

潮間帯岩礁にすむ巻貝の精子 2. 中腹足目・新腹足目(腹足綱：前鰓亜綱)*

小池啓一・篠原敦子**
群馬大学教育学部理科教育研究室
**群馬県立榛名高等学校
(1986年9月13日受理)

The Spermatozoa of the Snails Living in an Intertidal Rocky Shore. 2. Mesogastropoda and Neogastropoda (Gastropoda : Prosobranchia).

Keiichi KOIKE and Atsuko SHINOHARA**

*Department of Science Education, Faculty of Education, Gunma University,
Maebashi, Gunma 371, Japan*

*** Haruna Upper Secondary School, Haruna, Gunma 370-33, Japan
(Received Sept. 13, 1986)*

Abstract

In our previous paper, we reported that the archaeogastropod snails living in an intertidal rocky shore could be collected easily and were good teaching materials for observing living spermatozoa. In this study, living spermatozoa were observed in 19 species of 12 families of the mesogastropod and neogastropod snails living in the Pacific coast of the central and southern Japan. Atypical spermatozoa were found in 11 species of nine families. Morphological characters of these spermatozoa were described, and functions of atypical spermatozoa in some species were discussed.

軟体動物のうち、腹足綱前鰓亜綱に属する巻貝は、観察する機会の少ない無脊椎動物の精子の特徴を理解するために大変都合のよい材料である。前鰓亜綱のうち、淡水産の巻貝カワニナ(中腹足目カワニナ科)や潮間帯岩礁にすむ原始腹足目の巻貝の精子の観察についてはすでに報告した(小池, 1980; 小池・篠原, 1984)。前鰓亜綱は原始腹足目、中腹足目、新腹足目、異腹足目に分類されている。そこで今回は中腹足目と新腹足目のうち、本州中部以南の太平洋岸の地域の潮間帯岩礁で普通に見られる種について、精子の観察法と形態的特長などを明らかにし、それらの教材化を試みた。

中腹足目の巻貝は、一部陸産や淡水産のものもあるが、多くは海産である。また新腹足目はすべ

て海産である。原始腹足目アマオブネガイ亜目と中・新・異腹足目は体内受精を行い、多くの種で精子二型現象が知られている。精子二型現象とは、同一の精巣で受精に関与する正型精子 typical spermatozoon と、特異な形態をもち直接受精に関与しない異型精子 atypical spermatozoon の2つのタイプの精子が形成されることである。このように前鰓亜綱に特徴的に存在する異型精子の機能についても考察する。

この研究を行うにあたり指導・助言をいただいた筑波大学医療技術短期大学部西脇三郎教授に感謝する。また、材料の採集と施設の利用に便宜をはかっていただいた筑波大学下田臨海実験センター渡邊浩教授、牧岡俊樹博士および職員の方々に謝意を表す。

材料と方法

静岡県東部伊豆半島下田付近の潮間帯岩礁で普通に見られる種類について、精子の観察に適切な時期と異型精子の有無を表1に示した。多くの種では初夏から夏にかけて精子形成が行われるが、一部の種では冬に行われる。採集には、タマキビガイ科のように潮間帯上部にすんでいるものを除いて、大潮の干潮時に採集を行うとよい。春から夏にかけては昼間潮がよく引くが、秋から冬にかけては夜間によく引く。夜間採集には危険が伴うので注意が必要である。しかし、冬に精子形成を行うオオヘビガイやイソニナは比較的浅い場所にも多いので、昼間の干潮時に採集できる。ムカデガイ科の貝は岩の表面に固着生活しているので、磯がねやハンマーを用いて採集する。

採集してきた貝は、生殖腺を傷つけないように注意しながら、ハンマーで殻を割る。中腹足目や新腹足目の巻貝の多くは、生殖時期には雄の頭部後方右側にペニスが発達する。しかし、スイショウガイ科、アクキガイ科、エゾバイ科、イモガイ科などの種には雌もペニス様突起をもつものがあり、雄と紛らわしい。雌のペニス様突起は雄のペニスと比較すると一般にかなり小さく、両者を比較すれば雌雄の区別は十分可能である。オニツノガイ上科の雄にはペニスがないが、雌雄は生殖腺の色の違いにより区別できる。

殻を割り、ピンセットを用いて注意しながら殻から軸柱筋をはずすと、らせんに巻いた腹部の背面に生殖腺が見える。生殖腺は黒褐色の中腸腺の上であり、精巣は褐色、卵巣は黄色のものが多い。雄の中腸腺腹面には、精子で満たされた白い輸精管が認められる。外套腔を後方に切り開いていくと、直腸の横に外套性の輸精管が認められ、ペニスまで達している。しかし、普通この部分には精子は貯えられていない。種類によっては、雌の輸卵管に受精囊が接続しており、その中に雌から渡された精子が貯えられている。

精子の観察には薄手のスライドグラスを用いる。スライドグラスに海水を1滴載せ、精巣か輸精管から先の鋭いピンセットで精液を1つまみ取り、海水の中に入れて静かにかきまぜる。天然海水は濾過したものをを用いる。雌に受精囊の存在する種では、輸精管内の精子と受精囊中の精子を比較

表1 精子の観察に適した時期および異型精子の有 (+) 無 (-)

Order Mesogastropoda 中腹足目		
Superfamily Littorinacea タマキビガイ上科		
Family Littorinidae タマキビガイ科		
1. <i>Littorina brevicula</i> タマキビガイ	12-2月	-
2. <i>Nodilittorina exigua</i> アラレタマキビガイ	5-8月	-
Superfamily Cerithiacea オニノツノガイ上科		
Family Potamididae ウミミナ科		
3. <i>Batillaria multiformis</i> ウミミナ	5-8月	+
Family Cerithiidae オニノツノガイ科		
4. <i>Cerithium koberti</i> コオロギガイ	5-7月	+
Family Vermetidae ムカデガイ科		
5. <i>Serpulorbis imbricatus</i> オオヘビガイ	10-3月	+
6. <i>Serpulorbis daidai</i> オレンジヘビガイ	year-round	+
7. <i>Bivonia dragonella</i> タツノコヘビガイ	5-8月	+
Superfamily Strombacea スイシヨウガイ上科		
Family Strombidae スイシヨウガイ科		
8. <i>Conomurex luhuanus</i> マガキガイ	6-8月	+
Superfamily Cypraeacea タカラガイ上科		
Family Cypraeidae タカラガイ科		
9. <i>Palmadusta gracilis</i> メダカラガイ	5-7月	+
Superfamily Tonnacea ヤツシロガイ上科		
Family Cymatiidae フジツガイ科		
10. <i>Monoplex echo</i> カコボラ	6-8月	+
Order Neogastropoda 新腹足目		
Superfamily Muricacea アクキガイ上科		
Family Muricidae アクキガイ科		
11. <i>Ceratostoma fourmieri</i> イソバシヨウガイ	12-2月	+
12. <i>Reishia clavigera</i> イボニン	6-8月	-
Superfamily Buccinacea エゾバイ上科		
Family Pyrenidae タモトガイ科		
13. <i>Pyrene testudinaria</i> マツムシガイ	5-8月	-
14. <i>Anachis misera misera</i> ボサツガイ	5-8月	-
15. <i>Euplica scripta</i> フトコロガイ	5-8月	-
Family Buccinidae エゾバイ科		
16. <i>Pollia mollis</i> シワホラダマン	6-8月	-
17. <i>Japeuthria ferrea</i> イソニナ	12-3月	+
Superfamily Voltacea ヒタチオビガイ上科		
Family Mitridae フデガイ科		
18. <i>Strigatella scutulata</i> ヤタテガイ	5-8月	-
Superfamily Conacea イモガイ上科		
Family Conidae イモガイ科		
19. <i>Chelyconus fulmen</i> ベッコウイモガイ	6-8月	+

して観察すると興味深い。カバーグラスをかけて検鏡するが、正型精子は非常に細長いので、光を強くし、絞りをかなり絞って観察する。精液の量が多過ぎたり、海水が多いと観察しづらい。また長い時間光を当てていると、海水の蒸発や温度の上昇により精子が変形してしまう。種類により、輸精管内の正型精子はあまり活発に運動しないものがあるが、雌の受精囊から取り出した正型精子は活発に運動することが多い。位相差顕微鏡を用いれば、正型精子の鞭毛運動や異型精子の内部構造がわかりやすい。

中腹足目の精子

1. ウミニナ科とオノツノガイ科 (図1 A, B)

ウミニナとコオロギガイの精巢は濃いオレンジ色、卵巣は黄色で、雄にはペニスがない。精莖 *spermatophore* により雌に精子を渡すと思われる。両種の正型精子は糸状で、短い頭部と、それぞれ全長の2分の1近くを占める中片と尾部からなる。両種とも異型精子の形態はよく似ていて、細長い円錐形の部分(前部)とその後方の細く短い部分(中央部)、1本の長い鞭毛と数本の短い鞭毛(尾部)からなる。異型精子はあまり活発に運動しない。

2. タマキビガイ科 (図1 C, D)

タマキビガイとアラレタマキビガイの正型精子は細長い糸状で、頭部・中片・尾部はそれぞれほぼ同じ太さをしており、光学顕微鏡による観察ではほとんど区別できない。両種の精巢や輸精管内には、正型精子とともに *free cell* が含まれている。*free cell* には多数の正型精子が前端部で付着している。海水中に取り出された精子は短時間のうちに *free cell* からはずれてしまう。*free cell* の中には大きな球形の顆粒が多数認められるが、正常な核は存在しない。

3. ムカデガイ科 (図1 E-H, 図2 A-C)

オオヘビガイとオレンジヘビガイの殻は非常によく似ているが、軟体部の色や生殖時期、胚発生などはかなり異なる (Scheuwimmer and Nishiwaki, 1982)。両種とも初夏から夏にかけて殻の内側に産卵する。しかし、オオヘビガイの精巢はオリーブ色を帯びた暗褐色で、10月~3月にかけて精子形成を行う。一方、オレンジヘビガイの精巢は鮮橙色で、周年精子形成を行っている。両種とも固着生活し、雄にはペニスがなく、精子は精莖により雌に渡される (Scheuwimmer, 1979)。これら両種は蓋をもたないが、やや小型のタツノコヘビガイには蓋がある。

これら3種の正型精子は非常によく似ており、細長い円柱形の頭部と中片および尾部からなる。タツノコヘビガイの正型精子は輸精管内では多数が集まって精子束を形成し、ほとんど運動しない。ムカデガイ科の異型精子は非常に特殊な形態をしている。オオヘビガイとオレンジヘビガイの異型

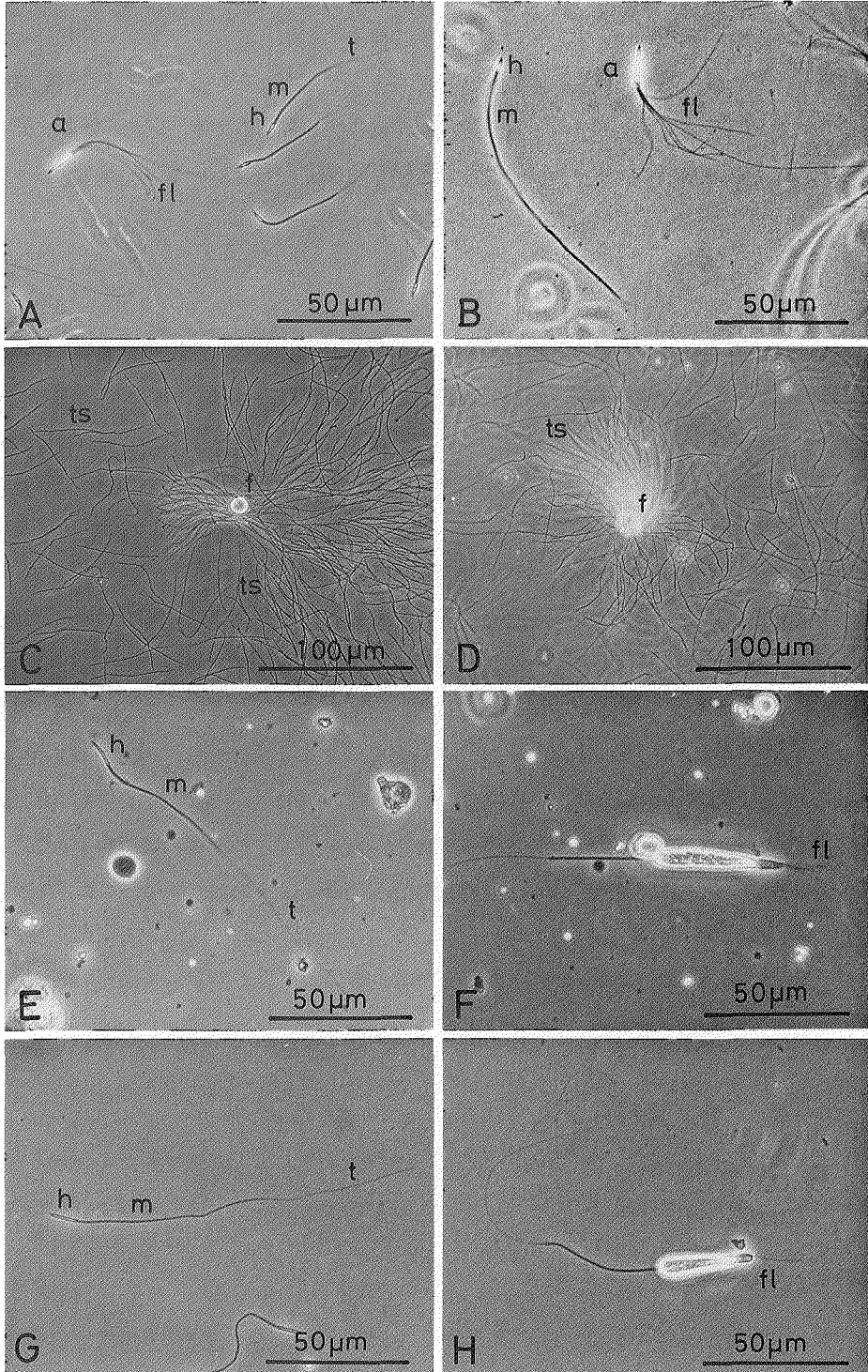


図1 中腹足目の精子1. A. ウミニナ, B. コオロギガイ, C. タマキビガイ, D. アラレタマキビガイ, E. オオヘビガイ, F. 同・異型精子, G. オレンジヘビガイ, H. 同・異型精子。a : 異型精子, f : free cell, fl : 鞭毛, h : 頭部, m : 中片, t : 尾部, ts : 正型精子。

精子は前端部が非常に細長い糸状で、その後方に小さなふくらみがあり、少し太い棒状部につながる。その後方は太い囊状部で、多数の顆粒を含んでいる。さらに、その後部に小さな囊状部がある。この部分はウミナ科やオニツノガイ科の異型精子の中央部に相当すると考えられる。そこから数本の鞭毛が伸びている。タツノコヘビガイの異型精子も前2種と似ているが、棒状部および太い囊状部は短い。中央部は光学顕微鏡では判別できない。

4. スイショウガイ科 (図2 D-G)

マガキガイの正型精子はムカデガイ科と非常によく似ており、細長い円柱形の頭部と中片および尾部からなる。しかし、全長はかなり短い。輸精管内では、多数の正型精子が互に先端で付着して精子束を形成しているが、海水に入れるとすぐに分散する。スイショウガイ科の異型精子は紡錘形をしており、両側に波動膜をそなえていて、活発に運動する。中央の紡錘形の部分には大小多数の顆粒を含む。電子顕微鏡による観察では、両側の波動膜にはそれぞれ約100本の軸糸が平行に並んでいる (Koike and Nishiwaki, 1980)。左右の波動膜は同時に波動運動を行う。

精巣の組織をピンセットでつまんで観察すると、多数の正型精子形成中の精母細胞や精細胞とともに、異型精子に変態する途中の大型の細胞が見られる。将来異型精子になる細胞は、はじめは他の生殖細胞と区別できないが、精巣上皮から離れて次第に成長をはじめ。この細胞は細胞質の増加とともに、卵母細胞のように核が大きくふくらむようになる。細胞は径40~50 μm に達すると、核が崩壊し、多数の顆粒が出現する。その後約200本の軸糸が形成される。軸糸の伸長とともに、細胞の形は細長くなり、次第に大型の顆粒が形成される。軸糸の起点が細胞の前端に達すると、細胞は紡錘形になる。さらに細胞の後端は軸糸の末端まで伸長する。その後、軸糸の束は左右に別れて波動膜を形成し、異型精子は完成する。

雌の受精囊の中からは異型精子は発見できず、雄から受け渡された精子が受精囊に到達するまでに消滅してしまうと考えられる。

5. タカラガイ科 (図2 H)

メダカラガイの正型精子はムカデガイ科やスイショウガイ科とよく似ているが、輸精管内で精子束は形成しない。異型精子は比較的小型で、細長い紡錘形をしており、運動性はほとんどない。

6. フジツガイ科 (図2 I)

カコボラの正型精子は非常に細長い糸状である。頭部は非常に長く、光学顕微鏡では中片や尾部との区別ははっきりしない。異型精子には2型あり、前方が太くなった細長い紡錘形のもの (lancet type) と、短い棒状のもの (carrier type) とがある。前者は後者に比較して非常に数が多く、多数の軸糸が前端から後端まで走っているが、運動性はほとんどない。後者は表面に多数の正型精

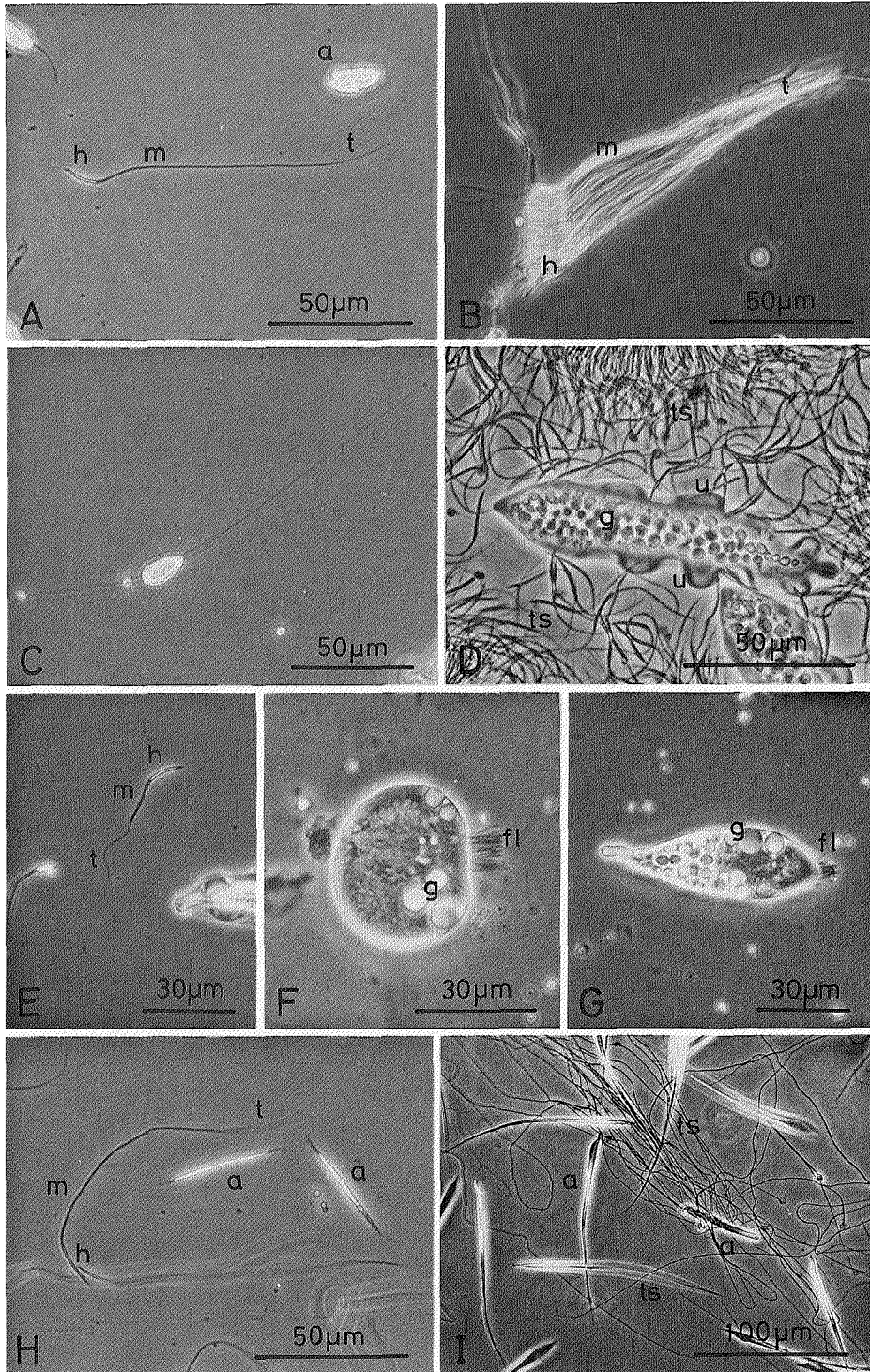


図2 中腹足目の精子2. A. タツノコヘビガイ, B. 同・精子束, C. 同・異型精子, D. マガキガイの異型精子と精子束, E. 同・正型精子, F, G. 同・形成途中の異型精子, H. メダカラガイ, I. カコボラ. a: 異型精子, fl: 鞭毛, g: 顆粒, h: 頭部, m: 中片, t: 尾部, ts: 正型精子, u: 波動膜。

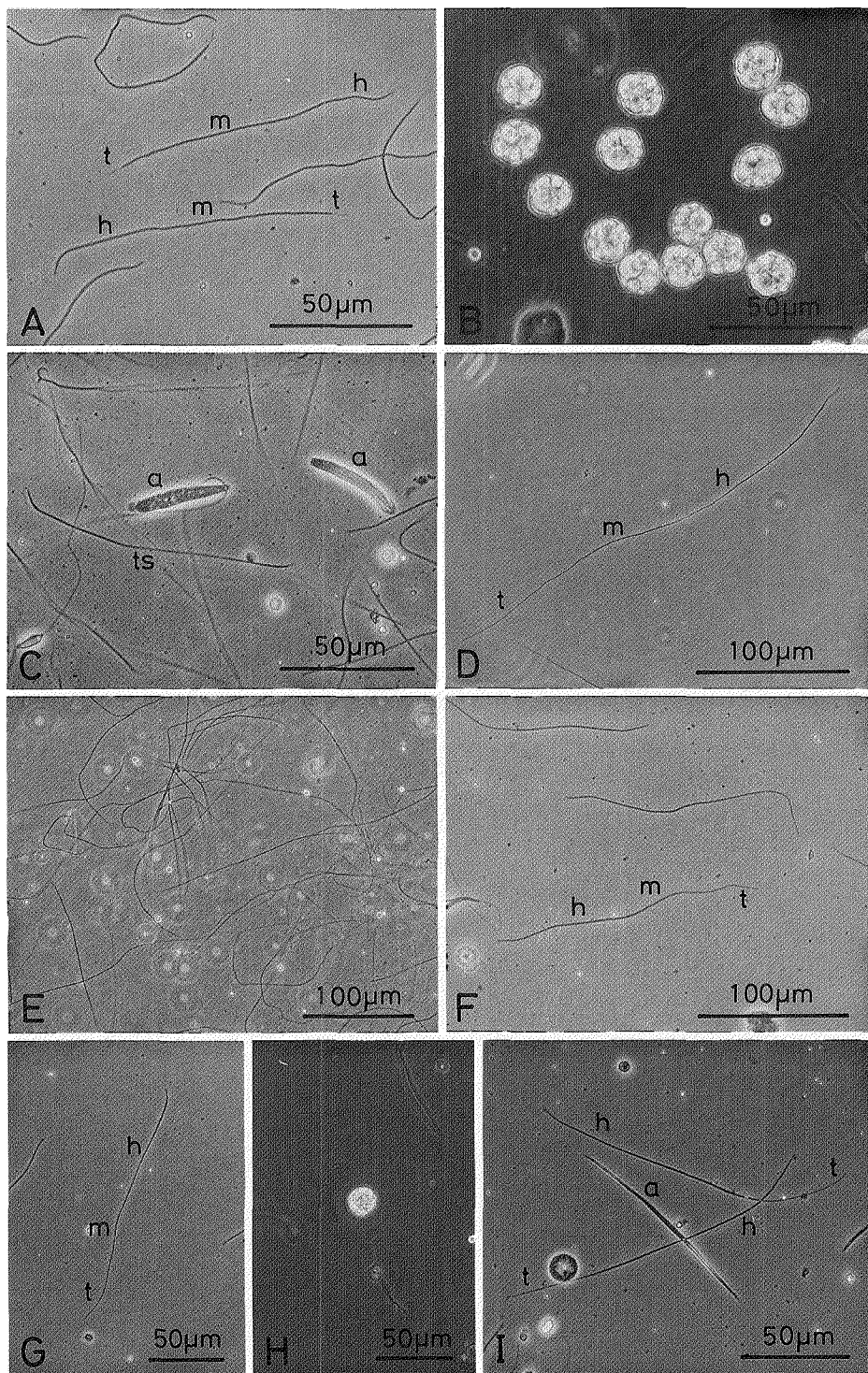


図3 新腹足目の精子1. A: イボニシ, B. 同・free cell, C. イソバシヨウガイ, D. マツムシガイ, E. ボサツガイ, F. フトコロガイ, G. シワホラダマシ, H. 同・free cell, I. イソニナ. a: 異型精子, h: 頭部, m: 中片, t: 尾部, ts: 正型精子。

子を付着させており、ときどき屈曲運動をする。正型精子は前端で異型精子に付着しているが、タマキビガイ科の free cell の場合とは異なり、簡単にははずれない。

新腹足目の精子

1. アクキガイ科（図3 A-C）

イボニシの正型精子はタマキビガイ科とよく似た細長い糸状である。輸精管内には、タマキビガイ科とよく似た球形の free cell が多数存在する。free cell は多数の大型の顆粒を含んでいるが、タマキビガイ科のように正型精子が付着していることはない。異型精子は存在しない。

イソバショウガイの正型精子はイボニシとよく似ている。異型精子は棒状で、運動性はほとんどない。free cell は存在しない。

2. タモトガイ科（図3 D-F）

マツムシガイ、ボサツガイ、フトコロガイの正型精子は互によく似ており、フジツガイ科のカロボラの正型精子のように非常に細長い糸状をしている。特にボサツガイの正型精子は細長く、頭部・中片・尾部の区別をつけるのは困難である。これらの種には異型精子は存在しない。

3. エゾバイ科（図3 G-I）

シワホラダマシとイソニナの正型精子はタモトガイ科やフジツガイ科のように非常に細長い糸状をしている。シワホラダマシには異型精子は存在せず、タマキビガイ科やアクキガイ科のイボニシのように free cell が存在する。free cell には、イボニシ同様正型精子は付着していない。一方、イソニナには異型精子が存在し、メダカラガイの異型精子とよく似た非常に細長い紡錘形をしている。運動性はほとんどない。

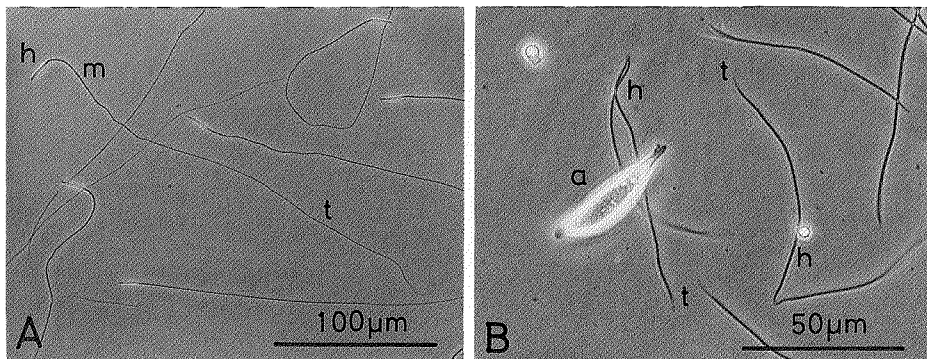


図4 新腹足目の精子 2. A. ヤタテガイ, B. ベッコウイモガイ。a: 異型精子, h: 頭部, m: 中片, t: 尾部。

4. フデガイ科 (図4 A)

ヤタテガイの正型精子は頭部が細長い円柱形で、ムカデガイ科やスイショウガイ科、タカラガイ科などとよく似ている。しかし、中片や尾部ははるかに長い。異型精子は存在しない。

5. イモガイ科 (図4 B)

ベッコウイモガイの正型精子はタマキビガイ科やアクキガイ科とよく似た形で、細長い糸状である。異型精子は前方がややふくらんだ紡錘形で、多数の小さな顆粒を含んでいる。運動性はほとんどない。

前鰓亜綱の精子の特徴

1. 正型精子

動物の精子の形態は大きく分けて次の4タイプが知られている：(1) 体外受精を行う動物に広く存在し、原始的な形態と考えられているオタマジャクシ型の精子、(2) 多くの体内受精を行う動物に見られる細長い糸状の精子、(3) 鞭毛を2本もつ精子、(4) 無鞭毛の精子(Baccetti and Afzelius, 1976)。これらのうち、前鰓亜綱では(1)と(2)の精子が見られる。

表2 微細構造による前鰓亜綱の正型精子の分類

Type 1. アマオブネガイ亜目を除く原始腹足目
Subtype 1A. オキナエビスガイ亜目, ニシキウズガイ亜目
Subtype 1B. ツタノハガイ亜目
Type 2. 原始腹足目アマオブネガイ亜目
Subtype 2A. アマオブネガイ科, ユキスズメガイ科
Subtype 2B. ヤマキサゴ科
Type 3. 中腹足目, 新腹足目, 異腹足目
Subtype 3A. ヤマタニシ上科
Subtype 3B. タニシ上科
Subtype 3C. リソツボ上科
Subtype 3D. オニノツノガイ上科
Subtype 3E. ヤマタニシ上科・タニシ上科・リソツボ上科・オニノツノガイ上科を除く中腹足目, 新腹足目, 異腹足目イトカケガイ上科
Subtype 3F. 異腹足目クルマガイ上科

電子顕微鏡による正型精子の微細構造の比較から、前鰓亜綱の正型精子はさらに表2のように分類される (Koike, 1985)。Type 1 に属するグループは体外受精を行い、いわゆるオタマジャクシ型の精子である。Type 2 と Type 3 に属するグループは体内受精を行い、細長い糸状の精子である。

前報（小池・篠原，1984）では，Type 1 と Type 2 の Subtype 2A の正型精子の特徴について述べた。今回は，Type 3 の Subtype 3D と Subtype 3E に属するグループの正型精子について，光学顕微鏡レベルの特徴を記述した。Type 2 と Type 3 の正型精子は光学顕微鏡ではいずれも糸状に見えるが，電子顕微鏡レベルでは非常に大きな違いが存在する（Koike, 1985）。

正型精子の頭部の大部分を占める核は，Type 3 では細長い円柱形か，非常に細長い中空の円筒形である。今回観察した種のうち，円柱形の核をもつものはムカデガイ科，ウミユナ科，オニノツノガイ科，スイショウガイ科，タカラガイ科，フデガイ科に属する種である。一方，円筒形の核をもつものはタマキビガイ科，フジツガイ科，アクキガイ科，タモトガイ科，エゾバイ科，イモガイ科である。このような成熟した正型精子の核の形態の違いは，科より上位の系統分類を考察する特徴とはならないと考えられる。

Type 3 の正型精子の中片の特徴は，数本の細長いミトコンドリアが軸糸の周囲を取り巻いており，それぞれのミトコンドリアの外膜は融合して，軸糸を取り巻くミトコンドリアの鞘を形成することである。Subtype 3D に属する正型精子はミトコンドリアの数が4本で，長軸方向に並んでいる。これに相当するのはウミユナ科とオニノツノガイ科である。残りの10科は Subtype 3E に属し，ミトコンドリアの数は7～9本で，ミトコンドリアは軸糸の周囲をらせんに取り巻いている。

最近，種々の動物群の系統分類を再検討するために，精子の微細構造が指標として用いられるようになり，その重要性が指摘されるようになった（Baccetti, 1970；Baccetti and Afzelius, 1976；Franzen, 1977；Koike, 1985）。前鰓亜綱の正型精子の微細構造の比較から得られた結果と，現在行われている分類とを比較すると，かなり大きな違いが存在する。前鰓亜綱内の系統分類を考察する場合にも，正型精子の微細構造，特に頭部の形成過程や中片の構造は重要と考えられている（Healy, 1983；Koike, 1985）。正型精子の微細構造とその形成過程の比較から，アマオブネガイ亜目を原始腹足目から分離独立させ，中・新・異腹足目を新生腹足目として1目にまとめる考えが提案されている（Koike, 1985）。

2. 異型精子

前鰓亜綱のうち，体内受精を行う多くのグループで，正型精子の他に，グループごとに特異な形態を示す異型精子の存在が知られている。異型精子に関しては不明な点が非常に多く，精巢内での分化の過程やその機能についてはほとんど解明されていない。

Kuschakewitsch (1911) は主に運動性を比較して，異型精子を5群に分類した。また，Ankel (1930) は異型精子を外形から7群に分類した。Nishiwaki (1964) は異型精子を外部形態から8群に分類し，二型精子の特徴の比較から，前鰓亜綱内の系統分類を考察した。これらの光学顕微鏡レベルの研究から，(1) 異型精子は分類群ごとに特徴のある形態を示し，(2) 正常な核をもたず，(3) 細胞質に多数の顆粒を含むものが多く，(4) 多数の鞭毛をもつものが多いこと，などが判明した。

最近、正型精子同様、異型精子の微細構造についても、比較形態学的な研究が行われるようになった (Melone et al., 1980 ; Giusti and Selmi, 1982)。それらの研究から、異型精子は2タイプに分けられる。(1) 1本の鞭毛が前端から後端まで伸びており、中央部は太くなり、細胞質の鞘を形成する。しかし、顆粒や正常な核は存在しない。このような異型精子は原始腹足目のアマオブネガイ科でのみ知られている。(2) 多数の鞭毛(種により数本から3000本)をもち、細胞質には多数の顆粒を含み、正常な核は存在しない。中・新・異腹足目の異型精子の外形は非常に多様であるが、いずれもこのタイプに含まれる。異型精子の微細構造による分類と正型精子のそれとは概ね一致している。

異型精子の機能を解明するために、Tochimoto (1967) は多糖類を中心に異型精子を組織化学的に研究し、特にマガキガイの二型精子形成と卵形成の比較を行った。その結果、マガキガイの異型精子に含まれる顆粒と卵黄顆粒との成分の類似が指摘された。一般に、異型精子の顆粒は核の崩壊とともに形成される。マルタニシ *Cipangopaludina chinensis malleata* の二型精子形成過程を電子顕微鏡で観察した Yasuzumi (1964) は、核の崩壊により細胞質に出た核酸が糖タンパク質に転換し、その一部が栄養細胞を経て、精巢内で正型精子の形成に用いられることを明らかにした。しかし、完成した異型精子がどのような機能をもつかは依然として不明である。Graham (1954) と Wilson and Wilson (1956) は、浮遊性の巻貝で、雄はペニスをもたないアサガオガイ *Janthina janthina* の観察から、非常に大型の異型精子が尾部に多数の正型精子を付着させ、海水中を泳いで、正型精子を雌まで運ぶと考えた。しかし、著者らのアサガオガイの観察では、異型精子の運動性は非常に弱く、海水中を遊泳することは不可能である(未発表)。Scheuwimmer (1979) は、オオヘビガイの雌の生殖器官に見出だされる異型精子では顆粒がほとんど消失していることから、完成した異型精子が正型精子の栄養補給に用いられている可能性を指摘した。著者らのマガキガイの観察では、雌の受精嚢からは異型精子は発見されず、輸精管内に貯えられている間、正型精子への栄養補給の役割を果たしている可能性が考えられた。

一方、タマキビガイ科やアクキガイ科、エゾバイ科の中には、輸精管内に free cell をもつものがある。タマキビガイ科の free cell は輸精管内で正型精子への栄養補給の役割を果たす栄養細胞の一種と考えられる。しかし、この細胞の由来や、タマキビガイ科以外の free cell の役割については不明である。異型精子の機能の問題と関連して、free cell の存在は大変興味深い。

前鰓亜綱における、正型精子の受精様式や系統を反映した形態の違いや、体内受精を行う多くの種で見られる精子二型現象、特に分類群ごとに特徴のある形態を示す異型精子は、大変興味のある観察材料である。また、異型精子や free cell の存在は、正型精子の形成から受精に至るまでの過程で、重要な役割を果たしている可能性がある。潮間帯の岩礁で普通に見られる巻貝の精子にも、進化や生殖の問題を解明する手懸りが含まれている。海に恵まれた我が国では、多くの海岸動物を観察することができる。飼育された生物ばかりでなく、眼を向ける機会の少ない海産の巻貝も、自然

を理解するための優れた教材であらう。

引用文献

- Ankel, W. E. (1930) Die atypische Spermatogenese von *Janthina*. (Prosobranchia, Ptenoglossa). Z. Zellforsch., 11 : 491–608.
- Baccetti, B. (ed.) (1970) Comparative Spermatology. 573 pp. Academic Press, New York.
- Baccetti, B. and Afzelius, B. A. (1976) The Biology of the Sperm Cell. 254 pp. S. Karger, Basel.
- Franén, A. (1977) Sperm structure with regard to fertilization biology and phylogenetics. Verh. Dtsch. Zool. Ges., 1977 : 123–138.
- Giusti, F. and Selmi, M. G. (1982) The atypical sperm in the prosobranch molluscs. Malacologia, 22 : 171–181.
- Graham A. (1954) Some observations on the reproductive tract of *Janthina janthina* (L.). Proc. Malacol. Soc. London, 31 : 1–6.
- Healy, J. M. (1983) Ultrastructure of euspermatozoa of cerithiacean gastropods (Prosobranchia : Mesogastropoda). J. Morph., 178 : 57–75.
- 小池啓一 (1980) 生きた精子の簡単な観察法—カワニナの精子—。生物教育, 21 : 16–19.
- Koike, K. (1985) Comparative ultrastructural studies on the spermatozoa of the Prosobranchia (Mollusca : Gastropoda). Sci. Rep. Fac. Educ. Gunma Univ., 34 : 33–153.
- Koike, K. and Nishiwaki, S. (1980) The ultrastructure of dimorphic spermatozoa in two species of the Strombidae. Venus, Jap. J. Malacology, 38 : 259–275.
- 小池啓一・篠原敦子 (1984) 潮間帯岩礁にすむ巻貝の精子。1. 原始腹足目（軟体動物門腹足綱前鰓亜綱）。群馬大学教育学部紀要, 自然科学編, 33 : 93–103.
- Kuschakewitsch, S. (1911) Über die Entwicklung der Spermien bei *Conus mediterraneus* Brug. und *Vermetus gigas* Biv. Biol. Zbl., 31 : 530–537.
- Melone, G., Donin, C. L. L. and Cotelli, F. (1980) The paraspermatic cell (atypical spermatozoon) of Prosobranchia : a comparative ultrastructural study. Acta Zool. (Stockh.), 61 : 194–201.
- Nishiwaki, S. (1964) Phylogenetical study on the type of the dimorphic spermatozoa in Prosobranchia. Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. B., 11 : 237–275.
- Scheuwimmer, A. (1979) Sperm transfer in the sessil gastropod *Serpulorbis* (Prosobranchia : Vermetidae). Mar. Ecol., 1 : 65–70.
- Scheuwimmer, A. and Nishiwaki, S. (1982) Comparative studies on three Japanese species of *Serpulorbis* (Prosobranchia : Vermetidae) with description of a new species. Venus, Jap. J. Malacology, 41 : 85–101.
- Tochimoto, T. (1967) Comparative histochemical study on the dimorphic spermatozoa of the Prosobranchia with special reference to polysaccharides. Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. B., 13 : 75–109.
- Wilson, D. P. and Wilson, M. A. (1956) A contribution to the biology of *Janthina janthina* (L.). J. Mar. Biol. Ass. U. K., 35 : 291–305.
- Yasuzumi, G. (1964) Spermatogenesis in animals as revealed by electron microscopy. X. The fine structure and function of endoplasmic reticulum and of peculiar bodies appearing in atypical maturing spermatids and nutritive cells of *Cipangopaludina malleata* Reeve. Am. J. Anat., 115 : 431–472.