

実践報告 (Report)

糸状藻アオミドロ属(ホシミドロ科 Zygnemataceae, *Spirogyra* 属)の接合過程を教材とした有性生殖の学び

——小学校教員養成課程における実践——

Learning of sexual reproduction using the formation process
of conjugation of filamentous algae Genus *Spirogyra*
(Zygnemataceae): A case study conducting in a teacher
education course for elementary school

野崎 健太郎*
NOZAKI, Kentaro*

摘 要

本研究では、小学校教員養成課程の大学生を対象として、糸状藻アオミドロ属（ホシミドロ科 Zygnemataceae, *Spirogyra* 属）の接合過程が、生殖における性の分化の始まりを学ぶ教材として有用であることを確かめた。教科専門科目「理科」受講学生37名中、25名は、事後学習において「アオミドロの接合には性の分化が見られる」と判断される内容を挙げた。これは受講学生の68%に相当し、全体の3分の2を超えていた。したがって、アオミドロの接合過程は教育効果があると思われる。性の分化に言及した合計32意見の中で、数多く見られた記述は、「片方の細胞から細胞質が放出され、もう片方の細胞に流れ込む」であり、全体の70%程度を占めていた。アオミドロの接合は、2つの細胞が接合管で結ばれ、雄性となった細胞から細胞質が放出され、雌性となった細胞に送り込まれて受精を行う。これは、人間に馴染み深い体内受精に類似した形態である。実際、受講学生からは、「アオミドロの同形配偶子生殖は、私たちが身近に感じやすい哺乳類や身近な生物の生殖方法（雄が雌の体内に生殖細胞を送り込む）に近い」という記述があった。アオミドロの接合過程は、系統的に遠い存在である藻類と人間の間に、性の分化という共通性を見出す教材と成り得る可能性が示唆された。

キーワード：アオミドロ、接合、有性生殖、教師教育、教材

Key words : *Spirogyra*, conjugation, sexual reproduction, teacher education, teaching material

1. 背景と目的

生物は、生殖活動を行い、自己の遺伝子を子孫に残す機能を備えている。生殖は、生命の連環を始める行為であり、地球上では種ごとに多様な生殖形態が存在している。学校教育では、子どもたちが、自然科学（生活科の一部、理科）の学びを通じ、多様な生殖の在り方を知り（大谷, 2011）、人間に多大な益をもたらす生物多様性

* 椋山女学園大学教育学部

* School of Education, Sugiyama Jogakuen University, Nagoya, Aichi 464-8662, Japan
(E-mail : ken@sugiyama-u.ac.jp)

(井田, 2010; 鷺谷, 2010), そして, それを育んできた自然環境への理解を深めることが期待される。加えて, 筆者は, 生殖の学びによって子どもたちが生命への敬意を深め, 人間社会が地球上で持続していくことを目指す「持続可能な開発のための教育 (ESD: Education for Sustainable Development)」を進める上でも重要な力になると考えている。したがって, 適切な教材の開発を進め, 学校現場および教員養成課程において, その実践を蓄積していく必要がある。

生殖は, 無性生殖と有性生殖に大別され, 有性生殖はさらに同形配偶子生殖と異形配偶子生殖とに分けられる。高等学校の生物学の教科書では, 同じ形, 大きさの2つの配偶子が接合する同形配偶子生殖の教材として, クラミドモナス (*Chlamydomonas*), ヒビミドロ (*Ulothrix*), アミミドロ (*Hydrodictyon*), アオミドロ (*Spirogyra*) の接合が取り上げられている (野崎, 2014)。このうち, アオミドロ属は, 世界中でおよそ400~500種が記載されている淡水性の藻類で, 細胞が一行に並び分岐しない糸状群体を形成する多細胞生物である (Hoshaw and McCourt, 1988; 山岸, 1999)。肉眼では鮮やかな緑色の髪の毛状の群落として認識できる (図1)。分類学的には, 広義の車軸藻類 (Charophyceae) のホシミドロ類 (Zygnematophyceae) に属し, 陸上植物に最も近縁な藻類の1つとして考えられている (坂山, 2013)。外部形態では, ひも状の葉緑体が細胞壁に沿った螺旋 (ばね) の形態を示すことが特徴であり, 顕微鏡観察, 光合成実験の教材として用いられる (Hoshaw and McCourt, 1988; 阿子島, 2012)。



図1. 本研究で用いたアオミドロを採集した群落
浜松市北区三ヶ日町尾奈2014年4月11日

生活形態は浮遊と付着の両方があり、石面などの基質に付着する場合には仮根を形成する（Nagata, 1973；Inoue *et al.*, 2002；Nozaki, 2010）。

藻類の同形配偶子生殖では、一般的に運動性を持つ2つの配偶子が水中で対等に接合する。しかしながら、アオミドロの有性生殖では、2つの群体が並び、向かい合った細胞から接合管が伸び、一方の細胞の細胞質が接合管を通じて、もう一方の細胞に流れ込むことで接合を行う。接合管で結ばれた2つの細胞は、形態が同じで雌雄の区別はつかないが、細胞質を送り出す側と受け取る側に分かれており、本川・谷本編（2006）は、性の分化の原始的な形であると述べている。野崎（2014）は、このように性の分化を見出すことができるアオミドロの接合は教材として有用であると考え、保育者および小学校教師を目指す大学生への予備的な調査を行った。その結果、大学生にとってアオミドロの接合は、クラミドモナスのそれよりも身近な考え方や体験に変換して理解することができ、生殖、特に性の分化を学ぶ教材として親しみやすいと考えられた。そこで、本研究では、小学校教員養成課程の教科専門科目「理科」において、アオミドロの接合過程を生殖の教材として用い、それに対する大学生の反応から教育効果の検証を行った。なお、本研究の遂行にあたり、科学研究費補助金基盤研究C（研究課題番号：24501114、研究代表者：野崎健太郎）の支援を受けた。

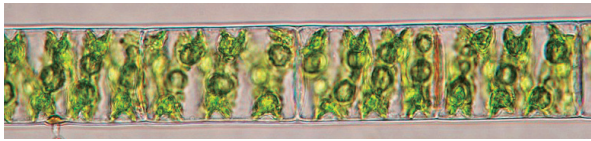
2. 方 法

2-1. 研究対象

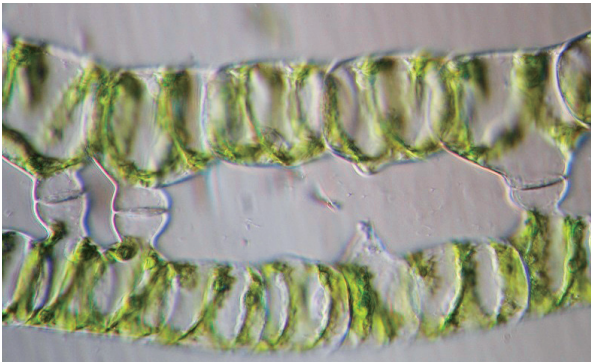
本研究は、椋山女学園大学教育学部（名古屋市）で開講されている2014年度「理科」受講学生37名を対象に行った。授業実践は、前期は5月28日（31名受講）、後期は10月22日（6名受講）に行った。単元は、小学校第5学年「動物の誕生」、「植物の発芽、成長、結実」で、「生命」、「生命の連続性」の区分である（文部科学省、2008）。教科書は大日本図書「たのしい理科5年-1」の「4. メダカのたんじょう（p. 40～57）」、「5. 人のたんじょう（p. 58～65）」、「6. 植物の花のつくりと実や種子（p. 70～81）」を用いた。

2-2. 教材

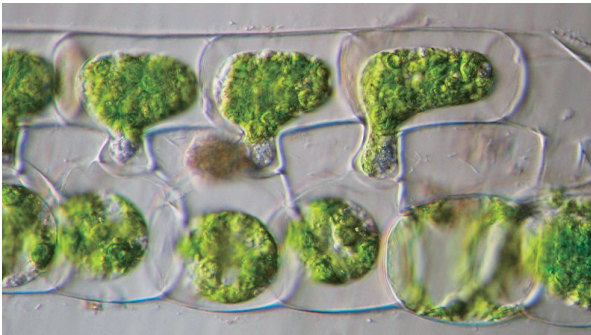
アオミドロは2014年4月11日に浜松市北区三ヶ日町尾奈の水田横の水路（北緯34度46分48秒、東経137度32分23秒）から採集した。アオミドロは実験室で培養し（野崎、2015）、経時的に光学顕微鏡（OLYMPUS, BX-51）で観察を行い、接合した群体を400倍でデジタルカメラ（OLYMPUS, CAMEDIA C-5060）を用いて写真撮影した。顕微鏡写真は経時的に並べ教材となる図版を作成した（図2）。本研究で用いたアオミドロの種類は、接合前の細胞の形態、そして接合と接合胞子の形態から、*Spirogyra valiformis* TRANSEAU（Transeau, 1938；Nozaki, 2013）と思われる。



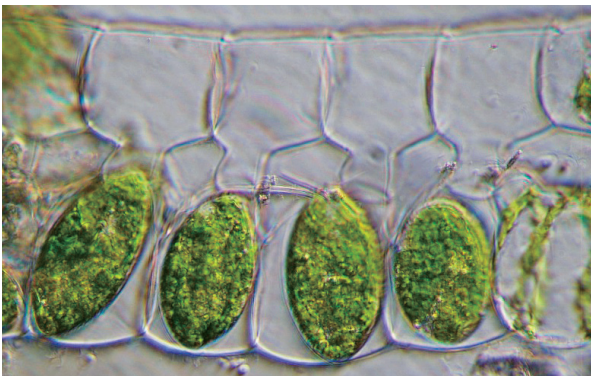
アオミドロ群体（接合前）。
2014 年 4 月 11 日



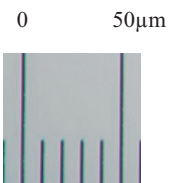
2 本の群体が並び両方
から接合管が伸びる。
2014 年 4 月 12 日



片方の細胞から細胞質がもう片方
の細胞に接合管を通じて流れ込む。
2014 年 4 月 12 日



2 つの細胞質が融合し接合が完了
する。接合胞子が形成される。
2014 年 4 月 15 日



アオミドロ（*Spirogyra* 属，シャジク藻の仲間）の有性生殖（接合）
同形配偶子生殖の 1 つ（静岡県浜松市にて 2014 年 4 月 11 日採集）

図 2. 教材として用いたアオミドロの接合過程

2-3. 授業実践

授業の題目は「生殖と代謝」で、90分の授業時間の半分を「生殖」の内容とした。導入は、生物と無生物を区別する特徴について受講学生に発問し、「生殖活動を行い、自己の遺伝子を子孫に残す機能を備えている」ことが特徴の1つであることを全員で確認した。続いて、小学校で扱う生殖の教材は、メダカ、人間、アサガオであり、学習指導要領では「受精を取り扱わないこと」になっていることを解説した。ただし、人間については、女性器、男性器、胎児の成長過程の模型を用いて、小学校で人間の受精を取り扱わない不自然さ（小佐野，2012；佐久間，2012；鷹取，2012）、理科教育と性教育との関連（山口，2011）を受講学生と意見交換した。

この後、高等学校「生物学」の復習として、無性生殖と有性生殖の仕組みを解説し、濱中（2011）の指摘を紹介しながら、2つの生殖に優劣は無く、生物種ごとに「自己の遺伝子を受け継いだ子孫を残す」ことを効果的に実現するために並存していると話した。そして、有性生殖は同形配偶子生殖と異形配偶子生殖に大別され、同形配偶子生殖は、雌雄の区別が無い2つの配偶子が接合して生殖が行われることを、東京書籍、第一学習社、三省堂、啓林館が2013年に発行した高等学校「生物Ⅰ」の教科書に掲載されたクラミドモナス、アオミドロ、ヒビミドロの図版を参照しながら説明した。続いて教材（図2）を配布し、アオミドロの接合過程を紹介した。受講学生には事後学習の課題として、アオミドロの接合をクラミドモナスと比較し気が付いた3点を提出してもらった。この課題の記述から、教材としてどのような教育効果が望めるかを検討した。

3. 結 果

5月28日の受講生31名からは、90意見が寄せられた。その内、教育効果として期待していた「アオミドロの接合には性の分化が見られる」ことに言及した意見は、21名の学生から24意見であった。以下にそれらの意見1-1～1-24を記載する。

意見1-1：クラミドモナスは個体同士が接合するだけだがアオミドロは群体が接合した後、細胞質が移動して接合する。

意見1-2：アオミドロは1本の群体に細胞質が移動するが、クラミドモナスはそれ自体が接合する。

意見1-3：クラミドモナスは2個の配偶子が接合して1個の接合子になるが、アオミドロは接合管から片方に流れ込み何も細胞質が無い空のものが残る。

意見1-4：アオミドロは片方の細胞がもう一つの細胞に流れ込む。また接合管が伸び流れ込んでから細胞質が接合する。

意見1-5：クラミドモナスはもとの形のまま接合するが、アオミドロは接合するとオスとメスが1つの形になる。

意見1-6：クラミドモナスはオスとメスがそのまま接合するが、アオミドロは接合管を通じて接合する。

意見1-7：クラミドモナスは同じ形の個体が2つ全て合わさり接合を行うが、アオミドロは片方の抜け殻のようなものが残る。

意見1-8：クラミドモナスは全て接合して2体いたのかわからないようになるが、アオミドロは細胞質だけが接合する。

意見1-9：クラミドモナスは個体同士が接合するがアオミドロは細胞質が接合する。

意見1-10：アオミドロは渡す側と渡される側に分かれ片方に細胞質が流れ込む。

意見1-11：アオミドロはもう片方の細胞に流れ込むが、クラミドモナスはくっついて1つになる。

意見1-12：2つが接合する際に、片方の細胞質がもう一方の細胞に移動する。

意見1-13：たくさんの細胞がお互いにペアをつくり接合する。

意見1-14：クラミドモナスは物体そのものが接合するがアオミドロは細胞質と核のみ移動。

意見1-15：アオミドロの方は片方の細胞がもう1つの細胞に流れ込む。

意見1-16：アオミドロは片方の細胞から細胞質がもう片方の細胞に接合管が伸び流れ込み一方の細胞が空になってしまう。

意見1-17：クラミドモナスは同形配偶子が同じようにくっつき、1つとなり接合するがアオミドロは片方の細胞質がもう片方の細胞質に流れ込むことで接合する。

意見1-18：クラミドモナスは2つの細胞が合体するがアオミドロは片方の細胞に細胞質が流れる。

意見1-19：片方の細胞は空になってしまう。

意見1-20：アオミドロは接合管をつたって流れ込む形で接合するが、クラミドモナスは合体して接合する。

意見1-21：アオミドロは雄と雌がくっついて接合するがクラミドモナスは同形、同型の配偶子が合体して接合する。

意見1-22：アオミドロの方は片方の細胞がもう1つの細胞に流れ込む。流れ込んでから細胞質が接合する。

意見1-23：クラミドモナスは接合する時、2つが1つになるが、アオミドロは片方が移動してくっつく。

意見1-24：アオミドロは2つあるうちのどちらか片方に移動するがクラミドモナスは2つが合体して1つになる。

一方で、7名の学生は、むしろアオミドロの接合からは性の分化を実感できないという意見であった。以下にそれらの意見2-1～2-7を記載する。

意見2-1：アオミドロは体細胞と配偶子の分化が見られない。

意見2-2：クラミドモナスは大きさや形が同じ配偶子がくっついているが、アオミドロの場合は、細胞質が片方のみに流れており、2個体で協力しているようにあまり感じない。

意見2-3：アオミドロもクラミドモナスも配偶子と体細胞の区別がつきにくい。

意見2-4：アオミドロの場合、体細胞と配偶子の分化は見られない。

意見2-5：アオミドロの場合、体細胞と配偶子（生殖細胞）の分化は見られない。

意見2-6：アオミドロの場合、体細胞と配偶子（生殖細胞）の分化は見られない。

意見2-7：アオミドロの場合は、細胞から細胞へ。雌と雄の区別なし。

10月22日の受講生6名からは、17意見が寄せられた。その内、教育効果として期待していた「アオミドロの接合には性の分化が見られる」ことに言及した意見は、4名の学生から8意見であった。以下にそれらの意見3-1～3-8を記載する。アオミドロの接合からは性の分化を実感できないという意見はなかった。

意見3-1：アオミドロは流し込む側、流し込まされる側が雌雄で決まっているがクラミドモナスは役割が同じ。

意見3-2：アオミドロで見られる同形配偶子の生殖は片方の細胞から細胞質がもう一方の細胞に流れ込み接合が完了する。

意見3-3：クラミドモナスと異なり、アオミドロで細胞質を放出しているのは一方（おそらく雄）である。

意見3-4：アオミドロの同形配偶子生殖は、私たちが身近に感じやすい哺乳類や身近な生物の生殖方法（雄が雌の体内に生殖細胞を送り込む）に近い。

意見3-5：クラミドモナスは有性生殖と言われてもいまいち受け取りにくいアオミドロははっきりと有性生殖だと受け入れやすい。

意見3-6：クラミドモナスは同形のもの同士が接合するがアオミドロは片方の個体が細胞質を流し込むという役割を担っている。

意見3-7：アオミドロは、他の個体の配偶子に流れ込み新しい個体をつくる。

意見3-8：クラミドモナスはお互いが接合し合うが、アオミドロは片方の細胞から細胞質がもう片方の細胞に接合管を通じて流れ込む。

4. 考 察

授業実践の結果、受講学生37名中、25名は、事後学習において「アオミドロの接合には性の分化が見られる」と判断される内容を挙げた。これは受講学生の68%に相当し、全体の3分の2を超えていることになる。したがって、小学校教員養成課程に学ぶ大学生については、有性生殖における性の分化の始まりを学ぶ教材（本川・谷本編，2006；野崎，2014）として、アオミドロの接合過程は教育効果があると思われる。

る。性の分化に言及した意見1-1〜24, 意見3-1〜8の合計32意見の中で、数多く見られた記述は、「片方の細胞から細胞質が放出され、もう片方の細胞に流れ込む」であり、全体の70%程度を占めていた。

有性生殖において、性の分化は、小型で運動性を持ち、遺伝子の卵子への運搬に特化した精子をつくる雄と、運動性が無く、胎児の栄養となる卵黄を蓄えた大型の卵子をつくる雌という区分、体外に放出された精子と卵子が水中で受精する体外受精と、雄の生殖器を雌の生殖器に差し入れ卵子に精子を送り込む体内受精という区分になる。アオミドロは、「アオミドロの接合からは性の分化を実感できない」とした受講学生の意見2-1〜7に数多く見られる「体細胞と配偶子の分化は見られない」の記述通り、精子や卵子を形成することは無く、外部形態的には全く同じ細胞が接合管で結ばれ、雄性となった細胞から細胞質が放出され、雌性となった細胞に送り込まれて受精を行う。クラミドモナスが、体外受精型であるのに対し、アオミドロの接合は、人間に馴染み深い体内受精に類似した形態である。実際、意見3-4には、「アオミドロの同形配偶子生殖は、私たちが身近に感じやすい哺乳類や身近な生物の生殖方法（雄が雌の体内に生殖細胞を送り込む）に近い」という記述があり、それを裏付けている。

本研究の結果、アオミドロの接合過程は、系統的に遠い存在である藻類と人間の間に、性の分化という共通性を見出す教材と成り得る可能性が示唆された。筆者は、生物学の学びでは、形態や生態の多様性の理解と並び、系統的に異なった生物間でも生命を維持するための機能面では共通する仕組みが存在することの理解が大切であると考えている。例えば、小学校第6学年では人体を中心とした代謝過程の仕組みを学び、呼吸に用いる酸素を取り込む器官として人間の肺と魚のえらの比較を行う。外見적으로는全く異なる肺とえらであるが、限られた空間の中で表面積を広げ、酸素の効率的な吸収を行うという点では共通していることへの気づきが大切である（野崎, 2011）。

本論文2-3で触れたが、佐久間（2012）は、小学校理科では、学習指導要領にある卵と精子の「受精に至る過程については取り扱わないものとする」という注意事項の影響により、生殖の学びが制約を受け、小学校5年生の自然認識が、メダカのオスの役目はメスや卵を守ること、に留まっていることを指摘している。そこで佐久間（2012）は、「人のたんじょう」の単元で、「命の始まりのことをただの言葉だけではなく、少しでも具体的な認識に拡がる学習とするためには、細胞レベルの大きさについての知識と生殖細胞どうしの出会い（受精）を扱ってこそ可能になる」と考え、精子と卵子の大きさと受精に至る過程を教えている。そして、山口（2011）はカブトムシやカメの交尾、小佐野（2012）はニワトリの交尾、ウマの生殖器官と交尾・受精を教材として、学習指導要領からは逸脱するが、生殖を具体的に教える実践を行っている。今後は、アオミドロの接合過程を、先行研究と同じく生殖を具体的に教え、子ど

もたちの自然認識を拓げるための教材として位置付け、教員養成課程、および学校現場での実践を蓄積していくことが必要である。

■引用文献

- 阿子島充 (2012) こんな取り組み。中学校での細胞学習。理科教室, **55**(11): 47-50.
- 濱中修 (2011) 有性生殖を考える。理科教室, **54**(5): 28-33.
- Hoshaw, R. W. and McCourt, R. M. (1988) The Zygnemataceae (Chlorophyta): a twenty-year update of research. *Phycologia*, **27**: 511-548.
- 井田徹治 (2010) 生物多様性とは何か。岩波新書1257, 岩波書店.
- Inoue, N., Yamada, S., Nagata, Y. and Simmen, T. (2002) Rhizoid differentiation in *Spirogyra*: position sensing by terminal cell. *Plant and Cell Physiology*, **43**: 479-483.
- 文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領解説 理科編, 大日本図書.
- 本川達雄・谷本英一編 (2006) 高等学校「生物 I」改訂版, p. 73, 啓林館.
- Nagata, Y. (1973) Rhizoid differentiation in *Spirogyra* 1. Basic features of rhizoid formation. *Plant and Cell Physiology*, **14**: 531-541.
- Nozaki, K. (2010) Conjugation and zygospores of a filamentous green alga, *Spirogyra* sp., propagated in a littoral zone of the north basin of Lake Biwa, Japan. *Limnology in Tokai Region of Japan*, **43**: 91-94.
- 野崎健太郎 (2011) 小学校教員養成課程の「理科」における鮮魚(マイワシ: *Sardinops melanostictus*)を用いた解剖実習。相山女学園大学教育学部紀要, **4**: 95-102.
- Nozaki, K. (2013) Formation process of conjugation and zygospores of a filamentous green alga, *Spirogyra* species collected from a lowland marsh, Naka-ikemi, Tsuruga, Fukui, Japan. *Limnology in Tokai Region of Japan*, **60**: 35-39.
- 野崎健太郎 (2014) 生物学教育における有性生殖の教材としての糸状藻アオミドロ属(車軸藻綱)の有用性。相山女学園大学教育学部紀要, **7**: 295-299.
- 野崎健太郎 (2015) 静岡県浜松市三ヶ日町尾奈で採集された糸状藻アオミドロ属(接合藻綱)の接合を誘引する要因の解析。相山女学園大学研究論集(自然科学篇), **46**: (印刷中).
- 大谷康治郎 (2011) 生殖の学習では、繁殖までしっかりと教えよう。理科教室, **54**(5): 6-7.
- 小佐野正樹 (2012) 小学校5年「メダカの誕生」から「動物の繁殖」へ。理科教室, **55**(6): 12-15.
- 坂山英俊 (2013) 植物の陸上化—陸上植物の姉妹群シャジクモから見えてくるもの—。生物の科学 遺伝, **67**(1): 31-38.
- 佐久間徹 (2012) 小学校でも「細胞」の視点からの学びを。理科教室, **55**(11): 47-50.
- 鷹取健 (2012) 理科学習と「細胞」 生物的自然をとらえるために。理科教室, **55**(11): 41-46.
- Transeau, E. N. (1938) Notes on Zygnemataceae. *American Journal of Botany*, **25**: 524-528.
- 鷺谷いづみ (2010) 生物多様性入門。岩波ブックレット785, 岩波書店.
- 山岸高旺 (1999) アオミドロ属の観察と研究。「淡水藻類入門(山岸高旺編著)」, p. 455-462, 内田老鶴圃.
- 山口誠 (2011) 小学校で学ぶ生物の生殖。理科教室, **54**(5): 16-21.