

原著論文

美しく説明力のある映像教材の作成に関する基礎研究Ⅲ －自然の形をより鮮明に映像化し、立体写真を撮影する方法の開発－

渡 辺 克 己

北里大学獣医学部

要旨

ノンカバー長作動対物レンズとLEDランプによる落射照明、被写体を水平に調整する装置の作製により、物の表面の微細構造を撮影した。直径1.2mm程のメダカの卵の観察方法を工夫し、深度合成機能を利用するなど、全体像を見せる写真の撮影に取り組んだ。双眼実体顕微鏡の鏡筒をそれぞれに撮影し、立体写真の作成を行った。接写と顕微鏡の検鏡画面の立体撮影の方法を検討した。動きの激しいミジンコの体を機械的に押さえ動きを止め、心臓の拍動や血流、消化作用等体内の活動を簡単に観察する方法を検討した。

キーワード：映像教材、デジタルカメラ、立体写真、メダカ卵、ミジンコ

はじめに

気孔は実際はどんな形をしているのだろうか、直径が1.2mm程あるメダカの卵の全体像を1枚の写真に撮ることができないか、動きのあるミジンコを生きたまま詳細に観察するにはどうしたらよいか、双眼実体顕微鏡の検鏡画面を立体写真で再現できないか、顕微鏡の検鏡画面を立体視することはできないか、以前から抱いていたこれらの思いを実現すべく撮影装置と技術の開発を試みた。また、昨年研究した立体写真¹を小学校5年生に見せたところ、全員が驚き興味を示すなど大変好評であり、理科教育の重要な要素である児童生徒の興味関心を喚起する教材として極めて有望であると確信した。今回、接写と顕微鏡映像を主に立体写真を理科教材として活用すべく学校現場で実施可能な撮影方法について検討を行った。

I 物の表面の微細構造を自然な形で観察する方法

1 概要

双眼実体顕微鏡は被写体を立体的に観察できる反面、高倍率で観察することはできな

い。今回一般的な双眼実体顕微鏡の倍率である40倍程度を超える倍率で、物の表面を落射照明を用いて観察し撮影する方法について検討した。

2 顕微鏡対物レンズの検討

落射照明を用いるためには、ピントを調節するための対物レンズと被写体までの作業距離（W.D.）が大きいことが重要である。そこで今回はレイマー社製のプランアクロマート対物レンズノンカバー長作動を用いた。このレンズはカバーガラス補正がなく、金属組織や血液の塗抹標本等、カバーガラスを使用しない試料を観察するための対物レンズである。一般的に使われている対物レンズであるアクロマート対物レンズ（レイマー社製）の作業距離が、 $\times 4$ のレンズで17.42mm、 $\times 10$ のレンズで6.60mm、 $\times 20$ のレンズで1.85mm、 $\times 40$ のレンズで0.64mm、であるのに対し、 $\times 5$ のレンズで18.30mm、 $\times 10$ のレンズで8.80mm、 $\times 20$ のレンズで8.6mm、 $\times 40$ のレンズで3.30mmと通常の対物レンズに比べ20倍、40倍の対物レンズにおいて作業距離が特に大きくなっている。

3 落射照明装置の作製

双眼実体顕微鏡用の照明装置は色々販売されているが、顕微鏡の対物レンズの直下の狭い部分を明るく照明するには必ずしも適切ではない。そこで、直径3mmの複数のLEDランプを対物レンズの周辺に配置し被写体を局所的に照明する落射照明装置を作製した。

小型であり対物レンズの交換に際し簡単に脱着が可能であることを検討した結果、対物レンズを挟み込む形が適切であることが分かった。

写真は100円ショップで販売されているスプリングクランプと洗濯ばさみを利用した照明装置である。LEDランプは5.0V、1560mcd、抵抗内蔵で、電源は携帯電話の充電器（出力5.5V）を用い、回路中に光量調整のための可変抵抗器を挟んだ。被写体をまんべんなく照明するためにはLEDライトの取り付け角度調整が重要である。



写真1 落射照明装置

4 被写体の回転、水平を調節する装置の作製

直径9cmのプラスチックシャーレの内皿にビニルテープを7重に貼りがたつきを無くし、蓋を底に敷き、ホールソーを用いて中央に直径2cmの穴を開ける。中央にプレパラートを置きこれを顕微鏡のステージに載せ内皿を回転すれば被写体を水平に回転することができる（写真2）。双眼実体顕微鏡における利用が有効である。被写体の傾きは顕微鏡で拡大されてしまうので、内皿の3カ所に調節ネジを付けシャーレの傾きを変えることで被写体を水平に調整する事ができる。装置の下にスライドガラスを貼り付け、メカニカルステージ上に固定すれば広い範囲でピントの合った適切な画像を得るのに便利である。



写真2 被写体を回転する装置

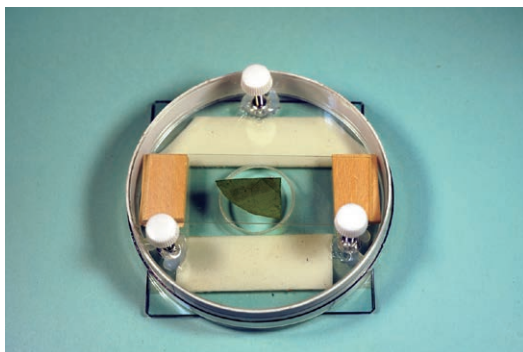


写真3 被写体の水平を調整する装置

5 撮影結果

(1) 新聞紙の観察

新聞紙の天気予報図の部分を観察した。倍率が上がるにつれて紙の繊維を確認できるようになる。見やすさの点からは20倍の対物レンズが適当である。

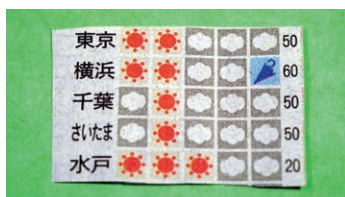


写真4 新聞の天気予報図

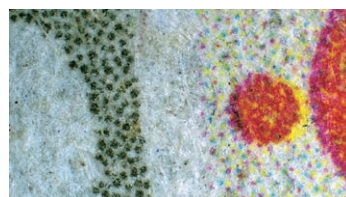


写真5 5倍対物レンズ

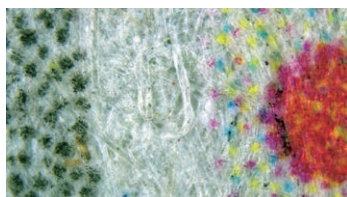


写真6 10倍対物レンズ

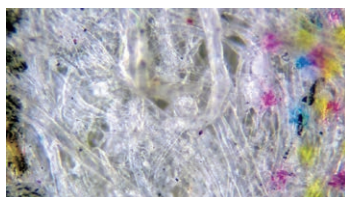


写真7 20倍対物レンズ

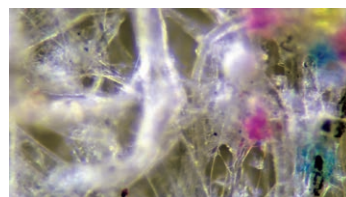


写真8 40倍対物レンズ

(2) クロマツの葉の観察

マツの葉には気孔の外側に外呼吸孔があることが知られており、細い葉に外呼吸孔が整然と並んでいるのには驚かされる。また、この部分に詰まったゴミの状況を調べると生育地の環境を知ることができるので、環境教育の材料としても利用されている。



写真9 クロマツの葉

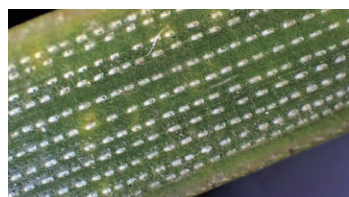


写真10 5倍対物レンズ

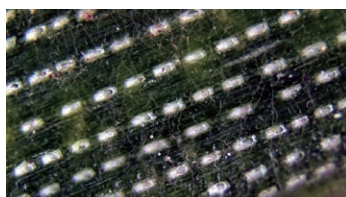


写真11 10倍対物レンズ

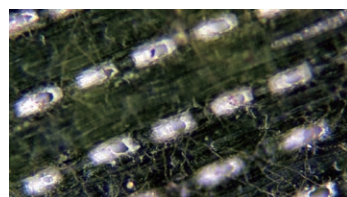


写真12 20倍対物レンズ

(3) ウチワサボテンのトゲの観察

ウチワサボテンはちょっと触れただけでトゲが刺さる。ウチワサボテンのトゲを拡大すると、トゲの1本1本にかえしが付いていることが分かる。

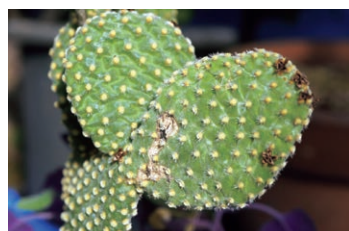


写真13 ウチワサボテン

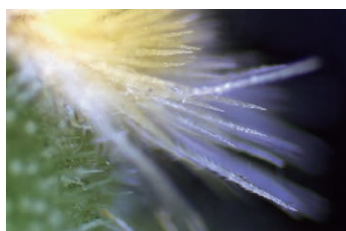


写真14 5倍対物レンズ

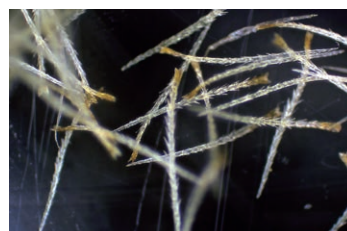


写真15 10倍対物レンズ

(4) アシナガムシトリスミレ（食虫植物）の葉の観察

アシナガムシトリスミレの葉に止まった虫は何故動けなくなるのか。葉の表面を拡大すると、無数の丸い粘液の粒が分布している様子が分かる。



写真16 アシナガムシトリスミレ



写真17 5倍対物レンズ

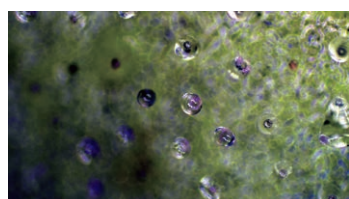


写真18 5倍対物レンズ

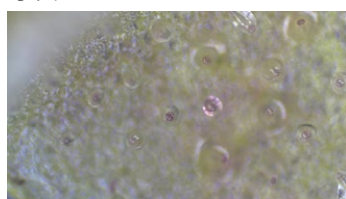


写真19 10倍対物レンズ

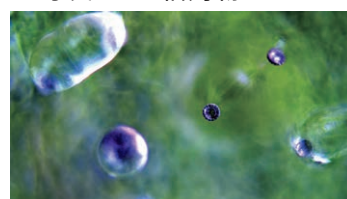


写真20 20倍対物レンズ

(5) イネの葉の観察

イネは生育期に多量の水を吸収することが知られている。吸収された水の多くは気孔から蒸散される。イネの葉には裏にも表にも実に多くの気孔が存在する。葉を拡大し気孔の分布を確認すると、イネが多量の水を吸収することが理解できる。



写真21 イネの葉

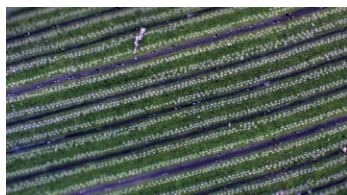


写真22 5倍対物レンズ

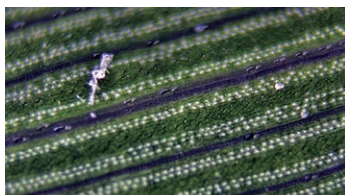


写真23 10倍対物レンズ

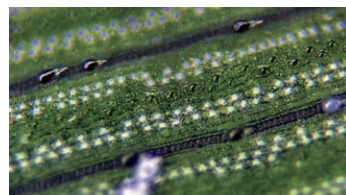


写真24 20倍対物レンズ

Ⅱ オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6とシリンダールーペを用いた接写

1 撮影方法の概要

(1) オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6の接写能力

このカメラの顕微鏡モードでは被写体から1cmまでの自動焦点調節による接写が可能であり、5mmの大きさを視野全体に拡大し撮影することができる。しかし、この能力は透過光を用いる状態でなければ発揮することが難しく通常の状態での撮影には工夫が必要である。

そこで、置くだけでほぼピントが合うシリンダールーペの特性を活かし、電池で強



写真25 シリンダールーペ装着装置

い光量が得られるLEDランプを落射照明の光源とする、被写体に密着するだけで、カメラの自動焦点調節機能により撮影ができる撮影補助器具の開発を行った。

(2) シリンダールーペの活用

プラスチック製で蓋の直径が40.1mmの細胞培養ディッシュの中心に直径2cmの穴を開け、KSKシリンダールーペをグルーガンを用いて固定する。ディッシュの直径は偶然にもカメラのフィルター径とほぼ同じなので、上記の装置はこのカメラにぴったり装着することができる。

(3) 照明装置の作製と装着した状態



写真26 装着装置の全体



写真27 カメラに装着した状態

ビニルテープの芯の内径がシリンダールーペの外径とほぼ等しいため、ビニルテープの芯を加工し8個のLEDランプを取り付けた。LEDランプは5.0V用であるが4.5Vでも十分機能する。照明装置をカメラに取り付けたシリンダールーペに装着する（写真27）。

2 撮影結果

(1) 10倍のシリンダールーペ

10倍のシリンダールーペを装着して、定規のミリ目盛り（写真28）と新聞の天気予報図を撮影した。撮影範囲は幅10mmである。



写真28 1mmの拡大状況

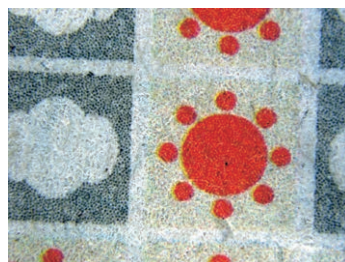


写真29 天気予報図の撮影

(2) 15倍のシリンダールーペ

15倍のシリンダールーペを装着して、定規のミリ目盛り（写真30）と新聞の天気予報図を撮影した。撮影範囲は幅7mmである。

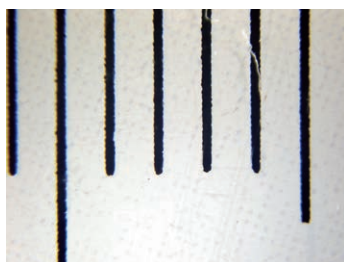


写真30 1mmの拡大状況

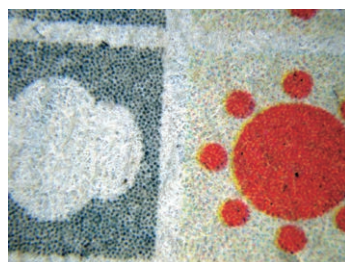


写真31 天気予報図の撮影

(3) 20倍のシリンダールーペ

20倍のシリンダールーペを装着して、定規のミリ目盛り（写真32）と新聞の天気予報図を撮影した。撮影範囲は幅5mmである。これはこのカメラの最大撮影範囲とほぼ等しい。

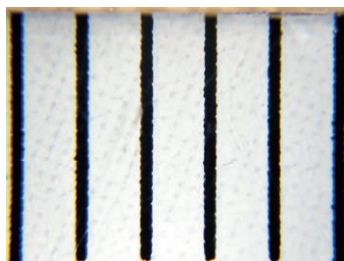


写真32 1mmの拡大状況

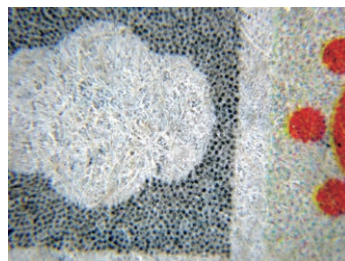


写真33 天気予報図の撮影

(4) 10倍のシリンドールペを装着しての撮影



写真34 サクラの幹の皮目



写真35 河原の石の表面

写真34はサクラの皮目に装置を押し当て全て自動で撮影したものである。左下部分のピントが甘くなっているが装置の使い方に慣れることで修正は可能であると思われる。

写真35は河原の石の表面である。簡単な装置の割には表面の微細構造が良く撮れている。

オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6にシリンドールペを組み合わせた仕組みは撮影が簡単であり映像教材の作成ツールとして利用できると思われる。

(5) 10倍のシリンドールペを装着してのゼニゴケ杯状体の撮影、深度合成機能の利用



写真36 通常の撮影



写真37 深度合成機能による撮影

オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6の顕微鏡モードに深度合成機能がある。これは、カメラが自動的にピントをずらした数枚の写真を撮影しこれらを1枚に合成する機能である。写真37はこの機能を用いたもので、写真36よりも被写界深度が深くなっている。

(6) 15倍のシリンドールペを装着してのグラフ用紙の撮影、深度合成機能の確認

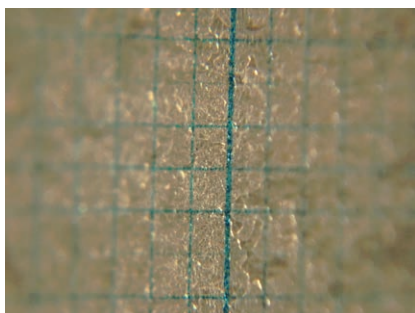


写真38 通常の撮影

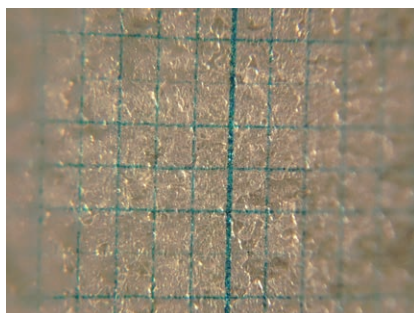


写真39 深度合成機能による撮影

オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6にシリンダールーペを装着した状態での被写界深度の数値化を試みた。写真40は0.5mm×0.5mmのグラフ用紙をスライドガラスに貼り付け30度の角度で配置したものであり、これを撮影したものが写真38、39である。深度合成機能により、シリンダールーペを装着した状態で被写界深度が0.5mm程から1.25mm程に深まっていることが確認できる。

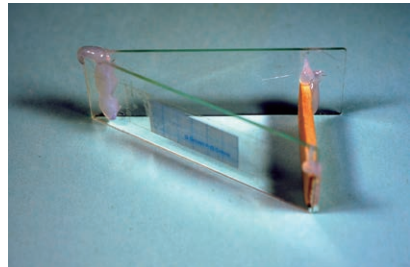


写真40 被写界深度撮影装置

Ⅲ メダカの卵の撮影方法の工夫

1 概要

メダカは小学校から高校まで多目的に活用できる優秀な教材であり、その卵の観察方法の改善には大きな意義がある。今回は簡単な機材を用いた観察方法の工夫と得られる画像の比較を試みた。

2 メダカ卵の撮影方法の検討

(1) 卵みがきの効果

メダカの卵は固まって産まれることも多くまた、表面にゴミが付着していることも多い。そこで、1000番の耐水性の布ヤスリを貼り付けた直径5cm程のシャーレに卵を入れ、水100mlに市販の消毒用メチレンブルー液を2滴加えた溶液を加えて、指で卵を押さえながら転がす。これにより卵がバラバラになり表面のゴミも取れて観察しやすくなる。



写真41 卵みがきシャーレ

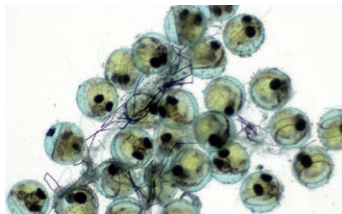


写真42 みがく前の状態

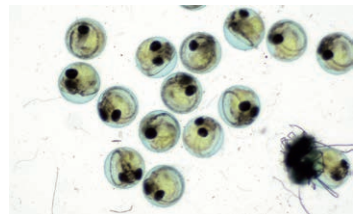


写真43 みがいた後の状態

(2) 額縁付スライドガラスの作製

メダカの卵は直径が1.2mm程度あるのでスライドガラスを用いた通常の方法で観察することはできない。一般的には時計皿等が用いられるが使い勝手が良いとは言えない。そこで、スライドガラスに絶縁用のビニルテープ（厚さ0.13mm）を9枚重ねて貼り付け、土手状または、コの字状



写真44 額縁付スライドガラス

の構造を作る。この中に卵を入れカバーガラスをかけ検鏡すれば大変便利である。

(3) 観察部位を調整する方法、2針付有柄針の利用

額縁付スライドガラスに卵を入れ、一部にビニルテープを貼ったカバーガラスをかける。2針有柄針でビニル部分を抑えれば、カバーガラスを動かし、卵を転がし、見たい部分を選ぶことができる。



写真45 テープ付カバーガラス

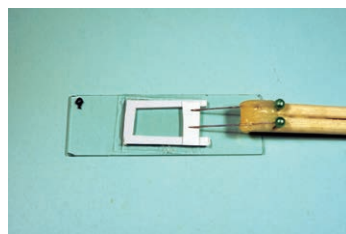


写真46 2針有柄針

3 観察結果

双眼実体顕微鏡と顕微鏡によりメダカの卵を観察した。顕微鏡では透過照明と落射照明による見え方の違いを比較した。卵はみがかず糸状藻が付着しているものを選んだ。

双眼実体顕微鏡は立体的で被写界深度が深く見やすいが鮮明さにやや劣る感がある。

顕微鏡を用いる場合照明方法の違いにより得られる像には大きな違いがあり、本来の色を見るには落射照明が優れている。

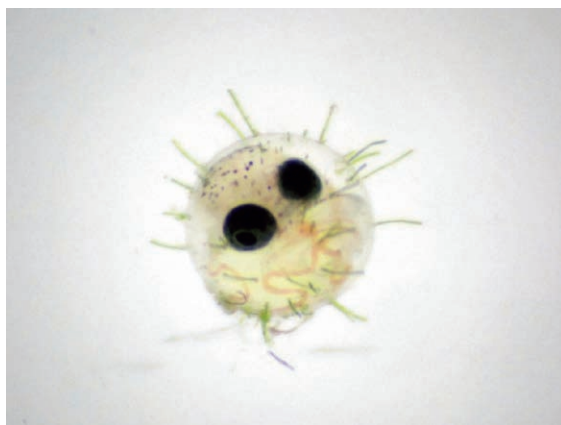


写真47 双眼実体顕微鏡による撮影

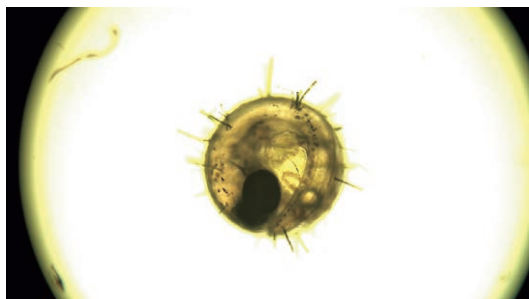


写真48 透過照明による撮影

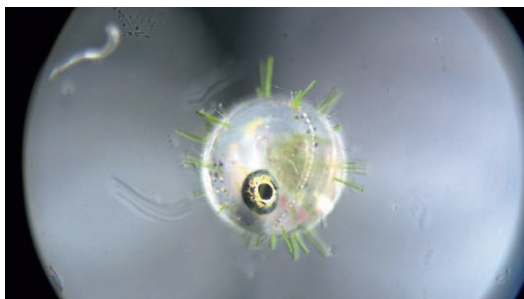


写真49 落射照明による撮影

4 深度合成機能を用いた卵の撮影

(1) オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6の顕微鏡モード深度合成機能の利用

このカメラの顕微鏡モードは1.0cmでの接写が可能であるため、この機能を活かす装置を作製した。前掲の細胞培養用ディッシュに直径2cmの穴を開け、縁をスライドガラスを跨げるよう

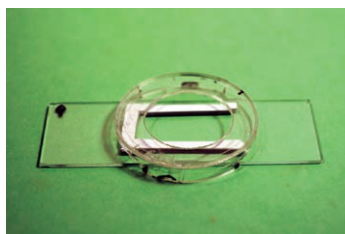


写真50 撮影装置



写真51 装着した状態

うに切り取りカメラに装着した。深度合成機能モードにセットし、自動焦点調節機能が働いた時点でメダカの卵を撮影した。

(2) 撮影結果



写真52 通常機能での撮影

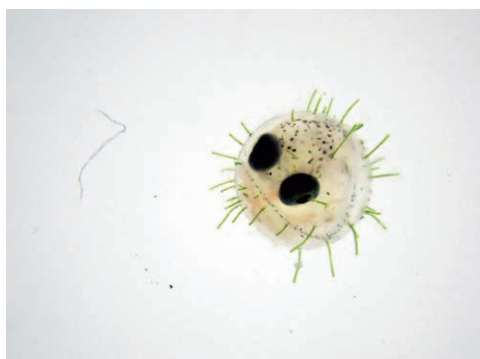


写真53 深度合成機能による撮影

写真53から深度合成撮影が機能することが分かった。顕微鏡でピントをずらして撮影し多重焦点合成ソフトの活用も試みたが期待通りの結果が得られなかった。現時点ではこの方法が最も被写界深度の深いメダカ卵の写真を撮れる方法である。

Ⅳ ミジンコの観察方法検討

1 概要

ミジンコは最も人気のある顕微鏡観察教材の一つであるが、動きが速いため観察しにくい教材でもある。そこで、ミジンコの動きを機械的に止め、体内諸器官の活動状況をしっかり観察できる教具の作製と観察方法について検討した。

2 側面・上面観察用2穴ホールスライドの作製

(1) ミジンコ上面の撮影用ホールスライドガラスの作製

絶縁用ビニルテープを10～12枚重ね、事務用穿孔機で穴を開け、スライドガラスの左側

に貼り付ける。ミジンコを入れカバーガラスをかけて検鏡すれば通常の姿勢で泳ぐ状態が観察できる。ただし、動きを止めることはできない。

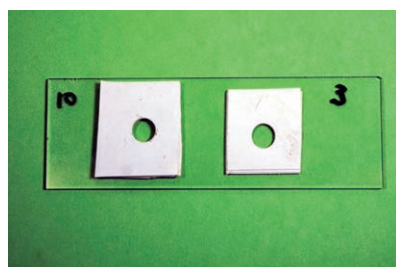


写真54 撮影装置

(2) ミジンコ側面の撮影用ホールスライドガラスの作製

絶縁用ビニルテープを、抱卵していない個体用には3枚、抱卵している個体用には4枚重ね、事務用穿孔機で穴を開けスライドガラスの右側に貼り付ける。ミジンコを入れカバーガラスをかけて検鏡すれば、心臓の拍動や血球の動きなど多様な生命活動が観察される。

1枚のプレパラートでミジンコの上面と側面の異なる方向からの観察が可能であり、事務用穿孔機の穴の大きさは4倍の対物レンズの視野に近く小学生にも観察が容易である。

3 2穴ホールスライドガラスを用いた観察結果

ミジンコの上面から(写真55・57)と側面から(写真56・58)、透過光と落射光で撮影した。それぞれに見え方が異なり気付くことも多いと思われる。上面からの観察で目が1つであることにはじめて気付く場合が多い。



写真55 上面、透過照明



写真56 側面、透過照明

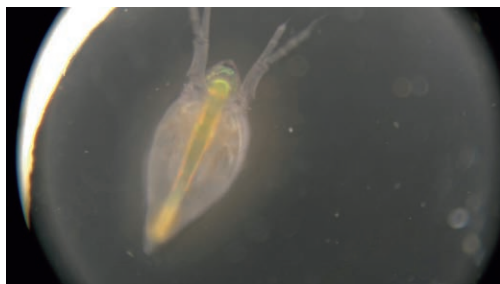


写真57 上面、落射照明



写真58 側面、落射照明

4 額縁付スライドガラスを用いた観察結果と照明方法の比較

4枚重ねの額縁付スライドガラスを用いて抱卵状体のミジンコを観察した。顕微鏡で得られる映像も落射照明を用いると本来の色の再現が良いようである。

(1) 透過照明による観察

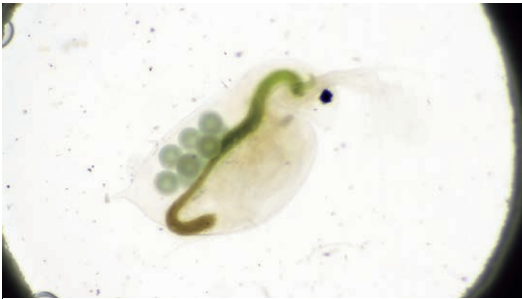


写真59 双眼実体顕微鏡による撮影



写真60 顕微鏡による撮影

(2) 落射照明による観察

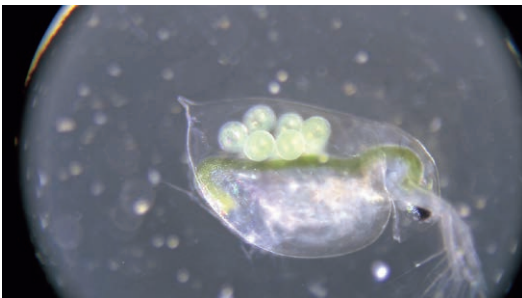


写真61 写真60の落射照明による撮影

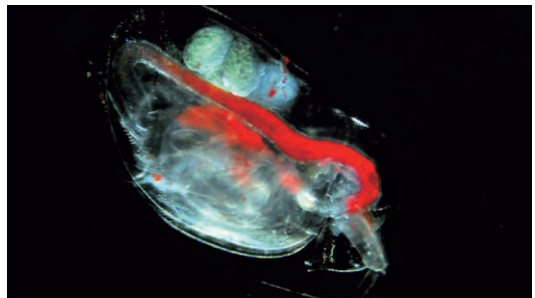


写真62 染色した餌を食べた状態²

V 立体接写・立体顕微鏡写真の撮影

1 概要

立体写真はカメラを被写体に対して平行移動し2枚の写真を撮影し、それぞれの写真を両眼で見ることで立体視ができるというものである³。双眼実体顕微鏡は、一定の内角（12°程度）を持った2つの光軸上に左右それぞれの光学系を配し、それぞれを両眼で見るため立体視ができる⁴というのが原理である。そこで、立体写真の撮影に当たり従来の方法と双眼実体顕微鏡の原理を応用した方法での撮影を試みた。

(1) 平行移動する撮影法

従来の方法であり、カメラから被写体までの距離の20分の1から30分の1の距離カメラを平行移動して2枚の写真を撮影する方法である。

(2) 内角に基づいた撮影法

カメラから被写体までの距離の20分の1から30分の1の距離カメラを平行移動して、カメ

ラを被写体に向け直し、2枚の写真を撮影する方法であり、今回初めて試みた。

(3) 被写体を左右に回転する撮影法

カメラは動かさず内向角に基づいて被写体を被写体の中心を軸に左右同じ角度だけ回転させる方法であり、今回初めて試みた。

2 撮影の方法

(1) 前後左右に移動可能スライダーの利用

接写での立体写真の撮影には前後左右のカメラ移動の微妙な調整が必要である。写真はインターネットで購入した4方向マイクロフォーカススライダーレールである。カメラを取り付け前後左右にそれぞれ10cm移動することができる。価格も比較的手頃であり大変便利である。



写真63 4方向マイクロフォーカススライダー

(2) 被写体回転装置の作製

写真64は直径9cmのプラスチックシャーレの内皿にビニルテープを7重に貼りがたつきを無くし、分度器を貼り付けた蓋を底に敷き、プラスチックの箱に固定したものである。シャーレの中心に接写したいものの中心を置き（写真65）、シャーレの内皿を左右同じ角度に回転させ2枚の写真を撮影する。



写真64 被写体回転装置

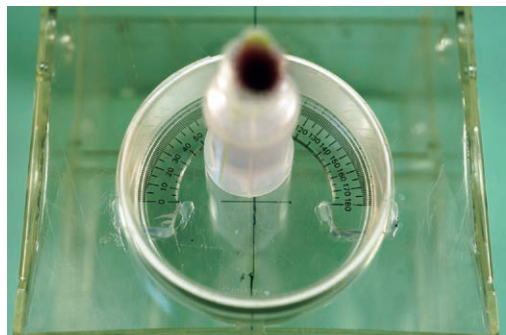


写真65 被写体をセットした状態

(3) 被写体の大きさについて

立体視できる部分は2枚の写真の重なっている部分であり、人の目の関係から6cmの範囲内である。L判の写真をプリントする場合、立体視したい部分を全て含めるには写真67程度の大きさで撮影するのが適切である。



写真66 撮影距離20cm



写真67 撮影距離15cm

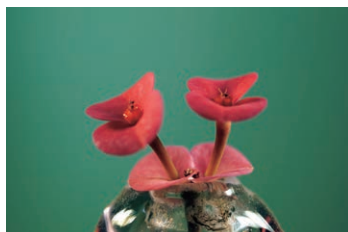


写真68 撮影距離10cm

3 撮影写真の立体視効果の比較

内向角に基づいた撮影法は従来のカメラを平行移動する撮影法と同様の効果が得られ、従来の方法に比べて立体視可能な範囲が広がる優れた撮影方法であることが分かった。

被写体を左右に回転する撮影法は内向角の大きさにより立体視が誇張される傾向があるが、作業量が最も少ない優れた撮影方法であることが分かった。回転の角度は左右 1° ～ 2° が適当で、 4° や 6° （双眼実体顕微鏡の内向角）では立体視した像が前後に長くなり誇張され過ぎてしまう。

ちなみに、被写体までの距離とカメラの移動距離を内向角の半分で計算すると、20分の1の場合は凡そ 1.4° 、30分の1の場合は凡そ 0.86° であった。

4 双眼実体顕微鏡を用いた立体写真の撮影

双眼実体顕微鏡のそれぞれの鏡筒を別のカメラで撮影し立体写真を作成する。オリンパスコンパクトデジタルカメラTG-6のレンズ保護フィルターの内径が、レイマー社製の双眼実体顕微鏡の鏡筒より



写真69 カメラ固定装置



写真70 装着した状態

やや太めであることを利用し、レンズフィルターに透明なプラスチック板を加工した筒を固定し撮影装置とした（写真69）。この装置をそれぞれの鏡筒に取り付け（写真70）同時にシャッターを切り立体写真を撮影した。ズーム倍率を調節し被写体の大きさを調整することで適切な立体写真が撮影できた。

5 顕微鏡を用いた立体写真の撮影

(1) 平行移動法

顕微鏡画面をテレビモニターに映し、卵を移動させて2枚の写真を撮影した。

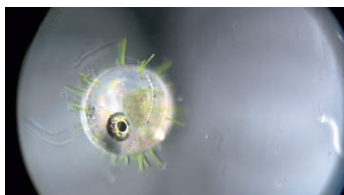


写真71 視野左での撮影



写真72 視野右での撮影

(2) シーソー法

直径5mmのストローを軸受けに、3mmのストローをスライドガラスに接着した軸とした。シーソーのようにスライドガラスを回転することで双眼実体顕微鏡の内角角を作り出すことを試みた装置である。写真74は口の字形にビニルテープを9枚貼り付けた装置である。

スライドガラスを回転すると像が左右にずれるので卵が中心に来るように調整して撮影する。

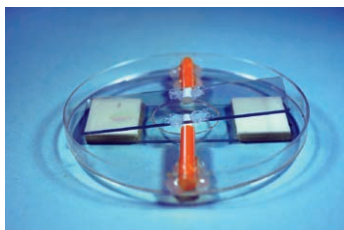


写真73 シーソー法撮影装置

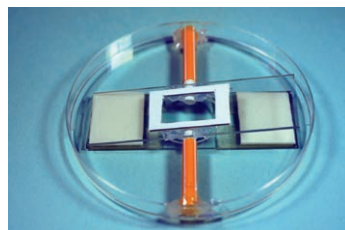


写真74 メダカ卵のセット

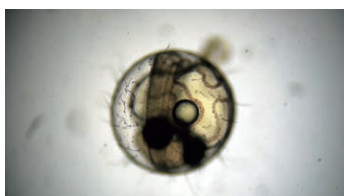


写真75 左下げ状態での撮影



写真76 右下げ状態での撮影

(3) 立体視効果の検証

双眼実体顕微鏡を用いた場合、倍率は被写界深度の深い比較的低倍率に止め、カメラをズームアップして適当な大きさに調整することにより、立体視できる写真を撮影することができた。

顕微鏡下で卵を平行移動し撮影した場合は、余り効果的な立体写真を得ることはできなかった。

シーソー法による撮影では卵が半球状に盛り上がり見える極めて立体効果の大きい写真が得られ、双眼実体顕微鏡を用いた立体写真よりもかなり顕著な立体感が得られた。この装置を検証すると、76mmのスライドガラスを傾けると8mmの高さを生じ、傾きの角度は約6°である。従って、この角度は双眼実体顕微鏡の内角角に偶然にはあるがほぼ一致している。

終わりに

「美しく説明力のある映像教材の作成に関する基礎的研究」をテーマに3年間基礎研究を続けてきた。顕微鏡と落射照明を用いた物の表面の撮影方法の開発。コンパクトデジタルカメラとシリンダールーペを用いた簡易接写装置を開発し、これを活用した深度合成写真の撮影。メダカの卵とミジンコの観察、撮影方法を工夫した接写と顕微鏡写真の撮影。被写体を回転して撮影する立体写真の撮影方法の開発。顕微鏡下でスライドガラスをシーソーのように傾ける立体写真の撮影方法の開発。今回、以上の映像教材の作成に関する基礎研究を行い撮影方法の開発とそれらの撮影結果を検討することができた。

筆者は「ネコの日、アリの目、メダカの日＋時間の目」をテーマに映像教材の作成に取り組んできた。将来、飛び出す実験観察図鑑を作成し、見ても楽しめる理科教材を作成したいと考えている。一方で、映像教材を見ることで分かった気になってしまう児童・生徒と、見せることで教えたことにしてしまう（したことにせざるを得ない状況にある）一部教育現場の現状に懸念を持っている。

メダカの卵に指で触れ目を輝かせていた児童の体験は理科教育における最も重視すべき内容の一つであり、実際の体験をおろそかにしてはならないと確信している。本物とその本質をよりよく理解するための映像教材をどのように組み合わせ教育現場に提供するかが今後のテーマである。

参考文献

- 1 渡辺克己（2020）「美しく説明力のある映像教材の作成に関する基礎研究Ⅱ」北里大学教職課程センター教育研究 第6号
- 2 丸山 禎（2004）「教材としての原生動物（2）－ゾウリムシ」Jpn.J.Protozool. Vol.37,No.1.(2004)
- 3 「立体写真の組み方」<http://aaacafe.web.fc2.com/photo3d/3d-shw.htm>
- 4 顕微鏡の種類と構造 3.3双眼実体顕微鏡 日本顕微鏡工業会
<https://microscope.jp/knowledge/03-3.html>