

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月 31日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22330253

研究課題名（和文） 複製モデル教材ならびに進化教育教材の開発研究を中心とした新しい生物学教育の展開

研究課題名（英文） The study of new biology educational methods using newly developed teaching materials in DNA replication and evolution.

研究代表者

武村 政春（TAKEMURA MASAHARU）

東京理科大学・理学部・准教授

研究者番号：50303623

研究成果の概要（和文）：本研究では、中等・高等教育における新学習指導要領に対応する生物教育のための教材の開発研究を、分子生物学ならびに進化学における教材開発に関して重点的に遂行した。その結果、新学習指導要領が目的とするミクロからマクロまでを効果的に結びつける生物学の新たな教材として、Origami Bird 改良実験、分子系統樹作成実験などいくつかの生徒実験教材を開発した。これらの教材は、2013年度から始まる新科目「生物」（4単位）で用いられる教科書の一つに掲載された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we set up a purpose to develop new teaching materials under new Japanese national curriculum framework, the Course of Study (CS) for secondary schools, especially in molecular biology and evolutionary biology. As results, we could have developed some effective biology teaching materials, such as improved “Origami bird” protocol (OB), activity to teach molecular phylogeny (MP), which link micro-biology to macro-biology. These two teaching materials, OB and MP were published in one of Biology textbooks for Japanese high school students.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：教育学・教科教育学

キーワード：教材開発、生物教育、分子生物学、進化学、DNA複製、自然選択、分子系統樹

### 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、ならびに新型インフルエンザ、遺伝子組換え食品など人間生活により身近になりつつある生物学に対する国民の科学リテラシー向上のための重要

なゲートである。とりわけ、最先端の内容が時々刻々と変化する進歩の早い分子生物学と、環境問題・生物多様性の理解に不可欠な進化学は、生物学という車の両輪をなす重要な分野である。

米国や英国などの欧米先進諸国に比べ、わが国における生物教育は、カリキュラム、教

材研究の両面において見劣りする感を禁じえず、とりわけ車の両輪をなすこの二つの分野に関して、簡単に、誰でも教育現場で使えるような普遍的で効率的な教材がほとんど存在せず、積極的な研究開発も進んでいないのが現状である。

こうした状況をふまえ、わが国の科学リテラシー向上のためには高校段階から幅広く効率的な生物教育を行っていく必要があることに鑑み、斬新で独創的な教材開発研究、科学コミュニケーション研究を展開するための研究グループを、武村政春を研究代表者とし、進化教育研究に取り組む山野井貴浩、科学コミュニケーション・科学技術社会論研究に取り組む佐倉統をそれぞれ研究分担者として組織した。

研究代表者は平成 19～21 年度に科研費・萌芽研究（挑戦的萌芽研究）の助成を受け、高等学校における生物教育向上のための新しいカリキュラムならびに教材開発を行ってきた。本研究はこれを発展させ、生物教育に関する教材開発ならびに教育カリキュラム、科学コミュニケーション法の研究を通じて、わが国の生物教育ならびに科学リテラシーのレベルアップ、そしてわが国の生物教育の拠点形成を目指すものである。

## 2. 研究の目的

本研究は、中等教育の現場や科学コミュニケーションの現場においてすぐにも役立つ、斬新でユニークな分子生物学ならびに進化学に関する教材の開発ならびに新しい科学コミュニケーション法の開発を目指して、以下の研究テーマを設定した。

### (1) 生物多様性創出の理解を促進するための分子生物学教材の開発研究

DNA 複製における複製エラーや、生殖に伴う遺伝的多様性の獲得が、どう生物の進化をもたらしてきたかを理解できる実験教材等の開発を目的とする。そのための基礎研究として、哺乳類の中でもヒトなどの有胎盤類とオポッサムなどの有袋類の違いに着目し、まずすべての生物が共有する DNA ポリメラーゼに関する生化学的解析を行うこととした。

### (2) 人間のための生物学教育の充実ならびに新しい科学コミュニケーション法の確立

人間生活と生物学を結び付けることは、生物学リテラシー向上には不可欠であり、そのための生物教育法、科学コミュニケーション法に関する研究を行うことを目的とする。本研究では、遺伝子組換えや iPS 細胞など、遺伝子にまつわる科学リテラシー向上を目指した新しい活動教材の開発を行うこととした。

### (3) Origami bird を改良した新規進化教育教

## 材の開発研究

Origami bird は、アメリカで考案された、進化教育教材のための架空生物である（図 1）。この架空生物は、北アフリカの乾燥地にすむ鳥類であり、オアシス間の長い距離を飛翔できる個体のみが、繁殖するのに十分な期間生存できると設定されている。また、この実験に登場する個体はすべてメスで、1 個体は生涯で 1 回産卵し、3 個の卵を産む。3 個の卵のそれぞれは、親の配偶子の DNA に起こる突然変異により表現型の変化が生じ、3 個体のうち飛翔距離が最も長かった個体が次世代の親となる。オリジナルのプロトコールでは、表現型の変化（羽の形、羽の胴体へのつき方等）がコイントスならびにサイコロによるランダムな“変異”によって起こるため、進化において重要な DNA の突然変異との関わりが生徒に理解されないというデメリットがあった。そこで本研究では、この Origami bird を改良し、突然変異のメカニズムと、それがいかにして表現型に影響するかをわかりやすく理解できる教材の開発を行うこととした。

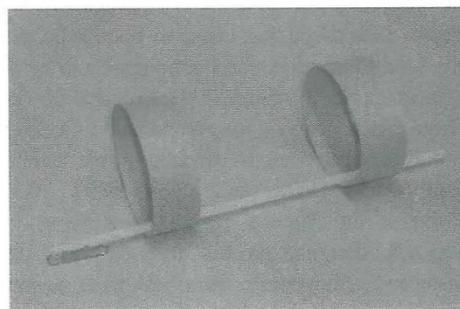


図 1 ストロー、クリップ、ケント紙で作る Origami bird

### (4) 分子系統樹作成を基本とする分子進化教材の開発研究

新学習指導要領では、進化のみならず分子系統樹の内容も前面に出てくることになり、『生物』（4 単位）の各社教科書においても分子系統樹の記述がみられるが、高校の実験授業等で実践可能な生徒実験はほとんど開発されておらず、分子系統樹作成に潜む重要な生物学的概念を生徒が理解する機会は乏しい。そこで、高校生がデータベースから遺伝子の塩基配列をダウンロードし、フリーの分子系統樹作成用ソフトウェアを用いて分子系統樹を描き、遺伝子とその進化、そして種の系統関係を自ら実験を行うことで体感できる新しい進化教育教材の開発を目的とする。本研究では、高校生に馴染み

が深い哺乳類と野菜をそれぞれ用いた分子系統樹実験を開発することとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 生物多様性創出の理解を促進するための分子生物学教材の開発研究

有胎盤類 DNA ポリメラーゼを特異的に阻害する dehydroaltenusin を、有袋類培養細胞である OK (opossum kidney) 細胞ならびに PtK2 細胞に作用させ、その DNA 複製に対する効果を、細胞数測定法、DNA 複製部位の蛍光標識法、染色体数測定法、クローニング法、OK 細胞抽出液のウェスタンブロッティングなどの生化学的方法を用いて検討した。

#### (2) 人間のための生物学教育の充実ならびに科学コミュニケーション法の確立

遺伝子がどのように発現し、タンパク質を作り上げるか、すなわち DNA→RNA→タンパク質の情報の流れ(転写・翻訳、すなわちセントラルドグマ)が生徒にわかりやすく理解できる類似ロールプレイ教材の開発を行った。さらに大学生に対する実践を行い、教育効果を検討した。

#### (3) Origami bird を改良した新規進化教育教材の開発研究

コイントスやサイコロを用いる代わりに、DNA の二重らせん構造と塩基配列を模したモデルならびにルーレットを利用して、実際に生じる突然変異が DNA 上に起こることが生徒にわかりやすく伝わる「配偶子突然変異 BOX」を開発し(図 2)、これを用いて Origami bird の表現型の変化を起こすよう改良したプロトコルを作成した。さらに高校生に対する実践を行い、教育効果を検討した。

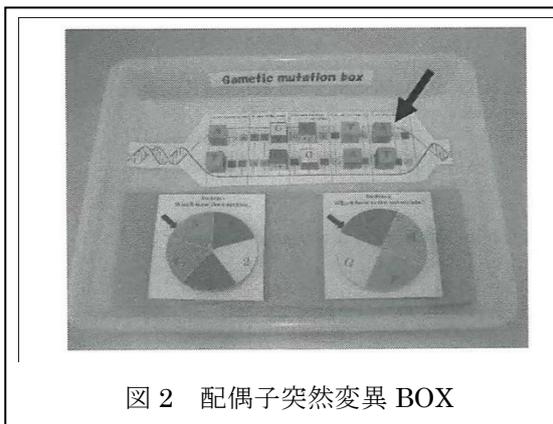


図 2 配偶子突然変異 BOX

#### (4) 分子系統樹作成を基本とする分子進化教材の開発研究

先行研究を参考に、高校の実験授業で活用できる「分子系統樹を描く生徒実験」

の開発を行った。本研究では、開発に着手したのは「哺乳類編」、「野菜編」、「昆虫編」の3つである。研究開始当初は「昆虫編」のみを開発する予定だったが、授業実践等の機会が多い前二者を先行して開発した。開発では、どの遺伝子、どの生物種を用いるかの検討を行った上で、生徒用プロトコルの作成を行った。さらに大学生や高校生に対する実践を行い、教育効果を検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 生物多様性創出の理解を促進するための分子生物学教材の開発研究

Dehydroaltenusin を OK 細胞に添加したところ、濃度依存的に細胞増殖を抑制することが明らかとなった(図 3)。一方、dehydroaltenusin の培養細胞染色体への影響を、長期(1 カ月)にわたる dehydroaltenusin の暴露実験によって調べたところ、染色体数に異常が生じることが明らかとなった(雑誌論文⑦、学会発表⑤)。

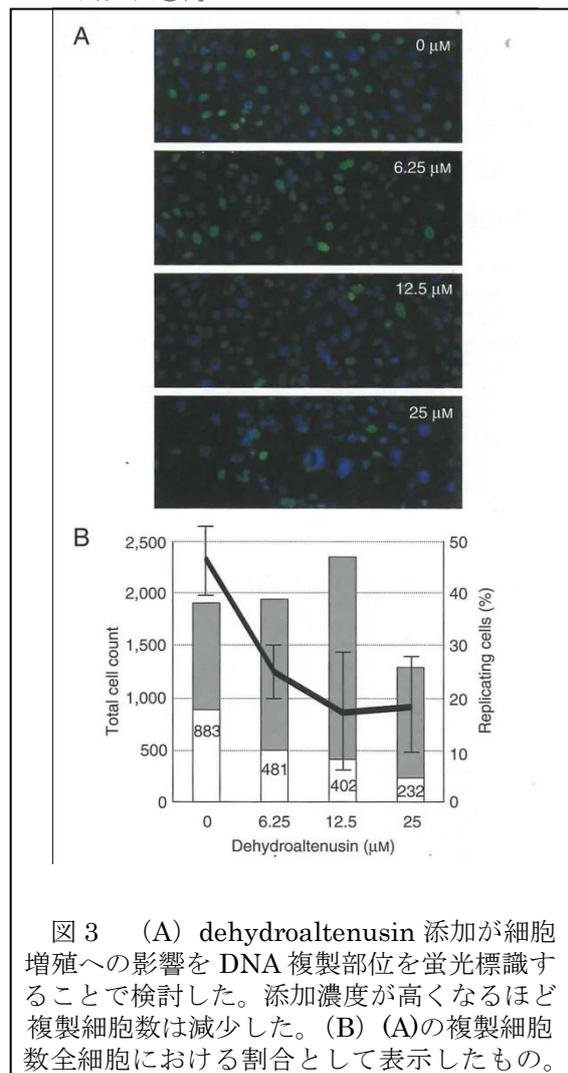


図 3 (A) dehydroaltenusin 添加が細胞増殖への影響を DNA 複製部位を蛍光標識することで検討した。添加濃度が高くなるほど複製細胞数は減少した。(B) (A)の複製細胞数全細胞における割合として表示したもの。

また本研究では、有胎盤類と有袋類のDNA複製メカニズムに関する比較の一環として、DNA複製酵素の一つDNAポリメラーゼ $\alpha$ に着目し、OK細胞からのDNAポリメラーゼ $\alpha$ の精製を行うと共に、オポッサムDNAポリメラーゼ $\alpha$ 各サブユニット遺伝子のクローニングを行うことを試みた。

その結果、精製したオポッサムDNAポリメラーゼ $\alpha$ は、これまで報告されてきた有胎盤類DNAポリメラーゼ $\alpha$ のサブユニット構造とは異なることが示唆された(学会発表③)。

今後は、有袋類DNAポリメラーゼ $\alpha$ 遺伝子のクローニングを完了させ、有袋類と有胎盤類それぞれのDNA複製メカニズムを、DNAポリメラーゼ $\alpha$ の作用機序とそれに伴う突然変異生成プロファイルの相違に焦点を当てて研究を行っていく。さらにその成果を、DNAポリメラーゼの作用機序と突然変異の生成メカニズムに着目した生物多様性教材の開発へと結び付けていく予定であるが、その前段階として、DNA複製のしくみをDNAポリメラーゼの作用機序を中心に教えることができるモデル教材の作成を試行的に行った(学会発表②)。今後、このモデル教材をさらに発展させていく予定である。

(2) 人間のための生物学教育の充実ならびに新しい科学コミュニケーション法の確立

開発した類似ロールプレイ教材では、人間(生徒)がRNAポリメラーゼ、基本転写因子、リボソーム、アミノアシルtRNA合成酵素など、触媒作用のあるタンパク質(もしくはrRNA)の役割を演じ、DNAやmRNAを紙ベースのシートで、tRNAを金属ハンガーで、アミノ酸をレゴブロックでそれぞれ表現し、DNAからmRNAが転写されてからタンパク質が合成されるまでを、教室を細胞に見立てて行った。

大学生を対象とした本教材の授業実践において、実践前後に転写・翻訳の知識を問う質問紙調査を行うことにより、本教材の教育効果を検討したところ、転写・翻訳に関する問題の正答率が上昇した(学会発表①)。

今後は、高校での授業実践を行うことにより高校生に対する本教材の有効性を検討すると共に、問題点を洗い出し、さらに改良を加えていく。さらに、本研究の目的にも示したように、遺伝子組換えやiPS細胞など、セントラルドグマの諸概念を私たち人間生活に密接に結びつけることができる、応用的側面を持つ

た類似ロールプレイ等の教材の開発を推進していく予定である。

(3) Origami birdを改良した新規進化教育教材の開発研究

開発した配偶子突然変異BOXでは、生徒自身がルーレットを回してDNAの塩基配列を変化させ、表現型の変化を事前に作成したリスト(突然変異表)から選ぶようにした。そのため、突然変異によるDNAの塩基配列の変化を通して表現型に変化が起ることを実感できるように考えた。また実験後に考察を行うことにより、Origami birdで見られる進化が、定向進化説やラマルクの用不用説による進化ではなく、自然選択による進化であることを確認できるよう、実験書を改良した。改良したOrigami bird実験について、高等学校における授業実践を行い、実験前後に行った質問紙調査により教育効果を検討したところ、Origami bird実験後には全体的な進化の理解度が上昇することがわかった(図4・雑誌論文④、学会発表④)。

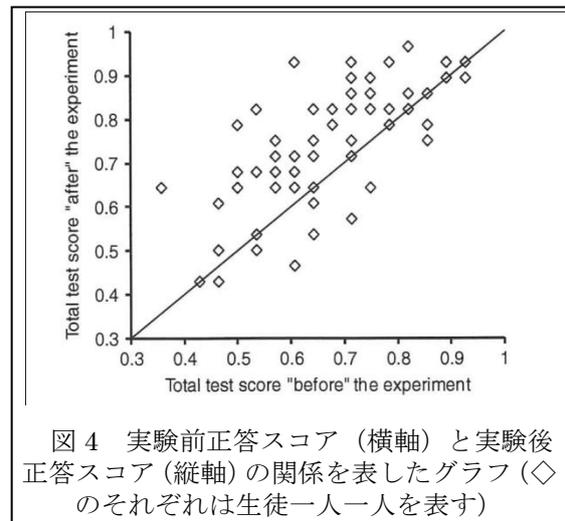


図4 実験前正答スコア(横軸)と実験後正答スコア(縦軸)の関係を表したグラフ(◇のそれぞれは生徒一人一人を表す)

この結果から、本研究において開発したOrigami bird実験が、自然選択による進化が起るしくみを分子レベルから学習できる、新学習指導要領が目指す「分子生物学の成果を反映させた進化教育」、ミクロからマクロまでを効果的につなげる生物教育にとり有効な教材となることが示唆された。

このOrigami bird実験は、新科目『生物』(東京書籍)の第6編「生物の進化と系統」における探究実験として掲載された。

(4) 分子系統樹作成を基本とする分子進化教材の開発研究

「都会で哺乳類編」は、「クジラはどの

哺乳類に最も近いのか？」を検証するために、ミンククジラ、マッコウクジラ、カモノハシ、カバ、ネコ、カンガルー、フクロネコの各哺乳類のヘモグロビン $\alpha$ 鎖のアミノ酸配列をデータベースからダウンロードし、分子系統樹専用ソフトウェアである MEGA を利用して分子系統樹を描く生徒実習として開発した。

開発した生徒実習を、東京都内の公立高校等 3 校において授業実践を行い、実践前後で生物の系統、分類、学名等に関する知識を問う質問紙調査を行うことにより、その教育効果を検討した。その結果、分子系統樹実習後には全体的な理解度が上昇することがわかった (図 5・雑誌論文①、学会発表⑥)。

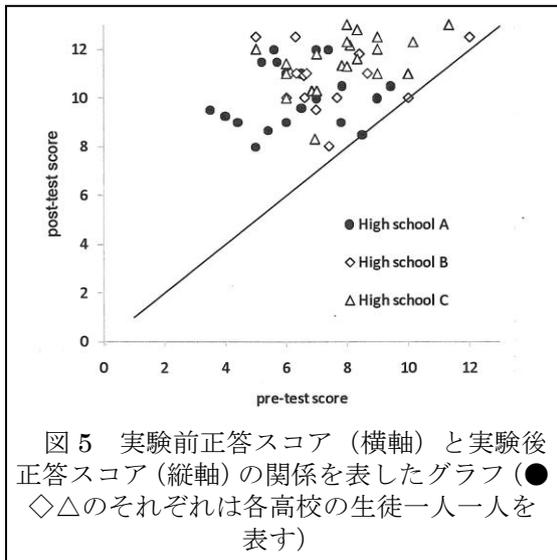


図 5 実験前正答スコア (横軸) と実験後正答スコア (縦軸) の関係を表したグラフ (●◇△のそれぞれは各高校の生徒一人一人を表す)

一方「都会で野菜編」は、「野菜の形は系統を反映しているか？」を検証するために、ジャガイモ、タマネギ、ナス、トウモロコシ、レタス、トマト、サツマイモ、ニンジン各野菜の Rubisco (リブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ) 大サブユニットのアミノ酸配列を、哺乳類編と同様にデータベースからダウンロードし、同様に MEGA を利用して分子系統樹を描く生徒実習として開発した。

私立 A 高等学校で授業実践を行い、「哺乳類編」と同様に質問紙法により教育効果を検討したところ、生物の系統、分類、学名等に関する知識を問う問題のおよそ半数で、正答率が優位に上昇することがわかった (学会発表⑦)。

この結果から、本研究において開発した分子系統樹作成実験が、新科目「生物」(4 単位)において分子進化をもとに生物の系統関係を理解する単元で用いることができる有効な教材となることが示唆された。

この分子系統樹作成実験は、新科目『生物』(東京書籍)の第 6 編「生物の進化と系統」における探究実験として掲載された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Yamanoi T, Takemura M, Sakura O, Kazama T, Development and evaluation of an activity to teach molecular phylogeny, deep time and classification systems for Japanese high school students, *Asian J. Biol. Edu.*, 査読有, 2012, 6 巻, pp.13-25.
- ② 武村政春, 山野井貴浩, 架空生物を利用した高校・大学における生物教育の可能性と展望について～いくつかの事例における教育効果の分析から～, *科学教育研究*, 査読有, 2012, 36 巻, pp.292-307.
- ③ 山野井貴浩, 遠藤菜緒子, 佐倉統, 武村政春, 高校生物 II の授業が進化の理解に及ぼす影響・その 2～分子進化と系統分類に関する内容に注目して～, *生物教育*, 査読有, 53 巻, 2012, pp.57-64.
- ④ Yamanoi T, Suzuki K, Takemura M, Sakura O, Improved “origami bird” protocol enhances Japanese students’ understanding of evolution by natural selection: a novel approach linking DNA alteration to phenotype change, *Evo. Edu. Outreach*, 査読有, 2012, 5 巻, pp.292-300.
- ⑤ 山野井貴浩, 進化学の教材開発～高校の生物教育の現場から～, *生物の科学 遺産*, 査読無, 2012, 66 巻, pp.317-322.
- ⑥ 山野井貴浩, 佐倉統, 鈴木一臣, 武村政春, 高校生物 II の授業が進化の理解に及ぼす影響, *生物教育*, 査読有, 2011, 52 巻, pp.28-37.
- ⑦ Takemura M, Kazama T, Sakuma K, Mizushima Y, Oshima T, Growth inhibition and chromosomal instability of cultured marsupial (opossum) cells after treatment with DNA polymerase alpha inhibitor, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 査読有, 2011, 75 巻, pp.1349-1353.
- ⑧ 高野雅子, 大島輝義, 奥田宏志, 山野井貴浩, 武村政春, DNA ファイバー法を用いた DNA 複製を目で見て学ぶ生徒実験の開発～SPP を利用した実践から見えてきた課題～, *生物教育*, 査読有, 2011, 51 巻, pp.12-24.
- ⑨ 山野井貴浩, 佐倉統, 高校生物 II の「進化」

に関する教科書分析～進化の定義・自然選択・突然変異・種に注目して, 生物学, 査読有, 2010, 62 巻, pp.39-45.

- ⑩ 山野井貴浩, 武村政春, 新学習指導要領に基づく生物教育教材の開発と農芸化学教育への展望～DNA から生物多様性までをつなげて理解する教材の開発を目指して～, 化学と生物, 査読無, 2010, 48 巻, pp.509-512.

[学会発表] (計 34 件)

- ① 倉林真理緒, 武村政春, 高校生物Ⅱ「遺伝情報とその発現」分野における活動教材の調査ならびに類似ロールプレイ教材の開発, 日本生物教育学会第94回全国大会, 2013.1.12-13., 東広島.
- ② 金子晴菜, 武村政春, 動かして学ぶセントラルドグマ―第1報・複製編―, 日本生物教育学会第94回全国大会, 2013.1.12-13., 東広島.
- ③ Kobori S, Masuda H, Takemura M, Cloning and functional analysis of opossum DNA polymerase alpha catalytic subunit, 第35回日本分子生物学会年会, 2012.12.11-14., 福岡.
- ④ 山野井貴浩, 岩寄航, 武村政春, 佐倉統, 生物の共通性と多様性を「進化」でつなぐ～オリガミバードαと分子系統樹実習の併用効果～, 日本生物教育学会第92回全国大会, 2012.1.7-8., 神戸.
- ⑤ Kazama T, Oshima T, Takemura M, Effects of DNA polymerase alpha inhibitor on opossum cultured cells, 第34回日本分子生物学会年会, 2011.12.13-16., 横浜.
- ⑥ 山野井貴浩, 風間智子, 武村政春, 佐倉統, 分子系統樹を描く生徒実習教材の開発と評価①「都会で哺乳類編」, 日本生物教育学会第90回全国大会, 2011.1.8-9., さいたま.
- ⑦ 風間智子, 山野井貴浩, 武村政春, 佐倉統, 分子系統樹を描く生徒実習教材の開発②都会で野菜編, 日本生物教育学会第90回全国大会, 2011.1.8-9., さいたま.

[図書] (計 8 件)

- ① 武村政春, 講談社ブルーバックス, 新しいウイルス入門, 2013, 240 頁.
- ② 武村政春, ミネルヴァ書房, 目からウロコの生命科学入門, 2013, 226 頁.
- ③ 武村政春, 工作舎, レプリカ～文化と進化の複製博物館, 2012, 392 頁.
- ④ 武村政春, 技術評論社, DNA を操る分子たち, 2012, 224 頁.
- ⑤ 武村政春, 講談社ブルーバックス, たんぱく質入門, 2011, 256 頁.
- ⑥ 武村政春他, 講談社サイエンティフィック,

これからはじめる人のためのバイオ実験基本ガイド, 2010, 214 頁.

- ⑦ 武村政春他, 実教出版, これだけはおさえたい生命科学, 2010, 166 頁.
- ⑧ 佐倉統, 幻冬舎, 知識ゼロからのダーウィン進化論入門, 2010, 143 頁.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.takemura-lab.com> (東京理科大学・武村研究室ホームページ: 本研究で開発した生物教材の素材をダウンロードできる)

## 6. 研究組織

- (1)研究代表者  
武村 政春 (TAKEMURA MASAHARU)  
東京理科大学・理学部・准教授  
研究者番号: 50303623
- (2)研究分担者  
山野井 貴浩 (YAMANOI TAKAHIRO)  
白鷗大学・教育学部・非常勤講師  
研究者番号: 40567187  
佐倉 統 (SAKURA OSAMU)  
東京大学・情報学環・教授  
研究者番号: 00251752

- (3)連携研究者  
なし