

エダアシクラゲの採集とライフサイクルの制御

——モデル動物・教材動物としての確立をめざして——

*出口 竜 作・**伊 藤 貴 洋

Methods for Collecting and Breeding the Hydrozoan Jellyfish *Cladonema pacificum* — Aim for Its Use for Academic Research and Education —

DEGUCHI Ryusaku and ITOH Takahiro

Abstract

Cladonema pacificum, a marine hydrozoan jellyfish, belongs to the evolutionarily old diploblastic phylum Cnidaria. As the first step toward the use of jellyfish for academic research and education, we attempted to establish the methods for collecting and breeding *C. pacificum*. Medusae of this species were collected at 18 fishing ports in Miyagi Prefecture from May to August in 2003. The medusae were brought into our laboratory and its life cycle was regulated according to the modified methods of Hirai and Kakinuma (1957). We succeeded in producing every stage of life cycle, including the zygote, embryo, planula larva, polyp, colony (consisting of many polyps and stolons), and medusa, even in the off-season.

Key words: Cnidaria (刺胞動物)

Regulation of Life Cycle (ライフサイクルの制御)

Sexual Reproduction (有性生殖)

Asexual Reproduction (無性生殖)

Experimental Animal (実験動物)

Biology Education (生物教育)

1 はじめに

クラゲ、ヒドラ、イソギンチャク、サンゴなどの動物は、刺胞動物門に属している。これら刺胞動物は、哺乳類、魚、ホヤ、ウニ、貝、ミミズ、昆虫などを含む、より高等な動物とは、進化のより早い段階で分岐したと考えられている(白山, 2000)。高等動物は外胚葉・中胚葉・内胚葉の3つの胚葉をもつが、刺胞動物

は外胚葉・内胚葉の2つの胚葉しかもたない。また、高等動物が一般に左右相称の基本体制をもつのに対し、刺胞動物は放射相称の体制をもつ。からだを構成する細胞の種類も、高等動物に比べて刺胞動物では極端に少ない。このような特徴から、刺胞動物は「原始的な」動物とされている。

刺胞動物には、刺細胞 (nematocyte) とよばれる細胞が備わっている(並河・楚山, 2000)。1個の刺細胞

* 理科教育講座

** 宮城教育大学大学院理科教育専修 (現 岩手県北上市立和賀東中学校)

には、刺胞 (nematocyst) という特殊な細胞小器官が1個だけ含まれている。刺胞内には、細い糸のような構造 (刺糸) が折りたたまれて格納されているが、刺激を受けるとこの刺糸が細胞外に向けて「発射」される。刺胞動物は、この刺胞を利用して自己の防御や他動物への攻撃を行っている。刺胞には、刺して毒を注入するタイプ、巻き付くタイプ、粘着するタイプなどがあり、それぞれ異なる手法で相手に「ダメージ」を与えている。刺胞は特に触手の部分に集中している。そのため、刺胞動物の触手に触れた小動物は、刺胞による一斉攻撃を受け、その動きを失ってしまう。我々が海でクラゲに「刺される」のも、この刺胞に攻撃されるからである。

一般に海中を漂っている姿のみが連想されるクラゲであるが、その生活史の一部では、形態的にヒドラやイソギンチャクに似た、ポリプ (polyp) とよばれる固着性の世代を経ることが多い。この場合、浮遊性の世代をクラゲ (medusa) とよんで区別している。クラゲには雌雄があり、メスクラゲは卵を、オスクラゲは精子を放出し、典型的な体外受精による有性生殖を行う。このような放卵・放精は、明暗周期にしたがって起こることが多い (柿沼, 1988)。一方、ポリプは一般に無性的に増殖していく。新たに形成されたポリプは、元のポリプからすぐに離れてしまう場合 (ミズクラゲなど) と、ポリプ同士がストロン (走根) という構造で結ばれたまま増殖を繰り返して群体を形成する場合 (エダアシクラゲなど) とがある。

近年、生物学の分野では、クラゲをはじめとする刺胞動物がにわかに脚光を浴びようになっている。多細胞動物の進化を考える上で、原始的で単純なからだをもつ刺胞動物を研究することには大きな意義があるからである。高等動物が備える様々な生理現象の「原型」が分かる可能性もある。現在、高等動物においては、それぞれの分類群を代表する「モデル動物」が設定され、それらを用いたより詳しい研究が進められている。このようなモデル動物には、マウス、アフリカツメガエル、メダカ、ウニ、ショウジョウバエ、線虫などが含まれている。刺胞動物の中では、ヒドラがモデル動物として確立されている。ヒドラは容易に飼育を行うことができ、また、無性生殖、再生、捕食行動などを研究するのに適した動物である。しかし、有性化させる条件が難しい上に、1個体が作る卵や精子の

数が極端に少ない (卵の場合、1個体あたり1~2個) ため、有性生殖の研究には向いていない。

我々は、無性生殖、再生、捕食行動のみならず、有性生殖の研究も行うことのできる刺胞動物として、クラゲに注目している。もし、採集や飼育が容易であり、生殖や捕食行動などの観察にも適したクラゲが見つかったならば、研究上の「モデル動物」となるだけでなく、小学校・中学校・高等学校などの学校現場でも活用できる「教材動物」となり得るのではないかと考えている。このような可能性をもったクラゲとして、以前、タマクラゲについて報告を行った (出口ほか, 2002)。タマクラゲは、明刺激 (暗期→明期) によって確実に放卵・放精を行う点、卵が透明で観察しやすい点など、多くの利点をもった種である。しかし、残念ながら、現在のところ宮城県内での採集場所が分かっていない。また、あまりに小さなクラゲ (成体でも2~3mm) であるため、一度に放出する卵や精子の数が少なく (卵の場合、1個体あたり20~50個)、有性生殖を成功させるためには多くの個体を維持・管理しておく必要がある。これらの理由から、特に宮城県内の学校現場では扱いにくいことが予想される。

本研究では、新たな可能性をもった種として、エダアシクラゲ (*Cladonema pacificum*) (図1) に着目した。エダアシクラゲは傘の高さが5~6mmになるクラゲであり、触手が枝分かれしているところから「エダアシ」クラゲという和名が付けられている。エダアシクラゲは日本全国の沿岸に分布している (並河・楚山, 2000)。また、クラゲが浮遊性ではなく、海草などに付着して生活をしているため、決まった場所で、風向き等に左右されることなく採集できると考えられる。さ

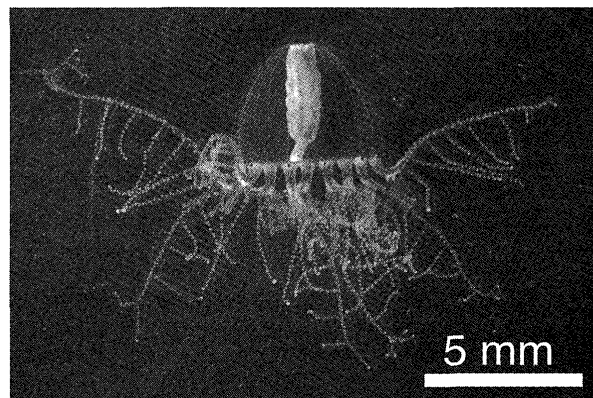


図1 エダアシクラゲの成熟個体。触手の枝分かれが本種の特徴である。

らに、ライフサイクルの制御方法が世界に先駆けて明らかにされた種でもある (Hirai and Kakinuma, 1957). 今回、我々は、宮城県内におけるエダアシクラゲの採集と宮城教育大学の研究室におけるライフサイクルの制御を試みた。また、得られた結果をもとに、エダアシクラゲを研究や教育に活用できるかどうか、その可能性について考察した。

なお、本研究は、平成16年に提出された伊藤の修士論文の一部を再構成したものである。

2 観察方法

エダアシクラゲのライフサイクルの各段階における形態の観察は、実体顕微鏡 (SZX9, Olympus) による落射光観察または倒立顕微鏡 (DIAPHOT-TMD, Nikon) による透過光観察により行った。これらの顕微鏡にデジタルカメラ (C-3030ZOOM, Olympus; DS-5M, Nikon) を接続して、各段階の顕微鏡像を撮影した。また、クラゲの放卵過程、受精前後の卵表層の変化、およびプラヌラ幼生からポリプへの変態過程をより詳細に把握するためには、走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察も行った。SEM 用の試料については、まず 80 mM カコジル酸バッファー (pH 7.4) に溶いた 2.5% グルタルアルデヒドで 2 時間以上固定し、同じバッファーに溶いた 2% タンニン酸で 3 回処理した後、さらに 1% 四酸化オスミウムを含むバッファーで 2 時間以上固定した。その後、固定された試料を 200 mM カコジル酸バッファー (pH 7.4) で数回洗浄した。なお、これらの処理は低温下 (約 4°C) で行った。次に、室内で 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 無水 (2 回) のエタノールに順次移すことによって、試料の脱水を行った。その後、1 時間以上の酢酸イソアミル処理を 2 回繰り返した後、臨界点乾燥装置 (HCP-2, 日立) を用いて試料の乾燥を行った。最後にイオンスパッタリング装置 (JFC-1500, 日本電子) により金コーティングを施したものを、走査型電子顕微鏡 (JXA-6300P, 日本電子) を用いて観察した。なお、変態途中のプラヌラなど、粘着しやすい試料を観察する際には、それらを 5 mm 四方に切ったカバーガラスに附着させ、そのカバーガラスごと上記の処理を行った。

3 採集

浮遊性のクラゲの採集には、一般にはプランクトンネットが用いられる。しかし、海草が繁茂している場所 (藻場) でプランクトンネットを使用すると、網が引っかかって破けてしまう場合がある。また、プランクトンネットは比較的高価でもある。そこで、直径約 30cm の金属性の園芸用のかごに網戸用の網を釣り糸で縫いつけ、そこに 20m ほどの長さのロープを結びつけたもの (図 2 A) を自作した (材料費は 1 個あたり 300 円程度)。この「網」を藻場に投げ入れ (図 2 B)、ゆっくりと引き上げたところ、海草に付着しているエダアシクラゲなどの小動物をうまく採集することができた (図 2 C)。

エダアシクラゲの分布域を調べるため、2003 年 6 月から 7 月にかけて、石巻市 (旧牡鹿町と雄勝町を含む) と女川町の漁港を中心に採集調査を行った。漁港内の適当な藻場に上記の網を 5 回投げ入れ、採集される動物について調べたところ、18 の漁港 (石巻湾側から順に、小竹浜、折浜、蛤浜、牧浜、竹浜、狐崎浜、福貫浦、小網倉浜、大原浜、野々浜、大石原浜、横浦、桐ヶ崎、竹浦、尾浦、指浜、分浜、水浜) でエダアシクラゲを採集することができた (図 3)。

上記の採集場所のうち、石巻市折浜において、2003 年の 4 月から 8 月にかけて計 6 回の採集を行い、エダアシクラゲの出現時期の調査を行った。毎回の調査の際には、藻場に網を投げ入れ、その都度採集されたクラゲを容器に移すという操作を 30 回繰り返し、「採集された個体数」を調べた (図 4)。4 月 13 日と 5 月 2 日には、クラゲを全く採集することができなかったが、5 月 21 日には多くの個体を採集することができた。その後、6 月 14 日には最も多くの個体を得られたが、8 月 4 日には採集個体数は激減し、8 月 21 日には再びゼロとなった。なお、5 月 21 日に採集されたクラゲには、小型でまだ未成熟な個体が多く含まれていたが、6 月 14 日と 8 月 4 日に採集されたクラゲのほとんどは、放卵・放精が可能な成熟した個体であった。エダアシクラゲが採集された日の折浜の海水温は、15°C から 25°C の範囲内であった (図 4)。

4 クラゲの飼育

折浜から持ち帰ったクラゲを、宮城教育大学の研究室で飼育することを試みた。飼育方法は基本的に半世紀前に報告されたもの (Hirai and Kakinuma, 1957) にしたがったが、現在の状況に合うように、随所に「アレンジ」を加えた。なお、以下の全ての飼育・実験には、塩釜市にある東北区水産研究所の濾過海水を使用した。

適当な大きさの蓋付きのプラスチック容器におよそ半分の高さにまで海水を張り、クラゲを入れて18℃または23℃の恒温下に置いた。この容器には、砂を敷いたり、エアレーションを施したりはしなかった。エサとしては、ブラインシュリンプ (*Artemia salina*) の孵化直後のノープリウス幼生を用い、これを週に5～6

回の頻度で与えた (ブラインシュリンプの耐久卵は、ペットショップやホームセンターで購入することができる)。ピペットを用いてブラインシュリンプをクラゲの触手に吹きかけると、触手はすぐにこれを捕らえ、口へと運んだ。成熟した個体であれば、一度に10匹を越えるブラインシュリンプを捕食し、胃の中に収めることができた (図5)。エサやりの数時間後には、新しい海水を張った容器にクラゲを移すことによって、水換えを行った。このような簡単な飼育方法により、直径10cm、高さ5cmほどの小さな容器でも、1つの容器あたり最大で20個体のクラゲを、最大で3ヶ月間にわたって飼育することができた。

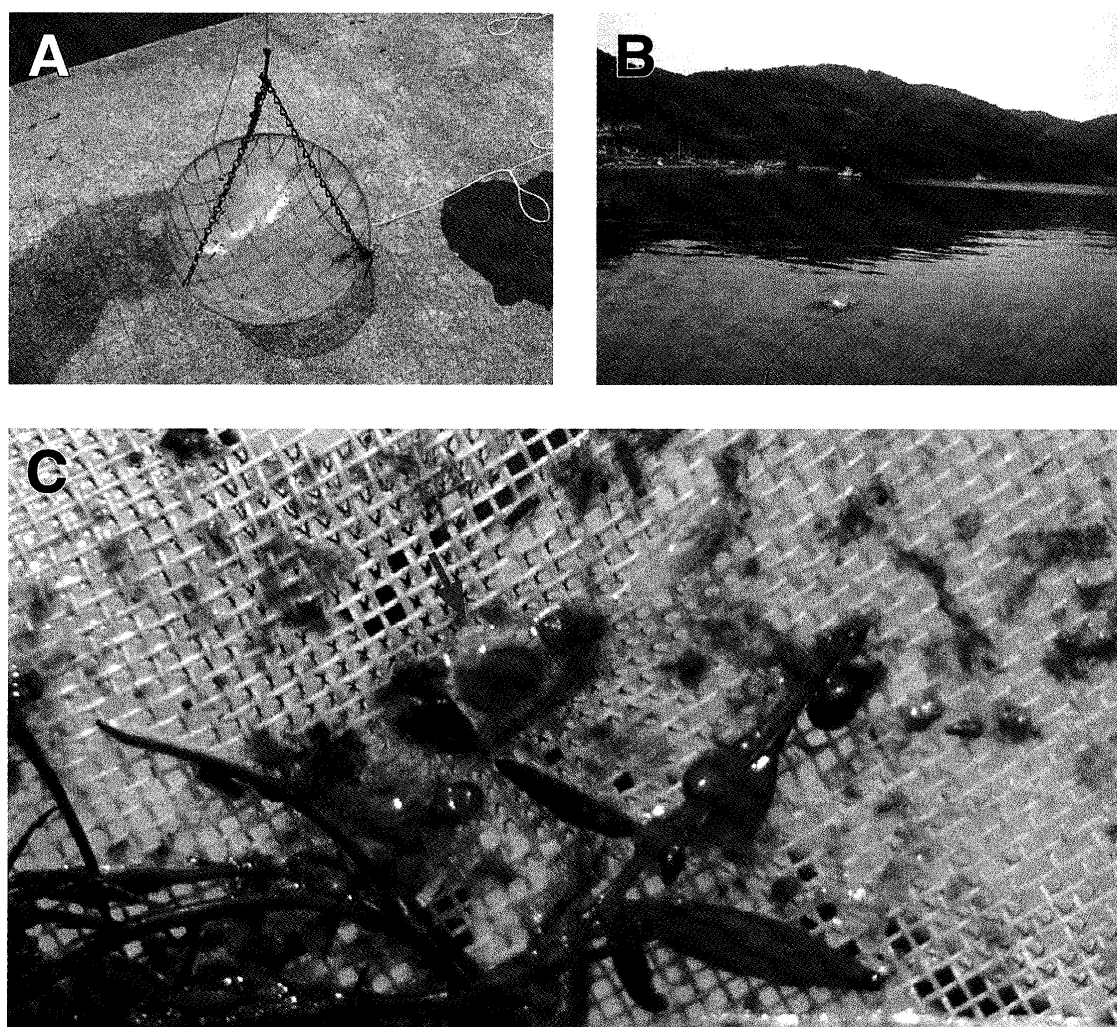


図2 エダアシクラゲの採集方法。自作の網 (A) を藻場に投げ入れ (B)、引き上げることによってエダアシクラゲなどを採集した (C, 矢印)。

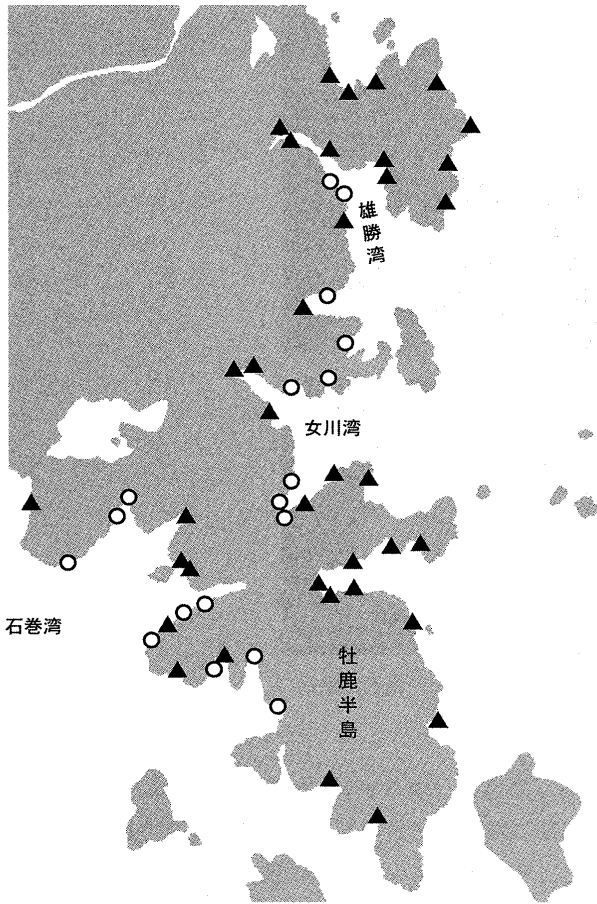


図3 エダアシクラゲの採集場所。エダアシクラゲを採集できた漁港(○)とできなかった漁港(▲)を示す。

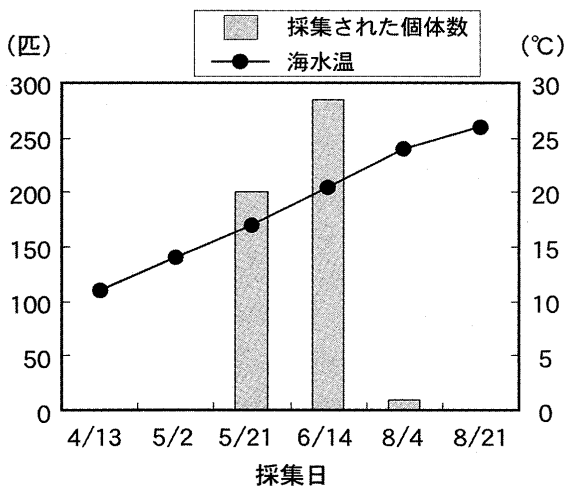


図4 エダアシクラゲの採集時期。石巻市折浜において、2003年の4月から8月にかけて調査した。図2 Aの網を藻場に30回投入して採集できた個体数と採集時の海水温の変化を示す。

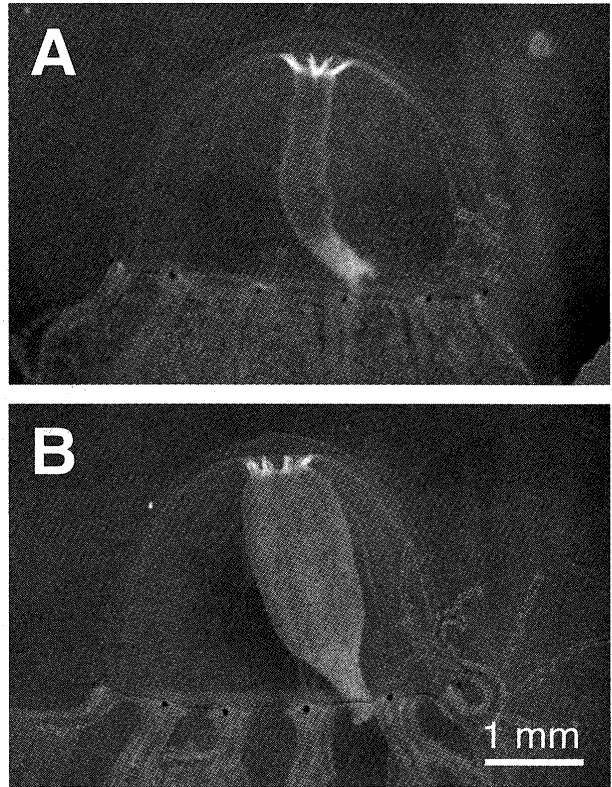


図5 ブラインシュリンプを捕食する前(A)と捕食した後(B)のクラゲ。

5 放卵・放精

成熟したクラゲは、明暗周期にしたがって放卵(図6)または放精を行った。折浜の個体の場合、明期の後に15分以上の暗期を与えること(暗刺激)により、100%の確率で放卵・放精に至った。また、飼育期間中、同じ個体が放卵または放精を毎日繰り返した。なお、メスクラゲ1個体から一度に放出される卵の数は、最盛期には数百個にもものぼった。

メスクラゲ10個体を用いて、放卵に至るまでの時間(暗期の開始時からそれぞれの個体が卵を30個放出するまでの時間)の温度依存性を調べた(図7)。海水温が15°Cの場合、放卵に至るまでには平均で約1時間を要した(最短:56分28秒, 最長:1時間8分45秒)。放卵に至るまでの時間は温度の上昇とともに短くなり、海水温が21°Cの場合では平均約34分(最短:32分41秒, 最長:34分48秒)、28°Cでは平均約24分(最短:23分9秒, 最長:24分17秒)であった。一方、各温度において、放精は放卵よりも3~10分ほど早い時間に開始された。

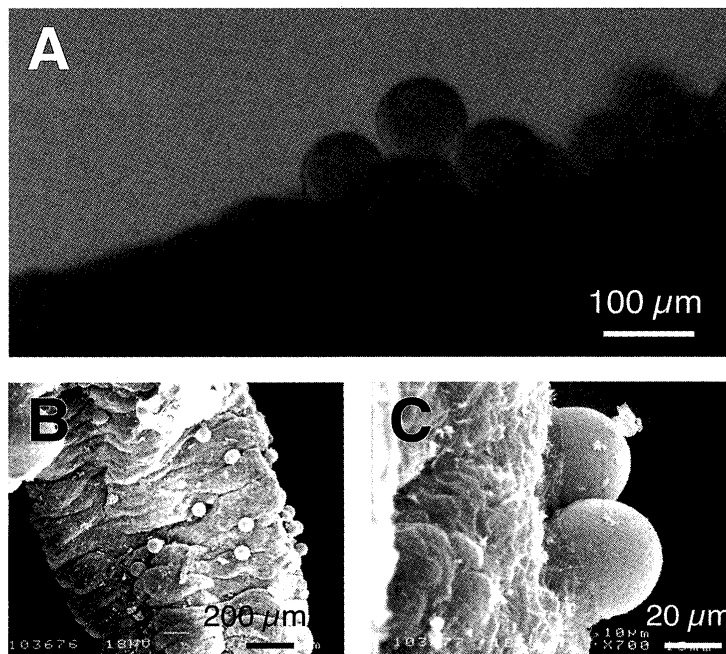


図6 放卵の瞬間. 卵巣の上皮を破って卵が放出されてくる. 透過光像(A)とSEM像(B,C).

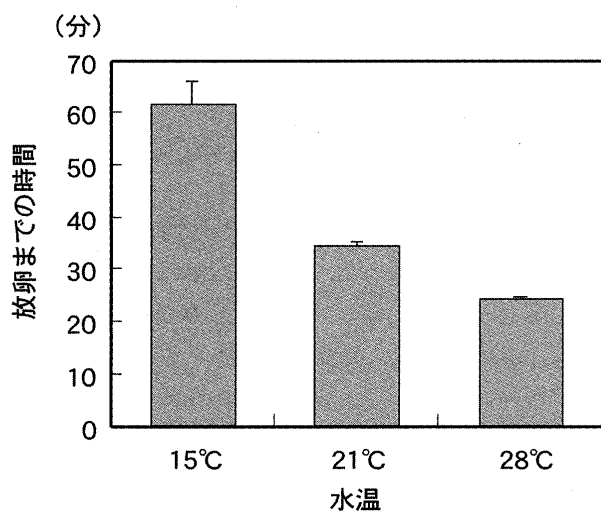


図7 放卵に至るまでの時間の温度依存性. 同一系統のメスクラゲ10個体を用い, 暗刺激(20分間)の開始から30個の卵が放出されるまでの時間を調べた. 図中のエラーバーは, 標準偏差を表す.

6 受精・発生

暗刺激によって得られた卵と精子を受精させ, その後の発生の諸過程を観察した. 精子の付着を防ぐため, 容器を0.1%のBSA(牛血清アルブミン)水溶液でコートしたものを準備し, その中に卵を入れて媒精を行った.

未受精卵は直径70~80 μm の球形で, 細胞質はやや不

透明であった(図8A). 媒精から3分間ほどは, 卵の周囲に精子が誘引される様子が観察できた. その後, 卵による精子の誘引は徐々に弱くなり, 媒精から5分を過ぎた頃にはほとんど誘引が見られなくなった. この頃になると, 卵は粘着性を帯びるようになり, 容器の底に付着したり, 表面に精子を付着させたりするようになった(図8B). 20~22 $^{\circ}\text{C}$ においては, 媒精後40~60分で2細胞期に至った(図8C). その後, 4細胞期(図8D), 8細胞期(図8E)を経て, 翌日(媒精から20~24時間後)にはプラヌラ幼生(図8F)として容器内を泳ぎ回るようになった.

次に, 受精前後の卵表における変化を, 走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて詳しく調べた. 未受精卵の卵表には, 直径約10 μm の微絨毛のない領域(microvilli-free area; MVFA)が1箇所だけ見られた(図9A1, A2). 媒精から1分後には, MVFAに精子が集中的に付着している様子が観察された(図9B1, B2). また, 媒精から5分以降には, 精子が卵表全体に付着するようになった(図9C1, C2). エダアシクラゲ卵におけるMVFAの存在とそこからの精子の侵入は, 透過型電子顕微鏡によって観察されていたが(Yamashita, 1987), 今回のSEMによる観察結果はそれを裏付けるものとなった.

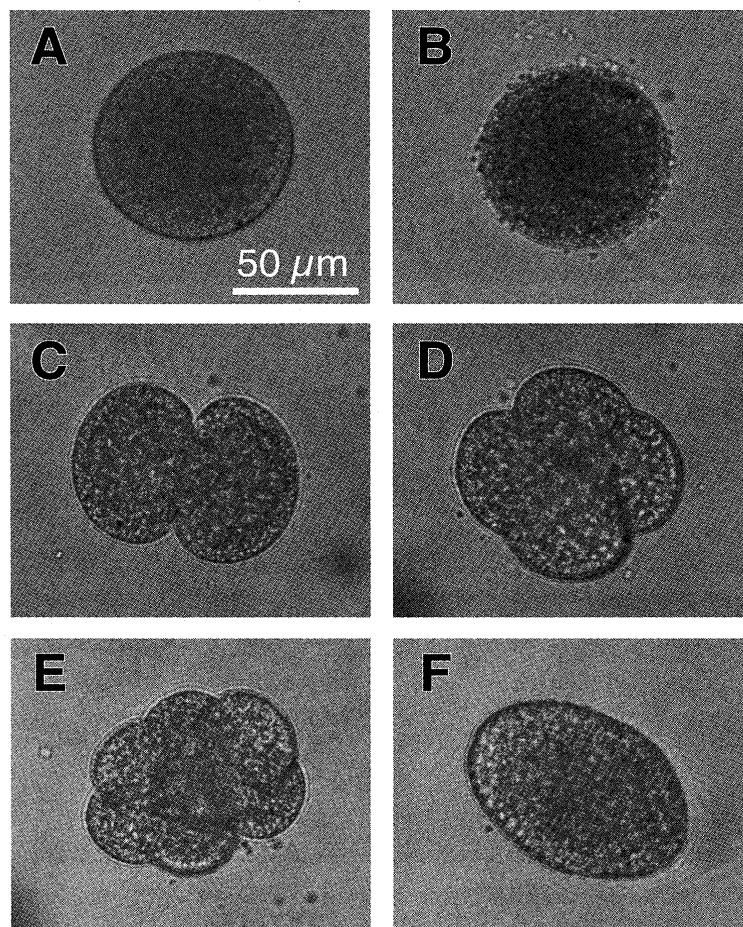


図8 発生過程(透過光像). 未受精卵(A), 受精卵(B), 2細胞期胚(C), 4細胞期胚(D), 8細胞期胚(E), およびプラヌラ幼生(F).

7 変態

プラヌラ幼生(図8 F)は、数日間容器内を遊泳し続けた後、容器の底に付着し、丸い細胞塊となった(図10 A)。細胞塊は伸長しながら触手を形成し、小型の初期ポリプとなった(図10 B)。

次に、このようなプラヌラ幼生からポリプに至るまでの変態過程を、SEMを用いて詳しく調べた。プラヌラ幼生の表面全体は繊毛に覆われていたが(図11 A)、付着後の細胞塊の表面からはこのような繊毛が失われていた(図11 B)。付着してから2日後には、頂端部から触手の先端がせり上がっている細胞塊が見られるようになった(図11 C)。また、そのさらに2日後には、触手を伸ばした初期ポリプが観察されるようになった(図11 D)。

8 ポリプの飼育と群体形成

エダアシクラゲのポリプも、クラゲと同様に、ブラインシュリンプのみをエサにして飼育を行うことができた。ポリプの水換えは、エサやりの数時間後に、食べ残したエサなどを含んだ容器内の海水を捨て、そこに新鮮な海水を加えるという方法で行った。

(1) 初期ポリプからの群体形成

変態直後の初期ポリプは非常に小さいため、ブラインシュリンプを破碎した「断片」を、ポリプの口の付近に直接押しつけて捕食させた。このようにして何度かエサを「食べさせてもらった」ポリプは、1週間以内に自力で1匹のブラインシュリンプを捕食できる(触手で捕らえ、口を開いて飲み込むことができる)ようになった。さらに成長したポリプは、ストロン(走根)を網目状に伸ばし、その上に新たなポリプを次々と作り、群体を形成・拡大していった。このよう

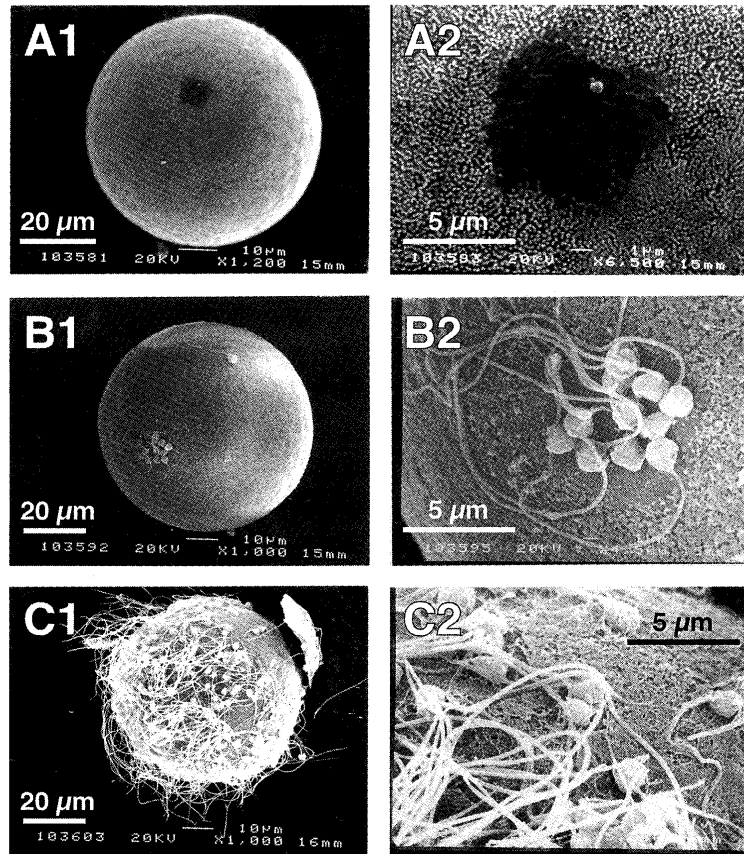


図9 受精前後での卵表層の変化 (SEM 像). 未受精卵 (A 1, A 2), 媒精 1 分後の卵 (B 1, B 2), および媒精10分後の卵 (C 1, C 2).

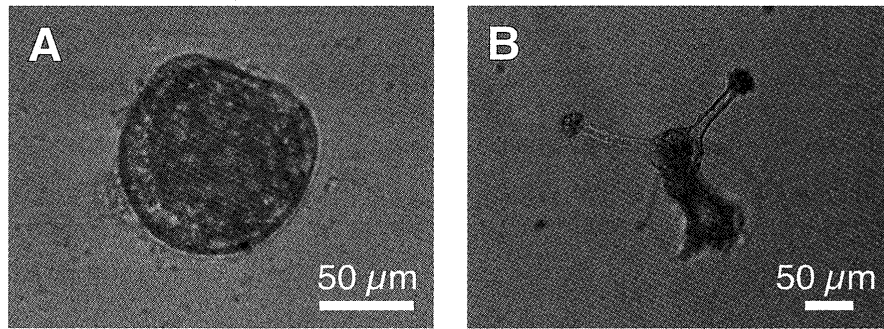


図10 ポリプへの変態過程 (透過光像). 細胞塊 (A) と初期ポリプ (B).

に発達した群体では、ポリプ1本あたりが最大で3～4匹のブラインシュリンプを一度に捕食することができた。

(2) 移植ポリプからの群体形成

発達した群体からポリプを1本切り取り、別の容器 (適当な大きさの蓋付きプラスチック容器など) に移植したところ、移植されたポリプは2日以内に容器の底に付着し、ストロンを伸ばし始めた。ブラインシュ

リンプをエサに飼育を継続すると、容器内で再び群体を形成するようになった (図12A)。そして、最終的には、群体は容器全体にまで拡大していった。このようなポリプ移植後の群体の再形成率は非常に高く、9割以上の確率で成功した。この方法により、同一系統の (同じ遺伝子をもった) 群体を大量に作成することが可能になった。

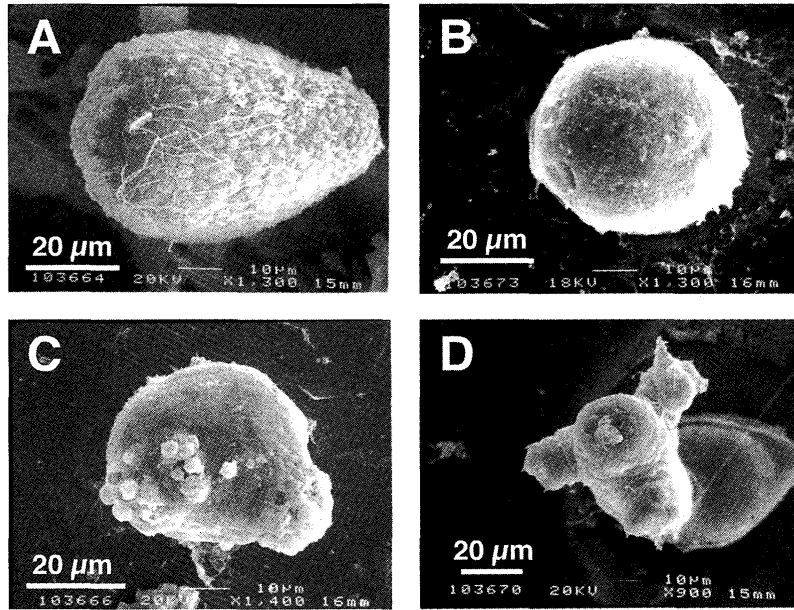


図11 ポリプへの変態過程 (SEM 像). プラヌラ幼生 (A), 付着直後の細胞塊 (B), 触手形成中の細胞塊 (C), および初期ポリプ (D).

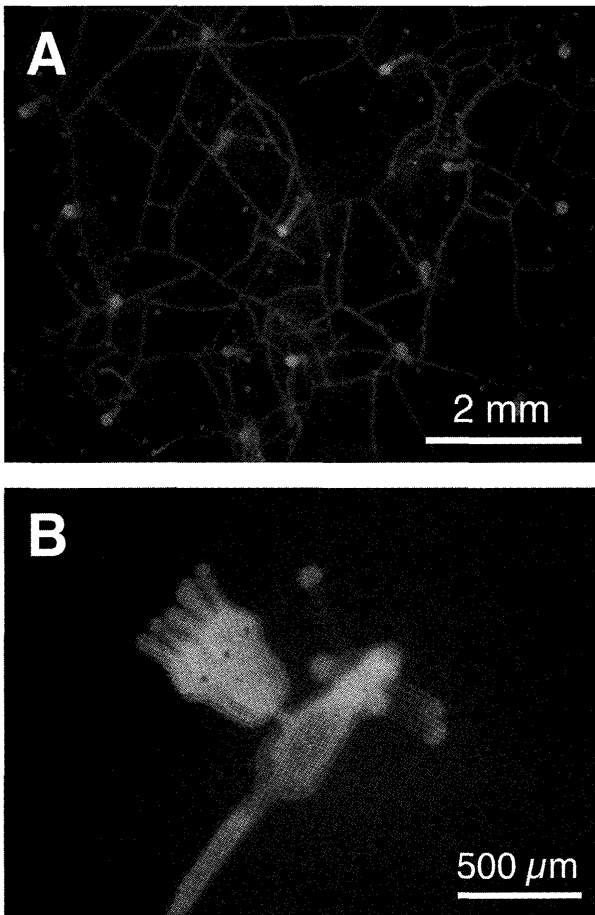


図12 移植ポリプから再形成された群体 (A) と低温処理後にクラゲ芽を形成したポリプ (B).

9 クラゲ芽形成

—そして再び成熟クラゲへ—

エダアシクラゲでは、クラゲはポリプの側面から出芽して生じる。しかし、初期ポリプや移植ポリプから形成された群体を継続して飼育しても、多くの場合、ポリプがクラゲを生じることはなかった。その後、ポリプは次第に衰退し、最終的にはポリプが消失してストロンのみになった。そのまま同じ環境下に放置しておいても、一度ストロンのみになったものが復活し、再びポリプを形成することはなかった。

上述のように、自然界では春から夏にかけての水温上昇時期にクラゲが採集されるようになる。そこで、群体を一旦低温下に置いた後、常温に戻すことによってクラゲ形成が促進されるかどうかを試した。まず、移植により同じ系統の群体を大量に作成し、それぞれを1ヶ月間以上常温 (23℃) で飼育した。その後、低温下 (5℃) に置き、1, 2, 3, 6, 10ヶ月後にそれぞれ4群体ずつを取り出し、常温 (23℃) に戻して観察を行った。なお、低温期間中は、エサやり・水換えを全く行わなかった。

常温に戻した直後には、全ての群体は衰退してストロンのみになっていた。しかし、どの群体も、常温に戻してから1週間以内にポリプを復活させた (図13)。1つの群体あたり数十本のポリプが復活したが、これ

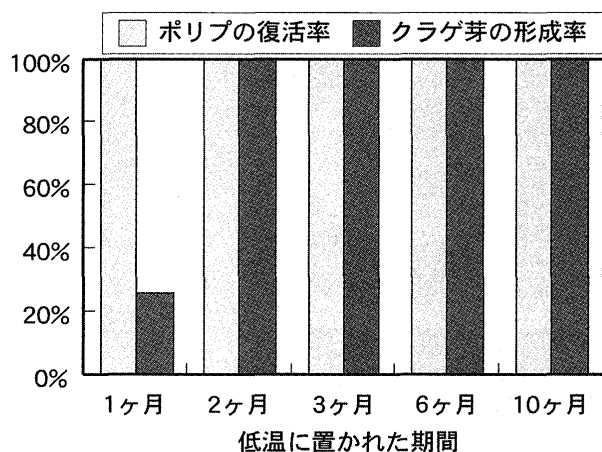


図13 低温処理が群体に与える影響. 同一系統の群体(それぞれ4群体)を, グラフに示す期間だけ低温下(5℃)に置き, 常温(23℃)に戻した後のポリプの復活率とクラゲ芽の形成率を調べた.

らのポリプの中には側面にクラゲの原基(クラゲ芽)をもったもの(図12B)が多く見られた. クラゲ芽を形成した群体の割合は, 低温期間が1ヶ月のものでは25%と低かったが, 2~10ヶ月のものでは100%であった(図13). このような「低温処理」の効果は, 処理前の群体がどのような状態であっても(ポリプがまだ衰退していなくても, 衰退してストロンのみになっていても), 同様であった. 柿沼(1988)は, エダアシクラゲのポリプ(群体)を10Wの蛍光灯下に置き, 飼育温度を10℃と15℃の間で隔日に上下させることでクラゲ芽の形成を誘起している. 今回の方法は, より簡単で, しかも群体の「低温保存」を兼ねている点で優れていると思われる.

クラゲ芽は約1週間で0.5~1mmの大きさに成長した後, 幼クラゲとしてポリプから遊離した. クラゲ芽の形成・クラゲの遊離は, 常温に戻してから1~2週間後に始まり, 約1ヶ月間続いた. その後, クラゲ芽形成を終えた群体は次第に衰退していった. 一方, 幼クラゲは, 遊離した直後からブラインシュリンプを自力で捕食することができた. 「4 クラゲの飼育」の項で述べた方法で飼育を継続したところ, 約3週間で成熟し, 卵または精子を放出するようになった.

10 ライフサイクル

図14は, 本研究(フィールドでの採集調査と研究室での飼育・実験)の結果から考えられるエダアシク

ラゲのライフサイクルについて, 模式的にまとめたものである. 夏期, 藻場に生息するクラゲは, 毎日夜になって暗くなると放卵・放精する. 受精した卵は, 卵割を繰り返し, 翌日にはプラナラ幼生にまで発生する. 数日間海中を遊泳したプラナラ幼生は, 海草や海底の岩などに附着し, ポリプへと変態する. ポリプはエサをとって成長し, 群体を形成していく. 秋から冬にかけて海水温が低下すると, 群体は衰退してストロンのみになる. 翌年, 春から夏にかけて海水温が上昇すると, 群体はポリプを復活させるとともにクラゲ芽を形成する. ポリプから遊離したクラゲはエサをとって成長し, 再び卵や精子を放出するようになる. 今回, この全ての段階を, 研究室内で再現することができた.

11 モデル動物・教材動物としての活用の可能性

本研究の結果を簡単にまとめると, 以下の①~⑧のようになる.

①採集用の網の作成

藻場でのクラゲ採集に適した網を作成した.

②生息場所の調査

石巻市・女川町の計18の漁港において, エダアシクラゲの生息を確認することができた.

③出現時期の調査

石巻市折浜では, 5月下旬から8月上旬の, 海水温が15~25℃の頃にエダアシクラゲが出現することが明らかになった.

④クラゲの飼育

ブラインシュリンプをエサに, クラゲを長期間飼育することができた.

⑤放卵・放精の誘起

クラゲに暗刺激(明→暗)を与えることによって, 毎日確実に放卵・放精を誘起することができた. 放卵・放精に至るまでの時間は温度依存的であったが, 各温度では比較的同調していた.

⑥受精・発生および変態過程の観察

受精からプラナラ幼生までの発生過程およびプラナラ幼生からポリプまでの変態過程を種々の顕微鏡で観察した.

⑦ポリプの飼育と群体形成の誘起

ブラインシュリンプをエサに, 初期ポリプや移植

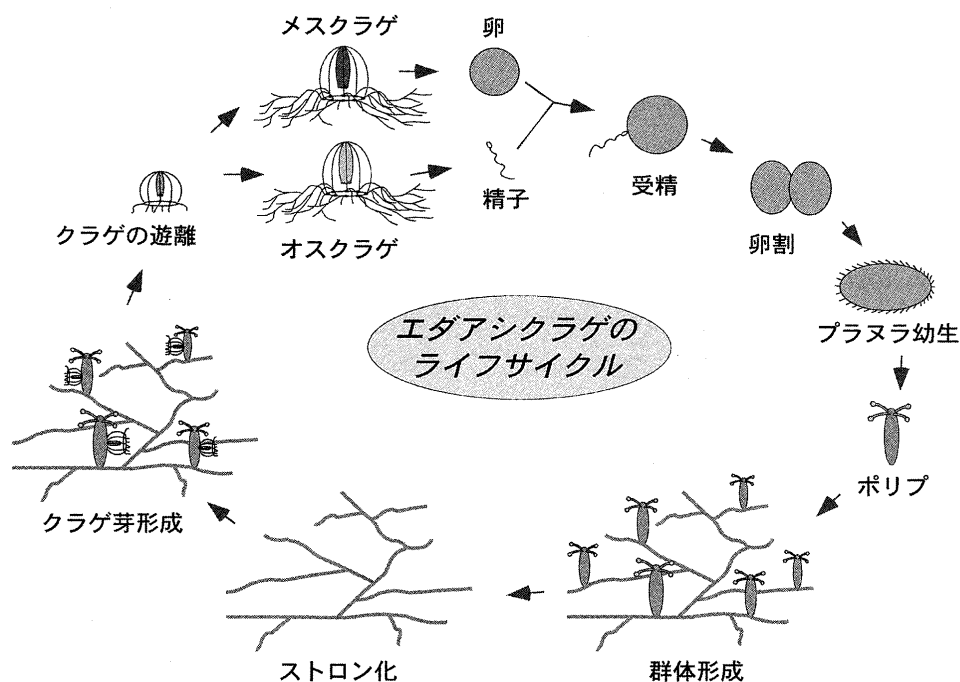


図14 エダアシクラゲのライフサイクル。実際には、受精時にすでに性が決定されており、ポリプ（群体）などにも雌雄があるが、図中では省略した。

ポリプを群体にまで成長させることができた。

⑧クラゲ芽形成の誘起

群体を低温下に一定期間置いてから常温に戻すことにより、ポリプの復活とともにクラゲ芽の形成を誘起することができた。また、遊離したクラゲを、再び放卵・放精を行うようになるまで成長させることができた。

今回得られたこのような結果をもとに、エダアシクラゲを研究用の「モデル動物」や教育用の「教材動物」として活用していけるかどうか、その可能性について考察してみたい。

まず、エダアシクラゲは、特殊な機器類や大型の設備がなくても、プラインシュリンプのみをエサに、容易に飼育することができる。また、そのライフサイクルを完全に制御することができ、1世代あたりの期間も比較的短い（3～4ヶ月）。さらに、ある系統を無性的に、大量に、そして半永久的に増殖させること、そして必要に応じて低温保存することも可能である。これらは、本種をモデル動物や教材動物として確立していく上で、大きな利点となる。今回は、「研究」という位置づけでエダアシクラゲの飼育条件を検討したため、クラゲやポリプ（群体）を恒温下（20℃または23

℃）に置いたが、極端に暑い、または寒い時期を除いて（室温が15～30℃の範囲内で推移する時期であれば）、一般の室内でも飼育できることを確認している。また、群体の低温保存が可能であることから、冬や夏の飼育に適さない時期や、飼育に労力を費やすことができない時期には、群体を冷蔵庫内に「避難」させておくこともできる。極端な場合、1年のうちのある特定の時期にだけ、1～2ヶ月間ほど群体を室内で飼育し、それ以外のほとんどの期間は冷蔵庫に保存しておくことも可能である。この場合、冷蔵庫から室内に戻した後は、ポリプの復活とともにクラゲの形成も誘起されることになるため、両者を用いた観察や実験が可能となる。以上の点を踏まえると、小学校・中学校・高等学校などの学校現場においても、エダアシクラゲの飼育は十分に行えるものと考えている。なお、本研究では飼育に天然海水（濾過海水）を使用した。Yamashita (1987) はエダアシクラゲを人工海水中で飼育し、卵や精子を用いた実験を行っていたことを付記しておく。

エダアシクラゲのライフサイクルの各段階においては、光環境の変化（明→暗）を引き金とした卵や精子の放出、卵の一部分（MVFA）での精子の受容、受精後の卵による精子誘引の停止や卵表の粘着性の増大、

プラナラ幼生からポリプへのダイナミックな形態変化(変態)、ポリプの無性生殖・再生および群体形成、温度環境の変化(低温→常温)による有性化(クラゲ形成)、そしてクラゲやポリプの捕食行動(刺胞による攻撃を含む)など、種々の興味深い現象が揃っている。これらの制御機構を明らかにすることは、高等動物における類似した現象の理解につながる可能性もある。例えば、卵と精子の「受精」は動物全てに共通する現象であるが、卵が精子を受容する際に働いている分子に関しては、いずれの動物においても未だ明らかにされていない。クラゲ卵のMVFAの領域に特異的に発現しているタンパク質を調べることで、その解明の糸口を見つけていくことができるかもしれない。また、光や温度などの外界の変化が生体内の諸現象(例えば、産卵行動など)の引き金になっている例は、高等動物においても数多く知られているが、多くの種類の細胞が関与するあまりに複雑な経路であるため、その制御機構の全貌解明にはほど遠い段階である。このような場合に、より単純で細胞種の少ないクラゲでの研究は大きな意義をもつものと思われる。

学校現場においては、限られた授業時間内に観察や実験を終えなければならないという制約がある。また、当然ながら、「分かりやすい」現象を扱う必要がある。エダアシクラゲの場合、放卵・放精、受精・初期卵割、捕食などの各過程が、この条件に合致するのではないかとと思われる。成熟したクラゲであれば、明暗時間の制御により、決まった時間に、しかも1個体から毎日、卵や精子を放出させることができる。また、得られた卵や精子を用いて、受精・発生過程を観察することも容易である。受精・発生に要する時間も比較的短い。指導者が計画的に飼育することで、このような有性生殖の初期段階の観察を、授業に組み込むことができるのではないかと考えている。また、これまで主にヒドドラで実践してきた捕食行動の観察(田幡・出口, 2000)も、エダアシクラゲであれば、クラゲとポリプの両者で行うことが可能である。刺胞の「威力」を知るとともに、一見すると全く異なっているクラゲとポリプが実は同じ動物であることを、捕食行動の類似性から見出すこともできるかもしれない。

エダアシクラゲは日本全国に分布し、また藻場に「固定」されて生息しているため、採集の比較的容易なクラゲの1つであると思われる。生息地が身近にある場

合には、今回考案したような安価な網を用いることにより、授業の一環として採集を行うことも可能かもしれない。我々のこれまでの経験からも、自分自身でその生き物を採集することができた時、学習意欲が(研究意欲も・・・?)一層と高まることが期待される。しかし、実際のところは、このようにエダアシクラゲを直接採集できる状況にある学校や研究施設は少ないかもしれない。そこで、エダアシクラゲを広く普及させるには、その供給体制を整える必要がある。エダアシクラゲの供給のための「拠点」をいくつか設け、ここでは特徴のある系統を常に維持・管理しておくとともに、要請があった時にいつでも送付できる体制を整備しておくことが求められる。また、エダアシクラゲの採集風景をビデオ化したものや簡単な飼育マニュアルなどを準備しておき、クラゲや群体を送付する際に添付するとよいのかもしれない。エダアシクラゲの普及が実現した時、本種はモデル動物や教材動物に少し近づくことになるのではないだろうか。

現在、エダアシクラゲを用いた学術的な研究を進行させるとともに、エダアシクラゲを用いた学習の有効性についても調査している段階である。

謝辞

武内伸夫宮城教育大学名誉教授には、SEMの使用に関して種々のご指導を賜った。また、東北区水産研究所からは、本研究に不可欠な濾過海水を定期的に使っていただいた。深く感謝申し上げる。この研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究(B)の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- Hirai, E. and Kakinuma, Y. (1957). Developmental cycle of *Cladonema radiatum* var. *mayeri* Perkins reared in the laboratory. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi Tohoku Univ. 8, 49-53.
- Yamashita, M. (1987). A fine structural study of the fertilization process of the jellyfish *Cladonema uchidai*. Dev. Growth Differ. 30, 81-91.
- 柿沼好子 (1988). 腔腸動物・有櫛動物. 海産無脊椎動物の発生実験 (石川優・沼宮内隆晴編). 22-51, 培風館.

エダアシクラゲの採集とライフサイクルの制御

- 白山義久 (2000). 無脊椎動物の多様性と系統. 裳華房.
- 田幡憲一・出口竜作 (2000). 大学で学ぶ子どもたち. 遺
伝 54, 43-48.
- 出口竜作・竹田典代・伊藤順子 (2002). シャーレの中の小
さなクラゲ-タマクラゲの採集・飼育の方法と生
物教育への活用の可能性-. 生物教育 43, 16-24.
- 並河洋・楚山勇 (2000). クラゲガイドブック. TBS プリ
タニカ.

(平成17年 9 月30日受理)