

実体顕微鏡レベルの観察に適した モバイル顕微鏡の開発とその有用性

後藤太一郎*・式井 俊**・前田昌志***

Development of a mobile microscope for stereomicroscopic observation
and usefulness as an observation device

Taichiro Goto, Shun Shikii, and Masashi Maeda

モバイル端末を用いた顕微鏡観察のための補助レンズについて開発や商品化がされているが、小中学校では普及していない。その理由の一つに、自作できるものはピントが合わないことが多く、顕微鏡と格段の差があることがあげられる。小学校において、モバイル端末を用いて実体顕微鏡の倍率（20 - 30 倍）で観察することを目的としたモバイル顕微鏡を開発した。レンズの台座はディスポシャーレの利用、および3Dプリンターによって作成した。1 mm程度のもを観察するために適していることから、この補助レンズを「ミエル1mm」と名付けた。これを用いた「ミジンコの観察」を小学生対象に実施したところ、写真や動画を記録をしてすぐに見返し、疑問に思った点を改めて注意深く観察し直して記録するという作業を繰り返しながら理解を深めていた。一人一台端末が進む中で、ミクロの観察の新しいツールとして活用できる。

キーワード： モバイル端末、顕微鏡観察、実体顕微鏡、ICT、理科器具

1. はじめに

小学校におけるミクロの観察は、虫眼鏡にはじまり、実体顕微鏡や解剖顕微鏡と呼ばれる比較的倍率（5～30 倍程度）の観察、および通常の顕微鏡が用いられる¹⁾。小学校教科書では、実体顕微鏡を用いた観察としてメダカの胚発生や、ミジンコなどのプランクトン、植物の根毛、および火山灰などがある。また、顕微鏡観察については、デンブン、花粉、気孔、茎の断面などがある。

顕微鏡は小中学校の理科教育において、重要な役割を果たす実験器具であり、顕微鏡の使い方は小学校の単元の中で学習するもの¹⁾、児童生徒が一人一台使えるように整備されている場合は少ない。また、顕微鏡の出し入れに時間を要すこと、上下左右が逆になるために試料を探すのに時間がかかること、ピント合わせに時間がかかること、さらに、実際に目的のものを児童生徒が観察しているかどうかを教師が確認するにはかなりの時間を要すことなど問題が多い。そのため、顕微鏡観察をせずに写真や動画を活用することが多く

なる。

2020 年度からスタートした GIGA スクール構想によって一人一台端末の普及が急速に進み²⁾、理科の授業でも ICT を活用することが求められている。理科の特質に応じた ICT 活用は多様であるが、その中で、カメラ機能を活用した観察・記録は結果の分析に役立つものであり、文部科学省により理科における活用事例として示されている³⁾。ICT を活用した顕微鏡観察として、デジタル顕微鏡の利用がある。1 台のデジタル顕微鏡の像を各自が端末で観察できることで、詳細に観察と写真記録ができる。しかし、これは一つの画像の共有であり、個人による観察が制約されるため、通常の静止画や動画を見るに過ぎない。

スマートフォンの普及と、装着されているカメラ機能の向上により、スマートフォンで顕微鏡観察をするための補助レンズの開発が進んでいる。特に顕微鏡観察を必要とする医療診断の分野では、顕微鏡がなくても観察でき、データをすぐに送信できることから、解像度の高い補助レンズが開発されている⁴⁾⁹⁾。また、教育に利用できるように、安価なレンズも開発されて

*三重大学教育学部 **三重大学大学院教育学研究科 ***三重大学教育学部附属小学校

いる¹⁰⁻¹²⁾。このような顕微鏡は「モバイル顕微鏡」、または「スマホ顕微鏡」や「タブレット顕微鏡」などと呼ばれている。

スマホにはアウトカメラとインカメラが搭載されており、モバイル顕微鏡はいずれかに取り付けるタイプである。レンズとしては、マクロレンズやボールレンズを用いたものが一般的である。ボールレンズを用いたものは、レーヴェンフックが考案して微生物を発見した単眼式顕微鏡であり、倍率が200倍ほどと高いがピント調節は難しい。

小学校で扱うには解剖顕微鏡レベルの倍率が適当である。そのためレンズは開発されて販売もされているが、高価なものが多い。実体顕微鏡レベルの観察に適したレンズを探した結果、ミジンコやメダカ胚の観察に適したレンズを入手できたことから、これを用いたモバイル顕微鏡の作成を行った。本論文では、このレンズを取り付ける自作の台座および3Dプリンターで作成した台座について報告するとともに、このレンズを用いた小学校におけるミジンコの観察の授業における児童の観察の様子から、モバイル顕微鏡の有用性について報告する。

2. モバイル顕微鏡の開発

端末としてiPadを用い、このフロントカメラに取り付けることで、ミジンコやメダカ胚の観察に適した補助レンズとして入手しやすいものを可能な限り試行した。その結果、観察目的に適した曲率の大きな平凸レンズを見出した。これは、直径5mm、焦点距離8mm、曲率が5Rのレーザー集光レンズであった(図1A)。このレンズの台座を簡単に作成するための方法を考案した。

台座としてディスポシャーレ上蓋(直径40mm、高さ7mm)を用いた。これは目的の焦点距離にほぼ近いものであった。これに直径5mmの穴をあけるとともに、iPad

のインカメラに設置するためにベゼル(ディスプレイの周囲)の幅より小さくなるようにカットした(図1B, C)。

レンズを台座の穴に入れ、下からビニールテープで固定した。ビニールテープには直径4mmの穴をあけておくことで、レンズが落ちないようにした(図1D)。また、レンズの上からも直径4mmの穴をあけた丸形ラベルシールを貼り付け、レンズを上下から固定した(図1E)。

台座の両端には厚さ1mmのウレタンシートを両面テープで貼り付けた(図1F)。これは、台座の高さ調節のためであったが、プレパラートを置きやすくすることにもなった。完成した状態が図2Aである。台座の下の両側に両面テープを貼り、iPadに取り付けた状態が図2Bである。1mm程度のものの観察に適していることから、「ミエル1mm」と名付けた(三重大学知的財産届312)。

この台座の作成時間は30分ほどであり、大学生は容易に作成することができた。しかし、ディスポシャーレは耐久性に問題もあることから、3Dプリンターを用いて台座を作成した。

設計にはCADソフトであるFusion360、およびRhinoCerosを用いた。出力にはFLASHFORGE Adventurer 3Sを用いた。3Dプリンターによる試作品が図3Aである。これはシャーレの形状に近いもので、設計には、台座本体とレンズを固定するためのパーツを一緒に出力した。改良後のものでは試料台の部分を広くし、プレパラートを置きやすくした(図3B)。改良した台座の設計図が図4である。出力時間は約15分であった。台座にレンズを取り付ける際には、レンズ固定パーツと台座を接着剤で固定した。

観察する際、iPadの標準カメラアプリではインカメラのズーム機能がない。そのため、デジタル拡大するためには、サードパーティーのアプリをインストールする必要がある。

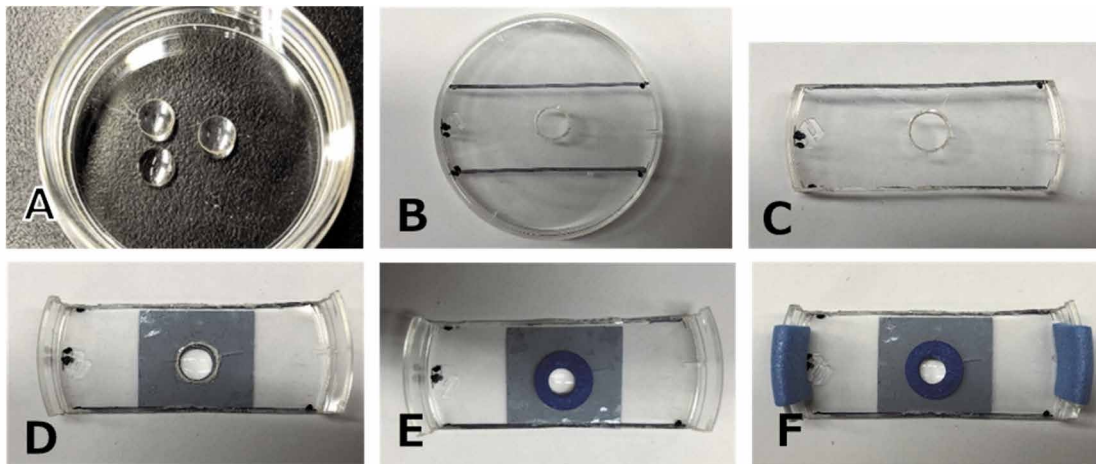


図1. A レンズ. B 台座となるシャーレの蓋. カット面に線をつけてある. C カットしたシャーレ. D レンズをシャーレの下からテープで固定. E レンズを円形のテープで上から固定. F 高さ調節としてシャーレの両端にウレタンシートを固定.



図2. ミエル1mmの試作品(A)とタブレットに取り付けた状態(B).

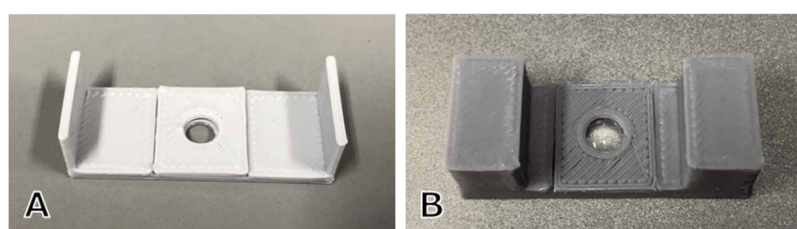


図3. 3Dプリンターによる試作品(A)と改良版(B).

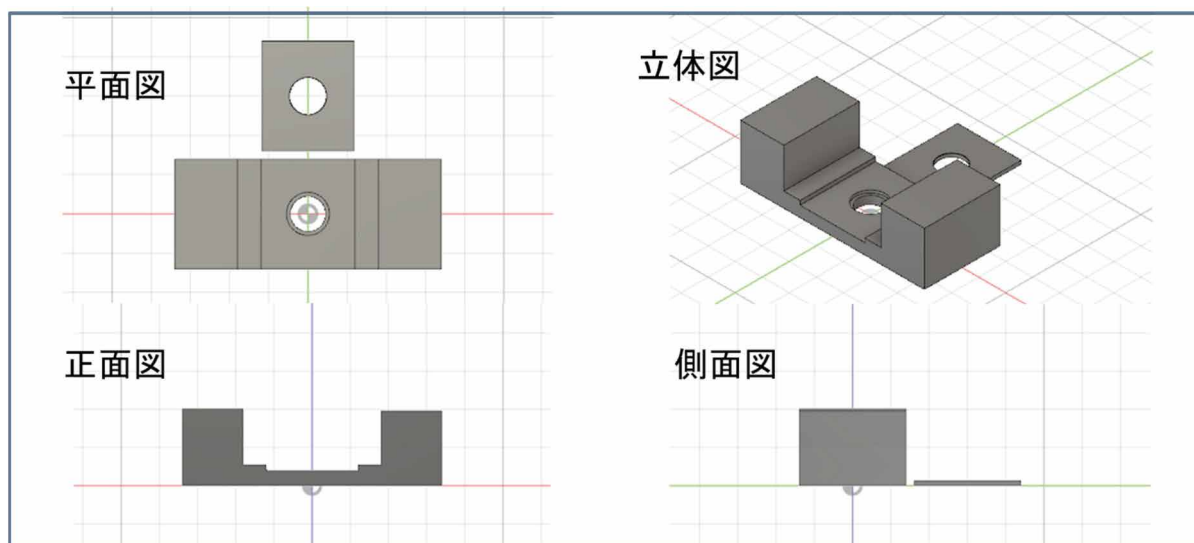


図4. 3Dプリンターによる改良品の設計図. 目盛りは5mm.

3. ミジンコの観察方法と授業実践

「ミエル1mm」を用いた観察の有効性を見るために、著者の一人である前田がミジンコの観察の授業で使用した。授業は、2021年2月18日1, 2限に三重大学附属小学校6年生1クラス(32名)で行った。授業構成は、ミジンコを小型水槽に入れてミジンコの遊泳運動の観察を行い、それに続いてミジンコの体内構造の観察を「ミエル1mm」を用いて行うものとした。

同校では児童が一人一台iPadを利用する環境が整備されており、これまでの理科授業でカメラ機能を活用

している。この授業では、iPadには事前にカメラアプリとして「虫眼鏡」をインストールしておいた。

ミジンコのプレパラートは、通常のスライドガラスを半分にカットしたものに掲示固定文具である「ワッポン」を貼り付けたミジンコ用のチャンバーを作成した。ワッポンの厚さは1mmで、メダカ胚の観察のために利用された¹³⁾。オオミジンコの大きさは体長数mmであり、オオミジンコを入れてカバーガラスをかけることで、動きを抑えることができる。カバーガラスにはプラスチックシート(PP製、厚さ0.2mm)をカットして用いることで児童が安全に扱えるようにした。

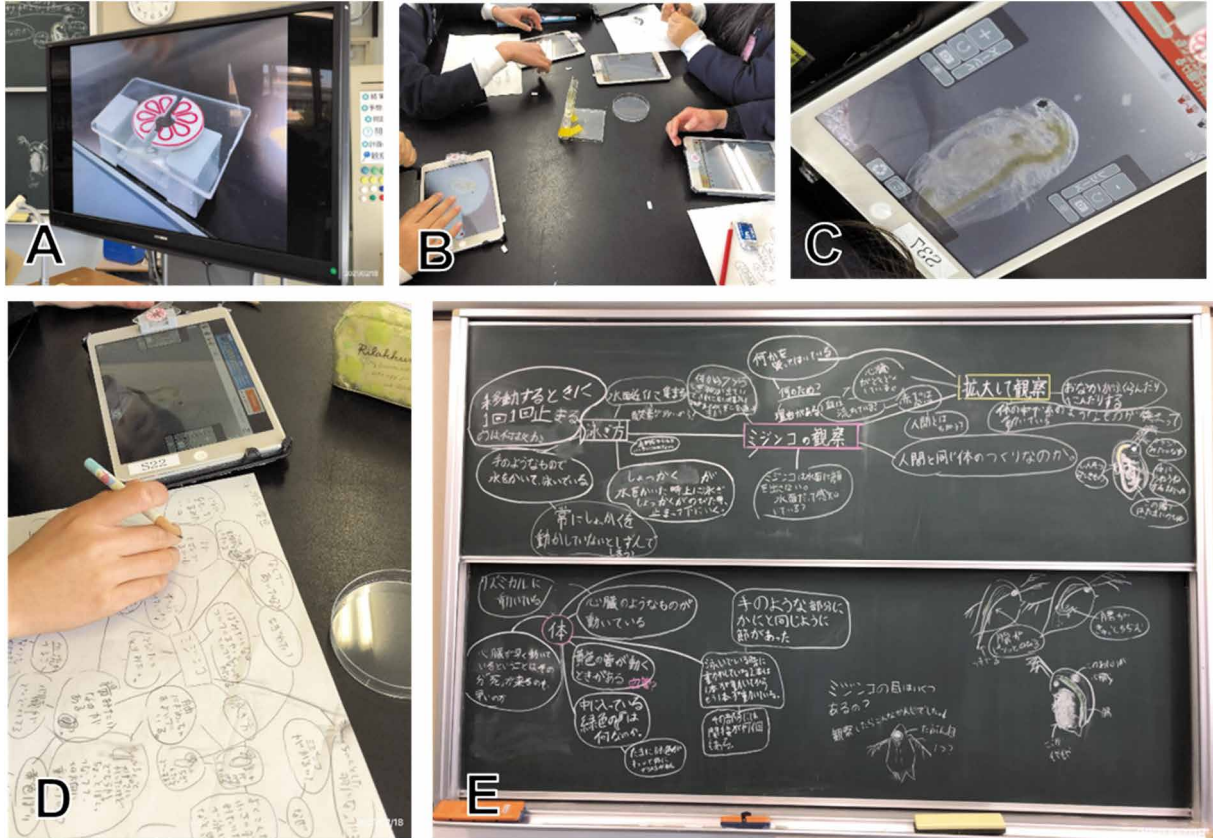


図5. A 観察方法の説明. B 観察している様子. C 観察しているタブレット画面. D 観察記録をマインドマップとして作成している様子. E クラス全体で作成した観察記録のマインドマップ.

児童は iPad の使用に習熟していたため、プレパラートの作成とミエル 1 mm の使用法を説明するだけで全員がミジンコを観察できた (図 5A-C)。児童は写真記録や動画記録を行い、それを見返して疑問に思ったことを確かめるためにミジンコを観察するという作業を繰り返していた。児童は観察結果をイメージマップで記録した (図 5D)。児童は全員で黒板にイメージマップを書き、観察結果を共有した (図 5E)。この板書での授業で授業者の前田が板書したのは「ミジンコの観察」のみで、それ以外は児童が記録したものである。記録には、動きや体の構造 (目、触角、心臓、消化管) について詳細な記述がみられた。

授業の振り返りでは、ミジンコの目や心臓について正しい認識ができたことや、インターネットで調べるよりも興味をもつことができ理解が深まったという記述がみられた。

4. 考察

タブレットを活用した顕微鏡観察

スマホやタブレットのカメラ機能を活用した顕微鏡観察は、医療診断を目的とした分野で開発が進み、教育でも活用されている。教育用のものは通常の顕微

鏡に比べて解像度は高くないものの、簡単ですばやく使用でき、持ち運びが簡単で屋外でも使用できるという利点がある¹⁴⁾。

国内でもアウトリーチ活動などで使われており、光学顕微鏡と比較して操作が簡単であり、知識量、経験などに 関係なく操作ができること、見ているものをその場で記録してリアルタイムに共有できることがあげられている¹⁵⁾。また、小学校の授業実践としてはメダカ胚の観察があり^{16)、17)}、子どもたちの気づきが多いために発言も活発になり、効果的に観察と言語活動ができてよい学習につながると報告されている¹⁶⁾。このように、観察対象が実体顕微鏡を用いて観察する場合、モバイル顕微鏡であればピント合わせの必要もないため観察時間を十分に確保することができ、メダカ胚であれば授業時間内に様々な発生段階を観察することも可能である。

私たちが行ったミジンコの観察の授業実践で、観察したものを写真や動画に記録して、それを見返すことで新たな疑問点をもち、観察をさらに深める様子が見られた。これはまさに探究活動であり、子どもたちが自発的に興味をもって観察を深める姿である。通常の顕微鏡では、ピント合わせの作業などをスムーズにできずに観察時間を十分に取れないこともある。また、

観察結果をスケッチすることは重要であるものの、観察対象の十分な理解がないままスケッチだけに集中することもみられる。モバイル顕微鏡は、このような問題点を解決する。

同様のことは、2021年6月に小学5年生を対象にしたメダカ胚の観察でミエル1mmを用いた授業でもみられた¹⁸⁾。メダカ胚を背面、腹面、側面から観察し、写真や動画記録することで、発生段階を明確にし、特徴に気づいていた。簡単に詳細な観察ができることから、顕微鏡観察の入門としてモバイル顕微鏡は適していると言える。

ミエル1mmの特徴

小学校で行う顕微鏡観察の対象は花粉や火山灰であり、これらは実体顕微鏡でも観察できる。授業の際、観察対象に合わせて顕微鏡を使うのか実体顕微鏡を使うのか正しく選択することが重要である¹⁹⁾。寺島(2019)は、光学的に20倍相当のマクロレンズと数倍程度のカメラのデジタルズーム機能を併用することで、実体顕微鏡や解剖顕微鏡と同程度かそれ以上の倍率で観察できるため、ほぼ全ての小学校理科の生物の観察に対応できると報告しているが¹⁷⁾、ミエル1mmはこのような目的に対応するモバイル顕微鏡である²⁰⁾。

ディスプレイを用いた台座を自作することは、小学生にとって容易ではない。また、3Dプリンターでの作成も、プリンター機種により設計の調整が必要となる。ミエル1mmのニーズが高いことから、製品化にもなった。小型で、シンプルで、低コストでありながら、許容可能なレベルの性能をもつことは、小中学校で求められるものであり、その条件を満たしている。

インカメラに取り付けることから、試料を下側から観察するため、倒立顕微鏡ようになる。倒立顕微鏡は、シャーレ内の試料を下から観察するために用いられ、シャーレの底にあるものにピントを合わせることになる。ミエル1mmもスライドグラスに面した部分にピントが合うように高さを調整してある。

顕微鏡観察では、通常は透過光で観察するため、試料としては光を透過するものでなければならない。しかし、実体顕微鏡による観察は、透過光だけでなく、上からの照明(落射光)で観察する。ミエル1mmでも試料を下から照明することで試料の表面を見ることが可能。例えば、火山灰の観察などでは、試料を真上から照明すると粒子は黒く見えるだけだが、下からの照明により粒子の特徴的な色がわかる。また、横方向からの照明により暗視野に近い観察も可能となる。照明法の工夫により、試料に適した観察方法を見つけることも学習の一つとなるだろう。

モバイル顕微鏡の利用に関する課題

モバイル顕微鏡を使う際に欠かせない条件として、カメラの性能がある。スマートフォンのカメラの性能は高いが、GIGAスクール構想により導入した端末の機種によってはカメラの画素数が少なく、特に、インカメラでは画質が低い場合がある。モバイル顕微鏡は端末のカメラの性能が良くなったことで開発されたことから、画素数は高いに越したことはない。

もう一つは、カメラアプリでデジタルズームをする必要があることだ。機種により異なるが、例えばiPadのカメラアプリにはインカメラのズーム機能がないため、サードパーティーのアプリをインストールする必要がある。しかし、学校の端末に入れるアプリは教育委員会により決められており、アプリを簡単にインストールすることはできない。教育委員会によっては申請により認められることもあるが、その条件としては、無料であることと広告が出ないことは必須であるようだ。iPadには多くの種類のカメラアプリがあり、その中でも「シンプルカメラ」が使いやすいが、広告が出るために認められない。広告が出ないものとしては、「Microsoft Pix カメラ」があり、「シンプルカメラ」と同様の機能である。しかし、無音カメラのアプリであることから、自治体によっては無音カメラのインストールは盗撮防止のためにできないこともある。

モバイル顕微鏡は、これまでの顕微鏡観察を補完するものであって代替えとなるものではない。モバイル顕微鏡でミクロの観察の興味関心を高め、通常の顕微鏡を用いた探究的な活動に繋がることが期待される。

参考文献

- 1) 文部科学省(2017) 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編
- 2) GIGAスクール構想の実現 (https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm) (参照 2021-10-1)
- 3) GIGAスクール構想のもとでの理科の指導について https://www.mext.go.jp/content/20210607-mxt_kyoiku01-000015482_r.pdf (参照 2021-10-1)
- 4) Smith, Z. J., K. Chu, A. R. Espenson, M. Rahimzadeh, A. Gryshuk, M. Molinaro, D. M. Dwyre, S. Lane, D. Matthews, and S. Wachsmann-Hogiu, (2011) Cell-phone-based platform for biomedical device development and education applications. *PLoS One* 6 (3), e17150
- 5) Lee, W.M., A. Upadhyay, P.J. Reece, Tri Giang Phan (2014) Fabricating low cost and high performance elastomer lenses using hanging droplets. *Biomedical Optics Express* 5 (5), pp. 1626-1635.
- 6) Ephraim, R.K.D., E. Duah, J.S. Cybulski, M. Prakash, M.V. D'Ambrosio, D.A. Fletcher, J. Keiser, J.R. Andrews, I.I. Bogoch (2015) Diagnosis of schistosoma haematobium Infection with a mobile phone-mounted foldscope and a

- reversed-lens cellScope in Ghana. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 92, pp.1253–1256.
- 7) Coulibaly, J.T, M. Ouattara, M.V. D'Ambrosio, D.A.Fletcher, J. Keiser, J. Utzinger, E.K. N'Goran., J.R. Andrews (2016) Accuracy of mobile phone and handheld light microscopy for the diagnosis of schistosomiasis and intestinal protozoa infections in Côte d'Ivoire. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 10, e0004768.
 - 8) Kobori, Y., P. Pfanner, G.S. Prins, C. Niederberger (2016) Novel device for male infertility screening with single-ball lens microscope and smartphone. *Fertil. Steril.* 106(3), pp.574–578.
 - 9) Orth, A, E.R. Wilson, J.G. Thompson, B.C. Gibson (2018) A dual-mode mobile phone microscope using the onboard camera flash and ambient light. *Scientific Reports* 8(1) 3298
 - 10) Yu-Lung Sung, Jenn Jeang, Chia-Hsiung Lee, Wei-Chuan Shih (2015) Fabricating optical lenses by inkjet printing and heat-assisted in situ curing of polydimethylsiloxane for smartphone microscopy *J. of Biomedical Optics*, 20(4), 047005.
 - 11) Karunakaran, B, J. Tharion, A.R. Dhawangale, D. Paul, S. Mukherji (2018) Fabrication of miniature elastomer lenses with programmable liquid mold for smartphone microscopy: curing polydimethylsiloxane with in situ curvature control *J. of Biomedical Optics*, 23(2), 025002.
 - 12) Szydlowski, N.A, H. Jing, M. Alqashmi, Y.S. Hu (2020) Cell phone digital microscopy using an oil droplet. *Biomedical Optics Express* 11 (5) , pp. 2328-2338.
 - 13) 古屋康則, 加藤理恵 (2012) 掲示物接着用シールを用いたメダカ卵の観察法. *理科教育学研究*, 53 pp. 163–168.
 - 14) Using smartphone microscope for teaching and leaning in Biology lesson. <https://rgsperl.wordpress.com/2020/09/10/using-smartphone-microscope-for-teaching-and-learning-in-biology-lesson/> (参照 2021-10-1)
 - 15) 西野秀昭, 坂倉真衣, 伊藤明夫 (2016) 「水の中の小さな生き物」観察にスマホ顕微鏡を活用することの可能性 —親子を対象としたサイエンスカフェでの実践からの考察—. *九州地区国立大学教育系・文系研究論文集*, 4, pp. 1-8.
 - 16) 竹下陽子 (2017) タブレット顕微鏡でメダカ受精卵観察 —授業指導案と実践例—. *ニッチェ・ライフ*, 5, pp. 1-6.
 - 17) 寺島幸生 (2020) スマートフォンカメラ用小型マクロレンズを用いたメダカの卵の観察. *鳴門教育大学学校教育研究紀要* 34 pp. 37-40.
 - 18) 前田昌志, 後藤太一郎 (2022) 探究するコミュニティが問題を科学的に解決する授業 —「メダカの誕生」の授業事例—. *三重大学教育学部研究紀要*, 73, pp. 335–343.
 - 19) 樋口達也 (2018) 小学校における顕微鏡の設備状況および顕微鏡を用いた教育に関する研究. *帝京科学大学アニマルサイエンス学科 2018 年度卒業研究* 4pp.
 - 20) 後藤太一郎 (2021) 一人一台時代のタブレット顕微鏡. *大日本図書* 8pp.