

早稲田大学審査学位論文
博士（人間科学）

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの
開発と学習効果の検討
Development of a Table-top Microscope
Image Presentation System and Examination
of the Learning Effects

2023 年 1 月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

森田 和行

MORITA, Kazuyuki

研究指導担当教員： 森田 裕介 教授

目次

第1章	序論	1
第1節	研究の背景	1
第2節	問題の所在1（先行研究）	3
第3節	問題の所在2（教師への質問紙調査）	5
第4節	先行研究	7
第1項	光学顕微鏡の接眼レンズにアダプタを実装する方法	7
第2項	タブレット端末のカメラ部に顕微鏡レンズを装着する方法	9
第3項	デジタル顕微鏡を活用する方法	11
第5節	本論文の研究目的と構成	13
第1項	研究目的	13
第2項	本論文の構成	14
第2章	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの「試作」と評価（研究1）	17
第1節	研究目的	17
第2節	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機	17
第1項	予備調査装置の概要	18
第2項	試作機（1号機，2号機）の概要	18
第3節	評価方法	23
第1項	予備調査用装置の評価（有用性に関するインタビュー調査）	23
第2項	試作機（1号機，2号機）の評価	24
第4節	結果と考察	26
第1項	予備調査用装置の評価結果	26
第2項	試作機（1号機，2号機）の評価結果	26
第5節	まとめ（研究1）	28

第3章	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの「開発」と評価（研究2）	29
第1節	研究目的	29
第2節	方法	29
第1項	授業実践	29
第2項	質問紙調査	32
第3節	結果と考察	33
第1項	授業に関する評価	33
第2項	システムの機能に関する評価	37
第4節	まとめ（研究2）	39
第4章	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における学習効果の分析（研究3）	40
第1節	研究目的	40
第2節	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの概要	41
第3節	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの観察の手順	42
第4節	方法	43
第1項	授業実践	43
第2項	評価方法	49
第5節	結果と考察	58
第1項	テストによる客観評価の分析結果	58
第2項	質問紙による主観評価の分析結果	61
第3項	観察時における指差し回数の分析結果	65
第4項	観察時におけるビデオ分析（指差し・発話）結果	67
第5項	児童らが観察した水中微生物の分析結果	72
第6項	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの評価結果	74
第6節	まとめ（研究3）	76

第1項	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業と光学顕微鏡による授業における学習効果の検討及び授業の評価.....	76
第2項	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察活動の詳細な分析.....	76
第3項	改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性評価.....	77
第7節	今後の課題.....	77
第5章	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における学習プロセスの分析（研究4）.....	78
第1節	研究の目的.....	78
第1項	授業実践.....	78
第2項	授業実践の手順.....	78
第3項	学習者の協働効用特性を考慮したグループ編成.....	80
第4項	分析方法.....	81
第2節	結果と考察.....	82
第1項	観察時におけるビデオ分析の結果.....	82
第3節	質問紙による学習者特性別の分析結果.....	94
第4節	まとめ（研究4）.....	98
第6章	テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの効果的なディスプレイの配置に関する検討（研究5）.....	99
第1節	研究の目的.....	99
第2節	方法.....	99
第1項	実験手順.....	99
第2項	視線データによる客観評価.....	100
第3項	質問紙調査による主観評価.....	100
第3節	結果と考察.....	101

第1項	視線データによる客観評価の分析結果	101
第2項	スケッチに関する質問紙の分析結果	102
第3項	考察	105
第4節	まとめ（研究5）	106
第7章	研究の総括	107
第1節	研究の成果	107
第1項	研究1（第2章）の研究成果	107
第2項	研究2（第3章）の研究成果	107
第3項	研究3（第4章）の研究成果	108
第4項	研究4（第5章）の研究成果	109
第5項	研究5（第6章）の研究成果	109
第2節	今後の展望	110
参 考 文 献	112
付 記	119
謝 辞	121

第1章 序論

第1節 研究の背景

近年、グループワークなど協調的な学びによりアクティブラーニング型の授業が進められている。文部科学省(2017a)では、学習指導要領の考え方「主体的・対話的で深い学び」の視点に立った授業改善を行うと述べている。対話的な学びでは、「子供同士の協働、教職員や地域の人との対話等を通じ、自己の考えを広げ深める」とし、深い学びでは、「目的や場面、状況等に応じて考えを伝え合うことを通して考えを形成したりしていく」としている(文部科学省 2017a)。GIGA スクール構想の進展により、ひとりが1台のICT端末を利用できる環境が整いつつある。文部科学省(2020a)では、各教科等の指導におけるICT活用の基本的な考え方として、「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善につながることを重要である」とし、留意点として「限られた学習時間を効率的に運用する観点からも、ICTを活用する」と述べている。各教科におけるひとり1台端末の活用例として、たとえば、理科の指導において、「ビデオカメラとコンピュータの組み合わせにより、観察・実験の結果分析や総合的な考察をする」とし、さらに、学習を深めていく過程で、「児童生徒が相互に情報を交換したり、説明したりする際の手段としての活用などが考えられる」としている(文部科学省 2020b)。ICTを活用した理科分野の授業実践例では、たとえば、小学校第3学年「太陽の動きと地面の様子をしらべよう」の単元では、「360°カメラで撮影した太陽と影の写真をひとり1台のパソコンに映し出し、影の位置の変化と太陽の位置の変化との関係をとらえるようにした。その結果、児童らは影の位置は太陽の位置の変化に合わせて変わることを捉え、自分の言葉で表現することができた」と報告されている(文部科学省 2019)。この事例のように、これからの理科分野においても、主体的・対話的で深い学びの実現に向け、ICTを活用した授業改善(文部科学省 2016)が進められていくと推察される。

一方、ICTを活用する際に求められる観点として、理科の指導では、「観察・実験などの指導に当たっては直接体験が基本である」と示している（文部科学省 2020b）。つまり、教師は実際に実験を行い指導することが求められる。ここで、指導する教師の視点に着目すると、理科の学習内容には、物理、化学、生物、地学の4分野があり、指導するすべての教師が、4分野における観察・実験において、適切に自信をもって指導できるとは限らず、教師により得手、不得手な分野があることが想定される。教師の「指導への自信度や授業の難易度」に関する先行研究がいくつか報告されている。石渡（2013）は、小学校教員を対象に、理科の実験・観察を実施する上での難易度について質問紙調査を行った。その結果、観察・実験を失敗する分野は、小学校第5学年の生物分野が多く、具体的な観察・実験項目として、解剖顕微鏡を用いた「メダカの卵、飼育」では56名中31名（55%）、光学顕微鏡を用いた水中の小さな生物の観察では、57名中29名（51%）が「やりにくい、やややりにくい」と回答した、と報告している。吉田ほか（2018）は、小学校教員（217名）を対象に授業の指導する自信について質問紙調査を行った。その結果、平均して52%の教員が指導する自信があるが、約半数が指導する自信がないと考えていることを示した。物理、化学、生物、地学の各分野で見ると、「バッタの飼育（32%）、顕微鏡を用いたメダカの尾びれの血流の観察（24%）、トンボの飼育（24%）」など、生き物を扱う生物の内容について自信がない傾向がみられた、と報告している。先行研究から、指導する教師には、生物分野の授業に苦手意識があることが示唆され、「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けて、苦手意識のある、あるいは、自信のない授業の改善が必要であるといえるだろう。

以上の背景を踏まえ、本研究では、教師が指導しにくい、あるいは、自信がないとされる、生物分野（顕微鏡観察）に関する観察・実験の授業改善に焦点をあてた。

第2節 問題の所在1（先行研究）

小学校理科では、光学顕微鏡を用いて水中の小さな生き物の観察が行われている（文部科学省 2017b）。光学顕微鏡を用いた観察では、プレパラートの作製、探索・ピント合わせ、同定、スケッチ、観察結果の話し合いなどの活動が行われるが、これらの活動において以下のような問題が先行研究により指摘されている。

小田部（2010）は、まず、探索では、「上下左右の視野が操作と反対になるので微生物を探しにくく、特に、動く微生物をスライドガラスを動かしながら探していく操作は子供達では難しい」としている。次に、同定では、「見つけたものが微生物か、ゴミなのかを区別することがこども達では難しく」、さらに、教師の指導では、「こども達は見つけた微生物について教師に質問することが多いが、教師が子供達の顕微鏡をみたときに動いてしまっていないなくなっていることが多々ある」と述べている。出野（2012）は、小田部

（2010）と同様に、探索では、「生きている動物プランクトンの観察では、教師が学生と交代には対象物が視野から逃げてしまっていることがよくある」としている。また、教師の指導では、「（観察者の）顕微鏡の視野にたくさんの像があると、（観察者は）どれを見たらよいかわからないことも多い」、さらに、「教師が注目して欲しい対象物の位置を観察者に示す場合、口頭で上下・左右・中央といった大まかな指示をするのが精一杯である」と述べ、指導の難しさを指摘している。佐藤（2015）は、光学顕微鏡を用いた観察における課題は、顕微鏡の準備が大変であること、また、指導において生徒と見え方の共有や説明が難しいと述べている。渡辺（2016）は、「（こども達は）顕微鏡をのぞいても、観察すべきポイントがわからない」とし、山田・井口（2017）は、「どのようなものを観察すればよいのか児童らは理解していない」、小田部（2010）は、「ゴミや気泡にピントをあわせて未知なるものを発見したと申し出ることは少なくない」と、観察の指導や同定の難しさを述べている。小林（2019）は、「顕微鏡観察において見てほしい対象物を正しく認識できていない」とし、出野（2012）や小林（2019）と同様に「動き回る微生物に対して

上手に観察できない」と述べている。吉川（2019）は、「観察者が顕微鏡の視野のどの部分を観察しているのかが指導者に伝わりにくい。そのため、観察者が適切に対象を捉えているかどうか指導者は判断しづらい」としている。また、「スケッチをさせることで、対象を正確に捉えているか判断するが、その判断は観察終了後に下されることが多い」と、タイムリーな指導がしにくい点を報告している。久川（2021）は、「光学顕微鏡で観察しながら、意見交換したり、教師が指示をだしたりすることが困難である」と述べている。後藤ほか（2022）は、「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」と複数人で交代で観察する方法がされていること、「上下左右が逆になるために試料を探したり、対象物へのピント合わせに時間がかかる」とし、「児童生徒が目的のものを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る」と述べている。

以上の先行研究から、光学顕微鏡を用いた観察・授業の問題点を整理する。まず、プレパートの作成や光学顕微鏡を用いて水中の動く微生物を探すのは難しく（出野 2012；小林 2019）、また、ピント合わせ（後藤ほか 2022）や接眼レンズを見ながらのスケッチが難しいなどの問題がある（小田部 2010；吉川 2019）。次に、1台の光学顕微鏡を複数人が交代で観察する方法（後藤ほか 2022）では、児童が観察した場面をリアルタイムで他の児童や教師に伝えたり（佐藤 2015；山田・井口 2017；吉川 2019；後藤ほか 2022）、複数人で同じ対象をスケッチしたり、グループで話し合ったり協調的に学習することは困難である（吉川 2019）。そして、教師が観察して欲しいポイントをタイムリーに指し示したり（出野 2012；吉川 2019）、さらに、児童がどこをみているのかを教師が把握できない点がある（山田・井口 2017；吉川 2019；後藤ほか 2022）。これらの問題は、児童同士や児童と教師の間で観察した微生物を同時に共有できないことがひとつの要因であると述べている（吉川 2019）。

第3節 問題の所在2（教師への質問紙調査）

表 1-1 に、公立小学校教師への質問紙調査に関する自由記述の集計結果を示す。

公立小学校の教師 13 名（13 名中 9 名は理科専科の教師）を対象に、従来の光学顕微鏡を用いた授業に関する質問紙調査を行った。質問内容は、「光学顕微鏡を用いた水中微生物の観察は難しい」の 1 問であった。回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」から選択する 4 件法を用いた。また、「回答（選択）理由」について自由記述で回答させた。分析の結果、「とてもそう思う」が 5 名、「ややそう思う」が 8 名、「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」は 0 名であった。つまり、13 名全員が、光学顕微鏡を用いた授業は難しいと感じていることがわかった。光学顕微鏡を用いた授業が難しい理由の自由記述（複数回答）では、「動く微生物を顕微鏡で見つけるのは難しい」、「微生物を見つけることができない」などの「探索」に関する回答が 5 件、「顕微鏡の操作が難しい」、「顕微鏡の操作に慣れるまで時間がかかる」などの「操作」に関する回答が 3 件、「生きた生物にピントを合わせるのが難しい」、「微生物が動くのでピントを合わせにくい」などの「ピント合わせ」に関する回答が 3 件、「光学顕微鏡を覗いている児童にしか実物をみることができない」、「他の児童と同時に見ることができないので話し合いができない」などの「観察・話し合い」に関する回答が 3 件、「観察の時間を長くとりづらい」の「授業時間」に関する回答が 1 件であった。以上の光学顕微鏡を用いた授業が難しい理由は、先行研究により指摘されている問題と類似していることがわかった。

先行研究により指摘されている問題と教師への質問紙調査の結果を踏まえ、光学顕微鏡を用いた授業の問題解決には、「簡単な操作」で、「みつけやすく（探索）」、「ピント合わせ」が簡単で、「画面共有による話し合い」ができ、そして、「短時間で観察」できる要件が求められると考察される。

表 1-1 光学顕微鏡を用いた授業の問題に関する自由記述の集計結果
(教師への質問紙調査)

項目	回答数 (件)	光学顕微鏡を用いた授業の問題
探索	5	<ul style="list-style-type: none"> ・動く微生物を顕微鏡で見つけるのは難しい ・生物は動くためとらえにくい ・探すのに時間がかかる ・微生物を見つけることができない ・微生物がいる水を見つけにくい
操作	3	<ul style="list-style-type: none"> ・顕微鏡の操作が難しい ・顕微鏡の操作に慣れるまで時間がかかる ・顕微鏡の操作技能に個人差がある
ピント合わせ	3	<ul style="list-style-type: none"> ・微生物が動くのでピントを合わせにくい ・生きた生物にピントを合わせるのが難しい ・ピント合わせの操作が難しい
観察・話し合い	3	<ul style="list-style-type: none"> ・光学顕微鏡を覗いている児童にしか実物を見ることができない ・児童が(微生物の)どこを見ているのかわからない ・他の児童と同時に見ることができないので話し合いができない
授業時間	1	<ul style="list-style-type: none"> ・観察の時間を長くとりづらい

第4節 先行研究

光学顕微鏡を用いた観察時の問題点を改善するために、観察した顕微鏡画像を児童・生徒同士、教師と児童生徒が共有できるようにした研究が複数報告されている。

第1項 光学顕微鏡の接眼レンズにアダプタを実装する方法

光学顕微鏡の接眼レンズにデジタルカメラや USB カメラ、タブレット端末・スマートフォンのカメラを装着し、液晶画面を活用して顕微鏡画像の共有を図る研究が報告されている。藤枝（2007）は、光学顕微鏡の接眼レンズ（鏡筒）に携帯電話のカメラを接続できるアダプタ（フィルムケース活用）作成し、携帯電話の液晶画面に顕微鏡画像を表示した。小中学校の教員による機能評価の結果、児童・生徒は、見たいものが視野に対してどのくらいの大きさなのか、また、どのようなものを見ればよいのかをイメージできると述べている。Hoisch ほか（2010）は、光学顕微鏡の接眼レンズにデジタルカメラを取り付け鉍物の写真を撮影した。そして、撮影した写真を校内ワイヤレスネットワークで学生のタブレット端末に配信した。その結果、学生は、配信された写真の色彩が明瞭であり、タッチ操作で写真が拡大でき鉍物の観察がしやすくなったと報告している。出野（2012）は、従来の光学顕微鏡の接眼レンズにスマートフォンのカメラを接続できるアダプタを作製し、顕微鏡画像をスマートフォンの液晶画面に表示した。その結果、指導者はスマートフォンに表示された画面を生徒・学生とともに確認しながら指導することができるので、生徒・学生は確実に理解が高まると述べている。木村ほか（2013）は、医学部の病理組織実習において、光学顕微鏡を用いて観察した病理組織標本の顕微鏡画像を、デジタルカメラやスマートフォン・タブレット端末のカメラを用いて撮影させた。その結果、教員と学生が同じ画像をみながら質問や説明ができ、病理組織に対する質問回数が増えるなど、学生らの積極的な学習が促進されたと報告している。山田・井口（2017）は、従来の光学顕微鏡の接眼レンズに USB カメラ（デジタル顕微鏡イメージャー）をはめ込み電子黒板に顕微鏡画像を投影した。その結果、指導者と児童生徒で顕微鏡画像を共有しながらクラス全体で議論が可能になり参加型の授業展開ができる可能性を示唆した。茂原（2017）は、光学

顕微鏡の接眼レンズにスマートフォンを取り付けて、特別支援学校の生徒に中学校理科「生物の成長と殖え方」単元における細胞分裂の観察・実験授業を行った。その結果として、生徒らは、スマートフォンの画面を見ることで接眼レンズを覗き込む必要がなくなり姿勢の保持が難しい生徒でも観察が可能になった。また、画面を複数の生徒で確認できるため顕微鏡の操作が苦手な生徒に対して他の生徒が手伝う様子が見られた。そして、写真を撮影してプリンタで印刷することで、スケッチが困難な生徒も観察記録の作成が可能になったと報告している。青木（2017）は、中学生を対象に、液体の粒子モデルを学ぶ教材を光学顕微鏡にアダプタを接続したタブレット端末を用いて観察させた。その結果、タブレット端末の液晶画面を通しての観察は、グループ内で情報共有ができ、グループで相談しながら実験を行うことができたと述べている。Hillhouse（2017）は、スマートフォンにアダプタを取り付け顕微鏡写真が撮影できるようにした。その結果、学生らの興味関心が向上し、実習の理解度が高まったと述べている。小林（2019）は、光学顕微鏡の鏡筒にアダプタを用いてスマートフォンのカメラを取り付け、大学生に植物の維管束を観察させ機能を評価させた。その結果、茎の断面のどこを見たらよいのかが共有でき、観察すべきポイントや観察しなくてもよいところ（例 ゴミや気泡）を明示できたと述べている。森戸・佐伯（2019）は、光学顕微鏡の接眼レンズにアダプタを用いてタブレット端末を取り付け、小学校第5学年の児童らにメダカの受精卵を観察させた。児童らの観察の様子、話し合いや気づきを分析した結果、タブレット端末の画像を見ながら複数人で話し合ったり、観察した画像を保存したり拡大したりするなど学習活動に対する児童らの意識は良好であったと報告している。和田ほか（2020）は、中学生を対象とした珪藻化石の顕微鏡観察において、タブレット型顕微鏡（タブレットのカメラ上に顕微鏡レンズを乗せたもの）で撮影した画像と、光学顕微鏡で観察した対象を直接タブレット端末で撮影した画像を比較した。その結果、光学顕微鏡で観察した対象を直接タブレット端末で撮影した画像のほうがより鮮明であったとしている。吉川（2021）は、中学校理科の教員免許取得を目的とした大学生を対象に、光学顕微鏡の鏡筒にWEBカメラを差し込みタブレット端末の画面に

顕微鏡画像を表示できる仕組みを用いてペアで観察花粉・孢子化石を観察させた。その結果、タブレット端末の画面を共有しながらペアで観察することは、一人で観察するよりも、「観察の集中力」、「観察のやる気」、「観察に対する興味」、「観察の楽しさ」の意識が高かったと報告している。

第2項 タブレット端末のカメラ部に顕微鏡レンズを装着する方法

タブレット端末のカメラ部に顕微鏡レンズやボールレンズを装着し、タブレット端末の画面を使って観察する先行研究がいくつか報告されている。味岡・野ヶ山（2015）は、中学生を対象にタマネギの細胞を観察させタブレット型顕微鏡について評価させた。その結果、タブレット型顕微鏡を用いた観察は生徒の興味を引くツールであったと述べている。佐藤（2015）は、高校生を対象に、タブレット型顕微鏡（タブレット端末のフロントカメラ上に、球形レンズを取りつけたもの）を用いて、ヤコウチュウを観察させた。その結果、タブレット型顕微鏡の利点として、準備が簡単である、動画や写真を記録できる、記録した動画や写真をスクリーンなどに投影して共有できることから学習をより深める、としている。竹下（2015）は、中学生を対象として、タブレット型顕微鏡（タブレット端末のカメラ部に、ボールレンズを取りつけたもの）を使って花粉管の動きを観察させた。その結果、グループで画面を共有しながら観察ができ、タブレット端末で撮影した動画を繰り返し再生することで花粉管の変化を時系列に確認できたと述べている。味岡（2016）は、大学生を対象に、光学顕微鏡とタブレット型顕微鏡（タブレット端末のカメラ部に、ボールレンズを取りつけたもの）を用いてスギナの孢子を観察させ、質問紙により観察上の長所と短所について調査した。その結果、タブレット型顕微鏡の長所は、動画や写真の撮影ができること、操作が簡単、持ち運びやすい点であった。短所はピント合わせが難しい、倍率を変更できない、画質が悪い、と報告している。Lumetta・Arcia（2016）は、スマートフォン用のマイクロスコープを用いて塩化ナトリウムの溶解や沈殿現象をリアルタイムで観察できるようにした。西野ほか（2016）は、スマホ顕微鏡（スマートフォンのカメラ上に市販のボールレンズを取り付けたもの）を用いて小学生と保護者を対象に類細

胞を観察させた。その結果、スマホ顕微鏡は、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、見ているものをリアルタイムに共有できる、そして、自分たちが見たいものを記録することができる、と3つの利点を述べている。谷津・山野井(2016)は、高校生を対象に、タブレット型顕微鏡(タブレット端末のカメラレンズにガラスビーズをはめ込んだアクリル板を取り付けたもの)を用いて、動植物の一部や微生物のサンプルを観察させた。その結果、サンプルをきれいに画面に映すためには、ピント合わせや明るさの調整、スライドガラスの位置の微調整が必要である、とタブレット顕微鏡の課題を指摘している。Deaton・Simms(2017)は、スマートフォンにワイヤレス型のデジタル顕微鏡を取り付け、生徒らが犯罪現場の複数の土壌を撮影できるようにした。佐伯(2017)は、教員を対象にタブレット型顕微鏡(タブレット端末のカメラ部に、ボールレンズを取り付けたもの)を用いて、水中の小さな生物や、植物の導管、花粉やシダの胞子を観察させた。その結果、タブレット型顕微鏡の利点では、画面を見ながら話し合いができる、写真や動画を記録できる、写真内で見たい部分を指で拡大できることであった。課題は、視野が狭い(画面中央部は明瞭に見えるが、周辺部は明瞭に見えない)、ピントを合わせるのが難しい点であった、と報告している。Hergemöller・Laumann(2017)は、スマートフォンやタブレット端末のカメラ部にガラスビーズを接続できるアタッチメントを開発し物理の授業にて顕微鏡撮影ができるようにした。寺島(2020)は、タブレット端末のカメラ部にマクロレンズが組み込まれたクリップを挟み込んだ観察器具を用いて、小学2年生の児童にメダカの卵の成長の様子を観察させた。その結果、光学顕微鏡での観察と比較して操作が簡単であり、小学校低学年の児童でもメダカの卵が成長する様子を簡単に観察・記録できたと報告している。

第3項 デジタル顕微鏡を活用する方法

光学顕微鏡の代替としてデジタル顕微鏡とプロジェクタやパソコンモニタにより顕微鏡画像を共有する研究事例がいくつか報告されている。たとえば、McNall・Bell（2004）は、小学生にデジタル顕微鏡を用いて花の構造を観察させた。その結果、デジタル顕微鏡は、ピント合わせが簡単であり撮影した顕微鏡画像をクラスで共有できる利点を述べている。Van Scoter（2004）は、園児にデジタル顕微鏡を用いて松ぼっくりや髪の毛を観察させた。その結果、園児らの好奇心と学習へのやる気を向上させたとしている。山田・池田（2005）は、高校生を対象にデジタル顕微鏡とパソコンモニタを用いて、鉄鋼材料の組織の検査をさせた。その結果として、複数人で話し合いながら検査できることから対話的な学びが促進されることを示唆した。Travaille・Adams（2006）は、デジタル顕微鏡を用いて、線虫の生態を観察させ、線虫の雌雄の判別や環境がことなる条件での行動を学習させた。Dickerson・Kubasko（2007）は、デジタル顕微鏡とパソコンモニタを用いて小学生らに池の水や樹皮、生物の細胞を観察させた。その結果として、パソコンモニタの画像を共有することで教師と児童との協調的な学びが可能になったと述べている。Tessmerほか（2011）は、小学生（低学年）を対象に、デジタル顕微鏡で撮影された顕微鏡画像をプロジェクタにより投影し観察させた。その結果として、児童らは微生物を指差したり、発話が促進されたり、微生物への興味関心が高まることを示唆した。和田（2012）は、小学生を対象にデジタル顕微鏡を用いて屋外の水中生物を観察させた。その結果として、顕微鏡画面を共有することが生徒の話し合いを活発にさせる可能性を示した。Kiniseley・Capraro（2013）は、小学生を対象にデジタル顕微鏡と光学顕微鏡を用いて昆虫の幼虫を観察させた。その結果として、デジタル顕微鏡を用いた観察は、光学顕微鏡を用いた観察と比較して、観察の気づきが多く、また、撮影された画像を視覚的に見ることができるので児童らの理解が高まったと述べている。Wilmes（2021）は、幼児教室にてノートパソコンに接続したデジタル顕微鏡を使って生徒にミミズを観察させた。その結果、生徒らは

感動的な叫び声をあげたり，画面のミミズを指差したり話し合ったりしながら観察したと述べている．

第5節 本論文の研究目的と構成

第1項 研究目的

先行研究では、スマートフォンやタブレット端末のカメラを活用したり、デジタル顕微鏡やプロジェクタを用いて顕微鏡画像を共有することが有用であるとしている。一方、小学校の実践授業において顕微鏡画像を共有することによる「学習効果」や「学習過程」の分析及び光学顕微鏡の操作性（ピント合わせや探索）に関する改善については報告されていない。そこで、本論文では、従来の光学顕微鏡を用いた顕微鏡観察・授業の問題を解決するため、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを試作・開発した。そして、実践授業におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの有用性を評価することを目的とした。具体的には、以下の5項目を研究目的とした。

- (1) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを「試作」し、システム（試作機）の有用性を評価する（研究1）
- (2) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを「開発」し、実践授業におけるシステムの有用性を評価する（研究2）
- (3) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における「学習効果」を評価する（研究3）
- (4) 従来の光学顕微鏡とテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業の「学習プロセス」を分析し有用性を評価する（研究4）
- (5) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの効果的なディスプレイの配置を検討する（研究5）

第2項 本論文の構成

図 1-1 に、本論文の構成を示す。

第1章では、学校教育を取り巻く環境や小学校理科で行われている光学顕微鏡を用いた水中微生物における観察・授業における問題を整理した。そして、従来の光学顕微鏡を用いた水中微生物の観察における問題を解決するために、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発し実践授業における有用性を評価することを研究目的として述べた。

第2章では、研究1として、デジタル顕微鏡とマルチタッチスクリーン（赤外線 LED 利用）を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機を作製し、大学生によるシステムの評価を行った。その結果、顕微鏡画像の「提示機能」や「興味関心」について有用性が示唆された。一方で、マルチタッチ操作の反応速度を改善する必要性が課題として示された。

第3章では、研究2として、研究1で用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機の不十分な機能を改良して、授業実践用のテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発した。小学校において実践し、従来の光学顕微鏡を用いた授業と本システムを用いた授業について評価した。その結果、「理解」「操作性」「活動」において本システムの有用性が示唆された。また、指差しながら協調的に観察する様子が分析された。課題は、操作性のさらなる改善であった。

第4章では、研究3として、従来の光学顕微鏡と本システムを併用した実践授業を小学校で行い、学習効果及び改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムについて評価をした。その結果、テストの分析結果では、従来の光学顕微鏡を用いたと比較して本システムのほうが学習効果を向上させることが明らかになった。観察時の発話や行動の分析結果から、画面を指差しながら発話したり、他の児童の発話に気づきながら観察する活動がみられた。

第5章では、研究4として、従来の光学顕微鏡を用いた授業とテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを併用した実践授業を小学校で行い、顕微鏡観察時の発話を分析し比較

した。その結果、従来の光学顕微鏡を用いた授業では、教師の発問に対して児童がきづくというプロセスがみられたが、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業では、児童の発話により児童同士がお互いに気づくという様子が明らかになった。また、協同作業への意識が低い児童らは、光学顕微鏡を用いた授業と比較して、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムのほうが、「気づき」や「意欲」において、有用である可能性が示唆された。

第6章では、研究5として、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた水中微生物の観察スケッチにおいて、ディスプレイの縦置提示によるスケッチと水平提示によるスケッチを比較した。分析は、視線計測装置を用いて測定したスケッチにおける視線の移動回数とスケッチ後の質問紙調査により行った。その結果、視線移動回数では水平提示のほうが縦置提示と比較して、視線の移動回数が有意に多く、自由記述では、元図とスケッチ図の比較がしやすい、頭部をあまり動かさなかったとの意見があった。分析結果から、水平提示のほうがスケッチに関して有用である可能性が推察された。研究5は、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を受けて実施した。(承認番号：2015-243)

第7章では、研究1から研究5までの研究において得られた結果を踏まえて、本論文における知見をまとめた。

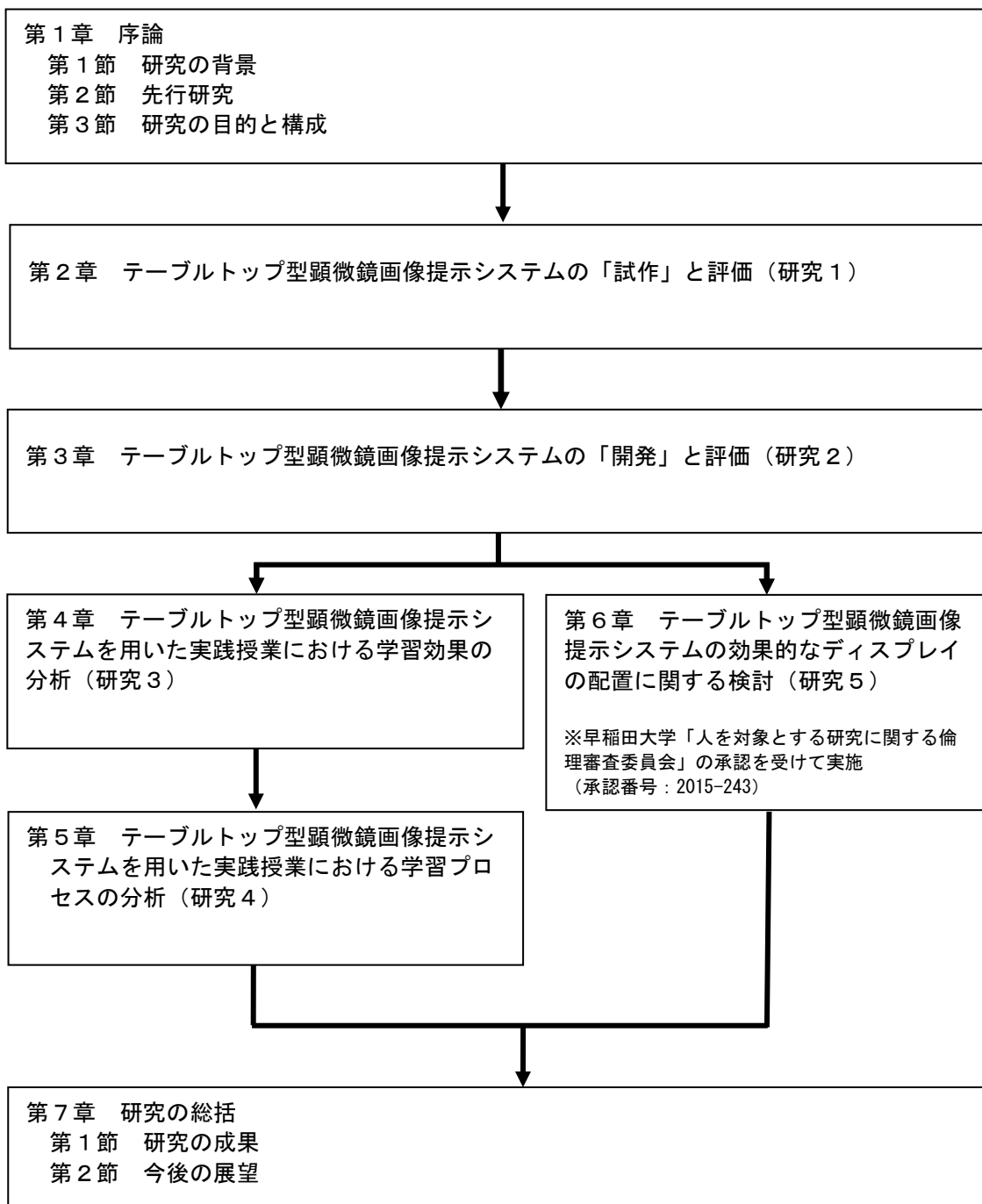


図 1-1 本論文の構成

第2章 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの「試作」と評価（研究1）

第1節 研究目的

第1章の従来の光学顕微鏡を用いた水中微生物の顕微鏡観察・授業における問題を解決するために、マルチタッチタッチスクリーンに顕微鏡画像を投影できる試作機を作製した。そして、マルチタッチの操作性や顕微鏡画像の提示インタフェースの観点から、試作機の有用性を評価することを目的とした。

第2節 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機は、以下の3ステップ（3段階）で作製した。まず、第1ステップとして、システム要件を検討するために、予備調査用として、水平に設置したマルチタッチディスプレイにデジタル顕微鏡を実装したテーブルトップ型顕微鏡画像提示装置（以下、予備調査用装置）を作製した。次に、第2ステップとして、予備調査の評価結果における問題点を踏まえて、試作機（1号機）を作製した。そして、第3ステップとして、試作機（1号機）の評価で不十分とされた機能を改良して、試作機（2号機）を作製した。

第 1 項 予備調査装置の概要

予備調査用装置のハードウェアは、マルチタッチディスプレイ (iiyama 社, PriLite T2250DMTS 21.5 型), デジタル顕微鏡 (Anmo 社, Dino-Lite Basic) で構成される。デジタル顕微鏡の主な仕様は、倍率は 10~230 倍, 解像度は, VGA (640×480) 約 30 万画素である。ソフトウェアは、デジタル顕微鏡に附属しているソフト (Dino Capture 2.0) を用いた。

第 2 項 試作機 (1 号機, 2 号機) の概要

図 2-1 に、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機 (1 号機, 2 号機) の概要を示す。

ハードウェアは、トレーシングペーパーにシリコンゴムを塗装したスクリーン, 赤外線 LED を 60 個取り付け付けたフレーム, アクリル板を加工したタッチパネル, Web カメラを改造した赤外線カメラ, プロジェクタ, 鏡で構成されている。ソフトウェアは、タッチした指先の画像を認識する CCV (Community Core Vision), 顕微鏡画像取り込みソフトで構成されている。試作機は、デジタル顕微鏡から観察される画像や動画 (以下動画像) を撮影し保存することができる。また、保存した動画像の再生やマルチタッチ操作による動画像の拡大・縮小, 回転を複数人により操作可能としている。スクリーンの大きさは、横 450mm, 縦 300mm で、床からスクリーンまでの高さは 700mm である。

図 2-2, 図 2-3, 図 2-4 に、操作の評価に用いたコンテンツ (顕微鏡動画像) を示す。

予備調査用装置及び試作機 (1 号機), 試作機 (2 号機) のディスプレイには、デジタル顕微鏡 (Anmo 社, Dino-Lite Basic) を用いて撮影した玉ねぎの表皮とアオミドロの写真 (倍率はいずれも 200 倍) 及びケンミジンコの動画を提示した。また、光学顕微鏡 (Olympus 社, CHA-LB) を用いて撮影した口腔上皮, 腎臓 (モルモット) の写真 (倍率はいずれも 400 倍) を提示した。

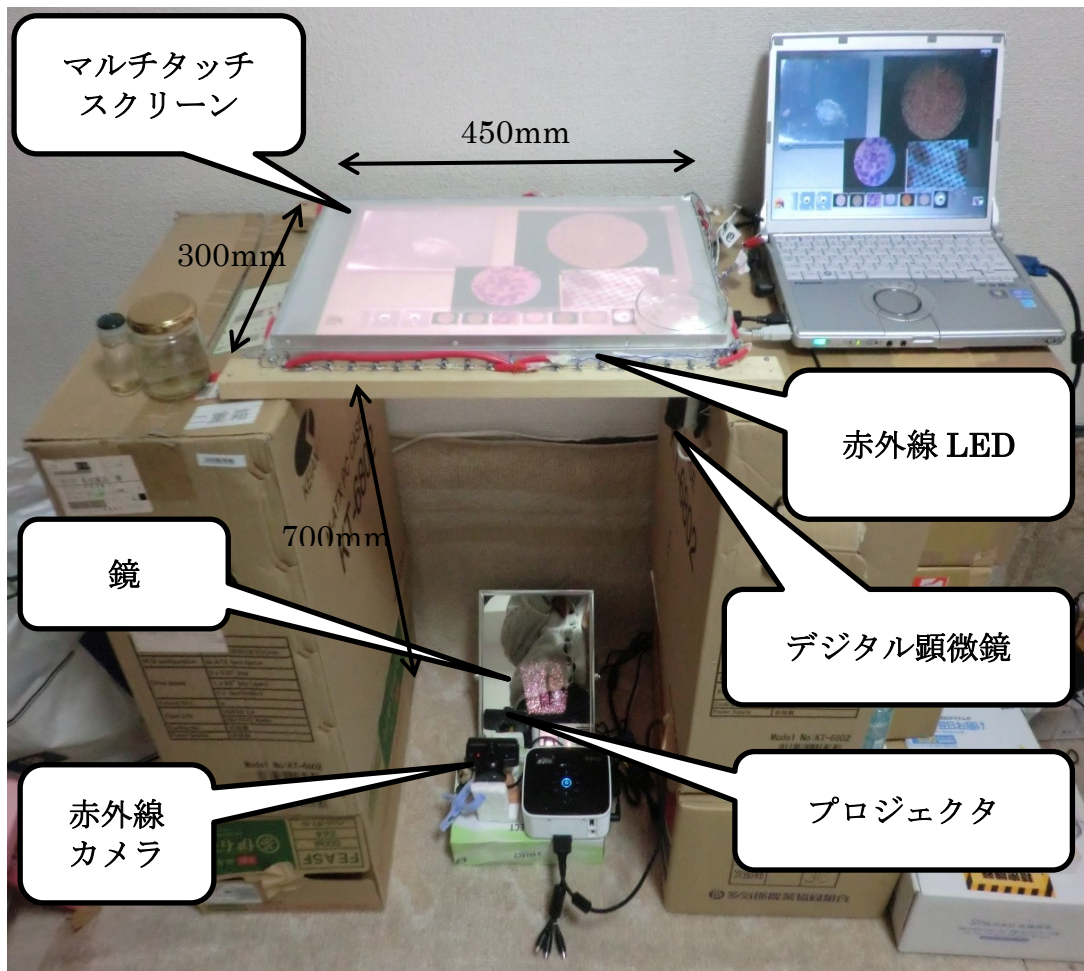


図 2-1 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機の概要

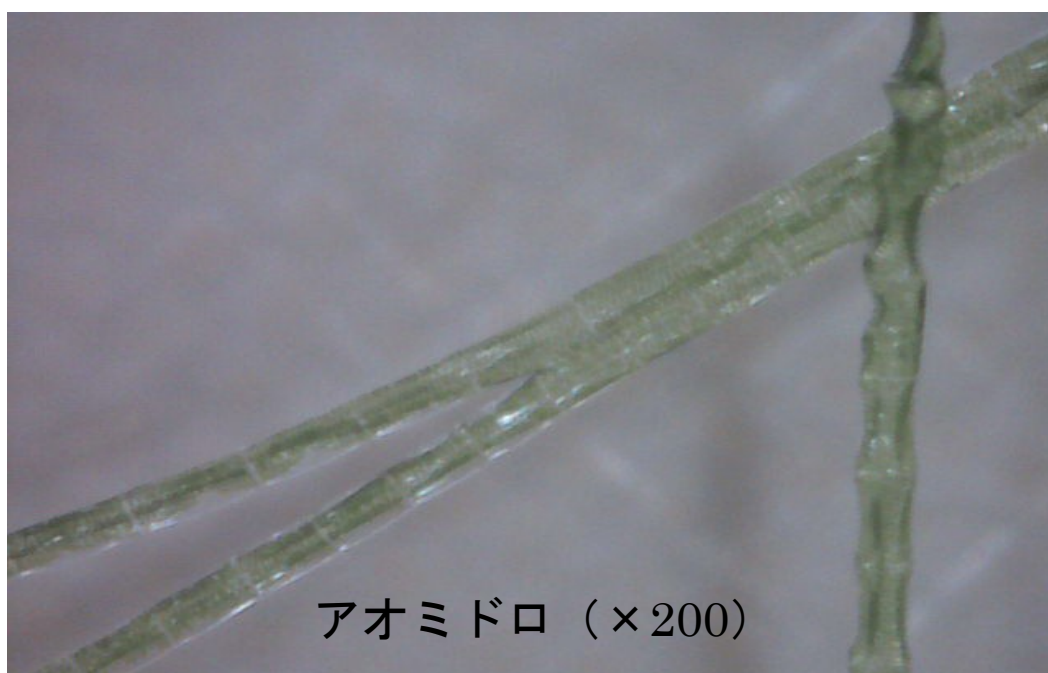
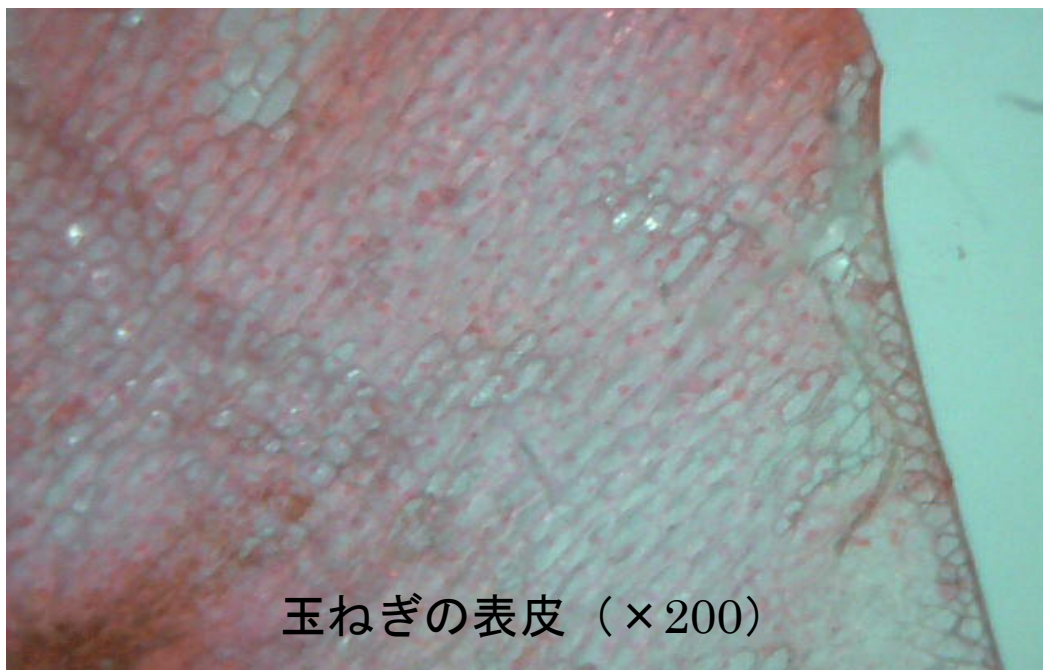


図 2-2 評価用コンテンツ (その1)

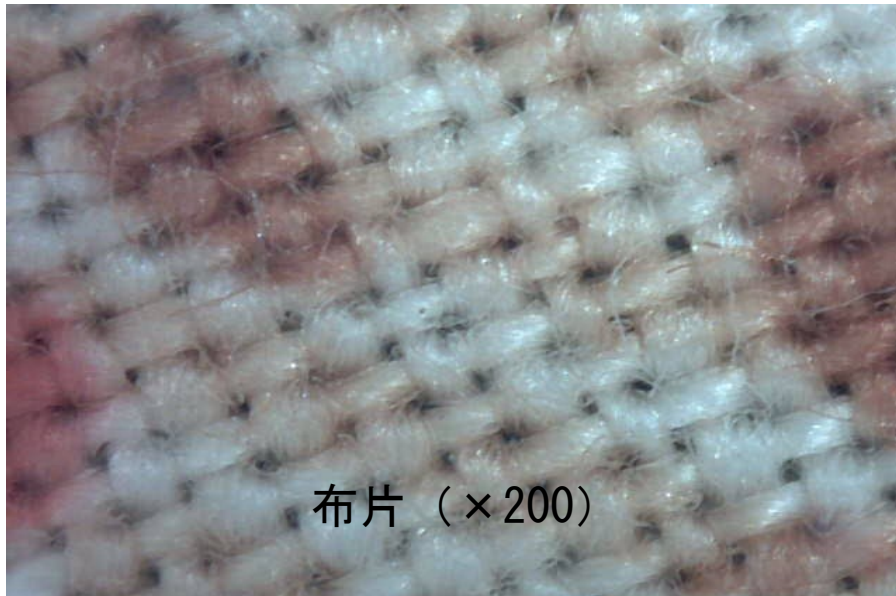


図 2-3 評価用コンテンツ (その2)

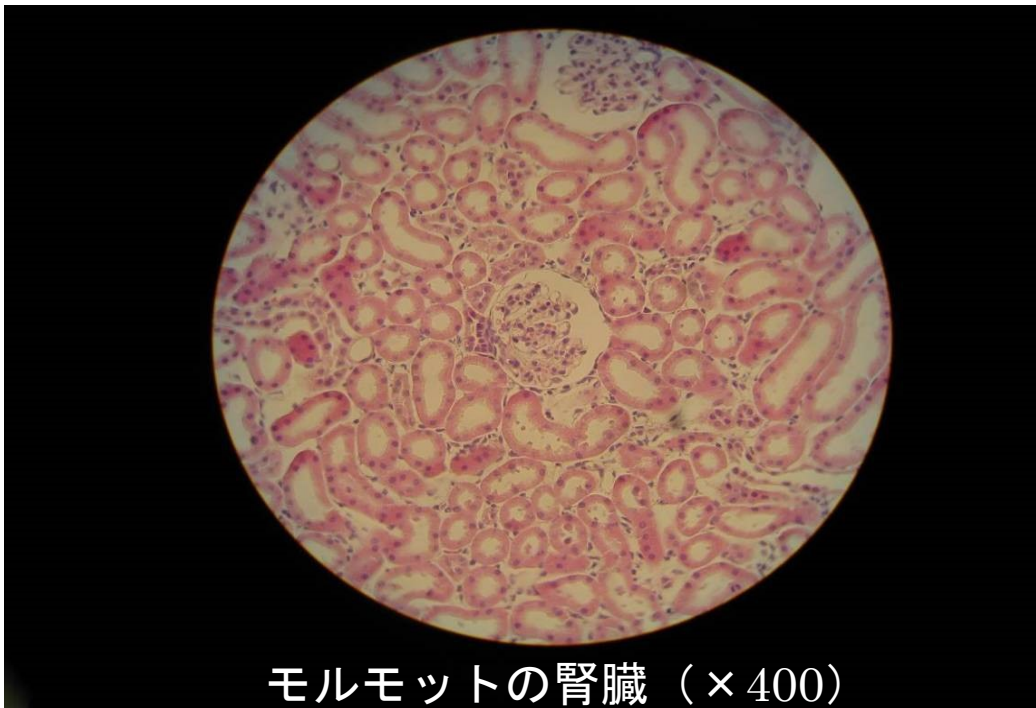
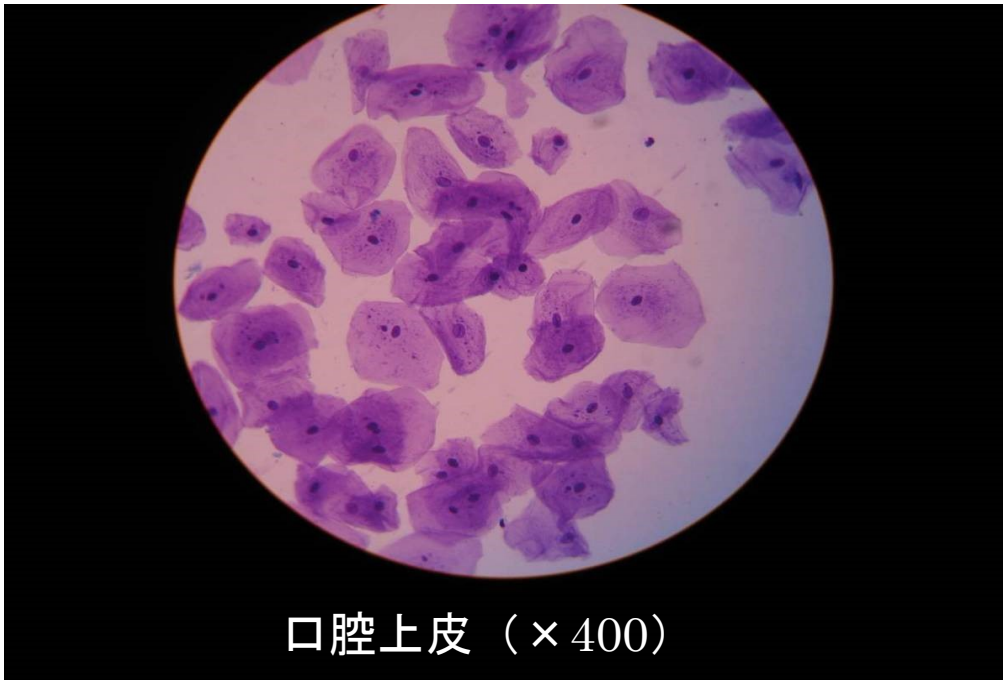


図 2-4 評価用コンテンツ (その3)

第3節 評価方法

第1項 予備調査用装置の評価（有用性に関するインタビュー調査）

図 2-5 に、予備調査用装置の評価模様を示す

予備調査用装置の評価は、小学校教諭2名と小学校5年生1名、中学1年生1名を対象とした。被験者は予備調査用装置のマルチタッチディスプレイに提示した顕微鏡写真や動画をマルチタッチ機能を用いて操作（移動・回転，拡大・縮小）をした。また，デジタル顕微鏡を用いて，サンプル（布切れ）の顕微鏡撮影や撮影した写真の保存・読み出し操作をした。評価方法は，半構造化面接法とした。ヒアリング項目は，マルチタッチの操作性，デジタル顕微鏡の機能（撮影，提示）と操作性，授業（水中微生物の顕微鏡観察）への応用，顕微鏡写真や動画の画質，そして，水中微生物の顕微鏡観察授業以外への活用であった。



図 2-5 予備調査用装置の評価模様

第2項 試作機（1号機, 2号機）の評価

図 2-6 に、試作機（1号機）の評価模様を示す。

試作機（1号機）の評価は、大学生 10 名（男子 7 名，女子 3 名）を対象とした。被験者は、試作したマルチタッチディスプレイに提示された顕微鏡画像と動画をマルチタッチ機能を用いて操作（移動・回転，拡大・縮小）をした。評価方法は半構造化面接とした。ヒアリング項目は、システムの操作性（顕微鏡画像の移動，画像の拡大・縮小・回転，反応速度），画像や写真の鮮明度，スクリーンの大きさ（1名操作での大きさ，2名～4名操作での大きさ）であった。評価模様を撮影したビデオ映像から課題となるキーワードを抽出した。



図 2-6 試作機（1号機）の評価模様

図 2-7 に、試作機（2号機）の評価模様を示す。

試作機（2号機）の評価は、大学生 13 名（男子 10 名，女子 3 名）を対象とした。評価は、試作機（1号機）の評価で不十分とされたマルチタッチ機能改良後の操作性と新たに追加した機能（顕微鏡画像の撮影・提示機能）について行った。評価方法は、被験者が本システムを操作実施（移動，拡大・縮小，回転）後に質問紙に回答する方法とした。質問項目は、「画質」（2 問）、「顕微鏡画像提示機能」（3 問）、「興味関心」（2 問）、「操作性」（3 問）の計 10 問であった。回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」から選択する 4 件法を用いた。分析は、各質問項目の肯定的な回答（「とてもそう思う」、「ややそう思う」と、否定的な回答（「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」の人数をそれぞれ計算し、直接確率計算（両側検定）を用いて行った。

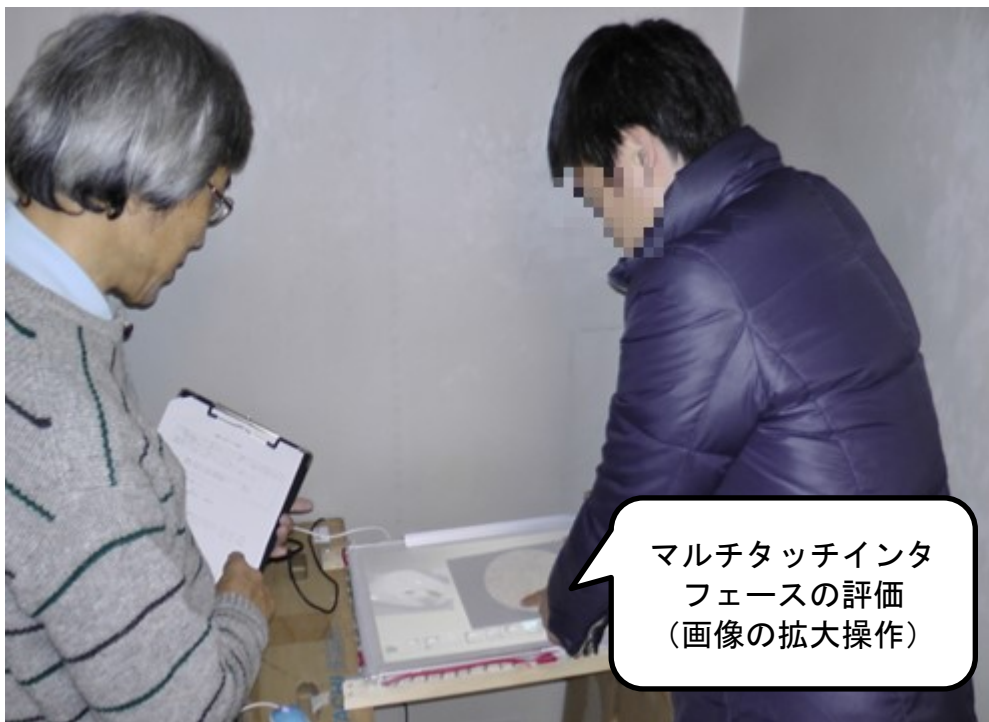


図 2-7 試作機（2号機）の評価模様

第4節 結果と考察

第1項 予備調査用装置の評価結果

予備調査用装置に関する評価結果について、まず、マルチタッチインタフェース機能では、「マウス操作より指のほうが簡単に操作できる」、「写真を簡単に拡大できる」、「特に、撮影した写真や動画が拡大できる点は大変よい」との発言があった。次に、画面共有に関して、「みんなで（ディスプレイに提示された）顕微鏡写真を見ることで話し合いができる」、「画面を共有できるのでグループ学習に良い」、「発言が苦手な児童もこの方式なら参加しやすい」との発言があった。続いて、デジタル顕微鏡機能に関して、「現行の光学顕微鏡より操作が簡単だ」、「対象物を顕微鏡で探すのが簡単そうだ」、「スライドグラスを割らなくてよい」との発言があった。また、「授業では先生が用意した顕微鏡のサンプルを児童がみることが多いが、この装置は探すのが簡単なので、児童らが自ら採取したものが観察しやすい」、「その意味で従来の光学顕微鏡を用いた観察と比較して児童の興味関心がより高まるだろう」と興味関心に関する発言を得た。理科授業以外の活用として、「布片の顕微鏡写真は、縦横に織られている糸の構造が良くわかり家庭科の授業にも使えそうだ」との回答があった。

以上のことから、直感的な操作ができるマルチタッチ機能を有したディスプレイを水平に設置し、顕微鏡画像を共有する仕組みは有用である可能性が示唆された。また、デジタル顕微鏡を用いた水中微生物の観察は、従来の光学顕微鏡を用いた観察を補完できる可能性が推察された。

第2項 試作機（1号機、2号機）の評価結果

試作機（1号機）の評価結果では、マルチタッチの操作性に関して、「スクリーンに最初にタッチした時に、画像（写真）が動く反応速度が遅い」、「画像を細かく移動することができない」、「特に上下の移動については画像が斜めに移動してしまう」、「画像（写真）の精度は、もう少し鮮明なほうがよい」、「画像を拡大するとボヤケてしまうのでスケッチ

がしにくいだらう」との問題点が明らかになった。システム開発に向けてさらなる改善が必要であることが明らかになった。

表 2-1 に、試作機（2 号機）の操作性に関する直接確率計算の分析結果を示す。

分析の結果、「画質」、「顕微鏡画像提示機能」、「興味・関心」については肯定的回答が有意に多かった。また、操作性の「タッチした位置とマウス位置との一致」は肯定的回答が有意に多かった。「顕微鏡画像提示機能」及び顕微鏡観察への「興味・関心」の有用性が示唆された。一方、「タッチ時の反応速度」、「スムーズな写真の移動」については、人数の偏りは有意ではなかった。「タッチ時の反応速度」、「スムーズな写真の移動」については、さらなる改良が必要であることが明らかになった。

表 2-1 試作機（2 号機）の操作性に関する分析結果

質問項目	肯定的回答(人)		否定的回答(人)		検定 (両側検定)
	とても そう思 う	ややそ う思 う	あまりそ う思 わない	まったく そ う思 わな い	
提示した写真で概要が理解できる	9	3	1	0	**
提示した写真でスケッチがしやすい	9	3	1	0	**
従来の顕微鏡を用いた観察と比較して操作が簡単である	6	7	0	0	**
小学生にも簡単に操作が可能である	6	5	2	0	*
倍率(高倍率)はできたほうが良い	6	5	2	0	*
小学生にも興味関心が高まる	10	3	0	0	**
顕微鏡画像の撮影・提示に興味関心が高まる	3	8	2	0	*
タッチした位置とマウスの位置が一致する	3	8	2	0	*
スクリーンにタッチした時の反応速度は適切だ	1	6	6	0	<i>n.s.</i>
任意の位置にスムーズに写真が動く	0	5	8	0	<i>n.s.</i>

**: $p<.01$, *: $p<.05$, *n.s.*:not significant

第5節 まとめ（研究1）

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機を作製し、小学校教諭、児童・生徒へのインタビュー調査（予備調査）及び大学生による試作機（1号機，2号機）の評価を行った。その結果，テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機は，従来の光学顕微鏡を用いた顕微鏡観察と比較して，操作性や児童らの興味・関心において有用である可能性が示唆された。課題は，タッチ時の操作性改善（反応の速度向上）と実践授業で用いるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの開発，そして，小学生を対象とした実践授業におけるシステムの有用性を評価することであった。

第3章 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの「開発」と評価（研究2）

第1節 研究目的

第2章（研究1）における試作機の評価結果を踏まえて、実践用のテーブルトップ型顕微鏡画像提示システム（以下、MT スコープ）を開発した。そして、小学生を対象として授業実践におけるシステムの有用性を評価することを目的とした。

第2節 方法

試作機（2号機）及び森田ら（2014a）の課題を、森田ら（2012）を参考に改良し、授業実践に用いるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システム（以下、MT スコープ）を開発した。主な改善点は、高輝度の赤外線 LED を 128 個増設（試作機は 60 個）、シリコン 4 回塗装、Web カメラのフォーカス調整であった。また、複数の児童をスクリーンの周りに配置できるように、試作機（2号機）（横 450mm、縦 300mm）よりスクリーンサイズを大きくした（横 650mm、縦 560mm）。

第1項 授業実践

図 3-1 に、MT スコープの設置模様を示す。

対象は、小学校 5 学年 33 名（男子 17 名、女子 16 名）であった。授業の単元は小学校理科 5 学年における「動物の誕生」であった。授業では、教師が「水の中の小さな生物はどんな動きをしているのだろうか」と発問し、小さな生き物の動きに着目して観察をさせた。本授業実践では、MT スコープを 2 台用意し、理科室に設置した。児童らは、2 つのグループに分かれ、それぞれが指定された MT スコープを用いて観察を行った。児童らは MT スコープを取り囲むように、前列には 7 名～8 名が着席し、後列には 10 名程度の児童が立ち姿で観察を行った。児童らは、前列と後列が適宜入れ替わって観察した。また、指定された MT スコープを観察するだけでなく、もう一方の MT スコープにも自由に移動し、観察をすることができるよう配慮した。MT スコープの 1 台には教師が、もう一台の MT スコープには著者が立ち合い、児童らに操作説明を実施した。その後、児童らは適宜交代をしながら、自ら MT スコープを操作し観察を行った。観察場面において、児童ら

は、マルチタッチスクリーンの下部に設置したデジタル顕微鏡に合わせてスライドガラスを配置し、指によるタッチ操作でピントを合わせ、動画像の撮影や保存を行った。そして、画面に提示された水中微生物の動きを観察し、その様子をスケッチするとともに気がついた点を紙のワークシートに記入した。



図 3-1 MT スコープの設置模様

図 3-2 に，MT スコープを用いた観察時の活動風景を示す．

児童らは，MT スコープにより拡大されたミジンコの心臓や触角が動く様子や，ミジンコがゾウリムシを捕食する様子を，リアルタイムで指さし行為をしながら観察をしていた．また，児童らは，マルチタッチ操作を用いて，撮影した動画の拡大や回転，写真の移動を行っていた．また，観察しやすい位置に写真を移動したり，写真と動画を比較したりしながらスケッチを行っていた．これらの活動中，動画の拡大や写真の移動を，別々の児童が同時に操作する場面が見られた．

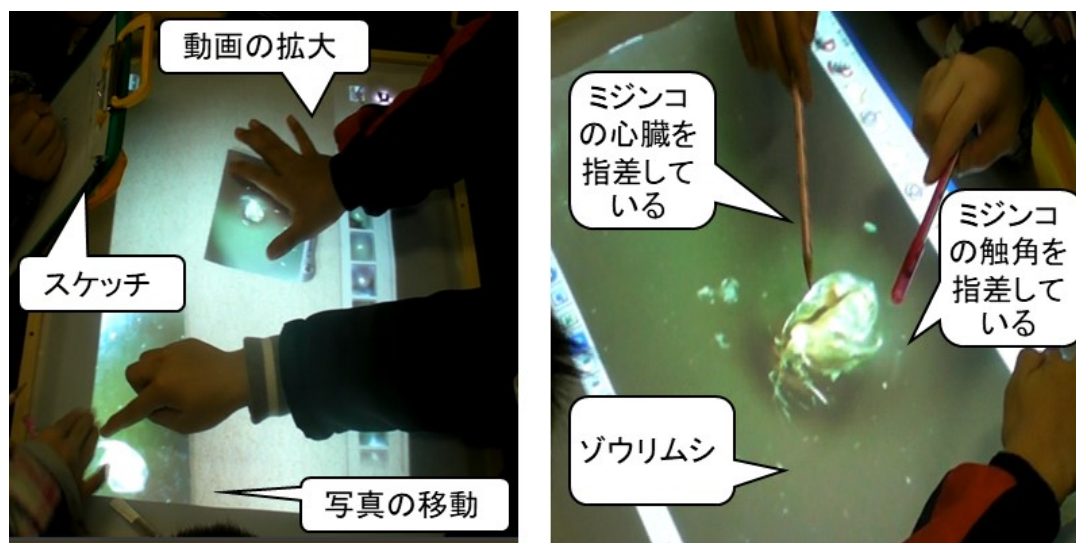


図 3-2 MT スコープを用いた観察時の活動風景

第2項 質問紙調査

(1) 授業に関する調査

MT スコープを用いた授業について、従来の光学顕微鏡を用いた授業と比較するため、MT スコープを用いた授業の前と後に、被験者 33 名を対象とした質問紙調査を実施した。それぞれ、事前質問紙、事後質問紙と呼ぶ。事前質問紙と事後質問紙の授業に関する共通の質問項目は、「理解」(1 問)、「操作性」(2 問)、「活動」(3 問)の計 6 問であった。回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」から選択する 4 件法を用いた。分析は、各質問項目別に、「とてもそう思う」を 4 点、「ややそう思う」を 3 点、「あまりそう思わない」を 2 点、「まったくそう思わない」を 1 点として分析は、各質問項目別に、「とてもそう思う」を 4 点、「ややそう思う」を 3 点、「あまりそう思わない」を 2 点、「まったくそう思わない」を 1 点として点数化平均値を算出した。分析は、光学顕微鏡を用いた授業、MT スコープを用いた授業の「学習方法」を要因(2 水準、被験者内比較)としてマンホイットニーの U 検定を用いて行った。また、MT スコープを用いた観察時や操作時の活動風景を記録したビデオ映像から児童の会話を抽出した。

(2) システムの機能に関する調査

事後質問紙の MT スコープの機能に関する質問項目は、「観察」(3 問)、「意欲・関心」(3 問)、「操作性」(4 問)の計 10 問であった。回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」から選択する 4 件法を用いた。分析は、各質問項目の肯定的な回答(「とてもそう思う」、「ややそう思う」と、否定的な回答(「あまりそう思わない」、「まったくそう思わない」)をそれぞれ算出し、直接確率計算(両側検定)を用いて行った。また、「MT スコープの良いところ」、「MT スコープの悪かったところ」、「本日の MT スコープを用いた授業の感想」の計 3 問について、自由記述で回答させた。MT スコープの機能に関する自由記述をカテゴリに分類し集計した。

第3節 結果と考察

第1項 授業に関する評価

児童らの事前活動調査の結果、児童1名が光学顕微鏡を用いた観察をしていないことが明らかになった。また、事後質問紙の自由記述から、児童1名がMTスコープの操作ができなかったことが明らかになった。児童6名が事前質問紙と事後質問紙のどちらかに回答していないことも明らかになった。以上の計8名を除外し、有効回答数を25件として分析を行った。

表3-1に、MTスコープを用いた授業に関する分析結果を示す。光学顕微鏡を用いた授業とMTスコープを用いた授業に関する比較では、「理解」($U=190.5$, $p=0.003$; $U=194.0$, $p=0.005$), 「操作性(探索)」($U=154.5$, $p=0.001$), 「活動(スケッチ)」($U=175.0$, $p=0.004$)の各項目において、有意な差があった。一方、「操作性(ピント合わせ)」($U=237.0$, $p=0.103$), 活動「話し合い」($U=251.0$, $p=0.193$)の項目において、有意な差がなかった。これらのことから、児童が以前受けた光学顕微鏡を用いた授業と比較して、MTスコープを用いた授業のほうが興味や理解を促す可能性が示唆された。また、児童の活動についても、スケッチがしやすく、協調的な学習を促進する可能性が示唆された。なお、児童全員が紙のワークシートへ観察したミジンコやゾウリムシなどのスケッチと観察で気づいた点、感想を記述していた。観察時における児童らの模様を分析するために、活動状況を記録したビデオ映像から児童の会話を抽出した。例えば、ミジンコの捕食場面において、動いているゾウリムシを指差し、“ミジンコのほうにいくな、食べられるう”、“この動いているのは心臓?”、“こっちはクチビルケイソウじゃない?”など、他の児童との会話が活発にされていた。会話の多くはMTスコープの前列に着席した児童らの発言であった。前列の位置では、スクリーン全体が後列の児童らより見やすく、水中微生物の動きをより詳細にみることができ、指差ししながら発言できるなどから会話が多かったと推察される。そこで、MTスコープの増設、班ごとの交代による観察方法などを検討す

れば、全員が MT スコープの前列に位置できることから、さらなる活発な発言が期待される。

表 3-1 MT スコープを用いた授業に関する分析結果

カテゴリ		質問項目 (** $p < .01$)
	理解	授業はわかりやすかった (**)
操作性	探索	小さな生き物を探すのは簡単だった (**)
	ピント合わせ	小さな生き物にピントをあわせる操作は簡単だった
活動	スケッチ	小さな生き物をスケッチするのは簡単だった (**)
	態度	授業は楽しかった (**)
	話し合い	小さな生き物の写真やビデオを見ながら他の児童と活発に話し合うことができた

表 3-2 に、活動風景を記録したビデオ映像からミジンコの捕食シーンを観察している児童らの発話プロトコルを示す。児童らが観察している画面には、生きているミジンコが中央にその周りをゾウリムシが複数匹ランダムに移動している様子が映し出されていた。児童 A が ID01 で「あ、いま、たべた」とミジンコが何かを食べたことを発話し、それを受けて児童 B が ID02 で「えっ、うそ、今、なにかおなかにはいつていったよね」とさらに気付いた点を詳しく述べていた。この 2 名の発話を受け、児童 C が、ID03 で「え、なにたべてるの？」と質問し、さらに、この 3 名の発話をうけ、児童 D は、ID04 で「あ、たべてる、たべてる、たべてる」とミジンコが何かを捕食している様子を確認していた。ID01～04 の発話プロトコルにみられるように、児童 A の発話を受け、児童 B がさらに意見を述べ、気がつかなかった児童 C が発問し、児童 D が食べていることを確認するといった他者の気づきや質問を通じて協調的に学んでいく様子を明らかになった。児童 A と児童 B の発話 (ID01, ID02) は同時に画面をみていないと発話できないと考えられる。1 台の光学顕微鏡を児童が交代しながら観察する方法では、同一の画面をリアルタイムで複数人が観察することは困難である。MT スコープの複数人が同時に観察できる機能は、児童同士の会話の機会を増やし協調学習において有用である可能性が考えられる。

表 3-2 児童らの観察時の発話プロトコル (ミジンコの捕食シーン)

発話 ID	発話者	発話内容
01	A	あ、いま、たべた。
02	B	えっ、うそ、今、おなかに入っていたよねえ。
03	C	え、なにたべてるの？
04	D	あ、たべてる、たべてる。

図 3-3 に、観察時における発話と指差し行為の様子を示す。

活動の様子を記録したビデオ映像から指差し行為を抽出した。その結果、指差した対象物と回数は、ミジンコ本体 4 回、ミジンコの排泄物 5 回、ゾウリムシ 4 回の計 13 回であった。このうち、発話と同時に指差しを行ったケースは 7 件であった。例えば、「あっ、うんぴーでた」と発話しながらミジンコの排泄物を指差したり、「しろーい」と言って鉛筆でミジンコの白いお腹を指差する様子が観察された。従来の光学顕微鏡を用いた観察では指差し行為や発話と同時に対象物を指差すことは困難である。MTスコープの指差し行為と発話を同時に行うことができる機能は、協調学習における自己の理解や他者の気づきを促進させる可能性があるかと推察される。



図 3-3 児童の活動模様(発話と同時に指差し行為)

第2項 システムの機能に関する評価

表 3-3 に、MT スコープの機能に関する直接確率計算結果を示す。有効回答数は 25 件であった。分析の結果、「観察」、「意欲・関心」、「操作性」のすべての項目において、有意に肯定的な回答を得られたことが明らかになった。MT スコープに実装した、動画像の撮影や保存、マルチタッチ操作を用いた撮影した動画の拡大や回転、写真の移動機能は、学習者の「観察」、「意欲・関心」を高める可能性があると考えられる。

表 3-4 に、MT スコープの機能に関する自由記述の集計結果を示す。MT スコープの良かった点に関する自由記述の回答は、33 件であった。「みやすい」が 9 件と最も多く挙げられた。また、「細かいところがみえる」が 8 件であった。MT スコープに実装した画面サイズやデジタル顕微鏡の倍率、動画像の拡大による細部の観察が可能なマルチタッチ方式は、グループ学習による顕微鏡観察において有用であったといえる。また、「生き物の生体（動き）を良く知ることができた」、「細かいところまでしっかりみえた」などの回答から、写真や動画の拡大と繰り返し再生できる機能は、被験者の観察時間を増やし、被験者の理解と観察意欲を高める上で効果的であったと考えられる。一方、MT スコープの悪かった点に関する自由記述の回答は、13 件であった。「反応が悪い」が 8 件と最も多く挙げられた。その他、「動きが遅い」が 3 件であった。これらの回答から、一部のタッチ操作に不具合があったことが明らかになった。記録した活動状況のビデオを分析した結果、MT スコープのピントを合わせる操作時において、被験者が何度も連続してタッチするなど、操作に戸惑う場面が確認された。この要因は、ピントを合わせるアイコンの大きさが指先より小さいため、指先とアイコンとの位置がずれることに起因していると考えられる。アイコンの大きさなどを改良すれば、ピント合わせの操作性を高められる可能性があると考えられた。

表 3-3 MT スコープの機能に関する分析結果

	質問項目 (** $p<.01$, * $p<.05$)	肯定的回答(人)		否定的回答(人)	
		とても 思う	そう 思う	やや 思わ ない	ま った く 思 わ な い
観 察	撮影した写真をみることで、小さな生き物の観察がよくなった(**)	20	4	1	0
	撮影したビデオをみることで、小さな生き物の観察がよくなった(**)	22	2	0	1
	小さな生き物について、よく考えることができた(**)	19	6	0	0
意 欲	今後も本日の装置を使った授業を受けてみたい(**)	23	2	0	0
	花粉などの他の小さなものを本日の装置をつかって観察したい(**)	21	4	0	0
関 心	今後も小さな生き物について学びたい(**)	19	5	1	0
操 作 性	小さな生き物をビデオに撮る操作は簡単だった(**)	16	7	1	1
	小さな生き物を写真に撮る操作は簡単だった(**)	15	9	1	0
	指でタッチしながら、写真やビデオを移動する操作は簡単だった(**)	12	12	1	0
	指でタッチしながら、写真やビデオを大きくしたり、小さくしたりする操作は簡単だった(**)	11	7	7	0

表 3-4 MT スコープの機能に関する自由記述の集計結果

カテゴリ(回答数)	具体的な回答例
良 か っ た 点	見やすさ(9) 「顕微鏡より見やすい」「すごく見やすくて、良かった」「いろいろなメニューがあり、観察しやすかった」
	倍率(8) 「細かい所まで、しっかり見えた」「小さい物がとても大きくみえる」「顕微鏡より大きく見えた」
	わかりやすさ(7) 「大きな画面でわかりやすかった」「生き物の生体(動き)を良く知ることができた」
	タッチ操作(6) 「タッチで操作できるので、わかりやすい装置だった」「指で操作できて、楽しかった」「指で簡単に操作できた」
	画質(2) 「画質が良かった」
ビデオ撮影(1)	「ビデオを撮れる機能は良かった」
悪 か っ た 点	反応(8) 「反応が悪い時があった」「タッチしても、反応しない時があった」「操作できるところと、できないところがあった」
	動作(3) 「動きが遅い」「時々バグってしまうことあった」
	操作(探索)(2) 「探す操作が難しかった」

第4節 まとめ（研究2）

研究2では、マルチタッチ方式を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発した。そして、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いて授業実践を行い有用性を評価した。その結果、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業は、従来の光学顕微鏡を用いた授業に比べ、「理解」、「操作性」、「活動」において有用性が高いことが示唆された。また、児童らはお互いに対話しながら微生物を観察している様子が明らかになった。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの機能は、「観察」、「意欲・関心」、「操作性」において、水中微生物の観察に効果的であることが示唆された。今後の課題は、ピント合わせの操作性を高める改良を行い、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業の学習効果を検証することである。

第4章 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における 学習効果の分析（研究3）

第1節 研究目的

研究3では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業の「学習効果」に着目し、以下の3つを研究目的とした。

まず、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業と従来の光学顕微鏡を用いた授業における学習効果及び授業に関する評価をする（目的1）。次に、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた観察活動の詳細な分析（観察箇所の分析、発話分析、指差し分析、観察した水中微生物の分析）をする（目的2）。そして、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性に関する評価をする（目的3）。

第2節 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの概要

図 4-1 に、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システム（以下、MT スコープ）を示す。MT スコープは、デジタル顕微鏡と赤外線を用いた FTIR 方式（Frustrated Total Internal Reflection）のマルチタッチスクリーンを組み合わせた装置である。デジタル顕微鏡で撮影された顕微鏡写真や動画（以下、動画像）は、底面に水平に設置されたプロジェクタから投射され、プロジェクタの投射レンズの前方に斜めに取り付けられた鏡の反射により、マルチタッチスクリーンの底面に投射される。児童はマルチタッチスクリーンに投射された動画像を見て観察を行う。タッチ時の反応速度の改善方法は森田ほか（2015b）が報告しているシリコン塗装方法を参照した。本実践では、研究2で用いた MT スコープのマルチタッチスクリーンに、シリコン膜の再塗装（4回塗り）をする改良を行い、タッチした指の認識率をアップさせることでタッチ時の反応速度を向上させた MT スコープを用いた。

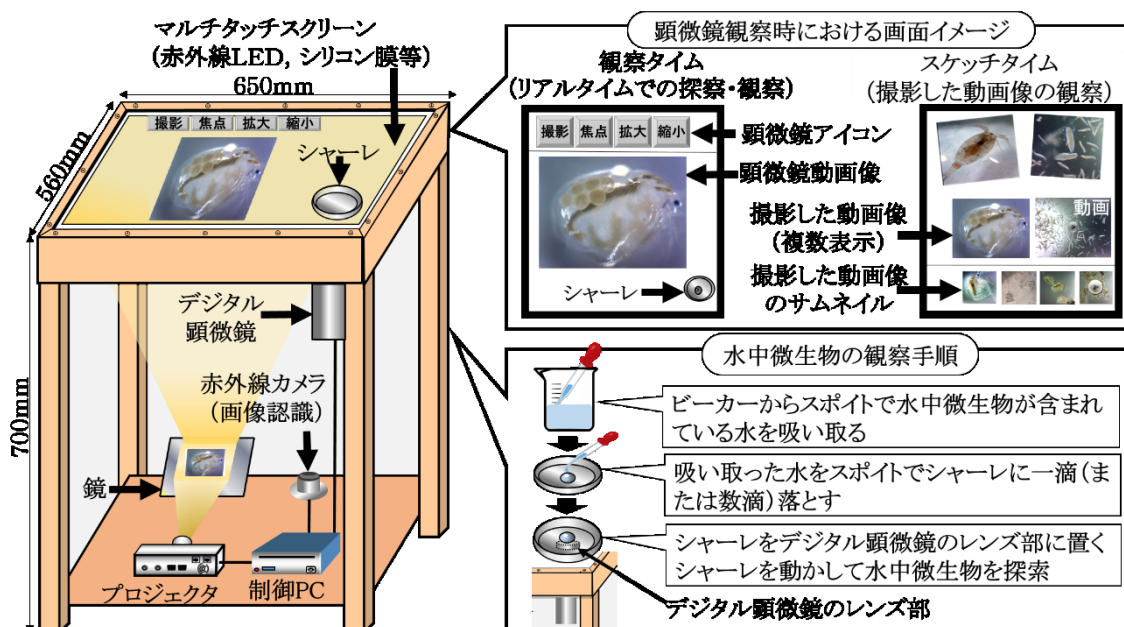


図 4-1 改良した MT スコープの概要と水中微生物の観察手順

第3節 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの観察の手順

MT スコープを用いた水中微生物の観察手順は以下のとおりである（図 4-1 参照）。

まず、水中微生物が含まれている水を入れたビーカーからスポイトで水を吸い取る。次に、スポイトを操作してシャーレに一滴（または数滴）水を落とし、直径が 5mm～10mm 程度の水滴をつくる。そして、水滴が入ったシャーレをタッチスクリーンの顕微鏡観察位置（デジタル顕微鏡のレンズ部）に置く。マルチタッチスクリーンにデジタル顕微鏡により撮影された顕微鏡の動画像が映し出される。シャーレを手で動かし、映し出された動画像を見ながら、水中微生物の探索を行う。水中微生物へのピント合わせは、デジタル顕微鏡のオートフォーカス機能により自動的に行われる。映し出された顕微鏡の動画像はタッチ操作で撮影し、保存することができる。顕微鏡の倍率はタッチ操作により 2 段階（拡大モード、縮小モード）に変更できる。MT スコープは画面にタッチした位置を同時に 20 か所認識できる（マルチタッチ機能）。この機能により複数人が、同時に保存した動画像を操作（移動、拡大縮小、回転）できる。MT スコープを用いた観察では、児童らは MT スコープの周りを取り囲み（たとえば、MT スコープの 1 辺に 2 名程度）立ち姿でマルチタッチスクリーンに映し出された水中微生物の観察を行う。

第4節 方法

第1項 授業実践

(1) 授業デザイン

図4-2に、授業実践の手順を示す。また、図4-3に、児童の活動模様（観察、スケッチ）を示す。

実践授業には、公立小学校5年生29名（男子15名、女子14名）が参加した。授業の単元は小学校5学年における「動物の誕生」であった。授業の狙いは、水中微生物の顕微鏡観察を通して、水中微生物の存在や大きさについて実感を伴った理解をさせ、生命を尊重する態度を育て、動物の発生や成長について見方や考え方を持つことができるようにすることであった。授業内容は、学習指導要領の内容（最低限教えるべき教育内容）と発展的な学習内容（学習指導要領の内容の理解を深めたり、児童の興味・関心を広げたり、児童が主体的に取り組み意欲を高める内容）であった。授業では教師が「水の中の魚は何を食べているのだろうか。水の中に餌になる生き物がいるのだろうか」と発問し、水中微生物の姿や大きさ、動きに着目させて観察をさせた。実践授業は1授業時限（45分）で実施された。29名に事前テストを行った。事前テストの結果をもとに、児童らを2つのグループ（光学顕微鏡班：14名、MTスコープ班：15名）に分けた。

光学顕微鏡班は、従来の光学顕微鏡による水中微生物の観察を行った後、事後テスト観察に関する質問紙に回答した。続いて、MTスコープによる水中微生物の観察を行い、その後授業に関する質問紙に回答した。MTスコープ班は、MTスコープによる水中微生物の観察を行った後、事後テストと観察に関する質問紙に回答した。続いて、光学顕微鏡による水中微生物の観察を行い、その後授業に関する質問紙に回答した。光学顕微鏡とMTスコープは、それぞれ別々の教室（特別教室と理科室）に設置した。

特別教室は、廊下（2m程度）をはさんで理科室の反対側の位置であった。光学顕微鏡班及びMTスコープ班は観察時において、それぞれの教室（特別教室、理科室）を自由に行

き来することはできなかった。このことから、光学顕微鏡班の活動模様（例、話し合いや、歓声など）がMTスコープ班の児童らに伝わることはなく、また、MTスコープ班の活動模様が光学顕微鏡班に伝わることはなかった。児童らはお互いの活動模様が相互に影響しあうことのない環境で水中微生物の観察を行った。実践に参加した児童29名は、事前授業において、市販されている水中微生物のプレパラート（以下、サンプルプレパラート）を用いて、光学顕微鏡の操作（ピント合わせ、照明の調整、探索方法）を学んでいた。事前授業では、児童らは水中微生物の観察を行っておらず、本実践授業で児童らは初めて水中微生物の観察を行った。

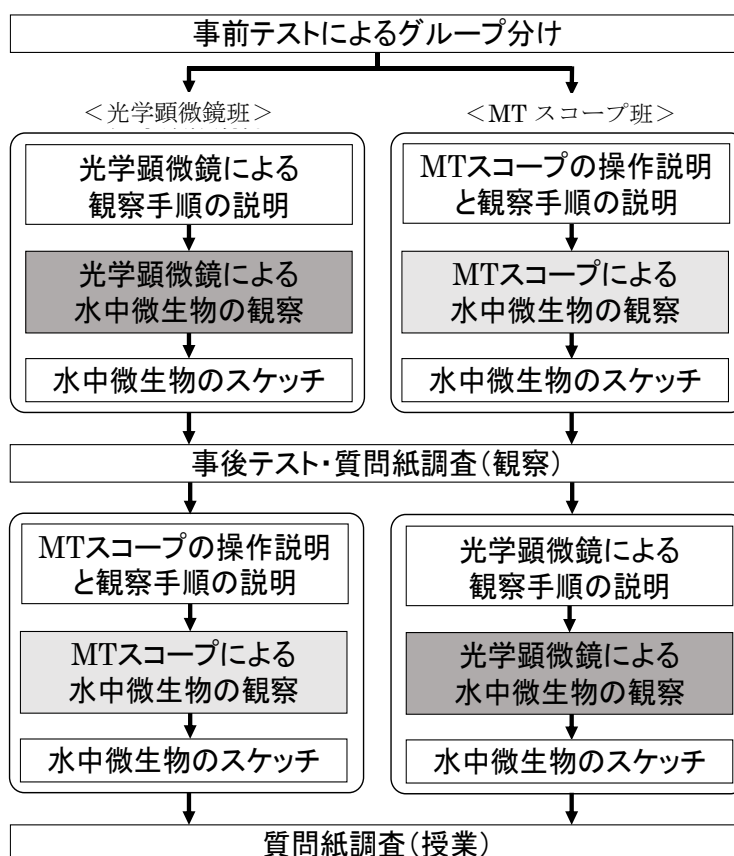


図 4-2 授業実践の手順

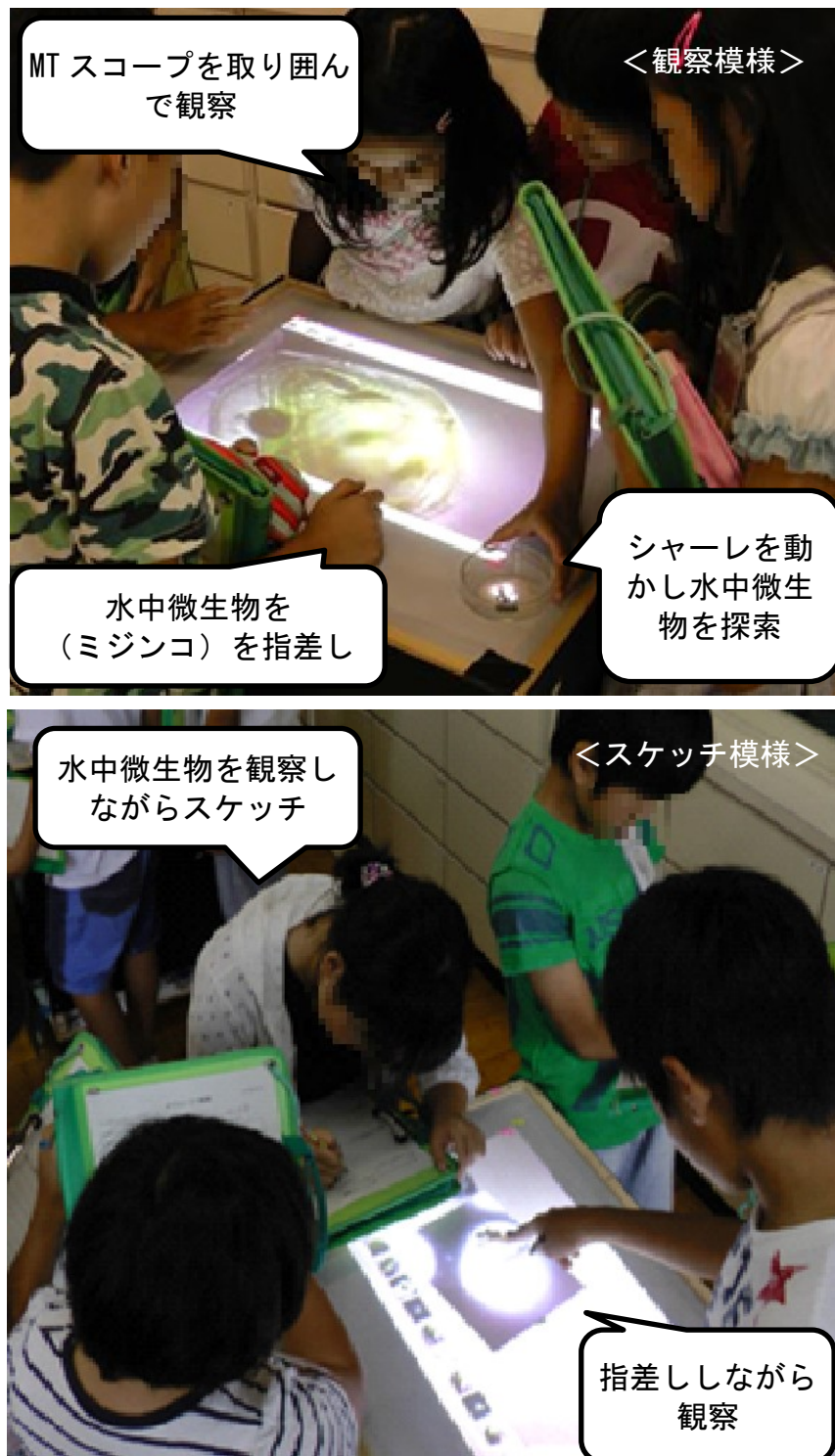


図 4-3 MT スコープを用いた児童の活動模様 (観察, スケッチ)

(2) 光学顕微鏡を用いた水中微生物の観察

特別教室には、2名の児童が交代して使用するグループ観察用の光学顕微鏡を7台、ひとりで使うことができる個人観察用の光学顕微鏡を3台、水中微生物のサンプルを観察するためのサンプル観察用光学顕微鏡を6台、計16台の光学顕微鏡を設置した。サンプル観察用の光学顕微鏡6台には、教師により事前にピント合わせがされたサンプルプレパラートがセットされていた。児童らは、サンプル観察用の光学顕微鏡の操作を行わずに、接眼レンズを覗くだけで水中微生物のサンプルを観察することが可能であった。児童らが観察するために、二人掛けができる作業机（長さ180cm、幅60cm）を8台用意し、正方形（各辺を机2台とした）に配置した。1台の机には、2脚の椅子と1台の光学顕微鏡を用意した。観察用の光学顕微鏡10台（交代で使用する光学顕微鏡7台、個人観察用の光学顕微鏡3台）が置かれた机には観察に用いる試料・器具を入れたトレイを設置した。トレイには「水中微生物が入ったビーカー、スライドガラス、カバーガラス、スポイト、ピンセット、ティッシュ」をセットした。

光学顕微鏡を用いた観察手順の説明は、教師（理科専科）1名が行った。説明内容は以下のとおりであった。教師は、「まず、水中微生物が入ったビーカーの水をスポイトで取り、スライドガラスの上に一滴落とし、カバーガラスをかけてプレパラートを作成する。次に、プレパラートを光学顕微鏡のステージに乗せてピントあわせを行う。そして、プレパラートを動かしながら水中微生物を探察する。最後に、水中微生物を発見したらワークシートに水中微生物のスケッチと観察で気づいた点や感想を書く」と説明をした。続いて、教師は、「ひとりで使用できる光学顕微鏡が3台、市販の水中微生物のプレパラートがセットされているサンプル観察用の顕微鏡が6台あり、自由に観察してよい」と説明をした。なお、光学顕微鏡の操作手順は事前授業にて行われていたため、教師は光学顕微鏡の操作手順については説明をしなかった。教師の観察手順の説明時間は1分54秒であった。教師の観察手順の説明後、児童らは光学顕微鏡による観察を行い、スケッチや、気づいた

点、感想をワークシートに記入した。光学顕微鏡による観察（スケッチ・感想含む）時間は約15分であった。光学顕微鏡による観察時における児童らの光学顕微鏡の操作や水中微生物の同定の質問には、教師（1名）が対応した。光学顕微鏡による観察の活動模様を2台のビデオカメラで記録をした。ビデオカメラは、1台を前方にある教師机の上に設置し、前方から後方の児童らに向かって撮影した。もう一台は後方の棚の上に設置し、教室の後方から前方に向けて撮影をした。

(3) MTスコープを用いた水中微生物の観察

MTスコープは3台（1号機、2号機、3号機）用意し、理科室の後方の空きスペースに設置した。各MTスコープの設置間隔は、約2mとした。1台のMTスコープの周りを取り囲むように児童を配置した。MTスコープの操作説明及び観察手順の説明は著者が行った。説明内容は以下のとおりであった。まず、「水中微生物の入ったビーカーからスポイトで適量（1cm程度）を吸い取り、シャーレの任意の場所に一滴落とす。次に、水中微生物が入ったシャーレをタッチ画面の顕微鏡のレンズ部分に乗せる。シャーレを動かしながら水中微生物を探索し、タッチ操作でピント合わせを行う。児童らが関心をもった水中微生物を、タッチ操作により写真や動画に撮影保存する」と説明をした。続いて、「撮影保存した水中微生物の写真や動画の読み出し方法と、マルチタッチ操作により写真や動画の再生・拡大縮小、回転、移動ができる」ことを示した。そして、「写真や動画を観察しながら、ワークシートに水中微生物のスケッチと気づいた点や感想を書く」と説明をした。著者のMTスコープの操作説明とMTスコープによる観察手順を合わせた説明時間は、2分55秒であった。MTスコープの操作説明と観察手順の説明後、児童らはスケッチ用のワークシートを挟んだスケッチボードを持参して指定されたMTスコープのまわりを囲むように移動した。そして、ひとつの班（4～5名）がMTスコープ1台を用いて観察やスケッチを行った。児童らは、MTスコープに表示される、水中微生物の構造や動きなどをタッチ操作で記録・保存していた。また、児童らはタッチ操作により複数人で写真を拡大したり、動画を再生したりしながら、スケッチや感想をワークシートに記入をした。MTスコープの

「操作」に関する児童からの質問には著者が対応した。水中微生物の「同定」に関する児童からの質問には担任の教師（1名）が行った。MTスコープによる観察（スケッチ・感想含む）時間は約15分であった。MTスコープによる児童らの活動様様を5台のビデオカメラで記録をした。ビデオカメラ3台を用いて各MTスコープの画面を上部から撮影し、ビデオカメラ2台を用いて、MTスコープによる全体の活動様様を撮影した。MTスコープによる観察時や操作時の活動様様を記録したビデオ映像から児童らの指差し行為や発話を抽出し分析をした。

(4) 顕微鏡観察に用いた水中微生物

a. 水中微生物の採取

光学顕微鏡及びMTスコープによる観察に用いた水中微生物は、実践校の校庭隅に設置された水草（オオカナダモなど）を育てている池から、自作のプランクトンネット（洗濯用のくずとりネットに調味料の小瓶を取り付けたもの）とバケツを用いて採取した。採取した水をビーカーに分けた。光学顕微鏡班及びMTスコープ班とも同じ水を用いて観察をさせた。

b. 観察対象とした水中微生物

文部科学省（2008a）では、「実感を伴った理解は観察実験などの具体的な体験を通して形つくられる理解」としている。顕微鏡観察において「実感を伴った理解」を得るためには、児童らにいろいろな微生物を発見・観察などの体験をさせることが重要であり、そのためには、採取した水にはいろいろな微生物が含まれていることが必要である。そこで、事前に池から採取した水にはどのような微生物が含まれているのか観察をした。まず、肉眼ではミジンコ、ゾウリムシが確認された。次に、MTスコープによる顕微鏡観察では、ミジンコ、ゾウリムシのほかに、ケンミジンコ、ツリガネムシ、線虫、アオミドロ、カイミジンコが確認（同定）された。その他同定できないアメーバ類、ケイソウ類、小さく回転する微生物などが確認された。事前観察の結果、採取した水にはいろいろな微生物が含

まれていることがわかった。児童らは、採取した水を用いることで、様々な微生物の発見・観察が可能な状況であった。

第2項 評価方法

(1) テストによる客観評価

a. 研究目的

従来の光学顕微鏡を用いた授業とMTスコープを用いた授業の違いにおける「学習効果（理解度）」を客観評価することを目的とした。

b. 方法

テストは、本授業実践の実施前に事前調査として「事前テスト」を、事後調査として、光学顕微鏡班は光学顕微鏡による水中微生物の観察終了後、MTスコープ班はMTスコープによる水中微生物の観察終了後に「事後テスト」を行った。各テストは同一の問題とし、児童らはそれぞれ10分間で解答をした。テスト内容は、水中微生物の「大きさ」に関する問題が3問、水中微生物の「器官（位置）」に関する問題が1問、水中微生物の「名称」に関する問題が4問、そして、水中微生物の「存在（役割）」に関する問題が5問、計13問（各1点、13点満点）であった。

c. 分析

テストの分析は、光学顕微鏡班、MTスコープ班による「学習方法」を第一要因（2水準、被験者間比較）、事前テスト、事後テストによる「授業前後」を第二要因（2水準、被験者内比較）として、二要因分散分析（両側検定）を用いて行った。

d. 設問項目の考え方

文部科学省（2015）は、「学習指導要領等は、それぞれの教科等の目標や最低限教えるべき内容」としている。また、発展的な学習として「児童生徒の興味関心を広げ、理解を深め、主体的に取り組み、意欲を高めることができる内容を指導することができる」としている（文部科学省 2008b）。そこで、本研究では、学習指導要領の内容（最低限教えるべき内容）に発展的な学習内容を加味し、小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省

2008a), 小学校理科の観察, 実験の手引き (文部科学省 2011) 及び小学校 5 学年の教科書 (大日本図書: 実践校使用, 教育出版, 学校図書) を参照して以下の設問を設定した。

ア. 水中微生物の「大きさ」に関する設問

(目的)

本設問は, 水中に存在するいろいろな微生物の大きさに関する理解度を評価することを目的とした。

(方法)

水中の微生物はそれぞれ大きさが異なる。小学校第 5 学年理科の教科書 (例えば大日本図書) では, 水中微生物をメダカとの相対的な大きさのイラストで示したり, 個々の微生物の倍率を表示することで水中微生物の大きさの違いを示している。「実感を伴った理解」には, それぞれの微生物の大きさの違いを理解させることが重要である。そこで, 微生物の大きさの比較に関する設問を設定した。対象とした微生物は, 事前に確認した水中微生物と教科書 (大日本図書) に記載されている微生物のなかから, 大きさに差があるミジンコ (1mm~3mm 程度), ゾウリムシ (0.1mm 程度), ケンミジンコ (1.7mm 程度) とし, それぞれの写真を提示した。回答は, 水中微生物の大きさの順に微生物を示す記号 (ア, イ, ウ) を記入する方法とした。

イ. 水中微生物の器官 (位置) に関する設問

(目的)

本設問は, 生命に対する理解をより深める発展的学習の位置づけから, 水中微生物の器官の位置に関する理解度を評価することを目的とした。

(方法)

本研究が対象としている小学校第 5 学年「動物の誕生」は, 第 4 学年「季節と生物」から「生命の連続性」にかかわる内容であり, また, 「生物の構造と機能」において, 第 6 学年の「人の体のつくりと働き (主な臓器の存在: たとえば心臓や肺)」につなげる重要

な要素を含んでいる。「動物の誕生」では、水中には小さな生き物がいて、魚は小さな生物を食べ物にしていることを理解させるとしている。また、生命の連続性としての「人の誕生」では、人は母体内で成長し生まれることを理解させるとしている（文部科学省 2008a）。「動物の誕生」における授業では、まず、メダカの受精卵が成長し変化する様子を観察させる。大日本図書の教科書では、メダカの受精卵は「受精後 4 日目では心臓が動き血液の流れがみられる」としている。また、「受精後 6 日目では、心臓や血液の流れがよくわかる」とし、受精卵の心臓の位置を図示している。次に、生命の連続性としての「人の誕生」では、人は母体内で成長し生まれることを図書やコンピュータで調べさせる。大日本図書の教科書では、「胎児は受精後およそ 4 週間後に心臓ができて動き始める」と記載されている。メダカの心臓や胎児の心臓は他の教科書（教育出版、学校図書）でも記載されている。小学校理科の観察、実験の手引き（文部科学省 2011）では、「受精した卵は、心臓や目、骨と、少しずつ成長して体ができていく」と心臓に関する記述がされている。メダカの心臓や胎児の心臓を学ぶことは、単元の狙いでもある「生命の神秘さや生命の連続性に気づくとともに、生命を尊重していく態度を育成する（文部科学省 2008a）」の観点から必要な要素と考えられる。水中の小さな生物にも心臓があり生きていることを実感させることは、メダカや胎児の心臓と同様に生命の神秘さや生命を尊重する態度の育成につながると考えられる。そこで、生命の神秘さや連続性の観点から生物の「心臓」に着目し、学習内容の理解をより深め興味・関心を広げる発展的学習として心臓の位置（部位）に関する設問を策定した。対象とした水中微生物はミジンコとした。ミジンコは、体長 1mm～3mm 程度であり肉眼でも確認できる。体が透明で心臓を観察しやすく心臓の鼓動も活発で心臓の位置を発見しやすい。また、ゾウリムシのように走行性が少ないので同じ位置にとどまっていることから観察がしやすい。本設問は、ミジンコの詳細な内部構造やその名称の知識を問う設問ではなく、観察可能な心臓の位置（部位）を問う内容とした。心臓の位置が異なる場所に印（○印）をつけた 5 枚のミジンコの写真を提示

した。回答は、正しい心臓の位置（部位）を示した写真を選びその番号を回答する方法とした。

ウ. 水中微生物の名称に関する設問

（目的）

本設問は、水中に存在するいろいろな微生物の名称に関する理解度を評価することを目的とした。

（方法）

小学校理科の観察、実験の手引き（文部科学省 2011）では、「顕微鏡観察の結果として、水の中にはミジンコなどの小さな生物がいる」ことを理解させる。また、観察した水中微生物について「資料などを活用して小さな生物を調べさせ、結果として、水の中にはボルボックスなどの小さな生物がいる」ことを理解させるとしている。ミジンコやボルボックスなど具体的な名称が述べられていることから、いろいろな水中微生物を観察させ、そして、観察した水中微生物の名称を理解させることは実感を伴った理解を図る点で重要と考えられる。そこで、水中微生物の名称に関する設問を設定した。設問の対象とする水中微生物は、小学校 5 学年理科の 3 社（大日本図書、教育出版、学校図書）の教科書に共通に記載されている水中微生物と事前観察で確認した水中微生物のなかから選定し、ミジンコ、ゾウリムシ、ケンミジンコ、カイミジンコとした。回答は、水中微生物の名称を示した一覧表から該当する微生物を選択し、その番号を記入する方法とした。

エ. 水中微生物の存在（役割）に関する設問

（目的）

本設問は、池や川の水における水中微生物の存在と魚の採餌に関する理解度を評価することを目的とした。

（方法）

小学校学習指導要領（文部科学省 2008a）では、「池の水のなかには小さな生物が存在し、魚は小さな生物を食べて生きていることを理解させる」としている。このことから、

水中微生物の存在に関する設問と魚の採餌に関する設問，および発展的学習として食物連鎖（食べる，食べられるの関係）の設問を設定した．回答は，正誤（○か×のどちらか）を記入する方法とした．

(2) 授業に関する質問紙調査

a. 目的

本調査は、光学顕微鏡による授業及びMT スコープによる授業について評価することを目的とした。

b. 方法

児童 29 名を対象に、水中微生物の「授業」に関する質問紙調査を行った。児童らは、光学顕微鏡及びMT スコープによる水中微生物の観察を行った後に、「授業」に関する質問項目（10 問）、「授業全体」に関する質問項目（2 問）、計 12 問に回答した。「授業」に関する質問項目（10 問）の回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまり思わない」、「まったくそう思わない」から選択する 4 件法を用いた。「授業全体」に関する質問項目（2 問）の回答方法は、「光学顕微鏡による授業」、「MT スコープによる授業」から選択する 2 件法を用いた。

c. 分析

4 件法の分析は、「とてもそう思う」を 4 点、「ややそう思う」を 3 点、「あまり思わない」を 2 点、「まったくそう思わない」を 1 点として点数化した。そして、平均値を算出し光学顕微鏡による観察、MT スコープによる観察の「学習方法」を要因（2 水準、被験者内比較）として一要因分散分析（両側検定）を行った。2 件法の分析は、各質問項目別に直接確率計算（両側検定）を用いた。未回答者 1 名を除外し、有効回答数を 28 名として分析を行った。

c. 観察箇所に関する質問紙調査

a. 目的

本調査は、児童らが水中微生物を発見したきっかけや、児童らが観察した微生物の具体的な箇所（部位）について分析することを目的とした。

b. 方法

「授業に関する質問紙調査」では水中微生物の観察の有無（小さな生き物を観察できたかどうか）について質問をしているが、実際に児童らが水中微生物のどの場所（部位）を観察したのかを把握することができない。視線計測装置を用いて児童らの視線を客観的に測定する方法は、本実践では授業時間の制約、視線計測装置配備の観点から実施は困難であった。そこで、児童らが具体的に水中微生物のどの場所（部位）を観察したのかを詳細に把握するために、観察箇所に関する質問紙調査を行った。対象とする水中微生物は、ミジンコとした。ミジンコは事前観察で確認されており、児童らが観察できる可能性が高いと想定された。また、ミジンコは、体が透明で心臓や消化器官、生殖器官などが観察しやすい。まず、質問紙にミジンコの全体像を図示した。次に、ミジンコの6か所の器官（部位）を矢印で示した。6か所の部位は心臓、目、口、腸、卵、足であった。これらの部位の名称は理解を目的としていないので質問紙には記載していない。そして、矢印で示したそれぞれの器官（部位）について、「観察の有無（観察をしたか、しなかったか）」及び、「観察時の気づきのきっかけ（自分で気づいて観察をしたか、みんなの発言ではじめて気づいて観察をしたか）」の各質問について、2件法で回答させた。児童らは、事後テスト回答時に、観察に関する質問紙に回答をした。対象は29名であった。未回答者5名を除外し、有効回答数を24名（光学顕微鏡班10名、MTスコープ班14名）とした。分析は各質問項目別に、直接確率計算（両側検定）を用いて行った。なお、本質問紙は、ミジンコの内部構造を学習させる目的ではなく、あくまで、どのような部位を観察したのか、その気づきはどのようなきっかけであったのかを把握することで、実感を伴った水中微生物の存在の理解に関する活動を分析するために実施した。

(4) 観察時におけるビデオ分析（発話・指差し）

a. 目的

「授業に関する質問紙調査」および「観察箇所に関する質問紙調査」は主観評価であり、実際に児童らがどのような観察活動をしたかを客観的に把握することができない。指差しは、「ある対象を示す行動」ではあるが（Clark 2005）、「その場にいる他者からも指差しが観察可能であり、互いの注意の方向が互いに観察できる状況が作られる」としている（Goodwin 2003）。森田ら（2013a）、Morita *et al.*（2014）は、MT スコープを用いた顕微鏡観察において、発話と同時に指差しを行う協調的な活動がみられたと述べているが、詳細な分析はされていない。そこで、MT スコープによる観察時の活動模様を記録したビデオから、発話と指差し行為に着目し、活動模様を詳細に分析することを目的とした。

b. 方法

MT スコープ班の 15 名は 5 名ずつ 3 つのグループに分かれ、それぞれ 3 台の MT スコープ（MT スコープ 1 号機～3 号機）を用いて観察を行った。リアルタイムで水中微生物の探索・撮影を行う時間帯（以下、観察タイム）と、撮影した写真や動画を再生・観察しながらスケッチを行う時間帯（以下、スケッチタイム）に分けて、各 MT スコープの画面に表示された動画像への児童らの指差し行為と発話内容を分析した。

(5) e. 児童らが観察した水中微生物の分析

a. 目的

児童らの観察活動において、児童らが発見し、観察した水中微生物の名称や形状などの詳細について分析することを目的とした。

b. 方法

光学顕微鏡及び MT スコープによる観察時に記録したスケッチや自由記述（気づいたこと、感想）から児童が観察した水中微生物を抽出し集計した。

(6). 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性に関する評価

a. 目的

タッチ時の反応速度を改良した MT スコープの操作性について評価することを目的とした。

b. 方法

児童 29 名を対象に質問紙調査を行った。児童らは、従来の光学顕微鏡と MT スコープによる観察を行った後に、MT スコープの機能（タッチ操作）に関する質問項目（3 問）に回答した。質問項目は、タッチ操作について、「ピント合わせ」、動画像の「拡大・縮小」、「移動・回転」の 3 問であった。回答には 4 件法を用いた。また、「MT スコープを使った授業の難しかったところ」について自由記述で回答させた。有効回答数を 27 名として分析を行った。分析は、各質問項目別に、直接確率計算（両側検定）を用いて行った。

第5節 結果と考察

第1項 テストによる客観評価の分析結果

(総合点の分析結果)

図 4-4 に、水中微生物のテスト（総合点，13 点満点）の結果を示す．未回答者 7 名を除き，有効回答数 22 名（光学顕微鏡班 10 名，MT スコープ班 12 名）として分析を行った．分析の結果，「学習方法」，「授業前後」の要因における交互作用が有意であった

($F(1,20)=4.77, p<.05$)．そこで，「授業前後」別に「学習方法」の単純主効果を分析した結果，光学顕微鏡班と MT スコープ班の事前テストには有意な差はなく ($F(1,20)=0.05, n.s.$)，事後テストでは有意な差があった ($F(1,20)=5.78, p<.05$)．また，「学習方法」別に「授業前後」の単純主効果を分析した結果，光学顕微鏡班では，有意な差がなく

($F(1,20)=0.60, n.s.$)，MT スコープ班では有意な差があった ($F(1,20)=5.37, p<.05$)．結果から，MT スコープ班では，水中微生物のテストの総合点が向上し，光学顕微鏡班では，テストの総合点が向上しなかったことが明らかになった．

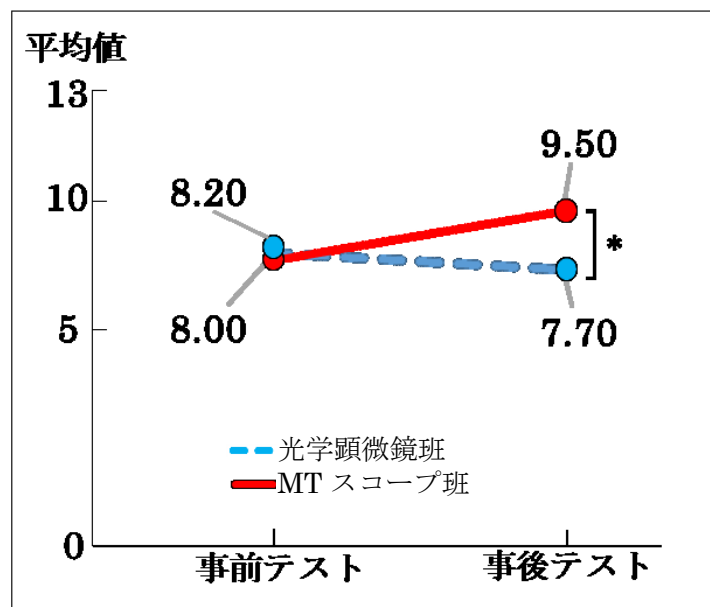


図 4-4 水中微生物のテスト結果（総合点）

(各設問別の分析結果)

図 4-5 に、テストの設問項目別の分析結果を示す。

水中微生物の「大きさ」に関する問題では、「学習方法」，「授業前後」の要因における交互作用が有意ではなかった ($F(1,20)=0.02$, $n.s.$)。そこで、主効果を分析した結果、「授業前後」の主効果は有意ではなかった ($F(1,20)=0.32$, $n.s.$)。結果から、「学習方法」にかかわらず、水中の微生物の「大きさ」に関する得点は向上しなかったことが明らかになった。

水中微生物の「器官 (位置)」に関する問題では、「学習方法」，「授業前後」の要因における交互作用が有意であった ($F(1,20)=12.73$, $p<.01$)。そこで、「授業前後」別に「学習方法」の単純主効果を分析した結果、光学顕微鏡班と MT スコープ班の事前テストには有意な差はなく ($F(1,20)=2.73$, $n.s.$)，事後テストでは有意な傾向があった

($F(1,20)=3.55$, $p<.10$)。また、「学習方法」別に「授業前後」の単純主効果を分析した結果、光学顕微鏡班では、有意な差がなく ($F(1,20)=0.00$, $n.s.$)，MT スコープ班では有意な差があった ($F(1,20)=25.45$, $p<.01$)。結果から、MT スコープ班では、水中微生物の「器官 (位置)」に関する得点が向上し、光学顕微鏡班では、水中微生物の「器官 (位置)」に関する得点が向上しなかったことが明らかになった。

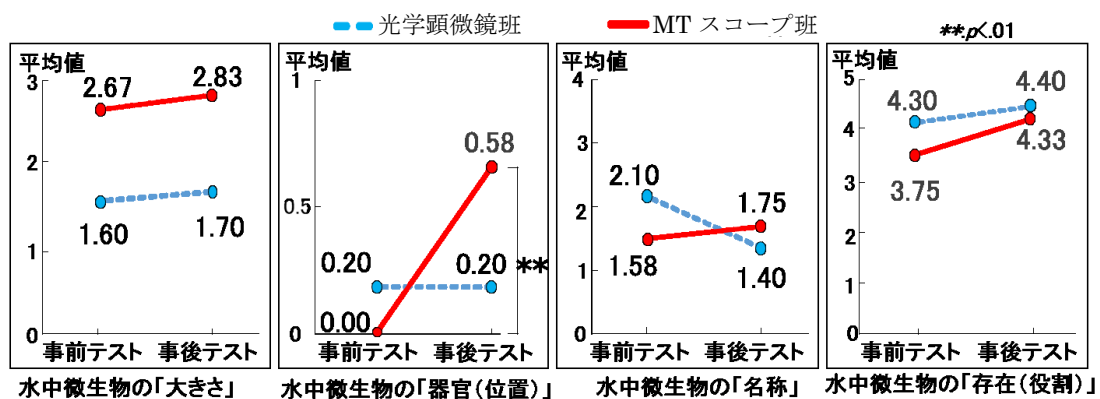


図 4-5 設問項目別のテスト結果

水中微生物の「名称」に関する問題では、「学習方法」，「授業前後」の要因における交互作用が有意傾向であった ($F(1,20)=3.45$, $p<.10$.) . そこで、「授業前後」別に「学習方法」の単純主効果を分析した結果、光学顕微鏡班と MT スコープ班の事前テストには有意な差がなく ($F(1,20)=0.81$, $n.s.$) , 事後テストでも有意な差がなかった

($F(1,20)=0.39$, $n.s.$) . また、「学習方法」別に「授業前後」の単純主効果を分析した結果、光学顕微鏡班では、有意な差があり ($F(1,20)=4.50$, $p<.05$) , MT スコープ班では有意な差がなかった ($F(1,20)=0.26$, $n.s.$) . 結果から、MT スコープ班では、水中微生物の「名称」に関する得点が向上しなく、光学顕微鏡班では、水中微生物の「名称」に関する得点が下がったことが明らかになった.

水中微生物の「存在 (役割)」に関する問題では、「学習方法」，「授業前後」の要因における交互作用が有意ではなかった ($F(1,20)=1.29$, $n.s.$) . そこで、主効果を分析した結果、「授業前後」の主効果は有意ではなかった ($F(1,20)=2.57$, $n.s.$) . 結果から、「学習方法」にかかわらず、水中微生物の「存在 (役割)」に関する得点は向上しなかったことが明らかになった. MT スコープ班において、水中微生物のテストの総合点が向上したのは、水中微生物の「器官 (位置)」に関する得点の差が起因していると考えられる. MT スコープ班の「器官 (位置)」の設問に関する正答者は、事前テストでは 0 名 (正答者なし) , 事後テストでは 7 名であった. MT スコープ班の事後テストの正答者 7 名は、MT スコープを用いて様々な視点からの詳細な観察や他の児童との対話から新たに知識を修得し正答を得たと考えられる. 一方、光学顕微鏡班の「器官 (位置)」の設問に関する正答者は、事前テスト及び事後テストとも 2 名であった. 光学顕微鏡班の正答者 2 名は同一の児童であった. 光学顕微鏡班の正答者 2 名は、観察前にすでに心臓の位置を学習しており、光学顕微鏡による観察により新たに知識を得たのではなく、既有知識による正答であったと推察される.

第2項 質問紙による主観評価の分析結果

(1) 授業に関する分析結果

表 4-1 に、光学顕微鏡及び MT スコープによる「授業」に関する一要因分散分析（両側検定）の結果を示す。

「操作性」に関する 2 項目の比較では、「ピント合わせ（小さな生物にピントを合わせる操作は簡単だった）」（ $p<.01$ ）、「探索（小さな生き物を探すのは簡単だった）」（ $p<.05$ ）の各項目について有意な差があった。結果から、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、操作が簡単で水中微生物を探しやすいことが明らかになった。

「活動」に関する 5 項目の比較では、「観察（小さな生物を観察できた）」（ $p<.05$ ）、「話し合い（小さな生物についてみんなで話し合った）」（ $p<.05$ ）の 2 項目について有意な差があった。また、「スケッチ（小さな生き物をスケッチするのは簡単だった）」

（ $.05<p<.10$ ）の 1 項目に有意な傾向があった。一方、「探索（顕微鏡を見ながら小さな生物を探すことができた）」、「気づき（みんなの発言を聞いて小さな生き物にきづくことがあった）」の 2 項目については有意な差がなかった。結果から、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、児童らは水中微生物をよく観察することができ、そして、発見した水中微生物について児童らがお互いによく話し合いをしたことが明らかになった。MT スコープによる水中微生物のスケッチと光学顕微鏡によるスケッチの比較では、MT スコープによるスケッチのほうが簡単である可能性が示唆された。また、MT スコープによる水中微生物の観察は、他の生物への興味を高めることが示唆された。

「情意」に関する 3 項目の比較では、「関心（ほかの小さな生き物をもっと見てみたい）」の 1 項目について有意な傾向があった（ $.05<p<.10$ ）。「意欲」、「態度」の 2 項目では有意な差がなかった。結果から、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、他の微生物への「関心」を高める可能性が示唆された。

表 4-2 に、「授業全体」に関する分析結果を示す。「光学顕微鏡による授業」と「MT スコープによる授業」の比較では、「どちらの方法が楽しかったか」（ $p<.01$ ）、「どちらの方

法がわかりやすかったか」($p<.01$)の項目に有意な差があった。結果から、水中微生物の観察における「授業全体」では、MTスコープによる授業のほうが、光学顕微鏡による授業より、楽しく、わかりやすいことが明らかになった。森田ら(2015a)は、MTスコープを用いた授業のほうが楽しかったと感じた理由は、児童らは顕微鏡より操作が簡単で、撮影した写真を指で動かしたり拡大したりして観察できたからと述べている。本実践においても、写真を撮影したり指で写真を拡大したりする様子がみられたことから、MTスコープを用いた授業が有意に楽しかったと考察される。

表 4-1 授業に関する分析結果

分類	質問項目	†.05<p<.10, *p<.05, **p<.01
操作性	ピント合わせ	小さな生き物にピントをあわせる操作は簡単だった(**)
	探索	小さな生き物を探すのは簡単だった(*)
活動	観察	小さな生き物を観察できた(*)
	話し合い	小さな生き物について、みんなで話しあった(*)
	スケッチ	小さな生き物をスケッチするのは簡単だった(†)
	探索	けんぴ鏡を見ながら、小さな生き物を探ることができた
	気づき	みんなの発言を聞いて、小さな生き物に気づくことがあった
情意	関心	ほかの小さな生き物をもっとみてみたい(†)
	意欲	小さな生き物についてもっと学びたい
	態度	授業は楽しかった

表 4-2 授業全体に関する分析結果

質問項目	光学顕微鏡による授業 (人)	MTスコープによる授業 (人)	結果 (両側検定) **p<.01
どちらの授業が楽しかったか	2	26	**
どちらの授業がわかりやすかったか	2	26	**

(2) 観察箇所に関する分析結果

表 4-3 に、水中微生物の「観察の有無」に関する直接確率計算（両側検定）の結果を示す。

光学顕微鏡による観察と MT スコープによる観察の「器官（位置）」別比較では、回答させたミジンコの器官 6 項目のうち、「目」 ($p < .01$), 「腸」 ($p < .01$), 「足」 ($p < .01$), 「口」 ($p < .05$), 「卵」 ($p < .05$) の計 5 項目に有意な差があった。また、6 箇所の器官の観察数を合計した「観察総数」において有意な差があった ($p < .05$)。 「心臓」の 1 項目については有意な差がみられなかったが、MT スコープ班の回答者 14 名の半数（7 名）を超える 8 名が観察をしたと回答した。結果から、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、児童らはより詳細に水中微生物の器官を観察したことが明らかになった。

表 4-3 水中微生物の観察有無に関する分析結果

器官	観察方法	観察をした(人)	観察をしなかった(人)	結果 (両側検定)
目	光学顕微鏡	2	8	**
	MTスコープ	13	1	
腸	光学顕微鏡	2	8	**
	MTスコープ	13	1	
足	光学顕微鏡	0	10	**
	MTスコープ	9	5	
口	光学顕微鏡	0	10	*
	MTスコープ	6	8	
卵	光学顕微鏡	0	10	*
	MTスコープ	6	8	
心臓	光学顕微鏡	3	7	n.s.
	MTスコープ	8	6	
合計 (観察 総数) (人)	光学顕微鏡	7	53	**
	MTスコープ	55	29	

**: $p < .01$, *: $p < .05$, n.s.: not significant.

表 4-4 に、観察時の「気づき」に関する直接確率計算（両側検定）の結果を示す。MT スコープによる観察時の「気づき」に関する「器官」別の比較では、「腸」（ $p<.01$ ）及び、「観察総数」（ $p<.01$ ）の各項目において有意な差があった。また、「目」に有意な傾向があった（ $.05<p<.10$ ）。一方、光学顕微鏡による観察の「気づき」に関する「器官」別の比較では、全 6 項目（心臓、目、口、腸、卵、足）と「観察総数」の各項目において有意な差がなかった。結果から、MT スコープによる水中微生物の観察は、従来の光学顕微鏡による観察と比較して、児童らは他の児童の発言による気づきよりも、児童らの自ら（主体的）の気づきを促進する可能性が示唆された。

表 4-4 MT スコープによる気づきのトリガー

器官	自分で気がついた (人)	みんなの発言ではじめて 気がついた (人)	結果 (両側検定)
腸	12	1	**
目	10	3	†
足	6	3	<i>n.s.</i>
口	3	3	<i>n.s.</i>
卵	5	1	<i>n.s.</i>
心臓	6	2	<i>n.s.</i>
合計(人) (観察総数)	42	13	**

† .05< p <.10, ** p <.01, *n.s.* : not significant.

第3項 観察時における指差し回数の分析結果

表 4-5 に、MT スコープ班の観察時における児童らの指差し回数の集計結果を示す。

まず、MT スコープ別（1号機～3号機）の指差し回数を集計した。その結果、MT スコープ 1号機では合計 18回、MT スコープ 2号機では合計 29回、MT スコープ 3号機では合計 18回、総合計 65回であった。MT スコープ別（1号機～3号機）の合計に関するカイ二乗検定の結果、有意な差はなかった ($\chi^2(2)=3.72$, *n.s.*)。結果から、指差し行為は特定の MT スコープ（グループ）に偏ることなく、各グループ同じように指差しが行われていたことが明らかになった。

次に、観察時間帯別（観察タイム、スケッチタイム）における指差し回数を集計した。その結果、MT スコープ 1号機では、観察タイム 17回、スケッチタイム 1回、MT スコープ 2号機では、観察タイム 24回、スケッチタイム 5回、MT スコープ 3号機では、観察タイム 15回、スケッチタイム 3回であった。3台の MT スコープにおける観察時間帯別の指差し回数の合計は、観察タイムでは 56回、スケッチタイムでは 9回であった。直接確率計算（両側検定）の結果、観察タイム（合計）とスケッチタイム（合計）の指差し回数において有意な差があった ($p<.01$)。結果から、指差し行為は「観察タイム」に多く行われることが明らかになった。「観察タイム」ではリアルタイムに表示される微生物を児童らは初めて観察することから、水中にはどのような微生物がいるのか、発見（探索）することへの興味・関心が強く、また、指差しは他の児童らへ注意を導く（Goodwin 2013）ことから、お互いに気づいた微生物を共有するために観察タイムでの指差し行為が多かったと考えられる。

表 4-5 MT スコープ班の観察時における指差し回数

MTスコープ 番号	観察時間帯	ミジンコ(器官) (回)							ミジンコ以外の 微生物(ゾウリ ムシ等) 小計②(回)	合計 ①+②
		足	腸	目	心臓	卵	口	小計①		
MT-1号機	観察タイム	4	3	0	0	0	1	8	9	17
	スケッチタイム	1	0	0	0	0	0	1	0	1
	小計	5	3	0	0	0	1	9	9	18
MT-2号機	観察タイム	3	1	3	2	2	0	11	13	24
	スケッチタイム	0	0	2	0	0	0	2	3	5
	小計	3	1	5	2	2	0	13	16	29
MT-3号機	観察タイム	1	3	0	0	0	1	5	10	15
	スケッチタイム	0	1	0	0	0	0	1	2	3
	小計	1	4	0	0	0	1	6	12	18
総合計	観察タイム	8	7	3	2	2	2	24	32	56
	スケッチタイム	1	1	2	0	0	0	4	5	9
	計	9	8	5	2	2	2	28	37	65

第4項 観察時におけるビデオ分析（指差し・発話）結果

表 4-6 に、MT スコープによる顕微鏡観察時における指差しと発話（観察タイム）を示す。また、表 4-7 に、MT スコープによる顕微鏡観察時における指差しと発話（スケッチタイム）を示す。

発話 ID 10, 15, 37, 65 「なにこれ？」や 31, 33 「なんじゃこれ？」, 38 「うおー、なにこれ？、なにこれ？」に示されるように、水中微生物を発見した時に、水中微生物を指差すとともに疑問の発話をしていた。また、発話 ID23, 25, 27, 29 では児童らは発見した水中微生物を追跡するように指差したり、発話 ID16, 21, 26, 30, 43 では児童らは 2 名同時に同じ水中微生物を指差していた。発見時の発話や水中微生物を指差すことは、互いの注意の方向を指差し場所に導き認知的作業のための共有領域が構築される

(Goodwin, 2003)。MT スコープによる顕微鏡観察では、複数人が同時に画面をみることができることから、ひとりでは気がつかない（発見できない）場合でも他の児童が指差した微生物に気づくことができる。共有した微生物を互いに観察することで児童らの観察時の「気づき」が促進されると考えられる。発話 ID 51 では、まず、児童 A が「ミジンコ？、これ、ミジンコ？、ミジンコ？、ミジンコ？、ミジンコ？」と他の児童らに問いかけをし、次に、児童 D が発話 ID 52 「なんだろうね？」と児童 A の質問に同調している。そして、児童 A と児童 D の問いかけに対して、児童 B が発話 ID 53 「たしか、たぶんあれじゃ」と回答をしている。さらに、児童 A は児童 B の回答をうけて、発話 ID 54 「えーと」や発話 ID 66 「目でしょう」と発話し、同時にミジンコの目を指差しながら水中微生物の器官（目）を確認していた。MIYAKE (1986) は、互い（児童同士）に「問い」を共有し、他（児童）の異なる視点からの「わかる」と「わからない」の対話を相互に繰り返すことで、互いに深い学習がされていく（建設的相互作用）と述べている。

SAWYER (2014) は、児童らに対話を通じて知識が作られる過程を理解することは児童らの深い学びに必要であるとしている。児童 A の「問い」を他の児童が共有し、児童同士が相互に対話していることから、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比

較して、建設的相互作用による学びや、児童らの深い学習につながる可能が推察される。

発話 ID 19, 49, 67 では児童 E や児童 B が「かわいい (ね)」と発言し、また、発話 ID 39 では、児童 E が「ああ、かわいい」と発言しミジンコの目のあたりをぐるぐると指差ししながら感想を述べている。MT スコープの画面にはいろいろな微生物が表示されるため、全員が同じ微生物を見ることも可能であり、個々人が関心を持った微生物を同時に観察することも可能である。知識構築においては動機付けが重要である。児童が興味・関心をもった微生物を個別に観察できることは、児童の内発的動機づけを高め、そして、児童の主体的な観察を促進すると考えられる。発話 ID 04 では、児童 D が「こんなもんが」と発話し、右手の親指と人差し指で輪をつくり、画面に表示されているミジンコの大きさと比較している。実際のミジンコの大きさは児童 D の指の輪とは大きく異なるが、児童 D が水中微生物の大きさに関心を持ってミジンコを実際に観察していたことがわかった。

観察活動の分析では、観察タイムにおいて、まず、児童 A がシャーレを動かして探察し（発話 ID 08）、次に、児童 C が画面に表示されたミジンコをみて「拡大（高倍率に）してみる？」と提案をした。（発話 ID 11）。続いて、児童 B は児童 C の提案をうけて、児童 A に写真を拡大するように依頼し（発話 ID 12）、そして、児童 A が（高倍率の）拡大アイコンを押して（発話 ID 13）観察・撮影をしていた。スケッチタイムでは、撮影した複数の動画像から、グループでスケッチする対象の写真を選択する際に、児童 B が「これにしよう、これが（5匹のミジンコの写真）いいじゃない」と他の児童に同意を求めた。（発話 ID 44）。児童 B の意見に対して、児童 A、児童 D は、「これでいいじゃん、これでいいと（思う）、もう触らない（ほかの写真にしない）」と発話して児童 B の提案を承諾していた（発話 ID 45, 46, 48）。これらの対話のように MT スコープによる観察では、グループでの話し合いによる協調的な活動が行われていた。SAWYER (2014) は、児童らに対話を通じて知識が作られる過程を理解することは児童らの深い学びに必要であるとしている。また、発話 ID 55~59, 61, 62 では、児童 B, C, D らは、記録した写真の選択や写真の拡大・回転、動画の再生などをお互いに協力（分担）して操作を行って

いた。本実践では、MT スコープごとに児童のグループ分けは行っていたが、グループ内での役割分担（例えば、シャーレにスポイトで水中微生物を入れる、シャーレを動かして探索する、撮影する、ピントを合わせるなど）については指示をしていなかった。教師も同様に児童らに役割を指示していなかった。児童らはグループのメンバーで話し合って役割分担をし、協力しあって観察を行っていた。KENDON（1990）は、個々人の体の前方には作業領域（操作領域）という空間があり、協同的な会話や作業は、個々人の作業領域が重なった空間（P 空間：身体的配置は F 陣形）のなかで行われるとしている。MT スコープによる観察では、児童らは MT スコープの周りを取り囲んで観察する。児童らはお互いに向き合う身体的な配置となり共通の作業空間（P 空間）が形成される。共通の作業空間（P 空間）のなかでは児童らの参加意識が高まることで、児童らの役割分担の決定や協調的な観察活動が活発になったことが推察される。以上のビデオ分析結果をまとめると、MT スコープによる顕微鏡観察に伴う指差し行為や発話は、新しく発見した微生物の「気づき」、疑問点の「問いかけ」、児童同士の「対話」を促し、学習効果（理解度）を高める可能性があることが示唆された。

表 4-6 MT スコープを用いた顕微鏡観察時における指差しと発話（観察タイム）

発話ID	発話者	発話内容（行動）＜補足説明＞	発話ID	発話者	発話内容（行動）＜補足説明＞
		※観察タイム			※観察タイム
01	A	なんかおる.	21	B	<u>＜Dと同時に＞</u> （ミジンコの足を指差してなでる）
02	C	ここにもなんかおる.	22	B	（ミジンコの心臓近くをぐるぐるとなでる）
03	B	（画面上からミジンコの目を指差す）	23	A	<u>（人差し指でぐるぐるとミジンコの心臓や腸を指差す）</u>
04	D	<u>こんなもんが.</u> （右手の親指と人差し指で輪をつくり、画面に表示されているミジンコの大きさと比較して）	24	D	川の水見てみたい.
05	A	（右手の4本指でミジンコのお尻のあたりを指差す）	25	B	あっ、なんかいた、なんかいた. <u>（動くゾウリムシを追いながら指差して）</u>
06	B	肉眼でもみれるよ.（シャーレの中のミジンコを凝視して）	26	C	<u>＜Bと同時に＞</u> （動くゾウリムシを追いながら指差す）
07	B	（写真アイコンを押して水中微生物を撮影する）＜拡大された微生物の写真が表示される＞	27	C	一杯なんかいる.（ <u>移動しているゾウリムシを追いながら指差して</u> ）
08	A	<u>（画面左上にあるシャーレを動かして、水中微生物を探察する）</u> ＜画面に6匹のミジンコが表示される＞	28	A	ミジンコ？＜他の児童に問いかけをし
09	B	うおー、めっちゃおる.	29	B	<u>（画面上から右へ移動しているゾウリムシを追跡するように指差して）</u>
10	B	なに、これ？（ミジンコの頭を右手の人差し指で指差して）	30	C	<u>＜Bと同時に＞</u> （画面上から右へ移動しているゾウリムシを指差す）
11	C	<u>ちょっと拡大とかしてみる？</u>	31	B	<u>なんじゃこれ.</u>
12	B	<u>えいち、えいち.</u> ＜拡大アイコンを押すように他の児童に依頼して＞	32	A	＜写真を＞撮れ、わけのわからないものは＜写真を＞撮れ.
13	A	<u>（Hとかかれた拡大アイコンを押す）</u> ＜拡大されたミジンコの目、腸がはっきり表示される＞	33	C	<u>なんじゃこれ.</u>
14	複数	うううお. キャー. ＜驚きの声 複数人＞	34	B	なかなかくうまく写真が＞撮れん.
15	A	<u>なにこれ！ なにこれ！</u> （ミジンコの卵を指差して）	35	C	（写真アイコンを押す）＜撮影された5匹のミジンコが画面に表示される＞
16	C	<u>＜Aと同時に＞</u> （ミジンコの卵を左手の人差し指で指差す）	36	B	＜良く撮れた写真をみて＞おー、いいねえ.
17	A	（左手の中指で、ミジンコの触覚を指差す）	37	A	<u>なにこれ？</u> （上から右へ移動中のゾウリムシを指差して）
18	B	おー、なに、この目.（ミジンコの目を4回ぐるぐる指差して）	38	B	<u>うおー、なにこれ？、なにこれ？</u> （ゾウリムシを追いかけるように指差して）
19	E	<u>かわいいね.</u> （ミジンコのおなかのあたりを指差して）	39	E	<u>ああ、かわいい.</u> （左下のミジンコの目の付近をぐるぐると指差して）
20	D	（人差し指で動いているミジンコの足を指差す）	40	B	あっ、これ？（ミジンコの触覚あたりを指差して）
			41	C	今みえるよっ.（ミジンコの足あたりをずっと指差して）

表 4-7 MT スコープによる顕微鏡観察時における指差しと発話（スケッチタイム）

発話ID	発話者	発話内容（行動）	＜補足説明＞
		※スケッチタイム	
		＜画面にはケンミジンコと2匹のミジンコの写真及びミジンコの動画が表示されている＞	
42	C	<u>（左手の人差し指でケンミジンコを指差す）</u>	
43	E	<u>＜Cと同時に＞（ケンミジンコを右手の人差し指で指差す）</u>	
44	B	<u>これにしよう。これがいいんじゃない。</u>	＜画面には5匹のミジンコが表示されている。スケッチする写真はこれでいいか他の児童に同意を求めて＞
45	A	<u>これでいいじゃん。</u>	
46	D	<u>これでいいと。</u> <思う>	
47	B	OK.	
48	A	<u>もう触らない。</u>	
49	B	<u>かわいい。</u>	
50	A	食ってみたい。	
51	A	<u>ミジンコ？、これ、ミジンコ？、ミジンコ？、ミジンコ？、ミジンコ？、ミジンコ？</u>	
52	D	<u>なんだろうね？（ミジンコを右手の人差し指で指差して）</u>	
53	B	<u>たしか、たぶんあれじゃ。</u>	
54	A	<u>えーと。</u> <自問して>	
55	B	<u>なんか探そう。（撮影した動画像をタッチ操作で選択して）</u>	
56	B	<u>あ、これは？（ミジンコの動画をタッチ操作で選択して）</u>	
57	C	<u>（ケンミジンコの写真を選択し、両手で写真を広げて）</u>	
58	D	<u>おーいいねえ。（ケンミジンコの動画を指差して）</u>	
59	D	<u>ビデオみよう。（ミジンコの映像を選択し、動画を再生して）</u>	
60	A	うわー、でか。	
61	C	<u>俺たちの撮ったのどれ？（撮影した写真を探しながら）</u>	
62	C	<u>あっ、あった。（撮影した写真を選択し、見やすいように写真を回転して）</u>	
63	B	<u>チョー、長い。（ミジンコの肛門からでている排泄物を指差して）</u>	
64	C	<u>意味がわからない。（排泄物を指差して）</u>	
65	A	<u>なにこれ？（画面の中央のいるミジンコの目を指差して）</u>	
66	A	<u>目でしよう。（ミジンコの目を右手の人差し指で指差して）</u>	
67	B	<u>かわいいね。（ミジンコの写真をみて）</u>	

第5項 児童らが観察した水中微生物の分析結果

児童 28 名を対象に、ワークシートに書かれた水中微生物のスケッチや観察時の気づき、感想から特定できた水中微生物を集計（複数集計）した。

(1) スケッチの分析結果

MT スコープによる観察でスケッチされた水中微生物を集計した結果、ミジンコが 28 件、ゾウリムシが 9 件、ケンミジンコが 4 件であった。また、ミジンコに書かれていた器官（臓器）を集計した結果、「腸、目、触覚」の 3 か所の器官（臓器）が書かれていたのは 28 件（全員がスケッチ）、「腸、目、触覚」に「足」が追加され 4 か所の器官（臓器）が書かれていたのは 13 件、さらに「腸、目、触覚、足」に「卵」が追加され 6 か所の器官（臓器）が書かれていたのは 9 件であった。一方、光学顕微鏡による観察ではミカヅキモが 15 件、ミジンコが 6 件、ゾウリムシが 5 件、ボルボックスが 2 件であった。ミジンコに書かれていた器官（臓器）は特定できなかった。結果から、まず、MT スコープ及び光学顕微鏡による観察において児童らはいろいろな微生物をスケッチ（観察）していることがわかった。次に、MT スコープによる観察では、ミジンコのような動きのある微生物を主にスケッチ（観察）し、光学顕微鏡による観察では、ミカヅキモのような動きの少ない微生物を主にスケッチ（観察）していたことがわかった。さらに、MT スコープによる観察では、光学顕微鏡による観察と比較して、ミジンコの器官（臓器）などを詳細に観察しスケッチしていたことがわかった。MT スコープに表示される顕微鏡画像の大きさと光学顕微鏡の接眼レンズを通して見る顕微鏡画像の大きさの違いや、MT スコープの写真・映像撮影機能の活用がスケッチ（観察）の違いとなったと考えられる。

(2) 観察時の気づきと感想の分析結果

観察時の気づきと感想をカテゴリ別に集計した結果、MT スコープによる観察では、「たくさん微生物がみられ、意外と多いということがわかった」、「川や池のなかには、魚だけでなく小さな生物がたくさんいることを知りました」、「水の中にはいろいろな小さな生物がいることがわかった」など、「水中微生物の存在」に関する記述がみられた。また、「ミジンコは、背中に心臓があった。くるくるまわっていた。ちゃんと目があった」、「細長い茶色みたいなのが腸だった」、「体の中に心臓や胃のようなものがあった」、「小さな生物にも心臓があった」など、「水中微生物の動作や体のつくり（臓器）」や生命に関する詳細な記述があった。さらに、「小さな生物がもっと小さな生物を食べていることに気づきました」、「体のなかに小さな生物が入っていった」、「体のなかにさらに小さな生物がでたり入ったりしていた」など、「食物連鎖」に関する記述がみられた。

一方、光学顕微鏡による観察では、「微生物がこんなに一杯いるなんて知らなかった」、「いろいろな小さな生物がいる」、「たくさん小さな生物がいた」など、「水中微生物の存在」に関する記述があった。しかし、「水中微生物の動作や体のつくり」や生命、「食物連鎖」に関する詳細な記述はみられなかった。

以上の分析結果（児童らが観察した水中微生物）から、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、水中微生物の動きや体のつくり（臓器）などの詳細な観察を通して、「小さな微生物にも命がある」という生命の神秘さや生命を尊重する態度の育成、実感を伴った水中微生物の理解において有用である可能性が示唆された。また、発展的な学習を促す可能性が示された。

第6項 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの評価結果

表 4-8 に、MT スコープの操作性に関する直接確率計算（両側検定）の結果を示す。分析の結果、「ピント合わせ」($p<.01$), 「拡大・縮小」($p<.01$), 「移動・回転」($p<.01$) の項目に有意な差があった。MT スコープのタッチ操作（タッチ反応）は改善された可能性が示唆された。

表 4-9 に、MT スコープのタッチ操作に関する自由記述の集計結果を示す。分析の結果、「強く押さないと反応しない」、「スライド操作（拡大）が難しい」など、児童が画面を強く押すことに対する回答が 11 件と最も多く挙げられた。MT スコープは FTIR 方式（HAN 2006）を採用しており、観察時に画面に置かれたシャーレや鉛筆、スケッチボードなどによる誤動作を防ぐため、軽いタッチでは反応しないように制御している。児童らの活動模様を記録したビデオを分析した結果、児童らは、タブレット端末と同じような感覚で軽く画面を触って操作していることが明らかになった。今後は、シャーレや鉛筆などによる誤動作を防止しつつ、軽いタッチで操作可能なタッチスクリーンのさらなる改良が必要である。

表 4-8 MT スコープの操作性に関する分析結果

質問項目	肯定的回答 とても思う やや思う (人)	否定的回答 あまり思わない まったく思わない (人)	結果 (両側検定) (** $p < .01$)
タッチしながら、ピントをあわせる操作は簡単だった (ピント合わせ)	25	2	**
指でタッチしながら、写真やビデオを大きくしたり、小さくしたりする操作は簡単だった (拡大・縮小)	22	5	**
指でタッチしながら、写真やビデオを好きな位置に動かす操作は簡単だった (移動・回転)	23	4	**

表 4-9 MT スコープのタッチ操作に関する自由記述の集計結果

カテゴリ	回答数(件)	具体的な回答例
タッチ操作 (タップ)	8	<ul style="list-style-type: none"> ・タッチを強く押すのが難しかった ・強く押しながら指を押すこと ・反応するように強くタッチするところ
タッチ操作 (ピンチ)	3	<ul style="list-style-type: none"> ・押しながら指を横に移動するところ ・写真を拡大するところが難しかった

第6節 まとめ（研究3）

研究3では、研究2の結果を踏まえて、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの改良を行い、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムと光学顕微鏡による水中微生物の観察授業を設計し実践した。そして、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業に関する、「学習効果」、「授業評価」、「観察活動の詳細な分析」及び「システムの操作性に関する評価」を行った。その結果、以下の知見を得た。

第1項 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業と光学顕微鏡による授業における学習効果の検討及び授業の評価

テストによる客観評価では、「学習方法」において、「授業前後」に有意な差があった。結果から、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業は、光学顕微鏡による授業と比較して学習効果（理解度）を向上させることが明らかになった。授業に関する質問紙調査では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業は、光学顕微鏡による授業と比較して、操作性（ピント合わせ、探索）、活動（観察、話し合い）において有用であることが明らかになった。

第2項 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察活動の詳細な分析

「観察箇所に関する質問紙調査」では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、児童らが自ら気づき、そして、水中微生物の器官（臓器）をより詳細に観察したことが明らかになった。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察時の「指差し」に関するビデオ分析では、複数の児童らが画面を指差したり、移動する微生物を追跡したりする行為が確認された。指差し行為により、児童らが実際に水中微生物を確認（観察）していることが明らかになった。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察時の「発話」に関するビデオ分析では、児童同士の対話による学びや児童による観察時の役割分担など、児童らは主体的な活動をしていたことが明らかになった。児童らが観察した水中微生物の分析では、MT スコープによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、ミジンコのような動きのある水中微生物を主に

対象に、体の動きやつくり、採餌の様子などの詳細な観察をしていたことが明らかになった。

第3項 改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性評価

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性（ピント合わせや、タッチ操作の反応）については分析結果から改善されたと考えられるが、自由記述の分析結果から、さらに軽いタッチで操作ができるよう改良が必要である課題が明らかになった。

以上の結果（学習効果及び授業の評価、観察活動の詳細な分析、システムの操作性の評価）を総合的にまとめると、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業は、光学顕微鏡による授業と比較して、児童の発展的な学習を促し、そして、水中微生物に関する学習効果（理解度）を高めることが示された。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察活動と光学顕微鏡による観察活動のプロセスの違いが、児童らの水中微生物の学習効果（理解度）の差になったと考えられる。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性についてはさらなる改良が必要である。

第7節 今後の課題

学習指導要領（文部科学省 2017b）では、「水中の小さな生物を観察する際には、顕微鏡などの観察器具を適切に操作できるように指導する」としている。このことから、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムは、光学顕微鏡の代替としての運用ではなく、光学顕微鏡と併用（補完）した使い方になると想定される。今後の課題は、光学顕微鏡及びMT スコープを用いた授業の学習過程（学習プロセス）を考慮した効果的な授業デザインを検討することである。

第5章 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における 学習プロセスの分析（研究4）

第1節 研究の目的

従来の光学顕微鏡と研究2で開発したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システム（以下、MT スコープ）を用いた実践授業における顕微鏡観察場面を分析し、MT スコープの有用性を評価することを目的とした。また、児童の協同作業に対する認識からMT スコープを用いた授業を評価することを目的とした。

第1項 授業実践

実践授業には、公立小学校第5学年27名（男子13名、女子14名）が参加した。単元は小学校第5学年における「動物の誕生」であった。「池や川の水には魚の餌となる何かがいるのだろうか」と教師が発問し、水中微生物の姿や大きさ、動きに着目させて観察させた。児童らは、光学顕微鏡の操作（ピント合わせや探索）は事前の授業で行っていたが、水中微生物の観察はしておらず、本実践で初めて水中微生物の観察を行った。特別室に光学顕微鏡を10台設置し、観察の様子を2台のビデオカメラで撮影した。理科室にMT スコープを2台設置し、2台のビデオカメラで活動の様子を撮影した。

第2項 授業実践の手順

図5-1に、授業実践の手順を示す。児童27名を、光学顕微鏡先行班13名とMT スコープ先行班14名の2つのグループに分けた。光学顕微鏡先行班は、光学顕微鏡を用いて水中微生物の観察を行った後、MT スコープを用いて水中微生物の観察を行った。MT スコープ先行班は、MT スコープを用いて水中微生物の観察を行った後、光学顕微鏡を用いて水中微生物の観察を行った。観察した水中微生物のスケッチと観察時の感想をワークシートに記入させた。その後、光学顕微鏡先行班、MT スコープ先行班とも、授業に関する質問紙に回答した。なお、グループ編成は、「第3項. 学習者の協同効用特性を考慮したグループ編成」により行った。

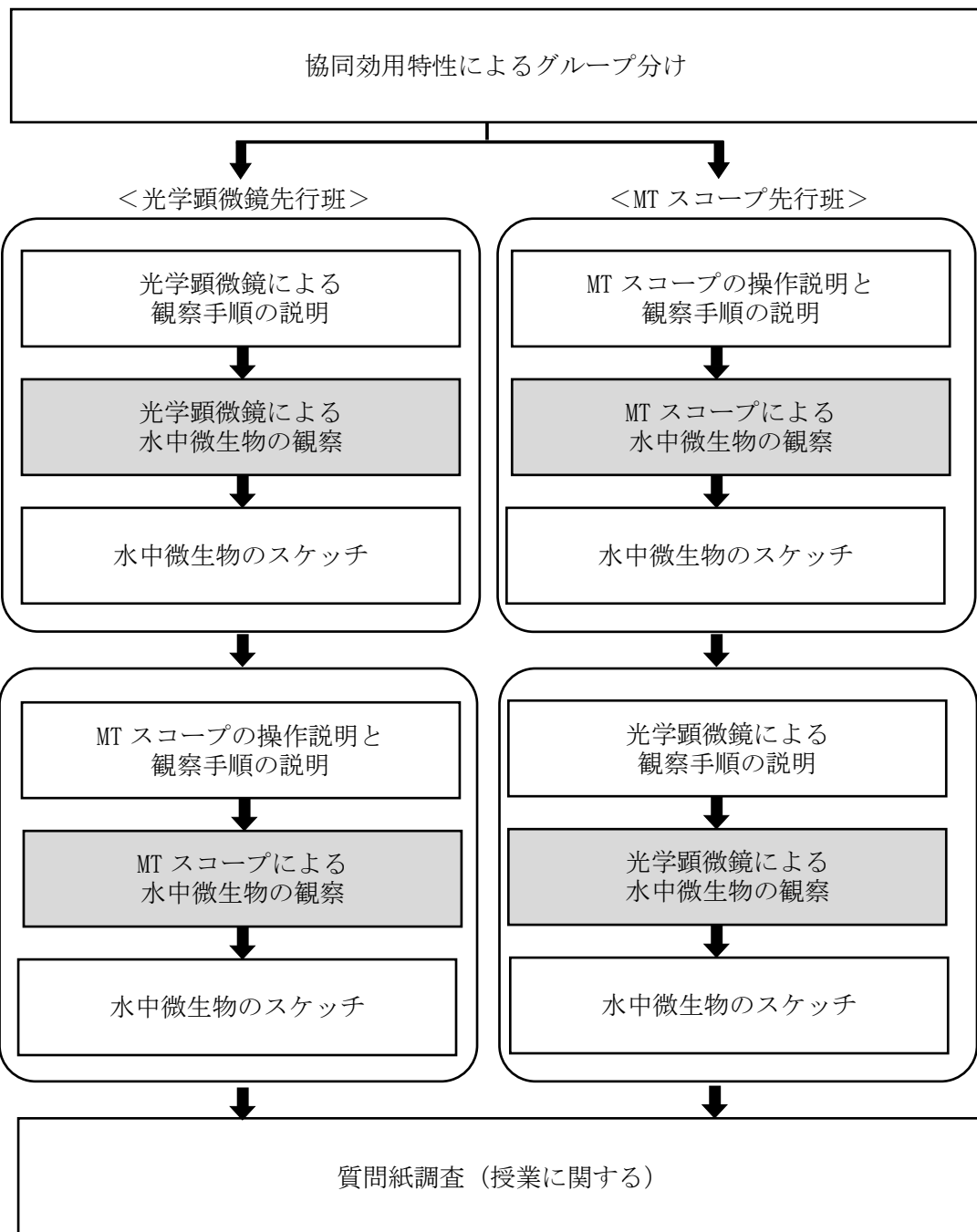


図 5-1 授業実践の手順

第3項 学習者の協働効用特性を考慮したグループ編成

MT スコープは協調学習において有用であるとしている（森田ほか 2013b；森田ほか 2014a；Morita *et al.* 2014；森田ほか 2019）。協調学習を実践する際には、協同作業に対する意識（以下、協働効用特性）が MT スコープを用いた授業に影響を及ぼすことが想定される。そこで、協同作業に対する意識が低い児童への MT スコープの適用について評価をするために、協働効用特性を考慮したグループ編成を行った。グループ編成は、森田ほか（2014b）を参考にした。児童 27 名の協働効用特性の調査を協同作業認識尺度（小学生版）（大塚・城 2011）を用いて実践授業前に行った。調査項目は 9 項目であり、4 件法にて回答を得た。有効回答数は 27 名であった。得られた回答をもとに、「とても思う」を 4 点、「やや思う」を 3 点、「あまりそう思わない」を 2 点、「まったくそう思わない」を 1 点として合計し、質問項目（9 項目）で割り、児童ごとの平均値（以下、協働得点）を算出した。児童ごとの協働得点を用いて、児童 27 名を、光学顕微鏡を用いた観察を先に行うグループ（以下、光学顕微鏡先行班）13 名（平均点 3.53 点、 $SD=0.32$ ）と MT スコープを用いた観察を先に行うグループ（以下、MT スコープ先行班）14 名（平均点 3.62 点、 $SD=0.25$ ）に分けた。光学顕微鏡先行班（13 名）の協働得点と MT スコープ先行班（14 名）の協働得点を第一要因（1 水準、被験者間）として一要因分散分析（両側検定）を行い、両班の協働得点に差がないようにグループ編成をした（ $F(1, 25) = 0.80$, *n.s.*）。また、児童全員での協働得点の平均値（3.54 点）を算出した。児童全員での協働得点の平均値（3.54 点）を基準にして、基準より上位のグループを「協働効用上位群」15 名、基準（3.54 点）より下位のグループを「協働効用下位群」12 名とした。

第4項 分析方法

水中微生物の観察の様子を記録したビデオ映像から、児童や教師の発話と行動を抽出し時系列に整理した。抽出したファイルから、光学顕微鏡先行班（13名）の光学顕微鏡を用いた観察とMTスコープ先行班（14名）のある班7名のMTスコープを用いた観察を対象として、児童同士や教師と児童との発話・行動を分析した。発話の記述は、望月ほか（2013）を参考にした。

従来の光学顕微鏡を用いた授業とMTスコープを用いた授業に関する質問紙調査を行った。「授業」に関する質問項目は、「操作性」に関する質問が2問（探索、ピント合わせ）、「活動」に関する質問が5問（気づき、観察、話し合い、スケッチ、探索）、「情意」に関する質問が3問（意欲、態度、関心）、計10問であった。回答方法は、「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまり思わない」、「まったくそう思わない」から選択する4件法を用いた。分析は、「とてもそう思う」を4点、「ややそう思う」を3点、「あまり思わない」を2点、「まったくそう思わない」を1点として点数化し平均値を算出した。分析は、協同効用上位群、協同効用下位群による「学習者特性」を第一要因（2水準、被験者間比較）、光学顕微鏡を用いた授業（以下、MS方式）、MTスコープを用いた授業（以下、MT方式）による「学習方法」を第二要因（2水準、被験者内比較）として、二要因分散分析（両側検定）により行った。

第2節 結果と考察

第1項 観察時におけるビデオ分析の結果

(1) 従来の光学顕微鏡を用いた観察時の分析

図5-2に、光学顕微鏡を用いた観察の様子を示す。また、表5-1に、プレパラート作成支援に関する発話〔事例1〕を示す。

光学顕微鏡先行班（13名）による従来の光学顕微鏡を用いた学習時間は、教師の説明（観察手順）3分、児童の観察とスケッチの時間16分、計19分であった。

〔事例1〕では、児童がカバーガラスの装着方法について支援を依頼し（ID102）、教師は、カバーガラスの取り扱い方法を説明しながら（ID104, ID107）、右手でスライドガラスを持ち、児童がカバーガラスを乗せるまで指導した（ID101～ID110）。児童らは事前の授業において、顕微鏡の操作（ピント合わせや探索など）を学んでいた。しかし、水中微生物の観察は行っておらず本実践で初めて行った。ビデオ映像から、カバーガラスを装着する方法がわからない児童やスポイトで吸い上げた水に微生物がいるかどうかなど、教師の支援を求める様子が分析された。



図5-2 光学顕微鏡を用いた観察の様子

表 5-1 プレパレート作成支援に関する発話〔事例1〕

発話ID	発話者	発話内容 (行動)	<補足説明>
		[事例1]	
101	教師	(児童⑥の席に近づく)	
102	児童⑥	<先生の顔を見て> 先生、このガラスどうすんの？	
103	教師	覚えてないくの？	
104	教師	<児童⑥がカバーガラスを素手で触っているのを見て>危ないから、これ、ピンセット使いなっっていったじゃん	
105	教師	(スライドガラスを手にして、児童の左手付近にもっていく)	
106	児童⑥	(ピンセットを左手にもち、ピンセットでカバーガラスをつかむ)	
107	教師	危ないから、ピンセットつかって、この<スライドガラス>上にのせてえ	
108	児童⑥	(カバーガラスをセットしたのちに、スライドガラスを光学顕微鏡のステージに乗せる)	
109	教師	これでOKだよ。いるんじゃないかな、それだけ黒いのがあれば	
110	児童⑥ 教師	光学顕微鏡を覗きながら観察開始 児童⑥の席を離れ、児童⑦の席に移動	

表 5-2 に、水中微生物の探索・同定・スケッチに関する発話〔事例 2〕を示す。

〔事例 2〕では、児童が教師に同定を依頼し、教師が児童の席で水中微生物の同定を行っていた (ID205～ID207)。教師は微生物を同定後、「これボルボックスだわ」と同定した微生物の名称を他の児童らに向かって発話した (ID207)。教師の発話 (同定した微生物の名称) を聞いた他の児童らは、「見たい!」と発話し (ID210)、発見した児童の席に集まった。そして、同定された微生物を観察した (ID210～ID211)。一方、観察した微生物について、他の児童と話し合う様子はみられなかった (ID211)。〔事例 2〕の分析結果から、微生物の同定は教師が行っていたことがわかった。児童らは、まず、「児童が (水中微生物に) 気づき」教師に支援を要請、次に、「教師が同定し発話・発問」する、そして、教師の発話・発問をきっかけにして「他の児童が気づく」というプロセスを経て学んでいる様子が明らかになった。児童らは、教師が同定した微生物を確認することで、水中微生物の姿と名称を一致させていると推察される。他の児童が発見した微生物を観察した児童は、発見した児童と交代で顕微鏡を覗きながらスケッチすることではなく、自席に戻って自らが発見した微生物をスケッチする様子がみられた (ID211)。他の児童が発見した微生物をスケッチしたいと思っても、発見した児童のスケッチを優先するため自席に戻ったと考えられる。

表 5-2 探索・同定・スケッチに関する発話 [事例2]

発話ID	発話者	発話内容 (行動)	<補足説明>
		[事例2]	
201	児童⑦	児童⑦ 先生 (手を挙げて教師が来るのを待つ)	
202	教師	(児童⑦の席に移動)	
203	教師	児童⑦くん, ごめん <微生物が>いた?	
204	教師	(児童⑦と交代し, 児童⑦の顕微鏡を覗き確認)	
205	教師	あー. ボルボックスの可能性あるよ あーみえないなあ. 可能性あるなあ ボルボックスの感じあるな	
206	教師	(顕微鏡⑦を覗きながら探索を継続) 児童⑦さん, 先生, 初めてみたわ	
207	教師	これボルボックスだわ. どう考えても, これボルボックスだ. ありがとうね, 初めて見た	
208	児童⑦	ボルボックス?	
209	児童⑦	(顕微鏡を覗きながらスケッチ)	
210	児童③, ④	<教師の発話 (ボルボックス) を聞いて>え?, 見たい! (児童③, ④が児童⑦の席に集まり, 交代で観察するための順番待ちの列をつくる)	
211	児童③, ④	(児童③が観察後, 児童④が観察) <観察後, 発話せずに自席に戻りスケッチ>	

表 5-3 に、児童同士の発話 [事例 3] を示す。

[事例 3] では、他の児童に「見つけた？」と微生物を発見したかどうかを問いかける様子や、「児童⑩ちゃん来て」と（発見した微生物を他の児童に見せるために）声をかける様子が分析された (ID301～303) 。児童⑫の顕微鏡を覗き微生物を確認した児童⑩は、観察した微生物について児童⑫や児童⑬と話し合うことはなく自席に戻り観察を継続する行動が分析された (ID305～ID306) 。

光学顕微鏡先行班の児童が手を挙げて、あるいは、発話して、授業時間内において教師に支援を依頼した件数は、22 件 (12 名) であった。22 件のうち実際に教師が対応できた件数は 17 件であり、5 件が未対応であった。また、教師が他の児童を支援中のため、22 件の支援依頼に対してリアルタイムに対応できなかった件数は、計 10 件であった。教師が実際に対応した 17 件の支援内容は以下のとおりであった。まず、児童がプレパラートを作成し、教師が「探索と同定」を実施した件数は 11 件で支援時間 (合計) は 7 分 08 秒であった。次に、教師がプレパラートを作成し、教師が「探索と同定」を実施した件数は 4 件で支援時間 (合計) は 4 分 16 秒であった。そして、児童がプレパラートを作成し探索、教師が同定を行った件数は 2 件、支援時間 (合計) は 7 秒であった。教師の総支援時間は 11 分 31 秒であった。光学顕微鏡先行班による光学顕微鏡を用いた観察とスケッチの時間 16 分に対する教師の総支援時間 (11 分 31 秒) の比率は、71.9% (約 72%) であった。結果から、教師は、ひとりの児童を支援している時は、複数の児童から同時に支援依頼があってもリアルタイムに対応できない。その結果として、児童は教師が来るまで待ち続けるため、児童の観察活動は停止してしまう。言い換えれば、児童の観察の進捗は、教師の支援度合いに影響されると推察される。光学顕微鏡を用いた授業では、複数の児童から同時に支援依頼があることが想定されることから、授業デザインにおいては、児童らの顕微鏡に関する操作スキルの修得にくわえて、教師の児童への迅速な支援体制の構築が必要であると考察される。

表 5-3 児童同士の発話 [事例3]

発話ID	発話者	発話内容 (行動)	<補足説明>
		[事例3]	
301	児童⑪	見つけた？	<児童⑫に向かって>
302	児童⑫	<微生物を発見したので> 児童⑪ちゃん<こっちに>来て (児童⑫が児童⑪に向かって手招き)	
303	児童⑪	(児童⑪が児童⑫の席に移動し, 児童⑫の顕微鏡を覗く)	
304	児童⑪	<児童⑫の顕微鏡を覗きながら> これミドリムシじゃん	
305	児童⑫, ⑬	<児童⑪の発話(ミドリムシじゃん)に対して, 児童⑫, ⑬は発話なし>	
306	児童⑪	<児童⑫の席で微生物を確認後, 発話しないで>(自席に戻り観察を継続)	

(2) MT スコープを用いた観察時の分析

図 5-3 に、MT スコープを用いた観察の様子を示す。

表 5-4 に、MT スコープを用いた微生物の「特徴」に関する発話〔事例 4〕を示す。

MT スコープ先行班（14 名）による MT スコープを用いた学習時間は、教師の説明（操作説明と観察手順）2 分 36 秒、児童の観察とスケッチの時間 15 分 15 秒、計 17 分 51 秒（約 18 分）であった。

〔事例 4〕では、ひとりの児童がケンミジンコの姿を見つけ「なんかさ、下の方、泳いでるやついない？（ID401）」と発話したことで、他の児童もその存在に気づき、見つけたケンミジンコのしっぽを指差し、「あ、これ、これ、これ、これ、これ（ID405）」と発話した。他の児童もケンミジンコの特徴に気づき、「あ、ほんとだ（ID406）」、「しっぽがわかれているやつ（ID404）」と実際にケンミジンコの特徴を確認した様子が分析された。シャーレを動かす人（ID401）、画面をみながら確認する人（ID405）など児童同士で協力しながら微生物を探索していた。



図 5-3 MT スコープを用いた観察の様子

表 5-4 微生物の「特徴」に関する発話 [事例4]

発話ID	発話者	発話内容 (行動)	<補足説明>
		[事例4]	
401	児童⑩	なんかさ、<シャーレの>下の方、泳いでるやついない？	
		<シャーレを動かしながら探索>	
402	児童⑱	いないよ. あ, おるよ	
403	児童⑭	あ, これ？	
		<画面上のケンミジンコを指さす>	
404	児童⑩	なんかさあ, しっぽがふたつに分かれてるやつ<シャーレを動かして探す>	
405	児童⑭	これ, なんかいいた. <画面にケンミジンコが再表示> あ, これ, これ, これ, これ, これ (ケンミジンコを指差す)	
406	児童⑮	あ, ほんとだ	
407	児童⑭	しっぽがわかれているやつ	

表 5-5 に、MT スコープを用いた微生物の「動作」に関する発話〔事例 5〕を示す。

〔事例 5〕では、回転しているミジンコを指差し「グルグルまわっとる (ID503)」や、「回った、回った (ID507)」など、ミジンコの動作に着目した詳細な観察を複数の児童がしている様子が分析された。また、ミジンコが回転する様子を MT スコープの動画保存機能を活用して記録している様子 (ID504, ID505) が見られた。

表 5-6 に、MT スコープを用いた微生物の「捕食」に関する発話〔事例 6〕を示す。

〔事例 6〕では、ひとりの児童がミジンコの体内に入ったり出たりするゾウリムシに気づき「あっ、なんか今体内に入ってたよ。ねえ、どんどん体内に入ってる。出たり入ったりしてるよ。ね、ほらぁ (ID601)」とミジンコのお腹を鉛筆で差しながら発話した。複数の児童がその発話 (ID601) に気づき、「かわいそう」、「すげえ。出たり入ったり」、「ほら、出ってた」、「今、消化されたみたいだ」と発話しながら、ゾウリムシがミジンコに捕食される様子 (ID602～ID608) を詳細に観察していた。

MT スコープ先行班 (14 名) の MT スコープを用いた観察活動において、児童が手を挙げて、あるいは、発話して、教師に支援を依頼した件数は 2 件であった。具体的な教師の支援内容は、顕微鏡画像を表示している画面が他のソフトの背面に隠れてしまい見えなくなったことへの対応、顕微鏡画像を拡大するアイコンの場所を児童から質問され、拡大アイコンの場所を差し示したことであった。

表 5-5 微生物の「捕食」に関する発話 [事例6]

発話ID	発話者	発話内容 (行動)	<補足説明>
		[事例5]	
501	児童⑩	あ,なんかいた (画面のミジンコを指差す)	
502	児童⑱	おー, すごえ!	
503	児童⑲	<u>グルグル回っとる</u>	<ミジンコがグルグル回転している. その周りにゾウリムシがいる>
504	児童⑭	動画, 動画 <動画ボタンを押すように依頼>	
505	児童⑩	(動画撮影ボタンを押す)	
506	児童⑱	<ミジンコの回転が停止したので> あ, 回らなくなっちゃった	
507	児童⑩	あ, <シャーレを>動かしちゃダメ <ミジンコが再び回転> <u>回った, 回った</u>	
508	児童⑰	こっから<なにか> <u>出てきてるよ</u> (ミジンコから出てきたゾウリムシを指差す)	
509	複数人	うわー	
510	児童⑭	<回転しているミジンコをみて> まわった, まわった	
511	児童⑱	すごー	

表 5-6 MT スコープを用いた微生物の「捕食」に関する発話 [事例6]

発話ID	発話者	発話内容 (行動) <補足説明>
		[事例6]
601	児童⑭	<u>あつ、なんか今体内に入ってたよ。ねえ、</u> <u>どンドン体内に入ってる。出たり入ったりしてるよ。ね、</u> <u>ほらあ</u> (鉛筆でミジンコのお腹を指差す)
602	児童⑰	<ミジンコの体内に入っていくゾウリムシをみて> <u>かわいそう</u>
603	児童⑯	<u>すげえ。出たり入ったり</u>
604	児童⑭	<u>ほら、出ってた</u> <ミジンコの体から 出ていくゾウリムシを指差す>
605	児童⑳	なにこれ
606	児童⑭	<u>なにこれ。口からなんか、なんか</u> <u>入ったり出たり</u>
607	児童⑭	<u>今消化されたみたいだ。ほら。あ、</u> <u>出てこなくなった。ほらあ、ちっちゃ</u> <u>いやつ</u> (ゾウリムシを指差す)
608	児童⑱	もう食ったんだね

(3) 従来の光学顕微鏡と MT スコープを用いた観察の違い

従来の光学顕微鏡を用いた観察と MT スコープを用いた観察の様子を分析した結果、以下の違いが明らかになった。

まず、学びのプロセスに関して、従来の光学顕微鏡を用いた観察では、教師の発話・発問に対し児童が気づくというプロセスがみられた。MT スコープを用いた観察では、児童がお互いの発話や指差し行為に気づき微生物を観察していく様子が明らかになった。次に、児童から教師への支援依頼に関して、従来の光学顕微鏡を用いた観察では、複数の児童から同時に支援依頼が発生していることが明らかになった。また、児童からの支援依頼に対して教師がリアルタイムに対応できない事例がみられた。MT スコープを用いた観察では、光学顕微鏡を用いた観察と比較して支援依頼は少なく、教師はリアルタイムに対応をしていた。そして、児童同士の対話に関して、従来の光学顕微鏡を用いた観察では、他の児童が発見した微生物を確認する行動がみられたが、発見した微生物について児童同士で話し合う様子はみられなかった。MT スコープを用いた観察では、他の児童が発見した微生物について指差しをしながら発話したり、微生物の動きや特徴について詳細に話し合っている様子が明らかになった。

第3節 質問紙による学習者特性別の分析結果

表 5-7 に、授業に関する「学習者特性」別の分析結果を示す。未回答者 1 名を除き、有効回答数 26 名（協同効用上位群 15 名、協同効用下位群 11 名）として分析を行った。

「操作性」に関する 2 項目において、「探索（小さな生き物を探すのは簡単だった）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用は有意ではなかった ($F(1, 24) = 0.07, n.s.$)。そこで、主効果を分析した結果、「学習者特性」の主効果は有意ではなく ($F(1, 24) = 0.00, n.s.$)、「学習方法」では、有意な差があった ($F(1, 24) = 4.71, p < .05$)。結果から、協同効用上位群及び協同効用下位群では、「MS 方式」より、「MT 方式」のほうが小さな生き物を探すのが簡単だったことが明らかになった。「ピント合わせ（小さな生き物にピントを合わせる操作は簡単だった）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなく ($F(1, 24) = 0.96, n.s.$)、「学習者特性」及び「学習方法」の主効果も有意ではなかった ($F(1, 24) = 0.65, n.s.$; $F(1, 24) = 0.96, n.s.$)。

「活動」に関する 5 項目において、「気づき（みんなの発言を聞いて小さな生き物に気づくことがあった）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用が有意傾向であった ($F(1, 24) = 3.03, .05 < p < .10$)。そこで、「学習方法」別に「学習者特性」の単純主効果を分析した結果、「MS 方式」において、協同効用上位群と協同効用下位群に有意差があり ($F(1, 24) = 5.00, p < .05$)、「MT 方式」では有意差はなかった ($F(1, 24) = 0.21, n.s.$)。また、「学習者特性」別に「学習方法」の単純主効果を分析した結果、協同効用上位群では有意差がなく ($F(1, 24) = 0.10, n.s.$)、協同効用下位群では有意差があった ($F(1, 24) = 4.61, p < .05$)。結果から、協同効用下位群では「MT 方式」のほうが、「MS 方式」より、みんなの発言を聞いて小さな生き物に気づくことが明らかになった。児童の身体の前には、児童個人が活動する空間が存在し（作業領域、KENDON 1990）、児童同士の対話はお互いが向き合ったときに重なる作業領域で行われる。「MS 方式」では、児童の正面に光学顕微鏡をおいて観察をするためお互いに向き合わないことから児童の作業領域が重なりにくい。このため、みんなの発言に気づいたり、話し合ったりすることがしにく

かったのではないかと考察される。一方、「MT方式」では、児童らはMTスコープの四辺を取り囲み画面を共有しながら観察する。児童らはお互いに向き合う身体的配置となり共通の作業空間（P空間，KENDON 1990）が形成される。共通の作業空間では、他の児童との会話や他の児童が指差した微生物に気づきやすい。このことから、協同効用下位群では、「MS方式」より「MT方式」のほうが気づくことができたと考えられる。「観察（小さな生き物の観察ができた）」では、「提示順序」、「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなかった（ $F(1, 24) = 0.00, n.s.$ ）。そこで、主効果を分析した結果、「学習者特性」の主効果に有意差があり（ $F(1, 24) = 4.84, p < .01$ ）、「学習方法」では有意傾向であった（ $F(1, 24) = 3.99, .05 < p < .10$ ）。結果から、協同効用上位群は、協同効用下位群より小さな生き物が観察できたことが明らかになった。また、協同効用上位群及び協同効用下位群では、「MS方式」より、「MT方式」のほうが小さな生き物の観察ができたことが示唆された。「話し合い（小さな生き物についてみんなで話し合った）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用は有意ではなく（ $F(1, 24) = 1.09, n.s.$ ）、「学習者特性」及び「学習方法」の主効果も有意ではなかった（ $F(1, 24) = 0.89, n.s.; F(1, 24) = 1.09, n.s.$ ）。「スケッチ（小さな生き物をスケッチするのは簡単だった）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなく（ $F(1, 24) = 0.92, n.s.$ ）、「学習者特性」及び「学習方法」の主効果も有意ではなかった（ $F(1, 24) = 0.33, n.s.; F(1, 24) = 0.34, n.s.$ ）。「探索（けんぴ鏡を見ながら小さな生き物を探ることができた）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなく（ $F(1, 24) = 0.05, n.s.$ ）、「学習者特性」及び「学習方法」の主効果も有意ではなかった（ $F(1, 24) = 1.55, n.s.; F(1, 24) = 2.05, n.s.$ ）。

「情意」に関する3項目において、「意欲（小さな生き物をもっと学びたい）」では、「学習者特性」、「学習方法」の要因における交互作用が有意であった（ $F(1, 24) = 4.43, p < .05$ ）。そこで、「学習方法」別に「学習者特性」の単純主効果を分析した結果、「学習者特性」では有意差がなかった（ $F(1, 24) = 1.22, n.s.; F(1, 24) = 0.00, n.s.$ ）。また、「学習

者特性」別に「学習方法」の単純主効果を分析した結果、協同効用上位群では有意差がなく ($F(1, 24) = 0.00, n.s.$) , 協同効用下位群では有意差があった ($F(1, 24) = 8.86, p < .01$) . 結果から、協同効用下位群では「MS方式」より、「MT方式」のほうが、小さな生き物をもっと見てみたいことが明らかになった. 協同効用下位群では、「MS方式」より「MT方式」のほうが他の児童の発言に「気づき」また、「観察」できたことで微生物への学ぶ意欲が高まったと考えられる. 「態度 (授業は楽しかった) 」では、「学習者特性」, 「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなかった ($F(1, 24) = 0.18, n.s.$) . そこで、主効果を分析した結果、「学習者特性」の主効果に有意差があり ($F(1, 24) = 9.69, p < .01$) , 「学習方法」では有意差がなかった ($F(1, 24) = 0.18, n.s.$) . 結果から、協同効用上位群は、協同効用下位群より、授業が楽しかったことが明らかになった. 「関心 (ほかの小さな生き物をもっとみてみたい) 」では、「学習者特性」, 「学習方法」の要因における交互作用が有意ではなく ($F(1, 24) = 0.35, n.s.$) , 「学習者特性」及び「学習方法」の主効果も有意ではなかった ($F(1, 24) = 0.04, n.s.; F(1, 24) = 0.35, n.s.$) .

表 5-7 授業に関する「学習者特性」別の分析結果

分類	質問項目	学習者特性	平均		標準偏差		主効果 F値			単純主効果 F値		
			MS 方式	MT 方式	MS 方式	MT 方式	学習者特性	学習方法	交互作用	学習者特性	学習方法	
操作性	探索	小さな生き物を探するのは簡単だった	上位群	2.87	3.33	0.81	0.70	0.00	4.71	0.07		
		下位群	2.91	3.27	0.79	0.45	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>			
	ピント合わせ	小さな生き物にピントをあわせる操作は簡単だった	上位群	3.13	3.13	0.72	0.88	0.65	0.96	0.96		
		下位群	2.73	3.18	0.75	0.72	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>			
活動	気づき	みんなの発言を聞いて小さな生き物に気づくことがあった	上位群	3.40	3.33	0.61	0.87	2.16	1.68	3.03	5.00 *	0.10 <i>n.s.</i>
		下位群	2.73	3.18	0.86	0.72	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	†	0.21 <i>n.s.</i>	4.61 *	
	観察	小さな生き物の観察ができた	上位群	3.67	3.93	0.47	0.25	4.84	3.99	0.00		
		下位群	3.27	3.55	0.75	0.66	**	†	<i>n.s.</i>			
活動	話し合い	小さな生き物について、みんなで話しあった	上位群	3.07	3.07	0.68	0.77	0.89	1.09	1.09		
		下位群	2.64	3.00	0.98	0.60	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>			
	スケッチ	小さな生き物をスケッチするのは簡単だった	上位群	3.13	3.07	0.50	0.85	0.33	0.34	0.92		
		下位群	2.82	3.09	0.83	0.79	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>			
探索	けんび鏡を見ながら小さな生き物を探ることができた	上位群	3.80	3.93	0.40	0.25	1.55	2.05	0.05			
	下位群	3.64	3.82	0.48	0.39	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>				
情意	意欲	小さな生き物についてもっと学びたい	上位群	3.53	3.53	0.81	0.72	0.32	4.43	4.43	1.22 <i>n.s.</i>	0.00 <i>n.s.</i>
		下位群	3.18	3.55	0.72	0.78	<i>n.s.</i>	*	*	0.00 <i>n.s.</i>	8.86 **	
	態度	授業は楽しかった	上位群	3.93	3.93	0.25	0.25	9.69	0.18	0.18		
		下位群	3.64	3.55	0.48	0.50	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>			
	関心	ほかの小さな生き物をもっとみてみたい	上位群	3.67	3.53	0.60	0.72	0.04	0.35	0.35		
		下位群	3.55	3.55	0.78	0.66	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>			

** : $p < .01$, * : $p < .05$, † : $.05 < p < .01$, *n.s.* : not significant.

第4節 まとめ（研究4）

本研究では、小学校第5学年で行われている水中微生物の顕微鏡観察において、従来の光学顕微鏡とテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた観察時の児童同士や教師と児童との発話、行動を分析し比較した。その結果、以下の知見を得た。

まず、発話分析の結果から、光学顕微鏡を用いた授業では、教師の発話・発問に対して児童が気づくというプロセスがみられた。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業では、児童同士がお互いの発言に気づき微生物を観察していく様子が明らかになった。光学顕微鏡を用いた授業では、児童から教師への支援依頼が同時に複数発生していることが明らかになった。児童からの支援依頼に対して教師がリアルタイムに対応できない事例がみられた。その結果、児童の観察の進捗は、教師の対応状況により左右される可能性が示唆された。次に、質問紙による学習者特性別の分析結果から、協同作業に対する意識が低い児童らは、光学顕微鏡を用いた授業より、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムのほうが、気づきや意欲において有用であることが示された。

第6章 テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの効果的なディスプレイの配置に関する検討（研究5）

第1節 研究の目的

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた水中微生物の観察・スケッチにおいて、ディスプレイの縦置提示によるスケッチと水平提示によるスケッチを比較し、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムにおけるディスプレイの効果的な配置について検討することを目的とした。

なお、研究5は、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を受けて実施した（承認番号：2015-243）。

第2節 方法

第1項 実験手順

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを2台用いた。1台はディスプレイ（以下、画面）が垂直になるように配置（以下、縦置提示）し、他の1台は画面が水平になるように配置した（以下、水平提示）。縦置提示と水平提示の画面には、スケッチ用としてテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムで撮影した水中微生物（ミジンコ）の顕微鏡写真を提示した。被験者は、画面に表示された水中微生物をクリップボード（以下、ボード）に挟んだワークシートにスケッチした。スケッチする位置は定めず、被験者がスケッチしやすい位置とした。スケッチする時間は定めず、被験者自身が任意で終了する方法とした。

大学生25名（男子20名、女子5名）を対象とし、被験者をAグループ11名、Bグループ14名に分けた。Aグループは、縦置提示でのスケッチを実施した後に、水平提示でのスケッチを実施した。Bグループは、水平提示でのスケッチを実施した後に、縦置提示でのスケッチを実施した。被験者は、縦置提示、水平提示におけるスケッチ終了後にスケッチに関する質問紙に回答した。スケッチ時における視線の動きを視線計測装置（ナックイメージテクノロジー社製EMR-9）を用いて記録した。

第2項 視線データによる客観評価

本調査は、ディスプレイの縦置提示及び水平提示におけるスケッチ時の活動を視線データを用いて客観評価することを目的とした。視線計測装置で得られたデータから、視線の移動回数に関するデータを抽出した。抽出したデータ（以下、視線回数）を分析するために、まず、ディスプレイを見ていた回数を「画面回数」、次に、スケッチボードを見ていた回数を「ボード回数」、そして、「画面回数」と「ボード回数」を加算した視線回数を「総回数」として、被験者ごとに縦置提示、水平提示別に集計した。統計分析は、ウィルコクソンの符号順位検定（Wilcoxon signed rank test）を用いた。有意水準5%、両側検定で、縦置提示及び水平提示の視線回数別に2群の代表値（中央値）の差を検定した。

第3項 質問紙調査による主観評価

本調査は、縦置提示及び水平提示における観察・スケッチ時の活動について主観評価することを目的とした。25名の被験者に対して、縦置提示及び水平提示でのスケッチ終了後に、スケッチに関する質問紙調査を実施し、「視線・頭部移動（2問）」、「写真比較（1問）」、「写真移動（1問）」の質問項目に対して4件法による回答を得た。「とてもそう思う」を4点、「ややそう思う」を3点、「あまりそう思わない」を2点、「まったくそう思わない」を1点として平均値を算出し、「提示方法（縦置提示、水平提示）」を要因（2水準、被験者内、両側検定）として一要因分散分析を行った。また、スケッチに関する感想を自由記述で回答させカテゴリに分類し集計した。

第3節 結果と考察

第1項 視線データによる客観評価の分析結果

「視線回数」に関して、ディスプレイの提示別（縦置提示、水平提示）に、「総回数」、
「画面回数」、「ボード回数」を比較した。まず、提示別の「総回数」を比較した結果、有意水準1%で有意な差があった。（ $V=26.5, p<.01$, 両側検定）。結果から、スケッチ時における「総回数」では、縦置提示と水平提示に差があることがわかった。縦置提示の「総回数」と水平提示の「総回数」の差の中央値から、水平提示のほうが縦置提示より、30回多く視線を動かしていたことが明らかになった。次に、「画面回数」を比較した結果、有意水準1%で有意な差があった（ $V=13, p<.01$, 両側検定）。結果から、スケッチ時における「画面回数」では、縦置提示と水平提示に有意な差があることがわかった。縦置提示の「画面回数」と水平提示の「画面回数」の差の中央値から、水平提示のほうが縦置提示より、18回多く視線を動かしていたことが明らかになった。続いて、提示別に「ボード回数」を比較した結果、有意水準5%で有意な差があった（ $V=34, p=.05$, 両側検定）。結果から、スケッチボードを見た回数では、縦置提示と水平提示に差があることがわかった。縦置提示と水平提示の「ボード回数」の差の中央値から、水平提示のほうが縦置提示より、15回多く視線を動かしていたことが明らかになった。

以上の分析結果から、「総回数」、「画面回数」、「ボード回数」はいずれも水平提示のほうが縦置提示と比較して有意に多かったことが明らかになった。つまり、水平提示では、縦置提示と比較して、画面とボード間をより多く視線移動をしてスケッチしていることが明らかになった。

第2項 スケッチに関する質問紙の分析結果

図 6-1 に、スケッチに関する質問紙の分析結果を示す。

まず、水平提示では、「視線移動：スケッチするときに、視線をあまり動かさずにスケッチできた」($F(1,24)=4.00, p<.05$)の項目と「写真移動：写真を観察しやすい位置に動かすことができるので、スケッチがしやすかった」($F(1,24)=4.93, p<.05$)の項目に有意差があった。「写真比較：スケッチでは、スケッチの絵と画面（写真）との比較がしやすかった」($F(1,24)=3.20, p<.10$)の項目に有意な傾向があった。結果から、水平提示では、縦置提示と比較して視線移動の負担が少なく、また、提示された画像とスケッチ画像との比較がしやすかったことが示唆された。一方、縦置提示では、「スケッチでは、ボードと画面間で頭（頭部）を大きく動かした」($F(1,24)=3.21, p<.10$)の項目に有意な傾向があった。結果から、縦置提示では、水平提示と比較して頭部の移動が多かったことが示唆された。

表 6-1 に、スケッチに関する自由記述の集計結果を示す。

縦置提示のスケッチでは、「(写真の)全体図が見やすかった」、「正面に写真があり観察しやすい」などの肯定的な意見(16件)を得た反面、「スケッチと画面を同時にみることが難しい」、「視線を動かす幅が広がった」などの否定的な意見(16件)を得た。一方、水平提示のスケッチでは、「写真とスケッチを比較しやすい」、「目線をあまり動かさずにすんだ(スケッチできた)」などの肯定的な感想(21件)を得た反面、「スケッチする時に紙(ワークシート)と画像が重なり見えにくい」などの否定的な感想(16件)を得た。

■縦置提示 ▨水平提示 4件法平均値



*: $p < .05$, †: $.05 < p < .01$

図 6-1 スケッチに関する質問紙調査の分析結果

表 6-1 スケッチに関する自由記述の集計結果

		カテゴリ(回答数)・具体的な回答例			
		視野・比較	視線移動	観察	全体把握
縦置提示	肯定的意見	比較しやすい 目線をあまり動かさずに用紙と画面を見れた。(2)	目線を動かさなかった 目線を動かさずに出来た(3)	細部まで見ることができた 正面に写真があり観察しやすい(5)	アウトラインがかきやすい 全体図が見やすかった(6)
	否定的意見	同一視しづらい スケッチと画面を同時に見るのが難しかった(6)	視線の移動が多かった 視線を動かさず幅が広がった(5)	詳細に書きにくい 細かなところが書けない(5)	
水平提示	肯定的意見	同一視しやすい 写真とスケッチを比較しやすい(12)	目線をあまり動かさずにスケッチできた(5)	くわしく書きやすい 細かい部分まで見れた(4)	
	否定的意見	スケッチする時に紙と画像が重なり見えにくい(7)		細かなところまで見れない(2)	アウトラインがうまくいかなかった(7)

第3項 考察

視線の移動回数に関して、水平提示では、縦置提示と比較して、画面とボード間をより多く視線移動をしてスケッチしていたことが明らかになった。画面とスケッチボードの位置関係に着目すると、縦置提示では、正面に画面があり、手元にスケッチボードがある。画面とスケッチボードを同時にみるのが難しいため、スケッチをするためには、正面を向き画面をみて写真を記憶し、そして、手元に視線を移動して書き写すことを繰り返す。

一方、水平提示では、画面の近傍にスケッチボードがあり、画面をみて写真を記憶し、ボードに視線移動して書き込む場合、画面とボードとの距離が短く視線の移動がしやすい。このことから水平提示では視線の移動回数が多かったのではないかと推察される。つまり、画面とボード間の距離の違いが、回数の差になったのではないかと考察される。質問紙を分析した結果、水平提示では、「視線をあまり動かさずにスケッチできた」に有意差があり、「スケッチの絵と画面（写真）比較がしやすかった」に有意な傾向があった。自由記述では、「写真とスケッチを比較しやすい」、「視線をあまり動かさずにスケッチできた」などの肯定的な感想があった。縦置提示では、「スケッチでは、ボードと画面間で頭（頭部）を大きく動かした」に有意な傾向があり、自由記述では「スケッチと画面を同時にみるのが難しい」、「視線を動かす幅が大きい」などの否定的な感想があった。これらの主観評価は、視線回数の分析結果と同様に、画面とボードとの距離の差に起因するものと推察される。

第4節 まとめ（研究5）

本研究では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いて、ディスプレイの効果的な配置（縦置提示、水平提示）を検討するために、視線データの計測と質問紙調査を実施した。視線データ（視線回数）の分析結果では、画面とボード間の視線移動は、水平提示のほうが縦置提示と比較して有意に多かった。質問紙の分析結果では、水平提示は「視線をあまり動かさずにスケッチできた」に有意差があり、「スケッチの絵と画面（写真）比較がしやすかった」に有意な傾向があった。これらの結果から、水平提示のほうが縦置提示と比較して、画面の写真とスケッチした写真との比較がしやすく、また、頭部や視線を移動をする負担が少ないことから、水中微生物のスケッチにおいては効果的な配置である可能性が示唆された。

第7章 研究の総括

第1節 研究の成果

従来の光学顕微鏡を用いた水中微生物の観察では、ピント合わせや動く微生物を探したり、児童が発見した微生物をリアルタイムにて教師や他の児童に伝えることができない。また、観察した微生物を共有しながら児童同士で話し合うことが難しく、さらに、教師が見てほしい微生物を児童に指し示すことも困難であるという問題がある。これらの問題を解決するためにテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発した。そして、実践授業による有用性を評価した。研究1（第2章）～研究5（第6章）の結果から、開発したテーブルトップ型顕微鏡画像システムを用いた授業は、従来の光学顕微鏡を用いた授業と比較して以下の有用性が明らかになった。各研究成果（研究1～研究5）の概要を以下に示す。

第1項 研究1（第2章）の研究成果

テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機を作製し、小学校教諭、児童・生徒へのインタビュー調査（予備調査）及び大学生による試作機（1号機、2号機）の評価を行った。その結果、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作機は、従来の光学顕微鏡を用いた顕微鏡観察と比較して、操作が簡単であり、児童らの興味・関心を高める可能性が示唆された。課題は、タッチ時の操作性改善（反応の速度向上）と実践授業で用いるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの開発し、そして、小学生を対象とした実践授業におけるシステムの有用性を評価することであった。

第2項 研究2（第3章）の研究成果

研究2では、研究1における試作機の評価結果で不十分であった機能を改良し、授業実践用のテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発した。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いて、小学生を対象とした授業実践においてシステムの有用性を評価した。その結果、光学顕微鏡を用いた授業に比べ、「理解」、「操作性」、「活動」におい

て、有用性が高いことが示唆された。また、システムの機能は、「観察」、「意欲・関心」、「操作性」において、水中微生物の観察に効果的であることが示唆された。課題は、機能では、ピント合わせの操作性を高める改良を行い、教育現場における「学習効果」の検証及び観察模様を記録したビデオ映像から「観察活動の詳細な分析」を行うことであった。

第3項 研究3（第4章）の研究成果

研究3では、改良したテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムと光学顕微鏡を用いた水中微生物の観察授業を設計し実践した。そして、テストによる「学習効果」の分析、質問紙調査による「授業評価」及び「システムの操作性に関する評価」を実施した。また、観察場面を記録したビデオ映像から発話や指差し行為に着目して「観察活動の詳細な分析」を行った。その結果、以下の知見を得た。

まず、テストによる客観評価では、「学習方法」において、「授業前後」に有意な差があった。結果から、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業は、光学顕微鏡による授業と比較して学習効果（理解度）を向上させることが明らかになった。次に、授業に関する質問紙調査では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる授業は、光学顕微鏡による授業と比較して、操作性（ピント合わせ、探索）、活動（観察、話し合い）において有用であることが明らかになった。続いて、「観察箇所に関する質問紙調査」では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察は、光学顕微鏡による観察と比較して、児童らが自ら気づき、水中微生物の器官（臓器）をより詳細に観察したことが明らかになった。さらに、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察時の「指差し」に関するビデオ分析では、複数の児童らが画面を指差したり、移動する微生物を追跡したりする行為が確認された。指差し行為により、児童らが実際に水中微生物を確認（観察）していることが明らかになった。また、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムによる観察時の「発話」に関するビデオ分析では、児童同士の対話による学びや児童による観察時の役割分担など、児童らは主体的な活動をしていたことが明らかになった。そして、児童らが観察した水中微生物の分析では、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システム

を用いた観察は、従来の光学顕微鏡を用いた観察と比較して、ミジンコのような動きのある水中微生物を主に対象に、体の動きやつくり、採餌の様子などの詳細な観察をしていたことが明らかになった。

第4項 研究4（第5章）の研究成果

研究4では、従来の光学顕微鏡とテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた観察時の児童同士や教師と児童との発話、行動を分析した。その結果、以下のことが明らかになった。

まず、発話分析の結果に関して、光学顕微鏡を用いた授業では、教師の発話・発問に対して児童が気づくというプロセスがみられた。テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた授業では、児童同士がお互いの発言に気づき微生物を観察していく様子が明らかになった。次に、光学顕微鏡を用いた授業では、児童から教師への支援依頼が同時に複数発生していることが明らかになった。児童からの支援依頼に対して教師がリアルタイムに対応できない事例がみられた。その結果、児童の観察の進捗は、教師の対応状況により左右される可能性が示唆された。そして、質問紙による学習者特性別の分析結果から、に対する意識が低い児童らは、光学顕微鏡を用いた授業より、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムのほうが、気づきや意欲において有用であることが示された。

第5項 研究5（第6章）の研究成果

研究5では、視線計測装置を用いて、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムのディスプレイに関する効果的な配置（縦置提示、水平提示）を検討した。その結果、画面（ディスプレイ）とボード（スケッチボード）間を移動する視線の移動回数は、水平提示のほうが縦置提示と比較して有意に多かった。また、質問紙の自由記述では、水平提示において、画面の写真とスケッチした写真との比較がしやすく、また、頭部や視線を移動する負担が少ないとの回答が得られた。これらのことから、水中微生物のスケッチにおいては水平提示のほうが縦置提示と比較して効果的な配置である可能性が示唆された。

研究（1～5）を概括すると、研究1では、児童らの「興味・関心」や「意欲」が高まることが明らかになった。研究2では、児童らはお互いに話し合うなど協調的な活動をしていることが明らかになった。研究3では、児童らの理解度が向上することが明らかになった。研究4では、従来の光学顕微鏡を用いた観察では、教師の発話・発問に対し児童が気づくというプロセスがみられ、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた観察では、児童がお互いの発話や指差し行為に気づき微生物を観察していく様子が明らかになった。研究5では、水中微生物のスケッチにおいては水平提示のほうが効果的な配置である可能性が示唆された。

以上の結果（研究1～研究5）から、テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた水中微生物の観察・授業は、従来の光学顕微鏡を用いた観察・授業と比較して有用であることが明らかになった。従来の光学顕微鏡を用いた観察・授業における問題はテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いることで解決できる可能性が示唆された。

第2節 今後の展望

本研究では、小学校理科の授業で行われている光学顕微鏡を用いた水中微生物の授業に関する問題を改善するためにテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを開発した。そして、実践授業にて従来の光学顕微鏡を用いた授業と比較しシステムを評価した。本論文の限界としては以下の点がある。研究3では、MT スコープ及び光学顕微鏡によりスケッチされた水中微生物を分析した。その結果として、MT スコープを用いた観察ではミジンコのような動きのある微生物を主にスケッチし、光学顕微鏡を用いた観察ではミカズキモのように動きの少ない微生物を主にスケッチしていたと述べた。しかし、光学顕微鏡の観察に用いられたプレパラート上の水中微生物（例 ミジンコ）はカバーガラスなどで動きが制限されている可能性も考えられる。一方、MT スコープを用いた観察では、シャーレの水の中を水中微生物（例 ミジンコ）が自由に動き回れる環境である。そこで、水中微生物が自由に動き回れる環境での顕微鏡観察と MT スコープを用いた観察におけるスケッチを分析することで MT スコープの有用性を評価することが必要である。水中微生物が自

由に動き回れる環境での顕微鏡観察方法として、たとえば、ホールスライドガラス（中央上面の半円のくぼみがあるスライドガラス）を用いた光学顕微鏡での観察や、デジタル顕微鏡を単独で用いた観察が考えられる。

参 考 文 献

- 味岡ゆい, 野ヶ山康弘 (2015) 生物観察におけるタブレット型顕微鏡の活用に関する試み. 日本理科教育学会東海支部大会研究発表要旨集, (61) : A1130
- 味岡ゆい (2016) 生物観察におけるICT機器活用の試み. 中部大学現代教育学部紀要, 8 : 49-53
- 青木悠樹 (2017) 体の粒子モデルを学ぶ教材・教育プログラムの開発 中学校第一学年を対象として. 教材学研究, 28 : 69-76
- 有馬明人ほか (2014) たのしい理科5年 : 38-69, 大日本図書
- Clark, H. H. (2005). Coordinating with each other in a material world. *Discourse studies*, 7(4-5) : 507-525
- Deaton, C., and Simms, S. (2017). Crime Scene Soil Investigation. *Science and Children*, 54(5) : 38
- 出野卓也 (2012) iPod touch を利用した顕微鏡実習指導用教具開発の試み. 大阪教育大学紀要. 教科教育, 60(2) : 13-21
- Dickerson, J. and Kubasko, D. (2007) Digital Microscopes: Enhancing Collaboration and Engagement in Science Classrooms with Information Technologies. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 7(4) : 279-292
- 藤枝秀樹 (2007) 携帯電話のカメラで顕微鏡写真を簡単に撮る方法. 日本理科教育学会全国大会要項, (57) : 276
- Goodwin, C. (2003) Pointing as situated practice, S. Kita (Ed.) , *Pointing : Where language, culture and cognition meet*, Mahwa, NJ, Lawrence Erlbaum
- 後藤太一郎, 式井俊, 前田昌志 (2022) 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. 三重大学教育学部研究紀要, 73 : 9-14
- Han, J. Y. (2005) Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology* : 115-118

- Hergemöller, T., & Laumann, D. (2017). Smartphone magnification attachment: Microscope or magnifying glass. *The Physics Teacher*, 55(6) : 361-364
- Hoisch, T. D., Austin, B. A., Newell, S. L. and Manone, M. F. (2010). Application of tablet PCs to lecture demonstrations on optical mineralogy. *Journal of Geoscience Education*, 58(4) : 221-231
- 石渡正志 (2013) 小学校理科実験・観察指導上の支障に関する調査報告書.
http://r-project.sakura.ne.jp/_src/sc1026/report006.pdf (参照日 2022.07.27)
- Kazuyuki Morita, Norio Setozaki, Yusuke Morita (2014) Evaluation of the Effectiveness of a Digital Microscope System with Tabletop Interface in a Science Class, Proc. of 22th ICCE (Nov 30 Dec 4 @ Nara / Japan)
- Kendon, A. (1990) Spatial organization in social encounters: the F-formation system. *Conducting interaction Patterns of behavior in focused encounters*. Cambridge University Press, New York : 209-237
- 木村雅友, 榎木英介, 前西修, 伊藤彰彦, 筑後孝章 (2013) 学生が携帯電話・スマートフォン内蔵デジタルカメラで顕微鏡画像を撮影することは病理組織実習に対する積極性を誘導するか?. *医学教育*, 44(2) : 85-87
- Kniseley, M. and Capraro, K. (2013). Small Wonders Close Encounters. *Science and Children*, 51(1) : 54-58
- 小林秀明 (2019) 携帯電話のカメラを利用した顕微鏡観察:小学校理科における顕微鏡観察方法の検討. *文教大学教育学部紀要*, 52 (別集) : 171-178
- 久川浩太郎 (2021) 理科の授業における効果的なICT活用の実践. *筑波大学附属聴覚特別支援学校紀要*, 43 : 44-48
- Lumetta, G. J. and Arcia, E. (2016). Investigating dissolution and precipitation phenomena with a Smartphone microscope. *Journal of chemical education*, 93(10), 1754-1759

- McNall, R. L., & Bell, R. L. (2004). Discovering flowers in a new light. *Science and Children*, 41(4) : 36-39
- Miyake, N. (1986) Constructive interaction and the iterative process of derstanding, *Cognitive Science*, 10 : 151-177
- 茂原伸也 (2017) 生物学教育におけるICTを活用した顕微鏡観察. 千葉県総合教育センター科学技術教育, 228 : 19-20
- 文部科学省 (2008a) 小学校学習指導要領解説理科編.
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2010/12/28/1231931_05.pdf (参照日2018.4.10)
- 文部科学省 (2008b) 発展的な学習内容に関する整理メモ.
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/tosho/004/gijiroku/08112616/003.htm (参照日2018.4.10)
- 文部科学省 (2011) 小学校理科の観察, 実験の手引き 第5学年B (2) 動物の誕生.
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2012/01/12/1304649_21_1.pdf (参照日2018.1.11)
- 文部科学省 (2015) 学習指導要領等について.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/058/siryu/__icsFiles/afieldfile/2015/11/09/1363330_2.pdf (参照日2018.4.10)
- 文部科学省 (2016) 次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ (第2部) .
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2016/09/09/1377021_1_4.pdf (参照日2018.1.11)
- 文部科学省 (2017a) 主体的・対話的で深い学びの実現 (「アクティブ・ラーニング」の視点からの授業改善) について (イメージ).
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2017/10/24/1397727_001.pdf (参照日 2022.07.27)

文部科学省（2017b）小学校学習指導要領（平成29年告示）解説【理科編】。

https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf(参照日 2022.07.27)

文部科学省（2019）主体的・対話的で深い学びの実現に向けたICT活用の在り方と授業事例。

https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/06/04/1416859_03.pdf(参照日 2022.07.27)

文部科学省（2020a）各教科等の指導におけるICTの効果的な活用について。

https://www.mext.go.jp/content/20200911-mxt_jogai01-000009772_19.pdf(参照日 2022.07.27)

文部科学省（2020b）理科の指導におけるICTの活用について。

https://www.mext.go.jp/content/20210616-mxt_jogai01-000010146_004.pdf(参照日 2022.07.27)

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2012）マルチタッチ方式を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作と評価, 日本教育工学会第28回全国大会講演論文集, 443-444

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2013a）マルチタッチ方式を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの開発と評価. 日本教育工学会論文誌, 37 (Suppl.) : 169-172

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2013b）実践授業におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの評価, 日本教育工学会第29回全国大会講演論文集 : 695-696

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2014a）テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業の評価, 日本教育工学会第30回全国大会講演論文集 : 375-376

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2014b）テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における学習効果. 日本教育工学会研究報告集, 14(5) : 271-274

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介（2015a）授業実践におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの有用性, 日本科学教育学会年会論文集, 39 : 228-229

- 森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2015b) 授業実践におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性改善の試み, 日本教育工学会第31回全国大会講演論文集 : 631-632
- 森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2019) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの改良と実践授業における学習効果の分析. 科学教育研究, 43(1) : 3-21
- 森戸幹, 佐伯英人 (2019) タブレット顕微鏡と電子黒板を使った理科の授業—小学校第 5 学年「動物の誕生」 において—, 日本科学教育学会研究会研究報告, 33(6) : 17-22
- 望月俊男, 佐々木博史, 脇本健弘, 平山涼也, 久保田善彦, 鈴木栄幸 (2013) ロールプレイを活性化する触媒としての人形劇 : 多様な視点からの洞察を促すための対面環境. 日本教育工学会論文誌, 37(3) : 319-331
- 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. 福岡教育大学紀要, 65 : 1-8
- 大塚篤, 城仁士 (2011) 児童の学校外活動が協同認識と社会的スキルに及ぼす影響. 神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究紀要, 5(1) : 91-97
- 小田部家邦 (2012) 一般の大人たちを含めて子どもたちと共にプランクトン観察. *Diatom*, 26 : 52-52
- 佐伯英人 (2017) 2 つの異なるタイプのタブレット顕微鏡に関する一考察. 日本科学教育学会年会論文集, 41 : 315-316
- 佐藤和正 (2015) スマホ・タブレット顕微鏡を用いた顕微鏡観察・指導の研究: レーウエンフック顕微鏡が開く新たな顕微鏡文化. 日本理科教育学会全国大会要項, (65) : 380
- Sawyer, R. K. (2014) Introduction: The New Science of Learning. In R. K. SAWYER (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences Second edition*. Cambridge University Press, New York : 1-20
- 霜田光一, 森本信也ほか (2014) みんなと学ぶ小学校理科5年 : 39-53, 学校図書.

- 竹下陽子 (2015) ICT機器を活用した観察プログラムの開発. 日本理科教育学会全国大会発表論文集, (13) : 38
- 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 : 37-40
- Tessmer, M., and Cowlshaw, R. (2011). Time for Slime. *Science and Children*, 49(4) : 38-41.
- Travaille, M. and Adams, S. D. (2006). Using digital microscopy. *The Science Teacher*, 73(4): 50
- Van Scoter, J. (2004). Using Digital Images To Engage Young Learners. *Learning & Leading with Technology*, 31(8) : 34-37
- 和田薫, 石丸隆, 大森紀幸, 宮崎隆行, 熊谷香菜子 (2020) 珪藻化石を用いて大地と海の間接関係を理解する学習プログラムの開発と実践. 明星大学教職センター年報, (3) : 97-106
- 和田智 (2012) デジタル顕微鏡の小学校授業への適用と効果に関する研究. 情報学研究, (1) : 85-90
- 渡辺克己 (2016) 家庭用ビデオカメラを用いた理科教育の改善-実物投影装置・実体顕微鏡・顕微鏡投影装置としての活用. 北里大学教職課程センター教育研究, (2) : 45-53
- Wilmes, S. E. (2021). Interaction rituals, emotions, and early childhood science: digital microscopes and collective joy in a multilingual classroom. *Cultural Studies of Science Education*, 16(2) : 373-385
- 山田孝行, 池田英幸 (2005) デジタル顕微鏡導入による工学実験の教育改善. 鹿児島工業高等専門学校研究報告, (40) : 57-59
- 山田洋一・井口智文 (2017) マルチメディア活用理科教材の作成 (第 1 報). 宇都宮大学教育学部研究紀要. 第 2 部, (67) : 7-12
- 谷津潤, 山野井貴浩 (2016) 高等学校の生物観察における自作簡易タブレット顕微鏡の開発と評価. 日本教科教育学会誌, 39(3) : 63-68

- 吉田淳, 井上祐輝, 櫛田敏宏 (2018) 小学校理科観察実験指導に関する実態と課題. 日本科学教育学会研究会研究報告, 25(6) : 36-41
- 吉川武憲 (2019) タブレット PC を用いた地層観察および顕微鏡観察における観察記録作成の試み. 近畿大学教育論叢, 30(2) : 99-112
- 吉川武憲 (2021) ペア顕微鏡観察が観察者にもたらす心理的な影響—大学生を対象とした花粉・孢子化石の分類を例に一. 近畿大学教育論叢, 33(1) : 19-34
- 養老孟司, 角屋重樹ほか (2014) : 未来をひらく小学理科5 : 50-55, 教育出版.

付 記

本論文の一部は、以下で発表したものである。

第2章 (研究1)

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2012) マルチタッチ方式を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの試作と評価. 日本教育工学会第28回全国大会講演論文集, 443-444

第3章 (研究2)

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2013) マルチタッチ方式を用いたテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの開発と評価. 日本教育工学会論文誌, 37(Suppl.), 169-172

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2013) 実践授業におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの評価, 日本教育工学会第29回全国大会講演論文集, 695-696

Kazuyuki Morita, Norio Setozaki, Yusuke Morita (2014) Evaluation of the Effectiveness of a Digital Microscope System with Tabletop Interface in a Science Class, Proc. of 22th ICCE (Nov 30-Dec 4 @ Nara / Japan)

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2014) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業の評価, 日本教育工学会第30回全国大会講演論文集, 375-376

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2015) 授業実践におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの有用性, 日本科学教育学会年会論文集39, 228-229

第4章 (研究3)

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2014) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた実践授業における学習効果, 日本教育工学会研究報告集 14(5), 271-274

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2015) 授業実践におけるテーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの操作性改善の試み, 日本教育工学会第31回全国大会講演論文集, 631-632

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2019) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムの改良と実践授業における学習効果の分析. 科学教育研究, 43(1) : 3-21

第5章（研究4）

森田和行, 瀬戸崎典夫, 森田裕介 (2023) テーブルトップ型顕微鏡画像提示システムを用いた顕微鏡観察場面の分析による有用性の評価. 日本教育工学会論文誌, 47(2)(採録決定)

第6章（研究5）

第6章の研究5は, 早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認（承認番号：2015-243）を受けて実施した.

謝 辞

本論文の遂行にあたり、多くの皆様に大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。

指導教員であります森田裕介先生には、オープンキャンパスのときから、十数年の長きにわたり、ご指導・ご鞭撻をいただき厚く御礼申し上げます。常に前向きに取り組む森田先生のお姿を拝見し、そして、いつも暖かい励ましのお言葉をかけていただきましたことで、今日まで研究への思いが継続できたと思っております。本当に長きにわたりありがとうございました。深く感謝申し上げます。

副査の西村昭治先生、向後千春先生におかれましては、ご多用のなか審査委員をご承諾いただき大変ありがとうございました。学部時代でも励ましのお言葉をいただき、また、中間報告会では貴重なご教授を賜りましたことで今日まで研究を続けることができました。重ねて深く御礼申し上げます。

瀬戸崎典夫先生におかれましては、修士時代から数多くのご指導を賜り大変感謝しております。心より御礼申し上げます。

実践校の小学校関係者皆様に御礼申し上げます。授業にての実践を快くお受けいただきましたことで、本研究を進めることができました。深く感謝申し上げます。

森田研究室の皆様におかれましては、小学校での実践におけるご支援、実験協力など大変御世話になりました。深く御礼申し上げます。

皆様の益々のご活躍とご健勝を祈念しております。

最後に家族に感謝いたします。