いられるグルコース、フルクトース、ガラクトースの3種を題材として、核磁気共鳴(NMR)装置による微細構造の解析を行い、その経時変化を調べた。その結果、有機溶媒中ではこれらの単糖類はほぼ一種類の構造をとる

が、数日単位の経時変化を見たところ、互変異性化も観察できること、及び水を添加すると、異性化の速度が向上する場合のあることを見出した。[5]

第二に、アセチル化反応の中でも高校化学の教科書内でよく用いられるフェノール性OH基の無水酢酸によるアセチル化を題材として、核磁気共鳴装置（NMR）による微細構造の解析を行い、その構造変化を調べた。中和指示薬が作用する際、ラクトン形からキノン型への構造変化を伴うが、アセチル化によりこの変化が阻害される。この点に注目して、色の違いにより目で見て反応の進行を実感できることを見出した。[6]

一方で、開発した実験コンテンツ群を用いた化学教育・理科教育の実践面では、時を同じくしてパンデミック状態となった新型コロナ禍最中における活動となり、大幅な予定変更を強いられた。一部の企画では対面実施がまったく無く完全なオンライン環境下でのバーチャルな体験の場を提供する形となった。その結果、テレビ会議システムを利用したわかりやすく興味を持ってもらえる科学実験講座実施のノウハウを期せずして得ることができた。[2, 3] また、従来は基本的に大学内で実施していた高大連携科学実験講座を、一部高校訪問型に切り替えて実施した。その結果、学内設備を使えない環境下の高校訪問型講座であっても受講者の満足度や大学への親近感の醸成には有効性が高いことが明らかになった。[7, 8]

本研究ではさらに、WEB 環境を利用した研究成果の流通を図った。開発したコンテンツは、既にオープンアクセス可能な本学共同教育学部紀要（電子ジャーナル）に掲載され、本学附属図書館のリポジトリ・システムを経由して全文を取得することができる。[1-8] これにより、中等学校理科・化学教育現場での持続可能な指導法として、利活用が図られる。

（２）本システムの評価

今回開発したシステムを、本学共同教育学部が展開する科学実験講座において、化学分野の実験コンテンツ群として用いて、小中高生に対する効果を測定した。対象は本学に近い栃木県内の高校生と、栃木県総合教育センター及び協力学校と連携して募集した小中学生とした。この分析結果も、コンテンツ群と同様にWEB 公開した。[1-8]

教員養成系の大学としては、（１）研究面では新しい理科教育の教材開発を行えること、（２）学生にとっては、栃木県教育委員会及び栃木県立高等学校との連携事業の中でティーチング・アシスタント（TA）を務めることにより、実践的な指導力の育成につながること、また、（３）現職教員の自己を高める研修項目として実践的な教材開発のノウハウを提供することが出来るという側面も有用であった。

また一方で、本研究により蓄積される理科教育・化学教育用コンテンツを、インターネットで利用できる形で提供した。このことにより、中等学校理科・化学教育現場での持続可能な指導法として、利活用が図られる。

<おわりに>

学習者が自ら課題を発見し、これまでの経験や各方面からの知識・情報などを総合して課題解決へ向けた方向性を考え、深い学びを獲得するシステムを検討することが求められている。そこでは、チームでの議論や試行錯誤にもとづく検討などを重ね、全体を見通す展望を持った活動の展開が期待される。

理科を学んだことによって身につく「科学的な見方・考え方」は明確である。自然界の事象に対して、（１）根拠にもとづいて、（２）筋道を立てて、（３）コツコツと考えを進めていくという力をつけることである。そのため、小・中・高等学校の理科では観察や実験を交えた授業展開が重要視されており、方法論として、アクティブ・ラーニングの考え方を取り入れた指導法の開

発が期待されている。本研究がその一助となれば幸いである。

本研究は、科学研究費補助金 基盤研究（C）（一般）課題番号21K02852 に加えて宇都宮大学基金（3C基金）からの経費支援により実施した。

<参考文献>

[1] 夏目ゆうの, 瀧本家康, 井口智文, 伊東明彦, 山田洋一, 令和2年度まで2年間の高大連携科学実験講座の成果分析について, 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 8, pp. 151-166 (2021).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/12888/files/24333506-8-151_166.pdf

[2] 佐々木健太, 君島大貴, 山田洋一, マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第3報） - オンライン「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における活用 - , 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 8, pp. 169-176 (2021).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/12889/files/24333506-8-169_176.pdf

[3] 佐々木健太, 山田洋一, マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第4報） - オンライン版「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における新たな試み - , 宇都宮大学共同教育学部 研究紀要 第2部, Vol. 72, pp. 571-580 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13241/files/72-2-01_yamada.pdf

[4] 櫻井智也, 佐々木健太, 山田洋一, 有機化学のアクティブラーニング教材開発を志向した構造化学的研究 - 高校の有機化学における深い学びにつながる教材の開発 - , 宇都宮大学共同教育学部 研究紀要 第2部, Vol. 72, pp. 583-594 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13242/files/72-2-02_yamada.pdf

[5] 佐々木健太, 山田洋一, 有機化学のアクティブ・ラーニング教材開発を志向した構造化学的研究, 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 9, pp. 175-182 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13571/files/24333506-9-175_182.pdf

[6] 櫻井智也, 山田洋一, 高等学校有機化学分野における生徒の学習内容の理解につながる教材開発, 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 9, pp. 187-194 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13572/files/24333506-9-187_194.pdf

[7] 夏目ゆうの, 瀧本家康, 井口智文, 伊東明彦, 山田洋一, 令和3年度高大連携科学実験講座の成果（第1報）, 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 9, pp. 499-502 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13597/files/24333506-9-499_502.pdf

[8] 夏目ゆうの, 瀧本家康, 井口智文, 伊東明彦, 山田洋一, 令和3年度高大連携科学実験講座の成果（第2報）, 宇都宮大学共同教育学部 教育実践紀要, Vol. 9, pp. 507-510 (2022).

https://uuair.repo.nii.ac.jp/record/13598/files/24333506-9-507_510.pdf

[9] 山田洋一, 南 伸昌, 溶解と化学変化の明確化システム教材化, 科研費研究成果報告書 (2017年度) 及びその研究成果に記載の論文.

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-26350224/>

[10] 山田洋一, 化学教育ジャーナル

URL <http://www.edu.utsunomiya-u.ac.jp/chem/>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 佐々木健太, 山田洋一	4. 巻 9
2. 論文標題 有機化学のアクティブ・ラーニング教材開発を志向した構造化学的研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 175-182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 櫻井智也, 山田洋一	4. 巻 9
2. 論文標題 高等学校有機化学分野における生徒の学習内容の理解につながる教材開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 187-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 夏目 ゆうの, 瀧本 家康, 井口 智文, 伊東 明彦, 山田 洋一	4. 巻 9
2. 論文標題 令和3年度高大連携科学実験講座の成果 (第1報)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 499-502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 夏目 ゆうの, 瀧本 家康, 井口 智文, 伊東 明彦, 山田 洋一	4. 巻 9
2. 論文標題 令和3年度高大連携科学実験講座の成果 (第2報)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 507-510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 夏目ゆうの, 瀧本家康, 井口智文, 伊東明彦, 山田洋一	4. 巻 8
2. 論文標題 令和2年度まで2年間の高大連携科学実験講座の成果分析について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 151-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐々木健太, 君島大貴, 山田洋一	4. 巻 8
2. 論文標題 マルチメディア教材を用いた実験講座の実践 (第3報) - オンライン「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における活用 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要	6. 最初と最後の頁 169-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐々木健太, 山田洋一	4. 巻 72
2. 論文標題 マルチメディア教材を用いた実験講座の実践 (第4報) - オンライン版「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における新たな試み -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部研究紀要 第2部	6. 最初と最後の頁 571-580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 櫻井智也, 佐々木健太, 山田洋一	4. 巻 72
2. 論文標題 有機化学のアクティブラーニング教材開発を志向した構造化学的研究 - 高校の有機化学における深い学びにつながる教材の開発 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇都宮大学共同教育学部研究紀要 第2部	6. 最初と最後の頁 583-594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------