

ゾウリムシの接合の観察法の工夫から考える理科教育

Science Education from the Perspective of Creative Methods for Observing Paramecium Conjugation

次世代教育学部教育経営学科

平松 茂

HIRAMATSU, Shigeru

Department of Educational Administration

Faculty of Education for Future Generations

キーワード：ゾウリムシ，接合，観察法，理科教育，教材

Abstract：The author has been breeding paramecia for 35 years and has instructed kindergarten, elementary school, and junior high school classes using observation of the paramecium as a teaching material, while advancing research in science education. In classes that utilize the paramecium, the author has developed teaching methods to foster an understanding of nature by allowing students to realize that living organisms are actually living creatures. In this study, the author engages in dialogue with students who are interested in paramecia, and furthers research on paramecium breeding at a pace that is aligned with the students' abilities. Through these activities, the study evaluates changes in the depth of students' knowledge and their passion for research and awareness of science education. Results show that the use of paramecium stimulated students' curiosity, while simultaneously cultivating their perspectives about natural organisms and phenomena, and subsequently instilled in students the qualities necessary to teach science, which is "understanding through real experience". This led the students to think of science education.

Keywords：paramecium, conjugation, observational method, science education, teaching materials

I. はじめに

これまで筆者はゾウリムシを長期間飼育してきた。文献やWebページ上には接合の写真がよく掲載されているが、実際にはこの状態は顕微鏡下では観察することができず、実習等で接合したゾウリムシを意図的に見せることは困難であった。

2013年4月、一人の学生（以下「F」と略）がふとしたきっかけから筆者の理科研究室を訪れるようになり、ゾウリムシの研究の手伝いを始めた。このFの存在により、「接合を意図的に起こし、実習等で学生に観察させる」ことの実現性が高まった。筆者も、飼育、細胞分裂の観察、接合の観察のための知見を得て、研究が方向転換することとなった。このFには、2012年10月3日の講義中の観察で偶然接合を2対（写真1）見つけたこと、その時が筆者にとって一度限りの接合の観察機会であったことを話した。また、文献

の記載状況を見せながら、どうすれば接合が起こるのかについて、筆者の実験ではまだ十分に明らかになっていないこと等々を話した。すると、Fはゾウリムシに非常に高い興味・関心を示し、次々にWeb上から文献を見つけては筆者に新しい知見を披露するために



写真1 ゾウリムシの接合（2012年10月3日）

研究室を訪れるようになった。また、観察法や飼育法の改良を提案するようになった。Fのゾウリムシへの研究意欲は高く、真摯な態度が筆者のゾウリムシ研究への刺激となり、2013年度は、野生のゾウリムシを採集して培養することにより、一定期間は接合を顕微鏡下で観察できることが明らかになった。このFの他、もう一名の学生（以下「K」と略）が少し前から研究を手伝っており、二人の学生の手伝いで研究が進んでいる。

本研究は、二人の学生の興味関心と観察時間が確保された時を中心に進められた。このため、研究内容の深さ及び得られた知見の検証などが十分とは言えないかも知れない。本稿では、Fがゾウリムシと関わって得られた知見を報告し、Fのゾウリムシに対する態度、ゾウリムシを研究対象とすることによる変容等から、Fが理科の本質にどう迫ったかについて検討する。

ここで言う「理科の本質に迫る」とは、学生が理科で扱う対象に興味を持って接することができるようになることであり、理科の授業を進める際に何が大切かを学生自身が気付くことである。ここでは、教員養成の目的から、観察に関わるFの態度や変容について検討する。根拠となるデータは、観察を通して得られた写真や表であり、研究室での筆者とのやり取りの記録とFの感想等である。

筆者の知る限りでは、観察法を工夫することによる理科教育の在り方についての記述が見当たらない。

II. 先行研究

1 2012年度の研究

2012年度までは、一つの株から増殖して構成されたゾウリムシの系を他から別の株を加えないで長期間安

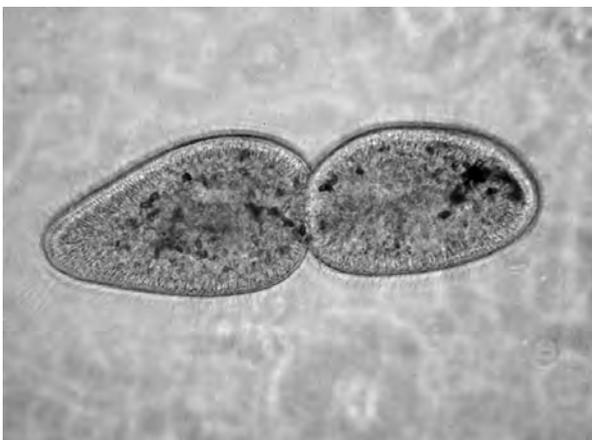


写真2 ゾウリムシの細胞分裂（2012年）

定して飼育し、ルーペもしくは顕微鏡で何時でも観察が可能な状態を保つことを第一として、飼育方法の確立を目指してきた。ゾウリムシはバクテリアを餌とするが、筆者が確立してきた方法では、黄な粉と小麦粉を1:1の割合で混合したもの（以下「餌」と略）をバクテリアの餌としている。水は水道水をそのまま使用する。飼育方法は、平松（2012）¹⁾で報告したとおりである。この方法で約30年間飼育できた。

2 接合について

筆者が、長い間ゾウリムシは横に並ぶように細胞分裂すると信じていたほど、横並びの接合の図や写真をよく見かける。文献にも、Web上の論文にもそのような接合が掲載されている。そこには、「相補的な関係にある2個体が出会ったとき接合が起こる」²⁾と記述されている。しかし、筆者が中学校で理科を指導していた頃にも、2012年度から本学の講義の実習中にも、細胞分裂中の個体（写真2）を見つけることはあっても接合状態の観察は前述の1回のみであった。

接合するゾウリムシの条件、接合のタイミング、接合の起こり方等々、筆者がこれまで調べた限りにおいてはあまり詳細な記述がなく、接合を起こさせる方法の見当がつかなかった。株の植え継ぎをした直後には顕著な増殖が認められるので接合発見の可能性が予想されたため、以前よりも丁寧に観察してみたが、接合は見つからなかった。飼育環境が改善されたために分裂が盛んになっただけなのかも知れない。

文献では、「どの細胞でも性的な能力が発現していない時期がある。この時期を未熟期と呼ぶ。未熟期の細胞には接合する能力がない。」³⁾また、「ゾウリムシは最適な培養を設定すると、1日3-4回分裂をする。ところが、餌であるバクテリアの量を減らしたり、培養温度を最適条件よりも低くすると分裂速度は低下する。」⁴⁾「寿命死を決めるタイミングが物理的時間ではないという点です。ゾウリムシの増殖にとって快適な環境条件にあれば、細胞周期350回転というのは例えば4ヶ月に相当しても、この物理的時間は条件が悪ければ12ヶ月にも50年にも延びることになるからです。」⁵⁾との記述がある。

3 接合の誘導

Web上の「水中微小生物図鑑Microbio-World」⁶⁾には、「一般にゾウリムシは、急速な増殖期を経て定常期に入ると接合能が誘導される。この時、相補的な接合型の細胞を混ぜると強い凝集反応が起こる。野外で

ゾウリムシを見つけたら、同じ場所から1細胞ずつ分離し、1細胞から増やした株（クローン）を10～20株つくり、それらの間で接合を誘導してみると相補的な接合型が見つかることが多い。また、ゾウリムシには、接合後しばらく（接合後約50細胞分裂）の間、接合が誘導されない未熟期がある。

したがって、ゾウリムシの接合を誘導するためには
(1) 混ぜる株が互いに相補的な接合型であること
(2) 成熟していること
(3) 盛んな細胞分裂の後に餌を食べ尽くした状態であること
が必須条件である。また、水温が30℃を超えると難しい。」と記載されている。

なお、「250～300回以上細胞分裂すると老化して細胞分裂の能力を失うと言われている。

ゾウリムシを植え継ぎして株の入った容器に餌を少量与えると、これを分解してバクテリアが増殖する。このため、植え継ぎ直後は飼育容器の水が白濁する。バクテリアが多い状態である。その後、次第に落ち着いて、約1週間程度で定常期を迎え、水が透明になる。」また、「適度の飢餓状態」にあることが必要である。(略) 餌がなくなって分裂が停止するようになると、接合能力が出てくる。」との記述⁷⁾もある。やや飢餓状態を迎えた頃が接合に適した時期であるが、これを見極める方法についての明確な記載が見当たらない。

「水中微生物図鑑Microbio-World」⁶⁾には、「ゾウリムシには、動物の雄と雌に相当する接合型（交配型）と呼ばれる性の区別があります。その性の違いを雄と雌とは呼ばずに、O型とE型と呼びます。このO型とE型とは、形に違いはありません。ですから、人が顕微鏡でよく観察しても、どちらがO型で、どちらがE型かわかりません。でもゾウリムシは、O型とE型とが接触すると瞬時に、異性であることに気づきます。」とある。また、「ゾウリムシの繊毛が触れることにより、タンパク質を見分けて、瞬時に異性かどうかを判断することができる。」という記述がある。

4 接合・細胞分裂の観察についての先行研究

大阪府教育センターの研究⁸⁾によると「接合個体が見られたのは培養開始後6日目と7日目、8日目で、5日目、9日目には見られなかった。この場合、6日目～8日目まで接合個体が継続的に見られるわけではなく、接合個体が多く見られる時期は限定されていた」とある。

Ⅲ. ゾウリムシの接合の観察

1 観察期間と観察場所

期間 平成25年4月～11月

場所 環太平洋大学 実験室2, 附属研究室2

2 ゾウリムシの2群を混合して

単一の株から分離して、容器を完全に分けた状態でしばらく飼育したのち、任意の2つの容器からゾウリムシを50mLずつ混合し、この容器内で接合が観察されることを期待した。しばらく隔離したことにより、接合可能な状態になっており、異種の群が混合されることにより接合が誘導されるのではないかと考えたからである。2012年10月以降、株を植え継ぐたびに行ってきた容器同士のゾウリムシの混合を避け、隔離して飼育してきた。2013年3月18日から4月19日まで、Kの協力を得ながら任意の2つの容器を選んで混合して、その後の状況を観察した。

2013年3月25日には、2012年10月2日に分離したものと、2012年12月13日に分離した2つの容器からゾウリムシを多数含む水50mLずつを混合した。これに餌を与え、日を追いながら、容器の上方に個体が集まった所の水を駒込ピペットで吸い上げて、ホールスライドガラスに約0.1mL取り、顕微鏡で分裂個体の有無を観察した。結果は表1の通りである。

表1 1滴(約1mL)中に確認された細胞分裂個体数

月/日	3/27	3/29	4/1	4/3	4/4
分裂	1	1	0	12	3

7日で細胞分裂はピークを迎えた。異種の群の混合により細胞分裂が一時的に盛んになることが認められたものの、接合は認められなかった。

3 野生のゾウリムシの採集1

自然界で生活するゾウリムシの接合や分裂の状況を調べるため、2013年4月21日に岡山県倉敷市下庄地区の用水から野生のゾウリムシを写真3のように採取して飼育を開始した。

写真4の左端の容器は、採集した水に餌を与えたもので、底に黒い泥が認められる。翌日から、底の泥が入らないように上澄みを別の容器に移し替えて株の植え継ぎをし、2, 3, 4本目とした。3本目の容器には緑藻類が認められ、少し緑に濁っている。暗所で飼育を継続すると、緑藻類は死滅(4本目)した。

5月8日から、容器内の接合と分裂の状況を観察した。容器の上方に集まった個体群を駒込ピペットで1滴（約0.1mL）取ってしばらく顕微鏡下で観察し、認められた接合ペア数と分裂中の個体数を調べた。結果は表2のとおりである。採集後しばらくすると接合が認められるが、1か月が近づくころには接合が認められなくなる。

表2 1滴（約0.1mL）中に確認された接合・分裂個体数

月/日	4/21	5/8	5/15	5/17
接合	・	3	2	0
分裂	・	3	0	4



写真3 野生のゾウリムシの採集 (2013. 4. 21.)



写真4 野生のゾウリムシから通常の飼育へ
左端は採集直後に餌を加えたもの

その後は植え継ぎをしても、細胞分裂は見られるものの、接合を見ることはなかった。これは、大阪市総合教育センターの結果とは異なる。検討が必要であると考えられる。分裂中の個体はその後にも継続して認められる。

なお、5月下旬に、筆者が観察しているとき、偶然1対の接合が認められた。自然界で採集されたゾウリムシは、長期飼育した株とは違い、接合と分裂がかな

りの期間継続しているのではないかと予想される。

4 野生のゾウリムシの採集2

2013年5月12日に岡山県邑久郡日生の池で「教育実習事前事後指導」の模擬授業で「微生物の観察」のために担当した学生が採集した水に偶然ゾウリムシが入っていた。模擬授業中に学生が顕微鏡で微生物を観察した時には、どの班もゾウリムシを顕微鏡下で認めることはなかった。しかし、その後、採取してきた水を入れたビーカーの中でゾウリムシが爆発的な繁殖を示し、5月22日には1滴（約0.1mL）の水中に最高で接合ペアを9対見つけた。その後、観察が30分程度経過した頃、接合は13対となった。爆発的な繁殖の下では、非常に高い頻度で接合が繰り返されていることが予想される。

写真5, 6では、接合ペアはどれも左右にきちんと並んでいる。これは、糊を使ってプレパラートを作成¹⁾し、しかも、カバーガラスをかけたため圧力が加わり平たく押し付けられたためと考える。糊で動きが緩慢になっており、細胞の形がやや丸まっている。接合の後に2匹がうまく別れず、細胞が崩れて死滅することが多い。糊を使って観察する問題点も多いと考え、また、Fの顕微鏡操作も上達したため、その後は、極力糊を使用しないで、ホールスライドガラスを使う観察に切り替えた。この株を、2013年6月13日に岡山県高梁市立福地小学校に持って行って観察させたところ、小学生が顕微鏡下で接合を見つけた。



写真5 多数認められる接合 (2013. 5. 22.)

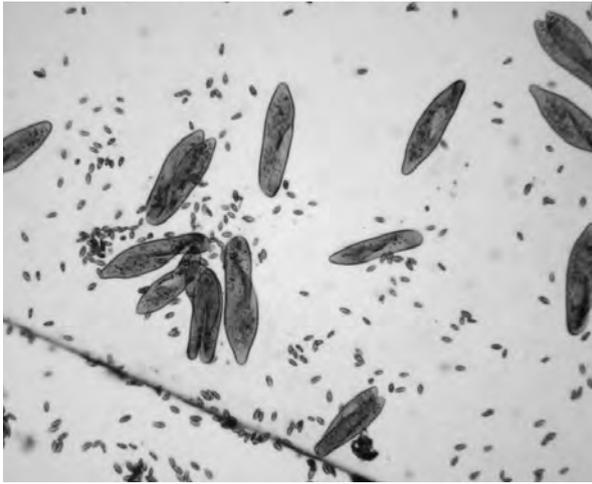


写真6 視野に5対認められる接合 (2013. 5. 22.)

注意深く観察していると、完全に接合するまでは、接合のペアは特定されておらず、近くにいるゾウリムシと頻繁に接合対が入れ替わる。筆者が調べた限りにおいては、ペアの入れ替わり等についての文献記載は見当たらない。

5 接合の前兆と接合のための擦り合い

接合前には、ゾウリムシが無数に集まる状態になる。文献では凝集塊と呼ばれている (写真7)。

凝集塊⁹⁾のゾウリムシを注意深く観察していると、15~20分後にペアとなった個体間でごく小さな擦り合いが認められる (写真8)。

文献¹⁰⁾によると、「繊毛の退化は接合対形成には欠かせないものであり、繊毛が退化しないで接合対が形成されることは無い。」とある。



写真7 接合前に認められる凝集塊



写真8 擦り合いと接合対の入れ替わり



写真9 安定した接合 (2013. 5. 22.)

6 プレパラート作成後の経過時間と接合

岡山県倉敷市下庄で採集した水から増殖させたゾウリムシを、2013年5月31日プレパラートに1滴 (約0.1mL) 取って、時間の経過と接合が認められた個体数を顕微鏡下で計数した。結果は表3の通りである。

表3 時間経過と1滴 (0.1mL) 中の接合個体数

時間 (分)	0	5	10	24	30	33
接合個体数	0	2	4	7	11	13

駒込ピペットで吸い取ってプレパラートを作成した直後には接合が認められなかった。しかし、5分後には接合が認められるようになり、その後も時間の経過に伴って接合個体数が増えることが認められた。接合の可能性が高い容器中では、頻繁に接合が起こっていると考えられるが、容器内の水が攪拌されると接合状態から離れてしまうことが予想される。

これまで、接合の観察はプレパラートを作成した直後に行ってきたが、接合を観察する時には少し時間を

置く必要があるのかも知れない。文献¹¹⁾には「約45分後から二つの細胞間から保持結合と呼ばれる細胞の先端部での結合」とあり、始めのうちは弱い外れやすい結合状態であることが分かった。

IV. ゾウリムシに興味を示した学生

1 出会い

2013年4月11日、筆者が担当する「情報」の講義の自己紹介で、ゾウリムシを34年間飼育していること、細胞分裂や接合のことなどを話した。受講対象者は1回生であり、その日が、学生たちとは初対面であった。数日後研究室を訪ね、「ゾウリムシを見せてください。」と言ってきたのが2013年度入学の教育経営学科1回生のFであった。それまでも、頻繁に研究室を訪れて、分裂個体数を計数する手伝いをしてきた3回生のKがいたが、このFとの出会いの印象は強いものがあった。

Fのゾウリムシへの興味関心は高く、時間が取れば週1、2回研究室を訪ねるようになった。

2 理科研究室に通いながら次第に力を発揮

Fは、研究室を訪れる度に新しい知見を見つけて来る。ゾウリムシについて調べることで、新しい知見を得て筆者に報告して、次の研究の目標を提案したり、自分の考えを顕微鏡下で確かめたりすることが生活の一部であるかようになっていった。

「先生、もうすぐ接合が始まりますよ。」「もう、この容器の中のゾウリムシは接合しないでしょう。」という具合に気軽に話をしてくれるが、彼の発言にはその時その時の彼なりの理屈があり、必ずと言っていいほど、注意深い顕微鏡での観察結果と文献によるきちんとした裏付けがあることが興味深い。下宿に帰っても、時間があればパソコン端末かスマートフォンなどを使ってゾウリムシについて検索して勉強しているように見て取れた。

ある時、筆者がFに文献¹²⁾の「試験管内の培養液上部に集まっているゾウリムシをピペットで両交配型から等量ずつ取り、ホールスライドガラスの中で混ぜる。このとき図Fに示すような交配反応が起こるが、この凝集塊は交配能が強いほど大きい」の記述を示し、「写真のようにほとんどすべての個体が接合する。そうすると学生たちに、顕微鏡を使った実習でゾウリムシの接合を見せることができる。これが夢なん

だ。」「どうしたらこういう状況になるのかまだ私は分かっていない。必ず見つけ出したい。」という話をした。それ以後、Web検索と筆者への提案が増加した。また、顕微鏡を扱う回数を重ねるほど観察技術に習熟し、筆者と共同して顕微鏡写真を撮影する精度が急激に高まった。本稿の顕微鏡写真の多くは、糊を使わない方法（詳細は後述）で作成したプレパラートの視野を素早く泳ぎ回るゾウリムシを、Fがプレパラートを前後左右に動かす調節ねじで追いつけながら、筆者がピントとシャッターを分担して撮影した。

自然に近い状態でないと動き方も不自然で、接合も起こりにくいのではないかと考えたのもFである。糊を使わないプレパラートでは、個体を追いつけるのが非常に困難となるが、Fも、Kも技術を習得し、顕微鏡下での目的物の発見と追尾の腕は格段に上達した。

3 ゾウリムシの気持ちになって

文献には接合を誘導するための条件についての詳細な記述が見当たらないため、時々学生に向かって疑問の言葉を投げかけた。

「どうして接合しないのかなあ。もし、君がこの容器の中にいるとしたら、どうして接合しないのか考えてみてくれ。」とか、「どんな気持ちなのだろうかなあ。」などと問い、接合の条件を彼なりに考えるよう促した。こういった質問に対するFの回答とその根拠などを次にまとめる。

(1) 長期飼育した株では接合しない

「このカップの中では接合する気になれないと思います。このゾウリムシたちは、もう何年も細胞分裂を続けているのでクローンになっていて、接合する相手がいないと思います。」

1匹のゾウリムシが50回の細胞分裂を繰り返すと1,000兆個になる計算である。当然、この間に植え継ぎがあり、仲間が捨て去られる訳である。何度も植え継ぎを繰り返す内に群れ全体が同じ遺伝子型の個体ばかりになってしまい接合しなくなったのではないかという仮説である。

「はじめに」で述べたとおり、筆者の経験では2012年10月に接合した2個体を学生が偶然発見したのみである。筆者は、接合が時々起ってはいるものの、その瞬間と観察する機会が一致しないだけと予想していた。Fの予想は、この考えを覆すものであった。

このFの考えを聞いて、同じ系統の株を飼育し続ける研究から、野生のゾウリムシを飼育して、接合を誘導する条件を検討するなど研究の範囲を広げるに至っ

た。現在は、研究室内で県内の4地点から採集したゾウリムシを飼育している。

文献¹³⁾から、「接合の転換とはクローンの一部の細胞が自発的に接合型を変える現象で、その結果、クローンの中で接合が起こるようになる。」ことが分かり、実習中に学生が観察した接合個体はこうした理由によるものと考えれば説明がつく。

しかし、前述の通り、大阪府教育センターの報告では、飼育しているゾウリムシを植え継ぐことにより接合が観察されるとある。研究報告⁸⁾では、「(略)、この培養方法において接合個体が多数観察できる時期を特定した。これにより、中学校や高等学校の授業の中で、ゾウリムシの形態や行動の観察のみならず、分裂や接合の観察が簡単にできるようになった。」とある。これまでの筆者の研究では飼育中のゾウリムシを植え継ぎしても、分裂個体が多数発見されるようになるものの、接合が発見されてはいない。この点は相違する。

(2) 自然界で生活しているゾウリムシの採集

「野生のゾウリムシを捕まえられませんか。」

野生のゾウリムシでは、接合と細胞分裂とが頻繁に繰り返されているのではないかとすることは容易に予想される。Fは、「野生のゾウリムシを採集して、自然の状態での接合や細胞分裂を観察したい。」と言ってきた。長期間飼育中の株を継続飼育する一方、新たに採集後間もない群れを飼育する提案である。

この提案を受けて、倉敷市下庄地区の家庭排水が流れる溝から野生のゾウリムシを採集して飼育を開始することになった。

(3) 接合の前兆

「先生、このゾウリムシをもうしばらく見ておくことができませんか。」「この後、接合するんじゃないかと思うんです。」筆者もFも観察直後に授業が予定されており、そのまま、放置せざるを得なかった。90分後にはプレパラートが乾燥して、ゾウリムシは死滅していた。Fは接合を予想していたが、確認することができなかった。野外から採集して1、2週間を経過したゾウリムシの群を顕微鏡下でしばらく観察していると凝集塊を作って、2匹、またはそれ以上の数の個体が接合の機会を探っている様子が観察される。

「先生、今この(視野の)真ん中にある2匹が接合しそうです。」と言って、Fは顕微鏡観察を交替してくれたが、筆者は、しばらくの間、単に重なって見えているのか、近くにいるだけなのか、それとも接合しようとして近くで様子をうかがっているのか区別がで

きなかった。Fは、筆者より相当早い時期に、観察中のゾウリムシの接合の前兆を見極められるようになっていた。Fの予想通り、その直後に接合が確認された。渡辺¹⁴⁾には、「実際には保持結合の見られる少し前に細胞先端部の繊毛の退化が始まっており、交配反応開始から30分頃には繊毛のない細胞表面をもった細胞が見られるようになる。」とある。

(4) 顕微鏡観察開始直後は接合しない

「水を動かした直後にゾウリムシは接合しないでしょう。20~30分ぐらいはじっとした水にしておきましょう。動いた水の中ではびっくりして接合する気にならないと思うし、水が揺れると接合しかかかっていても、接合が外れて離れてしまうと思います。だから、じっくり観察を続けるより、5分とか、10分間隔でそっと観察した方が接合を見つけやすいと思いますよ。」

ゾウリムシの気持ちになって考えれば、成る程と思える予想である。果たして、Fが予想した通り、表3のように、時間の経過とともに接合個体数が増加した。これも渡辺¹⁴⁾の研究で裏付けされる。

(5) 接合後、分離に失敗

「接合できても2匹がうまく別れられないと細胞が壊れて死んでしまいます。」

糊を使って観察すると、接合の様子をうまく観察でき、写真撮影も可能である。しかし、2匹が離れるとき、収縮胞が初めに壊れ、次第に細胞膜が破れて死んでしまうことが観察された。

(6) 糊を使うと細胞がつぶれて破壊

「先生、これからは糊を使って観察するのをやめましょう。」

接合に失敗したゾウリムシを観察した後、Fから糊の使用を止める提案があった。糊を使うと動きが緩慢になり、ゾウリムシの生活や細胞分裂中の個体の観察がしやすい。しかし、観察できる時間は長くても20~30分で、その後は動かなくなり、細胞が破壊されて死滅してしまう。糊を使わないと、相当速いスピードで顕微鏡の視野の中を泳ぎ回るゾウリムシを、縦横にステージを動かす調節ねじを巧みに操作しながら、目的の個体を追い続ける必要がある。Fは、顕微鏡操作に相当程度習熟したので、新たな提案をしたものと思われる。これにより、自然の状態で観察でき、しかも長時間の観察でも途中で死滅する心配がなくなった。

丁度この頃、カバーガラスをかけないで観察する方法も取り入れるようになった。カバーガラスをかけないと、プレパラートの液面に厚みが出て、一個体にピ

ントを合わせ難くなる。しかし、カバーガラスの圧力によってゾウリムシが変形することは避けられるようになった。多くの文献に見られる写真ではゾウリムシがやや扁平で卵形に写っている。普通に泳ぎ回っているゾウリムシを観察すると、口の部分のくびれが大きく縦に入っていて、全体としてスリムな細長い円筒形である。収縮胞が写っているゾウリムシのほとんどがカバーガラスで押し付けられ、卵形に扁平になったためと思われる。

4 学生のゾウリムシに係る文献研究

(1) レタスジュースの提案

Fは、「レタスジュースで飼育すると接合可能な状況が分かりやすいですよ。」と言う。

文献¹⁵⁾には、「レタスやアカエンドウでは、細胞の増殖期は培養液が濁り、定常期に達すると透明に変わるので、細胞の生理条件が整いやすく、いっせいに接合活性を出すようになる。」と記載されている。

「今度、レタスジュースで飼育してみませんか。」

レタスジュースは、多くの文献に見られる一般的な飼育方法である。一度作っておくと冷凍して保存もできる。しかし、バクテリアを別途飼育しなければならないという厄介な問題点もある。黄な粉と小麦粉を使った飼育方法は簡便で、誰でも何処でも取り組むことができる。これと比較すると不安材料も多い。

(2) 黄な粉と小麦で飼育する問題点

ある時、Fが「黄な粉と小麦粉では接合できる時期が見つけれないかもしれません。」と言ってきた。黄な粉と小麦粉を使うと餌自体の濁りとバクテリアの増殖による濁りの区別がつきにくい。そのため、バクテリアの減少により、培養液が透明になって接合の時期を迎えたことが分かりづらい。

(3) 接合時の2匹による体の擦り合い

Fは、「接合する前には二匹が擦り合って繊毛を外すのではないのでしょうか。」と言ってきた。そして、「擦り合い」の行動を顕微鏡下で発見した。文献研究とは異なる実際の観察で新たな発見をしようという意気込みは、少し恐ろしいくらいである。

「これは絶対録画しておきましょう。」筆者は半信半疑でFの言うとおりに、擦り合いの行動を動画で記録したが、大変貴重な動画での記録となった。

(4) ゾウリムシの型は2種

「ゾウリムシには型が2つあるようです。」

ゾウリムシには、O型とE型がある。これについては、Fが早い時期に文献を読んで報告してくれた。オ

スとメスの別はないが、O型とE型がある。同じ型同士では接合できない。しかし、この型は肉眼観察では判別ができない。「ゾウリムシは繊毛が触れ合うとタンパク質を瞬時に判別して異性かどうか分かるんです。」と学生は説明した。

5 ゾウリムシの研究を手伝うことによる変容

以下に、Fの感想をほぼ原文のまま紹介しながらまとめる。

(1) 男子生徒の観察後の感想から

【ゾウリムシについての発見】

「ゾウリムシの観察を続けて、発見したことがあった。それは体が平らでないこと。高校の授業でもゾウリムシについて触れていたが、あくまで教科書上の話だった。平面な図からは想像もできなかった姿を顕微鏡のレンズを通して知ることができた。それに伴い、移動手段にも新しい発見があった。繊毛というものの存在は知っていたが、まさか回転移動をしているなんて思ってもいなかった。その姿はまるでペットボトルが前進しているかのようだった。今までは、あくまで平面移動だと勝手な固定観念や先入観があったが、観察をする中で本来の姿はそうでないのだということに気がつくことができた。」

【収縮胞を4つ持つゾウリムシ】

通常、収縮胞は1個体に2個備わっているが、観察中に1個体に4個備わっているゾウリムシを発見した。この時のことを、次のように残している。

「収縮胞を4つ持つゾウリムシの発見。ビデオ撮影も成功したが、綺麗な収縮胞が4つ確認できた。4つの収縮胞のすべてが機能していることが分かったが、奇形かどうかは定かではない。

後で調べたところ、別の種類のゾウリムシの可能性が高いことが分かった。」

この収縮胞を4個持つゾウリムシの観察は、FとKの両方がいるところで行っており、筆者と3人で繰り返し間違いを確認し合った。写真撮影も行った。よほど衝撃だったらしく、Fは衝撃を次のように綴っている。

「最も印象に残っていることは、オカリナゾウリムシを確認したことだ。あまりに衝撃的であったため、勝手に命名してしまった(4つの収縮胞がオカリナの穴のように見えた。)。学校で教えられたゾウリムシの収縮胞は2つだというものだったが、この際には綺麗な収縮胞が4つ確認できた。ただこれが奇形なのかどうかは定かではない。しかし確認したのは確かであ

り、学校の教科書からは得られない発見をしたのは間違いでない。」

【ビデオ撮影に成功】

「接合の恐怖。新しいゾウリムシを培養させた後に、観察をした時のことである。その日は何対もの接合体を確認した。その中で一対の接合体が、終わりの段階であったためビデオ撮影を開始した。頭から順調に離れていったが、胴体が離れる瞬間に突然収縮胞が膨張し始めた。その後、皮膚がただれたように体が破け始めた。この接合体は、胴体が離れないまま死んでしまった。自然界でもこのような接合の失敗は起こるのだろうか。そのような疑問が残った観察時間だった。」

(2) 糊を使わなくても継続観察が可能

通常の実験では、糊またはメチルセルロースを添加することによる粘りを使って動きを遅め、動きが止まった個体を見つけて細部をじっくり観察する。写真撮影では、このような状態のゾウリムシをプレパラートの中に見つけて作業を進める。しかし、静止させた状態では糊の作用とカバーガラスの押さえつけの両方からと思われるが、ゾウリムシがやや扁平になり、横方向に広がって丸みを帯びる。これは、細長い体つきで、通常自由に泳ぎ回っているときの体型とは異なってしまう。また、自由に泳げないだけにゾウリムシ同士が会おう回数が極端に低下する。こうした状況を学生が指摘したので、ある時からホールスライドガラスを使って濃度の高いゾウリムシの入った水を一滴垂らし、カバーガラスをかけないで観察する方法に変えた。これにより、非常に速いスピードで泳ぎ回るゾウリムシをごく自然な状態で観察できるようになった。この中から、観察の目的に沿った状態のゾウリムシを見つけ出し、ステージを動かしながら追いつけることは困難を極める作業となった。しかし、接合しかかったゾウリムシを学生が見つけられるようになり、観察と写真撮影の技術が格段に向上した。

(3) 顕微鏡操作技術の向上と写真撮影時の作業負担

研究室へ来始めた時は、顕微鏡の操作に手間取ることがあったFも、半年もすると、以下に挙げる操作を、筆者と阿吽の呼吸で連携しながら実行することが可能となった。

- ① 双眼顕微鏡の右の接眼レンズを使って観察しながら、調節ねじを巧みに操作して学生が対象とするゾウリムシを追いつける。
- ② 左側の接眼レンズを外して、USB端子を持つ顕微鏡カメラを装着する。
- ③ 筆者が、コンピュータ画面を見ながら、顕微鏡の

微動ねじを操作して目的のゾウリムシにピントを合わせ、前後左右の移動の指示を学生に与える。

- ④ タイミングよく画面の中で、対象のゾウリムシをとらえた時、ソフトウェアのシャッターを切る。

6 半年間研究と関わったFの感想

(1) 理科離れの中で理科教育を考えて

「これから教育の道を進む者として、今回ゾウリムシと出会ったことは理科教育というものを考えさせられた点において大きな収穫の一つである。理科離れが深刻化している中で、いかにして子どもたちに興味、関心を抱かせるかが重要になってくると思う。実体験からも、理科は日常生活と直接的に結びつくことが少なく、専門用語を多く用いるためにどうしても学習者が受身になりやすい。常に先生から子どもたちへと一方向の授業よりは、双方向でやりとりのある授業展開の方が、より一層子どもたちを引きつけることができるのではないかと思う。これは今回の研究の過程で、身をもって得られた考えである。

もともと理科自体にはそれほど関心はなかったが、ゾウリムシと関わる経験を通して考えが改まったように感じる。」

(2) 興味がなかったゾウリムシ

「平松先生をはじめとし、K先輩や言うまでもなくゾウリムシとの出会いは、私にとって大きなものだったと思う。

先生には申し訳ないが、実は私は、ゾウリムシ自体には興味がなかった。研究の過程に非常に興味があり、次第に魅せられていったところである。しかしながら、興味がないといっても研究をしていくうえで、知識は必然的に身につけてきた。知識が増えたことで、様々なことが理解できるようになったことはとても面白く嬉しかった。」

(3) 時間が少ない中での達成感

「先輩(K)や私、先生を含めて各々に別々の講義があったため、なかなか時間を合わせることは難しかった。研究を進めた時間は決して十分とは言えないが、このような形で先生の論文に私の感想をまとめ、掲載していただくことができた。言葉にならないほどの達成感である。」

VI. 考察

1 教職志望のFの変容と理科教育

本研究に関わった学生が、研究方法に興味を持つと

ともに、文献検索をしながら、筆者と対話し観察を継続する中で次第にゾウリムシに興味を示し、飼育環境や接合を起こす条件などの提案ができるようになったことは大変興味深い。この過程そのものが、理科の探究の過程であり、本来、理科を指導する教師が身に付けるべき資質であると考え。小学校学習指導要領解説理科編¹⁶⁾では、「実証性、再現性、客観性」という科学の特質に言及するとともに、「自然に親しむこと」、「実感を伴った理解」等々の重要性が記述されている。ここで報告した学生が、観察を行いながら、文献による知見の獲得と検証を繰り返し、新しい知見を獲得しては筆者と話し合い、観察を深めていくという過程をたどって成長する姿は、教職を目指す学生にとって大切な過程である。これを、本研究を進める中で学生が身に付けたと考える。この過程をたどらせる指導力は、理科教育に当たる教師が身に付けるべき資質ではないかと考える。

2 接合についての新たな知見の獲得

筆者が学生に語りかけた「ゾウリムシのことをもう少し研究して、授業実践などで必要な時に接合を起こさせる。もしくは、接合を観察させる条件などを突き止めたい」という夢をきっかけに、学生が次第にゾウリムシに興味を示して研究を進めるとともに、筆者に提案したり、仮説を作ったりなどした。野生のゾウリムシを捕獲して増殖させると2、3週間後から約1か月間程度の間、接合を頻繁に観察できるようになるという新たな知見が獲得できた。また、筆者が従来から継続してきた飼育法では、分裂の状況を意図的に観察させることは可能であっても、接合の観察には適さないということも明らかになった。

3 ゾウリムシの接合の謎を究明する楽しさ

学生は、筆者に提案するとともに観察方法を工夫して接合を見つけるといった活動に非常に高い興味関心を示し、あたかも謎を究明するかのような感覚で研究を進めることができた。おそらく「科学的な見方考え方」ができるようになり、探究の楽しさを感じ、ゾウリムシの研究が継続できたものと考え。

4 学習指導要領に示された教材群

ここで学生がたどった探究の過程は、ゾウリムシの研究に限ったものではなく、学習指導要領に示された多くの教材群の一つ一つを取り上げた時、それぞれに教育的に意味のある展開が可能ではないかと考える。

知識の暗記となったり、観察実験が単なる確認になったりしやすい現在、この研究が教材群を授業で取り上げるときの視点となり、理科の学習が持つ本来の価値を具現化させるきっかけになることと考える。

Ⅶ. 結語

本研究では、誰でも取り入れることができるゾウリムシの飼育環境を利用しながら、観察実験を行う際に、通常のゾウリムシの活動の観察の他、細胞分裂や接合を観察するための知見を学生とともに獲得することができた。と同時に、教職を目指す学生が研究の手法に触れ、探究の過程をたどる中で理科教育本来の価値に気づき、仮説を立てたり、検証したりするなど、科学の手法の価値を自ら見出すことができた。

ここで論じた学生のゾウリムシへの関わり方は、学習指導要領に示されている他の教材にも応用することが可能である。この方法で、色々な教材を通して自然と関わっていく経験を積み重ねることにより、学生が理科の本質に次第に迫っていくと考えるが、今後の課題とする。今後とも、事物・現象に関わる学生の状況に係るデータ収集を継続したい。

謝辞 本論文の成立に貢献してくれた本学学生、藤田琢弥君、神崎由紀子さんに厚くお礼申し上げます。

注

- 1) 平松茂,「ゾウリムシの長期飼育と教材化についての一考察」,環太平洋大学研究紀要第6号,2012, pp.83~84.
- 2) 樋渡宏一・渡辺疆,「ゾウリムシの遺伝学」,東北大学出版会,1999, p.15.
- 3) 樋渡宏一・芳賀信幸,「ゾウリムシの遺伝学」,東北大学出版会,1999, p.67.
- 4) 樋渡宏一・芳賀信幸,「ゾウリムシの遺伝学」,東北大学出版会,1999, p.78.
- 5) 三木成夫,「ゾウリムシの生命サイクル」,帯広畜産大学,
<http://www.obihiro.ac.jp/~rhythms/LifeRh/02/98Bio02Paramecium.html>,2013.11.22.
- 6) 見上一幸,「微小生物図鑑“Microbio-World”」宮城教育大学 環境教育実践センター
<http://mikamilab.miyakyo-u.ac.jp/Microbio-World/top.htm>,2013.11.22.
- 7) 樋渡宏一・渡辺疆,「ゾウリムシの遺伝学」,東北

- 大学出版会, 1999, p.15.
- 8) 江坂高志・中堂寿美代, 「簡易培養法を用いたゾウリムシの接合の観察」, 大阪と科学教育23, 49-50, 大阪府教育センター, 2009
- 9) 藤島政博「バイオリソースとしてのゾウリムシの特徴」
http://www.shigen.nig.ac.jp/shigen/news/newsletter/2013/newsletter_v9_n5.html,2013.11.22.
- 10) 樋渡宏一・渡辺彊, 「ゾウリムシの遺伝学」, 東北大学出版会, 1999, p.23.
- 11) 樋渡宏一・渡辺彊, 「ゾウリムシの遺伝学」, 東北大学出版会, 1999, p.23.
- 12) 山極隆・山田卓三, 「新しい教材生物の研究」, 講談社, 1980, p.58.
- 13) 樋渡宏一・芳賀信幸, 「ゾウリムシの遺伝学」, 東北大学出版会, 1999, p.67.
- 14) 樋渡宏一・渡辺彊, 「ゾウリムシの遺伝学」, 東北大学出版会, 1999, p.23.
- 15) 月井雄二, 「原生生物情報サーバー-微小生物の培養・観察法-」
<http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/databook/m&m/1996/3-2.html>,2013.11.22.
- 16) 文部科学省, 「学習指導要領解説小学校理科編」, 大日本図書, 2008, pp.7~11.

参考文献

- 針山孝彦・小柳光正・嬉正勝・妹尾圭司・小泉修, 「研究者が教える動物飼育」, 共立出版, 2012. 5.
- 啓林館, 「Science わくわく理科5」, 2010
- 丸岡禎, 「教材としての原生動物(2) -ゾウリムシ I-」, Jpn. J. Protozool. Vol.37. No.1, 2004
- 文部科学省, 「学習指導要領解説中学校理科編」, 大日本図書, 2008
- 鈴木範男編「身近な動物を使った実験3」, 三共出版, 2009. 9.
- 東京書籍, 「新しい理科 6」, 2010