



Title	モズク増殖に関する基礎的研究-1：モズク的生活環について
Author(s)	右田, 清治; 四井, 敏雄
Citation	長崎大学水産学部研究報告, v.34, pp.51-62; 1972
Issue Date	1972-12
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/30893">http://hdl.handle.net/10069/30893</a>
Right	

This document is downloaded at: 2020-09-18T11:51:43Z

## モズク増殖に関する基礎的研究— I

## モズクの生活環について

右田清治・四井敏雄\*

Fundamental Studies on the Propagation of

*Nemacystus decipiens*—IOn the Life Cycle of *Nemacystus decipiens*

Seiji MIGITA and Toshio YOTSUI\*

*Nemacystus decipiens* (SURINGAR) KUCKUCK grows on branches of *Sargassum patens* and is a useful edible alga in Japan. In this paper, the authors deal with the life cycle of *Nemacystus decipiens*, using the materials collected from Omura and Nomozaki of north western Kyushu.

The macroscopic sporophytes of this alga grow abundantly in winter and spring, and they have unilocular sporangia from March to June, and plurilocular sporangia from December to next April. The zoospore liberated from the unilocular sporangium is fusiform in shape, having a chromatophore, an eye-spot, and two unequal flagella on the lateral part. After short swimming, they germinate to gametophytes which are branched creeping filamentous thalli.

These thalli produce the plurilocular sporangia in spring and early summer. The swarmers from them germinate without conjugation and give rise to new filamentous thalli. This phenomenon is thought to be the parthenogenetic reproduction of gametes. Most of the cells of the filamentous thalli are transformed in summer into the spherical resting stage with thick membrane.

After the resting stage, these gametophytes form plurilocular sporangia which produce gametes. The gametes conjugate isogamously to form zygotes. The zygotes first give rise to the creeping filaments and then to the erect assimilators, and finally they develop into *Nemacystus* plants. The unfused gametes are able to develop parthenogenetically.

On the other hand, sporophytes of *Nemacystus* plants produce plurilocular sporangia which form neutral zoospores. These zoospores develop directly into *Nemacystus* plants. Some germlings of zygotes and neutral zoospores also give rise to plethysmothalli which repeat several successive generations of such thalli under the unfavourable culture conditions.

\* 長崎県水産試験場増養殖研究所（長崎県西彼杵郡野母崎町）

モズクは褐藻ナガマツモ目に属しホンダワラ類のヤツマタモクにおもに着生する食用海藻で、最近その需要が増加している。この海藻の分布は太平洋岸中南部、日本海南部、南西諸島におよび、長崎県でもほとんど県下の全沿岸に産するが、産業的に採取量が多いのは大村湾である。ところが、大村新空港建設のため、モズクの良漁場が埋立てられ、地元や長崎県でモズク増殖法の開発が要望されてきた。しかし、増殖の基礎的知識となるモズクの生活環や生態についての研究は少なく、これまで断片的な知見があるにすぎない。

著者らは、1971年春よりモズクの生活環や生態を研究、調査してきたが、生活環について周年の循環を明らかにしたので、まずその結果を報告する。

### 材 料 お よ び 方 法

実験材料のモズクは、野母崎町の長崎大学水産実験所附近と大村湾大村市沿岸のものをを用いた。

培養実験は、まず春に単子嚢のみを形成しているモズク藻体より放出された遊走子について行ない、遊走子をスライドグラスとガラス板に巻いたクレモナ1号糸に付着させ、300 ml のビーカーや4 l のガラス水槽で培養した。

配偶体の初期発生や越夏前の生育の経過は、おもにスライドグラス上のもので調べ、配偶子の形成や接合子などはクレモナ上で越夏させたものについて観察した。とくに、配偶子の放出期を一定にし放出数を多くする目的では1、2日毎に換水し通気培養をした。また、配偶子の接合は水温を変えて比較実験をしてみた。

中性複子嚢の遊走子の発生は、大村産の初期発生体で複子嚢のみを形成しているものより遊走子を放出させ、スライドグラスやクレモナ糸に着生させて、止水および通気培養を試みた。

培養液には、海水に窒素、磷酸および微量要素を添加したものをを用い、一般培養での換水は1、2週間毎に、越夏時には3、4週間毎に行なった。

### 実 験 結 果

モズク造胞体の肉眼的な藻体の消長を大村、野母崎で定期的に観察したところ、大村では1970、1971年ともに幼体は12月上旬に現われ、12月末には数 cm になり2、3月に最も繁茂し5月中旬より枯死流失したが、野母崎ではかなり遅れて2、3月に肉眼的幼体が生じ4、5月に繁茂し、5月中旬から6月上旬に急に消失した。その間、単子嚢は3月以後から流失期までみられ、中性複子嚢は12~4月にその形成がみられた。

**単子嚢の遊走子の発生** 5月中旬に野母崎町で採集したモズクには、ほとんどの個体で単子嚢のみが形成され、その単子嚢は偽柔組織より出る同化糸の基部につくられ (Fig. 2 A), 太さ平均 32  $\mu$ , 長さ 47  $\mu$  の長卵形をなし、その細胞内容は分裂を繰返して 64~128個の遊走子となる。遊走子は 3~4  $\mu$   $\times$  6~7  $\mu$  の長卵形で1個の色素体と後側部に1眼点をもち、長さ約 14  $\mu$  と 7  $\mu$  の不等長の2鞭毛を腹生し (Fig. 1 A), 光の方向に集まる正の走光性を示す。着生後の遊走子は丸まって径平均 4.3  $\mu$  (3.8~5.0  $\mu$ ) の大きさで、直ちに発芽管を伸ばし、1列細胞の分枝した匍匐糸状体をなす配偶体となる (Fig. 1 B~G, Fig. 2 B, C)。なお、この糸状体に細い毛が生ずることもあるが、高水温や弱

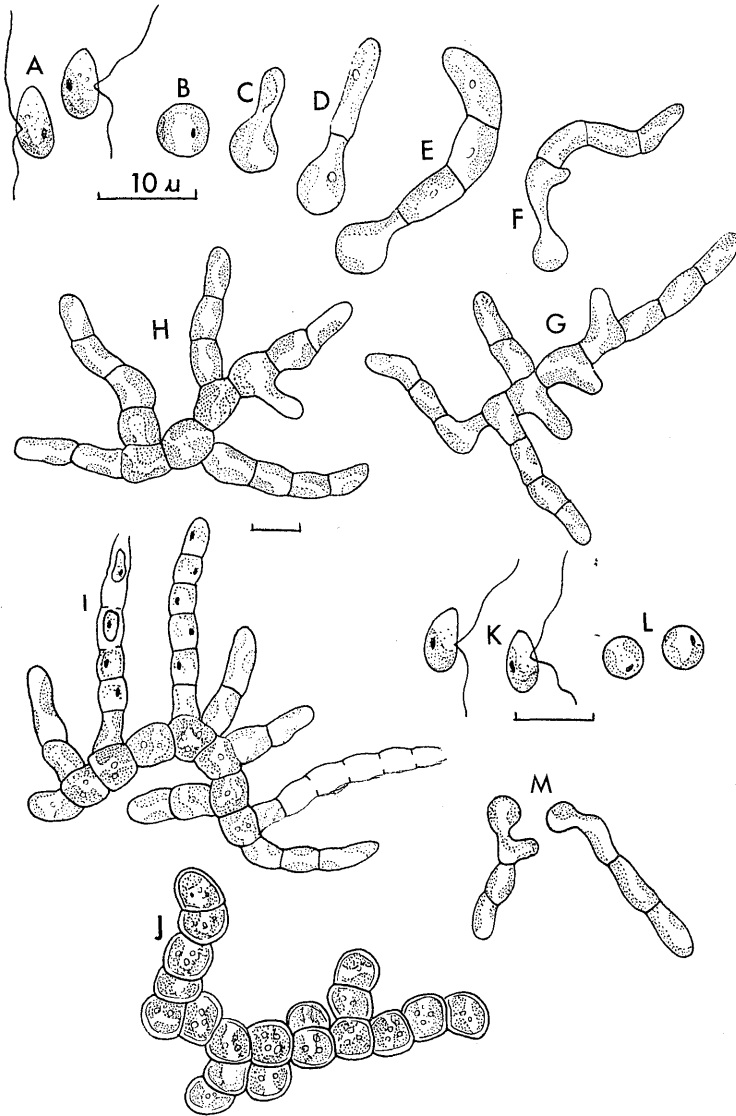


Fig. 1. *Nemaecystus decipiens*. Development of zoospores from unilocular sporangia.

A, zoospores derived from unilocular sporangium; B-F, settled zoospore and its germination; G, H, filamentous gametophytes; I, plurilocular sporangia on gametophyte; J, resting stage; K, swarmer from gametophyte; L, M, settled and germinated swarmer.

光下の培養では、その発生は抑制されるように観察された。これらの糸状体で、培養約 20 日後になって、一部の枝が複子嚢となり、そこに動胞子が形成され、やがて先端より脱出するのがみられた (Fig. 1 I, Fig. 2 E)。この動胞子は  $3\sim 4\ \mu \times 6\sim 7\ \mu$  の長卵形をなし、1 個の褐色の色素体と 1 眼点を持ち、約  $14\ \mu$  と  $8\ \mu$  の長短 2 鞭毛を腹生し、正の走光性を示し、静止し丸まったときの大きさは径平均  $4.4\ \mu$  ( $3.5\sim 5.4\ \mu$ ) で (Fig. 1 K, L)、前述の単子嚢の遊走子と酷似する。この胞子は配偶体に形成されるので、配偶子ではないかと考え、幾度かそれらの接合現象や 2 眼点をもつ接合子の有無を注意して観察した

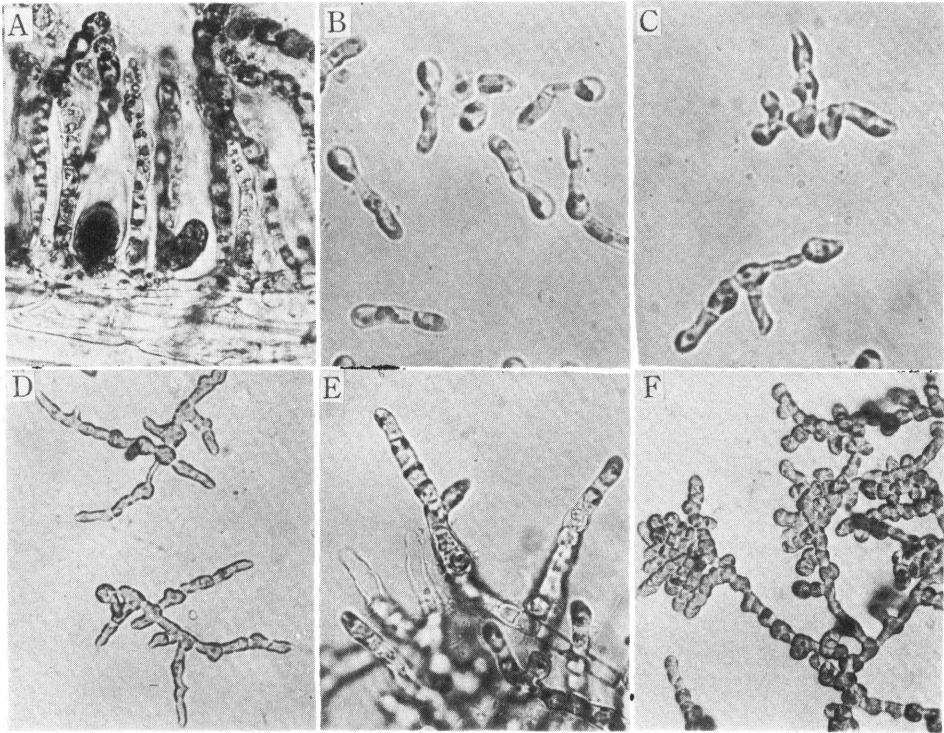


Fig. 2. Photomicrographs of *Nemacystus decipiens*. Unilocular sporangia and development of zoospores.

A, unilocular sporangia; B, C, germinated zoospores; D, further developed gametophytes; E, formation of plurilocular sporangia; F, resting stage of gametophyte. A,  $\times 220$ ; B, C, E,  $\times 600$ ; D, F,  $\times 300$ .

が、6、7月の一般培養で放出されたものでは接合は行なわれなかった。これらは、直ちに発芽して遊走子の配偶体と同じ匍匐糸状体に生育し (Fig. 1 M), さらにその体上に動胞子をつくるが、この配偶体の循環は  $25^{\circ}\text{C}$  以下の培養条件では6、7月の間に2、3回繰返されるようである。しかし、遊走子の発芽体はやく休眠状態になったり、換水を極度にひかえた不良条件下では、複子嚢の形成はみられなかった。これらの配偶体は、夏期水温が  $26, 27^{\circ}\text{C}$  以上になると、各細胞が丸まって径  $8\sim 10\ \mu$  に肥大し、厚膜に覆われ、細胞内の色素体が濃くなり、休眠するようになる (Fig. 1 J, Fig. 2 F)。

**配偶子と接合子の発生** 越冬したクレモナ撚糸上の休眠配偶体を11、12月によく換水し、通気培養したところ、各細胞より発芽管を伸出して再発芽した (Fig. 3 A)。これにはやがて複子嚢がつくられるが、それは一般に枝が伸出した数個から10個ぐらいの細胞列よりなり、その各細胞は太さ  $5\sim 6\ \mu$ 、長さ  $4\sim 6\ \mu$  で、それぞれ1個の配偶子を形成する (Fig. 3 B, Fig. 4 A)。配偶子は前述の両胞子と大きさ、形態ともに似ており、大きさは  $3\sim 4\ \mu \times 7\sim 8\ \mu$  の長卵形で、1個の色素体と1眼点をもち正の走光性を示し、 $15\sim 17\ \mu$  と  $7\sim 9\ \mu$  の長短2本の鞭毛を腹生する (Fig. 3 C, Fig. 4 B)。この配偶子の静止したものうち、しばしば2眼点をもつ接合子がみられたが、接合行動はまれにしか

確認できなかった。接合は、雌雄同型配偶子により行なわれ、活発に遊泳していたものが、一端が接すると両性配偶子はほとんど動かなくなり、1分間ばかりのうちに粘着して球形になる (Fig. 3 D, E, Fig. 4 C)。また、顕微鏡下のある場所ではじめに接合が行なわれると、そこに配偶子が集まり、その近くで次々と接合して、接合子の集団ができるという興味ある現象がみられた。また、まれに3眼点をもった接合子も観察された (Fig. 3 F)。なお、配偶子の接合は培養水温でも差があるようで、一般に 15°C 以下で接合率が高い傾

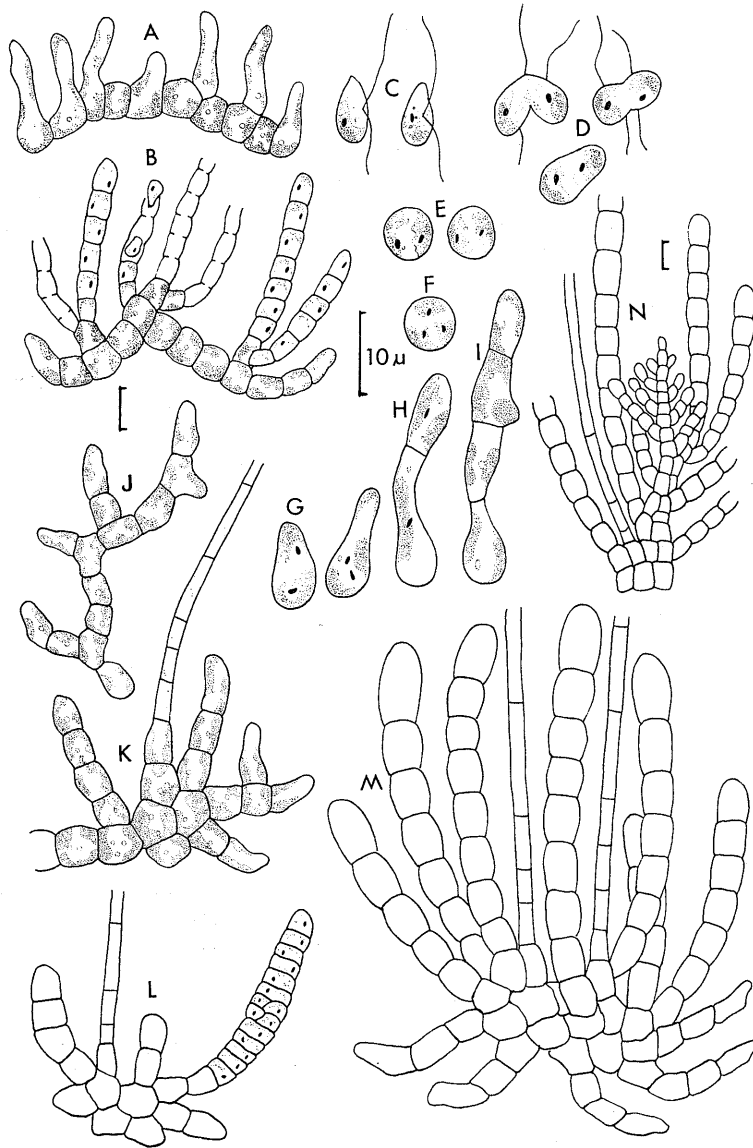


Fig. 3. *Nematocystus decipiens*. Formation of gametes and development of zygotes.

A, regermination of resting gametophyte; B, formation of plurilocular sporangia; C, gametes; D, conjugation of gametes; E, zygotes; F, zygote with three eye-spots; G-I; germination of zygotes; J, K, developed sporophyte; L, formation of plurilocular sporangia; M, further developed sporeling; N, branches of axial filaments.

向がうかがわれた。

接合子は直ちに発芽し、はじめ配偶体と同様の匍匐糸状体となり (Fig. 3 G~J, Fig. 4 E, F), そのうち細い毛が生じ (Fig. 3 K), 通気培養を続けると 10~15日頃より匍匐体の側糸として直立同化糸が立ち上ってくる (Fig. 3 M, Fig. 4 G, H)。なお、通気培養をした場合に匍匐糸状体が密接し一見して盤状体をなすときものもしばしば観察された。これらの発芽体は培養 1ヶ月後には 1 mm 前後に発育し、45日後には 2 mm ぐらいになったが、室内培養ではそれ以上は追究できなかった。また、海に垂下したものでは脱落するものが多くその後の連続観察は失敗に終わった。なお、接合子の発芽体でも同化糸となるべき糸状細胞が複子嚢となり (Fig. 3 L), おそらく後述の中性複子嚢と思われるものを形成するが、この複子嚢の形成は通気培養より止水培養で多かった。この発芽接合子の複子嚢より放出される遊走子は  $3.7\sim 5.0\ \mu \times 6.3\sim 8.0\ \mu$  の長卵形で、1眼点と長短2鞭毛

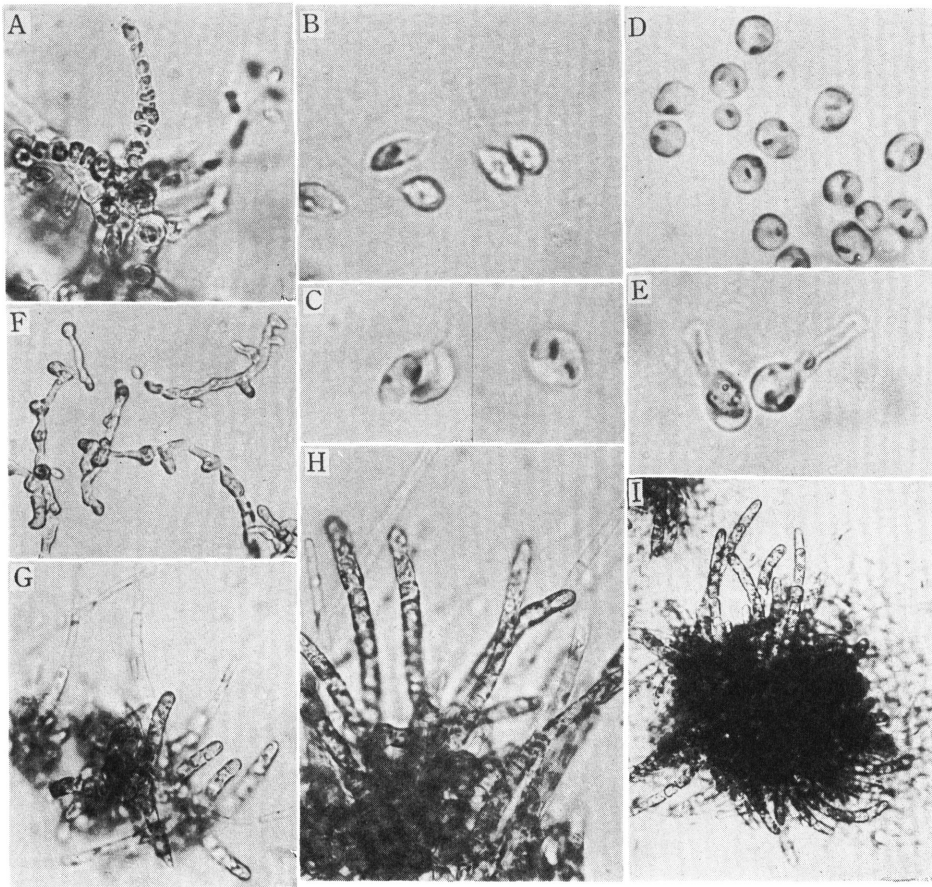


Fig. 4. Photomicrographs of *Nemacystus decipiens*. Formation of gametes and development of zygotes.

A, liberation of gametes from plurilocular sporangium on gametophyte; B, gametes; C, conjugation of gametes; D, zygotes, showing two eye-spots; E, germinated zygotes; F, early stage of sporophytes; G-I, further developed sporophytes with arising erect assimilators. A, F, G, H,  $\times 200$ ; B, C,  $\times 1200$ ; D, E,  $\times 800$ ; I,  $\times 120$ .

をもち、静止し丸まった直径は平均  $5.2 \mu$  ( $4.8 \sim 5.9 \mu$ ) であった。

受精の機会を失した配偶子は、単性発芽して再び配偶子となり、その体上にもやがて複子嚢がつくられ、おそらく配偶子と思われる動胞子が形成される (Fig. 5)。なお、配偶子の単性発芽体と接合子の発芽体とは、細胞の大きさに相異があり、後者が前者よりやや大きい。

**中性複子嚢の遊走子の発生** モズクの大型造胞体には、単子嚢のほかに中性複子嚢の形成も知られており、著者らが調査した大村、野母崎のものでも複子嚢が観察された。

中性複子嚢より放出された遊走子は、 $6.0 \sim 8.2 \mu \times 3.8 \sim 5.5 \mu$  の長卵形をなし、1個の色素体と眼点をもち、正の走光性を示し  $13 \sim 16 \mu$  と  $8 \sim 10 \mu$  の長短2鞭毛を腹生する (Fig. 6 A)。静止して丸まった直径は平均  $5.3 \mu$  ( $5.0 \sim 6.2 \mu$ ) であったが、これは前述の発芽接合子の複子嚢の遊走子と同じ大きさであった (Table 1)。この遊走子は、着生後直ちに発芽して、まず匍匐糸状体となり (Fig. 6 B~E, Fig. 7 B, C)、やがてそれらに毛が生じ直立同化糸が形成され (Fig 6 F, H, Fig. 7 D, F)、さらに通気培養30日後

Table I. Diameter of settled zooids liberated from *Nemacystus decipiens*.

Zoospore	Swarmer*	Gamete	Neutral zoospore**	Neutral zoospore***
$4.3 \mu$ ( $3.8 \sim 5.0$ )	4.4 ( $3.5 \sim 5.4$ )	4.4 ( $3.5 \sim 5.2$ )	5.2 ( $4.8 \sim 5.9$ )	5.3 ( $5.0 \sim 6.2$ )

\* From gametophytes.

\*\* From young sporophytes (plethysmothalli) in culture.

\*\*\* From *Nemacystus* plants in nature.

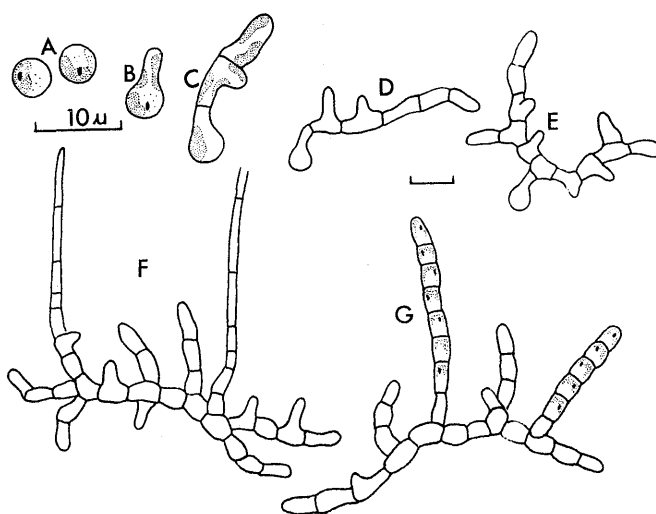


Fig. 5. *Nemacystus decipiens*. Parthenogenetical development of gametes. A, settled gametes; B, C, germination of gametes; D~F, further developed sporeling; G, formation of plurilocular sporangia.



には同化糸も多くなりモズクの幼体に生育した (Fig. 6 I, Fig. 7 G)。また、この発生体でも止水培養では、同化糸や匍匐糸状部の細胞が再び複子嚢に変わり (Fig. 6 G, Fig. 7 F)、遊走子を放出するが、その形態や発生、生長は大型藻の中性複子嚢のものと同様であり、また前述の接合子の発芽体に形成されたものとも本質的な差は見出せなかった。

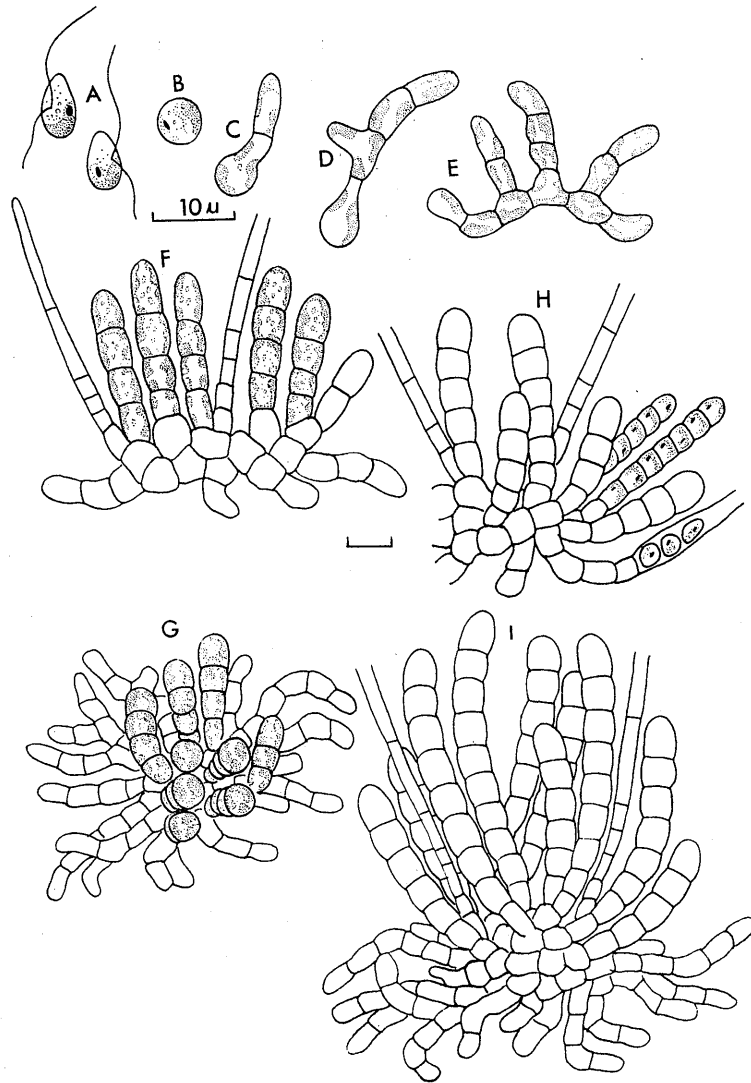


Fig. 6. *Nemacystus decipiens*. Neutral zoospore from plurilocular sporangium of *Nemacystus* plant and its development.

A, neutral zoospores; B-E, settled zoospore and its germination; F, G, formation of erect assimilators; H, plurilocular sporangia on the sporangium; I, further developed young plant.

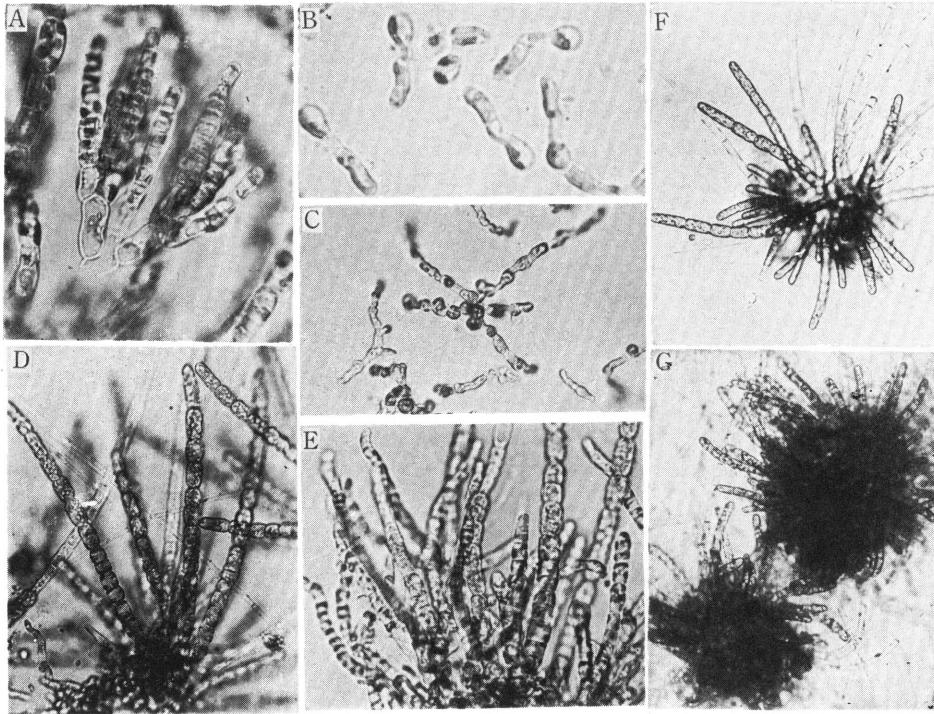


Fig. 7. Photomicrographs of *Nemacystus decipiens*. Development of neutral zoospores from plurilocular sporangia.

A, plurilocular sporangia of *Nemacystus* plant; B, germinated zoospores; C, development of sporeling; D, E, formation of erect assimilators; F, plurilocular sporangia on the sporeling; G, further developed young plants. A, B,  $\times 550$ ; C, E, F,  $\times 180$ ; D,  $\times 150$ ; G,  $\times 100$ .

## 考 察

以上の実験結果から、モズクには造胞体、配偶体世代を通じ、数種の生殖細胞が形成されることがわかったが、その生活環を図示すると Fig. 8 のようになる。すなわち、モズク造胞体に形成される単子嚢につくられた遊走子は、糸状に分枝した配偶体に生育し、それには複子嚢が形成され、その動胞子による配偶体世代の Subcycle を繰返し、夏の高温期には休眠し、秋から冬にかけてその再発芽後つくられる複子嚢の配偶子が接合してモズクの造胞体に生育する。さらに、その造胞体の初期発芽体や大型藻体にも中性複子嚢がつくられ、それらの遊走子による Subcycle をともなうという複雑な循環をとるものと考えられる。

このような生活環は SAUVAGEAU<sup>1)</sup> が同属の *Nemacystus flexuosus* について観察した結果とよく一致する。また、近緑の KYLIN<sup>2)</sup> の *Mesogloea vermiculata*、新崎のフトモズク<sup>3)</sup>、ニセモズク、クロモ、シワノカワ<sup>4)</sup> や、国枝・須藤<sup>5)</sup> のフクロノリと比較すると、配偶体や造胞体世代を繰返す Subcycle を除けば、基本的な循環は類似しているとみなされる。ところで、褐藻では単子嚢で遊走子がつくられる際に減数分裂が行なわれることは KNIGHT<sup>6)</sup>、PARKE<sup>7)</sup>、PAPENFUSS<sup>8)</sup> などの報告をはじめこれまでの多くの研究で一致した見解がとられているので、モズクでもおそらく同様であろうと考えられる。

この遊走子が分枝した匍匐糸状体に生育すること、それが夏の高温期に厚膜に包まれ休眠することなど、異型世代網の多くの褐藻と同様である。

この実験で、モズクの配偶体に初夏に形成される複子嚢の動胞子では、接合現象はみられず直ちに発芽して匍匐糸状体となったが、これはナガマツモ目の他の種類でもよくみられ、無性胞子による生殖とも考えられてきた。しかし、この実験では、そのような動胞子を放出した同一体で、休眠後の再発芽体では接合すること、また遅くから培養した場合は動胞子をつくらず、夏期低温で培養するとはじめから接合する配偶子がつくられることなどから、本質的には配偶子であり、培養の諸条件の影響で接合する性質を失ない単性発芽するものとみなすのが妥当のように思う。しかし、MULLER<sup>9)</sup>の最近の研究で、褐藻では単相の無性胞子の存在も論議されており、なお培養条件をかえて接合の有無をさらに検討する必要がある。

配偶子の接合は、緑藻のアオノリ類などのように、顕微鏡下で容易に観察されたわけではなく、まれにしかみられなかったが、新崎<sup>3)</sup>のフトモズクでも接合行動は確認されておらず、一般にこの近縁種では観察が困難のようである。その理由として、モズクでは接合が約1分間の短時間に終了し、また接合をはじめるとほとんど動かなくなるため、観察の機会を失するものと考えられる。国枝・須藤<sup>5)</sup>のフクロノリにおいても、接合は1分間ぐらいのうちに行なわれ、雄性配偶子は不動のまま接合するとされており、HARTMANN<sup>10)</sup>も *Ectocarpus* の一種でほぼ同じことを観察しているが、このような接合行動はこの近縁

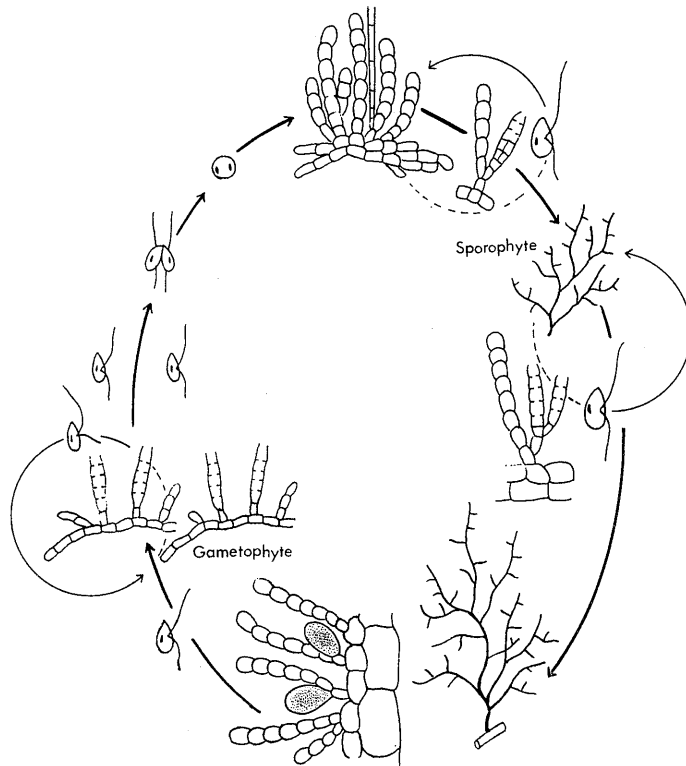


Fig. 8. Diagram of life cycle of *Nemacystus decipiens*.

種の本来の性質であるのか、培養条件によるものかは、なお詳細な観察を必要とするように思う。

造胞体の中性複子嚢は、接合子の培養発芽体や海で採集したモズク藻体でみられ、従来下等褐藻で中性複子嚢を形成する接合子の発芽藻体は矮小体 *Plethysmothalli* として特別な名称がつけられているが、モズクでもその矮小体の存在が認められた。しかし、この中性複子嚢は通気培養で接合子が順調に成体に成形する場合には少なく、止水培養などどちらかといえば不良環境下でその出現が多く、矮小体はそのまま生長を続けて成体になることができる。また、天然の海で発生期の12月頃みられる1 mm~1 cm のほとんどの藻体で中性複子嚢が普通に形成される。これらのことから、モズクでは矮小体を生活環の独立した1時代と考えるよりも、中性複子嚢による生殖法をもつ造胞体の幼体と理解するのがより妥当のように考える。

単子嚢の遊走子、配偶体の動胞子、接合子およびその発芽幼体と大型藻体の中性複子嚢の遊走子などモズク各種胞子の初期発生は、いづれもよく類似し、はじめ1列細胞で分枝した匍匐糸状体となり、また高温期の休眠状態などもよく似ており、大きさや分枝の粗密など培養上の差はあるにしても、それらの発生形態は本質的にはほとんど変らない。

接合子や中性複子嚢の遊走子の後期発生において、通気培養と止水培養では、直立同化糸の形成が相違し、前者では正常に生育したのに、後者では複子嚢をもつ糸状細胞の叢生した団塊になるという異常生育がみられ、これらの室内培養では、換水と通水培養が正常な生長に不可欠なことから考えられた。

モズクの増殖を目的とした種苗生産の手段を、前述の生活環より考察すると、接合子と中性複子嚢の遊走子が成体に生育するので、その両者が利用できることになるが、とくに多量に確実に得られる中性複子嚢の遊走子の活用が考えられる。その利用法には、前年度の発芽体を越冬させる方法と、海で天然の幼体よりその年度に遊走子を発芽させる方法がある。また、配偶体を越冬させて接合子を得ることは、接合子が配偶体の着生した基質より離れるため困難であるが、それらを新しい基質に付着させ、その後中性複子嚢の遊走子による繁殖を期待することもできる。しかし、これらの種苗をどのようにして海で生育させるかが今後の重要な課題であろう。

## 摘 要

モズク的生活環について、野母崎と大村産のものをを用い、単子嚢や中性複子嚢の遊走子の培養実験を行ない、また定期的にその生態を調査した。

1) モズクの肉眼的な藻体は大村では12月、野母崎では翌年の2、3月に出現し、5月下旬から6月上旬に消失する。その間、単子嚢は3月以後に、中性複子嚢は4月以前にそれらの形成がみられた。

2) 単子嚢の遊走子は、直ちに発芽して匍匐した糸状の配偶体となる。春から初夏の培養でそれらに複子嚢ができ動胞子が形成され、それらは接合せず2、3回 Subcycle を繰返したが、これらは培養条件による配偶子の単為生殖とみなされた。

3) 配偶体は夏の高温期に厚膜に包まれ休眠状態となり、11月、12月以後に再発芽して複子嚢をつくり、それに形成される配偶子は接合して造胞体に発育した。しかし、止水培養では接合子の発芽糸状体にもしばしば複子嚢がつくられた。

4) 海で採集した 1 mm から成体までのモズク藻体で、中性複子嚢がみられたが、それらから放出される遊走子は直ちに発芽して再びモズク造胞体に生育する。この場合も発芽幼体に中性複子嚢をつくるいわゆる矮小体がみられた。

5) モズクでは、造胞体の矮小体は、培養でも天然の海でもみられるが、これらは生活環の独立した1世代とするよりも、むしろ中性複子嚢による生殖法をもつ幼体とみなすのが妥当のように考えられる。

終りに、この研究を行なうにあたり、材料採集など種々御協力をいただいた大村市漁協の方々に感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) SAUVAGEAU, C. : Sur quelques Algues Phéosporées de la rade Villefranche (Alpes-Maritimes). *Bull. Stat. Biol. Arcachon*, 28, 7-168 (1931)
- 2) KYLIN, H. : Über die Entwicklungsgeschichte der Phaeophyceen. *Lunds Univ. Arsskr.* N.F. Avd. 2. 29(7) 1-102 (1933)
- 3) 新崎盛敏：フトモズク *Tinocladia crassa* (OKAM.) KYLIN の生活史に就いて。日水誌, 10, 177-184 (1941)
- 4) 新崎盛敏：ニセモズク、クロモ及びシワノカワの生活史に就いて。生物, 3, 95-102 (1948)
- 5) 国枝 溥・須藤俊造：フクロノリの生活史, 特にその異形配偶子の接合に就いて。 *Bot. Mag. Tokyo*, 52, 539-546 (1938)
- 6) KNIGHT, H. : The life history and cytology of *Pylaiella littoralis* Kjellm. *Trans. Roy. Soc.*, 53, 343-360 (1923)
- 7) PARKE, M. : A contribution to knowledge of the Mesogloiaceae and associated families. *Publ. Hartley Bot. Lab. Liverpool*, No.9, 1-43 (1933)
- 8) PAPENFUSS, G. F. : Note on the life cycle of *Ectocarpus siliculosus* Dillw. *Science*, N. S. 77, 390-391 (1933)
- 9) MÜLLER, D. G. : Untersuchungen zur Entwicklungsgeschichte der Braun Algae *Ectocarpus siliculosus* aus Neapel. *Planta*. 68, 57-67 (1967)
- 10) HARTMANN, M. : Untersuchungen über die Sexualität von *Ectocarpus siliculosus*. *Arch. Protistenk.*, 83, 110-153 (1934)