

二属の繊毛虫, *Carchesium* sp. と *Zoothamnium* sp., の 柄部の微細構造

松 野 燐
島根大学理学部生物学教室
(1978・9・6 受理)

Ultrastructural Observation on the Stalks in the Two Species of Ciliates, *Carchesium* sp. and *Zoothamnium* sp.

Akira MATSUNO

Department of Biology, Shimane University, Matsue, Japan

ABSTRACT

The structures on the stalks in two species of ciliates, *Carchesium* sp. and *Zoothamnium* sp., were examined comparatively by an electron microscope. The myonemes, contractile structures in the stalks, are composed of many thin filaments. The diameter of the filament is same in both species. The myoneme is invariably placed asymmetrically with the stalk in *Carchesium* sp., while in *Zoothamnium* sp. it is placed centrally. On arrangements of endoplasmic reticulum (E.R.), there are some differences in the two species; in *Carchesium*, E.R. distribute homogenously within the myoneme, while in *Zoothamnium* they arrange with some regular districts. The arrangements of stiffeners, supporting organelles within the stalks, are characteristic in the two species. In *Carchesium* they are composed of fibers, each fiber is measured about 0.15 μm in diameter and 12 μm in length, and arrange helically, while in *Zoothamnium* they are composed of annular tubes, 0.2 μm in diameter, and distribute disorderly around the stalk sheath. So, the result of contraction is to throw the stalk into a helix in *Carchesium* and into a S-shape in *Zoothamnium*.

繊毛虫のうち柄をもっているものは光学顕微鏡下で観察すると多様な運動をしている。とくに *Carchesium* や *Vorticella* は虫体部の収縮のみならず、長い柄部をコイル状に巻くことによって運動を行なっている。このような柄部の収縮はマイオネームと呼ばれる収縮性繊維の束によって起きることは従来から知られている。しかし単なるマイオネームの収縮によって柄部が規則正しいコイル状に収縮するとは考えられず、何らかの構造物の存在が予想される。この構造物については、Amos (1972) が *Vorticella* と *Carchesium* の柄部の鞘の部分に Stiffening fiber という構造が見られることを報告している。

同じ繊毛虫である *Zoothamnium* では柄部が蛇行状に収縮することによって運動しているのが観察される。この場合も *Carchesium* と同じように柄部の鞘の部分に柄部の収縮を規制する、支持的な働きを持つ小器官が存在し、そのために柄部が蛇行状に収縮することが考え

られる。この構造については著者(1976)が鞘の部分に Annular tube という小管を観察し、蛇行状を示す柄部の収縮との関係について若干の考察を行なった。しかし改めて *Carchesium* と *Zoothamnium* の両者の柄部を観察し、比較することによって柄部の収縮様式と支持体との関係がより一層明らかになったので、考察を加えて報告する。

材料と方法

材料の *Carchesium* sp. は当大学構内の池から採集し、0.2%の稲ワラの浸出液で数日培養したものを用い、*Zoothamnium* sp. は宍道湖の汽水域から得たものを0.2%の稲ワラ浸出液を含む汽水で培養したものを用いた。材料はいずれも野外の群体から分離・再生し、生長したもので1群体に30~50個体が含まれる大きさのものである。このような大きな群体を選び電子顕微鏡の観察に使用した。

電顕のための方法はごく普通の方法を用いた。すなわち2.5%グルタルアルデヒド、0.1 M カコデル酸ソーダ緩衝液(pH=7.4)を含む固定液で90分間前固定し、同じ緩衝液で30分間洗浄したのち、1%オスミウム酸、0.1 M カコデル酸ソーダ緩衝液(pH=7.4)、0.2 M ショ糖を含む固定液で2時間、後固定した。固定・洗浄はいずれも水上で行なった。脱水にはエタノールを使用し、70、80%までは水上で、以後室温で90、100%エタノールに通し、プロピレンオキサイドを置換剤としてエポキシ樹脂に包埋した。包埋した材料はガラスナイフで切片とし、ホルムバル膜を張ったグリッドメッシュに載せ酢酸ウラニルの飽和水溶液と、Reynold's の処方によるクエン酸鉛の2重染色を施した。これらの切片は日立社製の Hitachi HU-12 型電子顕微鏡で観察し、直接倍率2000~20000倍で写真撮影した。

結果と考察

Carchesium sp. の柄部の横断面は楕円形に近く、マイオネームは細胞質、ミトコンドリア等と一緒に細胞膜に包まれて柄部の片側に認められる。マイオネームの反対側の位置には太い Stiffening fiber の横断面が数本規則正しい間隔で一列に並んでいる (Fig. 1)。一方、*Zoothamnium* sp. のマイオネームは柄部のほぼ中央に位置している。もちろんマイオネームは *Carchesium* sp. のマイオネームと同様に細胞質等とともに膜に包まれているが、この細胞膜は非常に厚いプラズマレンマの形になっている。鞘の部分には小管の形をした Annular tube がおよそ150本全面にわたって観察され、その分布は周縁部で密であり、マイオネームに近い中央部が疎になっている (Fig. 2)。

柄部の縦断面で観察するとこれらのマイオネームと支持体との関係は一層明らかとなる。*Carchesium* sp. では Stiffening fiber が相互に、あるいは鞘の外膜と細かい繊維で結びつけられているために、この部分が物理的にかなり強くなっているように思われる。このような形態を示す部分は鞘の周縁部をラ線状に柄の全長にわたり分布している。収縮状態にあると思われる柄部の縦断面 Fig. 3 には、Stiffening fiber の存在する側の鞘膜にも細胞膜にも大きな陥入は認められないのに対して、その反対側の膜はいずれも大きく陥入しているのが観

察される。このことはマイオネームによる収縮が柄部を収縮させる時点で、鞘にある Stiffening fiber の例の反対方向に柄を曲げるような力として働くことを示している。*Zoothamnium* sp. ではプラズマレンマに全面的に細かいしわが多数見られるが特別な陥入は観察されない。マイオネームは細胞質の中でいくぶん片寄っているように見える (Fig. 4)。

支持体の構造をくわしく観察すると *Carchesium* sp. の Stiffening fiber は長さおよそ 12 μm で直径は 0.15 μm であるが、その内部は直径 18nm の細かい繊維が多数集積して形成されているように見える。これらの細かい繊維は互いにゆるい結合をしているため、他の Stiffening fiber の細かい繊維と結合したり、あるいは鞘膜と結合した構造を示す (Fig. 5)。*Zoothamnium* sp. の Annular tube は直径が 0.2 μm で長さは柄部の全長にほぼ等しいものと思われる。この小管には 53nm の明瞭な規則正しい横縞が見られる (Fig. 6)。またこの小管の附近にも、*Carchesium* sp. の Stiffening fiber の場合と同じように、細かい繊維が見られて小管と小管あるいは小管と鞘膜とを結びつける構造が見られる部分がある。これらの細かい繊維の分布は鞘の部分全体に一樣ではなく特に密に分布する部分は周縁部の一部にすぎない。この部分は *Carchesium* sp. の Stiffening fiber の存在する部分と同様にかんがりの固さを保つことができると考えられる。

一方柄部のマイオネームについても若干の差異が認められる。*Carchesium* sp., *Zoothamnium* sp. とも柄部のマイオネームを形成している細繊維はいずれも 5nm の直径を持つが、これらの細繊維に伴っている小胞体の分布密度と分布形式がかなり異っている。*Carchesium* sp. においてはマイオネーム中の小管状小胞体 (t-E. R) はかなり多数存在し、マイオネームの方向と平行に一定間隔で分布している。したがって 1 t-E. R あたりの細繊維の数は多くない (Fig. 7)。しかし *Zoothamnium* sp. のマイオネーム中に見られる t-E. R はマイオネームの方向と平行に走っているが、その横断面で見ると分布様式が *Carchesium* sp. のものとは異っている。すなわち多量の細繊維束をいくつかの t-E. R が並んでとり囲むように分布している。そのため 1 t-E. R あたりの細繊維の量は *Carchesium* sp. にくらべて多い (Fig. 8)。

マイオネームを形成する細繊維は前述のように *Carchesium* sp., *Zoothamnium* sp. のいずれも同じような直径のものである。*Carchesium* sp. のマイオネームを強拡大にして観察すると、細繊維はおよそ 4-6nm の直径を示し、マイオネームの方向と平行に走っている。これらの細繊維束の間隙には t-E. R が同じように平行に並んで分布している。細繊維を互いに結びつけるための特別な構造は見られず、細繊維の全長は明らかではない。また細繊維はただ 1 種類のみで太い直径を持つものは認められない (Fig. 9)。

以上の結果から *Carchesium* sp. と *Zoothamnium* sp. の柄部のマイオネームは両者とも直径およそ 5nm の細繊維を含んでいることが示された。このサイズは平滑筋のアクチンフィラメントや *Stentor* (Bannister and Tatchell 1968, Huang and Pitelka 1973) に含まれる細繊維よりもいくぶん細いように思われる。しかし *Carchesium* についての他の研究者の報告 (Amos 1972, 1975) と一致しており、他の纖毛虫 *Vorticella* (柳生・重中 1960, Allen 1973, Kawamura 1973), *Zoothamnium* (Matsuno 1976) の細繊維サイズと等しい。またこれらの細繊維束の間隙に存在する t-E. R の動きについては、少なくとも *Vorticella* については Ca^{++} プールであろうという想像がなされ (Carasso and Favard 1966, Allen 1973), 著者も *Car-*

chesium, *Zoothamnium* の t-E. R. について同様な働きがあると考えられる。t-E. R. の分布様式と分布密度が *Carchesium* sp. の方が秩序だっていたことは、あるいは *Carchesium* の方が *Zoothamnium* よりも能率のよい収縮をすることができるのではないかという考えの根拠となる。この意味で *Carchesium* の方がより発達したマイオネームを持っているといえるだろう。しかしながら前述のマイオネームの相違が両者の柄部全体の収縮様式の相違を引き起こすとは考えられない。他の構造物について観察比較すると、大きな差異が鞘の部分に見られる支持体、すなわち *Carchesium* sp. では Stiffening fiber であり *Zoothamnium* sp. では、Annular tube、に認められた。これらの支持体の構造と柄部の収縮方法とを結びつけて考えると、まず *Carchesium* sp. では柄部の軸に対して平行に並んだ Stiffening fiber が鞘の周縁を少しづつ上下方向にずれながらコイル状に分布しているため鞘には固い部分がゆるやかなコイル状に分布することになる。このためにマイオネームの収縮によって柄部は固い部分と反対側、すなわち Stiffening fiber のない方向に曲げられ、全体としてコイル状に巻くことになる。これに対して *Zoothamnium* sp. では Annular tube による鞘の固い部分はかなり不規則であるため全体として蛇行状の形に柄部が収縮すると考えられる。もちろん、光学顕微鏡で観察すると *Zoothamnium* sp. の柄部はいつも同じ所が同じような角度で曲がるということが観察される。

したがってここで扱った2種類の繊毛虫 (*Carchesium* sp. と *Zoothamnium* sp.) の両者の柄部は基本的にはマイオネームによる収縮という共通点を持っているが、鞘の部分の支持体の形態により収縮様式が大いに異なることが明らかとなった。

参 考 文 献

- ALLEN, D. R. (1973). Structures Linking the Myonemes, Endoplasmic Reticulum, and Surface Membranes in the Contractile Ciliate *Vorticella*. J. Cell Biol., 56: 559-579.
- AMOS, W. B. (1972). Structure and Coiling of the Stalk in the Peritrich Ciliates *Vorticella* and *Carchesium*. J. Cell Sci., 10: 95-122.
- AMOS, W. B. (1975). Contraction and Calcium Binding in the Vorticellid Ciliates. Molecules and Coll Movement, ed. by S. INOUE and R. E. STEPHENS, Raven Press, New York, pp. 411-436.
- BANNISTER, L. H. and TATCHELL, E. C. (1968). Contractility and the Fibre Systems of *Stentor coeruleus*. J. Cell Sci., 3: 295-308.
- CARASSO, N. and FAVARD, P. (1966). Mise en Evidence du Calcium dans les Myonemes Pedonculaires de Cilies Peritriches. J. Microscopie, 5: 759-770.
- HUANG, B. and PITELKA, D. R. (1973). The Contractile Process in the Ciliate, *Stentor coeruleus*. J. Cell Biol., 57: 704-728.
- KAWAMURA, R. (1973). The Ciliary and Fibrillar Systems of the Ciliate *Vorticella*. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B. Div. 1, 24: 183-203.
- MATSUNO, A. (1976). Electron Microscopy on the Myoneme of the Ciliate, *Zoothamnium* sp. Mem. Fac. Lit. Sci. Shimane Univ., Nat. Sci., 10: 77-84.
- 柳生亮三・重中義信 (1960). 原生動物繊毛虫における繊維系の電子顕微鏡的諸研究. 実験形態学誌, 14: 1-52.

Plate I

- Fig. 1. A cross section of a *Carchesium* sp. stalk. The contractile element is shown at the upper side. Stiffening fibers (S.F) are seen in a line at the lower side. $\times 6800$
- Fig. 2. A cross section of a *Zoothamnium* sp. stalk. The myoneme (M) is situated in the center. Annular tubes (A.T) distribute densely at the periphery and sparsely in the center. $\times 4900$
- Fig. 3. A longitudinal section of *Carchesium* sp. stalk. The sheath membrane (S.M) and the plasma membrane (P.M) are shown membranous invaginations in a stiffening fiber side. $\times 10000$
- Fig. 4. A longitudinal section of *Zoothamnium* sp. stalk. The plasmalemma (Pl) is inverged slightly and evenly at the both sides of a myoneme. $\times 12500$

Plate II

- Fig. 5. A longitudinal section of the stiffening fibers. Many thin filaments converge into a stiffening fiber and combine with each other or with a sheath membrane (arrow). $\times 22000$
- Fig. 6. A longitudinal section of the annular tubes. The regular striped pattern is seen on the tube (arrow). Thin filaments in the sheath (Sh) connecte annular tubes or a sheath membrane. $\times 17500$
- Fig. 7. A cross section of a *Carchesium* sp. myoneme. Many tubular E.R(t-E.R) are distributed evenly among myofilaments. $\times 11500$
- Fig. 8. A cross section of a *Zoothamnium* sp. myoneme. Some blocks of myonemal bundles are seen surrounded by several tubular E.R(t-E.R). $\times 16500$
- Fig. 9. An enlarged view of a *Carchesium* sp. stalk in a longitudinal section. Tubular E.R(t-E.R) include electron dense deposits in its cavity. $\times 28500$
- A.T; annular tube, M; myoneme, Pl; plasmalemma, P.M; plasma membrane, S.F; stiffening fiber, S.M; sheath membrane, Sh; sheath, t-E.R; tubular E.R

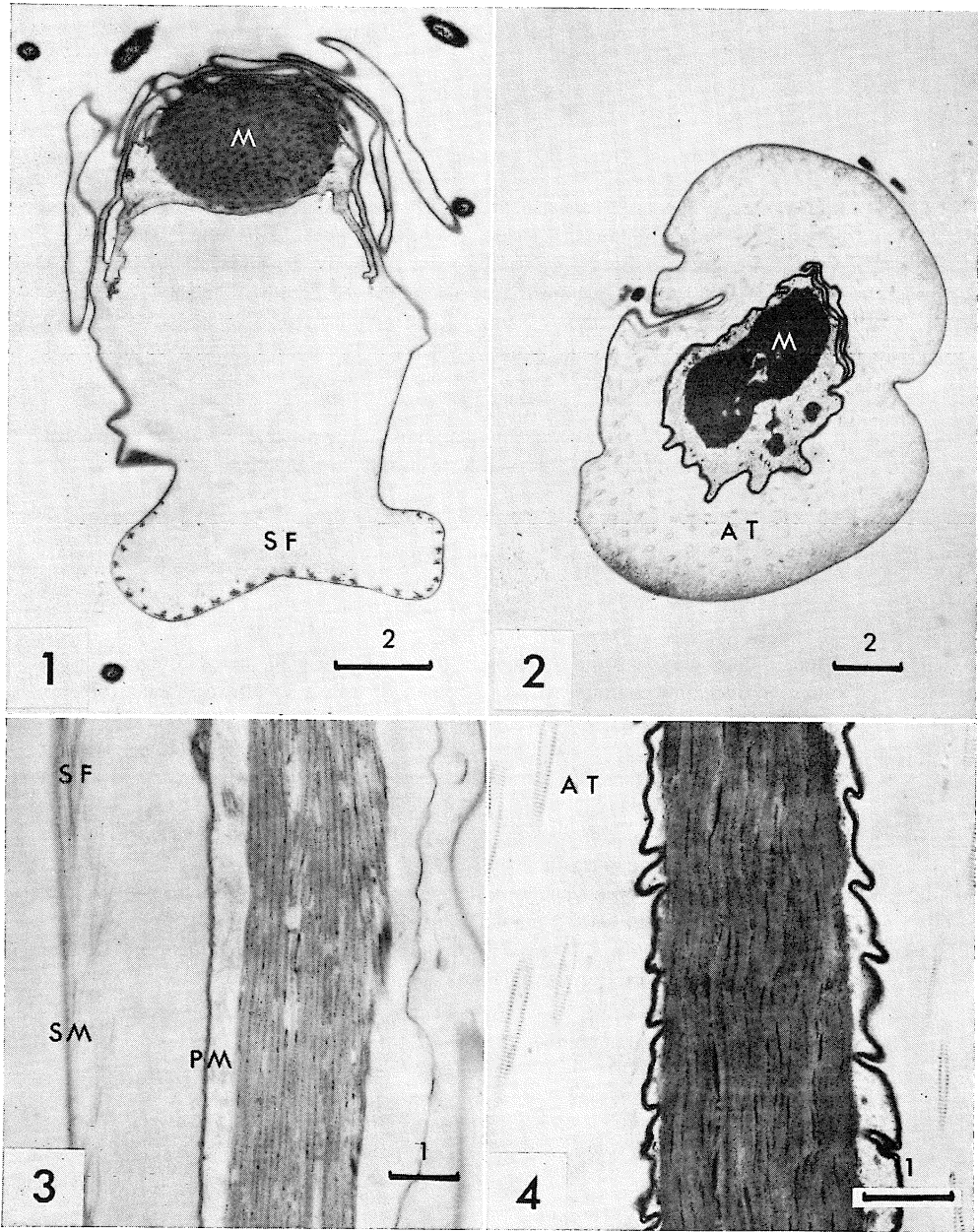


Plate I

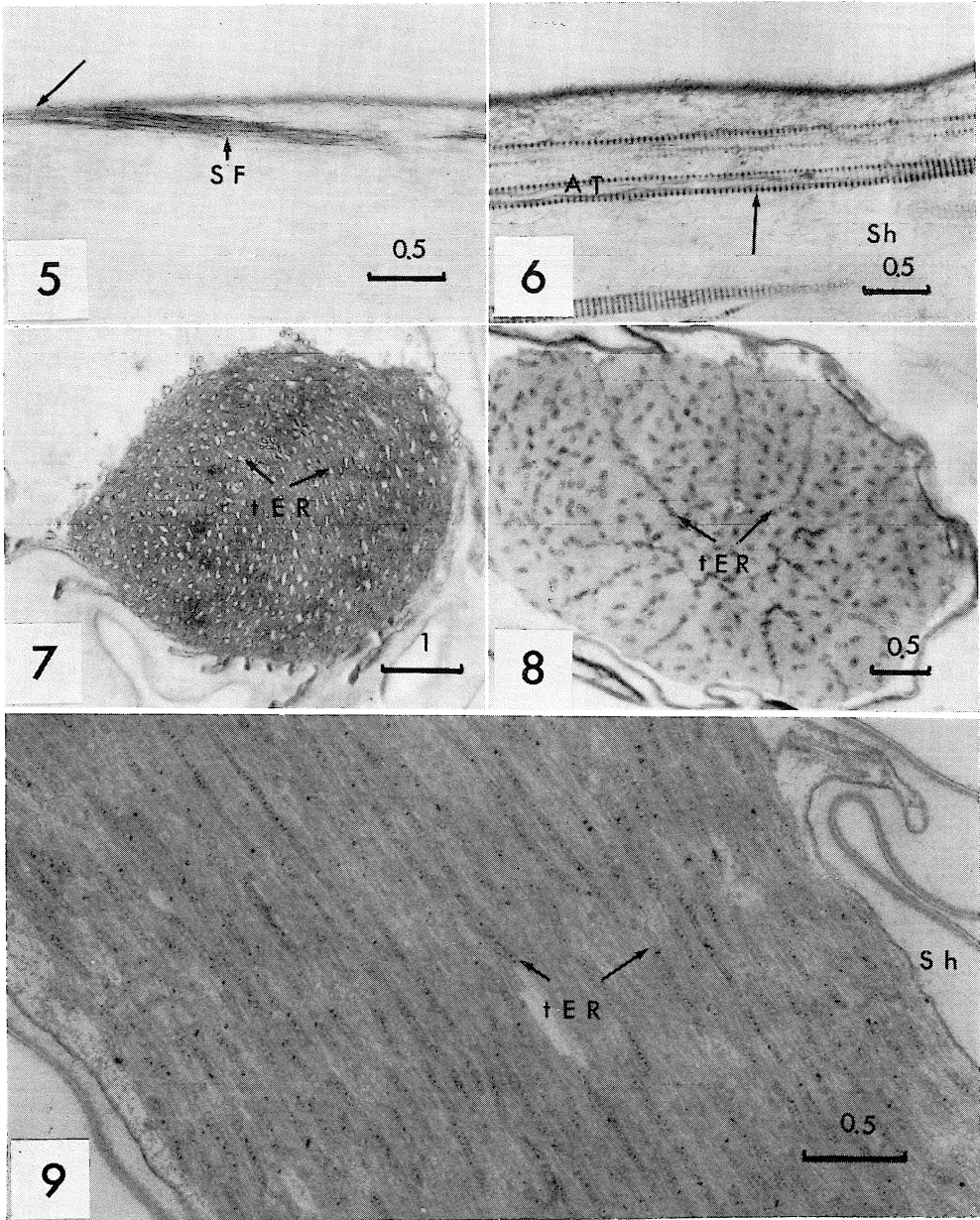


Plate II