

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：32305

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01042

研究課題名（和文）生命科学を中心とした先端技術に関する実験教材開発と普及に関する研究

研究課題名（英文）Research on the development and outreach of experimental teaching materials related to advanced technologies with a focus on life sciences

研究代表者

片山 豪（Katayama, Takeshi）

高崎健康福祉大学・人間発達学部・教授

研究者番号：60635754

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000 円

研究成果の概要（和文）：生命科学を中心とした実験教材として、DNAの簡易抽出と確認実験教材、セントラルドグマを可視化する実験教材、生物顕微鏡で細胞骨格を観察する実験教材、ギムネマ茶やミラクルフルーツを用いた実験から刺激の受容を学ぶ実験教材等を開発した。これらの教材を実験講座や高等学校の正規の授業で実践し、普及活動を行ってきた。これらの実験教材については、市販されている。また、教材の普及を考える上で、教員研修で体験した実験の高校現場における実施状況を調査したところ、優れた教材であっても、普及には、教科内での時間、予算、教員のゆとりが必要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命科学は急速な進展を遂げたが、教育現場では先端技術を理解するための観察・実験の教材が不足している。また、現職教員に対する新しい観察実験の手法を紹介する教員研修が少なく、研修を受けても、設備、時間、予算の不足が原因で生徒に還元されにくいという現状がある。設備、時間、予算の不足の面の解決については、政策も関わるので抜本的な解決には至らなかったが、本研究において開発された教材が論文や実験書での紹介、教材キットとしての販売は、高校生物を履修する生徒にとって、理解を深めるだけでなく、思考力の向上、将来の科学技術を担う若者の育成に有意義である。

研究成果の概要（英文）：We have developed teaching materials for experiments focusing on life science, including (1) Simple extraction and confirmation of DNA, (2) Visualization of central dogma, (3) Observation of cytoskeleton with a biological microscope (without fluorescence microscope), (4) Experimental materials to learn stimulus reception from experiments using Gymnema tea and Miracle Fruit, etc. These materials have been used in experimental courses and regular classes at high schools for outreach. The experimental materials (1) and (2) are commercially available. In addition, in considering the outreach of the teaching materials, we investigated the implementation status of the experiments experienced in teacher training at high schools, and found that even excellent teaching materials require time, budget, and teacher flexibility in the subject area for outreach.

研究分野：生物教育

キーワード：教材開発 生物教育 実験教材 生命科学 教育普及 細胞骨格 教員研修 高等学校

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

(1) 生命科学の発展と教育の乖離現象

近年、生命科学の分野は急速な進展を遂げたことから、21世紀はバイオの時代といわれ、生命現象を分子レベルで理解できるようになった。マスコミでも遺伝子組換えや医療技術に関する話題が日常的に取り上げられ、これからの社会では生命の正しい理解が必須の教養になってきている。日本人がノーベル生理学・医学賞を受賞するなど、レベルの高い研究がなされていることから、先端的な生命科学研究に携わる有能な人材の輩出も必要である。一方現行の高等学校生物における指導要領では、学習内容と学習順序の大幅な変更が図られたが、教育現場では増加した範囲を終わらせることを優先するために、本来なされるべきである観察、実験、探究活動が実施されにくくなっている。

(2) 生命科学の理解のための教材の不足

生命科学の発展に伴い、研究機関では高価な実験機器を導入して研究が行われている。しかし、生命科学に関する研究の原理、応用の実際について理解を深めるための研究は、それほど行われていない。特に分子生物学に関連した観察実験は、生命科学の理解のための教材や実験器具が高価であることや教育現場における資金不足、現職教員の研修不足に問題があり、実施が困難である。

(3) 教員研修の生徒への還元の難しさ

平成24年から愛媛大学無細胞生物科学研究センター(平成26年からプロテオサイエンスセンター)で、JST主催のサイエンス・リーダーズ・キャンプ(実施責任者:林秀則教授)が行われている。そこでは、教育委員会等から推薦を受けた中堅教員が毎年20名参加して、生命科学における先端技術に関わる実験を行っている。しかし、この取り組みを通して気づいたことは、参加した教員はここで学んだことを教育現場に戻って、実際に授業で生徒に還元することが難しいということであった。そのため、キャンプに参加した教員への今後のサポート体制が必要であると思われる。

2. 研究の目的

高等学校における生命科学の理解のための観察実験教材を開発する。教材の開発においては、次期学習指導要領を意識して、「生徒が自ら課題を発見し、結論をまとめるまでの一連の探究過程」を重視する。また、開発された教材が生徒に普及するような教員研修システムとサポート体制を構築する。

3. 研究の方法

(1) 理科教員に対する実験講座の生徒への還元に関する調査

平成24~28年の愛媛大学で行われた愛媛大学開催サイエンス・リーダーズ・キャンプ(以下SLC)の受講者92名に対して、SLCで実施した下記の実験講座の活用状況について、アンケートによる調査を行った。実験のレベルは右表に沿って区分した。

表 実験のレベル

| 実験のレベル | 学習指導要領 | 特徴 |
|--------|--------|--------------|
| S | 範囲外 | 高校現場では行えない |
| A | | 高校現場でも行える |
| B | 範囲内 | 教育現場に普及していない |
| C | | 教育現場に普及している |

・SLCで実施した実験講座と実験のレベル

試験管内での転写と翻訳(レベルB)、遺伝子導入(組換えDNAの作製と形質転換)(レベルB)、DNAの分析(PCRと電気泳動)(レベルB)、DNAの増幅と塩基配列の解析(レベルS)、電気泳動によるタンパク質の分析(レベルA)、質量分析計によるタンパク質の分析(レベルS)

(2) 生命科学教材の開発と普及

DNAの簡易抽出と確認実験教材

(「生物基礎」(1)生物の特徴 (ア)生物の特徴 ア生物の共通性と多様性)

高等学校「生物基礎」の授業で行われているDNAの簡易抽出実験を二本鎖DNAの特異的蛍光試薬であるQuant iFluor® ONE dsDNA System (Promega)で確認する。

セントラルドグマを可視化する実験教材

(高等学校「生物基礎」(1)生物の特徴 (イ)遺伝子とその働き イ遺伝情報とタンパク質の合成)

DNAを元にRNAが転写されるかどうかは、DNAの有無でSP6RNAポリメラーゼを酵素としたときに、RNAが合成されるか否かで判断する。RNAの検出は、RNA特異的蛍光試薬Ribo green (Thermo)を用いる。RNAを元にタンパク質が転写されるかどうかは、転写反応液をコムギ胚芽抽出液と混合し、緑色蛍光タンパク質(GFP)の合成をされるか否かで判断する。

生物顕微鏡で細胞骨格を観察する実験教材

(高等学校「生物」(2)生命現象と物質 (ア)細胞と分子 ア生体物質と細胞)

・微小管の観察

Hela細胞を丸カバーガラス上に播種し、10%FBSの含有したDMEM培地内で培養。3.7%ホルムアルデヒドで固定。0.2% Triton X-100透過処理。1%スキムミルクでブロッキング。一次抗体として、抗αチューブリン抗体DM1A (Thermo)を結合。蛍光標識の場合、二次抗体として、Alexa 488 Goat Anti-Mouse IgG (岩井化学)を結合させ、蛍光顕微鏡B励起で観察。二重

染色のため核を **DAPI** で染色し、**U** 励起で観察。酵素標識の場合、二次抗体として、ヒストファインシンプルスチン **MAX-PO(M)** (ニチレイ) を結合させ、**DAB (3,3'-Diaminobenzidine)** 染色液を反応させ染色後、高校現場で使用されている光学顕微鏡 (生物顕微鏡) で観察。核の二重染色の場合、酢酸オルセインを使用。封入は、**PermaFluor Aqueous Mounting Medium (Thermo)** を使用。

・アクチンフィラメントの観察

WI-38 細胞または **MC3T3-E1** 細胞を丸カバーガラス上に播種し、**10%FBS** の含有した **DMEM** 培地内で培養。**3.7%**ホルムアルデヒドで固定。**0.2%** **Triton X-100** 透過処理。**1%**スキムミルクでブロッキング。蛍光標識の場合、**Phalloidin-iFluor 555 Conjugate (Cayman Chemical)** を結合させ、蛍光顕微鏡 **G** 励起で観察。二重染色のため核を **DAPI** で染色し、**U** 励起で観察。酵素標識の場合、一次抗体として、**Biotin-XX phalloidin (Setareh Biotech, USA)** を結合。二次抗体として、**NBT (Nitroblue Tetrazolium)** 染色の場合、**Streptavidin Alkaline Phosphatase(Promega)**、**DAB** の場合 **HRP-conjugated Streptavidin (Prteintech)** を結合させ、**BCIP (Bromo chloro indoryl Phosphate)-NBT** 染色液または、**DAB** 染色液を反応させ染色後、高校現場で使用されている光学顕微鏡 (生物顕微鏡) で観察。核の二重染色の場合、酢酸オルセインを使用。封入は、**PermaFluor Aqueous Mounting Medium (Thermo)** を使用。

・細胞の検討

高校現場でも入手しやすい細胞を考える上で、アワヨトウ (**Mythimna separata**)、カイコ (**Bombyx mori**) の血液を検討した。これらの血液をカバーガラスに落とし、血球細胞を付着させ、**3.7%**ホルムアルデヒドで固定。その後は、上記と同様の方法で細胞骨格を観察。カイコについては、品種も含めて検討。

・普及

これらの実験を高校生の実験講座、正規の高校の授業、教員研修の実験講座を通じて普及活動を行った。

ミラクルフルーツとギムネマ茶を用いた刺激の受容の学ぶ実験教材

(高等学校「生物」(4) 生物の環境応答 (ア) 動物の反応と行動 ア 刺激の受容と反応)

この実験の流れは、事前アンケート (好きなお菓子とその理由を問う)、事前アンケート (甘味に関する考え方と、ギムネマ茶やミラクルフルーツについての知見)、ギムネマ茶を用いた味覚実験 (砂糖水を口に含んで味を確認、砂糖入りのギムネマ茶を口に含んで味を確認、砂糖なしのギムネマ茶を口に含んで味を確認、ギムネマ茶を飲んですぐに砂糖水を口に含んで感じる味を確認、ギムネマ茶を飲んですぐに砂糖水を口に含んだときに感じた味覚の理由の考察、班で議論)、講義 (刺激の受容と感覚について、味覚について、ギムネマ茶の味覚に対する影響について)、ミラクルフルーツを用いた味覚実験 (レモンを噛んで味を確認、ミラクルフルーツを舌で転がして味を確認、ミラクルフルーツの実の部分を食べて種を出し、レモンを噛んでレモンの味を確認、レモンを噛んで感じたレモンの味に関するメカニズムの考察、班で議論、班で話し合った結果を発表)。この実験の工夫点は、まず初めに、事前のアンケートを行い、生徒の見方・考え方を知る確認する。アンケートや実験の予想や結果は、**QR** コードで立ち上げた **Google form** を使い、携帯電話やタブレットを通して入力する。説明は日本語であるが、対話を促すために **Google form** での問いかけ文は英語で示す。表 学校現場における実験の実施の状況

4. 研究成果

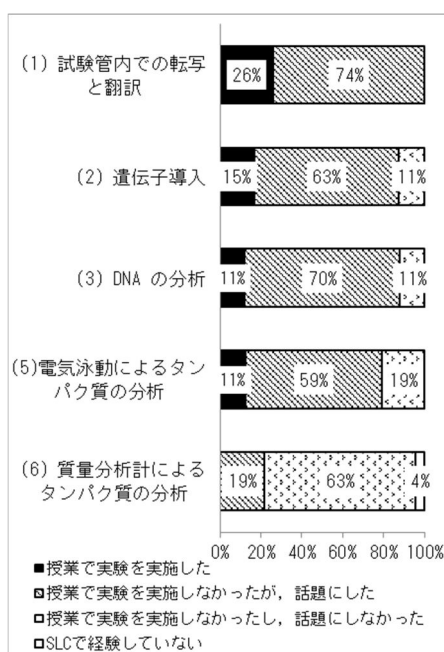
(1) 理科教員に対する実験講座の生徒への還元に関する調査

実施の状況を右図に示す。「試験管内での転写と翻訳」は、実施された実験の中で、最も現場で実施される率が高かった。それは、実施機関である愛媛大学で開発されたコムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用い、研究代表者の片山や研究分担者の林により教材化されたもので、この **SLC** の目玉となる企画だからであろう。また、この教材キットがセルフリースサイエンス社から市販されているもので、高校での実施にあたり **SLC** の資金の範囲で、**JST** からのサポートが得られたことも考えられる。しかし、受講者全員が実施できなかった理由は、教員に時間がない、余裕がないことが最も多く挙げられていた。

「遺伝子の導入」と「**DNA** の分析」、「電気泳動によるタンパク質の分析」は、教育キットが販売されていることが実験を可能にしている。実施できなかった理由は、上記と同様に教員に時間がない、余裕がないことに加えて、設備や予算の面が理由となっていた。

「質量分析計によるタンパク質の分析」は、学校現場に質量分析計がないので、実施できないのは当然である。

今回の調査から、生徒に還元されやすい実験講座の特徴として、学習指導要領の範囲で、実験講座の行った機関から実験器具の貸し出しや材料等の提供があることが不可欠であることが分かった。現場の教員は、時間がないことから教材を開発する余裕がないので、教育系の大学教員



が、学習指導要領や現場の要望に応じて、現場の教員とともに実験教材を開発する必要がある。また、レベルの高い教材であれば試薬や実験器具が効果になるために、出来るだけ安価な教材キットが市販されていることも実施が可能になる要因になることも分かった。

(2) 生命科学教材の開発と普及

DNA の簡易抽出と確認実験教材

雑誌(片山豪, 簡易抽出 DNA の蛍光染色色素による確認実験, 遺伝, (2017) 71(1), 2-9) に掲載された DNA の簡易抽出と確認実験教材を修正して, 書籍(実践生物実験ガイドブック: 実験観察の勘どころ 『生物の科学遺伝』編集部, エヌ・ティー・エス 2020 年 9 月 (ISBN: 9784860436520)) に掲載された。また, この実験教材は, 実験キット「DNA 簡易抽出確認実験キット」として, ケニスから市販されるようになった。

(<https://www.kenis.co.jp/onlineshop/product/11550577>)(2022 年 6 月 26 日閲覧)。

下記の普及活動を行った。

教員対象: 高崎健康福祉大学免許更新 4 回(2017~2019, 2021 年), 福井県教育研究所(2021 年)

生徒対象: 高崎健康福祉大学理科スクール 3 回(2017~2019 年)

セントラルドグマを可視化する実験教材

この実験の普及活動に関して, 書籍(開け! 科学の扉 中・高生への科学の教室, 藤嶋昭監修, 学研, (ISBN:9784054067059)) に掲載された。

下記の普及活動を行った。

教員対象: 高崎健康福祉大学免許更新 4 回(2017~2019, 2021 年)

生徒対象: 高崎健康福祉大学理科スクール 3 回(2017~2019 年)

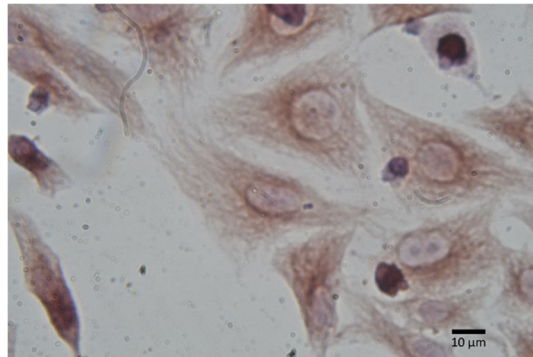
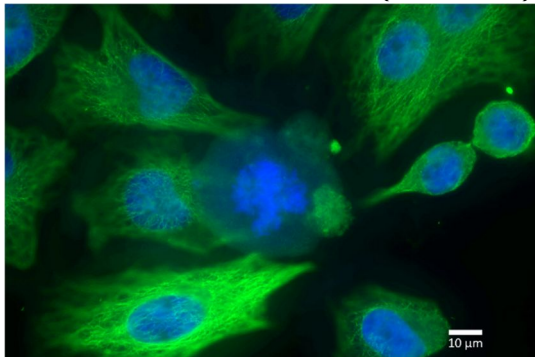
大学生対象: G 大学医学部医学科生物学演習 2 回・自然科学演習 3 回(2018~2022 年)

光学顕微鏡で細胞骨格を観察する実験教材

(高等学校「生物」(2) 生命現象と物質 (ア) 細胞と分子 ア 生体物質と細胞)

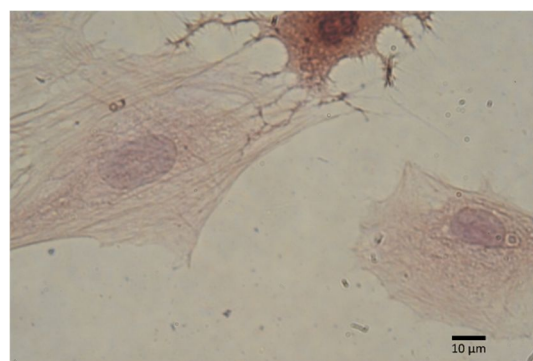
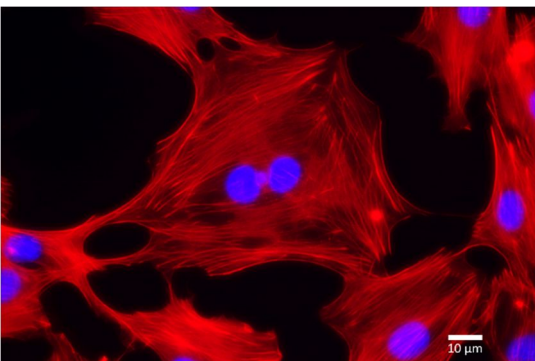
・微小管 (Hela 細胞)

酵素標識 (DAB 染色) 後の核染色について, 酢酸オルセイン, ピロニンメチルグリーン, メチルバイオレット, ベーシックバイオレット, ヘマトキシリンを用いて検討したところ, 酢酸オルセインとヘマトキシリンが適していた。他の色の兼ね合いから, 酢酸オルセインを用いることとした。蛍光標識及び酵素標識 (DAB 染色) の画像を下記に示す。



・アクチンフィラメント (MC3T3-E1 細胞)

蛍光標識及び酵素標識 (DAB 染色) の画像を下記に示す。



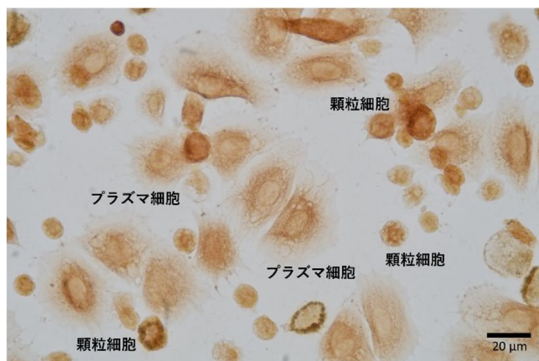
・細胞の検討

アワヨトウ, カイコの血球のプラズマ細胞において, 微小管の観察ができた。酵素標識 (DAB 染色) の画像を次ページに示す (左: アワヨトウ, 右: カイコ)。カイコの系統に関しては, N32, N12×N32, C41, p50, t91, p50×t91 の系統に関して比較したところ, N12×N32 が観察に適している。N12 の純系統をはじめ他の品種を今後調べる予定である。

・普及活動

教員対象: 群馬県教育研究会生物部会(2019 年)

生徒対象: 1 日サイエンス教室 2 回(2017 年), O 市立 O 高等学校の生物基礎・生物の授業 5 回(2018 年)



ミラクルフルーツとギムネマ茶を用いた刺激の受容の学ぶ実験教材

この実験は、**O** 市立 **O** 高等学校の実験講座及び私立 **T** 高等学校 2 学年理系 2 クラスで別の講師（講師 **A**，講師 **B**）で行った。私立 **T** 高等学校 2 つのクラス（**X** 組，**Y** 組）において、主体的で対話的で深い学びについて、生徒の意識調査を行った。その結果を下に示す。全ての 3 つの質問項目について、有用性を示す回答が多く **X** 組と **Y** 組で有意な差がなかった ($P>0.05$, Wilcoxon の順位和検定)。

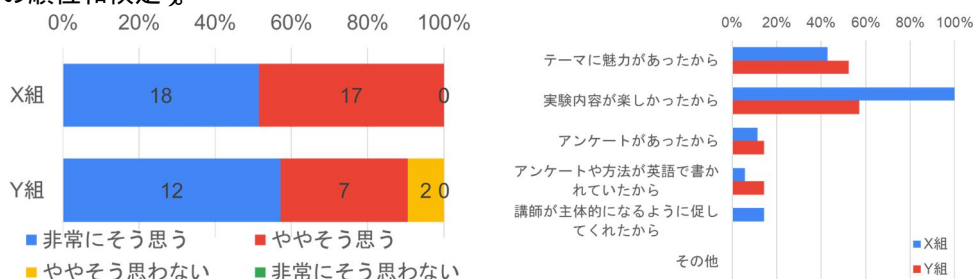


図 主体的に実験に取り組めたか？

主体的に実験に取り組めたか？どうかは、教材のテーマの魅力や実験の楽しさが大きく影響している。アンケートや英語の影響は少なかった。

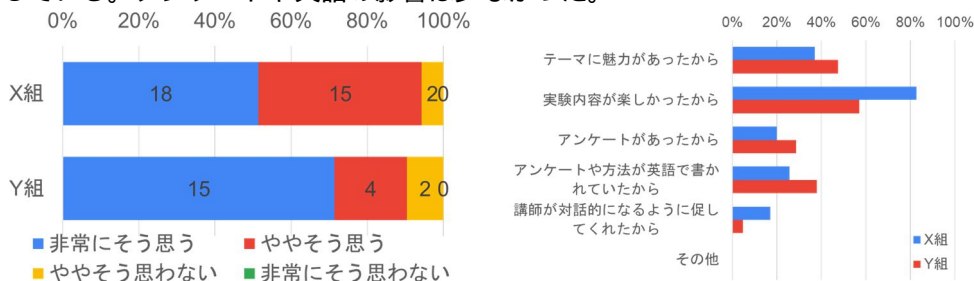


図 対話的に実験に取り組めたか？

対話的に実験に取り組めたかどうかは、教材のテーマの魅力や実験の楽しさが大きく影響している。アンケートや英語の影響は多少ある。

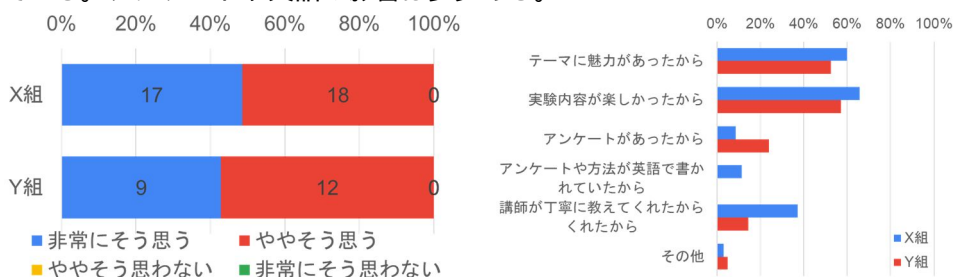


図 深い学びが得られたか？

深い学びが得られたかどうかは、教材のテーマの魅力や実験の楽しさが大きく影響している。講師が丁寧に教えてくれたことの影響はある。

また、主体的・対話的で深い学びに関する観点の評価法についても研究した結果、ルーブリックによる生徒の自己評価と生徒の記述の教員評価をクロス集計することで、妥当な評価が得られることが分かった（小暮，片山，2021，日本理科教育学会全国大会報告）

(3) 教員研修システムとサポート体制

教材の開発と普及の活動が主であったので、期間内に教員研修システムとサポート体制まで確立することができなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 片山 豪 | 4. 巻 70 |
| 2. 論文標題 主体的で対話的で深い学びを目指した実験講座の工夫 - ミラクルフルーツとギムネマ茶を用いた刺激の受容の学習 - | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 群馬生物 The Bulletin of Gunma Biological Education Society | 6. 最初と最後の頁 2-15 |
| 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 片山 豪, 林 秀則 | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 理科教員に対する実験講座の生徒への還元に関する研究 - 愛媛大学開催サイエンス・リーダーズ・キャンブ - | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 高崎健康福祉大学紀要 | 6. 最初と最後の頁 59-71 |
| 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 有 |
| 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10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takeshi Katayama, Masahito Nozaki, Susumu Tanaka and Mizuki Hino |
| 2. 発表標題 Study on observation method of cytoskeleton by microscope in high school |
| 3. 学会等名 56th Biology Teachers Association of the Philippines National Convention and Scientific Sessions & 28th Biennial Conference of the Asian Association for Biology Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 片山豪, 野崎真史 |
| 2. 発表標題 蛍光顕微鏡を用いない細胞骨格の観察法の研究 - カイコの血球細胞を用いた細胞骨格の観察 - |
| 3. 学会等名 日本生物教育学会第106回全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 片山豪, 齊藤明宏, 小暮匠 |
| 2. 発表標題 主体的・対話的で深い学びを目指した授業の工夫 - ギムネマ茶やミラクルフルーツを用いた実験から刺激の受容を学ぶ - |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会第71回全国大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小暮匠, 片山豪 |
| 2. 発表標題 ループリックによる生徒の自己評価と教員評価 -主体的・対話的で深い学びに関する観点の評価法の提案- |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会第71回全国大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 片山豪, 野崎真史, 中松豊 |
| 2. 発表標題 蛍光顕微鏡を用いない細胞骨格の観察法の研究 - 昆虫の細胞を用いた細胞骨格の観察 - |
| 3. 学会等名 日本生物教育学会第105回全国大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 片山豪, 野崎真史 |
| 2. 発表標題 実験教室における主体的・対話的で深い学びの実現 -ギムネマ茶やミラクルフルーツの味覚変化を通じて- |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会第70回全国大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 片山豪・野崎真史・田中進 |
| 2. 発表標題 蛍光顕微鏡を用いない細胞骨格の観察法の研究 - 微小管とアクチンフィラメントの多重染色 - |
| 3. 学会等名 日本生物教育学会第104回全国大会 |
| 4. 発表年 2019年～2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 片山豪，野崎真史，田中進 |
| 2. 発表標題 蛍光顕微鏡を用いない細胞骨格の観察法の研究II - 高等学校「生物」における実践 - |
| 3. 学会等名 日本生物教育学会第103回全国大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takeshi Katayama, Masahito Nozaki, Susumu Tanaka and Mizuki Hino |
| 2. 発表標題 Study On Observation Method Of Cytoskeletons Without Using Fluorescence Microscopes. |
| 3. 学会等名 27th Biennial Conference of the Asian Association for Biology Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 片山豪，野崎真史 |
| 2. 発表標題 蛍光顕微鏡を用いない細胞骨格の観察法の研究 |
| 3. 学会等名 日本生物教育学会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

第56回フィリピン生物学教師協会 (BIOTA) 全国大会と第28回アジア生物学教育協会 (AABE) 隔年会議共催の学術会議 (56th Biology Teachers Association of the Philippines National Convention and Scientific Sessions & 28th Biennial Conference of the Asian Association for Biology Education) が、2022年4月28日 (木) ~ 30日 (土) にオンライン (フィリピン) で開催され、pedagogy and biology education categoryでベストポスター賞 (Theme : Study on observation method of cytoskeleton by microscope in high school) を受賞した。

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 | 林 秀則 (Hayashi Hidenori) (60124682) | 愛媛大学・プロテオサイエンスセンター・教授 (16301) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|