

令和元年5月31日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03804

研究課題名(和文) 科目間・教科間連携を見据えた分子生物学教材研究を中心とする新しい生物学教育の展開

研究課題名(英文) New biology education using molecular biological teaching materials for the cooperation between subjects

研究代表者

武村 政春 (Takemura, Masaharu)

東京理科大学・理学部第一部教養学科・教授

研究者番号：50303623

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：生徒の分子生物学、進化生物学に関する知識不足に対応するため、現行の学習指導要領に基づく高校生物教育ではこれらの分野の内容が大きく変化したが、内容の充実は適切な教材の開発や普及と必ずしも協調せず、その開発は急務であった。そこで本研究では、この課題を克服するため、生徒が自作できるDNA教材の開発、分子生物学教育の改善に関する研究、簡易型電気泳動ならびに手動PCR教材の開発、生物進化に関する質問紙調査、共生説教材の開発、生物分野で使えるアプリの開発、免疫とタンパク質分野をつなげた教材の開発、教科間連携を目指したウイルス教材ならびにGISアプリの開発を行い、その教育効果を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「生物基礎」ならびに「生物」において分子生物学や進化生物学を中心とする分野が拡充されたことにより、高校生物で生徒が学習すべき内容は大幅に深化したが、これらの内容を体験できる生徒実験・生物教材は不足していた。本研究では、特にこれらが不足している分野(分子生物学、進化生物学、生物系統学、免疫学、ウイルス学)で用いることができる簡便な生徒実験・生物教材を新たに作ることに成功し、そのうちいくつかについて授業実践による教育効果が確かめられた。本研究で開発した新しい生徒実験・生物教材は、現状における不足を補い、生命科学の時代と呼ばれる今世紀に活躍する人材育成に、大きく貢献できることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The decline in the learning ability of high school students in Japan has presented concerns among science educators and Japanese scientific communities. In 2012, a new national curriculum framework, the Course of Study (CS) for secondary schools, was introduced in Japanese high school education. To solve the problem described above under new CS, here we have developed several new teaching materials, which can be used in biology course of Japanese high school. Developed teaching materials include those for learning DNA, molecular biology, agarose gel electrophoresis, manual PCR, symbiotic hypothesis, immunity, and also viruses. A teaching material for learning viruses can be used not only for Basic Biology but also learning Modern Society or Health and Physical Education. Furthermore, we have developed new applications, which are useful to learning biology with cooperation between biology and other subjects, such as geography.

研究分野：生物教育学、巨大ウイルス学

キーワード：生物学教育 分子生物学教育 進化教育 ウイルス学教育 教材開発 DNA教材 進化・系統学教材 ウイルス教材

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高等学校の生物教育は、わが国の生命科学研究をリードする人材育成や、人間生活により身近になりつつある生命科学リテラシー向上のための重要なゲートである。しかしながら、わが国のここ十～二十年の大学生や高校生の生物学、とりわけ分子生物学、進化生物学に関する知識不足が指摘されていた。こうした状況に対応するため改訂され、2012年度から先行実施された現行の高等学校学習指導要領に基づく生物教育では、分子生物学の扱いが大きくなり、進化・系統の内容も、これまでの5界説に代わって3ドメイン説が前面に出るなど大きく変化した。分子生物学の基本であるセントラルドグマのメカニズムは、『生物基礎』に収録され、その『生物基礎』は都立高校の場合9割の生徒が履修する科目であるため、文系・理系を問わずほとんどの生徒が履修する基幹的内容となっている。しかし、内容の充実が図られた一方で、教科書内容の深化・膨大化は、適切で効果的な教材の開発や普及と必ずしも協調しておらず、その開発は急務であった。

2. 研究の目的

そこで本研究は、誰でも簡単に用いることができる効果的な分子生物学用実験教材の開発と、生物基礎と生物の両科目や他教科との間を横断的に学ぶことができる生物教育教材の開発の2つを目的とした。これにより本研究は、わが国の生物教育のレベルアップと、将来の生物学・生命科学を担う人材の育成、さらにはわが国の生物教育・生命科学教育における拠点の形成を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 誰でも簡単に用いることができる斬新で効果的な分子生物学用実験教材の開発研究

研究代表者が中心となり、研究協力者（内山智枝子、倉林正）の協力を得て行った。レゴブロック・ネオジウム磁石を用いたDNAの塩基対モデル（1-1）、100円ショップで手に入る材料を用いた簡易電気泳動装置（1-3）、ならびに手動でPCRを行うための実験教材（1-4）をそれぞれ開発し、それを用いて高等学校や生物教員対象の授業実践を行い、質問紙調査による教育効果を測定した。また、DNAとRNAの役割の違いを生徒が区別できているかどうかを、高等学校における質問紙調査により確かめた（1-2）。

(2) 生物基礎と生物の両科目や他教科との間を横断的に学ぶことができる斬新な生物教育教材の開発研究

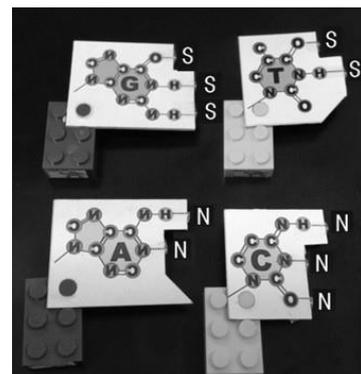
研究代表者が中心となり、研究分担者ならびに研究協力者（深谷将、明石基洋、風間智子）の協力を得て行った。共生説を理解するための実験教材（2-2）、免疫を理解するための実験教材（2-4）、そして教科間連携において用いることのできる新規ウイルス教材（2-5）をそれぞれ開発した。また生物教育に用いることのできる新規アプリ（2-3）、ならびに地理と生物との科目間連携に資することのできる新規アプリ（2-6）をそれぞれ開発し、それを用いて高等学校や生物教員対象の実践を行った。また、生物進化を生徒が理解できているかどうかを、高等学校における質問紙調査により確かめた（2-1）。

4. 研究成果

(1) 誰でも簡単に用いることができる斬新で効果的な分子生物学用実験教材の開発研究

1-1) レゴブロック・ネオジウム磁石を用いて生徒が自作できるDNA教材の開発研究

DNAの模型は、様々な素材でこれまで多く作られてきたが、その多くはDNAの二重らせんを再現するだけだったり、DNAの構造の全体を理解するための“工作”に近いものだけだったりしてきたため、DNAの真の重要性である塩基対形成を生徒が実感して理解できる教材の開発は重要である。そこで本研究において、レゴブロック・ネオジウム磁石を用いて生徒が自作できるDNA教材（右図）を作り、実際に生徒に対して授業実践の形で使わせ、それによる教育効果を測定した。その結果、レゴブロック・ネオジウム磁石を用いることで簡単に塩基対形成が理解できることにより、DNA複製メカニズムやDNAの相補性に関して、生徒の理解が深まることが示された（現在、論文投稿中）。

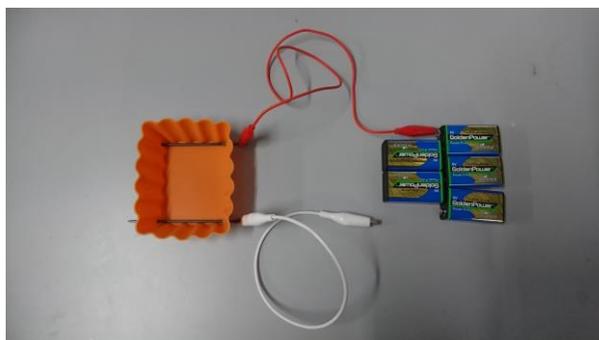


1-2) セントラルドグマ教材ならびに分子生物学教育の改善に関する研究

現行の高等学校学習指導要領における生物教育では、セントラルドグマのメカニズムの正確な理解が求められているが、それにはDNAとRNAの役割の違いを区別することが不可欠である。しかし、大学生を対象とした調査から、複製と転写に関する混同が報告され、高校生を対象とした調査でも、DNAとRNAの構造や構成成分の概念構築が曖昧であることが示唆されている。そこで本研究では、セントラルドグマの理解に不可欠な複製と転写におけるDNAとRNAの役割を、高校生が区別しているかどうかを把握し、その原因を追究することを目的として、「生物基礎」履修者を対象に質問紙調査を実施した。その結果、複製と転写におけるDNAとRNAの役割を区別していない生徒の存在と、混同の実態が明らかとなり、記号や模式図、岡崎フラグメント、相補的結合が起こる鎖の数、複製や転写の必要性に対する誤った理解が、混同の要因となっていることが示唆された。このことから、提示するメカニズムの内容と使用する記号や模式図を生徒の実態に合わせて検討し、複製や転写の必要性を強調し相補的結合に関する知識の転化を促すように学習環境や授業デザインを工夫することが、混同を防ぐことにつながるのではないかと考えられた(雑誌論文④、学会発表⑩⑭⑱)。

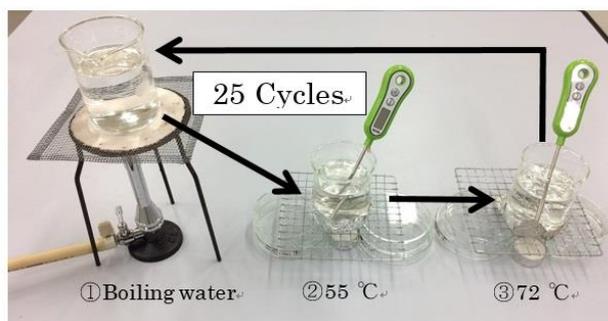
1-3) 簡易型アガロースゲル電気泳動教材の開発研究

本研究は、安価で簡単に自作できる簡易電気泳動装置を開発し、電気泳動実験全体の費用を軽減させる方法を考え、授業で実施しやすくする電気泳動実験を開発することを目的とした。本研究では、弁当用シリコン容器、鉛筆の芯、乾電池、リード線を材料に安価で簡単に自作できる簡易電気泳動装置を開発することができた(下図)。さらに、使用する試料やゲル、結果の確認方法を工夫することで、電気泳動実験全体の費用も軽減することができた。授業実践では、生徒たちもスムーズに実験操作を行うことができ、適切な結果を得ることができた。また、生物教員を対象とした質問紙調査では、本研究で開発した電気泳動実験を授業で実施できるという回答が多数の教員から得られた。以上のことから本教材は、高校生物等の授業で電気泳動実験を実施しやすくするために有効であることが明らかとなった(雑誌論文⑥、学会発表③⑦⑱)。



1-4) 手動PCR教材の開発研究

現行の高等学校学習指導要領における生物教育で求められている分子生物学の理解には、それに密接に関連する実験を生徒に体験させることが重要であるが、最も汎用されている分子生物学実験であるPCR法には、高額なサーマルサイクラーを用いる方法以外、生徒実験として利用可能な適切な方法がほとんどない。そこで本研究は、安価で簡単に行うことができる「手動PCR教材」を開発することを目的とした。その結果、開発した手動PCR教材(右図)は、温度管理にろうそくを用いることにより、簡便にPCRが行え、またそのPCR産物を電気泳動により確認することが可能であることが明らかとなった。生物教員や生徒自身を対象とした実践を行った結果、多くの生徒が手動PCRに成功することが明らかとなった(現在論文投稿中、学会発表③⑦⑱)。



(2) 生物基礎と生物の両科目や他教科との間を横断的に学ぶことができる斬新な生物教育教材の開発研究

2-1) 生物進化教育に関する質問紙調査ならびに教材の開発研究

現行の中学校・高等学校学習指導要領における生物教育では、脊椎動物の前肢の骨格に注目し、これらの動物が共通祖先から進化してきたことを扱うが、教科書にはそれに関連する図版は掲載されているものの、観察・実験の例は掲載されていない。そこで本研究では、骨格標本を用いた授業により生徒の進化に関する実感や理解が変化するかどうかを、質問紙調査により検討した。その結果、祖先の共有と進化、生物の共通性と多様性、退化の実感や理解が深まることが示唆された。また、類人猿の頭骨標本を、3Dプリンターを用いて大量に生産して生徒

に配布し、それを用いて霊長類の頭骨の進化について考察させた授業を行った結果、類人猿の頭骨の進化に関する生徒の理解がより増進されることが明らかとなった（雑誌論文③⑤⑦、学会発表⑥）。

2-2) 共生説を教えるための教材の開発研究

共生説（細胞内共生説）は、真核生物におけるミトコンドリア・葉緑体の起源を説明する生物学上の学説であり、現行の高等学校学習指導要領における生物教育では、「生物基礎」「生物」の両科目で教えられる重要な学説であるが、現在のところ、この学説に関わる実験教材は開発されていない。そこで本研究では、葉緑体ゲノムに含まれる *rbcL* 遺伝子ならびに細胞核ゲノムに含まれる *rbcS* 遺伝子の PCR による増幅ならびにアガロースゲル電気泳動による検討により、両遺伝子が葉緑体（シアノバクテリア）による共生によりもたらされたそれぞれのサブユニットであることを生徒が理解し、体験できる生徒実験を、身近な野菜であるホウレンソウを題材として開発した（学会発表⑧）。今後、生徒実践等を経てその教育効果を検討していく予定である。

2-3) ICTを用いた生物分野における新規教材・アプリの開発研究

ICTは現在、様々な分野で活用されており、高等学校理科・生物分野でもその活用が期待されているが、現在のところまだ発展途上であり、具体的にどのような利用があるのかに関して、具体的な実践例はあまりない。そこで本研究では、生化学の呈色反応をスマートフォンで簡単に定量化できるアプリ、生徒に文章を含む画面を見てもらい「面白かったところ」「重要だと思ったところ」「わからなかったところ」に色分けした下線を引かせ、その傾向を教員が瞬時に把握すると共に、様々な分析を行うことができるアプリ、そして表現型をもとに作った系統樹ならびに分子系統樹を比較することが簡単に行うことができるアプリを開発し、それぞれのアプリについて生物教員を対象とした実践、高校生を対象とした実践を行い、その教育効果を検討した（現在論文投稿中、学会発表②⑤⑨⑫⑬⑭）。今後、アプリの改良を進めると共に、生徒実践を通じたアプリならびに教授法のブラッシュアップをはかっていく予定である。

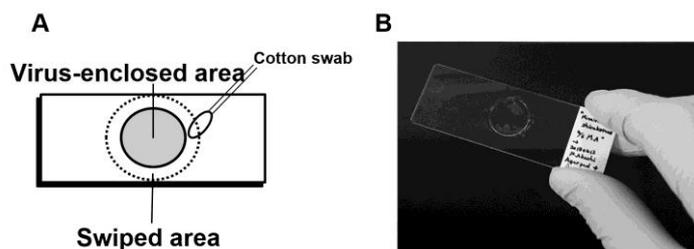
2-4) 「生物基礎」免疫分野と「生物」タンパク質分野をつなげた実験教材の開発研究

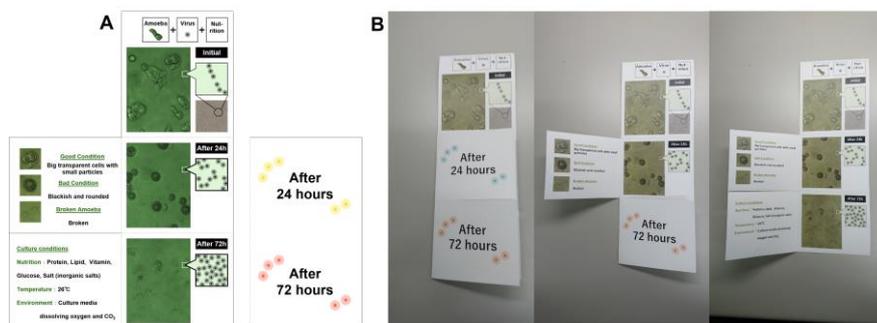
現行の高等学校学習指導要領における生物教育では、多くの生徒が履修する科目「生物基礎」で免疫分野の拡充が図られているため、免疫分野における実験教材の開発は急務であると考えられるが、現在のところ、白血球の食作用の観察以外の実験教材、とりわけ獲得免疫（適応免疫）に関する実験教材に関しては、オクタロニー法を利用した抗原抗体反応の観察などは存在するものの、全体的に不足している。そこで本研究では、ELISA 法を用いた抗原抗体反応の観察を簡便にできる方法の開発を目的として研究を行い、既存の ELISA キットを改変し、さらに抗体量の定量に用いることができる比色分析アプリを用いることで、これまでよりも簡便に ELISA 法を体験することができる生徒実験を開発した（学会発表⑮、⑯）。

2-5) 保健体育・現代社会と生物の教科間連携を目指した新規ウイルス学教材の開発研究

ウイルスは生物ではないが、生物のしくみを利用して増殖するため、生物に近い生命体であると言える。その性質上、現行の高等学校学習指導要領における生物教育ではほとんど扱われておらず、一方で保健体育・現代社会などの他教科においてエイズウイルス、インフル

エンザウイルスなどが取り扱われる。そこで本研究では、保健体育・現代社会と理科（生物）との教科間連携を目指した新規ウイルス教材の開発を目的として、近年世界中から分離が相次いでいる、光学顕微鏡でも見える巨大ウイルスを題材とした新規ウイルス教材の開発を行うこととした。そのために、日本の水環境（葛西臨海公園ならびに長野県・白駒池）から巨大ウイルスの一種ミミウイルスを新たに2株、そして北日本の温泉地域から新規巨大ウイルスメドゥーサウイルス1株を分離し、それらのうちの一つ（*Mimivirus shirakomae*）を用いて、高校や大学の生物教育で用いることができるプレパラート教材（上図）ならびに紙ベースのウイルス教材「VIRAMOS」（次ページ図。Aは展開図、Bは実際に印刷したもの）を作成した（雑誌論文①②⑧）。今後、プレパラート教材を用いた大学生を対象とした授業実践を行うと共に、VIRAMOSの高校生物での普及を目指した授業実践、教材改善を目指していく予定である。





2-6) 地理と生物の教科間連携を目指した新規アプリの開発研究

生物学的現象は、理科のみならず、上述した現代社会や保健体育だけでなく、国語、英語、数学、そして地理などの他教科でも取り扱われることが多い。特に地理では、地形の成り立ちに生物の生態、植生などが密接に関わるなど、生物科目との教科(科目)間連携に適した素材が生まれる余地が見られる。また現行の高等学校学習指導要領に基づく地理教育では、GIS(地理情報システム)の活用が推奨されている。そこで本研究では、GISを活用した地理と生物の教科(科目)間連携教材を開発することを目的として、サクラの開花情報を生徒に自ら収集させ、GISを用いてサクラ前線の移動を実感させる新規アプリを開発した。群馬県の高専での生徒実践により、収集されたサクラの情報と地理的情報がうまく融合し、有効な地理&生物教材として機能することが明らかとなった(学会発表①)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① Motohiro Akashi, Sho Fukaya, Chieko Uchiyama, Keita Aoki, Masaharu Takemura. Visualization of giant virus particles and development of “VIRAMOS” for high school and university biology course, *Biochem. Mol. Biol. Edu.*, 査読有, 印刷中, 2019, DOI:10.1002/bmb.21249
- ② Genki Yoshikawa, Romain Blanc-Mathieu, Chihong Song, Yoko Kayama, Tomohiro Mochizuki, Kazuyoshi Murata, hiroyuki Ogata, Masaharu Takemura. Medusavirus, a novel large DNA virus discovered from hot spring water, *J. Virol.*, 査読有, 93巻, 2019, e02130-18, DOI:10.1128/JVI.02130-18
- ③ 山野井貴浩, 佐藤綾, 古屋康則. 大学生対象の「種族維持」概念の保有状況調査—高等学校生物および大学での進化に関する講義の履修の影響に注目して—, *理科教育学研究*, 59巻, 2018, 285-291, DOI:10.11639/sjst.18034
- ④ 内山智枝子, 武村政春. DNAとRNAの役割の違いは、なぜ区別されにくいのか?, *生物教育*, 査読有, 59巻, 2018, 164-172, DOI:10.24718/jjbe.59.3_167
- ⑤ 内山智枝子, 山野井貴浩, 武村政春. 3Dプリンターを利用した人類頭骨のミニレプリカ教材の開発とその教育効果の検討, *白鷗大学教育学部論集*, 12巻, 2018, 141-158
- ⑥ 倉林正, 武村政春. 簡単で安価な電気泳動装置の開発による実践的な電気泳動実験, *生物教育*, 査読有, 58巻, 2017, 114-121, DOI:10.24718/jjbe.58.3_114
- ⑦ 山野井貴浩. 生物進化の実感を伴った理解を目指して—脊椎動物の前肢の骨格標本を利用した授業の実践—, *理科教育学研究*, 査読有, 58巻, 2017, 89-97, DOI:10.11639/sjst.16069
- ⑧ Masaharu Takemura, Tatsuya Mikami, Shingo Murono. Nearly complete genome sequences of two Mimivirus strains isolated from Japanese fresh water pond and river mouth. *Genome Announc.*, 査読有, 4巻, 2016, e01378-16, DOI: 10.1128/genomeA.01378-16

[学会発表] (計20件)

- ① ○倉林正, 深谷将, 武村政春. GIS(地理情報システム)を活用した生物教育の検討～教科間連携教材の開発と教材生物の採集地点の共有化～. 日本生物教育学会第103回全国大会, 刈谷, 2019.1.12.-13.
- ② ○深谷将, 内山智枝子, 武村政春. 系統樹を題材とした情報活用教材の開発. 日本生物教育学会第103回全国大会, 刈谷, 2019.1.12.-13.
- ③ ○倉林正, 深谷将, 武村政春. 分子生物学実験の繋がりを掴む安価な実験教材の教育効果. 日本生物教育学会第103回全国大会, 刈谷, 2019.1.12.-13.
- ④ ○Takahiro Yamanoi, Kenta Yokouchi. Are unicorn beetles insects? - Development of junior high school class to investigate arthropod morphology from an evolutionary perspective -. AABE (the Asian Association for Biology Education 27th Biennial Conference, Bangkok, Thailand, 2018.11.30.-12.2.

- ⑤ ○深谷将, 武村政春. 下線引きのオンライン収集・可視化・分析システムの開発と活用. 日本教育工学会第 34 回全国大会, 仙台, 2018. 9. 28. -30.
- ⑥ ○田中仁美, 山野井貴浩, 武村政春. 生物進化の変遷の時間のスケールに関する認識調査と試行的な授業実践. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑦ ○倉林正, 深谷将, 武村政春. 分子生物学実験の繋がりを掴む安価な実験教材の開発と授業実践. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑧ ○佐藤晶, 武村政春. RuBisCO 遺伝子に着目した共生説の生徒理解を促す分子生物学実験教材の開発. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑨ ○深谷将, 武村政春. 尿糖試験紙を用いた酵素反応の実験および ICT を用いたその応用. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑩ ○内山智枝子, 武村政春, 伊藤稔. ヒトの遺伝に着目したパフォーマンス課題の検討および授業実践. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑪ ○佐藤有理, 武村政春. 生命倫理観の涵養に向けた実験教材・授業の開発研究. 日本生物教育学会第 102 回全国大会, 熊本, 2018. 1. 6. -7.
- ⑫ 深谷将, ○武村政春. 進化と系統の結びつけによる教育効果の ICT を活用した調査. 日本生物教育学会第 101 回全国大会, 小金井, 2017. 1. 7. -8.
- ⑬ ○寺内詩織, 深谷将, 加藤礼, 武村政春. ELISA 法を用いた新たな免疫実験教材の開発・その 2. 日本生物教育学会第 101 回全国大会, 小金井, 2017. 1. 7. -8.
- ⑭ ○内山智枝子, 武村政春. 「遺伝子とその働き」の単元におけるパフォーマンス課題の検討および授業実践. 日本生物教育学会第 101 回全国大会, 小金井, 2017. 1. 7. -8.
- ⑮ 和泉勝樹, ○武村政春. 電気泳動の原理学習のための簡易実験教材の開発. 日本生物教育学会第 101 回全国大会, 小金井, 2017. 1. 7. -8.
- ⑯ ○Sho Fukaya, Masaharu Takemura. Simple enzyme kinetics experiment using a tablet camera and urine test strips. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, Tokyo, Japan, 2016. 8. 26. -28.
- ⑰ ○Katsuki Izumi, Masaharu Takemura. Simple analogical tool for teaching electrophoresis. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, Tokyo, Japan, 2016. 8. 26. -28.
- ⑱ ○Masashi Kurabayashi, Masaharu Takemura. Simplified electrophoresis apparatus developed for effective teaching practices in high school biology class. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, Tokyo, Japan, 2016. 8. 26. -28.
- ⑲ ○Chieko Uchiyama, Masaharu Takemura. Lessons of human evolution using a human skull replica produced with 3D printing technology. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, Tokyo, Japan, 2016. 8. 26. -28.
- ⑳ ○Shiori Terauchi, Rei Kato, Sho Fukaya, Masaharu Takemura. Development of a new student experiment in immunology based on ELIZA. 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, Tokyo, Japan, 2016. 8. 26. -28.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：山野井貴浩
 ローマ字氏名：Takahiro Yamanoi
 所属研究機関名：白鷗大学
 部局名：教育学部
 職名：准教授
 研究者番号（8桁）：40567187

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：内山智枝子
 ローマ字氏名：Chieko Uchiyama
 研究協力者氏名：倉林正
 ローマ字氏名：Masashi Kurabayashi
 研究協力者氏名：深谷将
 ローマ字氏名：Sho Fukaya
 研究協力者氏名：明石基洋
 ローマ字氏名：Motohiro Akashi
 研究協力者氏名：風間智子
 ローマ字氏名：Tomoko Kazama

※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、研究者個人に帰属されます。