

# イトメ *Tylorrhynchus heterochaetus* (環形動物: 多毛類) の 人工受精法および発生過程の観察

Method for artificial fertilization and observation of the developmental process in  
Japanese palolo, *Tylorrhynchus heterochaetus* (Annelida: Polychaeta)

古屋康則・恩地理恵・古田陽子・山内克典  
岐阜大学教育学部理科教育(生物学)

Yasunori Koya, Rie Onchi, Yoko Furuta and Katsusuke Yamauchi  
Faculty of Education, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

## Abstract

The Japanese palolo, *Tylorrhynchus heterochaetus*, is a polychaete that inhabits the mud of tidelands near the mouths of rivers in Japan. Their front body separated from rear body swims on the surface of the water to reproduce at night for three days after the new moon and full moon in November of every year. The bodies of swimming worms are filled with male or female gametes. With the aim of using this worm for teaching material in developmental biology, we examined an efficient method for artificial fertilization, and recorded an outline of the worm's embryonic development. The swimming worms used in the present study were obtained from the tidal area of the Ibi River, Mie Prefecture, Japan. The males and females were washed well with distilled water. The bodies of males were torn in a dry dish using tweezers, and made to release the semen, prior to collecting the eggs. The semen was diluted to several thousandths in seawater. The sperm continue to move in seawater for several hours. Then, the bodies of female were torn in another dry dish, and made to release their eggs. Some of eggs were separated in 1/5 seawater to observe the unfertilized eggs. The eggs were placed into the diluted semen, and mixed well. The seawater was replaced appropriately. The fertilization rate was 80-5% on average (N=8) with this method. The eggs started meiosis soon after insemination, and released the first and second polar bodies. The first cleavage occurred within 2 hours after insemination. The embryos became trochophores, and started to swim when their cilia penetrated the fertilization membrane within 24 hours. They hatched within 3 days, became nectochaeta within 5 days, and survived until 12 days. This material is thought to be effective for observation of meiosis after insemination and spiral cleavage.

Key words: polychaete, teaching material for biology, science education, reproduction, developmental biology  
多毛類, 生物教材, 理科教育, 生殖, 発生生物学

## 1. はじめに

イトメ *Tylorrhynchus heterochaetus* は環形動物門, 多毛綱に属するゴカイ類の一種で, 日本各地の河川下流の汽水域の砂泥中に生息している。本種は極めて顕著な月齢周期性を持った生殖群泳を行い (Izuka, 1903; 山本, 1947; Okada, 1950), 旧暦の10月および11月の新月および満月の日に続く3日の日没後の満潮すぎの時刻に, 生殖型(体の前方約1/3がちぎれて遊泳型になったもの)となった個体が無数に水面に浮き上がり, 海域へと遊泳しながら流されてゆく。これらの生殖型個体の体内には生殖細胞が充満しており, やがて海域で放精・放卵を行うと考えられている。

本種はこれまでも, 受精 (Okada, 1967; Sato and Osanai, 1983, 1990) および発生 (Osanai, 1978) などの実験動物としてたびたび用いられてきている。しかし, 生息地の違いなどによって卵の受精能に著しい差がみられ, 特に, 通常の海水中ではほとんど受精しないという宮城県や徳島県の個体群では, 雌個体に除脳処理や光を照射した後に卵を採取したり (Okada, 1967), 卵に様々な前処理を施す受精法

(岡田, 1952; 香川, 1958, 1960; Osanai, 1966, 1967, 1978) が検討されてきている。しかし一方で山本 (1947) は、東京および名古屋産の個体を用いて、何の前処理もせずに100%に近い受精率を得ている。本種を発生学の教材に用いるには、まず、使用する個体群の配偶子の特性を調べた上で、効率的な受精方法を検討する必要がある。

本研究では、揖斐川産のイトメに関してまず、精子の運動活性および卵の付活に関する基礎的な実験を行い、これを基に効率的な人工受精法について検討した。また、受精させた卵を継続して飼育し、ネクトケータ幼生までの変化の概要を観察した。さらに、本種の生物教材としての利用価値について考察した。

## 2. 材料および方法

### 実験材料

未成熟個体については、2002年11月1日に揖斐川の河口から9.1 km地点の干潟で泥中に生息しているものを採集した。成熟個体については、2001年11月16日および2002年11月6日の午後7時から8時にかけて(ともに新月の大潮の満潮後) 揖斐川の河口から約7.5 km地点において生殖群泳しているものをタモ網で採集した。採集されたイトメを河川水とともに発泡スチロール容器(50×25×20 cm)に入れ、曝気しながら研究室まで運んだ。河川表層水の塩分濃度を自動滴定装置(AUT 301, 東亜電波)により測定したところ、2001年では2185.1 mg/ℓ, 2002年では2112.8 mg/ℓであった。これらの個体をそのまま河川水中で曝気して飼育しながら各種の実験に用いた。一部のイトメが運搬中に放精および放卵を起こしたため、飼育水は白濁していた。このため、雌から卵を採取する際には、蒸留水で体表面についた精子を十分に洗い流した。

### 精子の運動活性

精子の運動と外部環境との関係を調べる目的で、希釈した海水中での運動活性を調べた。試験液には市販の人工海水(マリンアートハイ, 千寿製薬)を蒸留水で適宜希釈したものをを用いた。雄のイトメ1個体をシャーレにとり、周囲の水分を吸い取った後、ピンセットで体を切断し精液を得た。これらの精液少量を1 mlの試験液に入れてよく混合し、定期的にスライドグラスに1滴とり、顕微鏡で観察して運動の状態を調べた。運動活性は顕微鏡の視野内の運動精子の比率から便宜的に次の7段階に分けた。

- 0 : 全ての精子が運動していない
- 1 : 1 割り程度の精子が運動している
- 2 : 2 割り程度の精子が運動している
- 3 : 3 割り程度の精子が運動している
- 4 : 4 割り程度の精子が運動している
- 5 : 5 割り程度の精子が運動している
- 6 : 明らかに半数以上の精子が運動している
- 7 : ほぼ全ての精子が運動している

運動活性は5個体のイトメについて調べ、運動状態を調べた時間ごとに各運動段階の平均を求めた。また、全ての精子の運動停止までの時間が極めて長かったため、運動活性が最大となった180分以降で、約半数の精子が運動を停止するまでの時間を測定した。

### 人工受精

効率的な人工受精法を検討するために、2通りの方法で媒精を行った。1つ目の方法(媒精1)として、卵と精子を別々に海水中に採取し、これを混合した。まず初めに雄2, 3個体をシャーレにとり、周囲の水分を拭きとった後ピンセットで体を切断し、精液を放出させた。この精液少量を海水で希釈し、希釈精液とした。希釈率は概ね1/2000から1/5000程度であった。イトメの雌2, 3個体を海水を満た

したシャーレにとり、ピンセットで体を切断し、卵を放出させた。卵を海水ごとピペットで適量吸い取り、希釈精液の中に入れてよく混ぜた。雌から卵を採取して媒精するまでの作業に数分から数十分を要した。

2つ目の方法(媒精2)として、海水中で希釈した精液中に雌個体を直接入れて体を切断し、卵を放出させた。この状態では卵の密度が高すぎるため、数分後に一部の卵のみを別のシャーレに移した。精液の希釈率は概ね1/2000から1/5000程度とした。いずれの媒精方法でも、媒精から4時間以上経過後、卵の受精率を卵割の有無(4細胞から8細胞期)を指標として計数した。

媒精1で、卵を海水に浸漬させてから媒精するまでの時間の経過による受精率の低下の有無を調べるために、卵を海水中に添加した後0, 1, 2, 3, および5分後に、予め希釈した精液を添加し(最終濃度1/2000), よく混合した。媒精後4時間目に受精卵の数を計数した。

ゼリー層形成に対する塩分濃度の影響を調べるために、人工海水を適宜希釈した溶液中に卵を入れた。また媒精の影響を調べるために、各希釈海水を用いて媒精2の方法で媒精を行なった。いずれの実験でも卵を試験液に添加してから2時間目にゼリー層の形成の有無を計数し、4時間目に受精卵の数を計数した。ゼリー層の形成を観察する際には、海水で墨汁を適当に希釈し、この中に卵を入れて観察した。

#### 発生過程の観察

未受精卵の観察には、未受精卵とほぼ等調と考えられる1/5海水中(Kamada and Yamamoto, 1931)で雌の体を切断して得た卵を用いた。発生卵の観察には媒精1の方法で媒精された卵を用いた。媒精後定期的に卵をホールスライドグラスにとり、顕微鏡で観察して、発生過程ごとに時間を計測し、写真に記録した。

#### 統計検定

数値で得られたデータは全て平均値±標準誤差で表した。2群間を比較する時にはStudent'sのt検定を行った。また、3群以上の間の比較には分散分析(ANOVA)を行った後、Fisher's PLSDによる多重比較検定を行った。いずれの場合も有意水準5%未満を有意差ありと見なした。

### 3. 結果および考察

#### 雌雄の判別

泥中に生息している未成熟なイトメの体節数は個体差が大きく(300以上, Izuka, 1903), 今回調べたものでは平均101.3(N=11)であり, Izuka(1903)の報告しているものに比べかなり小型であった。生殖型となり河川表層を遊泳している個体は未成熟個体の後方の2/3程度がちぎれた前方部であると言われている(Izuka, 1903), 今回採集した個体では雄で $54.9 \pm 0.5$ (N=15), 雌で $54.0 \pm 0.7$ (N=15)と、未成熟個体の約半分であった。雌雄は体色により容易に区別できる

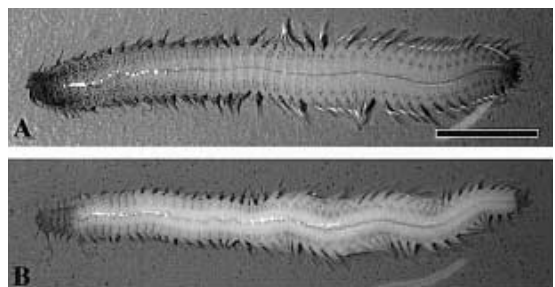


図1. イトメの生殖型個体。(A)雌 (B)雄。スケールは1cm。

(図1)。雌は採集直後には黄色であり、長時間光に当てると緑色になる。これは雌の体内に充満している卵に含まれる色素の物理化学的变化によるものであり、可逆的な変化であることが分かっている(Yamamoto, 1935)。一方雄は乳白色である。雌雄いずれも正中線上に1本の血管が縦走し、血流が観察できる。雌雄の識別が容易であることは、本種の教材として優れた点である。

#### 精子の運動特性

各種希釈海水中での精子の運動活性の経時変化を図2Aに示した。イトメの精子は蒸留水中では運動しなかったが、海水から1/5海水までの間では、何れの希釈濃度においても活発な運動を行った。精子

の運動活性はいずれの濃度においても、60分後まではやや低く（半数以下の精子が運動）、その後180分後にかけて増大する傾向を示した。180-300分後の運動活性を見ると、海水、1/2、および1/3海水中ではほぼ全ての精子が運動していたのに対し、1/4および1/5海水中では半数以上の精子が運動している状態であった。以上の結果は、人工受精する際に、精液を早めに海水で希釈しておくことが、受精率の向上につながることを示唆している。

何れの希釈海水においても、全ての精子が運動を停止するまでの時間は極めて長く、半日から2日以上を要した。運動活性が高まった180分以降に半数の精子が運動を停止した時間をグラフに表わした（図2B）。海水中では8.4時間で半数の精子が運動を停止したが、それよりも薄い濃度の海水中では運動時間は徐々に長くなり、1/3海水では16.8時間と海水に比べ有意に長く、1/4海水で最長となった。岡田（1952）はこれと同様の実験を行っているが、精子の運動は75-50%海水で最も長く、100%および25%海水では比較的早くに衰えると報告している。このような結果の違いは、用いたイトメの生息域や生理状態の違いによるのかもしれない。

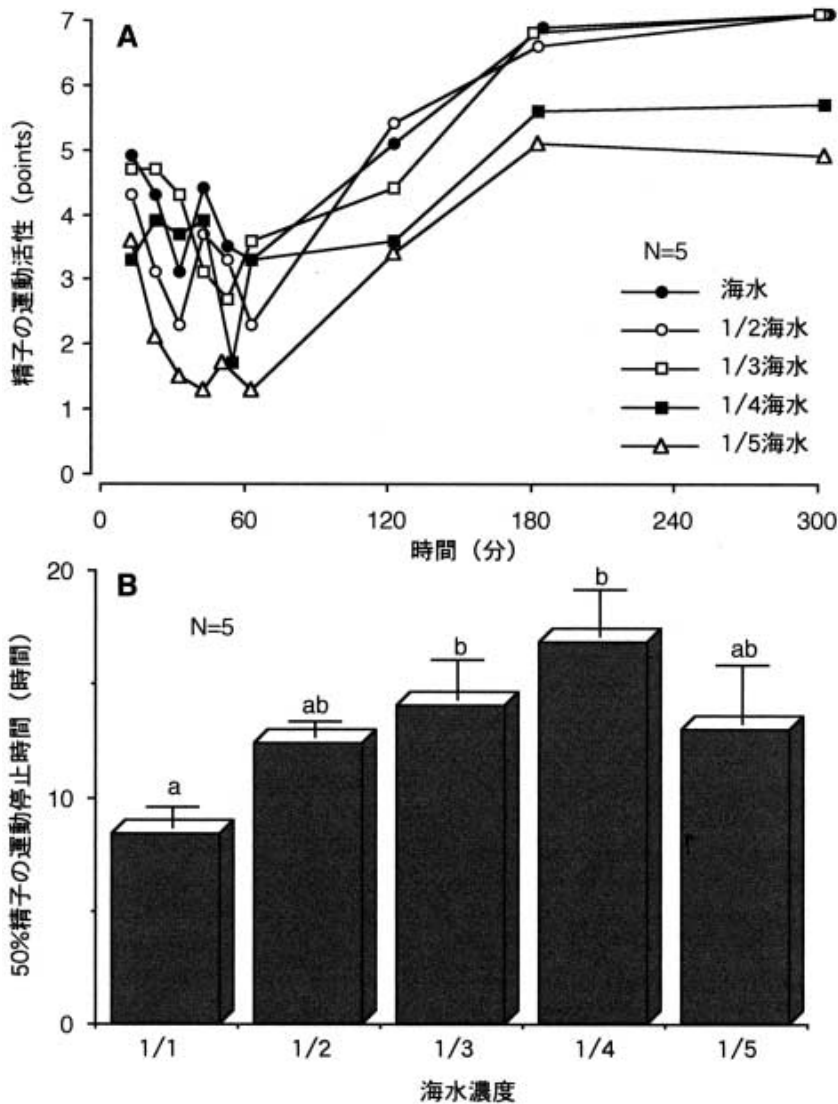


図2. イトメの精子の運動活性 (A) 各種希釈海水中での精子の運動活性の時間経過に伴う変化 (B) 各種希釈海水中における半数の精子が運動を停止するまでに要した時間. カラム上の同一のアルファベット間には有意差がないことを示す.

## 卵ゼリー層の形成

イトメの未受精卵にはゼリー層は見られないが、海水に浸漬したり受精することによりゼリー層が形成される(図5D)。このようなゼリー層はゴカイの卵にも見られ(岡田, 1960), ゴカイでは卵を海水に浸けただけでは形成されず, 受精が起きなければ形成されないという(沢田, 1969)。一方, イトメにおいてはゼリー層形成と受精との相互関係は明瞭ではなく(高島・川原, 1952), 受精とは無関係に形成されることも知られている(岡田, 1952)。本研究ではまず, ゼリー層形成と浸透圧の関係, およびその際の精子刺激の影響を明らかにするために, 希釈海水中での媒精の有無によるゼリー層形成の有無を調べた。

媒精しないで卵のみを希釈海水に入れたときのゼリー層形成は, 海水から3/4海水では55.34%であったが, 2/3海水では全く形成されなかった。しかし, それよりも薄い1/2海水では50%の卵で形成された(図3)。これは, ゼリー層が受精によってのみ形成されるゴカイ(沢田, 1969)とは大きく異なる点である。また, ゼリー層形成はある程度浸透圧の影響を受けることを示唆している。この実験に用いたイトメの採集場所および実験に使用する直前までの飼育水の塩分濃度は2112.8mg/lであり, ほぼ2/3海水の塩分濃度と等しかった。このことから, 外部浸透圧の急激な変化によってゼリー層が形成される可能性は十分考えられる。しかし, イトメの体液の浸透圧が外液と等調であるか否かは明かではない。また, 卵の膨張および減縮を指標にした計測では, イトメの卵の浸透圧はおよそ22.25%海水と等調であることが報告されている(Kamada and Yamamoto, 1931; 岡田, 1952)。浸透圧変化によるゼリー層形成の機構を明らかにする上で, 今後, イトメの体液および卵の浸透圧と環境水の浸透圧との関係を明確にする必要がある。

媒精した場合には, 受精は未希釈の海水中でしか起きなかったが, ゼリー層の形成は用いた全ての希釈海水で見られた(図3)。ゼリー層形成率は未希釈海水で最も高く, 4/5海水では海水に比ベ有意に低い値を示した。媒精した場合としない場合のゼリー層形成率を比べると, 海水および2/3海水では媒精した方が有意に高い値を示したが, 4/5, 3/4および1/2海水では差はみられなかった。媒精しないとゼリー層が形成されなかった2/3海水でもゼリー層が形成されたこと, および海水で媒精によりゼリー層形成率が増加したことは, 精子による刺激もゼリー層形成の一つの要因になっていることを

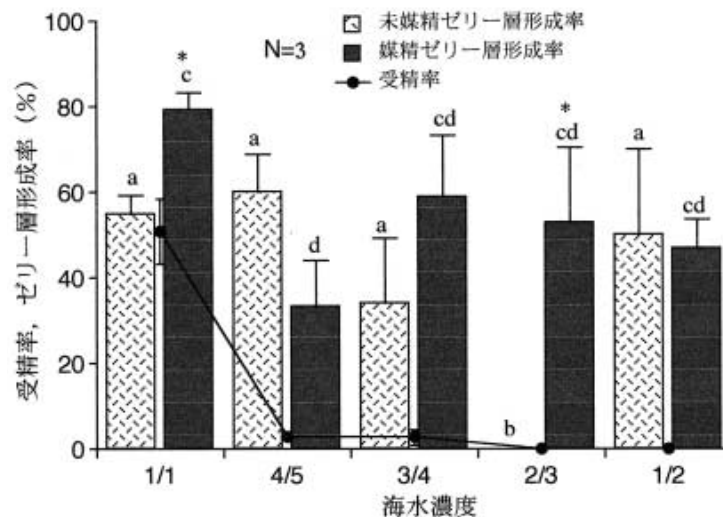


図3. イトメの卵における各種希釈海水中での媒精の有無によるゼリー層の形成率および受精率の変化。同一パターンで示したカラム上の同一のアルファベット間には有意差がないことを示す。\*は同一の希釈濃度における未媒精および媒精間で有意差があることを示す。

示している。

イトメのゼリー層形成の機構については不明な点が数多く残されているが、受精に際しての機能も含めて、今後十分に吟味する必要がある。

人工受精法の検討

表 1 に 2 通りの媒精方法による受精率をまとめた。媒精 1 では受精率は 12% から 96% まで変異が大きく、平均では 51.8% となった。一方媒精 2 では受精率は 51% から 100% と変異が小さく、平均では 80.5% と媒精 1 に比べ有意に高かった。このことから、予め卵と精液を別々に希釈したものを混合するよりも、精液を希釈した海水中に直接卵を取り出すほうが、高い率で受精が起きることが示された。

卵の受精に好適な海水の濃度を明かにするために、希釈海水中での受精率を調べた (図 3)。海水中での受精率は 50.7% であったが、4/5 および 3/4 海水中ではともに 2.7% と受精率は急激に低下し、2/3 および 1/2 海水中では全く受精しなかった。山本 (1947) も東京および名古屋で採集したイトメを用いて同様の結果を報告しているが、徳島産のイトメではどの濃度の海水でも受精率は極めて低いももの、最適な塩分濃度は 50.75% 海水の付近にあるという (岡田, 1952)。このように、生殖遊泳している個体でも生息域の違いによって卵の受精能が異なるようであるが、今回用いた揖斐川産のイトメでは、少なくとも 100% 海水中で比較的受精率が高く、発生を観察に用いる上で特に重大な支障はないものと判断された。

媒精方法の違いにより受精率が異なるという結果が得られたが、その原因として卵が海水に接してから媒精するまでの間に卵が付活を起こし、受精能を喪失する可能性が考えられた。事実、高島・川原 (1952) は採卵後 10 分置きに時間を置いて媒精した際の卵の受精率を調べているが、個体によって差が大きいものの、60 分までは時間経過とともに受精率が低下して行くことを報告している。またこの時、放置時間の経過とともにゼリー層が厚くなることから (高島・川原, 1952)、卵の接水によるゼリー層形成が受精能の喪失に関係していること

表 1. 2 通りの媒精方法による受精率。

媒精方法	受精率 (%) (平均値 ± 標準誤差)
媒精 1	61
	57
	12
	96
	36
	76
	52
24	
	(51.8 ± 9.7)
媒精 2	69
	90
	97
	51
	100
	66
	71
100	
	(80.5 ± 6.6)

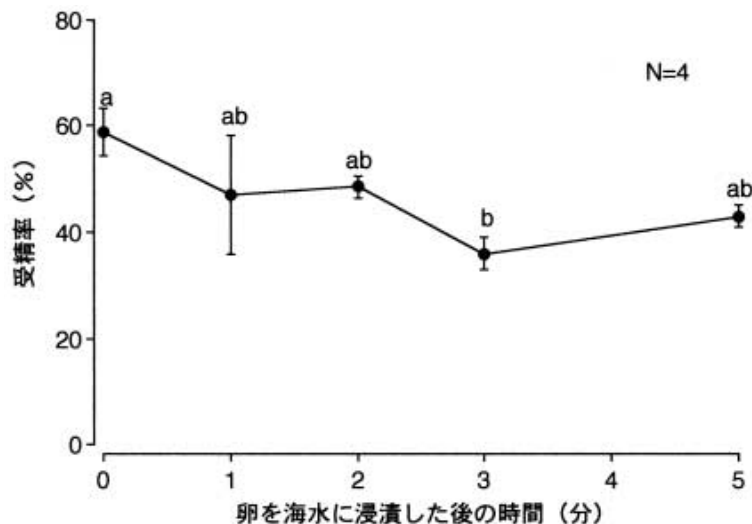


図 4. イトメにおける卵を海水に浸けてから媒精するまでの時間経過に伴う受精率の変化。グラフ上の同一のアルファベット間には有意差がないことを示す。

が推察される。

本研究では卵を海水に浸漬した後の短時間での時間経過に伴う受精率の変化を調べた(図4)。卵を海水で希釈した精液中に直接入れたときの受精率は平均59%であったが、海水中に取り出した卵を媒精するまでの時間経過とともに受精率は減少する傾向を示し、3分後には有意な低下が見られた。しかし、5分後に媒精した場合には、直接卵を希釈精液中に入れた場合と差がみられなかった。このように、短時間での極端な受精率の低下はないようであるが、卵を採取してから媒精するまでの時間は短いほうがよいと思われる。

本研究の結果から、効率的であると思われるイトメの人工受精法を以下に示した。

- ①使用前に雌雄とも体表面を蒸留水などで十分に洗浄する。
- ②清浄な容器の中で雄の体を切断し、精液を放出させる。
- ③精液を海水で適当な濃度(数千倍)に希釈する。
- ④清浄な容器の中で雌の体を切断し、卵を放出させる。未受精卵を観察するためには、卵の一部を1/5海水中に取り分けておく。
- ⑤適当量の卵を希釈精液中に移し、よく混合する。
- ⑥精子および卵の密度が高い場合には、適宜海水を入れ替える。

#### 受精および発生過程

イトメの初期発生過程については既にいくつかの報告があり(山本, 1947; Osanai, 1978), その概要は他のゴカイ類とほぼ同じであるが(岡田・越田, 1983), 参考までに未受精卵および受精卵の発生過程を図5に示し、以下にその概要を説明する。

未受精卵：イトメの卵は他の多毛類と同様、第1減数分裂前期(卵核胞期)に受精可能となる。従って、未受精卵はまだ減数分裂を起こしておらず、中央部に卵核胞(大型化した卵の核)が識別できる(図5A)。卵は球形からやや楕円球形を呈している。卵核胞を取り囲むように十数個の油球が見られる。卵膜は非常に薄く、卵細胞質が密着している。卵表面にはゼリー層は見られない。

媒精直後の変化：海水中で媒精すると、多くの卵は外部浸透圧の増加により減縮し、いびつな形になる。図5Bには比較的球形に見えるものを掲載した。媒精すると数分後には卵細胞質の表層に分布していた表層粒がその内容物を卵細胞膜と卵膜との間に放出し始め(表層粒崩壊)、卵膜が細胞質から分離し始める(卵膜扛挙：図5B)。中心に位置していた卵核胞は卵の一端へ向かって移動し、油球や卵黄質はそれとは逆の方へ移動し始め、それぞれ動物極および植物極となる(卵質分極：図5C)。卵核胞を包む核膜はやがて崩壊し(卵核胞崩壊)識別不能となる。この間に卵はもとの球形に回復し、受精膜に被われ狭い囲卵腔を持つようになる。このころには卵の周囲にゼリー層が形成されている。ゼリー層は透明で通常の方法では観察できないが、適当に希釈した墨汁の中で観察すると明瞭に識別できる(図5D)。以上のような媒精直後に見られる変化は、未受精卵でも海水に入れると起きる(図5D, E)。

減数分裂の進行：媒精から1時間後、卵核胞崩壊の後に第1減数分裂が起きる。分裂は極端な不等分裂であり、動物極で小さな第1極体が放出される(図5F)。引き続き第2減数分裂へ入り、媒精から2時間以内には第2極体が放出される(図5G)。これで減数分裂は完了する。

卵割：媒精から2時間後には第1卵割が起きる(図5H)。卵割は全割で、卵全体が大きさの異なる2つの割球に不等分裂する。第2卵割は媒精後3時間以内に始まる。第1卵割で生じた小型割球はほぼ等しい大きさに分裂し、大型割球は不等分裂により異なる割球に分裂する(図5I)。結果として3個の小型割球と1個の大型割球が生じる。第3卵割は媒精後3時間半で見られ、7個の小型割球と1個の大型割球に分裂する(図5J)。媒精後4時間目には16細胞期に達する(図5K)。ゴカイでは第5卵割を過ぎる頃から卵割の同時性に乱れが生じると言われており、イトメでも16細胞期を過ぎる頃から細胞数の把握が困難となる。媒精後6時間ほどで胞胚期に達する(図5L)。

囊胚期・トロコフォア：媒精後8時間半には原口が形成され囊胚初期となる(図5M)9時間目には囊

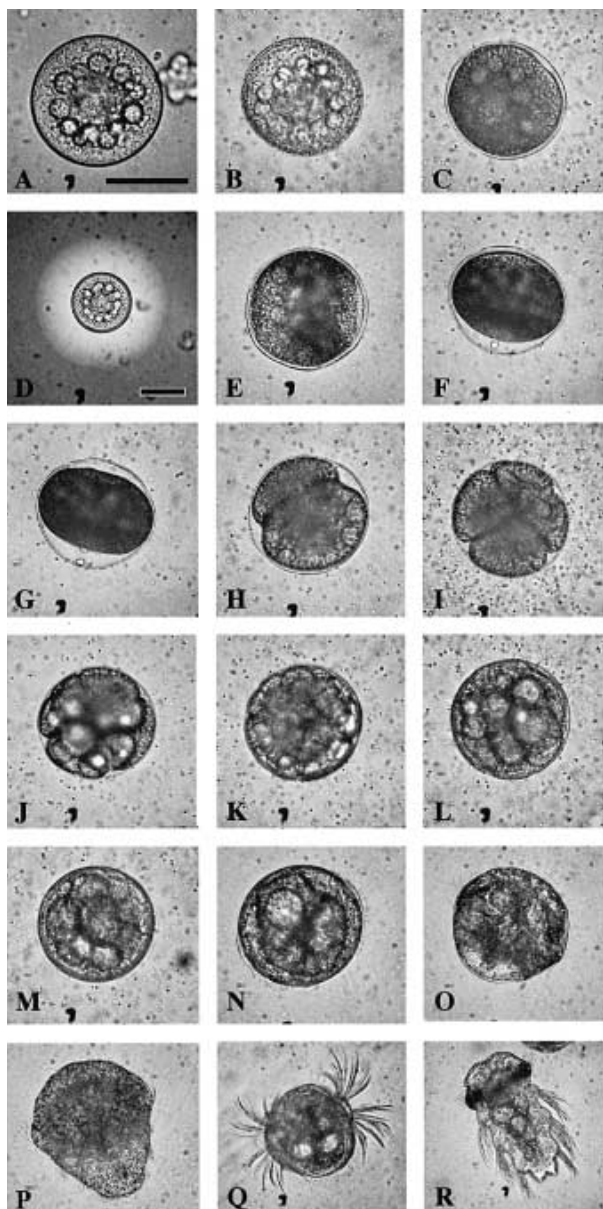


図5. イトメの未受精卵および受精卵の発生過程。(A) 1/5 海水中の未受精卵, (B) 海水中で媒精した直後の卵 (C) 卵膜分離 (D) 未受精卵でのゼリー層形成 (E) 未受精卵での卵膜分離, (F) 第1極体放出 (G) 第2極体放出 (H) 2細胞期 (I) 4細胞期 (J) 8細胞期 (K) 16細胞期, (L) 胞胚期, (M) 囊胚前期, (N) 囊胚後期 (O) トロコフォア前期 (P) トロコフォア後期 (Q) ネクトケータ (R) ネクトケータ (5体節期). スケールは100  $\mu\text{m}$ . 倍率はD以外は全てAと同じ.

胚後期のものも見られるようになり, 24時間以内には繊毛環が受精膜を貫いて卵外に飛び出し, 前期トロコフォア幼生となって遊泳を開始する(図5 N). その後3日目までにトロコフォアは受精膜を脱ぎ捨てて孵化する(図5 O) 4日目には体がやや伸長し, 少なくとも2つの繊毛環を有する後期トロコフォアとなる(図5 P).

ネクトケータ: 5日目には球形で前後に2つの剛毛環を持つネクトケータ幼生となる(図5 Q) 7日目には5つの体節からなり, 第1体節に眼点を, 第2, 3, 4体節にはそれぞれ剛毛環を持つネクトケータ幼生となる(図5 R). その後このままの状態を推移し, 10日を過ぎると徐々に生存個体数が減少し, 12日までに全て死亡した.

#### 教材としての利用価値

これまで発生学における教材として用いられてきている動物としては, ウニ, メダカなどの魚類, および両生類などが挙げられる. このうち特に, 受精方法などの簡便さからウニは優秀な教材となってきた. しかし, ウニの生きた個体を入手したり飼育するのは困難であり, 専ら臨海実習などで利用されているのみで, 内陸部の学校などで教材として利用することは不可能に近いと考えられる. イトメは生息地は限られているが, 採集は容易である. 特に, 生殖群泳する日が月齢によって正確に決まっているため, その日には確実に遊泳個体を採集することが可能である. 採集した個体は1週間程度であれば飼育することも可能である. 採集できる日が確定しているということは, 教材として使用する上で日程を予め調整し易いという利点でもある. 生殖型になる前の砂泥中に生息する個体を採捕することも容易であるため, 今後はこのような個体を飼育し, 生殖型にして, 受精実験に使用出来るか否かを調べる必要がある.

イトメの属する環形動物をはじめとする前口動物に属する動物群は, 脊椎動物が属する後口

動物とは進化の系統が異なり, その違いは特に発生過程に顕著に現われている. 即ち, 脊椎動物や棘皮動物など後口動物群では, 初期発生時に放射卵割を行うものが多いのに対し, 前口動物の一群ではらせん卵割を行うものが多い. 生物多様性を理解する上で, 発生様式にも多様性が見られることを示すことは重要であると考えられるが, 実際の教育の現場, あるいは教科書などでは, ほとんどが後口動物群に見られる放射卵割のみを取り上げているのが現状である. そのような意味で, らせん卵割を行うイトメ



は、発生学の教材として利用価値があるものと考えられる。

高等学校の生物の教科書では、動物の卵形成に関する一般的な記述として、卵母細胞が減数分裂を起こして核相が  $n$  となったものが受精可能な卵として示されているが、実際には多くの動物で受精能を持つ卵は減数分裂を完全には終えていない。多くの動物種では、卵が受精する時期は減数第 1 分裂の前期であったり中期であったり、さらには脊椎動物のように第 2 分裂の中期であったりと、種によって様々である。逆に、完全に減数分裂を終えて受精するのはわずかに腔腸動物とウニ類だけである。従って、受精や発生過程をウニを典型例として教えることは、卵形成に関する教科書の曖昧な記述と相まって、事実と異なる知識を植え付けることにもなりかねない。イトメはウニとは対照的で、卵は減数分裂期に入って間もない第 1 分裂前期の状態でも受精可能となるため、精子の侵入後に減数分裂が進行して行く様が観察できる。このように、卵が受精可能となる減数分裂の時期の動物種による違いを理解させる上でも、教材としての利用価値は高いと考えられる。

#### 4. 引用文献

- Izuka, A. (1903): Observations on the Japanese palolo, *Ceratocephale osawai*, n. sp. J. Coll. Sci. Tokyo, 17, 1-37.
- 香川義信 (1958): 酸海水処理による日本パロロ卵の人為受精. 徳島大学学芸紀要 (自然科学), 8, 27-32.
- 香川義信 (1960): 過ヨ一素酸塩類処理による日本パロロ (*Tylorrhynchus heterochaetus*) の人為受精. 徳島大学学芸紀要 (自然科学), 10, 11-15.
- Kamada, T. and Yamamoto, K. (1931): Elastic constant of membrane, non-aqueous space of protoplasm and amount of free solutes in the egg of an annelid, *Ceratocephale osawai*. J. Fac. Sci. Tokyo Imp. Univ., Sec. IV (Zool.), 2, 357.
- 岡田克弘 (1952): 日本パロロに関する実験的研究 第 1 報. 卵細胞の賦活. 徳島大学学芸紀要 (自然科学), 2, 43-52.
- 岡田克弘 (1967): 日本パロロの人為的受精 第 II 報. 実験形態学誌, 21, 457.
- 岡田克弘 (1960): 位相差顕微鏡によるゴカイ卵の受精反応顕微鏡写真像. 徳島大学学芸紀要 (自然科学), 10, 63-71.
- Okada, K. (1967): Experimental studies on the Japanese palolo, *Tylorrhynchus heterochaetus*. II. Artificial fertilization. Sci. Rep. Tôhoku Univ., Ser. IV (Biol.), 33, 149-162.
- 岡田克弘・越田豊 (1983): 環形動物, (団勝磨・関口晃一・安藤裕・渡辺浩・山本健二 編) 無脊椎動物の発生・上, 培風館, 東京, pp. 259-305.
- Osanai, K. (1966): Acceleration of fertilization and polyspermy in the egg of Japanese palolo with special reference to the behavior of the nucleus. Sci. Rep. Tôhoku Univ. Ser. IV (Biol.), 32, 207-218.
- Osanai, K. (1967): Promotion of development with periodic acid in the egg of the Japanese palolo. Sci. Rep. Tôhoku Univ. Ser. IV (Biol.), 33, 121-128.
- Osanai, K. (1978): Early development of the Japanese palolo, *Tylorrhynchus heterochaetus*. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi, 16, 59-69.
- Sato, M. and Osanai, K. (1983): Sperm reception by an egg microvillus in the polychaete, *Tylorrhynchus heterochaetus*. J. Exp. Zool., 227, 459-469.
- Sato, M. and Osanai, K. (1990): Sperm attachment and acrosome reaction on the egg surface of the polychaete, *Tylorrhynchus heterochaetus*. Biol. Bull., 178, 101-110.
- 沢田充明 (1969): ゴカイ卵の受精に伴う表層微細構造の変化. 動物学雑誌, 78, 114-116.
- 高島律三・川原春幸 (1952): 卵 Jelly に就いての実験的研究. 第三報 日本パロロ (ウキコ) (*Tylorrhynchus heterochaetus*) の卵 Jelly に就いて. 実験生物学報, 2, 187-189.

Yamamoto, T. ( 1935 ): Photochemical phenomenon in the egg of a polychaete worm, *Ceratocephale osawai*. J. Fac. Sci.

Tokyo Imp. Univ. Ser IV, 4, 99-110 .

山本時男 ( 1947 ): 汽水産多毛類バチの受精及発生の最適塩分 . 生理生態 , 1 , 79-88 .