藻類 Jap. J. Phycol. 31: 44-50. March 20, 1983

ヤコウチョウの研究—I.
触手と桿状体の機能

高山晴義

広島県水産試験場 (737-12 広島県安芸郡音戸町音戸 5233-2)

TAKAYAMA, H. 1983. Studies on *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae)-I. Tentacle and rod organ: their functions. Jap. J. Phycol. 31: 44-50.

Noctiluca scintillans (MACARTNEY) is a very characteristic dinoflagellate, whose body is inflated by hydrostatic vacuoles. In addition, it possesses specified organelles such as a tentacle, a rod organ and a projecting tooth, but the functions of these organelles have not been well known. In this paper, the results of some observations on the function of these organelles are described.

The tentacle is the most prominent organelle of *Noctiluca*. Usually, it beats toward the oral pouch slowly and repeatedly, and the distal end reaches to the cytostome. While the tentacle is moving repeatedly, food organisms adhere to the distal end of the tentacle, on which some adherent substances are probably excreted. It seems that the tentacle plays an important role in capturing food and carrying it to the cytostome.

Suhsequently, the food captured on the tentacle is ingested within the body of *Noctiluca* through the cytostome. In the beginning of ingestion, the food is carried toward the apex, where the rod organ is located, by protoplasmic streams of protoplasmic processes connecting the central protoplasmic mass and the rod organ. The surface of the apex may be pulled inside the body when *Noctiluca* takes food, especially large food such as copepods or fish eggs. On those occasions, the apex may be depressed and *Noctiluca* could probably not take food into the body, if the surface of apex was flexible. The rod organ is the stoutest organelle of *Noctiluca*. It appears that the rod organ supports the apical surface and it may Support the intake of food.

As mentioned above, it appears that the tentacle and the rod organ play important roles in the capture and ingestion of food organisms. However the function of the projecting tooth is still unknown.

Key Index Words: *Dinophyceae*; Noctiluca; *rod organ*; *tentacle*.
Haruyoshi Takayama, Hiroshima Fisheries Experimental Station, 5233-2 Ondo-cho, Aki-gun, Hiroshima, 737-12 Japan.

無殻渦鞭毛藻（虫）の1種とされるヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* (MACARTNEY) は，体内に著しく大きい液胞をもち，さらに触手，桿状体，歯状突起などの細胞器官を有すなど，その形態は特徴的である。しかし，これら諸器官の機能については，いまだ未知のことが多い。著者は，赤潮構成主要生物としてのヤコウチュウに注目し，ここ数年その生態や生殖について研究を行っている。前報（高山 1977, 1979）では，触手が捕食器官としての機能をもつことを報告したが，その後の観察の結果，桿状体も摂餌に関与すると推察するに至った。本報では，ヤコウチュウの捕食行動と，触手および桿状体との関係について報告する。

材料と方法

観察に供したヤコウチュウは，広島湾内で採集し，高山（1977）の方法に従って *Heterosigma inlandica* を餌料として培養したものである。

光学顕微鏡観察には，福代ら（1977）の渦鞭毛藻の cyst 培養用スライドグラスを改変したものを用いた。

このスライドグラスにヤコウチュウと各種餌料を封入して，その摂取過程を観察した。

走査電子顕微鏡 (SEM) 観察試料は，固定・脱水・臨界点乾燥・炭素の真空蒸着・金のイオンスパッタコーティングの各処理を施して作製した。前報 (高山 1981 a) でヤコウチュウの SEM 試料を作製する場合，イオンスパッタコーティング中に体表にシワを生じることがあるので，その前に炭素の真空蒸着を施すなど，体表を補強する工夫が必要であることを示唆した。今回，炭素蒸着を行った結果，比較的良好な試料を得ることができた。

観察に使用した SEM は日立製作所製 S-430 型である。

結果と考察

ヤコウチュウの SEM 写真を Figs. 1-6 に示す。

ヤコウチュウは渦鞭毛藻のなかでも特異な形状をしているので，その体制方向 (orientation) の解釈が研究者によってかなり異なっている。KOFOID (1920) および KOFOID and SWEZY (1921) は，細胞口が存在する深い窪み (oral pouch) が他の渦鞭毛藻の縦溝に相当し，触手の生ずる部分が縦溝の後端であると解釈している。つまり，oral pouch のある方が腹側となり，桿状体の存存する方が細胞の上側にあたることになる (Figs. 1, 2)。本報ではこの解釈に従って各器官の位置や方向を説明する。

1. 触手の運動と機能

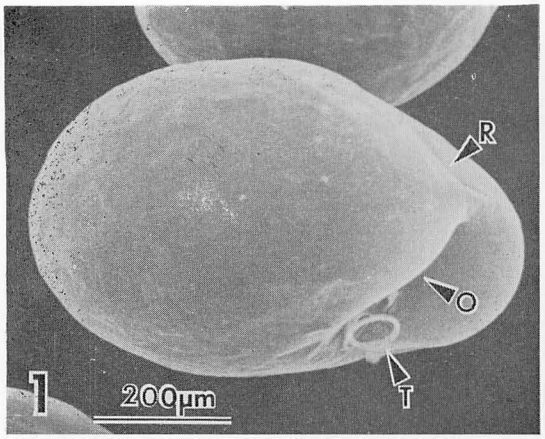
触手の基部は円筒形であるが，基部を除く大部分の横断面はほぼ半円形である。なお，丸みのある腹面には縞状構造がある (Fig. 5)。

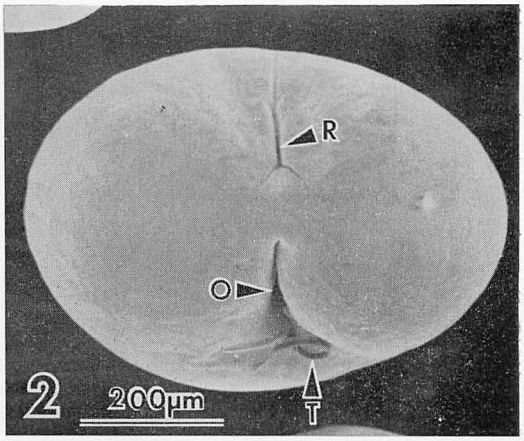
先端部が基物等に付着したり，あるいは二分裂後間もない個体の完全に成長していない触手などは，多少不規則な運動をするが，通常，触手は規則的な運動をする。Fig. 7 は触手の基本的な運動の状態を模式的に示したものである。体の下方または後方に大きく弓なりに伸びた触手 (Fig. 7 の 1) は，基部から1/3ないし1/2の部位が Fig. 7 の 2 から 6 の順序で口部の方向に屈曲し，結局，先端部が口部に達する。このとき，口部に先端を押しつけるような運動がしばしば観察され，まれに細胞口内に触手を挿入することもある。口部の方向に屈曲した触手は，次に先端を内側に巻き込むようにしながら順次引き伸ばされる (Fig. 7 の 7-12)。ヤコウチュウの活力が低下すると，触手の運動の頻度や振幅が小さくなるが，活力の高い個体は，このような運動を 1 分間に 5～6 回繰り返す。そして運動を繰り返しながら，先端部分に餌をつぎつぎと付着させる。Fig. 8 に触手上に *Dunaliella* sp.* を捕獲した状態を示した。餌を触手上に捕獲しても直ちにこれを摂取するとは限らず，餌を付着させたまま触手を何回も動かすことが多い。また，一旦捕獲された餌が触手上から離脱することも多い。前報 (高山 1979) で報告したように，触手の付着力はそれほど強くないので，遊泳力の弱い餌ほどヤコウチュウは摂取しやすいと思われる。

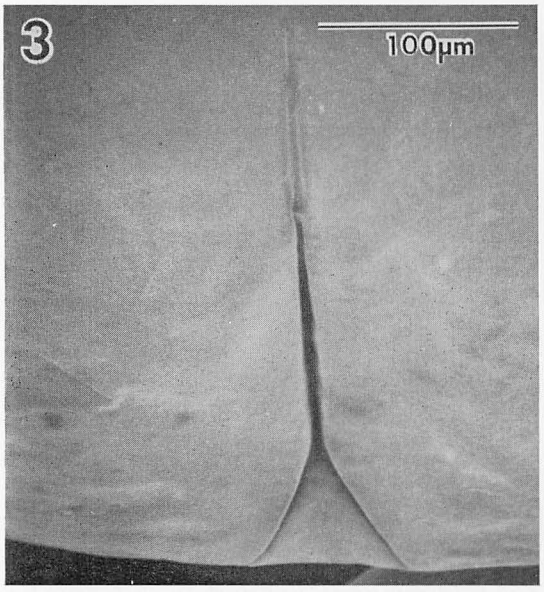
GROSS (1934) は *Chlamydomonas* sp. を餌料としたヤコウチュウの培養を行い，ヤコウチュウが *Chlamydomonas* を捕食する過程について詳細に報告している。特に触手の機能について，その先端部から粘液物質 (Klebsubstanz) を分泌し，*Chlamydomonas* をつぎつぎに付着させ，それらをひも状または球状の塊にすると述べている。しかし，その付着させる力はそれほど強くなく，*Chlamydomonas* の細胞の塊は容易に触手上から離脱し，塊のなかの各細胞はやがて遊泳力を回復して離散するとも述べている。このGROSS の報告と同様の現象が，*Dunaliella* を与えた本研究の場合にも観察された。一般に，餌は触手に密着していることが多いが，触手と捕獲された餌とが少し離れていることがある。この場合，触手と餌が粘液性の糸様物質で結ばれているらしく，触手の運動とともに餌も動く状態がみられた。Fig. 9 は，シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* を捕獲した状態を示す。最初，触手はシオミズツボワムシと密着していたが，ワムシが盛んに遊泳したため徐々に両者の間隔が広がった。しかしこの状態でも両者は連結しており，ヤコウチュウはワムシにひきずられた。これは粘着物質が長く伸びたために起こる現象と推定され，ヤコウチュウの触手から粘着物質が分泌されることはほぼ確実と思われる。

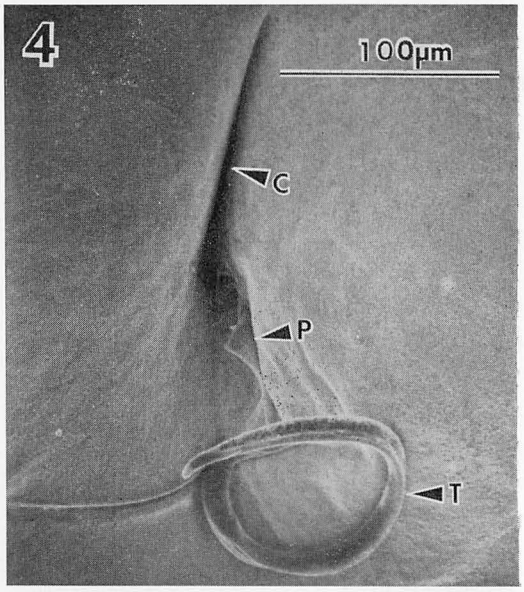
* 前報 (高山 1977, 1979) では *Chlamydomonas* sp. として引用したが，その後筑波大学原　慶明博士により *Dunaliella* sp. と同定された。

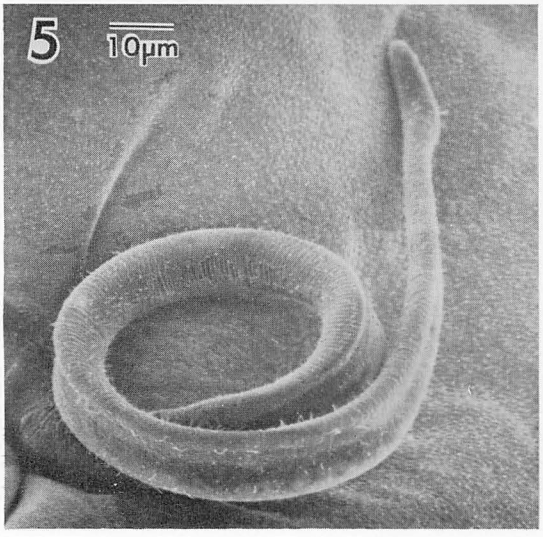
Figs. 1-6. Scanning electron micrographs of *Noctiluca scintillans*. 1. Oblique right side view; 2. Ventral view; 3. Apical view of the rod organ; 4. Ventral view of the oral pouch; 5. The tentacle; 6. The flagellum and the projecting tooth. (C: cytostome. F: flagellum. O: oral pouch. P: projecting tooth. R: rod organ. T: tentacle.).

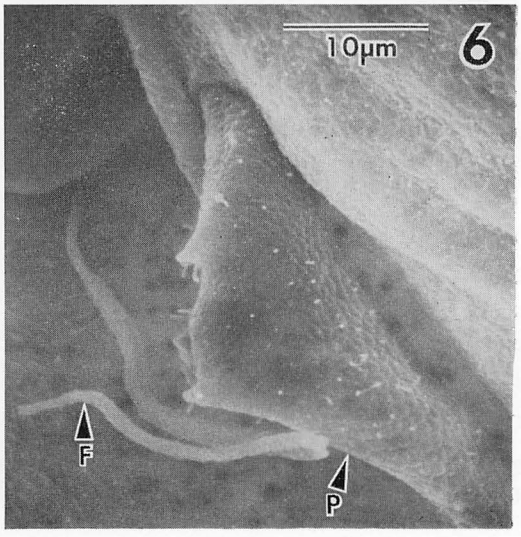

R
O
T
1
200μm


R
O
T
2
200μm


3
100μm


4
100μm
C
P
T


5
10μm


10μm
6
F
P

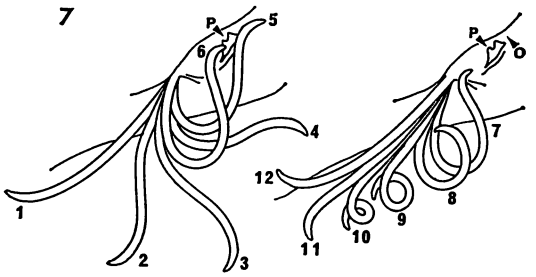


Fig. 7. Schematic representation of movement of the tentacle. (1-6: effective stroke. 7-12: recovery stroke. O: oral pouch. P: projecting tooth.).

前述のように，触手は基本的には細胞口に向って反復運動を行い，餌を捕獲してそれを細胞口に運ぶ機能を有している。羽田 (1979) は，触手は2個体のヤコウチュウが接合する場合に両個体の橋渡しをするのに役立つ，すなわち生殖に関係のある器官であり，餌料摂取には無関係であると述べている。著者は，ヤコウチュウの接合を観察したことがないので，触手が生殖器官としての機能をもつか否かについて論議できないが，捕食器官としての機能を有することは疑いのない事実である。

2. 桿状体の機能

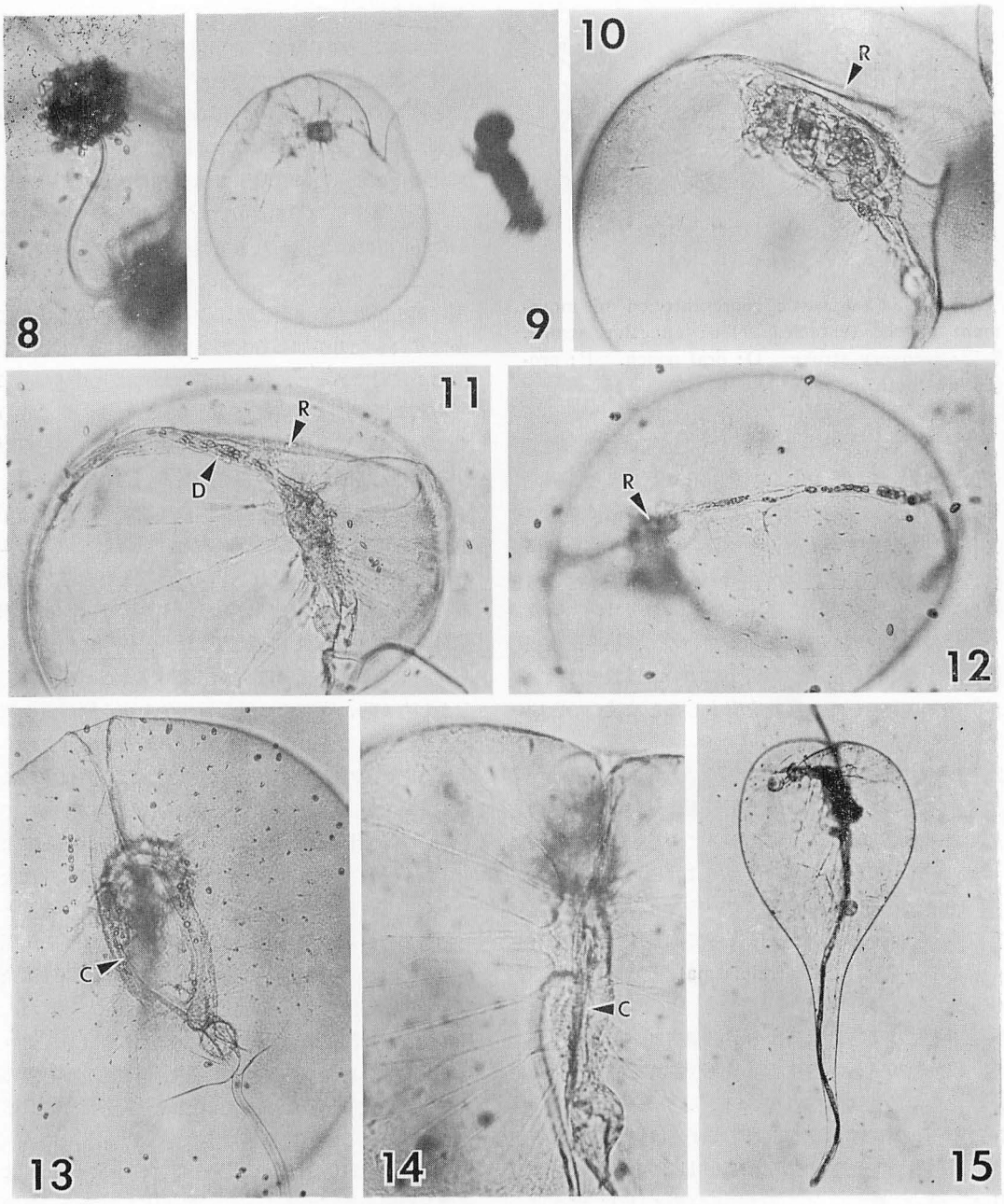
桿状体はヤコウチュウの上頂表面に存在する溝状構造物で，始端部は漏斗状に広がっている (Fig. 3)。ヤコウチュウの細胞器官のなかでは特に強固な構造物で，HOFKER (1930) が述べているように，多くの原形質糸 (Plasmafärden) によって細胞口の背後に存在する中央原形質 (Zentralplasma) と連絡している (Fig. 11)。

触手上に捕獲された餌はやがて細胞口から摂取される。Figs. 10-12 に各種餌料が摂取される様子を示した。食胞の形状は餌料の違いにより異なる (高山 1979)。餌の摂取に際しては，まず餌は桿状体のある体上頂に引き入れられ (Figs. 10, 11)，その後に，桿状体に沿って背側方向に運ばれる (Fig. 12)。ヤコウチュウの体内には常に弱い原形質流動がみられるが，細胞口に餌が入ると，細胞口から桿状体，さらに背側方向に向う原形質流動が急に速くなる。シオミズツボワムシなどのような大形の餌を摂取する場合には，細胞口付近にある中央原形質の一部が，桿状体に連絡する原形質とともに桿状体の方向に収縮するようにして餌を体内に引き入れる。これらの現象から判断すると，餌を体内に取り込みさらに移動させる原動力は原形質流動と考えられる。

ヤコウチュウが魚類や橈脚類の卵，あるいは多毛類や橈脚類など，かなり大型のプランクトンを摂取することはよく知られており (GROSS 1934, ENOMOTO 1956, SEKIGUCHI and KATO 1976, HATTORI 1962)，綿花の繊維のように自身よりも長大な餌を摂取すると外形が変形する (Fig. 15)。石川 (1898) も *Rhizosolenia alata* と思われる藻類を摂取して，著しく変形したヤコウチュウの図を示している。このような大型の餌を摂取する場合には，ヤコウチュウの上頂部にかなり大きな力が加わるものと推定される。もし，上頂部が軟弱であると，強い力が加われば上頂部が逆に凹み餌の摂取は不可能になると考えられる。このようなことから，桿状体は強固な構造物であり，餌を摂取する際の足場になっているものと推定される。

HOFKER (1930) は，桿状体に連絡する原形質糸が収縮することで細胞口が広がると，報告している。これに対し GROSS (1934) は，原形質それ自体に収縮能力があるかどうか疑問であり，ヤコウチュウには細胞口を能動的に拡大する能力はなく，体内に引き入れられつつある餌の圧力によって開口するとしている。しかしながら，現在では原形質流動をする原形質に収縮能力があることはよく知られ (泰野 1976)，また，Fig. 13 に示すように，摂餌とは関係なく開口することも認められる。これらは，能動的に細胞口を開口できるとする HOFKER の説を支持するものといってよい。しかし，二分裂途中の個体で，桿状体がみられないものでも，細胞口を広げて未消化物を排出することもあるので，細胞口の開口は桿状体に連絡している原形質糸ではなく，細胞口から左右に放射する原形質糸 (Fig. 14) が関与するものと推察される。また，HOFKER (1930) は，大きく開口した細胞口からヤコウチュウ体外に原形質が出て，その原形質が餌を包んで細胞内に飲み込むと述べているが，本研究では原形質が体外に出る状態は観察できなかった。

KOFOID (1920) は，ヤコウチュウの oral pouch は縦溝と相同の器官であるとし，桿状体も縦溝の一部であるとしている。つまり KOFOID は，ヤコウチュウの縦溝は oral pouch と桿状体との2部分からなるとしている。著者 (1981b) は，さきに *Gymnodinium* や *Gyrodinium* などの無殻渦鞭毛藻には，縦溝と横溝とのほかに，上錐溝 (apical groove) と呼ぶ溝構造があると報告した。桿状体は縦溝の一部とするよりはむしろ，上錐体が発達したものとする方が妥当とも考えられる。もし，桿状体が上錐溝に相当する構造で



Figs. 8-15. Light micrographs of *Noctiluca scintillans*. 8. Capturing of *Dunaliella* sp. on the tentacle; 9. Capturing of *Brachionus plicatilis*; 10. Ingestion of *Brachionus* (R: rod organ); 11. Ingestion of *Dunaliella* (D: *Dunariella* being taken in *Noctiluca*. R: rod organ); 12. Ingestion of *Heterosigma inlandica* (R: rod organ); 13. Opening of the cytostome (C: cytostome); 14. Protoplasmic processes connected with the cytostome (C: cytostome); 15. *Noctiluca* taking of a cotton fiber.

あるとするならば，桿状体の存在する側が体上部とする KOFOID (1920) および KOFOID and SWEZY (1921) の解釈と一致することになる。ヤコウチュウの桿状体は始端部が漏斗状に広がるなど，他種の上錐溝と異なる点があるが，上記の考察は比較形態学上の観点からも興味が持たれよう。

羽田 (1976, 1979) は，ヤコウチュウの摂餌行動についてつぎのように説明している。すなわち，鼓動運動により海水とともに餌を細胞口から飲み込み，ついで体内に懸垂している原形質が，アメーバのように餌を包み込んで食胞を形成するという。また，口孔を通過しないほどの大型の餌を摂取する場合は，口孔外に偽足を伸ばして餌の原形質を吸収し，採餌が終了すると伸長させた偽足を切り捨てる，とも述べている。本研究では，これらの点について，特に注意深く観察を続けた結果，この羽田の説にはつぎの3点で疑問を持つに至った。(1) ヤコウチュウが鼓動運動をして，細胞口から海水が出入するような現象は観察されない。(2) ヤコウチュウが体外に原形質を伸長させ，それにより餌料摂取を行うことは観察されない。(3) 一般には体内（液胞中）に餌生物が浮遊することはなく，細胞口から摂取された餌は直ちに原形質に取り包まれて食胞が形成される。ヤコウチュウ体内に，ある種の藻類が寄生または共生するために，いわゆる「緑色のヤコウチュウ」という現象が起こることがあると報告されている（遠藤 1918, 谷津 1918）が，羽田 (1939) は，ヤコウチュウ体内に寄生（共生）したこの藻類 (*Chlamydomonas*) を原形質が捕えて栄養物として消化すると述べている。著者は，この「緑色のヤコウチュウ」を観察したことがないので断定はできないが，この現象は摂餌とは別の現象ではないかと推定している。たとえこのような摂餌が行なわれることがあるとしても，一般的な餌料摂取方法とは考えられない。

以上述べたように，触手と桿状体は餌料摂取に関与する重要な細胞器官であると推察される。両器官のほかにヤコウチュウは歯状突起 (Figs. 4, 6) と呼ばれる外部器官をもつが，これまでの観察では，歯状突起が摂餌に関与するかどうか確認されなかった。その機能は不明である。また，石川 (1898) は鞭毛 (Fig. 6) が食物を口の中に送るはたらきがあると述べており，KOFOID and SWEZY (1921) も餌の捕獲と摂取に関与していると述べているが，そのような現象は確認されなかった。

謝辞：本稿をとりまとめるに当り種々御指導を賜わり，草稿を校閲していただいた三重大学水産学部岩崎英雄教授に厚くお礼申し上げる。餌料生物の同定をしていただいた筑波大学原　慶明博士に厚くお礼申し上げる。

引用文献

遠藤吉三郎 1918. 緑色の夜光虫について。動物学雑誌 **30**: 31-33.

ENOMOTO, Y. 1956. On the occurrence and food of *Noctiluca scintillans* (MACARTNEY) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage caused to the fish eggs by that plankton. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. **22**: 82-88.

福代康夫他 1977. 海産渦鞭毛藻の cyst に関する研究-I。*Protoperidinium minutum* (KOFOID) LOEBLICH。日本プランクトン学会報 **24**: 11-18.

GROSS, F. 1934. Zur Biologie und Entwicklungsgeshichte von *Noctiluca miliaris*. Arch. f. Protistenk. **83**: 178-197.

羽田良禾 1939. 藻琴沼のプランクトン．特に夜光虫に就て。植物及動物 **7**: 360-366.

羽田良禾 1976. 赤潮プランクトン。広島修道大学商業経済研究所報 **13**: 23-48.

羽田良禾 1979. 赤潮プランクトンと夜光虫体の微細構造。広島修道大学研究叢書，第3号，広島修道大学総合研究所，広島.

泰野節司 1976. 原形質流動。東京大学出版会，東京.

HATTORI, S. 1962. Predatory activity of *Noctiluca* on anchovy eggs. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab. **9**: 211-220.

HOFKER, J. 1930. Über *Noctiluca scintillans* (MACARTNY). Arch. f. Protistenk. **71**: 57-78.

石川千代松 1898. 夜光虫に付て。動物学雑誌 **10**: 273-283.

KOFOID, C. A. 1920. A new morphological interpretation of the structure of *Noctiluca*, and its bearing on the status of the Cystoflagellata (HAECKEL). Univ. Calif. Publ. Zool. **19**: 317-334.

KOFOID, C. A. and SWEZY, O. 1921. The free-living unarmored dinoflagellata. Mem. Univ. Calif. **5**.

SEKIGUCHI, H. and KATO, T. 1976. Influence of *Noctiluca*'s predation on the *Acartia* population in Ise Bay, Central Japan. J. Ocean. Soc. Japan **32**: 195-198.

高山晴義 1977. ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* (MACARTNEY) の培養とその観察。日本プランクトン学会報 **24**: 159-162.

高山晴義 1979. ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* MACARTNEY に関する観察-I。捕食行動につい

て。広島水試研報 10: 27-34.
高山晴義 1981a. 赤潮プランクトンの走査電子顕微鏡試料作製法。広島水試研報 11: 101-112.
高山晴義 1981b. 走査電子顕微鏡による *Gymnodinium* 属2種の観察。日本プランクトン学会報 28: 121-129.
谷津直秀 1918. 緑色の夜光虫。動物学雑誌 29: 298.

賛助会員

北海道栽培漁業振興公社　060 札幌市中央区北4西6　毎日札幌会館内
阿寒観光汽船株式会社　085-04 北海道阿寒群阿寒町字阿寒湖畔
海藻資源開発株式会社　160 東京都新宿区新宿1-29-8　財団法人公衆衛生ビル内
協和醗酵工業株式会社バイオ事業本部バイオ開発部　100 東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル
全国海苔貝類漁業協同組合連合会　108 東京都港区高輪2-16-5
K. K. 白壽保健科学研究所・原　昭　邦　173 東京都板橋区大山東町32-17
有限会社　浜野顕微鏡　113 東京都文京区本郷5-25-18
株式会社ヤクルト本社研究所　189 東京都国立市谷保1769
山本海苔研究所　143 東京都大田区大森東5-2-12
秋山　茂商店　150 東京都渋谷区神宮前1-21-9
弘学出版株式会社　森田悦郎　214 川崎市多摩区生田8580-61
永田克己　410-21 静岡県田方郡韮山町四日町227-1
全漁連海苔海藻類養殖研究センター　440 豊橋市吉田町69-6
神協産業株式会社　742-15 山口県熊毛郡田布施町波野962-1
有限会社　シロク商会　260 千葉市春日1-12-9-103