

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03202

研究課題名(和文)理科において科学的な根拠をもとに意思決定を行う学習を可能にするプログラムの開発

研究課題名(英文) Development of a learning program for decision-making based on scientific evidence in science classes

研究代表者

佐藤 綾 (Sato, Aya)

群馬大学・共同教育学部・准教授

研究者番号：00611245

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)：本研究では中学校理科第3学年の「自然と人間」の学習において、「保全のためにメダカを放流すべきか」を課題とし、生徒がこれまで理科で学習した知識を活用しながら与えられたデータを分析・解釈し、その結果を根拠として意思決定を行う学習プログラムを開発した。実際に授業を行なった結果、開発した学習プログラムにより、生徒はこれまでに学習したことを踏まえて探究の過程に沿ってデータの解釈を行い、得られた事実を根拠として課題の是非について意思決定できることが示された。今回のプログラムでは探究の道筋が限られていたため、今後、生徒が多面的、総合的に課題に対して考察できるよう学習プログラムを改善していく必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、「人間活動と自然環境の関わり」について学習する際には、身近な自然環境を取り上げ、これまでの学習内容を振り返って科学的な根拠に基づいて意思決定をすることが求められている。ここでの学習について、教科書に載っている活動はインターネットや書物を用いた調べ学習とその発表や話し合いに偏っていることが指摘されていた。本研究で開発したプログラムは探究の過程に沿って求められている学びを実践できるものであり、本研究の成果は理科で求められている子どもの資質・能力の育成に貢献するものである。本学習プログラムで取り上げた題材はどの地域でも子どもにとって身近なものであり、全国の学校で汎用可能なものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a program for learning of the relationship between human activities and the natural environment in science classes of junior high school. The theme of the lesson was "Should we release Medaka into the natural stream for conservation purposes?" The program involved analyzing and interpreting data presented while utilizing the knowledge students acquired in science, and making decisions based on the results as a foundation. Through the implementation of the developed learning program in class, it was demonstrated that students were able to interpret the data along the process of inquiry, considering what they had previously learned, and make decisions regarding the right and wrong for theme based on the obtained facts. However, due to the limited viewpoint of the inquiry in this program, in the future, it is necessary to improve the learning program that students are able to discuss to multidimensional and comprehensive consideration for the theme.

研究分野：生物教育、生態学

キーワード：生物教育 自然と人間 メダカ 遺伝的攪乱 探究 保全

1. 研究開始当初の背景

(1) 理科での生物多様性保全についての学習

持続可能な社会のための課題の1つである「人間活動と生物多様性の関わり」について、理科では小学校、中学校、高等学校を通して学習の場面が設けられている。例えば、中学校では、第3学年の最後の単元で「人間活動と生態系のバランス」や「外来種問題」などが扱われる。ここでの学習においては、身近な自然環境を取り上げること、自然と人間の関わり方について、これまでの学習内容を振り返り、科学的な根拠に基づいて意思決定させる場面を設けることが求められている。しかしながら、本単元において実験・観察を通して探究的な学習を行うことは時間的、空間的に困難であり、教科書に記載されている活動は、インターネットや書物を用いた調べ学習、その発表や話し合いに偏っていることが指摘されている。

(2) 本研究で作成を目指した学習プログラム

現在の教科書の学習は、様々な側面から子どもの問題解決能力の育成を目指しており、理科では、課題を把握し、観察・実験を通して課題の探究を行い、課題を解決するという科学的な探究の過程に沿った学習が求められている。私たちはこれまでの研究から、生態や進化などの実験や観察が困難な事象についても、課題の探究において子どもが必要とする観察・実験の結果をデータとして提示し、そのデータを子どもが分析・解釈することで、科学的な探究の過程に沿った学習が可能になることを示してきた。本研究では、身近な生物を対象として観察・実験を行った結果をデータとして準備し、それを分析・解釈したことを根拠として「人間活動と生物多様性の関わり」について、子どもが意思決定を行えるような学習プログラムを作成することとした。

(3) 題材とした生物

本研究では、上述の視点に沿った学習プログラム開発のため、メダカ (*Orizias sp.*) を題材とすることとした。メダカは、小・中・高の理科の教科書に実験や観察の対象として登場するため、子どもにとって馴染みがあり、身近な生物といえる。また、北海道を除いて、全国に生息する日本在来の生物であるため、開発した教材は全国で汎用可能である(北海道でも移入による人為的分布が報告されている)。そして、現在、人間活動を原因として日本全国で絶滅が危惧されており、環境省レッドデータブックでは絶滅危惧 II 類となっている。また、モデル生物として基礎的知見が多く、科学的データを収集、解釈しやすいという点から題材として選定した。

2. 研究の目的

以上のことから、本研究では、理科の授業における「人間活動と自然環境の関わり」についての学習の際、絶滅の危機にあるメダカを題材とし、子どもが理科で学習した知識を活用しながら科学的な根拠をもとに意思決定を行う場面を取り入れた学習プログラムを提案するため、(1) 地域におけるメダカの現状についての調査を行った上で、(2) 得られたデータをもとに学習プログラムを作成し、(3) 作成した学習プログラムを用いた授業実践を行い、(4) 授業実践の結果を分析することで作成した学習プログラムの有用性について検討する、ことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 課題の選定

日本に生息しているメダカは、現在、キタノメダカ (*Orizias sakaizumii*) とミナミメダカ (*Orizias latipes*) の2種に分けられているが、同種のメダカ内であっても、生息している地域によって遺伝的な分化がみられ、例えば、ミナミメダカは大きく9つの地域型に分けられることが知られている¹⁾。人とメダカの間接関係をみると、メダカは田んぼや用水路など人にとって身近な環境に生息しているだけでなく、ペットショップやホームセンターなどで観賞用や肉食魚の餌用として売られているのを見ることができる。観賞用として販売されているメダカには、野生の個体と見た目が似ている黒色の個体だけでなく、体が黄色の個体(ヒメダカ)や青色の個体など、様々な改良品種が見られる。ヒメダカは体色が黒いメダカの変異種である。メダカの黒と黄の体色は1つの対立遺伝子によって決まり、顕性の遺伝子を B 、潜性の遺伝子を b とすると、形質は中学校第3学年で学習するメンデル遺伝に従い、 BB もしくは Bb で体が黒色、 bb で体が黄色となる。市場に流通しているメダカは、地域集団としては東日本型や東瀬戸内型を由来とする個体であり、体色が黒いメダカであっても、養殖の過程でヒメダカと交雑し、ヒメダカの体色遺伝子をヘテロ (Bb) で持っている場合がある²⁾。つまり、売られている黒色のメダカは体色が野生個体と同じだけで、野生のメダカとは遺伝的な背景が異なる。以降、本研究では、体色が黒色の市販のメダカをクロメダカ、野生に生息しているメダカを野生メダカと呼ぶこととする。

メダカを絶滅から守るための保全活動の一環として、地域や家庭で繁殖させたメダカを放流する取り組みが行われているが、市販の個体や異なる地域由来の個体が放流されることで、本来その地域のメダカが持っていた遺伝的な固有性が失われることが問題となっている。このように、もともと日本にいる生物であっても、人が国内の他の地域に移動させることにより本来の環境に影響が生じることは国内外来種問題と呼ばれる。また、人為的に移入された個体と元からいた個体が交雑することにより、本来の集団固有の遺伝的特徴が変化してしまうことは遺伝子“汚染”や遺伝的“攪乱”という言葉で問題視されている。

以上のことを踏まえ、遺伝や外来種について学習をする中学生を対象とし、「メダカを守るために売っているメダカを増やして放流するという保全活動を行うべきか」という問いに対して、これまでに学習した知識を活用して実際のメダカの実験から得られたデータを分析し、それらをもとに意思決定を行う学習プログラムを開発することとした(図1)。

(2) 授業で提示するためのデータ収集

野生のメダカは減っている

授業中に提示するデータを生徒にとってより身近な地域のメダカのものとした場合と全国的な現状とした場合とで、地域のメダカのデータを利用したほうが生徒が問題を自身の問題として捉え、活動への意欲が高まったり、議論が活発になるなど、生徒の学びに影響が出るのではないかと考え、研究開始当初、その可能性を検討する予定であった。そのため、学習プログラムの開発にあたっては、全国的なデータの収集と授業実践を行う群馬県での現状調査を行った。

メダカの野生個体数の減少については、全国的なデータは環境省レッドデータブックの内容を紹介することとした。群馬県内のデータについては、聞き取り調査を行い、十数年前まではメダカが生息していた場所を含む県内の49地点の小川や用水路、池などを対象に目視や罟を用いてメダカの有無を調査した。メダカの生息が確認できたのは49地点中4地点のみであり、この結果を群馬県でのメダカの現状として授業の導入に用いることとした。

野生個体の集団に市販のメダカを混ぜるとどうなるのか

「メダカを守るために売っているメダカを増やして放流するという保全活動を行うべきか」という学習の課題を設定したとき、生徒の意見は「行すべきか」「行わないべき」の2択となり、生徒はどちらかを選ぶ根拠として、「野生メダカの集団に市販のメダカが移入された時に、野生集団にどのような影響が出るのか」を示すデータを求めるだろうと考えた。本学習プログラムでは、野生メダカの集団にクロメダカを放した時、野生メダカが本来持っていなかったヒメダカの体色遺伝子が移入してしまうことに生徒が気づき、野生メダカとクロメダカでは遺伝的特徴が異なることを根拠とし、市販のメダカを放流すべきでないという意思決定を行うことを意図した。

そのため、BBの遺伝子型をもつクロメダカを選別した飼育水槽(野生メダカ集団)を作り、野生メダカ集団をそのまま飼育する実験(対照実験)、野生メダカ集団の水槽にBbの遺伝子型を含むクロメダカを加えて飼育する実験(放流実験)を行い、実験開始時の水槽を撮影した動画(実験前)と各実験水槽から得られた子を隔離した水槽を撮影した動画(実験後)を作成した。図2Aは動画の切り抜きであり、放流実験において実験前には見られなかった黄色のメダカ(丸部分)が実験後には観察できる。

クロメダカとヒメダカのメンデル遺伝

下線部の結果を生徒が「遺伝」の単元で学習した知識を使って解釈できるよう、体色が異なるメダカを交配した時の実験結果を示す資料を作成した。資料はクロメダカとヒメダカの交配実験の模式図であり、過去の研究³⁾と教科書⁴⁾の記載を参考とし、図2Bを作成した。

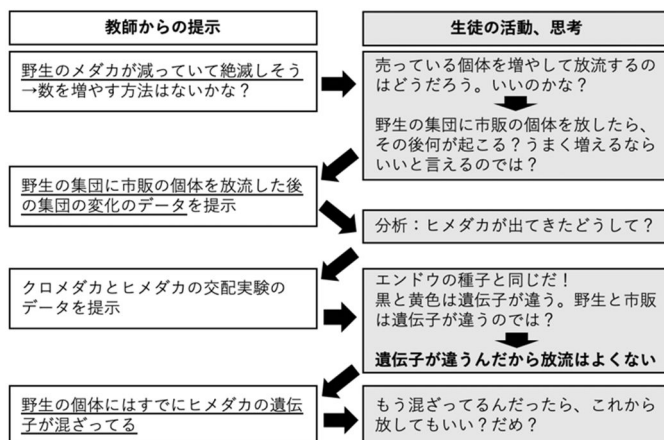


図1. 想定した授業の流れ。下線部について収集したデータを生徒に提示する

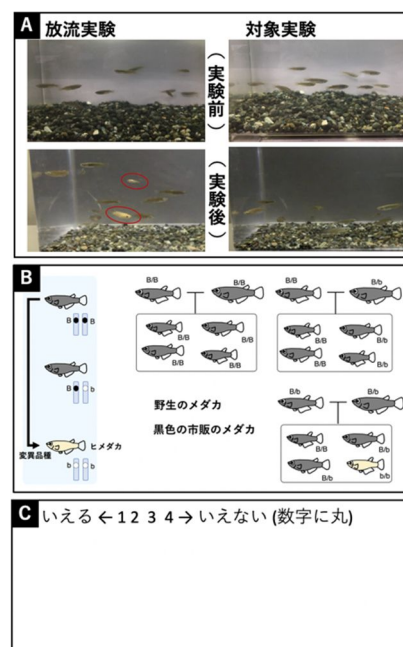


図2. 作成した教材。A:動画の切り抜き、B:体色遺伝子のメンデル遺伝を説明する図、C:予想と考察で生徒が記入するシート

遺伝子汚染はすでに生じている

ここまでの活動で、生徒は市販のメダカを野生集団に放すことで、野生の集団に本来とは異なる遺伝子が混ざってしまうことを理解できると考えた。研究開始当初、「野外で現在見られるメダカの集団では、すでに異なる地域の遺伝子や市販の個体の遺伝子が移入してしまっている」という現状を生徒に提示すれば、課題に対する意思決定が変化する(つまり、すでに市販個体の遺伝子が野生集団に混ざってしまっているなら、市販のメダカを放流しても問題ないとする)のではないかと想定していた。そこで、メダカの野生集団における遺伝的な攪乱について、日本全国のデータについては、報告されている結果^{5,6)}をまとめることとし、群馬県のデータについては次の調査を行った。前述の調査でメダカが見つかった場合、必要となる最小限の個体を捕獲し、遺伝子解析を行った。遺伝子解析は確立された手法^{1,5,6,7)}に従い、ミトコンドリア DNA のCYTB領域とNAD2領域を用いてPCR-RFLP解析により地域型を決定した。また、核DNAのヒメダカ体色遺伝子マーカーを用いた解析を行い、対立遺伝子の組み合わせを決定した。

この結果から、現在群馬県に生息している野生メダカの4集団のうち3集団にはすでに他の地域型やヒメダカの遺伝子が移入していることを示すデータを得た。当初、考察の話し合いの活動を終えた後、このデータを示し、最後に個人で考察を行わせる予定であったが、授業時間の関係で最終的にこの活動は授業実践時には行わなかった。

(3) 学習プログラムの作成

ここまでで収集した情報を合わせ、表1の流れで学習プログラムを作成した。授業実践を行う学校での直近の学習状況や生徒の実態、授業時間等を踏まえ、導入での説明事項や課題の文言等は当初の想定から修正した。

(4) 授業実践を通じた学習プログラムの検討

作成した学習プログラムを用いて、群馬県内の中学校で授業実践を行った。授業は中学校の理科の学習を全て終えた3年生を対象とし、2クラス(57名)で行った。授業には授業支援アプリを使用し、動画の配布や観察、ワークシートの記入はタブレット端末を用いて行った。ワークシートのうち、生徒の意思決定を記述させた部分は図2Cに示すものである。1クラスにつき1班3~4名の合計9班(2クラスで18班)で活動をさせ、班ごとの話し合いを録音し、分析した。

表1. 授業実践の流れ。斜体は教師による提示、太字は生徒の活動

導入	<ul style="list-style-type: none"> 野生メダカとクロメダカを提示 両方ともミナミメダカという同種 ミナミメダカは絶滅危種 クロメダカは売っている
課題	「野生のミナミメダカがいなくなりそうな池に市販の黒いミナミメダカを放流することはミナミメダカを絶滅から守る行動といえるだろうか?」
予想	図2Cを記入
計画	野生メダカの集団にクロメダカ放した後、時間が経つとどうなるか
観察	図2Aの動画を提示、観察
分析	図2Bから観察結果を解釈
考察	班で話し合い→新たに図2Cを記入
まとめ	意見の共有 すでにクロメダカの遺伝子は野生集団に混じってしまっている

4. 研究成果

(1) 授業実践の結果

授業前後での生徒の意見の変容

本研究では、「野生のミナミメダカがいなくなりそうな池に市販の黒いミナミメダカを放流することはミナミメダカを絶滅から守る行動といえるだろうか」という課題に対し、予想として記述した学習前の段階では、「野生メダカとクロメダカはどこか違いそうだから混ぜてはいけない気がする」という漠然とした記述が多いのに対し、活動後の考察では「クロメダカは野生メダカとは異なる遺伝子を持っており、クロメダカを放流して野生メダカと交配すると、本来持っていない遺伝子が野生個体に混ざってしまうのでクロメダカを放流することは野生のメダカを守る行動とはいえない」と科学的な根拠をもとに意思決定ができることを想定していた。

放流は保全と「いえる」を1、「いえない」を4として、自身の意見を1~4の数字で選ばせた結果、授業前の予想の段階では約6割の生徒が3(どちらかといえばいえない)を選択していた(図3)。その理由として、こちらが想定していたような「何か違いそう」という理由を挙げたのは全体の1割程度であり、「放流しても市販のメダカは弱くて野生では生きていけない」という理由や「放流することで食べる食べられるのバランスが崩れるから」という内容を理由とする生徒が多かった。結果の分析の活動後、考察として意見に合う数字を選ばせた結果、2(どちらかといえばいえる)を選んだ生徒が約40%と最も多く、3(どちらかといえばいえない)と4(いえない)を選択した生徒は合わせて約半数にとどまった(図3)。「市販の個体は野生の個体とは異なる遺伝子を持っており、野生のメダカに本来いない特徴をもった個体が生まれてしまうから、市販個体の放流はメダカを絶滅から守る行動とは言えない」という想定どおりの記述をした生徒は約30%で、「市販の個体を放流すると遺伝子が混ざってしまうが、野生のメダカの色が変わることは生態系に影響はないと思うので、市販の個体の放流はメダカを絶滅から守る行動と言える」という主旨の記述をした生徒が25%程度であった。

つまり、本学習プログラムに沿った授業により、生徒は結果の分析と解釈を通して、市販の個

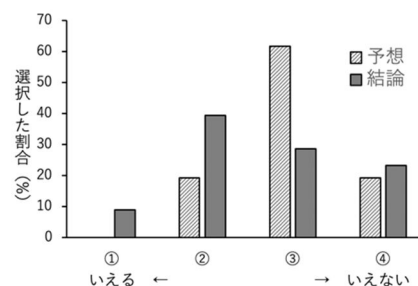


図3. 結果を分析する活動前後での生徒の考え

体を放流することは本来野生集団がもつ遺伝子構成に影響を与えることを理解できた一方で、それを根拠として意思決定を行わせた場合、放流はすべきでないという意見には達しないことが明らかとなった。

観察の結果と結果の分析の活動

動画を観察し、分析する活動を班単位で行わせたが、「放流実験では体色が異なる個体が出てきている」ということにほとんどの班が気付いており、約 1/3 の班では交配実験の資料を提示する前に話し合いの中で顕性、潜性、遺伝子の組み合わせ、という言葉を使って結果の解釈を行っていた。つまり、学習の題材はこれまでの知識を活用するという面で適切であったといえる。

考察の場面での班での話し合い

結果の解釈後に課題に対して班で考察を話し合わせた結果、多くの場合、話し合いは「遺伝子が異なる個体が入ってくることを理由に放流は保全とは言えない」とする意見と、「それでも絶滅するよりはよいので放流は保全といえる」の立場で対立する形となり、最終的に、「遺伝子が混ざることの何が問題なのか？」という問いを立て、「絶滅という問題に対しては大きな問題ではなさそう」という理由から「どちらかといえば放流は保全といえる」という結論に至っていた。

(2) 授業実践の考察

学習プログラムで意図した結論と授業実践での生徒の結論

本学習プログラムに沿った授業により、生徒は市販個体の放流によって本来とは異なる遺伝子を持つ個体が野生集団中に出てきてしまうことを理解できていた。よって、提示したデータをこれまで学習した知識を活用して分析し、探究的な過程に沿って意思決定のための科学的根拠にたどり着く、という学習プログラムのねらいは達成されていたといえる。しかし、得られた事象を根拠として意思決定を行う場面において、異なる遺伝子を持つ個体を放流することの何が問題なのかは理解できていなかった。話し合いの中で、「ヒメダカが 3:1 で出てくるのであれば、増えたうちの 75% は黒いメダカで、ヒメダカは 25% だから、ミナミメダカを守っていると言える」、「市販個体を放流しとして、ヒメダカが出てきたらそれを取り除けばいいんじゃない?」という発言が複数の班から出ていた。これは、放流により黄色という本来とは異なる形質が出てくることを問題と捉えているためであり、生徒は、野生個体と市販個体の交雑により、集団本来が持っていた遺伝子の組み合わせがなくなってしまうという問題には気付いていない、もしくはそれを問題と捉えていなかったといえる。これは、メンデル遺伝について学習しただけでは中学生が遺伝的攪乱を本質的には理解できないという新たな知見を提供するものである。つまり、これまでの調べ学習のように、「遺伝子が異なるから放流はいけない」というどこかに書かれていたことを根拠として放流についての意思決定を行っていても、生徒はどのようにして遺伝子が異なったら放流してはいけないのかまでは理解していないといえる。

学習プログラム改善の視点

学習指導要領解説では、自然環境の保全の学習において、「一方を求めれば、一方が崩れる」というような同時に両立しにくい事柄を提示することが示されている。まさしく、今回の題材では、「放流すれば遺伝的な攪乱が生じるが、メダカの個体数は簡単に増える」、「放流しなければ、地域多様性は守れるが絶滅してしまうかもしれない」という同時には両立しにくい状況が成立しており、意思決定を行う題材としては適切なものだったと考えられる。一方で、学習指導要領解説では、この単元において、自然と人間の関わり方について、多面的、総合的に捉えさせることをねらいの 1 つとしている。今回の学習プログラムでは、放流の是非について、遺伝的攪乱の視点から考えさせており、多面的、総合的に考えるものとはなっていなかった。予想の段階で、生徒から「放流することで今ある生物多様性のバランスが崩れる」といったこれまでの学習を踏まえた予想が出てきたことを踏まえると、今後、多様な予想を確かめるための様々なデータを準備し、提示することで、この単元で求められている学びに沿った学習プログラムへと改善していくことが望まれる。

(4) 結論

本学習プログラムを用いた授業を通じて、人間の自然環境に対する行動について、生徒が探究の過程に沿って得た根拠をもとに、対立する立場で議論を行い、意思決定を行う姿が見られた。メダカの遺伝的攪乱については全国各地で研究報告があるため、各地域での実態を取り上げた授業が可能である。ただし、生徒が課題を多面的、総合的に考えるためには、複数の材料を根拠として意思決定が行えるよう、探究の視点を増やすようプログラムの改善が必要である。

< 引用文献 >

1) Takehana Y et al. (2003) Zoological science 20: 1279-1291, 2) 小山直人ほか (2011) 魚類学雑誌 58: 81-86, 3) 岩松鷹司・森隆 (1994) 愛知教育大学教科教育センター研究報告 18: 199-210, 4) 霜田光一ほか (2021) 「中学校 科学 3」学校図書, 5) 中尾遼平ほか (2017) 魚類学雑誌 64: 131-138, 6) Nakao R et al. (2017) Ichthyological research 64: 116-119, 7) 入口友香ほか (2017) 魚類学雑誌 64: 11-18.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 1件）

1. 著者名 佐藤 綾・淡路 将史・坂口 杏・吉田 翔太	4. 巻 70
2. 論文標題 群馬県における保護個体・野生個体・市販個体を対象としたメダカの遺伝子型解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 群馬大学共同教育学部紀要. 自然科学編	6. 最初と最後の頁 19-26
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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤綾・淡路将史・坂口杏・吉田翔太
2. 発表標題 群馬県の野生メダカと市販メダカの遺伝子型解析
3. 学会等名 2021年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤綾・坂口杏・淡路将史
2. 発表標題 群馬県の保護メダカと野生メダカの遺伝子型解析
3. 学会等名 第68回 日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤綾・栗原淳一
2. 発表標題 中学生が市販メダカの放流について意思決定を行う学習プログラムの実践
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤綾・栗原淳一
2. 発表標題 中学生が根拠をもとに国内外来種問題について 考えるための地域メダカを用いた学習プログラムの開発
3. 学会等名 日本生物教育学会 第107回全国大会
4. 発表年 2023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
研究分担者	栗原 淳一 (Kurihara Jun-ichi) (90583922)	群馬大学・共同教育学部・教授 (12301)	

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
---------	---------