

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—

植村 拓海^{*1}・山中 明^{*2, *3}・北沢 千里^{*1, *4}

Biological lab classes by non-face-to-face learning
under the COVID-19 pandemic
— Microscopic observation —

UEMURA Takumi^{*1}, YAMANAKA Akira^{*2, *3}, KITAZAWA Chisato^{*1, *4}

(Received September 24, 2021)

Abstract

Microscopic observation is one of the most basic and important skills for experiments in biology classes from compulsory education through to higher education. Microscopic observation in biology can help us better understand the microstructures of organisms and convey notions of beauty and fascination regarding the detailed nature of the microworld, which we cannot observe through our unaided eyes. However, many lab classes were postponed for the summer break because it was difficult for the faculty to conduct lab classes using equipment such as microscopes for non-face-to-face learning at the university in the beginning of the COVID-19 pandemic. Under this situation, we planned that students do the experiment at home using handmade microscope. Students could make a simple Leeuwenhoek microscope very easily and use to understand the principle of the microscope. A non-face-to-face class required students to take the initiative in learning, which led to a better understanding of the principles of microscopy. Hence, the future integration of this non-face-to-face learning using a handmade microscope into an existing face-to-face lab class will be very useful for the teaching of science, especially biology, at many schools by science teachers and researchers.

Key Words

Homemade microscope, Observation, Biology education,

Non-face-to-face learning.

緒言

新型コロナウイルス感染症の世界的な流行（COVID-19 pandemic）により、多くの国・地域における2020年（令和2年）の学校教育現場は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止および感染予防対策を講じる必要性に迫られ、これまでにない大混乱に陥った。我が国の大学も例外ではなく、日々刻々と状況が変わるなか、2020年4月16日には緊急事態宣言の対象地域が全国に拡大されるに至った。

山口大学では、令和2年度の前学期授業の開始以前に授業実施に向けた協議がなされ、開設科目の多くは、通常の対面方式の授業から非対面（遠隔：オンライン・オンデマンド）方式の授業への変更を余儀なくされた。特に、授業のなかでも「実験」の多くは、実験器具・機器の取り扱い、ならびに原理の修得が学習到達度に含まれるため、本来、学生と教員が対面による実験室等での指導が不可欠であると一般的には判断される。令和2年度当初、対面方式による感染の懸念が払拭できないことや、アクリル板設置等の感染防止対策を講じる必要性から、相当数の大学において、「実験」授業は実施時期を延長し、夏季休業期間等に集中講義等として開講する方針を学生に周知した。しかしながら、筆者らは、実験科目を必修としている学生にとって、「実験」授業の実施可能となる時期の見通しが立たないことへの不安（休業期間の短縮と連動）や、対面方式で行った場合での感染への懸念に対する不安を軽減することが必要であると考えた。

* 1 山口大学教育学部 * 2 山口大学理学部生物学科 * 3 山口大学大学院創成科学研究科
* 4 山口大学大学院東アジア研究科

そのため、非対面方式を活用して生物学分野の実験の指導を行い自宅で可能な実験を提供し、学生への教育活動を継続することとした。

大学教育における生物学分野の「実験」授業は、一般的に室内での実験に加えて野外における実験も必要で、対象生物のスケールの違いを踏まえた多様な観察・解析手法を組み入れた実験内容から構成されることが多い。コロナ禍においても「実験」授業の内容は、通常の対面方式とは異なる非対面方式の「実験」授業であっても、可能な限りシラバスに沿った授業内容を提供し、学習到達目標を目指すものでなければならない。実験材料は、学生自身で入手可能な生き物とし、そして実験器具（例えば、シャーレ、ピンセット、ハサミ等）は予め貸し出しをすることで、形態学、分類学、生態学、解剖学、生理学および博物学分野の実験は、非対面方式においても対面方式授業と同等の質を確保することは可能であろう。加えて、生物の基本単位である「細胞」を取り扱う細胞学分野の生物学実験は、必要不可欠な学修項目である。細胞学分野の実験には、基本的に学生一人当たり1台の生物顕微鏡を用意する必要が生じる。学生実験用の生物顕微鏡は、重量のある高価な精密機器で貸し出すことは容易ではない。更には、同一週に複数の「実験」授業で生物顕微鏡を使用する場合もあることから、それらの貸し出しは困難である。コロナ禍における始業前、生物学分野の「実験」授業で必須と位置付けられている顕微鏡観察技術を習得させる機会を失うこと一特に、理科教員を目指す学生が、大学の教育課程において顕微鏡観察のスキルを学修することなく、将来、小・中・高等学校で児童・生徒に顕微鏡観察の授業を行うこと一は懸念される点であった。

本稿では、この懸念事項を打開するため、令和2年度に非対面方式で行った生物学実験の顕微鏡観察に関する「実験」授業と、令和3年度に対面・非対面方式を組み合わせた「実験」授業を紹介し、各方式による顕微鏡観察を行う授業のあり方についての考察を行った。

材料および方法

自作顕微鏡は、インターネット [国立大学56工学系学部HP (mirai-kougaku.jp) (2021年9月7日最終確認)] と田口・庄子 (2017) を参考にして、以下の方法で作製した (図1)。まず、1本の円筒形のスクリューキャップ付きの空のペットボトルを用意し、ペットボトル本体の形状が円錐状から円柱状となる部分でカッターナイフ等によって水平面に対して平行に切断し、飲み口とそれに続く円錐状部分を得た (顕微鏡本体のステージ部分に相当)。接眼レンズに相当する部分は、直径約2 mmの無色透明なガラスビーズ (アズワ

ン、3-8438-1) と飲み口のキャップにより作製された。キャップの中心点にレンズとなるガラスビーズをはめ込むために、キャップの内側よりキリ等を用いてキャップに小さな穴を開けた。続いて、ガラスビーズをキャップの内側よりその穴に押し込むことで接眼レンズが作製された。顕微鏡のスライドガラスに相当する部分はセロハンテープで代用された。セロハンテープはキャップを外した飲み口部分を橋渡しして塞ぐことができる長さに切断された。観察用の試料をセロハンテープの粘着面に固定したのち、その粘着面を下向きにした状態で試料が飲み口の中心部に位置するようにし、かつそのテープがたわまないように注意しながら、飲み口部分を塞ぐように張り付けた (図2A)。その後、接眼レンズであるキャップが飲み口部分に装着された (図2B)。試料のピントは、接眼レンズを覗き込みながら、円錐状部分を蛍光灯等の光源に向けてキャップを回すことにより調節された (図2C)。

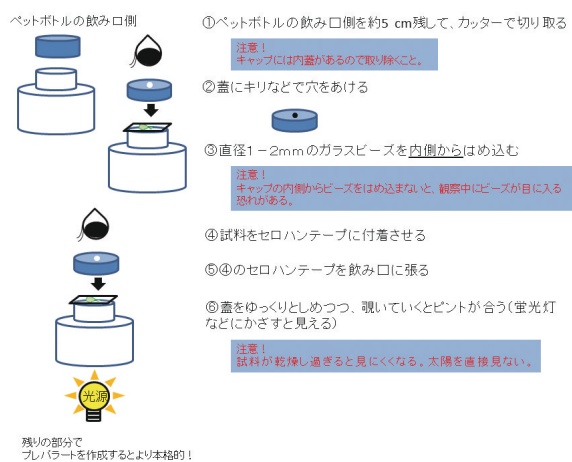


図1 自作顕微鏡の作製方法と観察方法

令和2年度前学期に開講された本学教育学部の理科教育選修の専門科目である「生物学実験」(2年次)ならびに小学校教員免許状取得に必須の「教科教育法理科」(3年次)の各1回分の授業において、自宅等で顕微鏡作製を行わせ、タマネギの鱗片細胞に加えて、受講生が観察したい他の生物試料を観察させた。「教科教育法理科」については、令和3年度には対面授業と併用の課題として、顕微鏡作製を行わせた。また、令和2年度前学期開講の理学部生物・化学科生物学コースの専門科目「生物学実験II」(3年次・1回分)においても、非対面方式による同様の「実験」が実施された。実験日前、感染拡大防止策を講じ、受講生には、顕微鏡が完成できる規格の1本の未開封のペットボトル飲料、5個のガラスビーズおよび解説資料を配布した。受講生は、自宅等において資料を参考にMoodle上に示された動画(顕微鏡観察の仕方と顕微鏡作製の仕方の解説)を視聴し、顕微

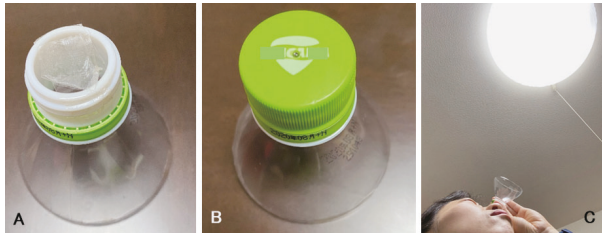


図2 観察準備段階の自作顕微鏡の外観と観察方法

A 試料を固定したセロハンテープ（スライドガラスに相当）が飲み口（ステージに相当）部分に貼り付けられた段階。B ガラスビーズをはめ込んだスクリュウキャップ（接眼レンズに相当）が飲み口に装着された段階。C 観察時の様子。

鏡を作製した。続いて、受講生は生物試料を観察し、スケッチを行った後、レポートを作成した。

結果および考察

非対面方式での実験授業

1. 自作顕微鏡の作製のポイント

予備実験として、著者らは、インターネット [国立大学56工学系学部HP (mirai-kougaku.jp) (2021年9月7日最終確認)] や田口・庄子 (2017) 等をもとに、いくつか自作顕微鏡を作製し、タマネギの鱗片細胞を試料として観察を行った。しかしながら、作製したすべての自作顕微鏡においてタマネギの鱗片細胞を明瞭に観察することができなかった（データは示さず）。焦点合わせの調節に重要なペットボトルのキャップを調べたところ、キャップの内部構造の違いが、自作顕微鏡の焦点合わせが可能かどうか大きく影響を及ぼしていることが判明した（図3）。キャップとパッキンが一体成形された構造である場合、パッキンの凸部が飲み口側に突出しすぎると、試料を固定してあるセロハンテープとパッキンの凸部が接触することで、セロハンテープが奥に押し込まれてたわんでしまい、結果的にガラスビーズと試料の距離が縮まらず焦点合わせができなくなることが判明した。

別に、パッキンの凸部が高いキャップは、顕微鏡を作製することができないこと [例えば、レーベンフック研究会 (microscopy.jp) (2021年9月15日最終確認)；ケニス株式会社 (kenis.co.jp) (2021年9月16日最終確認) 等]、あるいはキャップに装着されたガラスビーズとセロハンテープとの間に距離ができるとピントが合わなくなること [例えば、香山ら (2011) 等] を注意点として指摘しているウェブサイト等もあった。しかしながら、先に指摘することなく、凸部の高さが高いパッキンは、「なぜ、ピントが合わないのか？」との問いの解（理由）を見つけ出すことが、顕微鏡の原理を理解することにつながるのではないかと考えられる。



図3 ペットボトルのキャップ内部の違い

（上段左・中央）パッキンが一体成形されたキャップ（A, B社）（上段右）凸部が低い形状をしたパッキンが圧着されたキャップ（C社）、（下段左）独立したパッキンがはめ込まれたキャップ（B社）。分解されたパッキン（下段右）とキャップ（下段中央）。

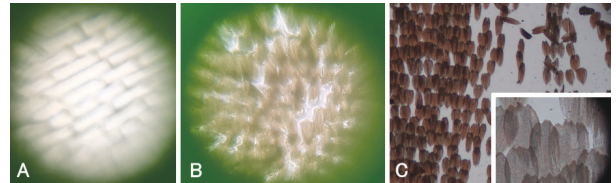


図4 自作および生物顕微鏡による生物試料の観察像

自作顕微鏡により観察されたタマネギの鱗片細胞（A）およびチョウの鱗粉細胞（B）。生物顕微鏡により観察されたチョウの鱗粉細胞（C: 100倍）。挿入はその拡大。

他方、独立に成形されたキャップとパッキンが組み合わされた構造となっているキャップの場合でも同様であった。次に、独立したパッキンを除いたキャップ（図3）で細胞の観察をしたところ、プレパラートになる部分（セロハンテープ）がたわむことなく、ガラスビーズと試料の距離を焦点が合う位置まで自在に調節することができ、試料を観察することが可能となった（図4A）。

図1に示すように、切断された未使用部分のペットボトルを利用して、スライドガラスを作成することを提案しているウェブサイト等もある [例えば、国立大学56工学系学部HP (mirai-kougaku.jp) (2021年9月7日最終確認)；香山ら (2011) 等]。前述のスライドガラスに相当するセロハンテープのたわみを解消するためには、固い素材が望ましい。著者らは、ペットボトル胴部の一部からスライドガラス相当部を作製したが、ペットボトルの飲み口に確実に適合したものを簡単に作製することは意外と難しく、わずかに大きさが合わないときちんとキャップが閉まらなかったり、ゆるみが生じてスライドガラス相当部が観察中にずれて飲み口部分から落下してしまうなどの不具合が生じた。それゆえ、顕微鏡作製か

ら試料観察に至るまでの工程において、スライドガラスの相当品は、セロハンテープが適当であろう。実際、セロハンテープ以外の素材でスライドガラス相当品を作製した学生は皆無であった。

II. 観察時のポイント

今回の非対面方式での「実験」授業は、受講生が配布資料を十分に理解し、かつオンデマンド方式の講義を視聴した後、受講生が各自で顕微鏡を作製して生物試料を観察しスケッチを行うという構成であった。非対面方式での「実験」授業の前提条件として、学生に配布した未開封のペットボトルは、実験手順に沿って作製すれば確実に試料の観察が可能となる規格のキャップタイプとした。しかしながら、一部の学生は、配布されたペットボトルを使用せず、他のペットボトルを使用して顕微鏡を作製していた。これら学生の一部からは、指示された方法で顕微鏡を作製したが、はっきりと試料を観察することができない、との問い合わせが寄せられた。このような学生には、明瞭に観察できない原因を顕微鏡の原理から考えるよう助言した。その結果、当該学生らは、配布したペットボトルあるいは学生自身が入手した複数のペットボトルより、再度、自作顕微鏡を作製し、試料のピント合わせができたものとできなかったものの構造的な差異を見出した。つまり、顕微鏡が明瞭な像を結ぶためには、レンズと試料の距離が重要であることを、非対面方式での「実験」授業において、学生自身が顕微鏡を作製することにより意識したといえる。自身の手で試行錯誤しながら作製した顕微鏡で生物観察を行ったことにより、学生は顕微鏡のつくりや原理を非常に効果的に理解できたといえよう。

インターネット上に公開されている自作顕微鏡に関するウェブサイトのいくつかは、顕微鏡の作製上の注意点として、ビーズを固定するための穴の大きさや、レンズとなるビーズの取り扱い方（直接指でつかむと指紋の脂分の付着によりレンズの汚れの原因となる）を挙げているものがあつた〔例えば、キャノングローバル (https://global.canon/ja/technology/kids/experiment/e_02_07.html) (2021年9月23日最終確認)；レーベンフック研究会 (microscopy.jp) (2021年9月15日最終確認) 等〕。筆者らは、キャップの穴開けおよびガラスビーズのはめ込みの工程においてキャップの外側から穴を開けて、外側からガラスビーズをキャップにはめ込んだものは、内側から穴を開け、内側からガラスビーズをはめ込んだものに比べ、観察時にガラスビーズがキャップから落下し易いことを、予備実験を通して把握していた。実験時の注意事項として、観察時にガラスビーズがキャップから落下し、覗いている目に入ってしまう危険

性を唱える必要があること、その回避法のひとつとして、キャップの内側からの穴開けとガラスビーズのはめ込み工程の説明が必要であることが明らかとなった。非対面方式であるがゆえ、授業者は予備実験を行い、実験工程を十分に検証しておくことが必要である。特に、授業者が遠隔による対応しかできないことを念頭に置き、実験者の安全確保を最優先事項とする必要があろう。

自作顕微鏡による観察において、タマネギの鱗片細胞は、カバーガラスで覆われていないため、時間経過とともに透明感のあつた鱗片細胞は次第に茶色に変色し、かつ水分の蒸発により乾燥して変形していった。変形した鱗片細胞はセロハンテープの粘着面からはがれやすくなるため、焦点は合わなくなり、観察が困難になっていった（結果は示していない）。受講生は、できる限り速やかに試料を観察し、スケッチを完成させるだけでなく、自作顕微鏡下の生物試料の状態をどのようにしたら良い状態で、より長く保持できるかを考案することが重要である。加えて、受講生が、これまでの学習経験を振り返り、生物顕微鏡を使って観察を行う際のプレパラート作成：生物試料を水や緩衝液等に浸し、スライドガラスとカバーガラスの間に封入、の工程とその意味を、再度、理解することも重要であろう。非対面方式における「細胞」観察実験は、受講生の過去の学習経験を引き出し、その知識とスキルを最大限活用することで、対面方式のものに準ずる学習到達目標を達成できるものと考えられる。

III. 受講生の思考および工夫

令和2年度の教育学部の「生物学実験」および「教科教育法理科」の「実験」授業は、非対面方式により実施された。受講生に対して「材料と方法」に記載された手順に従い作製された自作顕微鏡を用いて、タマネギの鱗片細胞と学生自身が観察してみたいと思った生物試料をそれぞれ観察し、スケッチすることを課した（「生物学実験、5月実施；「教科教育法理科」2クラス、5および6月実施）。更に、観察がうまくできない場合は、その理由を考え、その改善策を考えさせた。前述のピント合わせの問題だけでなく、プレパラートを作成して観察する際にどのような試料を用いるべきかを考えさせた。

コロナ禍において、学生は、多種多様な生物試料を観察し、スケッチをしていた（表1）。色の異なるピーマン類をはじめとする果菜類、レタスやニラ等の葉茎菜類、ニンジンやダイコン等の根菜類、バナナ、ヒトの口腔上皮細胞・頭髪に加え、季節の野菜や果物および草本類の葉等を観察していた。これらの試料が選択された主な理由としては、色素をもつものや薄い構造をしたものであれば観察し易いから、あるいは試料作成の際に薄く切断

し易いからであることが、提出されたレポートの記述から明らかとなった。特に、「生物学実験」の受講生は、理科教員を目指す学生のみで構成されていたため、複数の試料の観察、色彩の異なる試料の比較観察、蛍光灯とLEDライト（スマートフォン等）を用いた光源の違いによる比較観察をした学生が複数名いた（データは示さず）。

当該学生は、非対面方式による実験を通して、身近な材料で顕微鏡が作製できただけでなく、図4に示すように、自作顕微鏡下において拡大された「細胞」像が確認でき、自作顕微鏡の能力は、生物顕微鏡の能力には劣るが、分解能・倍率（・コントラスト）の機能を備えていることを認識できたことが有意義であったとのコメントをレポートに記していた。

一方、「教科教育法理科」の受講生からは、非対面方式下でも生物学分野の実験が自宅等でできることや、本実験のような工夫を目の当たりにして、コロナ禍ですべての活動が行えないのではなく、自身の捉え方次第で学ぶことができる、学生としての意識改革の必要性についても数多く記述されていた。学ぶという活動は、どんな状況であっても本人次第で実現可能あるということ、学生だけでなく教員も改めて実感できた授業となった。

更に、本学理学部の「生物学実験II（3年次）」においても、非対面方式により教育学部において実施された実験と同じ実験を令和2年4月に実施した。

表1に示すように、自由選択とした観察対象は教育学部の学生とほぼ同様の試料が選ばれていた。ニンジン（根菜類）、ピーマン、トマト（果菜類）、レタス、キャベツ、ホウレンソウ、ネギ、ニラ（葉茎菜類）は色素があるから観察しやすいのではないかと、この理由から選ばれていた。一部の学生は、以前に観察経験のある試料を自作顕微鏡で観察したいとの考えで、ジャガイモ、ソラマメおよびオオカナダモを選んでいった。また、野外の草木類を観察対象に選んだ学生は、葉ではなくすべて花卉を観察していた。他方、缶詰のパイナップルでは加熱処理によって細胞がどのようなになっているのだろうか、あるいは自身の水槽に生えてきた藻類を観察してみたい、という好奇心からの試料選択は、非対面方式という在宅実験によりもたらされたかと推察される。本実験において、動物を対象とした試料はヒトの口腔上皮細胞のみであった（37名中1名）。今回、動物細胞が植物細胞に比べて選ばれなかった点は、非対面方式の「細胞」実験において注目すべきポイントであろう。一般的に、生物顕微鏡観察における動物細胞の試料として、ニワトリ等の肝臓（レバー）に含まれる血球細胞やヒトの口腔上皮細胞を使用する事例が紹介されている（宇津木ら、1994他）。おそらく、受講生は自宅の冷蔵庫の冷蔵室に保存されて

表1 学生が観察に用いた試料の例

| 実施年度 | 学部 | 授業名 (受講者数) | 観察試料 | 学生が用いた試料 |
|------|----|------------------|----------|--|
| 令和2 | 教育 | 生物学実験 (15名) | タマネギ | ニラ (3)、ピーマン (3)、オオカナダモ (2)、ニンジン (2)、ジャガイモ、ノリ、ヒト (頭髮)、ムラサキツユクサ、レタス |
| | | | 鱗片細胞 | ピーマン (7)、バナナ (果肉4、果皮1)、ダイコン (4)、ヒト (口腔上皮細胞2、頭髮1)、レタス類 (4)、キュウリ (2)、トマト類 (2)、ニラ (2)、ニンジン (2)、ダイズ (2)、煎りゴマ、オオカナダモ、カヤ、キク、キャベツ、サクランボ、サザンカ、チンゲンサイ、ツバキ、ツユクサ、トウガラシ、ブドウ、ナス、ネギ、ミカン、ヨモギ、樹木 (割り箸) |
| 令和3 | 教育 | 教科教育法理科 (62名) | タマネギ | 食塩、グラニュー糖 未観察 (3) |
| | | | 鱗片細胞 | サクラ (4)、ピーマン (4)、キュウリ (3)、シロツメクサ (3)、ニンジン (3)、レタス類 (3)、キャベツ (2)、トマト類 (2)、オオカナダモ、藻類、ソラマメ、タンポポ、ツツジ、ニラ、ネギ、ヒト (口腔上皮細胞)、ホウレンソウ、ジャガイモ、パイナップル (缶詰) |
| 令和3 | 教育 | 教科教育法理科 (63名) | チョウの鱗片細胞 | 食塩 未観察 (2) |
| | | | 鱗片細胞 | タマネギ (40)、キャベツ (2)、ピーマン (2)、エンドウ、タラヨウ、タンポポ、ツツジ、ナシ、ニンジン、ヒト (頭髮)、フランスギク、ユスリカ、レタス、バナナ シャープペンシルの芯、食塩、ティッシュペーパー、ハウスダスト、ザラメ |

いる野菜類の植物細胞は生細胞であるが、冷凍室に保存されている魚肉類の動物細胞は死細胞であると直感的に判断したために、動物細胞が観察対象から除外されていた可能性があるのかもしれない。この点は、今後、検討していく必要がある。

対面および非対面方式を組み合わせた「実験」授業

令和3年度の本学の教育は、新型コロナウイルス感染症の予防対策を十分に行いつつ時間短縮をした対面授業に移行した。「教科教育法理科」の生物分野の授業では、十分な新型コロナウイルス感染症の予防対策を施すため、半数ずつの受講生に対して対面・非対面方式を組み合わせ実施した。顕微鏡観察の回では、実際に対面授業に

において生物顕微鏡の使い方の習得と生物試料の観察を、一方、非対面方式の課題として顕微鏡の作製ならびに対面方式で提示した試料と自分で自由選択した試料の観察およびスケッチを行わせた。

また、令和2年度の授業を受講した多くの学生が動物細胞の試料を観察しなかったことを受け、令和3年度の実験では生物顕微鏡および自作顕微鏡で観察可能な動物細胞の試料を提示することとした。なお、自作顕微鏡での長時間の観察に耐える観察用の動物細胞を熟考した結果、チョウの翅の鱗粉細胞を用いることとした(図4B, C)。セロハンテープの粘着面にその鱗粉細胞を採取した後、それをスライドガラスに貼り付けて観察試料とした。なお、非対面方式での観察実験のために、対面方式で使用した鱗粉細胞が付着したセロハンテープを自宅に持ち帰らせ、自作顕微鏡観察に使用させた。

ほとんどの受講生は、チョウの鱗粉細胞の観察は初めてであった。個々の鱗粉細胞の集まりが翅全体としての紋様を構成していることを理解していた学生は多くはなかったが、生物顕微鏡を用いて、花卉様の鱗粉細胞の様々な色彩や、ぎっしりと整列している様子を観察し(図4C)、同時に提供されたチョウの標本と照らし合わせながら、チョウの翅の構造の理解を深めていった。探求心のある受講生には、実際にチョウの標本から観察してみたい翅の領域から鱗粉細胞をセロハンテープに付着させて採取させ持ち帰らせた。令和3年度の受講生が提出した多くのレポートにも、学校でしか利用できない機器であると考えていた生物顕微鏡の代替品が、身近な材料を用いて自作できることで学校以外でも好きな時間に使用できることへの感動が記載されていた。また、自作顕微鏡の構造は非常に単純でその能力も高くはないが、観察対象物を適切に選択することで、「実験」授業において観察器具として活用できることを学生は認識した。学校現場においても、当たり前準備された顕微鏡を使って拡大するのではなく、自作の顕微鏡でミクロな世界の発見を子どもたちに体験させることで、顕微鏡の原理や歴史的な発明の経緯などの理解につながることを提案していた学生もいた。

表1で示すように、前年度と同様に令和3年度の学生にも、自分で観察してみたいものを選択させたが、対面方式の授業中に、非対面方式で行う課題について説明する際、自作顕微鏡で観察できる生物試料の例としてタマネギの鱗片細胞を挙げて説明したため、観察試料の選択の幅は令和2年度のものとは比べ減少した。説明したタマネギの鱗片細胞を選択している学生の割合が66.7%であったことから明らかであろう。対面方式の「実験」授業後、非対面方式での自作顕微鏡観察において、観察像が明瞭に確認できない場合、非対面方式のみで行った

前年度に比べ、スケッチをしない学生やコメントとして「見えなかった」との記述をもって観察をあきらめた学生がいた(63名中6名の学生が観察を試みたが、スケッチまで行わなかった)。これらの結果は、対面および非対面方式を併用した授業においては、非対面方式での自作顕微鏡による観察実験の学習到達目標は、一部の学生においては到達できなかったと推論できる。

従前の対面方式による「実験」授業と非対面方式による「実験」授業との対比

令和2年度以前に行われてきた対面方式の「実験」授業と、非対面方式を組み込んだ令和2, 3年度の「実験」授業において、学生の学習意欲に大きな差が見いだされた。従来の教育学部における「生物学実験」の顕微鏡観察実験では、まず生物顕微鏡の使用法を習得させるために、植物細胞(サザンカの葉の表皮細胞)と動物細胞(ニワトリの血球細胞)を無処理で観察させた後、前者ではスンプ法そして後者ではメチレンブルー染色法の処理をして観察をさせてきた。更に、これらの技術を踏まえて、ニンニクの根端細胞の細胞分裂や、ウニの幼生の観察ならびにネギの細胞の浸透圧変化の観察を実施してきた。一方、「教科教育法理科」では、バナナの果皮や果肉細胞の観察と糖(デンプン粒)の比色反応による観察法の習得を行ってきた。従前の対面方式による「実験」授業の実験は、実験室において授業時間内で完了するもので、自宅等で授業外学習として実験を課すことはほとんどなかった。一方、今回、非対面方式で行った「実験」授業は、基本的に学生の居住空間で実験を実施するため、受講生自身のペースで十分な時間を取りながら実験に取り組むことが可能であったと推察される。また、非対面方式による受講生は、実験時に生じる疑問や気づきから生じる試行錯誤、あるいは実験操作等の技術的な試行錯誤等を許容する時間的制約が低減されるとともに、インターネットを活用して様々な情報を吟味することで、自作顕微鏡による「細胞」観察実験に工夫を凝らした観察の結果が認められた。ある受講生は、ピーマンを観察試料として選択し観察した後、色素の種類により観察のしやすさが異なってくるのではないかと思いつき、再度、異なる色彩のものを比較観察しただけでなく、完熟させて変色したものととの比較観察も行う等、自身で探求心を高めていったことが提出されたレポートから明らかとなった。加えて、バナナを観察試料に選んだ受講生は、既習事項であったヨウ素デンプン反応による糖の検出方法を用いた細胞内デンプン粒の観察実験を思い出し、自宅にあるうがい薬を用いて自作顕微鏡でもその観察が可能であるかを検証していた。なお、令和2年度の前年度非対面方式の「教科教育法理科」では、5名の受講生が

課題以上の複数の試料を観察していたが、令和3年度の対面・非対面方式を組み合わせた同授業では、課題以上の複数の試料を観察した受講生はいなかった。

非対面方式での自作顕微鏡による「実験」授業では、受講者自らが観察試料の選択や調整を細やかに行わなければ、確実な顕微鏡像を得ることができなかったことは提出された観察スケッチから推察された。しかしながら、従前の対面方式による顕微鏡観察実験において、受講生は、タマネギの鱗片細胞等が一般的に顕微鏡観察の試料として適した材料であるという理由を確実に理解しながら作業を進めていたかは、疑問であるかもしれない。プレパレート作成の注意点として、生物試料は少量かつできる限り薄くなるようにスライドガラスに載せるよう配布資料に明記してきた。今回、提出されたレポートからも、実際には試料を多量に載せると明瞭な像を確実に観察できると勘違いしている受講生も少なくなかった。

非対面方式のみを受講した学生の多くは、学習環境を大きく制限された状況下においても、実験室ではない自宅等で生物の基本単位である「細胞」を観察することができ、科学的な発想とそれを実行に移す力を発揮することで、対面方式でなくとも実験することは可能であるとの認識をもったと推測される。一方、対面・非対面方式を受講した学生の一部は、前年度よりも学習環境や大学生活への制限が緩和されたことを受け、自発的な創意工夫と興味ある「細胞」を観察しようという意欲が低下したよううかがわれた。それゆえ、非対面方式の「実験」授業を事前学習として課し、その後、対面方式による「実験」授業を教授することで学生の習熟度が高まることが期待される。

おわりに

21世紀の人間社会を混乱に陥らせた新型コロナウイルス感染症の世界的な流行により、誰もが幾度となく従前の生活に思いを馳せたことであろう。このような状況下においても教育活動を継続していくことが、教育者としての責務であるが、それを克服するためには労力・時間・経費等を要するのは一般的であろう。しかしながら、今回、筆者らが経費を抑え非対面方式で行った生物学実験－自作顕微鏡による観察－において、コロナ禍という非常事態の中でも学生の知的好奇心をくすぐることができたといえるであろう。受講生にとって、従前の対面方式の「実験」授業であると、受け身の参加態度であっても、様々な生物試料の顕微鏡観察の機会が与えられていることで少なくとも顕微鏡観察の経験は積むことは可能である。一方、この2年間のような非常事態下では、受講生自らが、限られた学習環境において如何に意欲的に学ぶ意識を高められるかが、充実した学習生活につながる

る。大学をはじめとする教育機関は、従前の平穏な教育環境が「当たり前」と考えるのではなく、このような社会情勢の変化にも揺らぐず、徹底した危機管理の下、真理を発信し子どもたちを教育していく義務がある。そのためには、教員は科学的な思考力を常日頃から研鑽し、教育内容を熟慮し続けなければならない。

また、自然現象の原理・原則や分析機器の原理を確実に理解させるためには、学習者にとって身近な現象とリンクさせることや、分析機器を活用しやすい環境づくりも重要である。今回活用した自作顕微鏡のように、どこにおいても入手しやすい材料を活用することで学習者にとって身近なものに感じられ、教育効果は高まりやすい。これまで、著者らは、特に教員養成の基本となる生物分野の「実験」授業を円滑に行うために、身近な材料を活用して、いくつかの動物門の生物の内部構造のモデル化等を行ってきた [例えば、ミミズ、アサリ、ウニの解剖モデル (北沢ら、2013, 2015, 2017)]。身近な材料を活用した学習教材は、学習者にとっても追試や再現しやすく、自身に関心を深めて発展させることも可能となる (北沢ら、2017)。つまり、学習者の身近な存在を活用してシンプルに原理を追究させていくことが、効果的な教育法につながる (北沢ら、2020)。

今回の非対面方式による「実験」授業を通して、受講生自身も身近な材料を活かして非対面方式であっても実験が可能であることを体感した。特に、教員を目指す受講生から、“手作りの顕微鏡で「細胞」を観察することができるんだ”という感動を学校現場で子どもたちにも体験させてあげたいとの声や感想もあった。

21世紀の大学において、対面方式で高性能な実験機器を使用した「実験」授業を学生に教授することは必須である一方で、コロナ禍によってもたらされた非対面方式での本「実験」授業の試みは、生物分野の「細胞」という限られた領域の基本的な学習内容：実験機器（顕微鏡）の原理、機器の能力に適した材料選択の理解、スケッチ技法の習得であったが、当初の予想を超え、科学史（顕微鏡の発明）をも含む学習内容に到達したといえよう。

今回の自作顕微鏡は、17世紀にレーウエンフックにより発明された1枚のレンズからなる単レンズ顕微鏡の原理に基づいて考案されたものである [例えば、国立大学56工学系学部HP (mirai-kougaku.jp) (2021年9月7日最終確認)；ケニス株式会社 (kenis.co.jp) (2021年9月16日最終確認) 等]。レーウエンフックはこの顕微鏡により、人類で最初に病原体（おそらく細菌）を形態的に確認し、1684年に報告した（ハート=デイヴィス、2011；加藤、2013）。実に、337年の年月が経過し21世紀の現在に至るまでの間に、顕微鏡の技術は革新的に進

歩し、我々は2020年1月以降のCOVID-19パンデミックを引き起こしているウイルス粒子の写真（透過型電子顕微鏡により撮影された画像）を、日常生活においてニュースやウェブサイト等で目にしている。

我が国においてSociety 5.0の実現に向けた取り組みが進行する中で遭遇した今回のパンデミックは、教育現場に非対面方式の教育実践を否応なしにもたらした。今回、「細胞学」実験において、時代を逆行するかのように虫眼鏡式の光学顕微鏡が発明された時代に思いをはせ、その当時の人々が感じたであろう観察する喜びを、改めて共感することのできる実験の実践が可能であることが示された。このような窮地から脱却していくためにも、科学的な思考力を駆使して客観的に物事を分析し、自らが学ぶ意欲を刺激し続けていくことが重要であろう。

“*Homo sapiens*よ、ウイルスに負けるな。賢く生き延びよ！”

謝辞

本論文の執筆のヒントを下さいました下松市立花岡光小学校の赤星冨教諭と萩市立萩東中学校の清水朝子教諭に、この場を借りて感謝申し上げます。また、本学教育学部の「生物学実験」と「教科教育法理科」ならびに本学理学部の「生物学実験II」を受講した学生の皆様に感謝申し上げます。

参考・引用文献

宇津木和夫・玉野井逸朗・吉田治（1994）生物の実験法I—顕微鏡を主とした実験—，培風館。
加藤茂孝（2013）人類と感染症の歴史—未知なる恐怖を超えて—，丸善出版。
香山次郎・小泉深志・飯山創一郎・野澤俊介・紀村百合子・久保浩義（2011）信州大学自然誌科学館2011「自

然をみつめる」解説集，74-75，ガラスビーズで顕微鏡を作ろう。

北沢千里・赤星冨・坂口主税・山中明（2017）山口大学教育学部学部・附属教育実践研究紀要，16巻，61-69，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。

北沢千里・笠原麻未・山中明（2013）山口大学教育学部研究論叢，62巻，95-104，無脊椎動物の体のつくり—ミミズの解剖実験—。

北沢千里・坂口主税・山中明（2015）山口大学教育学部研究論叢，64巻，3号，43-53，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。

北沢千里・山中明・赤星冨（2020）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，104-114，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。

キャノングローバル“ペットボトル顕微鏡を作ってみよう | キャノンサイエンスラボ・キッズ” (https://global.canon/ja/technology/kids/experiment/e_02_07.html)（2021年9月23日最終確認）

ケニス株式会社“ケニスおもしろ科学実験” (kenis.co.jp)（2021年9月16日最終確認）

国立大学56工学系学部HP“ペットボトルで顕微鏡を作ろう！ | おもしろ科学実験室（工学のふしぎな世界）” (mirai-kougaku.jp)（2021年9月7日最終確認）

田口功・庄子莉奈（2017）敬愛大学国際研究，第30号，25-34，アルミボトルとガラスビーズを用いた簡易顕微鏡の作成。

ハート=デイヴィス，アダム（2011）サイエンス大図鑑，河出書房新社。

レーベンフック研究会 (microscopy.jp)（2021年9月15日最終確認）