

動物学雑誌 ZOOLOGICAL MAGAZINE 73: 70—77. (1964)

纖毛虫 *Condylostoma* sp. の飢餓状態における形態学的観察

I. 光学顕微鏡的観察

河 村 凉 子

広島市 広島大学理学部動物学教室

昭和 38 年 10 月 28 日 受領

筆者は広島湾において新たに発見された纖毛虫 *Condylostoma* sp. (広兼修氏により発見され、新種として公表中) を用いて、その飢餓状態、特に大核を中心とした細胞学的变化を光学顕微鏡ならびに電子顕微鏡により追究した。一般に原生動物を飢餓状態におくと包囊を作るのが常である。従って包囊形成についての報告はきわめて多い。しかし、飢餓状態の観察はゾウリムシを主として細胞学的变化を追究した Wallengren (1902), Dunihue (1931), Enriques (1909), Lipska (1910a, 1910b), Jones (1933) らの観察報告のほかにはほとんどない。この纖毛虫はゾウリムシよりはるかに大きく、飢餓における細胞質の変化を追究するのに好適であるほか、大核が分裂期や生理的再構成期に規則正しく形状を変えるため、飢餓状態におかれた虫がこれらの時期にどのような核相の変化をするかを追究するのも最適な材料である。筆者は観察の結果、この虫の飢餓状態における種々な細胞学上の新事実を見出した。本稿では、光学顕微鏡で観察した核相変化の過程を主として報告する。

材料および方法

Condylostoma sp. は広島湾の汽水溝から採集され、実験室でワラの浸出液と van't Hoff の人工海水を 1:2 の容量比で混合し、pH 7.4—7.8 に調整し、それに小麦粒 2—4 個を加えたものの中で培養した。虫は新しく作られた培養液中に移して 1—2 週間後に最良の生活条件となり、分裂率が高まって平均 2 日に 1 回となる。本実験に用いたものは、移植後 8 日目のもので、それを飢餓状態におくために、蒸留水と van't Hoff の人工海水を 1:2 の容量比で混合し、pH 7.4—7.8 に調整した人工汽水塩類溶液中に移し、20°C で放置した。なお、移植前に上記の溶液中で弱く遠心沈殿して 5—6 回洗った。また細菌の繁殖を防ぐために、2 日ごとに溶液をとりかえた。虫は内径 12 cm のシャーレ中に約 500

匹入れ、24 時間おきに双眼顕微鏡下で大核の状態と虫の外形の変化を観察し、一部の虫を取り上げ検鏡した。生体の観察の他にアセトカーミン染色、Schaudinn 氏液で固定しハイデンハイイン・ヘマトキシリソ染色、さらにフォイルゲン反応で、毎回 10 匹ずつについてそれらの大核の状態の変化を観察した。

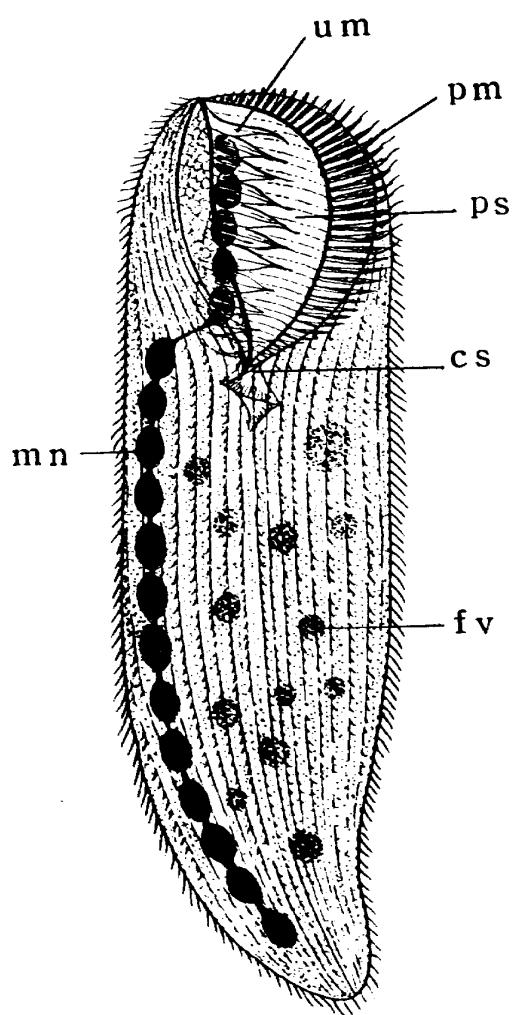
観 察

飢餓実験に入る前に、まず核の休止期(分裂間期)にある虫の一般形態を述べる。体長は 610 μ 前後、細長い円筒形で、いくぶん背腹に扁平、前端は幅広く丸味をおび後端は細まる。体の前方には基部に口を囲んだ団口部がありその右縁には一枚の大きな波動膜が張られ、右縁ならびに前縁は横に纖毛列が櫛形に並んだ口前膜で縁取られている。纖毛は団口部以外にも全身一様に生じている。休止期の大核では 15—23 個の精円体の小球体が細いひも状部分でつながり、小球体総数の約 1/4 は団口部に、他は胴部に配列するのが常である。団口部にあるものは、胴部の列からいくらくかずれて左側に一群を作り並び、しかも背面に近く位置する。食胞は常に数個存在し、収縮胞に相当するものは見られないが、生活条件の変化に従って、かなり大きい空胞が出現したり消失したりする(第 1, 4 図)。

飢餓実験の結果

虫の飢餓実験に入るためには、現在虫が変化しつつある生活環のどの時期にあるかをきめて取りかかる必要がある。この虫は生活条件が良好なら、飽食して大形となり分裂をくり返すのが常である。しかし、容器中で分裂が余りにひんぱんにくり返えされたり、切断手術などによる障害があった時には生理的再構成 (physiological reorganization) を行なう。分裂と生理的再構成とで大核の示す変化過程の

共通の点は、まず、直線的に配列するじゅず状の小球体列に彎曲が起り、接近し合って互いにゆ着し、長いひも状となり、さらに一個の大きな球または橢円体に凝集することである。その後、棍棒状に伸びるがそれからは分裂の場合と生理的再構成の場合とで違いが生じる。前者では細胞体の中央を横切

第1図 *Condylostoma* sp. の腹面図

cs: 細胞口 fv: 食胞 mn: 大核小球体
pm: 口前膜 ps: 囲口部 um: 波動膜

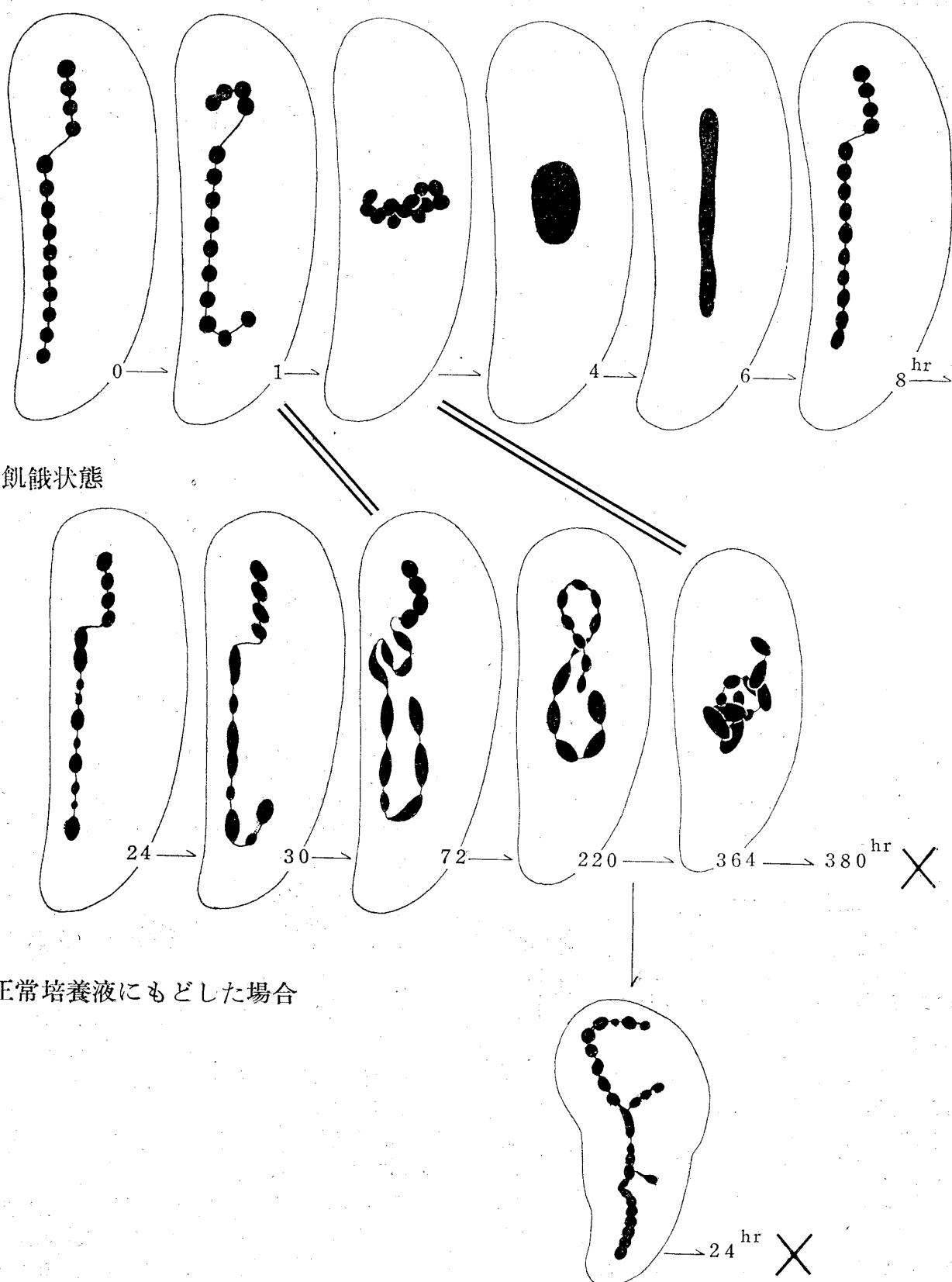
て現われる分裂面で棍棒状の核は2分し、そのおののに小球体の数だけくびれを生じて分裂した2匹の娘虫のそれぞれの核となる(第2図)。しかし後者の場合には棍棒状の核はそのまま正常の虫の小球体の数だけにくびれ、結局、1匹の普通の虫にもどる(第3図)。生理的再構成の意義について、ここで詳しく述べるのは本意ではないが、生活力の衰えた虫が古い核の混ぜ合わせを行って生活力を回復する

ものと解される。以上述べた両者の場合の核の変化過程は、18–22°Cで、せいぜい約8時間で完了する。筆者は上述のような複雑な核変化をたどる分裂や生理的再構成の核変化の途上の虫を用いるのを避けて、ここでは、まず、分裂間期すなわち分裂を終えて次回の分裂を待期しつつある長い生活期中の虫を実験材料に選んだ。その結果、分裂間期の初期のものは、いずれも栄養条件の悪化が原因となって生理的再構成に相当する核変化をたどることがわかつたが、分裂間期の後期のもののうちで、形は大きく成長しているが、分裂を行なうまでにはなおかなりの食物を摂取する必要のある虫では、分裂に相当する核変化をたどることがわかった。なお、筆者が分裂直前の虫を用いるのを避けたのは、この時期で本来の囲口部の一部は溶けその下方に将来新郎体になるための新しい口器の原基が出現し、この期を境として食物の摂取が中止されるからで、この時期の虫を飢餓状態おくのは無意味と考えられたからである。

a. 分裂間期のもの

人工汽水塩類溶液に移してから24時間後に、大核の形態上の変化が現われ始め、胴部に隣りあって並ぶ2個の小球体間にゆ着がしばしば起こる(第8図)。その結果、長い紡錘形のものが所々にでき、フォイルゲン反応でその一端が陰性を示す場合が多い(第9図)。これは核質が互いに寄り合う途上の現象と考えられる。他方上記の紡錘体のゆ着も見られるようになり(第10図)、72–96時間頃にはこの現象が最も著しく、この頃、後尾にある1–3個の紡錘体が体の中心方向に折れ曲がって上がり始める。同時に胴部の先端にある数個のものも体の中心に向かって曲がるのが見られる(第5図)。また、220時間後には囲口部にある一群の大核小球体は一時ゆ着するが(第11図)、間もなく不規則な分裂を行なって、本来の数よりも多い小球体群を作り、その先端部は伸びて体の中心部に折れ曲がり始める(第12図)。364時間後には、ゆ着の結果、数の減少を来たした大核の小球体が中心部で不規則にからみ合のが見られる(第7図)。核の変化はこの状態より進まず、380時間後には死滅する。以上の変化は生理的再構成に似た核変化の過程の終了を見るには至らなくその途上までをたどったものと考えられる。以

生理的再構成

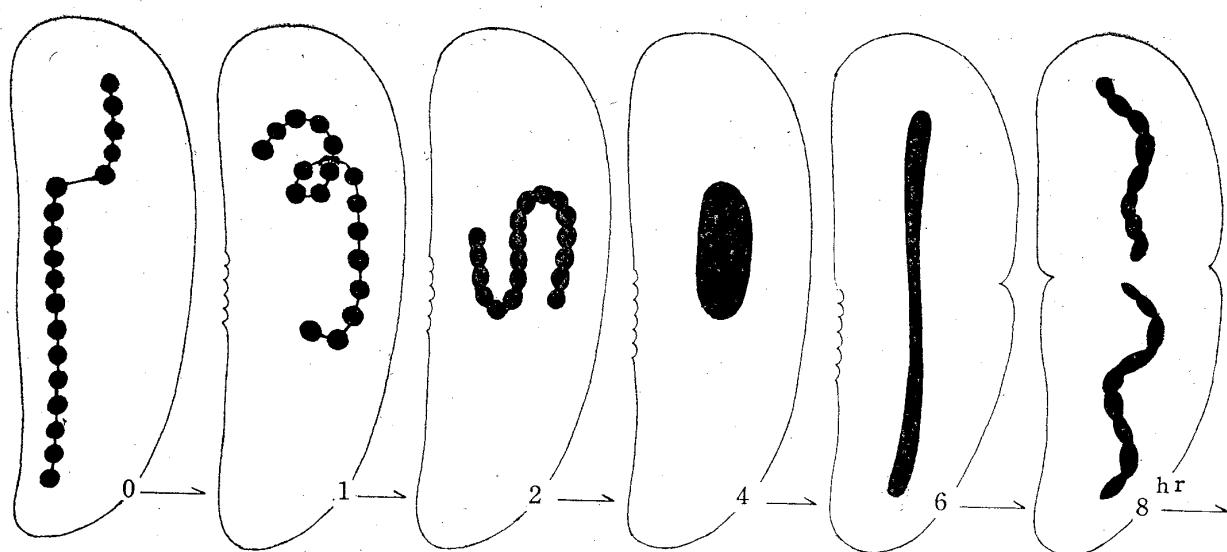


第2図 分裂間期の前期のものの餓餓状態において示す生理的再構成に似た核変化過程

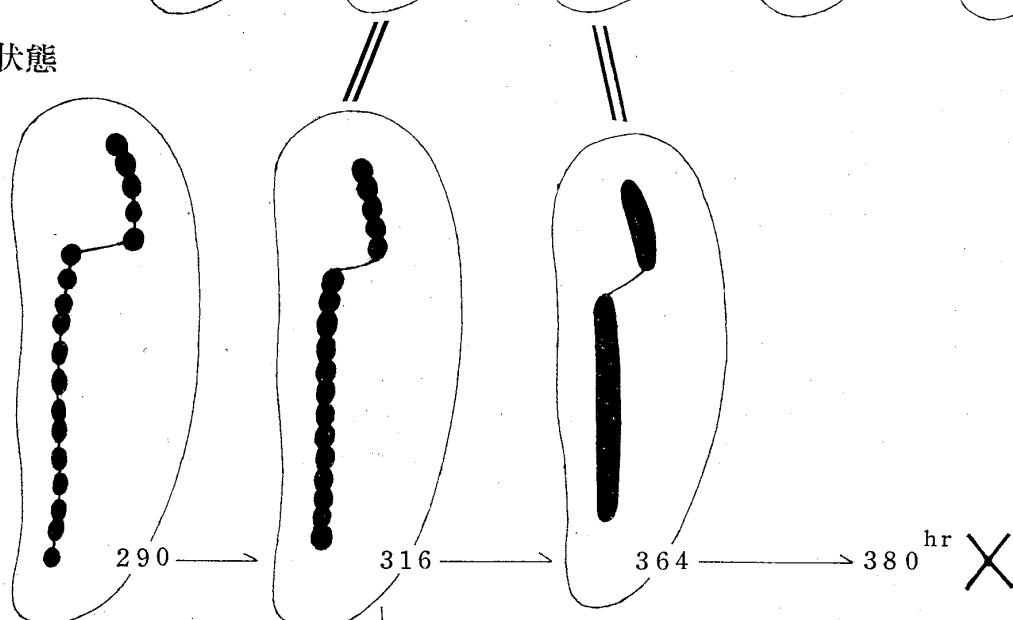
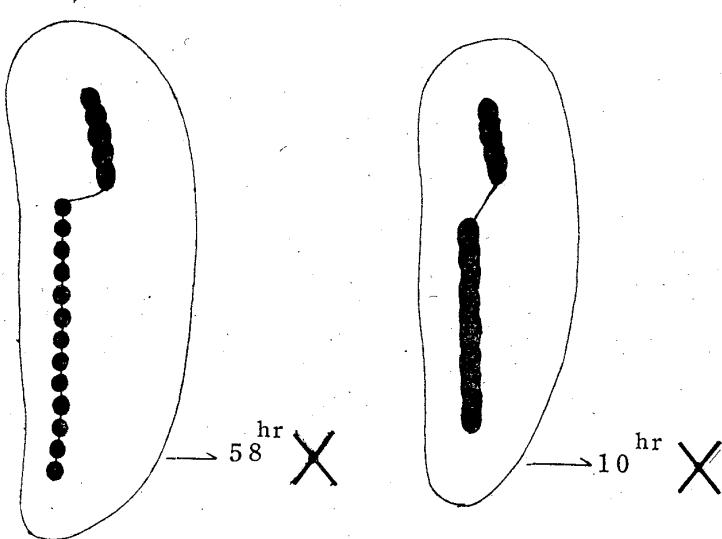
纖毛虫 *Condylostoma* sp. の飢餓状態における形態

73

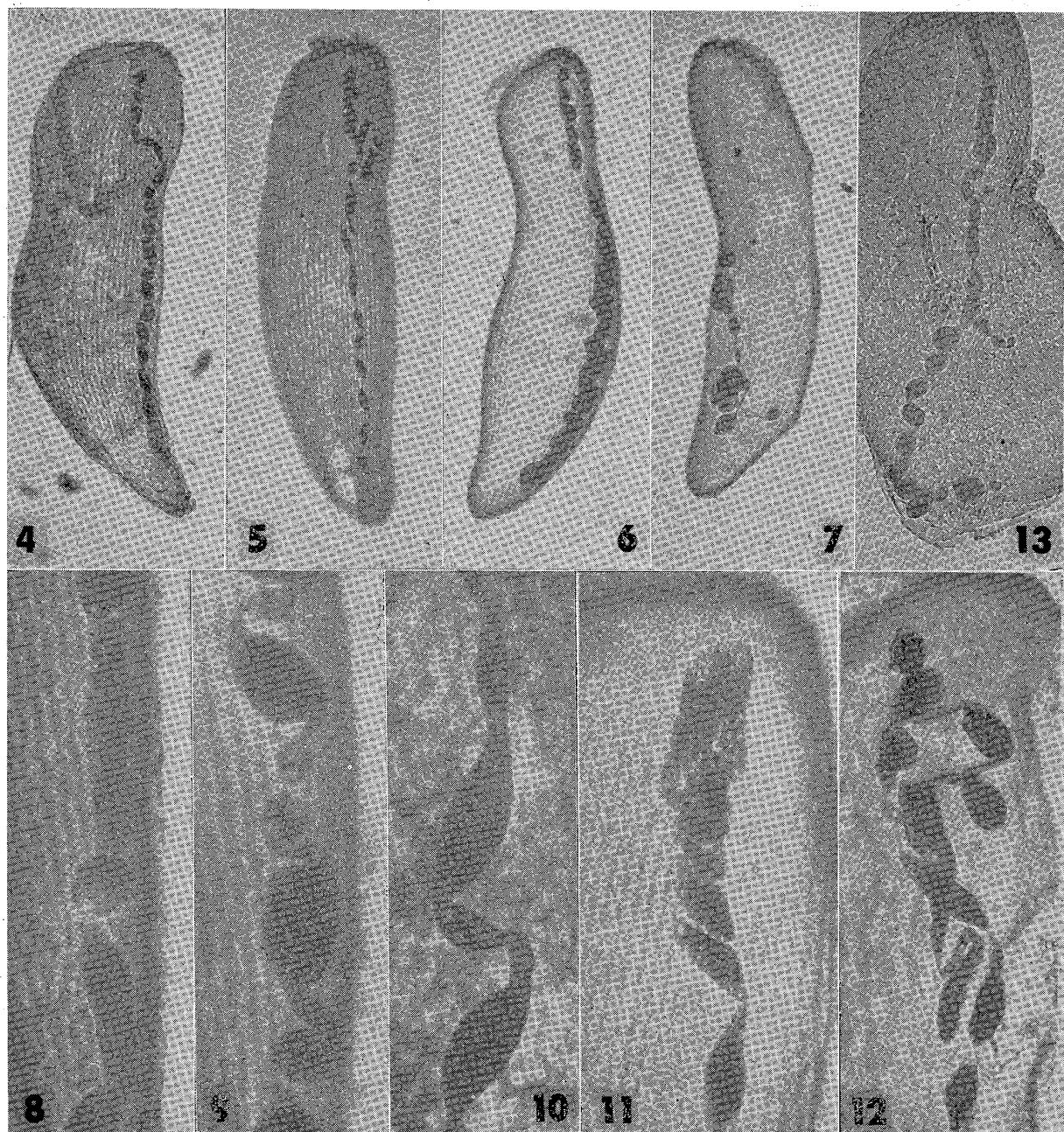
分裂



飢餓状態

正常培養液に
もどした場合

第3図 分裂間期の後期のものの飢餓状態において示す分裂に似た核変化過程



第4図 分裂間期

第5—13図は飢餓状態の核変化を示す

第5図：前方の胴部小球体群列の乱れが認められる。第6図：団口部ならびに胴部の小球がおののおの群列でゆ合し始める。第7図：不規則な配置を示しながら虫の中央部で凝集する直前の小球体群。第8図：2個の小球体間のゆ合を示す。第9図：小球体の一部にフォイルゲン反応陰性を呈する部分が出現する。第10図：それらのゆ合の結果、一端にフォイルゲン反応の陰性を示す小球体からなる長い紡錘体列が生じる。第11図：団口部の小球体群のゆ合を示す。第12図：一時ゆ合した団口部の小球体群の再分裂と後方への移行を示す。第13図：正常培養液にもどした際における核の分枝を示す。

上の核変化を正常の生理的再構成が開始してから終わるまでの約8時間にわたる各時間と比較した場合、小球体の彎曲がおこる1時間半位の状態のもの

に達するのに飢餓状態においては実際に72時間を要し、減数した小球体が体の中心部に集合する4時間位の状態のものに達するのに、364時間も要するこ

織毛虫 *Condylostoma* sp. の飢餓状態における形態

75

とがわかった。なお、380時間経過しても大核の凝集はみられずに死滅する。自然環境にある場合に比べて、飢餓によっておこる生理的再構成の核変化が以上のような長時間を必要とするることは特異なことである。次に筆者は上述の時間の時期のものよりも、いくぶん小球体群が中心へ移行した状態の245時間経過のものを栄養培養液にもどしてみた。虫は小麦粒の破碎顆粒を盛んに取り込んで、体内に食胞が充満したが、24時間後には大形の空胞が多数出現し、虫体は異状な形を呈しながら死んだ。結局、栄養培養液にもどしたことはかえって死を早めた結果に終った。死後直ちに大核の状態を検したが、屈曲のある小球体列の所々には、2-3個の小球体からできた分枝がみられた(第13図)。正常の栄養培養液にもどす実験は、ただこの一例にすぎず、飢餓におかれられた場合に示された生理的再構成において、どの程度の核変化を示すものが生存し、正規の生理的再構成を完遂するかは、今後改めて実験を試みる必要がある。

b. 分裂期前のもの

核の変化は長時間にわたって認められず、290時間経過して初めて胴部に隣りあって並ぶ2個の小球体間のゆがみが見られる程度である。しかし、それ以後から正常の分裂と違って、囲口部に並ぶ小球体群と胴部に並ぶ小球体群とは、わずかに細いひも状構造を境に、それぞれ別行動をとる。すなわち、316時間経過したものでは、囲口部と胴部の小球体群は前後に別個に凝着しあって、ひも状の核で連絡されているのが見られる(第6図)。これら凝着しあってできた凹凸のある小球体列は長短2本の棒状体を示すようになり細いひも状の構造で連絡されている。その後の生存は困難で380時間後には死滅する。以上の核変化の過程を、正常の核分裂のそれと比較した場合、囲口部と胴部の小球体列が別行動をとる点を一応度外視して考えると、正常の分裂が始まってから2時間半後に相当する段階に達するには、飢餓状態においては316時間を要し、核が凝集し終る4時間後の段階に達するのには、実に364時間も要することがわかった。この実験においても分裂間期の場合と同様に核変化の過程に異常な長時間を要することがわかる。筆者は上述の316時間経過の虫と364時間経過の虫とを栄養培養液にもどして

みた。316時間のものは、小麦粒顆粒を摂取して多数の食胞を作り、48時間後には胴部の小球体列だけが、13個の小球体に再びほどけるのが見られたが、囲口部の群列はそのままで、10時間生存し、結局、正常培養液にもどしてから58時間で死んだ、他方、364時間のものは、囲口部と胴部の群列はそのままくびれず、10時間後に死に、結局、これらの場合も分裂間期の際と同じく、栄養培養液にもどしたことが、かえって死を早めた結果となった。

c. 細胞質の変化

人工汽水塩類溶液に入れた場合の大核以外の一般細胞質の変化に共通して見られることは、まず12時間後に食胞が消失することである。同時に体は徐々に透明化し、120時間後には虫の活動性はいくぶん緩慢になり織毛の動きが弱くなつて、正常の前進運動のほかに、後方に向かって游ぐものが現われるようになる。360時間経過しても虫の形に特別の変化は見られないが、大きさが著しく小さくなり体長・体幅共に正常体の73%に減少する。また、体の透明度が増して大核の変化がきわめてよく観察できるようになる。生理的再構成の核変化をたどったものでは、織毛はほとんど動かなくなり囲口部の口前膜がゆるやかに波打つのが見られる程度になる。しかし、分裂の核変化をたどったものでは、なお織毛を動かして水中を移動する力が見られる。しかし、380時間後にはいずれの場合でも虫の外皮は破れ細胞質は分散して死滅する。

考 察

分裂期と生理的再構成期とで他の織毛虫には見られない複雑な核変化をたどる *Condylostoma* sp. を用いて、飢餓時における大核の変化をたどることは、甚だ困難な研究のように思われるが、他面、虫が生活環のどの時期にあるかをあらかじめ知って、実験に取りかかりうる利点があり、他の虫では観察できない現象を知ることができた。筆者は、本実験においては、分裂期や生理的再構成期を避けて、最も核の行動が安定している分裂間期のものについて飢餓実験を試みた。その結果、分裂間期の前期の虫を飢餓状態におけるば、栄養条件の悪化が原因となって、生理的再構成に相当する核変化をたどり、分裂間期の後期のものでなお分裂直前に達しない虫を用いれ

ば分裂に相当する核変化をたどることを発見した。ただ、実験の結果が正常の分裂や生理的再構成の核変化過程と違う点は、大核小球体の凝集が起る時期までしか虫は生存できず、後半の過程の完遂が見られないことであった。また両者ともに正常の核変化の各時期に要する所定の時間より、著しく多くの時間を必要とすることがわかった。すなわち、生理的再構成ならびに分裂の核変化過程中の中期、すなわち、大核の凝集期までに4時間かかる所を、飢餓状態における、実にその95倍の380時間を要し、それ以上生存できずに死滅することがわかった。これはそれぞれの過程を完遂するだけに十分の栄養が不足することに起因すると考えられる。この虫の大核を構成する小球体は、細いひも状の部分で縦に鎖状につながれる点は他の同属の種と違はないが、ただ小球体が団口部と胴部との2群の配列に分かれているのが目立つ。飢餓実験の場合の2群列の行動は生理的再構成をたどる場合には、大体規定通り進行して体の中心部に一団となって集まる傾向が見られるが、分裂の過程をたどると思われる場合には、団口部と胴部の小球体群はおのの別個に凝着して2群列を作り、細い核のひもでつながる点が違う。なお、核変化進行中のどの時期のものまでを正常培養液にもどして生存させうるかの追究は不充分であったが、分裂間期、分裂期前いずれのものでも大核小球体の凝集のおこる時期には、もはや回復する力もなく、死滅することが考えられる。また、正常培養液にもどした場合、核変化の過程にあともどりが現われ、かえって死期を早めることがわかった。分裂間期の飢餓状態のものを正常培養液にもどした場合、凝集しかけた大核小球体は、一旦ほどけて伸びるが、小球体列に分枝が生じて虫は異常な形をとることを見た。このことは、Yagi (1952) が *Condylostoma spatiostomum* を淡水処理し浸透圧で大核小球体列を乱した際にも見ており、また、Suhama (1953) も *C. spatiostomum* をアルコール処理した際の核相の諸変化中に起ることを見ている。そしていずれの場合にも、大核小球体列の異変が虫の正規の形を変えることを報告している点は、筆者の見解と一致する。人工汽水塩類溶液中に虫を入れると、細胞質中の貯蔵物質、すなわち食胞の消失がいち早く起り虫が透明になり細胞質が空胞化することは、Wallengren

(1902) のゾウリムシについての観察結果と似ているが、大核の容量の減少や繊毛の消化については、必らずしも彼と見解を共にしない。また実験中、虫の大きさがだいぶ小さくなることは同じくゾウリムシで Enriques (1909), Lipska (1910a, 1910b) らの報告にあるところで、数値の差には相異はあるが一致した見解が得られた。

要 約

繊毛虫 *Condylostoma* sp. の分裂間期のものを人工汽水塩類溶液に入れることによって飢餓状態におき、主に大核の変化を光学顕微鏡で追究した。この虫の大核はじゅず状につながる多くの小球体から成り、団口部と胴部とで2群列に分かれて配列するのが特徴であり、普通の分裂の他、栄養条件の悪化などや他の原因によって生理的再構成を行なうのが常である。筆者は分裂間期の前期のものを飢餓おくと、生理的再構成に似た核変化を起こし、また後期のもののうち、分裂を行なうまでには、なおかなりの栄養摂取を必要とするものを飢餓おくと、分裂に似た核変化が起こることを発見した。両者の場合の核変化の過程を時間的に順を追って詳しく観察した結果、共にこの虫の分裂や生理的再構成における核変化過程の中間に、すなわち大核の小球体の凝集期に到達する寸前に死滅し、正常の場合、4時間で凝集期に達する所を380時間要するなど、正常の核変化の進行に比べて驚くべき長時間を必要とすることを知るにいたった。

謝 辞

本研究を進めるにあたって終始懇切な御指導と御鞭撻を賜った広島大学柳生亮三教授にたいし深く感謝の意を評する。

文 献

- DUNIHUE, F.W. (1931) The vacuome and the neutral red reaction in *Paramaecium caudatum*. *Arch. Protistenk.* 75: 476-497.
 ENRIQUES, P. (1909) La teoria di spencer sulla divisione cellulare studiata con ricerche biometriche negli infusori. *Arch. fisiol.* 7: 113-136.

織毛虫 *Condylostoma* sp. の飢餓状態における形態

77

- JONES, E.P. (1933) Paramecium infusion histories : III. population and size changes within a pure line. *Univ. Pitt.* 29 : 1-8.
- LIPSKA, I. (1910a) Recherches sur l'influence de l'inanition chez *Paramecium caudatum*. *Rev. suisse zool.* 18 : 591-646.
- _____, (1910b) Les effets de l'inanité chez les infusoires. *Compt. rend. soc. phys. hist. nat. Genève.* 17 : 15-17.
- SUHAMA, M. (1953) On the behavior of the macronuclear nodes in *Condylostoma spatiostomum* OZAKI & YAGIU treated with alcohol. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. B. Div. 1*, 14 : 39-46.
- YAGIU, R. (1952) Studies on *Condylostoma spatiostomum* OZAKI & YAGIU. V. Abnormal phenomenon caused by being kept in fresh water. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. B. Div. 1*, 13 : 97-110.
- WALLENGREN, H.F.S. (1902) Inanitionserscheinungen der Zelle. *Z. allgem. Physiol.* 1 : 67-128.

ABSTRACT Morphological Studies on the Starved Condition in the Ciliate, *Condylostoma* sp. I. Light Microscopical Observation. KAWAMURA, R. (Zoological Laboratory, Faculty of Science, Hiroshima University, Hiroshima). *Zool. Mag.* 73 : 70-77. (1964).

The ciliate, *Condylostoma* sp., which was held in artificial brackish water containing no food substance and kept in a starved condition, was studied under a light microscope with particular reference to its macronuclear changes. The

macronucleus is elongate, moniliform, and usually consists of from 15 to 23 beads of chromatin mass tied up in a string, the beads characteristic ally being arranged in two closely packed groups in both the peristomal and trunk regions. The macronucleus usually divides and sometimes undergoes physiological reorganization owing to in sufficient nourishment or other causes. The writer found that, on the one hand, when an organism in the early interdivisional stage is starved as described above, it shows nuclear changes resembling those of physiological reorganization ; while on the other hand, when an organism in the later interdivisional stage is starved (though a considerable quantity of food is necessary to be taken prior to division) it undergoes nuclear changes similar to those of division. The author traced in detail the nuclear changes of both conditions and found that these changes ceased and death resulted in both cases just before the aggregating period of nuclear beads, the middle stage of nuclear change which always occurs in both division and physiological reorganization. Moreover, the nucleus of a starved organism was found to take 380 hours to reach the aggregating period in a nucleus about to undergo either division or physiological reorganization as against only 4 hours necessary for the normal organism. In conclusion, a surprisingly long time is required for the starved organism to complete its nuclear changes compared with the normal organism. (Received October 28, 1963).