

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：34509

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03285

研究課題名(和文) 廃棄物原点処理による大学初年次化学系水環境基礎実験プログラムの構築と教材開発

研究課題名(英文) Construction of a basic experiment program and development of teaching materials for first-year chemistry-related water environment experiments at universities by means of waste origin treatment

研究代表者

橘 淳治 (TACHIBANA, Junji)

神戸学院大学・共通教育センター・講師

研究者番号：10359292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：大学初年次の基礎教育は重要であるが、入試制度の多様化などが原因で理科の総ての科目を履修しておらず、大学教育の障害となっている。

本研究は、これらの課題解決のため、高大接続と大学専門教育の狭間を埋める環境教育に用いる実験教材と実験法の開発として、理系概論科目において水を主体とした基礎教育カリキュラム作成と実証授業を行った。廃棄物原点処理に基づく水環境実験法の開発として毒物劇物を極力使用しない水質分析法を開発し、授業実践を行った。水環境教育プログラム開発と大学初年次授業での実証研究を行い、授業マニュアルを作成すると共に、その普及啓発を意図して学会や研究会での発表と研修会を開催した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大学における理系専門教育を行うに当たり、教養課程での基礎教育は需要であり、特に実験や観察の基本的操作ができることが前提となっている。しかしながら、高校で理科の4科目を総て履修しておらず、また、教養課程では実験等の実習はあまり行われていない。

本研究は、教養課程における実験・観察力を養成するために、廃棄物原点処理を基本とした水質分析実験のカリキュラムとその実施マニュアルを作成と実証授業を行い、効果検証により教育の有効性を確認した。

このカリキュラムとマニュアルの公開と教員向け研修会を実施することにより、大学のみならず高校の教員に対しても高大接続教育を含めた水環境教育の普及啓発が出来る。

研究成果の概要(英文)：As basic education for students who have not learned four science subjects in high school, this research aims to: (1) We created a basic education curriculum centered on this and conducted demonstration classes. (2) We developed a water quality analysis method that does not use poisonous and deleterious substances as much as possible as a water environment experiment method based on waste origin treatment, and practiced it in class. (3) We developed a water environment education program and conducted empirical research in first-year university classes, created a class manual, and held presentations and workshops at academic societies and research groups with the intention of disseminating and enlightening them.

研究分野：生物地球化学

キーワード：廃棄物原点処理 大学初年次教育 水環境 化学分析 実験・観察 高大接続教育 教育カリキュラム 分析マニュアル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

科学技術立国で我が国を支える理工系人材の育成は、大学教育の重要な課題の一つである。しかしながら、高等学校の特色化、大学入試の多様化により理工系学部の入学者においても、高校理科の履修科目に大きな差が見られ、専門課程においても高校で未履修の理科科目(生物、化学、物理、地学など)の「学びなおし」としてのリメディアル教育が重要視されている。

本研究は、緊急の課題として、大学の専門課程での水環境教育の推進に取り組むべく、高大接続教育を基盤とし、リメディアル教育の視点を取り入れた、廃棄物原点処理による大学初年次化学系水環境基礎実験プログラムの構築と教材開発を主な目的とした。

本研究の背景として、高校側からの高大接続教育を意識した水環境教育の研究として、平成 15～16 年度科研費基盤研究(C)課題番号 15500606「水質評価指標および閉鎖系水域の水質浄化を主題とした環境教育プログラムの開発」、平成 16～17 年度文科省研費特定領域研究(2)課題番号 16034203「教育センター及び高校・大学・NPO 連携による環境安全に配慮した実験法の開発と研修」、平成 18～19 年度科研費基盤研究(C)課題番号 18500695「学校の環境教育における定量化実験法の開発と現職教員への研修」、平成 21～23 年度科研費基盤研究(C)「廃棄物原点処理に基づく系統的な水環境学習の実験教材開発と教員研修」の実証研究を行い、学校の理科実験を意図した、安全でしかも簡便な定量化実験法の開発を行い、大阪府教育センターの教員研修を通じてこれらの研究成果を普及啓発し都道府県教育センターの教員研修でこのプログラムと教材による研修が続けられ、高校の理科教員の水環境教育に係る授業力が向上し、また、高校生の理工系学力向上に繋がっている。

大学の使命である研究と教育の観点から、これまでの科学教育の延長として本研究とその実証授業を行い、開発した教育プログラムと教材を、大学や研究機関に学会や研修を通じて普及啓発したい。

2. 研究の目的

本研究が目指す、大学専門教育に直接繋がる「廃棄物原点処理による大学初年次化学系水環境基礎実験プログラムの構築と教材開発」に関する国内外の動向については、環境教育学会、環境学会、理科教育学会、科学教育学会など主要学会を見ても、高大接続教育と専門教育の狭間をリメディアル教育の視点で埋め、さらに教材開発を併行して行う化学系水環境基礎実験プログラムの開発に関する研究例は殆ど見あたらない。同様に、北米環境教育学会、国際理論応用陸水学会、アメリカ陸水海洋学会など諸外国の学会等においても同様の研究は見られない。

このように、専門教育への橋渡しとして大学初年次の水環境教育を系統的に行うための教育プログラムの作成と実験法を含む教材開発を併行した研究は独創的であり、その研究意義は大きい。

実際、教育プログラムのみを開発しても、開発に関係した研究者・教育者以外の者にとっては、そのプログラムを実施するための新たな機材、器具を含む教材づくりが大きな障害となり、殆ど普及しないのが現状である。

本研究においては、他大学への研究成果の普及啓発を意図した。これは、大阪府教育センターでの現職教員研修の経験を踏まえて、化学系水環境基礎実験プログラムで用いる教材(実験・観察器具、試料となる生物、実習に必要な安全性の高い試薬類、実験手法)も併せて開発する。実験プログラムとキットとしての配布を目的とした教材も併せて開発することは、他に例の少ない独自のものであり、研究成果を広く公開し、大学初年次の理工系教育モデルとして普及啓発を行う。

3. 研究の方法

(1) 高大接続と大学専門教育の狭間を埋める環境教育に用いる実験教材と実験法の開発

高校の特色化や入試制度の多様化に伴い、大学入学者の高校理科の履修状況に大きな差が生じている。

特に、理科においては、一例ではあるが農学系学部生であっても高校で生物を履修せず、入試は物理、化学で受験している者が多く、専門教育を行う上において、大学で「学びなおし」(いわゆるリメディアル教育)の実施が必須となっている。これは、他学部においても同様である。

さらに、高等学校の理系科目においても内容の高度化が進み、授業時間数の制限などから実験、観察の時間が取れず、これらの実験・観察などの基礎技術を持たない学生が大学に入学してくる現状もある。

水環境の研究としては、陸水学、海洋学、河川工学、水文学など多岐に渡るが、その研究の過程で水の化学分析手法を持つか持たないかが研究の鍵になることがしばしばある。

また、大学初年次教育を対象とした水環境教育関連の資料や書籍が少ない現状もある。

小・中・高等学校の総合的な学習の時間等で扱われる水環境学習に関する市販の書籍では、手法のみでその科学的な意味の記載が少ない。一方、大学の専門課程での書籍では基礎的な知識があるものとして書かれており、大学初年次の学生にとっては使いづらいものである。

そこで、高校の基礎を付した理科（生物基礎、化学基礎など）程度の知識を基にした大学初年次の化学系水環境教育プログラムとその教材を作る必要性和意義は大きい。

汚濁を調べる教材を例にすると、高校までは透明度板はあくまでも懸濁物量に関係した光の透過を調べるものであるが、大学では光の波長と植物による吸収などを学習するため、例えば、緑や赤で部分着色した透明度板や透視度計を製作し、懸濁物量や藻類量との関係を調べることも水環境教育では有効である。

（２）廃棄物原点処理に基づく水環境実験法の開発

これは過去の研究とも関わるが、化学的な手法を用いた水質分析においては、この実験廃棄物が環境に負荷をかけている事実があり、これは環境教育面では大きなマイナス要因である（橘淳治 2005）。

そこで、廃棄物量を減らすマイクロスケール実験の開発のほか、グリーンケミストリーの観点から、実験に用いる試薬や実験方法そのものの変更、及び実験廃棄物を実験者自らが処理を行う「廃棄物原点処理」を基盤とした実験法の開発も行う。

比色分析を例にすると、呈色反応過程を根本から見直し、毒劇物や環境汚染物質排出移動登録法の対象物質を極力使わない分析法への改良を行うことにより、試薬や実験廃棄物も毒性の低いものになり自前処理が可能となる。加えて、土壌微生物による実験廃棄物の効率的な分解処理法の開発と実用化も行う。

マイクロスケール実験については、既存の実験方法を縮小化するために、実験に用いるガラス器具などの改良に加え、比色分析においては視覚効果を高めるために試薬の種類や調合割合を変えて、発色域をヒトが認識しやすい色にシフトさせることを計画している。

（３）水環境教育プログラム開発と大学初年次授業での実証研究と手法の普及啓発

本研究で開発する水環境教育プログラムと教材を冊子（仮称：水環境ハンドブック）にまとめ本学の授業で実証試験を行うと共に、研究協力者の大学の初年次教育でも実証授業を行い、汎用性のあるものへと改良を加えると共に、水環境教育という学際的、総合領域の学問の性格上、教育評価、環境倫理や道徳性なども重要な要素として組み込む予定である。

研究開始の２年間でこれらの課題に対する基礎研究を行い、最終年度は汎用性のある水環境教育プログラムと教材による授業実践とその評価を行い、研究成果は冊子にまとめ、近隣大学や関係諸機関に配布し、普及啓発に努めるなど、研究成果の社会的還元と説明責任を果たしたい。

４．研究成果

令和２年度

（１）「高大接続と大学専門教育の狭間を埋める環境教育に用いる実験教材と実験法の開発」に関しては、高校の化学基礎、生物基礎、物理基礎、地学基礎の履修を前提として、文系出身者においても、比色分析の基本原則と化学実験の基礎からの指導により分光光度計などの機器類を使わない標準色列法による実験教材を準備とその暫定版マニュアルができた。

大学初年次学生を対象としているため、発色や色調の変化など視覚的に捉えやすい実験教材の作成が概ねできた。

（２）「廃棄物原点処理に基づく水環境実験法の開発」に関しては、環境系の学生実験であるため、環境教育の観点から、実験をすることにより廃棄物を出すことは極力避けるべきである。

水環境の化学分析には各種の方法があるが、本年度は教育効果を可能な限り落とすことがないレベルでのマイクロスケール実験を考え、その教材と暫定版のマニュアル作りを行った。

（３）水環境教育プログラム開発と大学初年次授業での実証研究と手法の普及啓発 に関しては、前半部分の水環境教育プログラムは、水環境教育、河川教育を大学初年次の理科概論 および概論 に取り入れたシラバスを作成した。評価の観点も理科的側面と環境教育的側面の両者から行う評価計画を作成した。

実証授業であるが、Covid-19 に係る授業のオンライン化のため、学生実習を行うことができず、演習実験のみとなり実習関連の評価ができず、講義関連の評価に留まった。

令和３年度

（１）「高大接続と大学専門教育の狭間を埋める環境教育に用いる実験教材と実験法の開発」に関しては、高校の化学基礎、生物基礎、物理基礎、地学基礎の履修を前提として、文系出身者においても、比色分析の基本原則と化学実験の基礎からの指導により分光光度計などの機器類を使わない標準色列法による実験教材を準備とその暫定版マニュアルができた。

大学初年次学生を対象としているため、発色や色調の変化など視覚的に捉えやすい実験教材の作成ができた。

（２）「廃棄物原点処理に基づく水環境実験法の開発」に関しては、環境系の学生実験であるため、環境教育の観点から、実験をすることにより廃棄物を出すことは極力避けるべきである。

水環境の化学分析には各種の方法があるが、本年度は教育効果を可能な限り落とすことがな

いレベルでのマイクロスケール実験を考え、その教材とマニュアルが完成した。

(3)「水環境教育プログラム開発と大学初年次授業での実証研究と手法の普及啓発」に関しては、前半部分の水環境教育プログラムは、水環境教育、河川教育を大学初年次の理科概論 および概論 に取り入れたシラバスを作成した。評価の観点も理学的側面と環境教育的側面の両者から行う評価計画を作成した。

本大学初年次学生の生物学概論ならびに協力者の教員養成系大学において、本研究による水環境実験を取り入れた授業の実証研究に入った。

令和4年度

本研究の最終年度であり、実証研究を続けると共にマニュアル作りを主に行った。

(1)「高大接続と大学専門教育の狭間を埋める環境教育に用いる実験教材と実験法の開発」にかかる環境教育に用いる実験教材の開発については、主に水環境教育、河川教育に重点を置き高校の理科の基礎を付した科目(化学基礎、生物基礎、物理基礎、地学基礎)の履修を前提として、視覚的に捉えることができるものを意図して教材とカリキュラムの作成を行った。具体的には、比色分析を主として標準色列法による水の化学分析実験とそのマニュアルによる実証研究を行った。成果としては、水分析マニュアルの作成と大学での授業カリキュラムに基づくシラバスを作成し実証授業を行った。

理系概論科目(従来の生物学概論や化学概論など)において、湖沼調査とその水環境について座学として水の物理化学、河川湖沼とは、水質とは、富栄養化関連物質とは、採水法と試料の保存法、栄養塩類の分析、有機窒素・有機リンの分析、光合成色素の分析、廃液処理、データの解釈等について、講義と実習を組み合わせた15回授業のシラバスとその教材を作成し、「水環境プログラム-大学初年次シラバスと教材」という冊子を作成した(図1)。

(2)「廃棄物原点処理に基づく水環境実験法の開発」であるが、環境教育の視点から、水環境を化学的な手法により研究する過程で実験廃棄物が生じるが、廃棄物の排出そのものが問題であり、マイクロスケール実験と、実験廃棄物の低減と廃棄物を極力出さない、毒性の少ない試薬類の使用や分析法の開発を行った。

マイクロスケール実験の一例であるが、栄養塩類(例えば、N-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩とスルファニルアミドを用いたジアゾ化カップリング法による亜硝酸態窒素)の分析などは、試水を25mL程度採取し、50~100mLのメスフラスコや共栓付き試験管に試薬を加えて発色させ、光路長1cmの石英セルを用いて分光光度計で比色定量する。しかし、比色定量に必要な溶液は2mLで十分であり、残りは廃液となってしまう。そこで、バイオ用の光路長1cmのディスポーザブルセルに試水を直接1mL入れ、試薬は1/25量をマイクロピペットで添加する。攪拌はセル立てに試薬を添加したディスポーザブルセルごと超音波洗浄機に30秒~1分入れると完全に均一になる。5分~2時間の間は発色が安定しているので分光光度計に発色したセルを入れ、543nmで吸光度を測定する。

このように、身近な実験器具類をうまく組み合わせることによりコストをかけず、また、従来の化学分析法をそのまま使いつつ、廃液量を減らすことが出来る。

環境安全学の考えに基づく、廃棄物原点処理の水分析実験の例としてインドフェノール法によるアンモニア態窒素の分析がある。これも、マイクロスケール実験と組み合わせで行うが、水質汚濁防止法にも記載されている劇物のフェノールを用いるほか、毒物のニトロプルシドナトリウムを感度を高めるために用いている。

これも亜硝酸態窒素の分析法と同様に試水を1mLに減らして行うほか、多少の感度低下は起こるがニトロプルシドナトリウムの代わりに塩化マンガンをを用いることで毒物の使用を回避できる。さらに、廃液についてはフェノールが含まれているが、フェノールはバイオレメディエーションの考え方に基づき、廃棄物用のバケツに土壌を入れ、米ぬかやグルコースを添加して微生物活性を上昇させておき、そのバケツに実験廃液を捨てることでフェノールは微生物により分解可能である。

硝酸態窒素の比色分析として、硝酸態窒素を銅-カドミウムアマルガムのカラムを用いて亜硝酸態窒素に還元し、亜硝酸態窒素として測定する方法がよく用いられている。この方法もカラムの調整時や洗浄時にカドミウムイオンが廃液として下水に流れ込む可能性があるほか、廃液にもカドミウムの小片などが紛れ込む可能性がある。

カドミウムの代わりに亜鉛粉末を使って還元させる方法もあるが、粉末の回収も困難であり、マイクロスケール実験としてディスポーザブルセルを用いて行う場合はさらに困難である。

そこで、試水2mLと共に針状亜鉛を5mL程度のマイクロチューブに入れ、時々超音波洗浄機で攪拌して6~24時間放置する。針状亜鉛はマイクロチューブの下に沈んで溜まるので、上澄みのみをマイクロピペットでディスポーザブルセルに入れて、後は亜硝酸態窒素として比色分析を行う。

使用する試薬類を毒性の低いものに置き換えることにより、学生実験として安全な実験が行えるほか、廃棄物にも毒性物質が含まれないあるいは低減が可能となる。

これらの実験法をまとめた「水環境実験法(1)-マイクロスケール実験」、および「水環境実験法(2)-廃棄物原点処理実験法-」という2冊のマニュアルを作成した(図2)。

また、実験廃棄物の微生物処理に関する基礎実験と授業実験での試行を行い、その有効性が示された。

(3)「水環境教育プログラム開発と大学初年次授業での実証研究と手法の普及啓発」は上記(1)により実証研究段階の教材と、上記(2)によるマイクロスケール実験を組み合わせた教材を作成し、実証授業を実施した。

授業実践のまとめをも含めて冊子を作成し、関係機関に公開、配布した。



図1 水環境教育プログラム



図2 水環境実験法マニュアル

3年間にわたる、水環境基礎実験の実験法を含む教材開発と併行して、自身の授業や協力者の授業に置いて、水環境実験プログラムをシラバスに反映させて実証授業を行い、教材の改良と授業プログラムの修正を行い、当初の目的を達成することが出来た。

各大学においては、授業題目や授業目的も異なるので、今回開発した水環境実験教材や水環境プログラムを自身の大学でモディファイしてさらなる改良をする必要があるが、既存の実験器具の活用を前提としているために導入は容易である。

本研究終了後も研究協力者のみならず、大学初年次化学系教育を担当する教員とも連携し、水環境基礎実験プログラムを取り入れた授業実践を行い、その結果共有をして、理系学生の実験観察力の向上につながる教材開発を行って行きたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 0件）

1. 著者名 橋 淳治, 柴原信彦, 寺岡正裕ほか	4. 巻 49
2. 論文標題 河川環境保全とアメニティー・防災教育に関する学校間ネットワーク構築事業	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 33-37
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 寺岡正裕, 加藤励ほか	4. 巻 49
2. 論文標題 大阪の河川水質環境マップ作成事業	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 38-55
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 岡本元達, 中村哲也ほか	4. 巻 49
2. 論文標題 アンケート法による大阪の水環境調査	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 56 - 66
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 柴原信彦, 寺岡正裕 ほか	4. 巻 48
2. 論文標題 高大および地域連携による河川水質環境マップ作成と学校間河川ネットワーク構築事業	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 32 - 46
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 柴原信彦, 寺岡正裕 ほか	4. 巻 50
2. 論文標題 5000人の児童・生徒による大阪の河川環境調査とその評価ー環境調査委員会の発足についてー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 44 - 48
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 寺岡正裕, 加藤励 ほか	4. 巻 50
2. 論文標題 5000人の児童・生徒による大阪の河川環境調査とその評価ー河川水質マップづくりー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 49 - 74
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋 淳治, 加藤励, 中村哲也 ほか	4. 巻 50
2. 論文標題 5000人の児童・せいとによる大阪の河川環境調査とその評価ーアンケート調査ー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 大阪の生物教育	6. 最初と最後の頁 75 - 83
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 橋 淳治
2. 発表標題 先生と生徒による大阪の河川水質マップの作成 - 小中高大の連携による河川調査 -
3. 学会等名 日本河川教育学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋 淳治
2. 発表標題 都市型ダムの水質浄化機構に関する体験型研修 - 日本最古のダムである狭山池ダムの水質浄化の可視化教材化 -
3. 学会等名 日本河川教育学会
4. 発表年 2022年

〔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
---------	---------