

自作ミクロメーターを用いた 微小物計測に関する指導法：オンデマンドおよび 対面方式による生物学分野の授業における STEAM教育の一実践

北沢 千里*・山中 明**

Teaching Approaches for Measuring Micro-scale Objects Using a Handmade Eyepiece
and Stage Micrometers: A Case Study for STEAM Education
in On-demand and Face-to-face Biology Laboratory Classes

KITAZAWA Chisato*, YAMANAKA Akira**

(Received September 29, 2023)

Abstract: In science classes, the use of a microscope evokes an enthusiastic and exciting response from students. When students attempt to gain an understanding of the size of samples under a microscope, micrometers of two types are generally required to measure sizes. An eyepiece micrometer contains an attached eyepiece lens, while a stage micrometer is placed on the stage to provide accurate information pertaining to length. When the magnification of the objective lens is changed, the scale of the eyepiece micrometer is changed. Hence, we need to measure the scale of the eyepiece micrometer before observation for each magnification. However, students can find this principle difficult to comprehend when calculating the ratio. In this study, we introduced teaching material demonstrating the eyepiece micrometer using a kitchen towel wick in an effort to explain the principle of scale when using a microscope. This approach should prove useful in helping to clarify the principle using simple material that students can easily make themselves. Finally, this method should facilitate an understanding of difficult concepts by encouraging students to experience changes in image size from different perspectives using familiar materials, or in other words, elements of “STEAM”.

Key Words: Biology, Measurement, Micrometer, Microscope, STEAM education.

緒言

大きさ（サイズ）の概念は、日常生活の中で普通に使われる基礎的な概念であるが、自然科学分野の学びや探究活動において、この概念はより一層、重要な意味をもつ。普段、肉眼による観察により、様々な観察物の大きさの相違を認識し、観察物の大きさを計測することなしに、ある程度の大きさの許容範囲をもって日常を過ごしている。しかしながら、観察物の大きさを知るには、物

の長さを測る道具である「ものさし」による対象物の測定が必要となる。例えば、同じ形状をした直方体の箱が2つあった場合、それぞれの箱の奥行き・幅・高さの長さをものさしで計測することで、各々の箱が同じ大きさであるか、あるいは異なる大きさであるかが解る。

大きさの概念について生物分野に焦点を当てると、小学校『理科』第5学年の授業において顕微鏡を用いた生き物の観察が実施される（文部科学省，2017a, b）。肉

* 山口大学教育学部，〒753-8513 山口市吉田1677-1, chisak@yamaguchi-u.ac.jp, 山口大学大学院東アジア研究科

** 山口大学理学部生物学科，山口大学大学院創成科学研究科

眼による観察では明瞭にとらえることのできなかった微小な生き物を観察することで、生物の多様性を知り、ミクロの大きさを学ぶこととなる。当然のことであるが、このミクロな世界においても、大きさという概念は存在するが、顕微鏡下の観察物の大きさを測定する方法は、初等教育の学習内容として扱われてはいない。

現在、高等学校理科の1科目である『生物基礎』において、顕微鏡を用いた観察物の大きさの測定に関する学習項目が多くの教科書に記載されている（例えば、東京書籍や数研出版など）。しかしながら、この学習項目は、現行の文部科学省の学習指導要領に明示されていない（文部科学省，2018a, b）。

顕微鏡を用いて観察物の大きさを測定するためには、マイクロメーターという器具の使い方を習得する必要がある。マイクロメーターには、顕微鏡のステージ上に載せて基準となる長さの情報を与える対物マイクロメーターと顕微鏡の接眼レンズに組み込む接眼マイクロメーターの2種類がある。基本的に、対物マイクロメーター上には、1 mmの直線を100等分した目盛りが刻まれており、対物マイクロメーターの1目盛りは必ず10 μm となっている。この対物マイクロメーターの上に観察物（試料）を直に載せて顕微鏡下で試料の大きさ（長さ）を測定しようとした場合、観察者は対物マイクロメーター上の試料あるいは対物マイクロメーター表面に刻まれた目盛りのいずれか一方にしか焦点を合わせることができないため、試料の計測したい部分の長さを測定することはできない。この問題を回避するため、接眼レンズ側に、例えば、10 mmを100等分した目盛りが刻まれた接眼マイクロメーターを装着し、その目盛りによって観察者の視野下にある試料の大きさ（長さ）を測定することが可能となる。しかしながら、接眼マイクロメーターの目盛りの実寸は、対物レンズの倍率を変えるごとに変わってしまう。そのため、試料を観察する前に、各倍率の対物レンズに対する接眼マイクロメーター1目盛りの長さを、対物マイクロメーターを用いて計測しておく必要がある。つまり、観察物の長さは、接眼レンズに装着された接眼マイクロメーターの目盛りを測定した後、観察に使用した対物レンズであらかじめ計測されていた1目盛りの長さで換算することによって求めることができる（図1）。

しかしながら、高等学校や大学の授業で顕微鏡下での観察物の大きさ（長さ）の測定方法の原理を学習した後であっても、生徒や学生の一部においては、実際に顕微鏡を使って観察物の大きさを求めることが難しいようである。その理由として、マイクロメーター同士を平行に並べて両目盛りを対応させることの技術的な困難さ、対応させられたとしてもどちらのマイクロメーターの1目盛りの実寸を算出すればよいかの理解不足、あるいは単位換

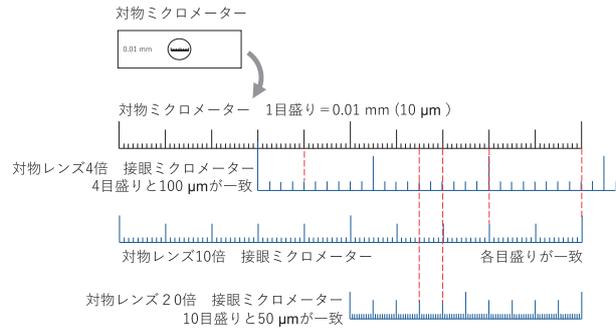


図1 対物レンズの倍率の違いによる対物および接眼マイクロメーター間の目盛りの関係（模式図）

算の仕方の間違いなどが挙げられる。特に、彼らがこれまでに経験してきた生物分野の学習にはあまり出てこない定量的解析が一連の作業手順に加えられているため、一部の生徒や学生において本学習項目の理解が進まないのではないかとと思われる。一方、文系・理系を問わず高校生への理解を定着させる観点からも、本学習内容は、入試科目として『生物基礎』を課している大学の入学試験問題として出題されてきていると考えられる。また、教える側にとっても、指導の難しさを感じやすい学習内容であるが、効果的かつ効率的な授業実践はほとんどなされてこなかったことが指摘されている（佐々木，2017）。

本報では、生徒・学生が顕微鏡下の観察物の大きさをマイクロメーターを用いて計測する時の苦手意識を軽減するための教材の考案を目指すとともに、微細な試料の大きさを身近に感じさせる講義方法のひとつを提案する。

本報では、生徒・学生が顕微鏡下の観察物の大きさをマイクロメーターを用いて計測する時の苦手意識を軽減するための教材の考案を目指すとともに、微細な試料の大きさを身近に感じさせる講義方法のひとつを提案する。

材料および方法

接眼および対物マイクロメーター模型

接眼マイクロメーター模型は、接眼レンズを覗いて観察物の大きさを計測させることを受講生に意識づけるため、市販のキッチンペーパーの芯紙を接眼鏡筒部として作製された。3 cm程度の長さで切られた芯紙の片端をラップで覆い、ラップ表面にしわが寄らないように輪ゴムでラップを筒紙に留めた。この段階の模型が完成途中の模型である（図2 A）。クラス全体の受講生に向けての説明用として、透明なB4判クリアファイルの表面に目盛りが描かれた大型接眼マイクロメーター模型（図2 B）と

連結したA4判ケント紙の表面に目盛りを描き、対物マイクロメーター模型が作製された(図2C)。両者共に裏面にシート状のマグネットを張り付けておいた。

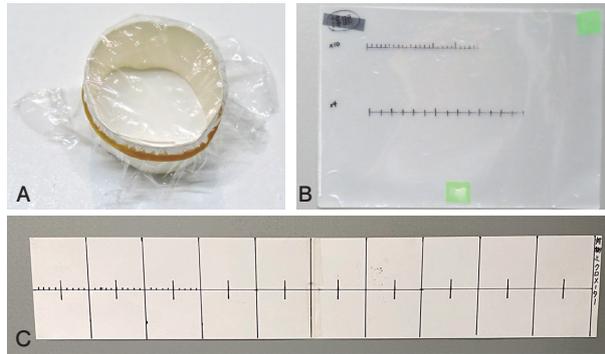


図2 作製したSTEAM教育用の接眼および対物マイクロメーター模型

(A) 完成途中の小型接眼マイクロメーター模型。(B) 演示用の大型接眼マイクロメーター模型。4倍(下)と10倍(上)の目盛りが油性マジックで描かれている。(C) 対物マイクロメーター模型。

授業実践方法

マイクロメーターの使い方に関する講義は、令和2-4年度に本学教育学部で開講された「理科教育法Ⅱ」の生物分野における「観察」を題材とした回で行った。

この授業の履修対象学生は、中・高の理科教員免許取得を希望する教育学部ならびに理学部の2年次学生の約60名(55名、63名および61名)であった。令和2年度の本授業は、新型コロナウイルス感染症感染防止対応のため、オンデマンド授業方式で実施され、一方、令和3および4年度の本授業は対面授業方式で実施された。

完成途中段階の接眼マイクロメーター模型(図2A)がすべての受講生に配布され、その後、各自の模型を完成させるための方法と手順が説明された。受講生全員の模型が完成した後、完成した接眼マイクロメーター模型(図3)を左右いずれかの目の位置に合わせ、それを通して観察物として講義室前方のホワイトボードに投影されたウニ幼生の模式図を起立した状態で見ないように指示を与えた。最終的に、ウニ幼生の模式図に近づいたり、遠のいたり受講生自身に模型を覗きながら移動させることで、それを通して見える観察物とその模型の目盛りの関係(図4)について考察するよう受講生に指示を与えた。

結果および考察

授業構成

本授業は、オンデマンドあるいは対面授業方式に関わらず、以下の(1)から(5)に記載する授業構成を主軸として実施された。(1)顕微鏡の発明の歴史や、構

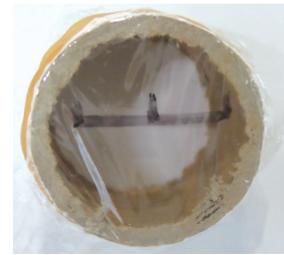


図3 試作した接眼マイクロメーター模型

ラップの円筒形の厚い芯紙の片端をラップで覆い、輪ゴムで固定した後、ラップ表面の中央部分に油性マジックで目盛りを描いた完成状態の模型。



図4 接眼マイクロメーター模型の目盛りと観察物との関係

模型と観察物間の距離は、それぞれ、遠い(A)、中間程度(B)および近い(C)関係にある。

造や原理、生物分野と地学分野における様々な用途に合わせた顕微鏡の種類についての解説、(2)観察試料の作成方法や作成上の注意点の説明、(3)接眼および対物マイクロメーターを用いた観察についての大学入試問題の実施とその解説、(4)マイクロメーターの原理について、透明なクリアファイルに目盛りを記したものを大型接眼マイクロメーター模型として用いながらの解説(図2B, 2Cおよび5)、最後に、(5)実際に自作の接眼マイクロメーター模型を用いて(図3)、倍率を変えた場合の接眼マイクロメーターの見え方の体験学習。図4のように接眼マイクロメーター模型を通して観察物に近づいたり遠のいたりすることで見え方が変わることにより力点を置きながら授業を行った。

接眼マイクロメーター模型の作製

今回、生物学におけるSTEAM教育の一環として、考案した接眼マイクロメーター模型は、筒状構造の片側にラップを輪ゴムで留めた簡単なお作りである(図2A, 3)。試作過程において、筒状構造の紙製品として日常生活で容易に得られるキッチンペーパー(図2A)やラップ(図3)、トイレトペーパーの芯紙が用いられた。キッチンペーパーとトイレトペーパーの芯紙は、家庭用ハサミやカッターナイフで容易に切断できたが、ラップの芯紙は、のこぎりなどでないと容易には切断できないことが明らかとなった。キッチンペーパーの芯紙は約3cm程度の長さで切断されたものが、接眼鏡筒部とし

てのイメージと手先での取り扱いに適していた（トイレットペーパーの芯紙でも代用可能であるが、トイレで使用していないものであっても、トイレで使ったものと考えて不衛生と感じる受講生も出てくることを予測して、使用しなかった）。キッチンペーパーの芯紙は、ハサミで容易に切断できるため、大人数の受講生全員に配布するには非常に手軽に量産しやすい材料である。ラップを輪ゴムで留める際、あまりきつく留めると、キッチンペーパーの芯紙の強度はそこまで強くはなく円筒形がゆがむため、半永久的な教材として教える側が演示する場合はトイレットペーパーの芯紙などが適しているであろう。

オンデマンド授業形式

オンデマンド授業形式で実施された令和2年度の授業では、上述した授業構成（4）として、マイクロメーターの原理について、クリアファイルで作製した大型接眼マイクロメーター模型（図2 B）と紙製の対物マイクロメーター模型（図2 C）を用いて以下のように解説した（図5）。対物マイクロメーター模型（図5 A）に4倍と10倍の目盛りが描かれた大型接眼マイクロメーター模型を重ね合わせ（図5 B）、それぞれのマイクロメーターの目盛りが一致する目盛り数を読み取り、接眼マイクロメーターの1目盛りの実寸を計算するように指示した。次に、授業構成（5）において、受講生に以下の手順に従って接眼マイクロメーター模型を作製するよう説明した：[1] 紙で円筒形状の筒紙を作製、[2] 筒紙の片端にしわにならないようにラップを張り付け、[3] ラップの中央部に油性マジックで2 cmの直線を引き、その起点から終点まで1 cmごとに合計3つの目盛りをふる。その後、授業構成（4）を参考にして、各自が作製した接眼マイクロメーター模型を片手に持って左右いずれかの目の位置に合わせ、覗きながら、もう片方の手に持ったものさし（定規など）の位置を変えることで、接眼マイクロメーター模型の1目盛りの実際の長さの変化を計測するよう指示を与えた。次に、実験者と対物マイクロメーター模型との距離を一定に保ち、接眼マイクロメーター模型を対物マイクロメーター模型（図2 C）の目盛りに近づけた場合（図5 C）と遠ざけた場合（図5 D）、接眼マイクロメーター模型の1目盛りが、それぞれ対物マイクロメーター模型の目盛りの何目盛りに相当するかを動画で解説した。

オンデマンド授業形式（チャット機能併用）であったが、授業内容に関する受講生からのリアルタイムでの質疑応答や意見などはなかった。このことから、本オンデマンド講義は、その内容ならびに生物分野の実験としても十分に活用できるとともに、STEAM教育の実践としても、十分活用できることが明らかとなった。授業後に

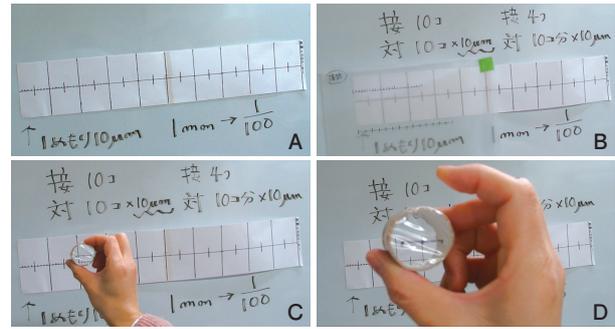


図5 オンデマンド授業で行ったマイクロメーターの原理を説明する一連の流れ

説明を行っている動画の各場面を示している。対物マイクロメーターについて模型（A）を用いて説明した後、大型接眼マイクロメーター模型を重ねて説明した（B）。次に、小型接眼マイクロメーター模型を覗き見て、対物マイクロメーター模型に近づいたり（C）、遠のいたり（D）したときに見える見え方の違いを説明した。

提出させた課題項目のひとつである本授業の感想には、「実際に顕微鏡を使わない講義において、このような方法でマイクロメーターの原理を理解できることに驚いた。」という内容の記述が数多くあった。それゆえ、実験＝器具・実験室という概念を取り扱うSTEAM教育の効果が期待できる授業となりうるものが期待される。受講生が自宅などでどのような材料を活用して模型を作製していたかの確認はしなかったが、気づきとして、顕微鏡の鏡筒部をイメージして、A4判コピー用紙などで大きな筒紙を作製すると、直径を大きくしすぎたタイプでは強度不足で円筒形を維持できない可能性が考えられた。また、正規の授業時間内にオンデマンド動画を視聴することを指導しているが、オンデマンドであるがゆえに繰り返し内容を復習し、模型も作り直すことが可能であったと推測できる。

対面授業方式

令和3および4年度の本授業は、対面授業方式で実施された。STEAM教育を実践する観点から、受講生が作業する工程を残した未完成の接眼マイクロメーター模型を全員に配布した（図2 A）。なお、新型コロナウイルス感染症防止対策のため、消毒液を噴霧しながら模型を配布した。授業構成の（4）が終了した後、受講生に前項で述べた[3]の指示を与え、各自の模型を完成させた。その後、授業構成の（5）を実施した。

この作業過程を組み込んだ授業の結果、受講生は容易にマイクロメーター教材を作製することができることを理解しただけでなく、身の回りにある日用品やそれらの廃材が、生物分野を含む理科学習の有効な教材になる可能性（いわゆる、持続可能な社会の実現に向けた取組みを

含む)についての再認識をしたと思われる。

この授業の到達目標を達成する上で、受講生に模型を一から作らせる必要性はなく、受講生が顕微鏡下の観察物の大きさを測定するためには、なぜ、目盛りがついた2つのマイクロメーターが必要であるかを理解することである。また、図4に示すように、受講生は、接眼マイクロメーター模型の目盛りは一定であるが、その目盛りに対する観察物の大きさが変化することを認識することができた。

今回、STEAM教育の要素として、受講生が模型の目盛りを「描く」ことで、彼らはその目盛りを意識するようになった。その後、接眼マイクロメーター模型の目盛りと対物マイクロメーター模型の目盛りの関係を体験する過程により、彼らはこの2つの目盛りの関係を視覚的に、かつ論理性をもって理解することに集中することができたと推察された。

おわりに

本来、受講生に顕微鏡下の観察物の大きさを計測するための接眼・対物マイクロメーターの取り扱い技術や原理を教える時、顕微鏡のある実験室あるいは演示用顕微鏡を持ち込んだ講義室にて実施するのが一般的である。

本報では、この既存概念にとらわれず、顕微鏡が無い講義室あるいは自宅の部屋において、STEAM教育という要素を取り入れたマイクロメーター模型を利用して、観察物の大きさを計測するための技術と原理を教授する方法を提案した。

この教授法は、日常生活から出てきた廃材を授業教材の一部として活用しているため、教員を志す受講生の教材開発に係る創意工夫への発想に何らかの影響をもたらすことが期待される。一般に、生物分野の実験授業において、原理、空間配置、遺伝子あるいは数的処理などを含む学習内容の理解につまずく受講生が多くみられる(北沢・山中, 2012; 北沢ら, 2015)。筆者らは、これらのつまずきの克服のため、身近にあるアイテムを利用し、つまずきの所在を端的に受講生に認識させることができ、かつ、反復学習の可能な学習教材を創出することが必要であると考えている(北沢ら, 2013, 2015, 2017, 2020; 植村ら, 2022)。今回、顕微鏡下にあるマイクロな観察物の大きさを計測するときに必要な知識・技能の習得に不可欠なマイクロメーターの模型を考案する過程で、当初、親指と人差し指の先端をくっつけてできる輪に定規を当てた状態を接眼マイクロメーターとしてイメージさせることを考えた。しかしながら、将来教員を目指す受講生が、実際にどのような工夫が学校現場でできるかを実感してもらうためには、身近な材料で容易に学習教材を自らが生み出せる成功体験の蓄積が教育現場で実

践していく力につながると考え、本授業を構成した。また、誰でも作ることでできる教材であれば、一度作製した経験をヒントに、教員だけでなく子どもたちでさえもその学習内容を発展させることは可能である(北沢ら, 2017)。

本授業のねらいのひとつとして、“不格好な”手作り教材は、「自分でもこの程度の教材づくりはできる。」「この程度の教材でも押さえるべき学習ポイントの理解が進む。」という認識をしてもらうことであった。大寺ら(2006)は、教材が自作したものであると、教えるべき科学の本質と少し逸脱していても、工夫により価値が大きく上がることもあり、そのためには、教材開発は多くの意見を反映させ、十分に改良を加えていくことが不可欠であると述べている。つまり、教育場面に応じて、改変しやすいのが自作教材の利点であろう。また、このような実践を通して、受講生が、実際の学校現場の理科の授業内で、子どもが授業時間内にSTEAM教育として教材を自作し活用できる実践規模をも把握できたのではないかと推察される。

また、実際に、実験授業でマイクロメーターを使用する際には、図1に示すように、10倍の対物レンズで観察すると必ず両方のマイクロメーターの目盛りが一致することのヒントを与えて実施すると、受講生のマイクロメーターの取り扱いに対する苦手意識を低下させることにつながるであろう。

生物分野において、顕微鏡を使用した観察学習の主要なねらいは、学習者の一人一人が顕微鏡を操作し、自らの目でマイクロな世界に生きる生き物の存在、生物の最小単位である細胞をはじめとする体を構成する微細な構造を知ることにも留まらず、それらの大きさを理解することである。この学習過程では、レンズを通してスライドガラス上の観察物の全体あるいは一部が数倍から数百倍に拡大された像として学習者に認知される。このマイクロな世界は、学習者の試料の作成如何で観察物の見え方が大きく左右されてしまうため、全般的な顕微鏡の使用法の指導だけでは不十分で、個々人への観察法の指導が必要となる。特に、2つのマイクロメーターを実際に使って生物の大きさを測定する場合、測定法の原理や実体験を通して身につく理解度は個人の能力に依存する。今回のように、受講生全員が接眼マイクロメーターの模型を使い、顕微鏡下での見え方を同時に指導できることは、理解の難しい学習内容の場合、その習熟度の向上に貢献するであろう。実際、授業後の受講生から、「簡単にこういう工夫で理解が進むことを実感できた。」「実際授業で活用してみたい。」などのコメントがあった。教員を志望する学生には、身近なものを活用し簡単に理解を促すことのできる工夫が教える際に重要であると本授業から

実感し、将来行う授業での何らかのヒントとしてくれることを期待する。加えて、商品化されている学習用教材を活用することも学習効果向上には必要であろうが、不格好な手作り感満載の教材であっても、教員の教材への思いや工夫が、受講生にその学習内容への関心や親近感を高めることにつながるであろう。

ミクロな世界、特に、細胞の概念は、中学校から導入される(文部科学省, 2017c, d)。細胞などの微細な構造を顕微鏡で観察する際、その微細さを実感するためには、単に高倍率で拡大して可視化するだけでなく、実際の大さを自らの目で定量的に理解することが、現在求められている科学的に探究する力や態度の育成につながっていくと考えられる。生物分野は科学技術の発展によって、学習内容がどんどん増加していく分野である。また、現代社会で求められている情報化・コンピュータ活用の教育も課される中、マイクロメーターの使用法といった、古典的で基本的な内容は、概念習得には必須の事項でありながら、学習内容の増加によりあまり力が注がれなくなっている。また、廉価で小型・軽量化した汎用デジタル機器の普及により、このような手作業を行わなくても、顕微鏡に付帯されたデジタルカメラの機能で、わざわざ行う必要がない時代に突入したのかもしれない。そのような時代にあっても、顕微鏡の仕組みやどのような環境においても探求し続ける教員ならびに生徒の育成には、このような原理を理解できる活動をおろそかにせず、科学的な分析を行うことのできる基礎力を育成しておくことが重要であろう。このような概念の定着は、欧米では現在でも確実に実施されており(Ratterman et al., 2005)、我が国の科学教育においても、科学の進歩を支える科学的な原理・原則の教育は省略してはならない。

現在、我が国の学校教育にみられる文系・理系という枠組みにとらわれていては、今後、急速に深化発展する社会に対応できる人材の輩出が難しくなるであろうことが予見され、学際的かつ異分野を鳥瞰できる人材を養成するSTEAM教育の実践がその打開策のひとつとして学校教育現場に導入されてきている。今回の取り組みは、生物観察というScience、顕微鏡というTechnology、模型製作というEngineering、デザインや伝え方というArt、そしてマイクロメーターの原理を数値で理解するMathematicsという要素から構成されたSTEAM教育であると、筆者らは考えている。つまり、学習者自身の専門性に固執することなく、分野をより汎用性を広げて解釈をしていくことで、学生にとっても幅広い思考力が生まれ、それ自体がSTEAM教育の実践にもつながるといえる。

謝辞

令和2-4年度に理科教育法Ⅱを受講していただいた受講生の皆様方に、厚く御礼申し上げます。

引用・参考文献

- 浅島誠・長谷川真理子(ほか48名)(2022)新編生物基礎, 東京書籍株式会社.
- 北沢千里・赤星冨・坂口主税・山中明(2017)スケルトン型ユニモデル:生物の体のつくりを理解するためのモデル化教材の考案と活用, 山口大学教育学部学部・附属教育実践研究紀要, 16巻, 61-69.
- 北沢千里・笠原麻未・山中明(2013)無脊椎動物の体のつくりーミミズの解剖実験ー, 山口大学教育学部研究論叢, 62巻, 95-104.
- 北沢千里・坂口主税・山中明(2015)アサリのペーパークラフトモデル:無脊椎動物の体制の学習, 山口大学教育学部研究論叢, 64巻, 3号, 43-53.
- 北沢千里・山中明(2012)モールを用いたDNA複製モデル, 山口大学教育学部研究論叢, 61巻, 3号, 93-100.
- 北沢千里・山中明・赤星冨(2020)第七章 原点回帰 理科、特に基礎生物教育について日本とアジアを視点に一考する, 山口大学東アジア研究叢書5 成長するアジアにおける教育と文化交流, 溪水社.
- 文部科学省(2017a)『小学校学習指導要領(平成29年度告示)』https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_01.pdf.
- 文部科学省(2017b)『小学校学習指導要領(平成29年度告示)解説 理科編』https://www.mext.go.jp/content/20211020-mxt_kyoiku02-100002607_05.pdf.
- 文部科学省(2017c)『中学校学習指導要領(平成29年度告示)』https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_02.pdf.
- 文部科学省(2017d)『中学校学習指導要領(平成29年度告示)解説 理科編』https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_kyoiku01-100002608_05.pdf.
- 文部科学省(2018a)『高等学校学習指導要領(平成30年度告示)』https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_03.pdf.
- 文部科学省(2018b)『高等学校学習指導要領(平成30年度告示)解説 理科編 理数編』https://www.mext.go.jp/content/20211102-mxt_kyoiku02-100002620_06.pdf.
- 大寺栄理子・深澤優子・越智健太・光原圭・細川太郎・鈴木康文(2006)手作り科学館と学校インターン制度を活用した実験教材の開発, 大阪教育大学紀要, 第V部門, 1号, 17-24.

- Ratterman, D. M., Watrous, J. and Lurie, D. (2005) Integration of biology and statistic education (IBASE): measurements of cells and organelles in biology lab to produce large data sets that can be analyzed in statistic classes, Association for Biology Laboratory Education, 27, 217-237.
- 佐々木智謙 (2017) ICT機器を活用した高等学校理科授業の設計－マイクロメーターの指導を事例にして－, 教育実践学研究, 22, 95-102.
- 嶋田正和 ほか20名 (2022) 新編 生物基礎, 数研出版株式会社.
- 植村拓海・山中明・北沢千里 (2022) コロナ禍における非対面方式での生物学実験－顕微鏡観察－, 山口大学教育学部研究論叢, 71巻, 247-254.