

マフノリおよびフクロフノリの孢子 放出と発生に関する研究*

松 井 敏 夫

Studies on the Liberation and Germination of Spores in *Gloiopeltis tenax*
(Turn.) J. Ag. and *G. furcata* Post. et Rupr.

By

Toshio MATSUI

目 次

ま え が き	90
第1章 孢子の放出	91
第1節 放出時期	91
第2節 放出経過	92
第3節 放出と潮汐周期	94
(1) 放出時刻	94
(2) 放出量	96
第4節 着生	98
第2章 孢子放出と環境要因との関係	99
第1節 露出	99
(1) 露出時刻と放出	99
(2) 露出時間と放出	102
第2節 塩分	104
(1) 塩分と放出	104
(2) 塩分と着生	108
第3節 温度	109
(1) 温度と放出	109
(2) 温度と着生	112
第4節 光	112
(1) 照度と放出	112

*水産大学校研究業績 第570号, 1969年1月10日 受理.
Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 570.
Received Jan. 10, 1969.

(2) 明暗の周期と放出時刻	112
(3) 照度と着生	114
第3章 胞子の発生	115
第1節 発生の初期過程	116
第2節 発生と環境要因との関係	116
(1) 露 出	118
(2) 塩 分	120
(3) 温 度	122
(4) 照 度	124
第4章 胞子付け方法	127
要 約	128
文 献	130
Summary	132

ま え が き

フノリ類はわが国における織物用糊料の原藻として、また食用としても古くから利用され、海藻中の重要なものの一つである。分類学上では紅藻類のフノリ科に属し、このうちには数種が含まれるが、一般にフノリと総称され、いずれも北太平洋沿岸に分布している。わが国にはマフノリ *Gloiopeltis tenax* (Turn.) J. Ag. フクロフノリ *Gloiopeltis furcata* Post. et Rupr. ハナフノリ *Gloiopeltis complanata* (Harv.) Yamada の3種がみられる(岡村, 1936)。このうち産業的に重要なのはマフノリとフクロフノリで、その総生産高は年間約2,000トン(昭和34~38年の5か年平均)である。マフノリは暖海性で伊豆諸島以南の太平洋沿岸、山口県以南の日本海沿岸に生育し、特に九州西岸に多い。フクロフノリはマフノリに比しその分布が広く、ほとんど全国にわたって生育し、特に北海道、東北地方の太平洋沿岸、九州西岸および紀伊半島沿岸で多く採取されている(岡崎, 1957)。糊料としての品質はマフノリの方が良質であるが、生産高はフクロフノリの方が多く、総生産高の約8割を占めている。

フノリ類についての研究は胞子の成熟、放出、着生、発生などの基礎的事項や実際の増殖法などについてかなり古くから行なわれている。これらのうちの主なものを述べると、まず胞子の成熟、放出時期、放出時刻および着生については、木下・渋谷(1938)、高山(1939)、新崎(1948)、須藤(1949a)、西川(1951, '62)、松井・安田(1955)、松井(1956, '57)などの報告があって、成熟、放出時期は地域によって異なるがほぼ4~6月であること、放出時刻は潮汐と密接な関係があること、胞子は岩面に接触後1分以内に着生することなどが明らかにされている。つぎに発生については大石(1917)、宮崎(1924)、大野(1932)が自然岩礁の発生体で調べているほか、猪野(1939, '47)がフクロフノリとハナフノリの胞子の発生初期過程を室内培養により研究しており、胞子の発生様式は直接盤状型で、その発生はまず座を形成し、つぎにこの座から葉体を伸出することなどを報告している。胞子の発生と生長ならびにその環境要因との関係は、フクロフノリについてのみ断片的に報告されている。すなわち木下・渋谷(1937a, b, c)が水温と干出について、新崎(1949, '53)が塩分と光について報告しているほか、金子(1939)が胞子の着生時期、着生水位およびその生長について研究している。これらのほかに群落学的な研究として神田(1947)、福原(1956, '58)、船野・長谷川(1964)などの報告がある。

フノリ類の増殖法としては古くから投石、磯掃除、採取時期の制限などの方法が広く行なわれているが、これらはいずれも胞子の着生や生育を自然に任せる消極的な方法であって、新漁場の開拓や単位面積あたり

の生育量の増加などに対してはあまり有効ではない。その後、木下(1942)は胞子の着生基物としてしゆる繩を使用した養殖法をフクロフノリについて実験し、外海性のフノリでも内湾でしかも比較的短期間に養殖できると報告している。また須藤(1949 a, b)はマフノリについて濃厚胞子液を直接生育層に散布する種まき法を試み、フノリ類においては陸上植物と同様にこの方法による養殖が期待されると報じている。

このようにフノリ類についてはこれまで多くの調査、研究がなされてはいるが、これらの多くは断片的な生態観察や増殖実験であり、そのうえ主として本邦中部以北のフノリ類を対象としたものである。近年、有用海藻の増養殖にあたって人為的に胞子付けして育成管理する方法が広く行なわれているが、フノリ類についてもこのような方法を確立させねばならない。この場合まず重要なことは健全胞子を必要とする時刻に多量採取することであり、つぎにこれらの胞子をできるだけ多く健全に育成することである。このためには胞子の放出と発生に関する基礎的知見を得ることが必要である。したがって著者は、胞子の採取方法および発生初期における好適条件を明らかにするために、胞子放出の生態観察、放出と環境要因との関係ならびに胞子の着生、発生の研究を、1954年から1966年まで下関市吉見町水産大学校で、吉見地先に生育するマフノリおよびフクロフノリを材料として行なった。またフノリ類の胞子放出に関する知見、特に干出との関係は潮間帯に生育する紅藻類として生態学上非常に興味あるところである。放出についての一部はすでに発表(松井・安田, 1955; 松井, 1956, '57, '62)したが、ここにマフノリとフクロフノリ胞子の放出と着生、発生について総合とりまとめを行なって発表する。

本稿を草するにあたり、この論文のとりまとめに際して終始ご懇切なるご指導を賜わり、ご校閲下さった九州大学家原博教授ならびに多大のご助言を頂いた九州大学沢田武男博士に衷心より感謝の意を表す。また研究期間中一方ならぬご支援助とご指導を賜わった九州大学 瀬川宗吉教授、水産大学校尾形英二博士、東京水産大学片田実教授に心からお礼を申し上げる。なお横浜女子短期大学吉田裕教授、水産大学校松井魁教授、同鶴田新生教授、同小林博博士には研究当初から終始激励と有益なご教示を頂いた。そのご厚意に対してここに深甚なる謝意を表す。さらに論文作成にあたり英文についてご教示を頂いた Atlantic Regional Laboratory (カナダ) の Dr. J. McLachlan に厚くお礼申し上げる。

第1章 胞子の放出

自然における胞子放出の生態を知ることは、種々の増養殖手段を講ずる場合、特に採苗の目的で多量の胞子を採取する場合の重要な基礎条件である。このためには胞子の放出時期、放出経過、放出時刻および着生、また潮間帯の種類については潮汐との関係についての研究が必要である。これまで紅藻類のうちテングサ類(須藤, 1950; 片田, 1955)、アサクサノリ糸状体(黒木・平野, 1955; 本田, 1962)、オゴノリ(沢田, 1958)などの有用種については、胞子の成熟、放出時期、放出周期および着生などが明らかにされており、特に放出周期については詳細に追求され、日周期や潮汐に伴う周期が報告されている。

フノリ類の胞子放出に関する研究は、これまで主としてフクロフノリについての胞子の成熟、放出時期の地域的差異であって、胞子の放出時刻、放出量、着生に関するものとしては須藤の報告(1949 a)のみである。この報告によれば、マフノリ、フクロフノリの胞子はいずれも干出した藻体がふたたび海水に浸漬した時に多く放出されるとしている。著者が下関地域において予察的に調べた結果では、マフノリ、フクロフノリにおける放出時刻が異なっており、両種とも潮汐との関係が認められた。このためマフノリ、フクロフノリの胞子放出について、まず放出時期の確認、放出経過の観察を行ない、つぎに放出時刻、放出量と潮汐との関係、さらに胞子の着生について調べた。実験は材料として下関市吉見地先の潮間帯岩礁に生育するマフノリ、フクロフノリの雌性個体と四分胞子のみをもつ無性個体を用い、1954~'64年室内で行なった。

第1節 放出時期

放出時期の調査は1954年における予備調査の結果にもとづいて、1955, '56, '64年の3~7月に行なった。

放出開始期については、3～5日ごとに同一場所で成熟個体を5個体採取し、室内で孢子放出の有無を調べ、1個体からでも放出のみられた時期を放出開始期とし、3個体以上から放出のみられた時期を放出盛期とした。さらに自然岩礁における藻体の約半数が凋落するまでを放出盛期、大部分が凋落する時期を放出終期とした。

その調査結果は第1表に示したが、放出の各時期には年によって1旬程度の相違が認められた。その各期の現場水温は10時に測定したものの平均値を付記した。この結果から両種の放出を比較すると、盛期の期間はほぼ同じであるが、開始期はフクロフノリが約1か月早い。

Table 1. Seasonal change of spore liberation in *Gloiopeltis* at Yoshimi, Shimonoseki in Japan.

Species	Spores	Season of liberation	Season of active liberation
<i>G. tenax</i>	Tetraspores	Beginning of May (17°C)— End of June (22°C)	Middle of May (19°C)— Middle of June (21°C)
	Carpospores	Middle of May (19°C)— Middle of June (21°C)	End of May (20°C)— Beginning of June (20°C)
<i>G. furcata</i>	Tetraspores	Beginning of April (14°C)— Middle of June (21°C)	Middle of April (15°C)— Middle of May (19°C)
	Carpospores	Middle of April (15°C)— Beginning of June (20°C)	End of April (16°C)— Middle of May (19°C)

()……Average water temperature of habitat at 10 o'clock a. m.

これまで各地で調査された孢子の成熟、放出時期をみると、マフノリは神奈川県三崎(須藤, 1949a)で6月上旬—7月上旬(水温19~21°C)、三重県浜島(高山, 1939)で5月上旬—中旬(水温18~19°C)、またフクロフノリは北海道江差(木下・渋谷, 1938)で6月中旬以降(水温15°C~)、三崎で5月上旬—6月上旬(水温15~19°C)、浜島で4月上旬—中旬(水温15~16°C)となっている。これらの地域と下関の結果から、フノリ類の孢子放出開始期は下関地域では三重県とほぼ同じで、神奈川県、北海道より1~2か月早い。しかしその時の水温は各地とも大差なく、マフノリで18°C前後、フクロフノリで15°C前後となっている。

第2節 放 出 経 過

フノリ類の四分孢子は、皮層中に散在する四分孢子のうの内容が第1図A—Dに示したような経過で、十字状に分裂して完熟する。果孢子はのう果内に多数作られ、そののう果は果孔をもたないで体表面に散在するが、果孢子の成熟につれて隆起が著しくなる(第1図E—H)。

このような成熟した四分孢子のうやのう果をもつ個体について、孢子の放出経過を観察した。観察は室内で3~6時間露出させた藻体を、長さ約1cmに切ってスライドグラスにのせ、少量の海水を注ぎ、カバーグラスをかけて顕微鏡下で行なった。このほかに露出させない無性個体からの放出経過も観察した。

フクロフノリの四分孢子の放出経過は、第2図A—Dに示した。まず四分孢子は分離しないまま皮層の間から体外に放出され(A)、10~30秒間は表面近くにとどまり、各孢子がしだいに膨潤してきた。次いで孢子は表面から離れながら、まず2個の孢子がいくぶん細長く変形しつつ分離し、続いて残りの2個も分かれ(B)、それぞれすぐにほぼ球形の孢子になった(C)。放出後における孢子の分離とその動き、形状変化などから、沢田(1964)がオゴノリで報告したように、四分孢子は薄い膜に包まれて放出され、その一部を破って4個の孢子に分かれるのであろう。放出後4個の球形孢子になるまでの時間は早いもので10秒、おそいもので30分以上を要したが、多くは20~40秒であった。また藻体をあらかじめ露出させなかった場合はほぼ60~70秒を要した。このような経過で分かれた四分孢子は、静置しておくとも30分間ぐらい体表面近くにあり(D)、

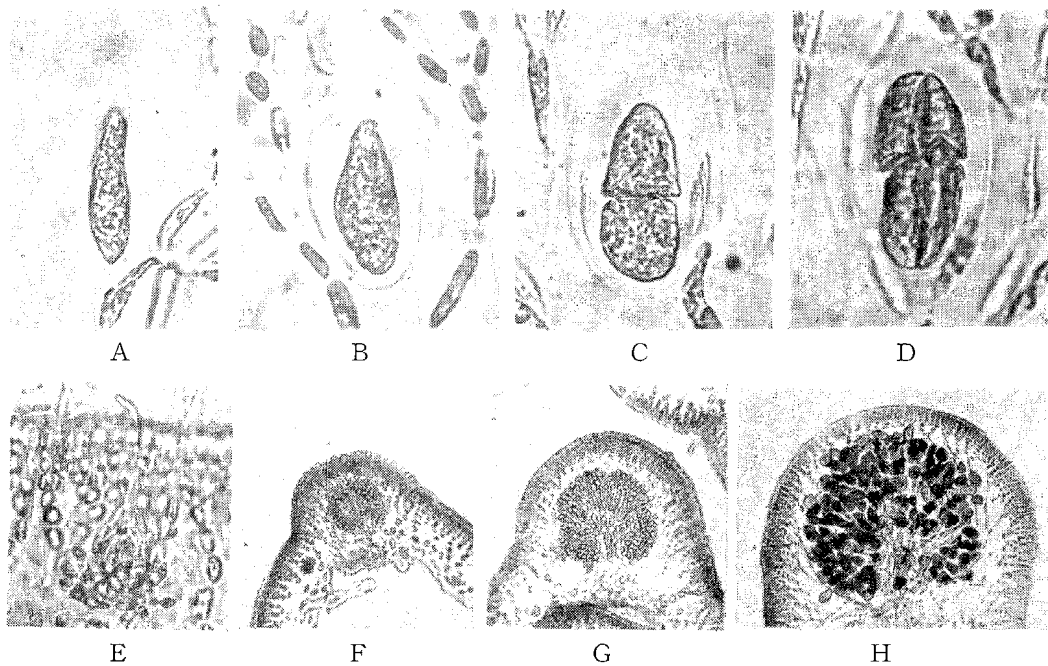


Fig. 1. Development of tetrasporangia and cystocarps in *G. furcata*. A—D, tetrasporangia ; E—H, cystocarps. A, B, E—G, immature stages ; C, D, H, mature stages. (A—D, $\times 370$; E, 240 ; F—H, $\times 50$).

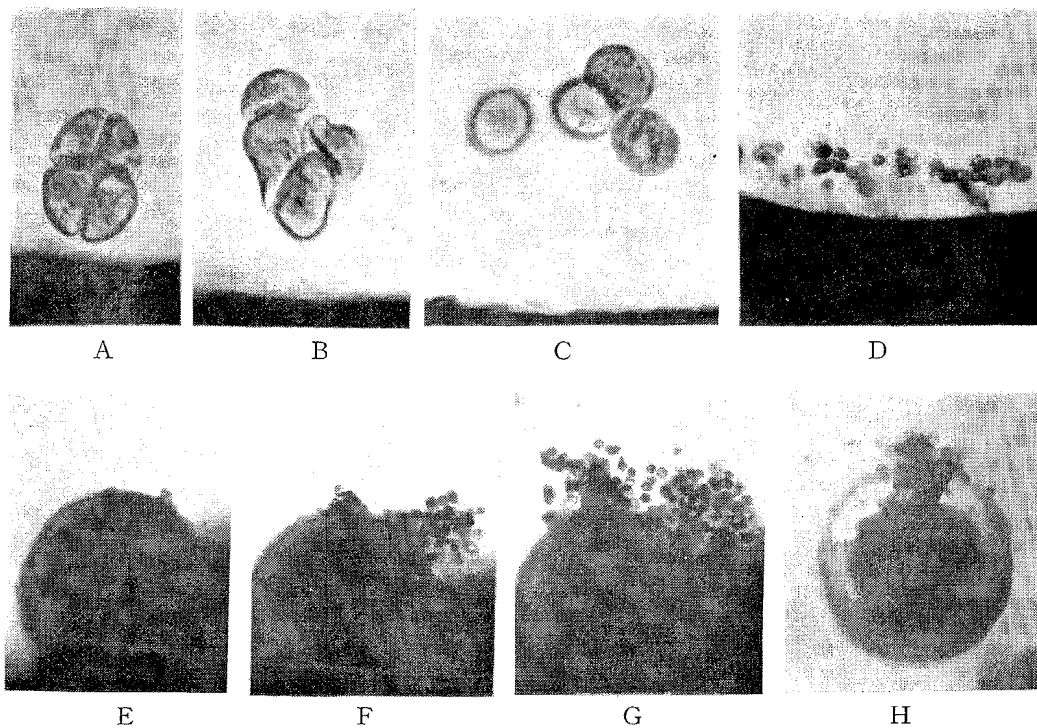


Fig. 2. Successive stages in liberation of tetraspores and carpospores in *G. furcata*. A—D, tetraspores : A, 10 seconds ; B, 20 seconds ; C, 40 seconds ; D, 10 minutes after release, respectively. E—H, carpospores : E, beginning of liberation ; F, 3 minutes ; G, 5 minutes ; H, 3 minutes (upper view) after the beginning, respectively. (A—C, $\times 300$; D, $\times 50$; E—H, $\times 40$.)

その後沈下、分散した。なおマフノリ四分胞子の放出経過もほとんど同じであった。

フクロフノリの果胞子の放出経過は、第2図E—Hに示した。フノリ類ののう果には果孔がないので、果胞子は果皮の間から1~2個ずつ多少細長く変形しながら連続的に放出された。この放出口は一定していないが、1のう果について1~3か所にみられた。1回の放出時間は10~15分の場合が多かったが、のう果内の果胞子が一度にすべて放出されることはほとんどなく、次の周期でさらに放出された。

第3節 放出と潮汐周期

自然状態におけるフノリ類の胞子放出は、潮汐による周期的な藻体の干出と密接な関係があると考えられるが、さらにはその種類個有の放出周期があって、これと干出時刻との組み合わせによるのかわからない。したがって、まず無干出状態の藻体と自然状態で干出している藻体とについてその放出時刻を室内で調べ、つぎに潮汐の半月の周期と胞子の成熟、日間放出量との関係について追求した。

(1) 放 出 時 刻

無干出状態においた場合：藻体の採取は原則として昼間における干出直前に行ない、すみやかに実験室に持ち帰り、その胞子放出の状況を調べた。まず容量200mlのビーカーの底に4cm平方のガラス板を敷き、約200mlのろ過海水を入れたものを24個準備し、つぎにこのうちの1個のビーカーの中央に藻体を浮かべて静置し、藻体を1時間ごとによくゆすって別のビーカーに移した。その間、水温は著しく変化しないように留意した。予備実験の結果、放出された胞子は底に敷いたガラス板に約2時間でほとんど沈降、着生したので、上述のビーカーは2時間以上静置したのち、ガラス板を静かにとりあげて検鏡した。胞子はガラス板に

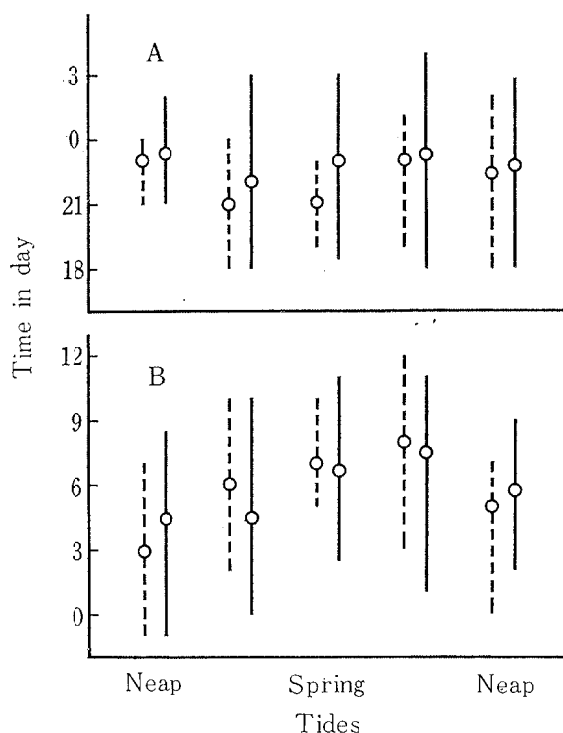


Fig. 3. Relation of the time of spore liberation to tidal periodicity, in submerged fronds. A, *G. tenax*; B, *G. furcata*. Solid line, tetraspores; dotted line, carospores; circle, peak of the liberation.

ほぼ均等に着生し、その一定面積中の胞子のみを計数した。計数にはガラス板をメカニカルステージで移動し、接眼マイクロメーターの一定幅(約350 μ)中にみられる胞子を測定し、このような操作を異なった箇所を4回行った。胞子放出量は測定面積の胞子数をビーカーの底面積に換算し、藻体1gあたりの数で表わした。

その結果、マフノリおよびフクロフノリの四分胞子、果胞子は1日のうち数時間内に多く放出され、その他の時刻にはほとんど放出されなかった。1日間の全放出量を100%とした場合、1時間内に5%以上放出されるのは24時間中4~6時間の場合が多く、マフノリで24例中15例、フクロフノリで24例中17例にみられた。また放出時刻は個体および月令によって多少異なるが、マフノリでは夕方から夜半、フクロフノリでは午前間であった。このように両種の胞子放出量には日周期的増減がみられた。

無干出状態の藻体について、放出時刻の個体差を調べた結果、最高2時間、平均1時間程度の差があり、さらに月令すなわち

潮汐の影響が異なれば4～5時間の差が認められた。このため放出時刻と潮汐の半月の周期との関係について検討した。実験例の多い1954, '55年の放出盛期における放出時刻の範囲と放出最盛時刻の平均を第3図に示した。なお放出最盛時刻とは1日のうちで放出量の最も多い時刻のことである。この図にみられるように、マフノリでは潮汐周期にほとんど関係なく21～0時の間に多くの孢子が放出された。これに対してフクロフノリの放出時刻には、潮汐周期に伴う規則的なずれが認められた。すなわち小潮時には3～5時に多量放出されたが大潮時の放出最盛時刻はほぼ7時で、その間大潮後の中潮時までその時刻が少しずつ遅れてきた。中潮時を過ぎると放出時刻はそれまでと反対に早くなった。また果孢子の放出は、両種とも四分孢子とほぼ同じ傾向であった。

干出後の場合：自然状態における放出時刻は同一場所に生育している無性個体を2～3日ごとに採取して調べた。藻体を干出のたびに3～5個体採取して実験室に持ち帰り、現地における藻体の冠水時刻に海水に

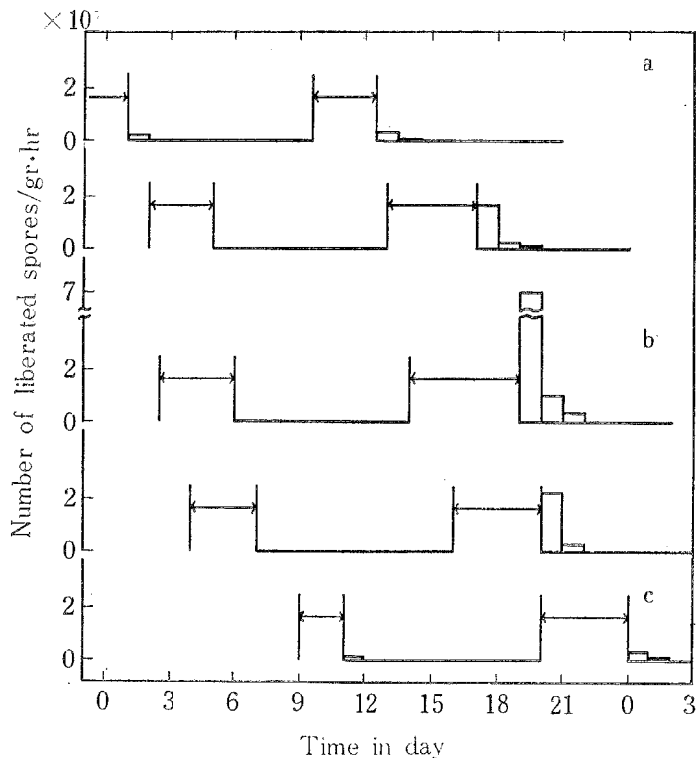


Fig. 4. Change of the number of tetraspores liberated after immersion of exposed fronds, in *G. tenax*. a and c, neap tide; b, spring tide. Horizontal arrows indicate the time and duration of exposure of the fronds in the habitat.

戻して、放出状況を前述の方法によって調べた。その時の放出量は各藻体の平均値で表わした。

実験は1956年に行ない、放出時刻にはおよそ半月ごとの周期性が認められたので、マフノリについては5月24日～6月8日の結果を第4図に示した。この図から 1) 孢子は主として干出後の上潮時に、藻体が海水に再浸漬されてから1～2時間内に放出される, 2) 放出量の多いのは大潮時で、17～20時の間に再浸漬した場合である, 3) 小潮時には放出量は少ないが、1日2度の上潮時にいずれも孢子の放出がみられることなどがわかる。

フクロフノリについて5月5日から17日までで行なった結果は、第5図のとおりである。フクロフノリの

胞子放出もおもに干出後の上潮時に限られるが、多量の胞子が放出されるのはマフノリの場合と異なり、大潮時の午前で、6～8時に再浸漬した場合であった。小潮時には1日2度の上潮時に放出がみられたが、その量はわずかであった。また果胞子の放出は両種とも四分胞子の場合とほとんど同じ傾向であった。

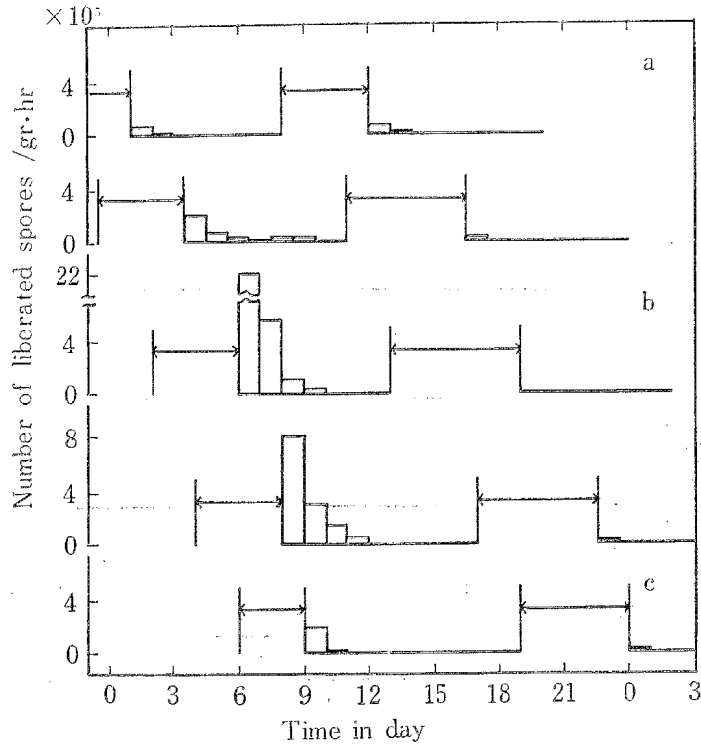


Fig. 5. Change of the number of tetraspores liberated after immersion of exposed fronds, in *G. furcata*. Other explanations the same as for Fig. 4.

以上の結果から、胞子の放出は干出の有無にかかわらず、主としてマフノリで午後、フクロフノリで午前の間に限られる。これらのことから干出は、成熟した胞子の放出をある範囲の時刻内で促進したり、抑制したりする条件の一つであると考えられる。

(2) 放 出 量

胞子の成熟周期：胞子の成熟と放出量の関係をしるために、まず四分胞子の成熟状況を調べた。四分胞子の成熟程度の判別については、胞子のうの内容が未分裂の未熟期と分裂している成熟期の2段階に分け(第1図)、胞子のうの200個について調べ、各段階別の百分率で表わした。その観察は各採取日について3個体ずつを選び、各藻体の中央部を氷結マイクロームで切片にし、皮層中に散在する胞子のうを検鏡して、その平均値でその日の成熟程度を表わした。

マフノリ四分胞子の成熟調査は1964年5月上旬～6月中旬、フクロフノリについては同年5月上旬～下旬に行なった。胞子の成熟には両種とも約半月ごとの周期が認められたので、その結果を潮汐周期との関連について第6図に示した。この図にみられるように、両種とも四分胞子のうの2段階の組成は潮汐に伴って変動し、成熟期の胞子のうの割合が小潮時には10～20%であるのに対し大潮時には60%を占めた。大潮時を過ぎると成熟胞子のうはしだいに減少した。

放出量：両種の孢子放出量と潮汐との関係は1954～'56年に検討した。その方法は3～4日ごとに藻体を5個体ずつ採取し、各藻体の孢子放出量を前述の方法で計数し、1日間の合計を日間放出量とした。

日間放出量の変動は潮汐周期に合わせて3年間の結果をまとめ、放出量の範囲とその平均値を図示した(第7図)。この図によれば、放出量の多い個体は潮汐周期と関連して出現し、マフノリでは5月の大潮時の数日後、6月の大潮時、フクロフノリでは4月の大潮時の数日後、5月の大潮時に多い。その孢子放出量は両種とも藻体1gあたり最高 $2\sim 3 \times 10^6$ 個、平均 $1\sim 2 \times 10^6$ 個であった。これに対して小潮時の放出量はいずれもわずかであった。果孢子についても短期間の調査結果であるが、同じような潮汐に関連した放出量の時期的ならびに量的変動が認められた。

このようにマフノリとフクロフノリの孢子の成熟、放出量にはほぼ半月ごとの周期の存在が明らかになり、両種と

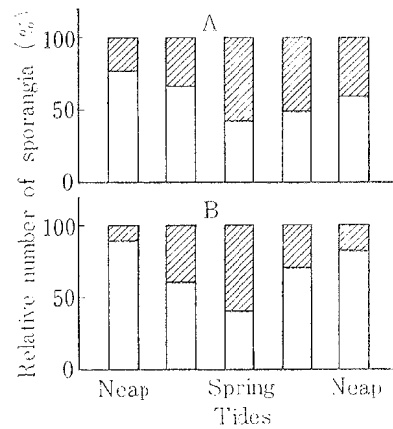


Fig. 6. Change of relative number of mature and immature sporangia to tidal periodicity, in the season of active spore liberation. A, *G. tenax*; B, *G. furcata*. Shaded, mature sporangia; hollowed, immature sporangia.

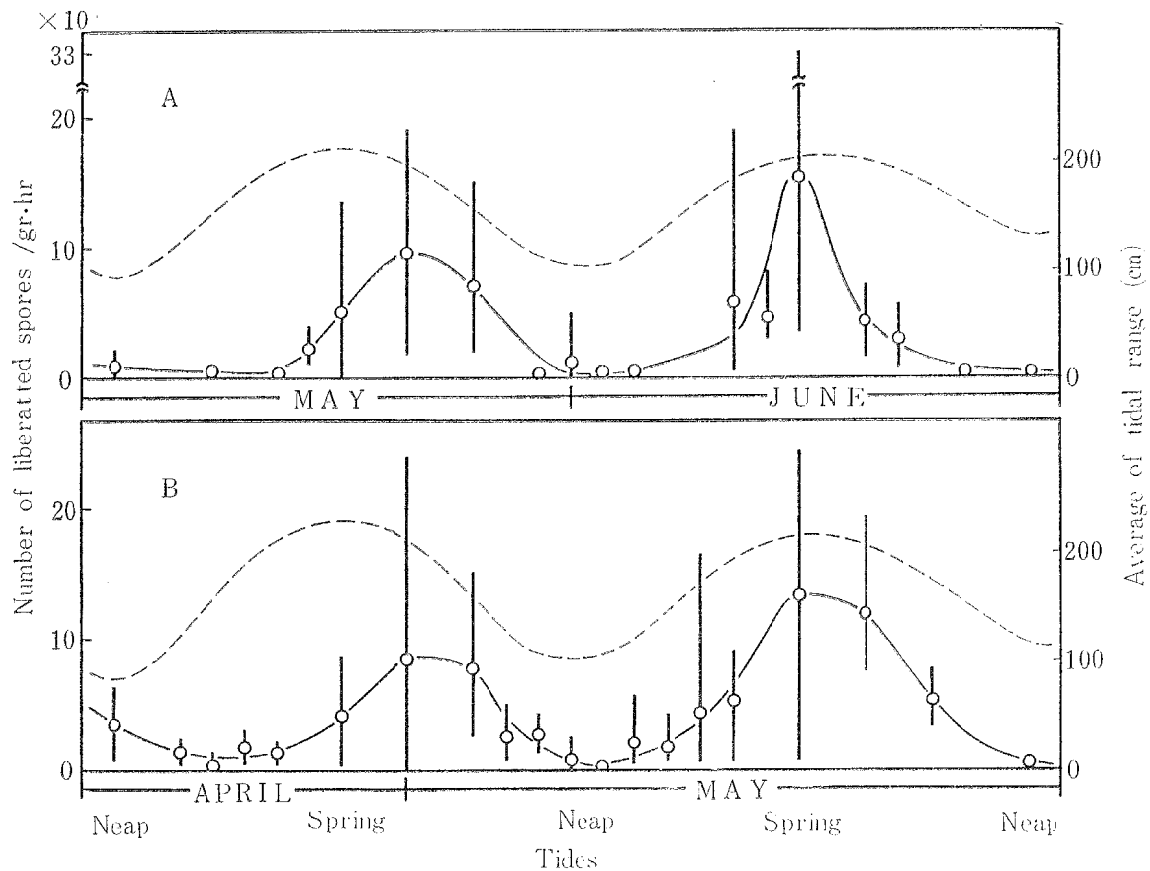


Fig. 7. Change of the total number of tetraspores liberated in a day to tidal periodicity. A, *G. tenax*; B, *G. furcata*. Circle, average number of liberated spores; dotted line, tidal range.

もほぼ大潮時に成熟個体が多く、多量の胞子が放出された。

自然状態における両種の放出状況をまとめてみると、マフノリの胞子は5～6月に、フクロフノリの胞子は4～6月に成熟、放出がみられ、この時期のうち大潮時に放出量が多く、その1日のうちでも上潮時に多く放出される。

第4節 着 生

胞子は藻体から放出されると、海水中を浮遊しつつ沈降して基物に着生する。ここでは胞子の沈降速度、着生に要する時間、着生時における胞子の形状変化について検討する。

沈降速度：胞子の放出時刻ごろに4時間露出させておいたマフノリ無性個体を、ガラス製の角筒（3×3×13 cm）中のろ過海水に浸して胞子を放出させ、浸漬後20～40分間に沈降する胞子のうち80個の速度を、水平に固定した顕微鏡によって測定した。その際の海水温は21°C、塩分濃度は35%であった。その結果、胞子が1 mmを沈降するのに最高73秒、最低36秒、平均約54秒を要した。このように沈降速度が極めておそいので、胞子は水のわずかな動揺によっても影響され、自然の海水中では海水の流動によって広く散布されるであろう。

着生に要する時間：実験はマフノリおよびフクロフノリの四分胞子について行なった。まず、放出時刻ごろに約4時間露出させておいた藻体を、海水に約30分間浸漬し胞子を放出させて濃厚胞子液を調製した。つぎに、スライドガラス上に直径約1 mmの円を描き、この円を目標に胞子液の一滴を滴下した。30秒～5分間静置してのち、この特定部分内の胞子数を数え、次いでこのスライドガラスを海水中で静かに水洗して、残った胞子数を計数して着生率を求めた。この測定は各静置時間について5回ずつ行なった。

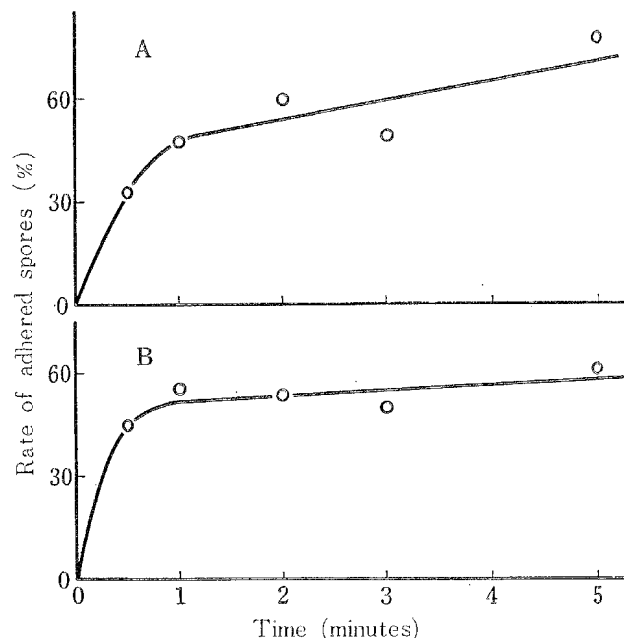


Fig. 8. Increase of the number of adhered tetraspores in the course of the time of contacting with glass surface. A, *G. tenax*; B, *G. furcata*. Water temperature: A, 24～26°C; B, 21～22°C.

静置時間と胞子の平均着生率との関係は第8図のとおりである。両種の胞子はいずれも静置時間すなわち基物に接する時間が長くなるにつれて多く着生したが、特に1分以内の短時間で着生するものが多かった。

着生時における孢子の形状変化：前述のような方法でマフノリの孢子液を調製し、細かくほぐしたクレモナ繊維をその中に浸漬し、1分ごとにその1部をとり出して繊維に着生している孢子を側面から観察した。マフノリの孢子は基物に着生する場合、第9図にみられるように、基物に接触する部分が数分間にやや扁平になり、最も変形したもので楕円体程度になった。

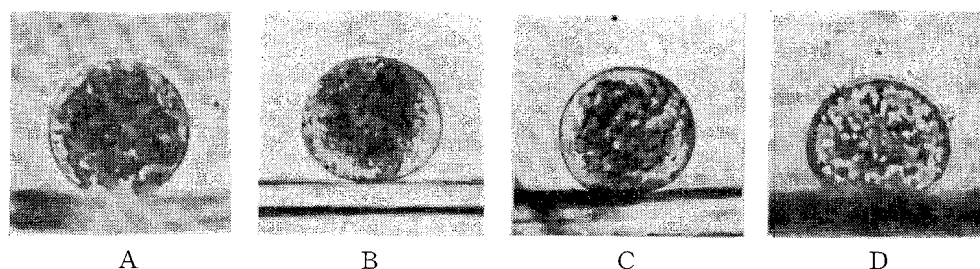


Fig. 9. Change of tetraspore-shape in the course of adhering to substratum, in *G. tenax*. A, 1 minute; B, 3 minutes; C, 10 minutes; D, 2 hours after contacting with substratum, respectively. ($\times 650$.)

第2章 孢子放出と環境要因との関係

自然状態における孢子の放出は、内在的な生物的要因と外部の環境要因とによって起るものと考えられる。したがって放出と環境要因との関係を明らかにすることは、孢子放出の機構と効果的な孢子の採取方法を究明するために非常に重要である。フノリ類の孢子放出と環境要因との関係については、これまで須藤(1949a)が孢子の放出条件として藻体の乾燥をあげている例がみられるほか、新崎(1948)が放出量と塩分について調べているにすぎない。

潮間帯に生育しているマフノリおよびフクロフノリの孢子放出は、前章で述べたように潮汐周期、特に周期的な干出と密接な関係がある。このため放出と干出との関係を詳しく調べた。干出は藻体が単に空気中に露出するのみでなく、同時に乾燥、塩分、温度、光、振動などの環境的变化を伴う。したがって放出と着生におよぼす干出の影響を知るために、これらの諸要因の影響について検討した。このうち、振動については藻体を振幅5cmで毎分40回上下に動かし、放出時刻と放出量を調べた結果、いずれも静置した場合とほぼ同じであった。これらの実験は主として1954~'66年の放出盛期に行ない、材料は下関市吉見地先の潮間帯岩礁に生育しているマフノリおよびフクロフノリの四分孢子のみをもつ無性個体で、干出前に採取したものをを用いた。

第1節 露 出

藻体を数時間空気中に露出させ、再び海水に戻すことによって多量の孢子が放出されることは、すでにワカメ(木下, 1944)、オゴノリ(瀬川等, 1955a)で知られているが、フノリ類では干出後の上潮時に放出されない場合もある。孢子放出におよぼす露出の影響は、放出時刻と露出時刻、露出時間の長さとの関係によって異なるから、放出と露出との関係はまず露出時刻の影響を調べ、つぎにこの結果から露出後に多量の孢子が放出される時刻を求め、露出時間の長さとの関係について検討した。

(1) 露出時刻と放出

藻体の露出時刻と孢子放出の関係は、露出時間の長さを一定にして実験を行なった。1個の藻体を基部で分け、それをほぼ同量の5~7群として実験に用い、その1群を海水に浸漬した状態で対照区とし、他は時刻を少しずつずらして露出させた。その露出は藻体表面の水をろ紙でよく拭い、直射日光のあたらない窓辺

に置き、マフノリで4時間、フクロフノリで4～5時間行なった。その際の藻体は表面の水けがなくなるが、柔らかな状態であった。放出量の測定は前章で述べた方法で行なった。

露出時刻と放出時刻：露出時刻の違いによるマフノリ胞子の放出時刻の変化は1955年5月25～26日に調べた。実験区としてa～gの7区を設け、露出後海水に再浸漬する時刻を対照区(a)における放出最盛時刻のそれぞれ15(b), 13(c), 9(d), 3(e)時間前および2(f), 7(g)時間後とした。その結果は第10図のとおりで、放出最盛時刻より15時間前に再浸漬したb区では、その直後に胞子はほとんど放出されず、大部分が対照区(a)よりわずかに遅れて放出され、露出による放出時刻の大きな変動はみられなかった。しかし13時間前のc区では、再浸漬直後に少量の胞子が放出され、それより11～15時間後により多く

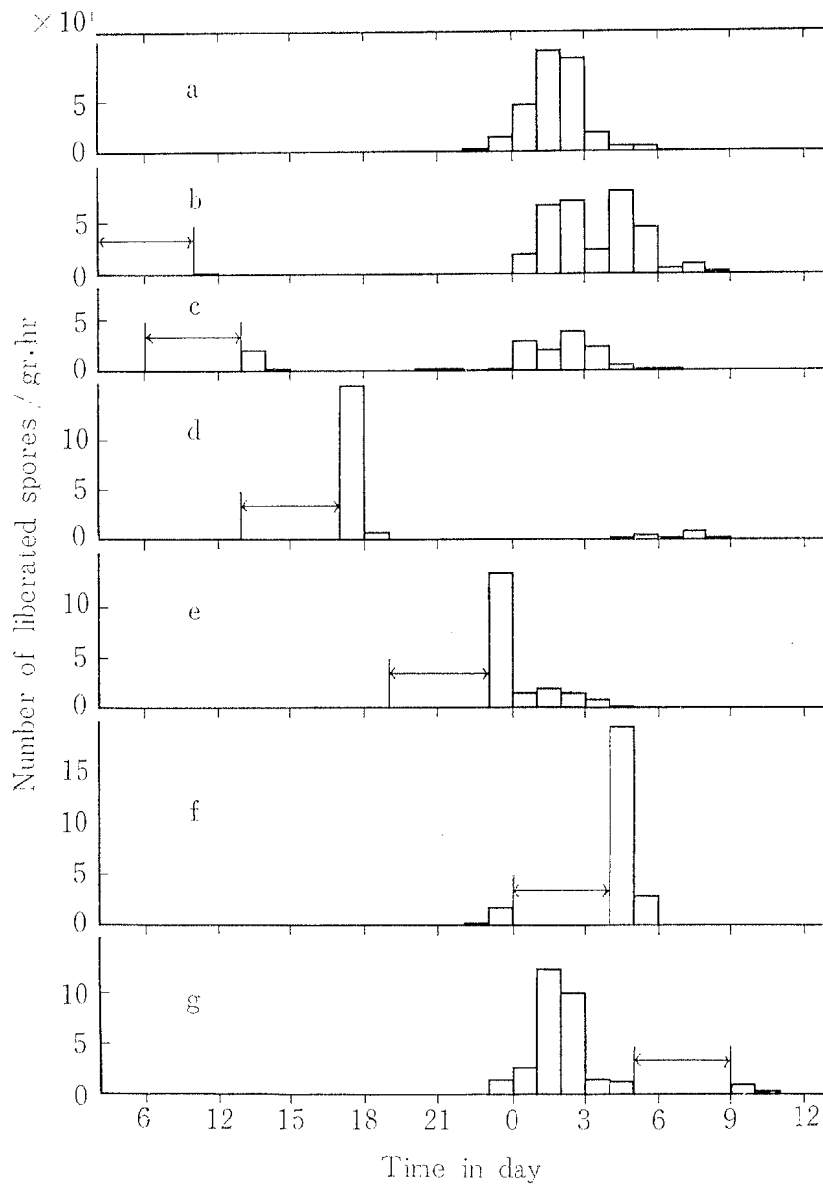


Fig. 10. Effect of the time of exposure of the fronds on the tetraspore liberation in *G. tenax*. Water and air temperature, 18~21°C. Horizontal arrows indicate the time and duration of exposure.

放出された。再浸漬時刻がが対照区 (a) の放出時刻に近くなれば、その直後の放出量も多くなり、9時間前 (d)、3時間前 (e) では、再浸漬後の1時間内に日間放出量の大部分にあたる胞子が放出された。また2時間後の f 区では、放出時刻に露出させたため胞子放出が抑制され、再浸漬によってこれが一度に放出されたものと思われる。多くの胞子が放出されてから露出させた g 区では、多量の放出はみられなかった。

マフノリについての露出時刻と放出時刻の関係は、このほかに4回の実験を行なったが、いずれも上述の結果と同じ傾向であった。これらの結果から、マフノリの胞子放出は藻体の露出によって早められ、日間放出量の50%以上が浸漬のままより9~11時間早く、しかも短時間内に放出されることが明らかになった。し

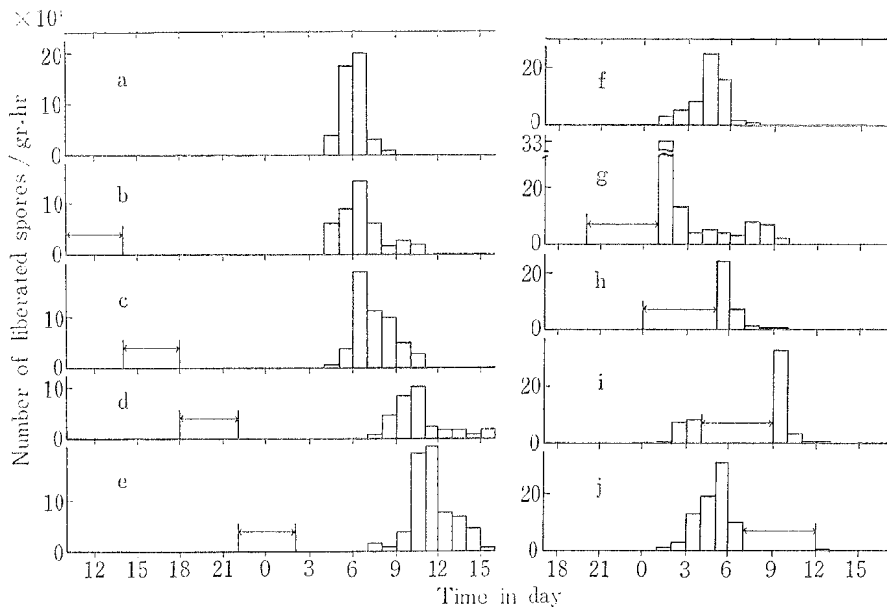


Fig. 11. Effect of the time of exposure of the fronds on the tetraspore liberation in *G. furcata*. Water and air temperature : a—e, 11~16°C ; f—j, 18~23°C. Other explanations the same as for Fig. 10.

たがってマフノリでは、放出時刻前後の約半日の間ならば4時間程度の露出処理によって胞子の放出を調節することができる。

フクロフノリ胞子の放出時刻と露出時刻の関係は9回の実験を行なったが、いずれも同じ傾向であったので、放出時刻前の露出および放出時刻内の露出についての1例ずつを第11図に示した。このうち放出時刻前の露出実験 (a~e) は1966年4月19~20日に行ない、各区の再浸漬時刻を対照区 (a) の放出最盛時刻よりそれぞれ 16 (b)、12 (c)、8 (d)、4 (e) 時間前とした。この結

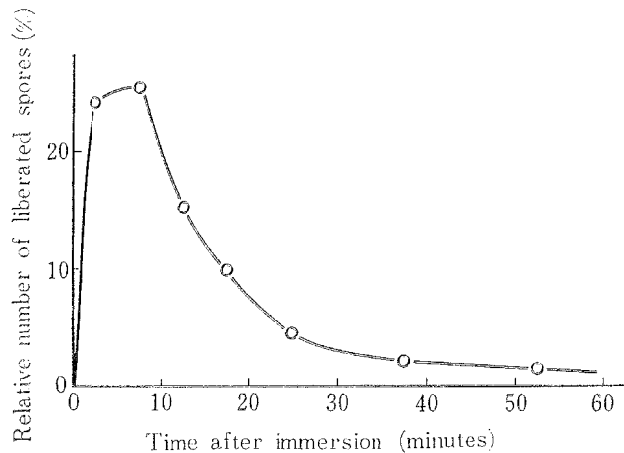


Fig. 12. Change of the number of tetraspores liberated immediately after immersion of the exposed fronds in *G. tenax*.

果、フクロフノリの孢子放出はマフノリの場合と異なり、露出によって遅らされた。すなわち16時間前に再浸漬したb区では、対照区(a)とほぼ同時刻に放出されたが、露出時刻が放出時刻に近づくにつれてその後の放出はしだいに遅れ(c, d)、4時間前のe区では対照区(a)より約5時間遅れて放出最盛時刻になった。全実験からみて、フクロフノリでは露出した藻体を放出最盛時刻より6~15時間前に再浸漬すれば、その10~13時間後に多量の孢子が放出される傾向があった。

放出時刻ごろの露出実験は1955年5月19~20日に行なった。その結果は第11図f~jに示したように、放出が始まってから藻体を再浸漬すれば、フクロフノリにおいてもその後の1時間内に日間放出量の50%以上の孢子が放出された。これらのうち放出最盛時刻の3時間前に再浸漬したg区では、露出により放出が多少早められた。j区のように放出終了後に露出させても、再浸漬時にはほとんど放出されなかった。このように、フクロフノリでは放出時刻ごろの比較的狭い範囲の時刻内においてのみ、再浸漬時に多量の孢子放出がみられた。しかしフクロフノリでは6~15時間前の露出によっても放出時刻が遅らされることから、4~5時間の露出を1日に2回行なうことによって、午前の間ならば孢子の放出時刻を調節することができる。

再浸漬時の放出は兩種ともほぼ2時間内に終るが、孢子液を調節する場合は孢子の活力の減退、容器に付着する孢子の増加などのため、藻体の浸漬時間をできるだけ短くすることが望ましい。このためマフノリについて再浸漬直後の放出量の経時変化をより詳しく調べてみた。その結果は第12図に示したように、藻体を海水に再浸漬してその10分以内に多量の孢子が放出され、30分以内に大部分が放出されることが明らかになった。

以上のように、藻体の露出は孢子の放出時刻を変化させ、多量の孢子を短時間にまとめて放出させる。放出時刻に藻体を露出させると放出が時刻的に遅れることはマクサ(片田, 1955)、アサクサノリ糸状体(本田, 1962)などで観察されているが、マフノリとフクロフノリは露出時刻によっては早められることが明らかになった。したがって4~5時間の露出を1日に1~2回行ない、その時刻を調節することによって、マフノリでは午後、フクロフノリでは午前の任意の時刻に多量の孢子を採取することができる。

露出時刻と日間放出量：孢子の日間放出量が大潮時に多く小潮時に少ないのは、露出の有無や露出の時刻に関係があると考えられるので、同じ藻体について露出時刻と日間放出量の関係を数日間連続して調べた。しかしその結果、兩種とも放出量は露出時刻の違いによってほとんど影響されず、人為的に藻体を露出させても、日間放出量を増加させることは困難であった。

(2) 露出時間と放出

孢子の放出時刻におよぼす露出の影響は、露出時刻によるほか露出時間の長さによっても異なると考えられる。前述の結果から明らかなように、4~5時間の露出処理によって孢子の放出時刻を調節しても、マフノリの孢子におもに午後の方に、フクロフノリのそれは午前の方にのみ放出され、露出時刻による放出時刻の調節には限界がみられた。このため露出時間をかえて任意の時刻に効果的に孢子を得るための好適露出時間について検討した。すなわち兩種について放出の始まる時刻を予定して、それ以前に1~8時間の露出を与えた場合と、その時刻を露出の開始時として6~18時間の露出を与えた場合についてその後の放目を調べた。

放出時刻前に露出させた場合：放出時刻前の露出時間とその後の放出については、1個の藻体を基部付近よりほぼ同量の6群に分け、そのうちの1群を海水に浸漬したままで対照区とし、他を露出させた。露出させた藻体は対照区の放出が始まる時刻に同時に海水に再浸漬し、それまでの露出時間がそれぞれ1.5, 2.5, 4.5, 6.5時間となるようにした。なお、この露出は一定濃度の硫酸で空気中の湿度を平衡させた相対湿度75%および50%のデシケーター中で行ない、藻体の生重量に対する蒸発水分量を再浸漬直前に測定して、藻体の乾燥度を表わした。

マフノリの実験は1964年5月29~30日に行なった。このうち湿度75%における結果は第13図のとおりで、1.5時間の露出では放出がわずかに早められたが(b)、2.5時間では放出が著しく早められ、再浸漬後2時間内に日間放出量の70%以上の孢子が放出された(c)。また4.5時間(d)、6.5時間(e)の露出では、6

～10時間後にも少量の放出がみられたが、大部分の胞子が再浸漬直後に放出された。しかし8.5時間の露出(f)では、再浸漬直後の放出量が減少し、8～12時間後に多く放出された。湿度50%での露出実験では藻体の乾燥度が2.5時間で約40%、6.5時間で約60%にもなったが、その後の放出状況は湿度75%での結果とほぼ同じであった。

フクロフノリについては1964年5月27日に実験した。湿度75%における結果は第14図のとおりで、いずれも再浸漬時刻を放出時刻内としたため、再浸漬直後に最も多くの胞子が放出された。しかしその放出量が日間放出量の50%以上であるのは1.5～6.5時間露出させたb～e区で、8.5時間のf区では日間放出量が少なくなり、しかも再浸漬直後よりもその4～10時間後に多く放出された。湿度50%における露出実験では1.5～4.5時間の露出(藻体乾燥度20～60%)後の再浸漬直後に多くの胞子が放出されたが、露出が6.5時間になると(乾燥度約70%)再浸漬直後の放出量は減少し、8.5時間では放出が全くみられなかった。

放出時刻前における露出時間と放出量の関係をまとめてみると、マフノリの胞子が多量に放出されるのは、藻体の乾燥度が3～60%の2～7時間の露出後である。一方フクロフノリの胞子放出には2～5時間の露出で20～60%乾燥が適当であると考えられる。

放出時刻前から露出させた場合：胞子の放出が始まる前に藻体を露出させ、放出時刻内および時刻後に海

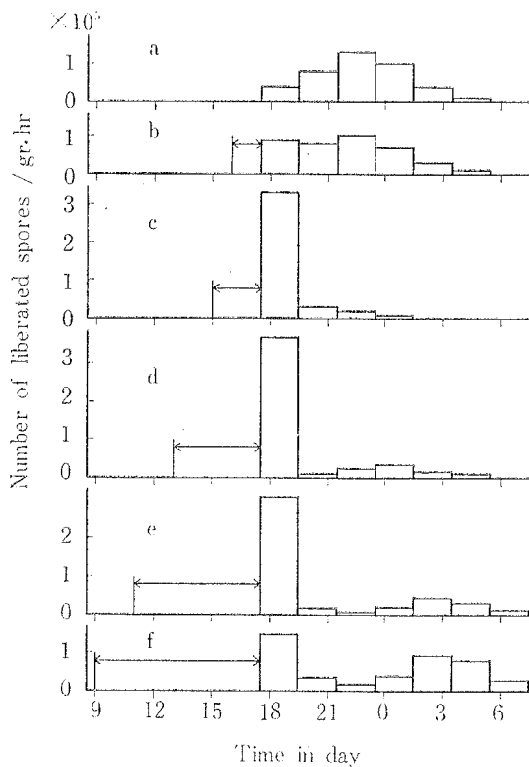


Fig. 13. Effect of the duration of exposure of the fronds on the tetraspore liberation in *G. tenax*. Each exposure was given under 75% relative humidity before the liberation occurs. a, no exposure (control); b-f, exposures are indicated by horizontal arrows. Water temperature, 19～20°C; air temperature, 20～23°C. Degree of desiccation of the fronds: a, 0%; b, 2%; c, 4%; d, 17%; e, 27%; f, 36%.

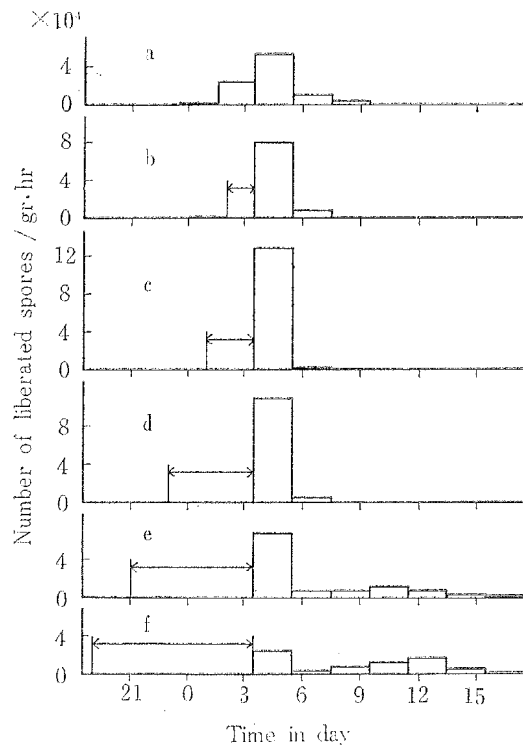


Fig. 14. Effect of the duration of exposure of the fronds on the tetraspore liberation in *G. furcata*. Water temperature, 18～21°C; air temperature, 19～23°C. Degree of desiccation of the fronds: a, 0%; b, 3%; c, 16%; d, 22%; e, 32%; f, 40%. Other explanations the same as for Fig. 13.

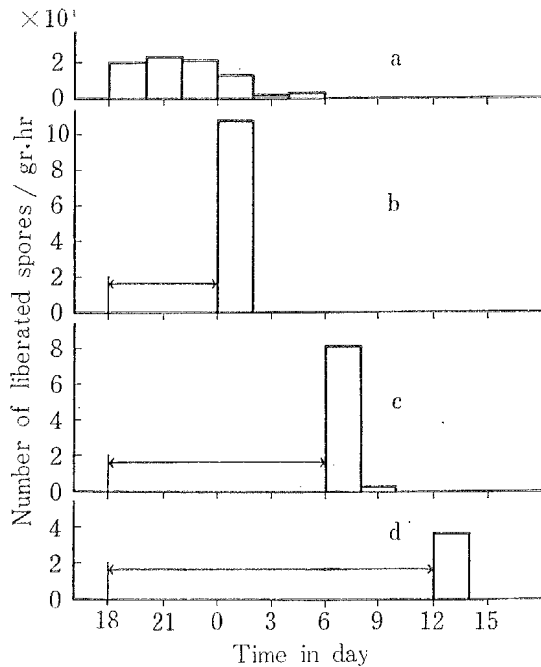


Fig. 15. Effect of the duration of exposure of the fronds on the tetraspore liberation in *G. tenax*. Each exposure was started around the beginning of the liberation. Water temperature, 18~24°C; air temperature, 18~25°C. Degree of desiccation of the fronds: a, 0%; b, 23%; c, 36%; d, 45%. Other explanations the same as for Fig. 13.

水に再浸漬した時の露出時間と放出量について検討した。この実験には1個の藻体を基部付近よりほぼ均等に4分して用い、湿度75%のデシケーター中で6, 12, 18時間露出させる区と浸漬状態の対照区を設け、それらの放出状況を前項までと同じ方法で調べた。

マフノリについての実験は1965年6月14~15日に、フクロフノリについては1966年4月20日に行なった。マフノリの結果は第15図のとおりで、6, 12時間露出のb, c区では再浸漬直後に多量の孢子が放出されたが、18時間露出のd区では放出量が約 $1/3$ に減少した。またフクロフノリの結果もマフノリとほぼ同じ傾向で、12時間以内の露出ならば再浸漬直後に日間放出量の大部分が放出されたが、18時間露出後ではその量がやや減少した。なおこれらの孢子の大部分は健全で、その後の培養において正常な発生を行なった。

このような長時間の露出処理は、マフノリの孢子を午前、フクロフノリの孢子を午後に出させるための1方法である。しかしこの場合には藻体の乾燥度が問題になる。フノリ類は一般に乾燥に強い (Muenscher, 1915; 新崎, 1949) が、1日間以上露出させた時の放出量は藻体の乾燥度合によって異なるので (松井, 1959)、長時間の露出処理で放出時

刻を調節するには、藻体表面の水けがなくなり、なお柔らかな状態に乾燥させるのが適当であると考えられる。

第2節 塩 分

藻体周辺の海水は干出に伴って著しく塩分濃度に変化する。すなわち干出すると藻体付着の海水は水分蒸発によってひどくに濃縮され、降雨の場合には淡水に近い低塩分に稀釈される。このような塩分変化は孢子の放出に大きな影響をおよぼすと考えられる。一般に塩分変化の孢子放出におよぼす影響は、塩分濃度差と塩分変化を受ける時刻によって異なるものと思われる。このため塩分と放出の関係は、孢子の放出が始まる数時間前に塩分変化を与えた場合、放出開始ごろに塩分変化を与えた場合、藻体をあらかじめ塩分の異なる海水に浸漬し、放出開始ごろに現場海水に戻した場合について調べた。また孢子の着生と塩分についても検討した。

(1) 塩 分 と 放 出

塩分と孢子放出の関係は1個の藻体をほぼ同量の数群に分け、そのうちの1群を生育現場で採取した海水 (以下この海水を単に現場海水と呼ぶ) に浸漬して対照区とし、他の群には塩分変化を与え、それらの放出状況を観察した。塩分の異なる海水の調製は、濃度の低いものは現場海水を蒸留水で稀釈し、高めるには煮沸、濃縮して行ない、その濃度段階を塩分0, 9, 17, 26, 35, 43, 52, 60, 69%とした。放出量は前章で

述べたと同じ方法によって測定した。

放出時刻の数時間前に塩分変化を与えた場合：マフノリについては1964年6月8日の12時ごろに藻体を採取し、現場海水に浸漬したまま実験室に持ち帰り、13時に塩分の異なる海水に浸漬してその後の放出を調べた。その結果は第16図のとおりである。この図によって明らかなように、現場海水との塩分濃度差が大きくなるほど放出の遅れや放出量の減少がみられた。すなわち藻体を塩分35‰の現場海水から塩分17‰に移した場合と塩分52‰に移した場合には、放出がわずかにおそくみられる程度にすぎなかったが、塩分69‰に移した場合は放出量が非常に少なく、周期も不明瞭になった。また塩分35‰から淡水に移した場合は放出がほとんどみられなかった。他の実験結果によると、塩分35‰の海水から26‰および43‰に移した場合は塩分35‰の現場海水とほぼ同じ放出経過をたどり、塩分60‰では52‰と69‰の中間の放出傾向を示した。また塩分9‰に移した場合には放出量が非常に少なく、放出もやや遅れる傾向がみられた。

フクロフノリについてはこれと同様な実験を3回行なったが、いずれもマフノリの結果とほぼ同じであったので、1964年4月24～25日に行なった実験結果のみを第17図に示した。この図にみられるように、藻体を塩分35‰から17～52‰の各塩分に移した場合はいずれも放出量が多く、これより高塩分や低塩分に移した場合には放出量の減少や放出の遅れがみられた。

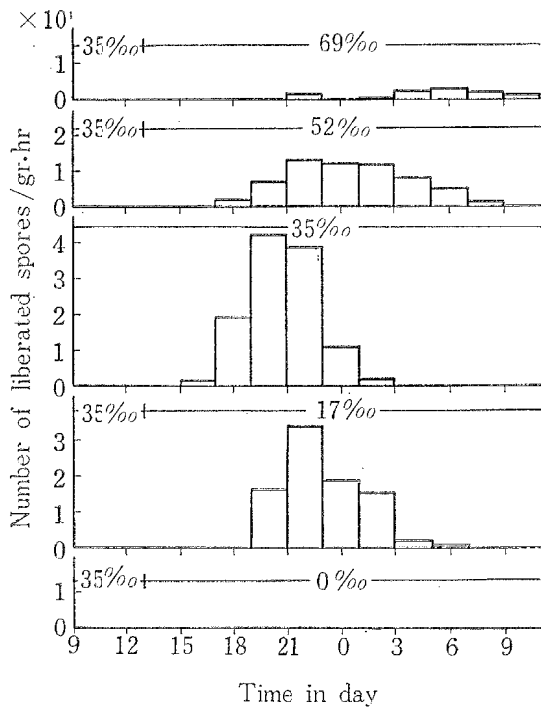


Fig. 16. Effect of the change of salinity on the tetraspore liberation in *G. tenax*. The changes were given about 2 hours before the liberation occurs. Water temperature, 20~22°C.

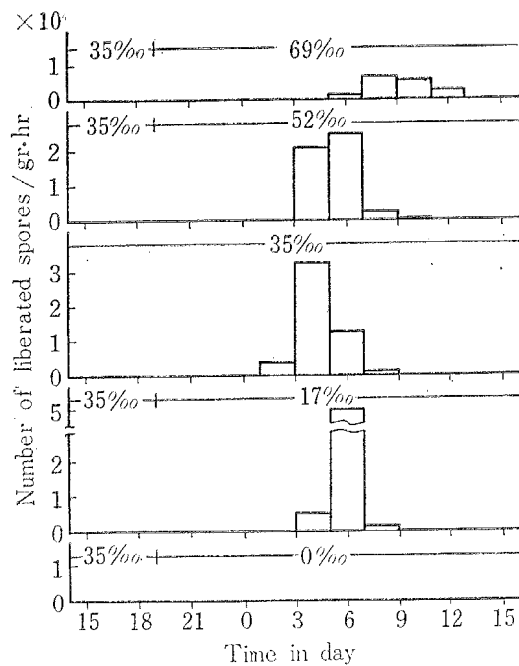


Fig. 17. Effect of the change of salinity on the tetraspore liberation in *G. furcata*. The changes were given about 6 hours before the liberation occurs. Water temperature, 16~20°C.

以上のように、放出時刻前の藻体を塩分35‰の現場海水から塩分の異なる海水に移しても、両種の胞子放出は早められないが、塩分17～52‰の海水に移した場合、すなわち±17‰以内の塩分濃度変化では多量の胞子が放出されることが明らかになった。

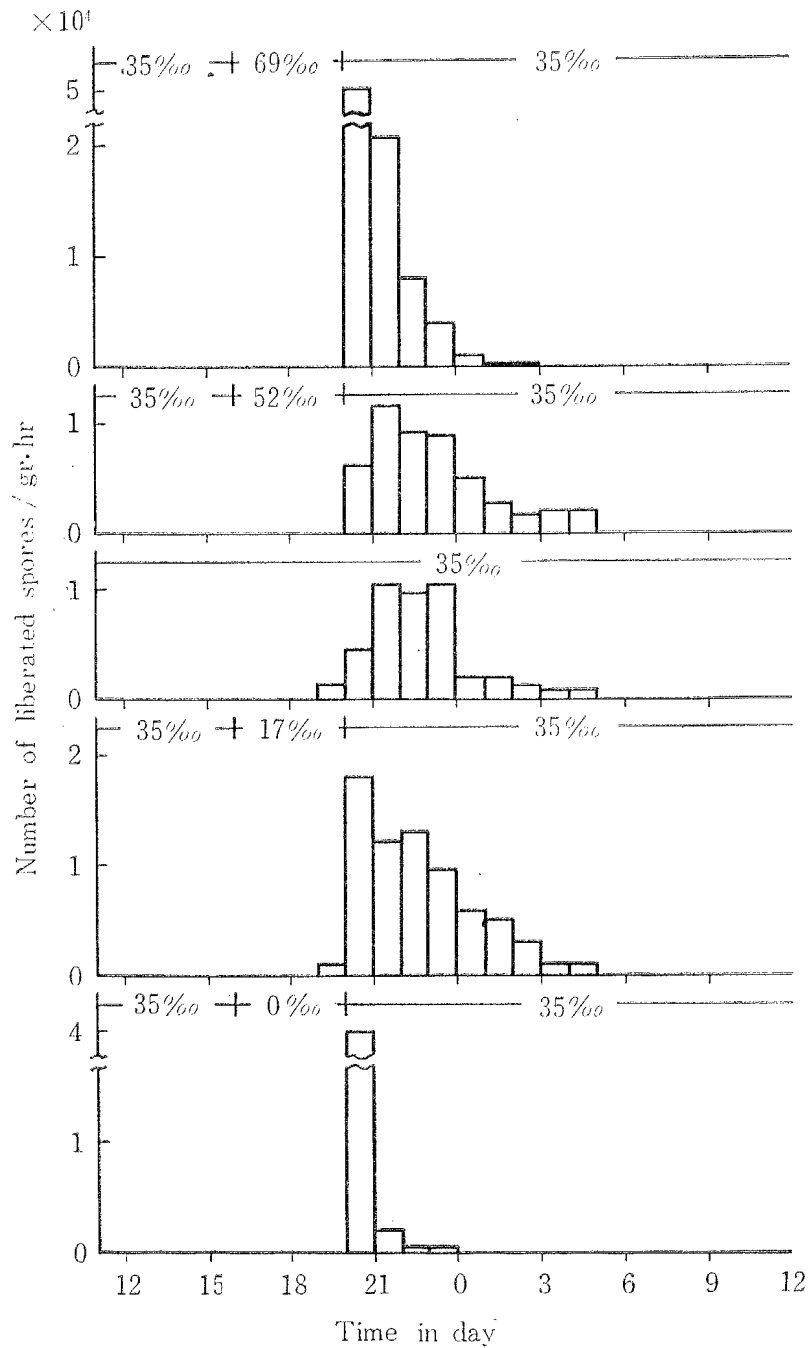


Fig. 18. Effect of the change of salinity on the tetraspore liberation in *G. tenax*. The changes were given about 3 hours before the liberation occurs, and after 4 hours' immersion the fronds were brought back to the previous salinity (35‰). Water temperature, 16~22°C.

放出開始ごろに塩分変化を与えた場合：胞子放出の直前または直後の藻体を、現場海水から塩分の異なる海水に移してその後の放出を調べた。しかしその結果は兩種とも前述の実験とほぼ同じで、塩分変化による放出の促進はみられず、塩分35‰から60‰以上や9‰以下に移した場合には放出の遅れや放出量の減少がみられた。なお塩分69‰のような高塩分海水や淡水に浸漬した藻体は胞子放出が極めて少ないが、現場海水に戻せばその直後に抑制されていた多量の胞子が放出された。

塩分変化を与えてのち放出開始ごろに現場海水に戻した場合：藻体をあらかじめ各塩分の海水に浸漬し、胞子の放出開始ごろに現場海水に戻して放出の変化を調べた。この場合、各塩分への浸漬時間は自然の干出

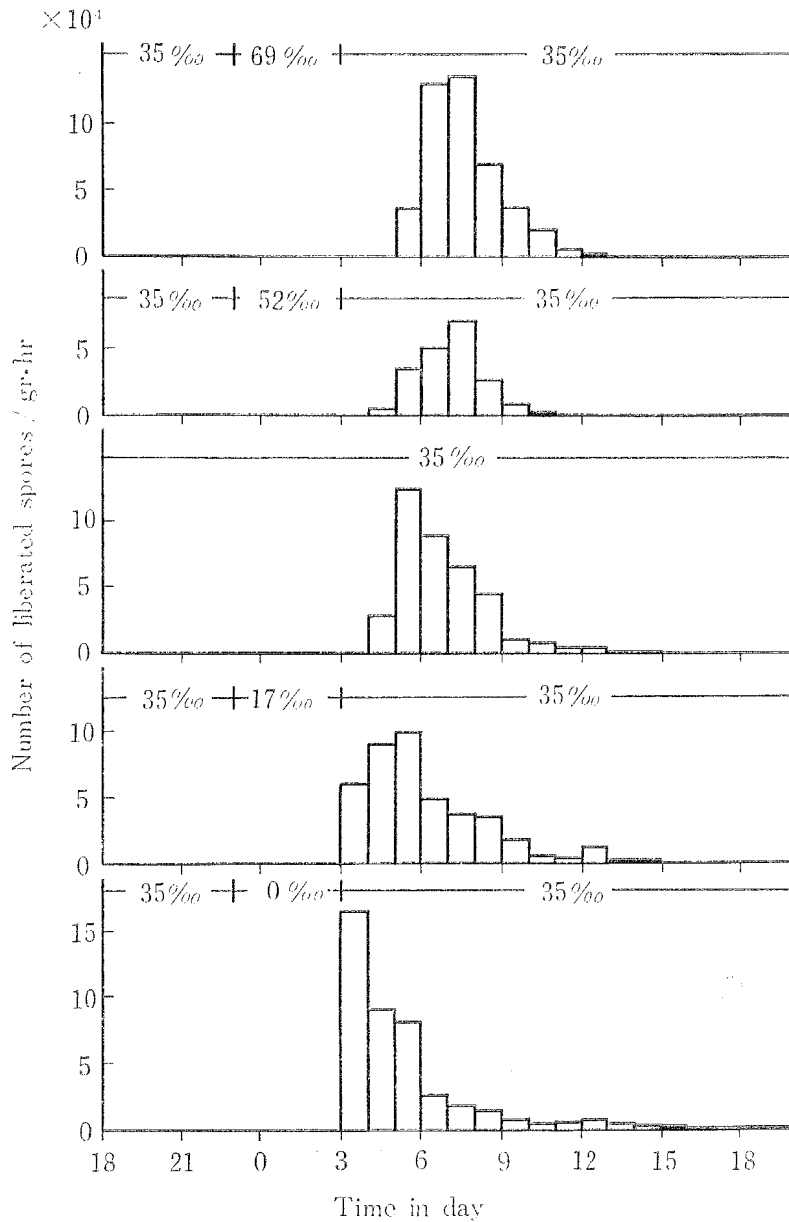


Fig. 19. Effect of the change of salinity on the tetraspore liberation in *G. furcata*. The changes were given about 5 hours before the liberation occurs. Water temperature, 10~14°C. Other explanations the same as for Fig. 18.

時間を考慮して4時間とした。マフノリの実験は1966年5月23~24日に行ない、その結果は第18図に示した。この図によって明らかなように、マフノリの孢子放出は藻体を現場海水から低塩分または高塩分の海水、さらに現場海水に戻す処理によって早められた。その影響は現場海水との塩分濃度差が大きいほど著しく、また低塩分から現場海水に戻した方が高塩分からより大であった。すなわち塩分69%の海水から塩分35%の現場海水に戻した場合はその後の1時間内に日間放出量の半分以上が放出された。低塩分についてみると、塩分17%から35%に戻してもわずかに放出が早められ、淡水処理では大部分の孢子が35%の現場海水に戻した直後に放出された。

フクロフノリについても1964年4月13~14日にマフノリと同様な実験を行なった。その結果は第19図のとおりで、フクロフノリの孢子放出は藻体を現場海水から高塩分の海水、さらに現場海水に戻しても早められず、かえって遅らされた。しかしこれと逆に現場海水から低塩分海水、さらに現場海水への藻体処理では孢子放出が早められ、特に淡水処理では顕著であった。

つぎに、促進効果の大きい淡水処理について浸漬時刻、時間と放出状況について検討した。その結果、マフノリの孢子は藻体を淡水に4時間浸漬してのち現場海水に戻せばその直後に多少とも放出され、特に多量の孢子放出は放出時刻前および時刻内の午後に戻した場合にみられた。これに対してフクロフノリでは放出時刻内で現場海水に戻した時にのみ多量の孢子が放出された。なお長時間の淡水浸漬は藻体に悪影響を与えらると思われるが、両種とも1~6時間の浸漬では健全な孢子を放出した。この場合、孢子は現場海水に戻してから10~30分の間に最も多く放出された。

塩分と放出の関係をまとめてみると、多量の孢子が放出される塩分は両種とも17~52%で、これより低塩分、高塩分では放出の遅れや放出量の減少がみられる。しかし藻体を低塩分や高塩分の海水に数時間浸漬し、放出時刻ごろに現場海水に戻せば、その直後に放出を抑制されていた孢子や促進された孢子が多量に放出され、この傾向は特にマフノリで著しい。すなわち両種の孢子放出は、オゴノリ(瀬川等, 1955b; 片田, 1963)と同様に、藻体の急激な浸透圧的变化によって促進される傾向があり、塩分濃度処理は孢子採取の1方法として応用することができる。

(2) 塩 分 と 着 生

孢子の着生と塩分濃度の関係は現場海水中で放出された両種の四分孢子を用いて調べた。その方法として

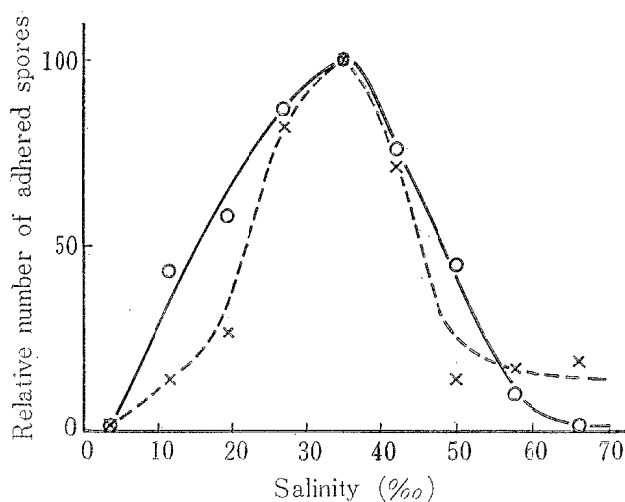


Fig. 20. Relation of the adhesion of tetraspores to salinity. Circle, *G. tenax*; cross, *G. furcata*. Water temperature, 20~23°C; light intensity, 1,000 lux.

は 200 ml ビーカーに各塩分の海水を 90 ml 入れ、これに濃厚孢子液を 10 ml ずつ加えてよく攪拌し、4 cm 平方のガラス板を器底に入れて静置した。60分静置してのちガラス板をとりあげ、浮遊孢子をよく洗い落して着生孢子を計数した。なおガラス板には孢子がほぼ均等に着生していたので、その計数は放出量の測定法に準じて行なった。

実験は両種について2回ずつ行なった。しかしいずれも同じ結果であったので、それぞれ1例ずつを第20図に示した。この図によって明らかなように、孢子の着生と塩分濃度の関係は両種ともほぼ同じ傾向で、塩分26~43%で多く着生し、このうち

でも塩分35‰の現場海水で最もよく着生した。

第3節 温 度

マフノリの胞子は毎年18°C前後、フクロフノリの胞子は15°C前後で成熟、放出され始めるが、放出期間内の現場水温の変化は比較的小さい。しかし自然岩礁で干出中の藻体は水温とかなり異なる温度条件下におかれる場合が多く、またその後の上潮時にはこれと反対の温度変化をうける。このような温度変化はその後の放出に何らかの影響をおよぼすのではないかと考えられる。また温度変化の影響は放出時刻と関係があると考えられる。このため温度と放出の関係は、放出時刻の約12時間前に温度変化を与えた場合、放出開始ごろに温度変化を与えた場合、藻体をあらかじめ種々の水温の海水に移し、放出開始ごろに現場水温に戻した場合について実験した。また胞子の着生と温度についても検討した。

(1) 温度と放出

胞子放出におよぼす温度変化の影響についてはつぎのような実験方法で行なった。すなわち1個の藻体をほぼ均等な5~6群に分け、それぞれ別々のビーカーに入れて現場水温とほぼ同じ温度に保ち、これらの藻体に温度変化を与えてその後の放出を調べた。実験温度は現場海水に近い温度、すなわちマフノリで20°C、フクロフノリで15°Cを基準とし、両種とも5~30°Cの範囲で、5°C間隔に6段階の温度区を設けた。放出量の測定は前項までと同じ方法で行なった。

温度変化を放出時刻の約12時間前に与えた場合：マフノリの実験は1964年5月27~28日（現場水温19°C）に行ない、その結果は第21図に示した。藻体を20°Cに浸漬した場合と種々の水温に移した場合についての放出を比較すると、25°Cに温度を上げた実験では20°C浸漬の対照区とほぼ同様な放出経過であったが、30°Cに上げると放出が遅れるとともに放出量も非常に少なくなった。また温度を15°Cに下げた場合は放出

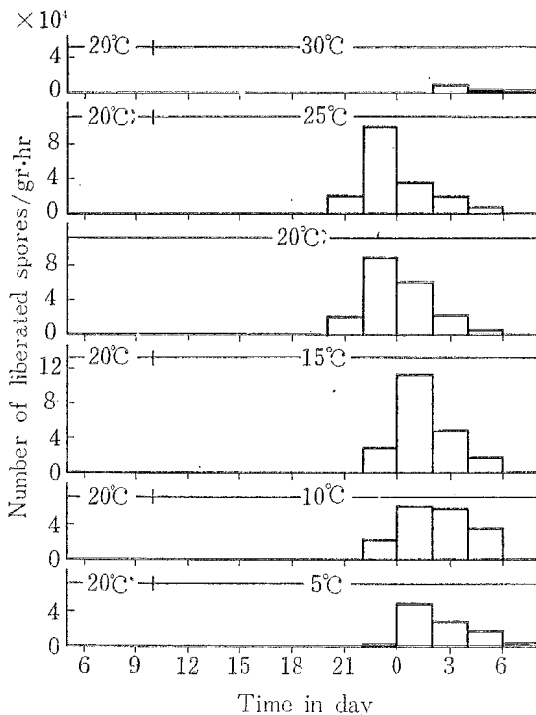


Fig. 21. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. ienax*. The changes were given about 10 hours before the liberation occurs. Salinity of media, 35‰.

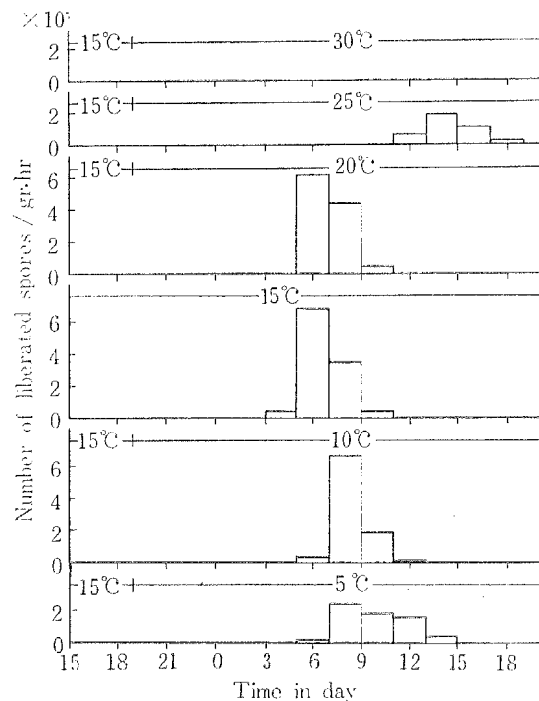


Fig. 22. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. furcata*. The changes were given about 8 hours before the liberation occurs. Salinity of media, 35‰.

がわずかに遅れるだけで多量の胞子が放出されたが、10°C以下では放出量も減少した。この結果からみて、マフノリの胞子放出は5°Cの温度変化を与えた15~25°Cで大きな影響を受けないが、±10°C以上の変化では放出の遅れや放出量の減少などがみられ、特に温度を上げた場合に大きな影響を受ける。

フクロフノリは1966年4月11~12日(現場水温14°C)に調べ、その結果は第22図に示した。藻体を15°Cから20°Cの海水に移した場合の放出は15°C浸漬の対照区とほとんど同じであったが、25°Cに上げた場合は放出量が少なく、放出時刻も著しくおそくなり、また30°Cでは放出が全くみられなかった。また10°Cに温度を下げた場合は放出がわずかに遅れるのみであるが、5°Cでは少量の放出が長時間にわたってみられた。この結果から、フクロフノリの胞子放出は15±5°Cの範囲ならばほぼ同様な経過で行なわれる。

放出時刻ごろに温度変化を与えた場合：マフノリの実験は1966年5月23~24日に行ない、その結果は第23図に示した。この図にみられるように、藻体を温度20°Cの海水から10、15、25°Cの各温度の海水に移した場合の胞子放出は、20°C浸漬の対照区とほぼ同じ時刻にみられた。しかし藻体を20°Cの海水から5°Cの海水に移せば放出量がやや少なくなり、30°Cに移せば少量の胞子が長時間にわたって放出された。

フクロフノリの同様な実験は1966年4月6~7日に行ない、その結果は第24図に示した。フクロフノリでは水温の上昇により放出の遅れや放出量の減少がみられた。しかし温度を下げた場合の放出は15°C浸漬の対照区とほぼ同じであった。

温度変化を与えてのち放出時刻ごろに現場水温に戻した場合：マフノリの実験は1966年5月23~24日に行ない、放出前の藻体を20°Cの海水から5~30°Cの6段階の海水に4時間浸漬し、放出が始まるころに20°C

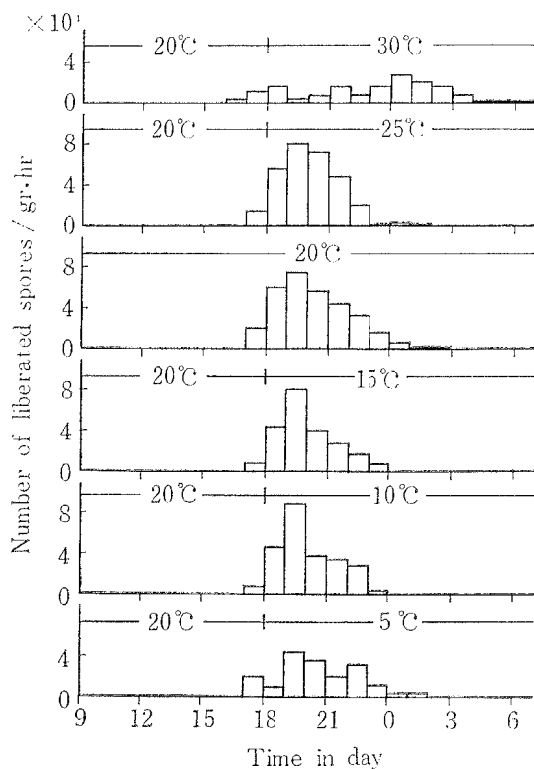


Fig. 23. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. tenax*. The changes were given immediately after beginning of the liberation. Salinity of media, 35‰.

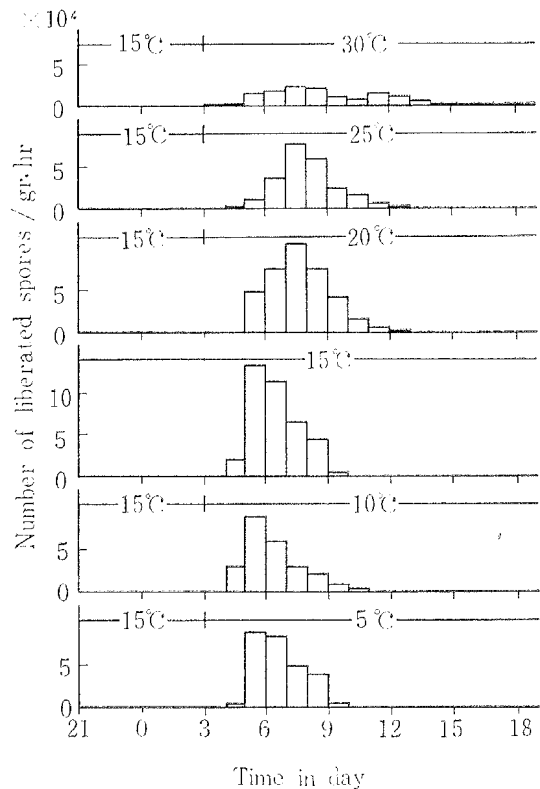


Fig. 24. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. furcata*. The changes were given about one hour before the liberation occurs. Salinity of media, 35‰.

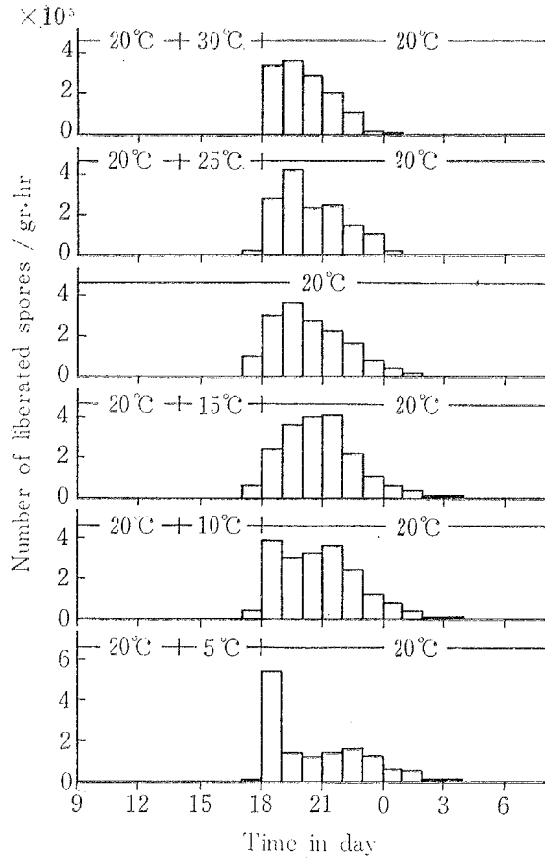


Fig. 25. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. tenax*. The changes were given about 3 hours before the liberation occurs, and after 4 hours' immersion the fronds were brought back to the previous temperature (20°C). Salinity of media, 35‰.

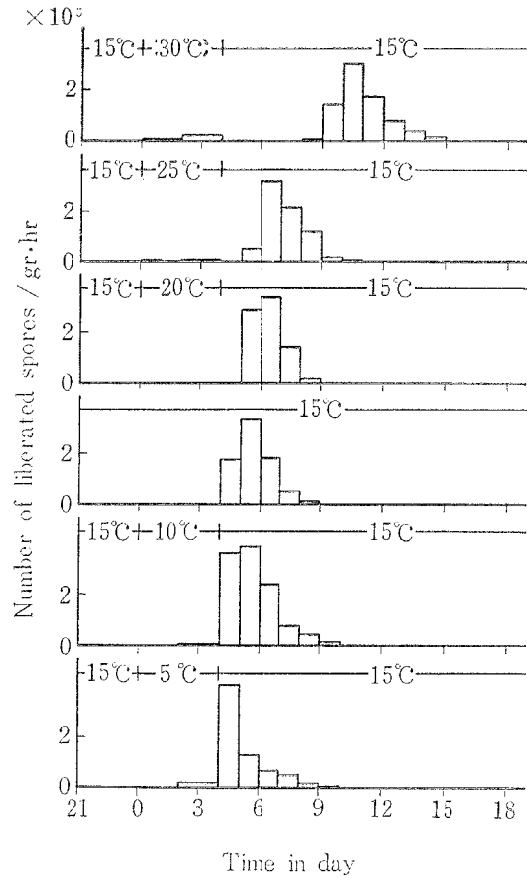


Fig. 26. Effect of the change of water temperature on the tetraspore liberation in *G. furcata*. The changes were given about 5 hours before the liberation occurs. Other explanations the same as for Fig. 25.

に戻してその後の放出を調べた。その結果は第25図に示した。この図にみられるように、20°Cの海水中の藻体について±10°C以内の温度変化を与えた場合は、20°C浸漬の対照区とほぼ同じ放出状況であった。また藻体を20°Cから5°Cへ、さらに20°Cへ移した場合には日間放出量が減少し、20°Cに戻した直後にのみ多量の胞子が放出された。

フクロフノリについては藻体を15°Cから4時間各温度の海水に浸漬し、放出開始ごろに15°Cに戻してその後の放出を調べた。この実験は1966年4月6日に行ない、その結果は第26図に示した。フクロフノリの胞子放出は前処理温度の高いほど遅れる傾向があったが、±10°C以内の温度変化、すなわち15°Cの海水から5~25°Cへ、さらに15°Cに戻した場合の影響は比較的小さく、15°Cの温度変化を与えた30°Cの場合のみ放出の著しい遅れがみられた。

以上の結果を総合すると、両種の胞子放出は温度の急激な変化によって、露出、塩分変化の場合のように著しく早められることはない。胞子が多量に放出される水温は、マフノリで15~25°C、フクロフノリで10~20°Cである。これらの水温は両種の放出盛期における現場水温とほぼ一致する。

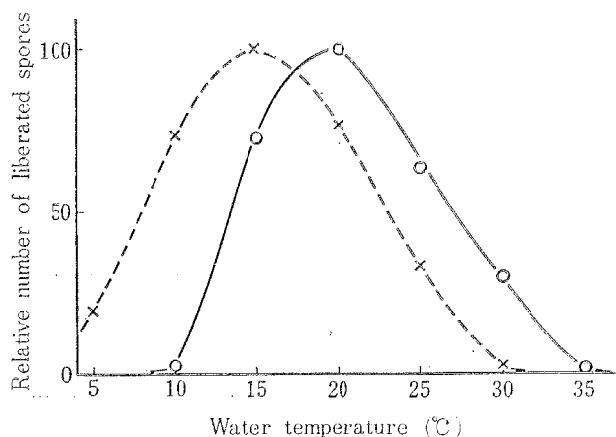


Fig. 27. Relation of the adhesion of tetraspores to water temperature. Circle, *G. tenax*; cross, *G. furcata*. Salinity of media, 35‰; light intensity, 1,000 lux.

(2) 温度と着生

マフノリおよびフクロフノリは5～30°Cの各温度において胞子を放出するが、放出された胞子の着生力は温度によって異なると考えられる。このため温度と着生の関係を検討し、実験は塩分と着生の方法に準じて行なった。まず6個の200 ml ビーカーにそれぞれ海水を90 ml 入れ、各温度を保たせて、これに濃厚胞子液10 ml を加え、ビーカーの底に入れたガラス板の着生胞子を60分後に計数した。その結果は第27図に示した。すなわち胞子の着生と水温の関係は種類によって異なり、マフノリで15～25°C、フクロフノリで10～20°Cにおいて着生が良かった。

第4節 光

藻類の生育と成熟には光の照度および周期が関係すると考えられ、胞子放出にも影響すると思われるので、ここではマフノリとフクロフノリについて照度と放出時刻、放出量の関係および明期、暗期の交替と放出時刻の関係を調べた。このほか胞子の着生と照度についても検討した。

(1) 照度と放出

照度と放出時刻、放出量の関係は、1個の藻体を基部付近よりほぼ同量の3群に分け、それぞれを1日のうち6時から18時まで異なる照度におき、胞子の放出状況を調べた。この実験は2日間行ない、40W白色蛍光灯による300, 3,000 luxおよび屋外自然光(平均約40,000 lux)の3段階を設けた。なお実験中の水温はほぼ同じになるようにし、放出量の測定は前項までと同じ方法によって行なった。

マフノリの実験は1965年6月22～24日に行なった(水温22～24°C)。その結果、マフノリの胞子はいずれも通常の周期で多量に放出され、照度による放出の差異はほとんどみられなかった。フクロフノリについては1964年5月15～17日(水温20～23°C)に調べたが、各照度区とも同じ時刻に多量の胞子が放出された。このように300 lux以上の光を照射した場合は、照度をかえても両種の胞子放出はほとんど変化しなかった。

(2) 明暗の周期と放出時刻

明期と暗期の周期的交替と放出時刻の関係は、1日周期の明期の長さを変えた場合および同じ長さの明期でその時刻を変えた場合について調べた。明期の長さを変える実験では、40W白色蛍光灯で照度を約3,000 luxとし、これを毎日6時から照射して、その照射時間を3, 6, 9, 12, 15, 18, 21時間としたほか24時間の明期のみの場合、暗期のみの場合の9段階について行なった。また明期の時刻を変える実験では明期(照度約3,000 lux)を12時間とし、その時刻を6時から18時までと18時から6時までとした2実験区について放出時刻を比較した。なお各実験の材料には1個の藻体を基部付近より分けたものを用いた。

明期の長さと放出時刻：マフノリについては1966年5月19日～22日に実験し、その結果は第28図に示した。この図にみられるように、1日目における胞子の放出状況は各区ともほぼ同じであったが、2日目以後のそれは明期の長さによって異なってきた。すなわち明期のみ a 区、21時間明期の b 区ならびに暗期のみ i 区では放出周期が不規則になった。しかし3～18時間明期の c～h 区では放出時刻は異なるがいずれも明瞭

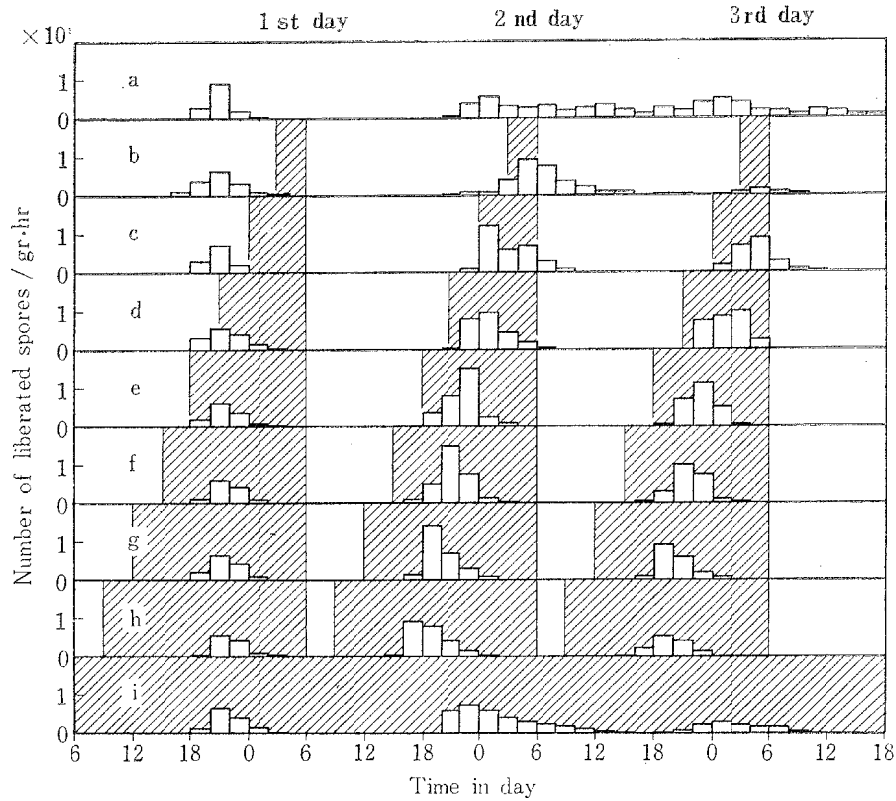


Fig. 28. Effect of the duration of light period in a day on the tetraspore liberation in *G. tenax*. Duration of the light period : a, 24 hrs. ; b, 21 hrs. ; c, 18 hrs. ; d, 15 hrs. ; e, 12 hrs. ; f, 9 hrs. ; g, 6 hrs. ; h, 3 hrs. ; i, zero. Shaded area shows dark period. In all experiments illumination was made by white fluorescent lamp (3,000 lux). Water temperature, 19~23°C ; salinity of media, 35 ‰.

な放出周期が認められた。その放出時刻は自然条件に近い12時間明期（e）の放出周期からみて、明期の長いほど遅れ、短いほど早くなった。

フクロフノリの実験も1966年5月19日～22日に行ない、その結果は第29図に示した。フクロフノリの胞子放出も光周期によって異なり、明期のみ a 区、21時間明期の b 区および暗期のみ g 区では2～3日後に放出周期が不規則になったが、3～18時間明期の c～f 区では明瞭な放出周期が認められた。また3～18時間明期における放出時刻は、12時間明期 d 区からみて明期の長いほど遅れ、短いほど早くなった。この明期の長さに伴う放出時刻のずれはマフノリの場合より顕著で、各区とも明期の終りから放出最盛時刻までの時間が約12時間であった。このように両種の放出周期は明暗周期の交替によって影響されることが明らかになった。

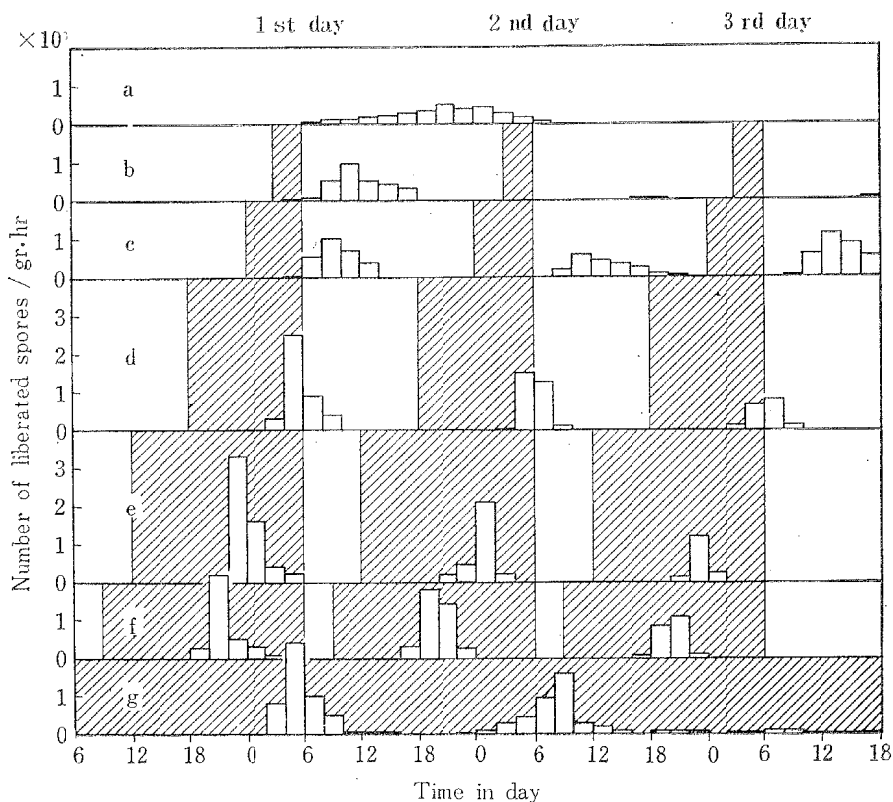


Fig. 29. Effect of the duration of light period in a day on the tetraspore liberation in *G. furcata*. Duration of the light period : a, 24 hrs. ; b, 21 hrs. ; c, 18 hrs. ; d, 12 hrs. ; e, 6 hrs. ; f, 3 hrs. ; g, zero. Other explanations the same as for Fig. 28.

明期の時刻と放出時刻：実験は両種とも1964年6月10～13日に行ない、マフノリの結果は第30図に示した。この図にみられるように、自然条件とほぼ同じ明期のa区では毎日23時前後に多量の胞子が放出された。しかし明期が正反対のb区では2日目から放出状況が異なり、実験前の周期性による放出とb区の光周期による放出がそれぞれ明期と暗期にみられた。さらに3日目のb区ではその光周期に順応して、a区の暗期にみられた放出が約12時間遅れてみられ、両区とも暗期になってから4～6時間後が放出最盛時刻であった。

フクロフノリの結果は第31図に示した。フクロフノリでは明期が自然条件と正反対のb区で多量の胞子が最初の暗期に放出され、次の胞子放出はa区と約12時間ずれた時刻にみられた。このように両種の胞子放出時刻は明期、暗期の時刻によっても影響を受ける。

胞子の放出と光の関係をまとめてみると、両種の放出周期は明暗の周期的交替によって起り、放出時刻は明期、暗期の時刻とその長さによって影響され、照度によっては大きな影響を受けない。したがって明期の長さやその時刻を変えることによって放出時刻を調節することができ、特にフクロフノリではそれが比較的容易である。

(3) 照度と着生

胞子の着生と照度の関係は両種の四分胞子を材料として調べた。照度は40W白色蛍光灯による30, 300, 3,000luxの3段階と暗黒区を設け、器底に4cm平方のガラス板を敷いた200mlビーカーに胞子液を100ml入れ、各照度別に60分間静置してのち着生胞子を計数した。その結果、照度の違いによる着生量の差はほと

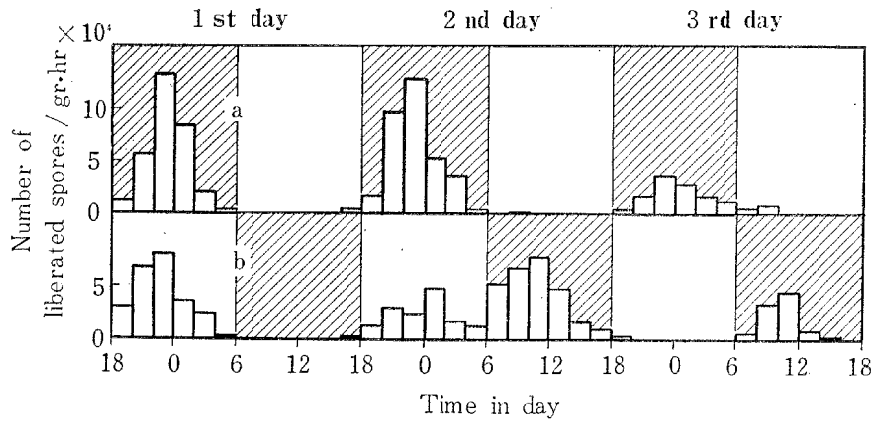


Fig. 30. Effect of the time of light period in a day on the tetraspore liberation in *G. tenax*. Duration of the light period was 12 hours. Illumination was made by white fluorescent lamp (3,000 lux). Water temperature, 18~25°C ; salinity of media, 35‰.

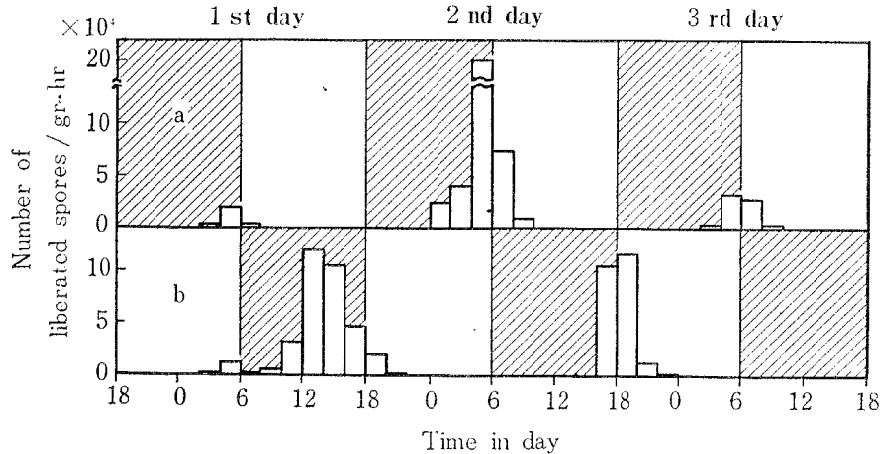


Fig. 31. Effect of the time of light period in a day on the tetraspore liberation in *G. furcata*. Other explanations the same as for Fig. 30.

んど認められなかった。すなわち照度はマフノリおよびフクロフノリ孢子の着生に対してほとんど影響をおよぼさないと考えられる。

第3章 孢子の発生

フノリ類の増殖を図る場合には、孢子の採取に続いてそれらの孢子をできるだけ多く育成させることが必要である。このためには孢子の発生と環境要因との関係を知り、発生に好適な条件を明らかにしなければならない。したがって本章ではまず発生の初期過程を観察し、つぎにその発生におよぼす環境要因の影響につ

いて検討した。フクロフノリ孢子の発生初期における細胞分裂はすでに猪野 (1939) が室内実験で詳しく調べているほか、新崎 (1948)、木下 (1949)、船野 (1967) も猪野とほぼ同様な経過を観察している。またフクロフノリ孢子の発生と環境要因との関係は、木下・渋谷 (1937 a, b, c) が発生適温と初期発生に必要な干出時間を、新崎 (1949, '53) が塩分濃度、明るさについて、須藤 (1949 a) が孢子の耐乾性について検討している。ここでは下関地域に生育するマフノリおよびフクロフノリについて1963, '64年に実験した。

第1節 発生の初期過程

マフノリおよびフクロフノリの四分孢子について、その発生の初期過程を観察したが、フクロフノリは前述の猪野 (1939) などの報告があるので、ここではマフノリについて述べる。

孢子の採取には藻体を放出時刻ごろに4~6時間露出させた後、現場海水に戻して孢子液を調製し、液中にスライドガラスを静置して孢子を着生させ、3~4時間後に実験に供した。培養液は Schreiber 氏液に Modified Provasoli 液 (須藤, 1960) 5 ml/l を加えたものを用いた。培養は200ml ビーカーに約150ml の培養液を入れ、その中に孢子の付着したスライドガラスおよびカバーガラスを静置して行ない、水温は19~24°C で培養液を3~4日ごとに入れ換えた。光は室内で40W白色蛍光灯を1日12時間照射し、その照度を約3,000 lux とした。発生経過は付着孢子の表面および側面から観察した。孢子の側面の観察は、まず糸でくくった約30枚のカバーガラスの切断面に孢子を付け、これを1枚ずつ抜き取って行なった。着生後4日目以後はスライドガラス上の発生体を観察したが、かみそりではがしても発生体の変形することなく、簡単明瞭に観察できた。発生体の初期は高さの増加よりも、主として付着基物に平行してほぼ同心円状に伸長するため、発生体の大きさは15~20個体の平均直径で表わした。

放出直後の孢子はほぼ球状で、基物に着生してやや縦扁する(第9図)。着生時のマフノリ四分孢子の直径は22~28 μ 平均約25 μ 、果孢子は23~30 μ 平均約26 μ 、フクロフノリの四分孢子は23~28 μ 平均約26 μ 、果孢子は22~31 μ 平均約27 μ で、いずれもその直径が着生前より1 μ 程度大きくなる。着生孢子には中央に核があり、その周辺に黄褐色の色素体が特に多く密集している(第32図A)。マフノリの発生の早いものは着生後約8時間で細胞膜が認められ、細胞分裂が始まった。その発生の初期過程は第32図のとおりである。すなわち、孢子は中央を走る第1分裂面で2細胞に分かれ(第32図B)、つぎに第1分裂面と交わる第2分裂面によって4細胞になった(第32図C)。その後は不規則に分裂を行なってしだいに多くの細胞に分かれ、3日後には表面からみると約10細胞(第32図D)、側面からみると垂直方向に3段程度分裂していた(第32図D')。5日後には発生体の周囲から1層の柔細胞の伸出が認められ(第32図E)、この状態を側面からみるとほぼ半球状であった(第32図E')。その後、周辺の柔細胞が同心円状に広がりながら、発生体は特に水平方向に直径を増し、半球状からさらに盤状体になった(第32図F, F', G₁, G₁')。これらの発生体のなかには生長方向がやや偏っているものも認められた(第32図G₂, G₂')。40日後の状態は第33図A, Bに示したとおりで、発生体はさらに扁平になり、また一部のものに直立すると思われる体の突出が認められた。このような発生過程における生長状況は、直径25 μ 、高さ23 μ の孢子が培養8日後に直径47 μ 、高さ27 μ 、19日後に直径82 μ 、高さ35 μ 、28日後に直径122 μ 、高さ50 μ になった。これによって孢子の発生初期には垂直方向より水平方向により多く伸長することがわかる。このような発生様式はフクロフノリ(猪野, 1939, '47)とよく類似しており、またマフノリ果孢子の発生様式もほぼ同様であった。

第2節 発生と環境要因との関係

フノリ類の孢子発生に影響をおよぼす要因として、自然状態では干出およびそれに伴って変化する諸要因が考えられる。したがって露出、塩分、温度および光をとりあげて検討した。実験は発生観察と同様な方法でスライドガラスに着生させた放出後3~4時間の四分孢子を用いて行なった。なお着生孢子数は顕微鏡100倍の1視野につき約50個であった。

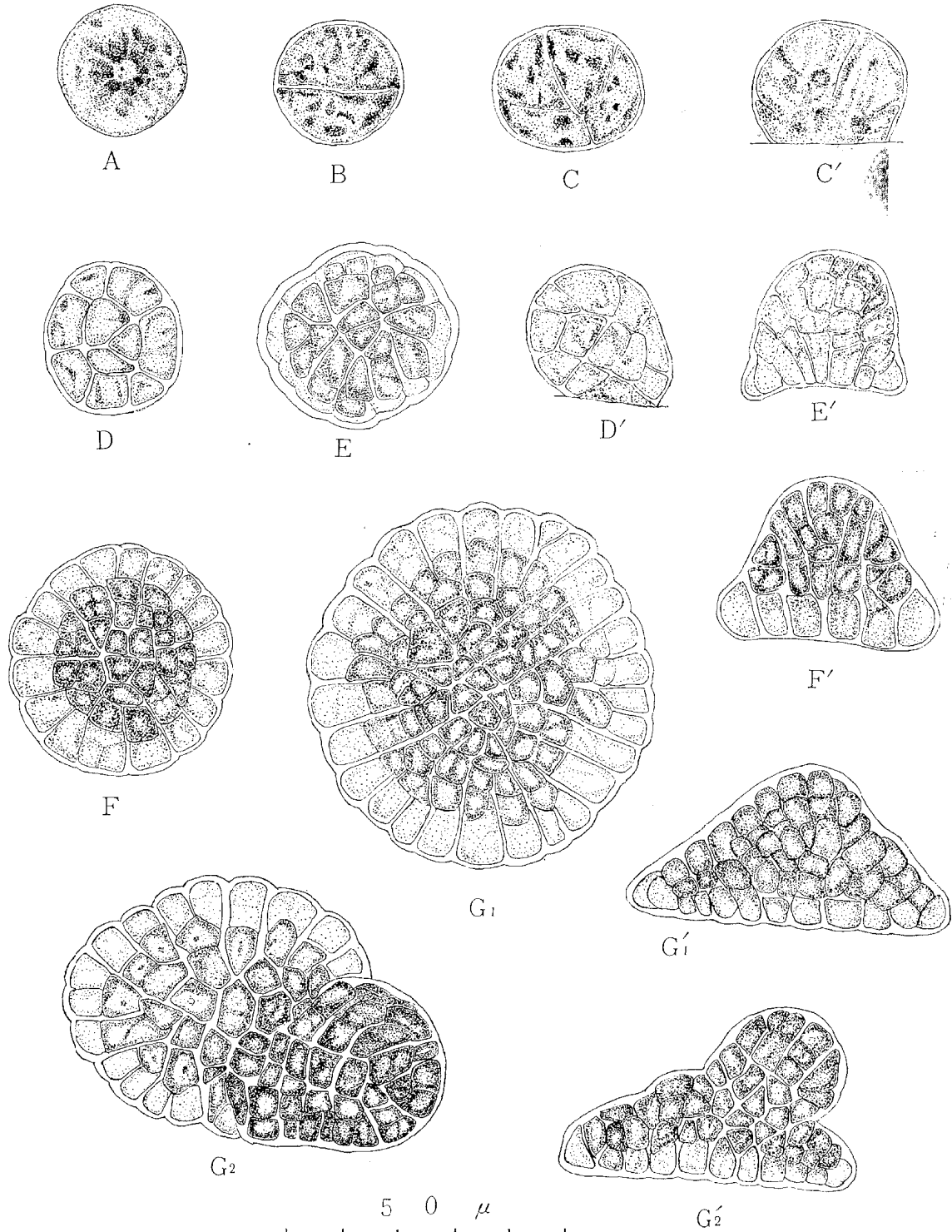


Fig. 32. Germination of the tetraspores in *G. tenax*—I.

A, adhered spore ; B, C, C', sporelings after 1~2 days cultivation ; D, D', after 3 days ; E, E', after 5 days ; F, F', after 7 days ; G, G', after 10 days. The marks with prime indicate side view of sporeling.

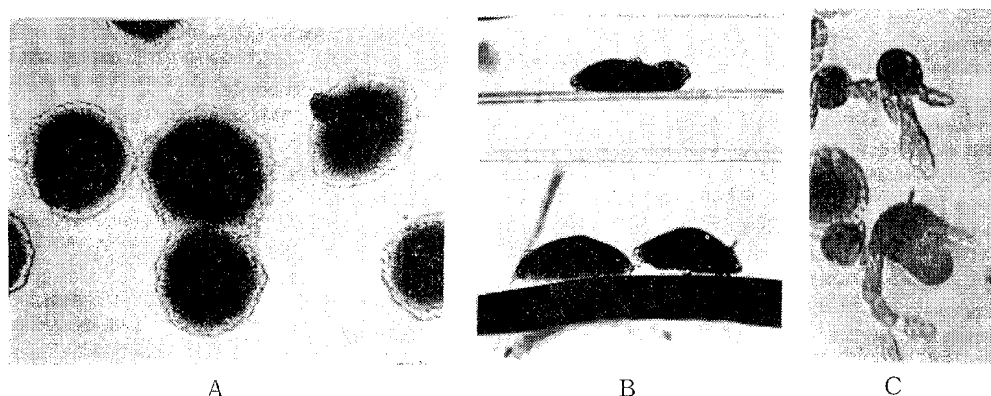


Fig. 33. Germination of the tetraspores in *G. tenax*-II.

A, B, sporelings after 40 days cultivation ; B, side views of the sporeling ; C, examples of abnormal sporeling after 14 days cultivation. (A—B, $\times 80$; C, $\times 150$.)

(1) 露 出

露出には次のような方法を用いた。すなわち、胞子付けしたスライドガラスを水中から取り出して水をよくきり、裏面をろ紙でぬぐって、硫酸を用いて湿度を一定させたデシケーター中に1日一定時間ずつ入れ、これを6日間続けた。1日の露出時間は、自然における生育層の干出時間が最高約7時間であるので、1、3、5、7時間の4段階とし、その時の相対湿度として100、75、50%の3段階を設けた。なおこれらの露出はいずれも室内条件で昼間に行ない、培養液はSchreiber氏液にModified Provasoli液5ml/lを加えたものを使用した。胞子と発生体の生死は色調から判断し、わずかでも黄褐色を帯びていれば生残個体とした。生残率は顕微鏡100倍の1視野ごとにスライドガラス中央部を5~10回調べ、その平均値で表わした。

Table 2. Survival rate of tetrasporic sporelings in relation to the duration of exposure and relative humidity, in *G. tenax*. The experiment was started at the stage of adhered spore of 3~4 hours after release from the fronds, and was continued 6 days. The exposure to air was given for each constant duration once a day. Water temperature, 20~24°C ; air temperature, 21~26°C.

Relative humidity	Duration of exposure per day	Days				
		0	1	2	3	6
Control	0 hrs.	100%	95%	91%	86%	84%
100%	1	100	91	89	86	86
	3	100	84	79	74	74
	5	100	78	53	52	45
	7	100	56	47	45	39
75	1	100	88	74	66	63
	3	100	45	30	23	22
	5	100	7	0	—	—
	7	100	0	—	—	—
50	1	100	40	3	1	0
	3	100	3	1	0	—
	5	100	0	—	—	—
	7	100	0	—	—	—

なお露出後の再浸漬直後は、死滅孢子も黄褐色をしている場合が多いので、生残率の測定はその翌日に行なった。発生体の大きさは露出実験6日後にスライドガラス中央部付近の15個体の平均直径を調べた。

スライドガラス表面の露出時における乾燥程度は、湿度100%のものは7時間露出後でもじゅうぶん湿りけがあり、湿度75%のものはわずかに湿り、湿度50%では1時間後にすでに乾燥していた。

マフノリの実験は1964年5月29日に開始し、生残率の測定を1, 2, 3, 6日後に行ない、その結果は第2表に示した。これによって明らかなように、孢子の生残率は露出時間が長いほど、また湿度が低いほど低下した。すなわち、湿度100%での露出は比較的影響が小さく、毎日の露出が5~7時間でも5日後になお約40%が生き残っていた。湿度75%では1日1時間の露出でも死滅孢子が多くなり、6日後の生残率が約60%に低下し、さらに5~7時間では1回目の露出で大部分が死滅した。湿度50%での露出はその影響がさらに大きく、1日1時間の露出でも2日後に大部分が死滅した。

このような露出を与えた発生体の大きさは、露出実験6日後の大きさ測定によれば対照区と比して顕著な差異は認められなかったが、その後の培養によると露出時間の長いほど生長が悪く、柔細胞が全く伸出しないもの、不規則に伸出するもの(第33図C)などの異常な発生体が多くみられた。

露出に対する孢子の抵抗力はその発生段階によって異なると考えられるので、8~15細胞の発生体を材料として同様な露出実験を1964年6月3~9日に行なった。その結果、湿度100%で毎日7時間、湿度75%で3時間露出させても大部分が健全であり、湿度50%における1時間露出でも6日後に約60%が生き残っていた。また生残個体の発生様式はすべて正常であった。

Table 3. Survival rate of tetrasporic sporelings in relation to the duration of exposure and relative humidity, in *G. furcata*. Water temperature, 17~20°C; air temperature, 18~21°C. Other explanations the same as for Table 2.

Relative humidity	Duration of exposure per day	Days				
		0	1	2	3	6
Control	0 hrs.	100%	95%	93%	89%	87%
100%	1	100	92	92	88	85
	3	100	95	94	90	86
	5	100	96	93	88	80
	7	100	74	62	59	46
75%	1	100	90	86	84	81
	3	100	79	77	75	70
	5	100	51	33	26	13
	7	100	45	36	24	9
50%	1	100	67	16	3	0
	3	100	30	7	2	0
	5	100	19	1	0	—
	7	100	0	—	—	—

フクロフノリについては1964年4月23日に実験を始め、1, 2, 3, 6日後の生残率は第3表に示した。フクロフノリ孢子の発生におよぼす露出の影響は、マフノリにおけると同様に露出時の湿度が低いほど、また露出時間が長いほど大きかった。すなわち、湿度100%では5時間、湿度75%では3時間ずつ毎日露出しても生残個体が多いが、湿度50%では1時間でも大部分が3日後に死滅した。また6日後の観察やその後の

培養によれば、露出時間の長いほど発生体の生長が悪く、異常な発生体が多くみられた。

以上の結果からみると、露出は孢子の発生を妨げる要因で、その影響は露出時間の長いほど、孢子の乾燥程度が高いほど大きい。また露出に対する抵抗力は発生が進むとやや強くなり、フクロフノリの孢子がマフノリより露出に対してやや強い抵抗力をもっている。

(2) 塩 分

孢子の発生と塩分との関係については、塩分35%の現場海水中で採取した孢子を塩分の異なる海水で培養し、その後の生残率、生長を調べた。塩分濃度は0, 9, 17, 26, 35, 43, 52, 60, 69%の9段階に分け、現場海水を蒸溜水で稀釈、または煮沸、濃縮して調製し、これらの1ℓに硝酸ナトリウム0.2g、磷酸一水素ナトリウム12水塩 0.02g、Modified Provasoli 液 5mlを加えたものを培養液とした。培養は200mlビーカーに約150mlの培養液を入れて底に孢子の付着したスライドガラスを水平に置き、白色蛍光灯40W(約3,000 lux)を毎日6時から18時まで照射して行なった。なお培養中は3~4日ごとに液を換えた。生残率は顕微鏡100倍の1視野ごとにスライド中央部で5~10視野調べ、発生体の大きさは15~20個体の直径を測定し、それぞれ平均値で表わした。

マフノリについては、1963年6月7日に孢子付けをして各塩分で培養を始めた。生残率の測定は1, 3, 7日後に行ない、その結果は第4表に示した。マフノリ孢子は同じ塩分濃度差でも高塩分よりも低塩分に弱

Table 4. Survival rate of tetrasporic sporelings in various salinities, in *G. tenax*. The experiment was started at the stage of adhered spore of 3~4 hours after release from the fronds. Water temperature, 19~21°C; light intensity (illuminated by white fluorescent lamp in the daytime), 3,000 lux.

Culture duration (days)	Salinity (%)								
	0	9	17	26	35	43	52	60	69
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	0	0	46	98	100	100	98	99	86
3	0	0	41	95	98	99	98	91	68
7	0	0	33	86	98	95	97	89	62

く、塩分69%では培養中しだいに生残率が低下したが塩分9%以下では1日後にすべて死滅したほか、17%でも1日後の生残率が約50%に減少した。培養7日後の結果では塩分26~60%の範囲で多くの個体が生き残っていた。

孢子の発生体の大きさは培養4, 8, 12, 19日後に測定した。なお着生孢子は塩分の異なる海水に浸漬することにより、2時間後の直径は22~27μの範囲内で変化し、高塩分におけるほど小さくなる傾向がみられた。各塩分における生長経過は第34図のとおりである。この図に示されるように、マフノリの発生体の生長は塩分26~43%において良好であったが、これより低塩分、高塩分では生長が低下した。低塩分の17%では発生体の大きさに比して細胞数が少なく、また高塩分の60%では柔細胞が不規則に伸出した異常な発生体(第33図C)が多く、さらに69%では培養19日後でも10細胞程度で少なく、細胞の収縮がみられた。このように生長が特に良いのは塩分35%の現場海水を中心とした塩分26~43%であった。

孢子の発生におよぼす塩分変化の影響は発生段階によって異なると思われるので、現場海水で3日間培養した8~10細胞の発生体を材料として同様な実験を行なった。その結果、実験7日後の発生体の生残率は塩分9, 17, 69%でも80%以上で、孢子の場合に比して高かった。また生長は塩分17~43%で良好で、その発生様式もほぼ正常であった。

フクロフノリ孢子については1962年4月2日から実験を始め、その生残率は培養1, 5, 10日後に調べた。

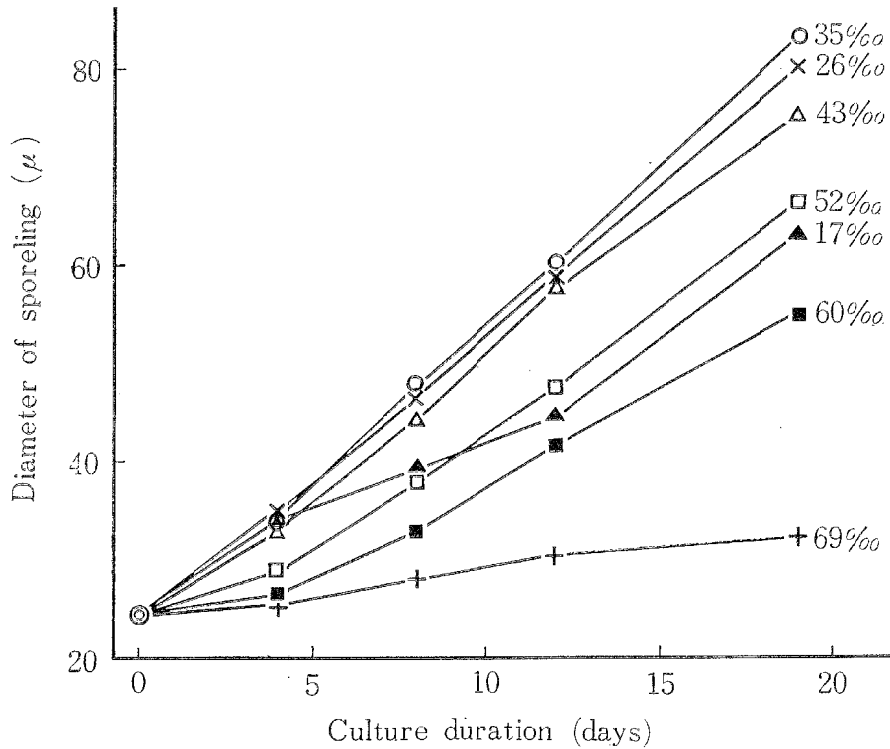


Fig. 34. Growth of tetrasporic sporelings in various salinities, in *G. tenax*. Water temperature, 19~24°C. Other explanations the same as for Table 4.

その結果は第5表のとおりで、フクロフノリの胞子は淡水で1日後にすべて死滅したが、塩分9~17‰の低塩分で10日後に30~70%が、塩分69‰の高塩分でも90%が生き残り、マフノリ胞子より塩分変化に対してやや強い抵抗力がみられた。発生体の大きさは培養5, 10, 18日後に測定した。その結果(第35図): 発生体の生長は塩分17~43‰で良好で、塩分9‰および52‰以上では低下した。現場海水で3日間培養した8~10細胞の発生体についても同様な実験を行なった。その結果、発生体の生残率は極めて高く、塩分9~69‰では実験7日後に80%以上の生き残りがみられた。また生長は低塩分、高塩分において胞子の場合より良好であった。

Table 5. Survival rate of tetrasporic sporelings in various salinities, in *G. furcata*. Water temperature, 12~18°C. Other explanations the same as for Table 4.

Culture duration (days)	Salinity (‰)								
	0	9	17	26	35	43	52	60	69
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	0	59	88	98	100	100	99	96	97
5	0	49	86	97	97	97	98	96	94
10	0	30	72	87	96	97	96	89	90

胞子の発生と塩分との関係をまとめると、両種の胞子は一般に低塩分で生残率が低下し、高塩分で生長が遅れる。マフノリ胞子の発生過程において、生残率が高く生長が良好な塩分は26~43‰である。フクロフノ

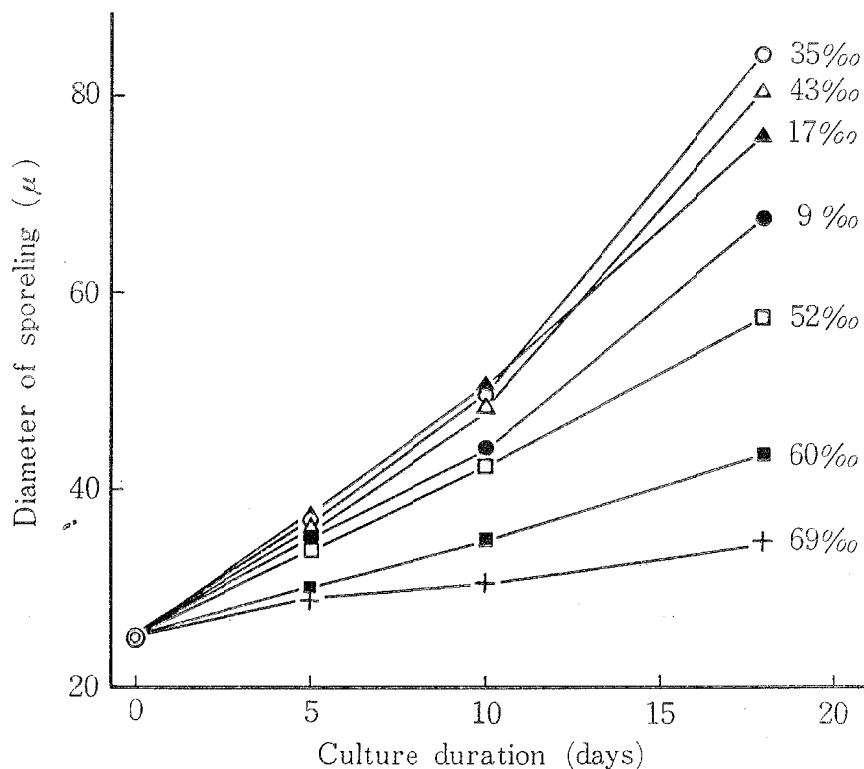


Fig. 35. Growth of tetrasporic sporelings in various salinities, in *G. furcata*. Water temperature, 12~18°C. Other explanations the same as for Table 4.

りでは生残率から塩分26~69%, 生長から塩分17~43%が良く, この組み合わせからマフノリと同様な塩分26~43%が胞子の発生に好適であると考えられるが, マフノリに比してやや低塩分に強く, 内湾, 河口などのやや低鹹な場所にも生育している。また両種とも塩分変化に対する低抗力は発生が進めばやや強くなる。

(3) 温度

胞子の発生と温度の関係は, 放出時期の自然生育場所にみられる5~30°Cの範囲内で調べた。温度段階を5°C間隔に設け, 培養液はろ過した現場海水を用い, これに前述の栄養塩類を一定量加えた。そのほかの培養方法や生残率, 生長の測定方法などは前項と同じである。

Table 6. Survival rate of tetrasporic sporelings in various temperatures, in *G. tenax*. Salinity of media, 35‰. Other explanations the same as for Table 4.

Culture duration (days)	Water temperature (°C)					
	5	10	15	20	25	30
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	99	100	99	99	100	32
4	88	82	98	96	96	3
8	65	75	97	93	89	0

マフノリについては1964年5月29日に孢子を採取して実験を始めた。生残率の測定は1, 4, 8日後に行ない、その結果を第6表に示した。8日後の結果では、マフノリ孢子は15~25°Cで90%以上の生き残りがみられたが、10°C以下で約70%が生き残り、30°Cではすべて死滅した。

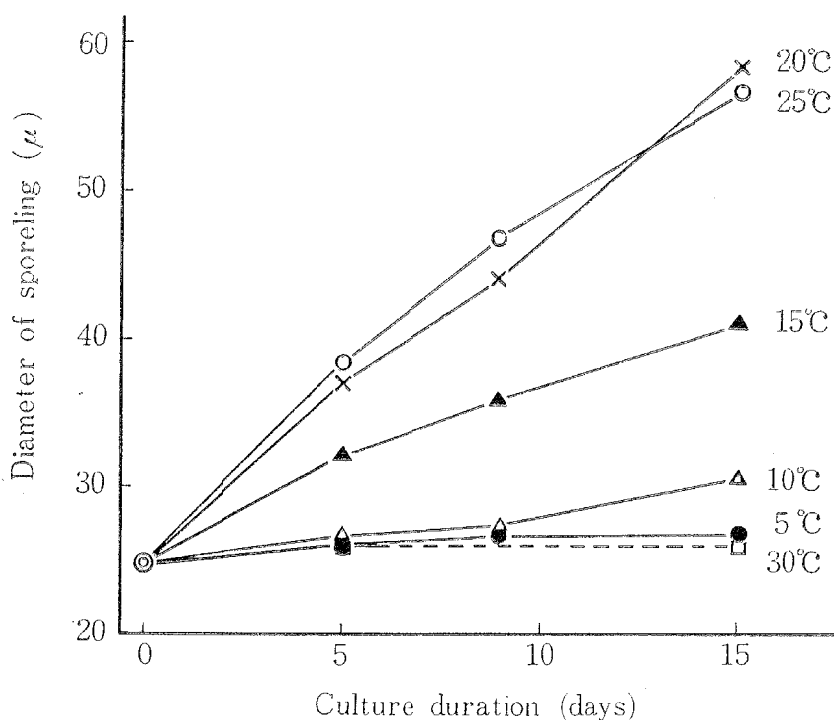


Fig. 36. Growth of tetrasporic sporelings in various temperatures, in *G. tenax*. Salinity of media, 35 ‰. Dotted line indicates diameter of dead sporelings. Other explanations the same as for Table 4.

発生体の大きさは培養5, 9, 15日後に測定し、その結果は第36図に示した。この図にみられるように、20, 25°Cにおける生長が特に良好であった。すなわち孢子は5日後に約30細胞の発生体となり、その周囲に柔細胞の伸出がみられた。15°Cではやや生長がおそく、5日後は10~20細胞で柔細胞の伸出もわずかであり、10°C以下では5日後に2~6細胞、15日後でも5~20細胞で著しく生長が悪かった。

このほか、まず20°Cで3日間培養した約10細胞の発生体について、その後の発生と温度の関係を調べた。その結果、10~30°Cの範囲内では発生体の生残率が高く、生長も良かった。

Table 7. Survival rate of tetrasporic sporelings in various temperatures, in *G. furcata*. Salinity of media, 35 ‰. Other explanations the same as for Table 4.

Culture duration (days)	Water temperature (°C)					
	5	10	15	20	25	30
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	97	98	99	98	87	41
3	98	97	97	92	80	2
8	98	97	79	89	72	0

フクロフノリについては1964年5月21日に培養を始め、生残率の測定を1, 3, 8日後に行なった。その結果(第7表), 胞子が健全に発生するのは5~20°Cの範囲内で, 25°Cでは培養中しだいに生残率が低下し, 30°Cでは1日後に約50%, 3日後に大部分が死滅した。

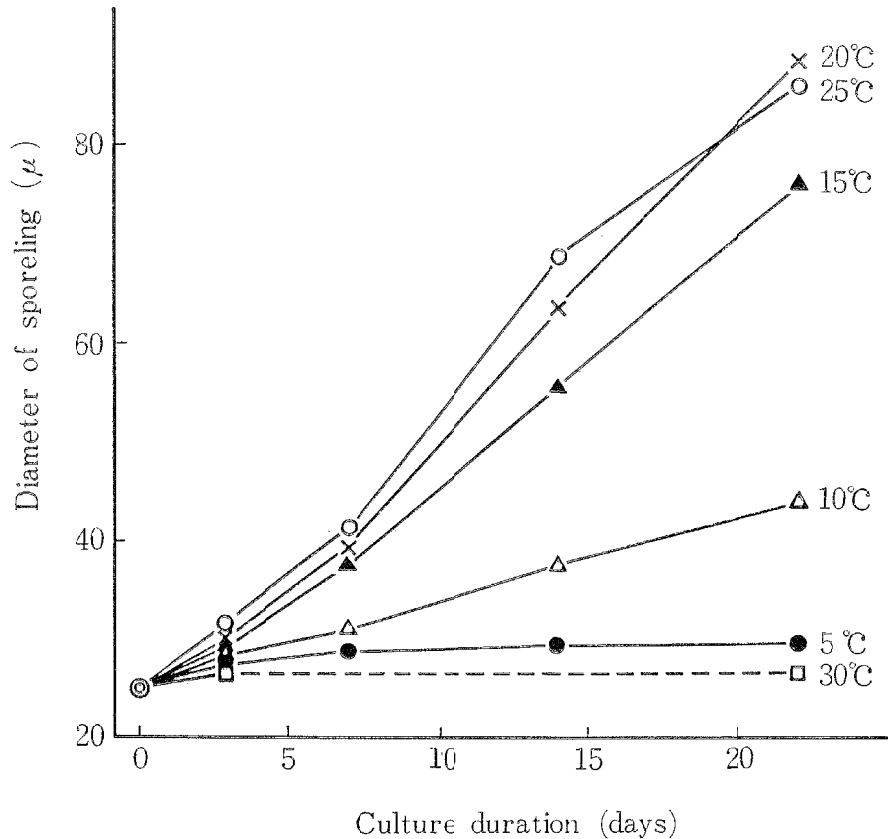


Fig. 37. Growth of tetrasporic sporelings in various temperatures, in *G. furcata*. Salinity of media, 35‰. Dotted line indicates diameter of dead sporelings. Other explanations the same as for Table 4.

発生体の大きさは培養3, 7, 14, 22日後に測定し, その結果は第37図に示した。15~25°Cにおいて胞子は3日後に約10細胞になり, その後の生長も良かった。しかし10°C以下では生長がおそく, 3日後に2~4細胞に過ぎなかった。このほか, 15°Cで3日間培養した10細胞前後の発生体を用いて同様な温度実験を行なった。その結果, 発生体は胞子と同様に5~20°Cにおいて生残率と生長が良好であったほか, 25°Cでも大部分が良い生長を示した。また30°Cでは生長は遅れるが7日後に約50%の生き残りがみられた。

以上の結果から胞子の発生と温度の関係をまとめると, 生残率と生長からみた胞子の発生適温は, マフノリで20~25°C, フクロフノリで15~20°Cであり, 培養後数日間を経過した発生体の適温はそれぞれ20~30°C, 15~25°Cに広がる。これより低温では一般に生長が遅れ, 高温になると生残率が低下する傾向がある。マフノリおよびフクロフノリの胞子放出盛期の現場水温はそれぞれ20°C前後, 15~19°Cでいずれも発生に好適である。胞子の発生適温についてはフクロフノリで木下・渋谷(1937c), 新崎(1949)が調べているが, 本研究の結果は木下・渋谷のそれよりもやや高く, 新崎の結果とほぼ一致している。

(4) 照 度

胞子発生と照度の関係は, 胞子に毎日約12時間ずつ異なった照度を与え, その後の生残率と生長を測定し

た。照度段階はタングステン電球100Wの遠近調節により、30, 300, 1,000, 3,000, 8,000 luxを設けたほか、屋外自然光（平均約50,000 lux）、これを白色の布によって約4に減光した実験区および暗黒区の8段階とした。培養液、生残率および生長の測定方法などは前項の実験と同じである。

Table 8. Survival rate of tetrasporic sporelings in various light intensities, in *G. tenax*. The experiment was started at the stage of adhered spore of 3~4 hours after release from the fronds. In the intensities of 13,000 lux and 50,000 lux the sunlight utilized outdoors, and in other light intensities the light of white fluorescent lamp. Length of light period, 12 hrs. per day ; water temperature, 18~20°C ; salinity of media, 35‰.

Culture duration (days)	Light intensity (lux)							
	0	30	300	1,000	3,000	8,000	13,000	50,000
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
3	88	98	98	95	97	99	95	97
7	65	80	95	95	95	98	93	94
16	33	78	92	94	93	95	92	91

マフノリについては1964年5月24日に培養を始め、生残率の測定は3, 7, 16日後に行なった。その結果は第8表に示した。マフノリ孢子の多くは30lux以上において正常に発生したが、暗黒では培養日数の経過とともにしだいに淡色になって死滅し、16日後の生残率は約30%に過ぎなかった。なおこの場合、わずかで

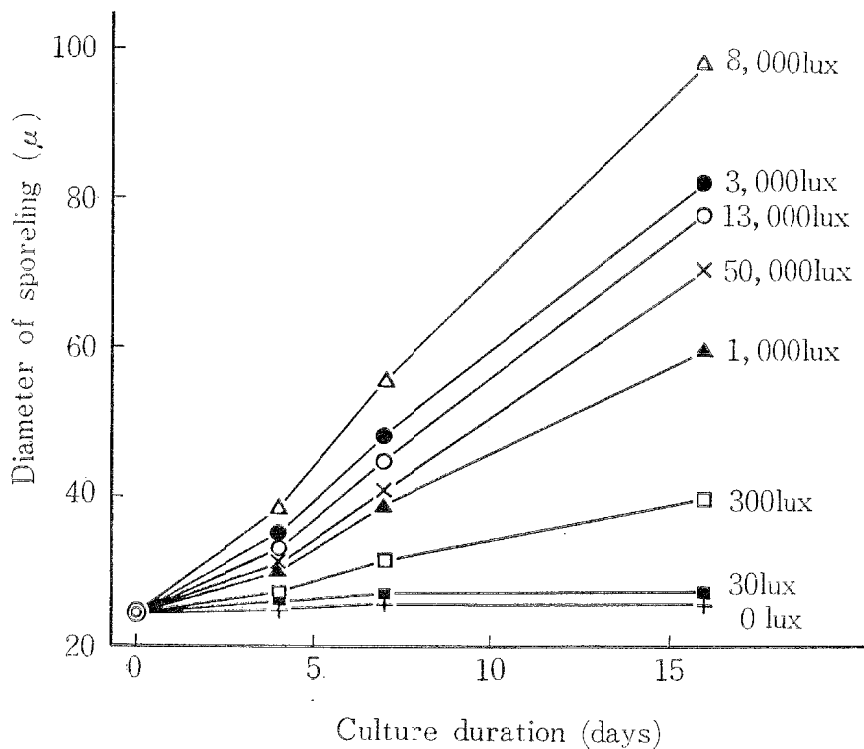


Fig. 38. Growth of tetrasporic sporelings in various light intensities, in *G. tenax*. Other explanations the same as for Table 8.

も帯色している発生体は明るい場所に移されれば正常に発生を続けた。

発生体の大きさは培養 4, 7, 16 日後に測定し, その結果は第 38 図に示した。マフノリ胞子の発生体は 30 lux 以下でほとんど生長せず, 16 日後で 4~12 細胞に過ぎなかった。しかし 300 lux 以上では培養日数とともにしだいにその直径が増大し, 1,000~50,000 lux の範囲内で生長が良好で, このうち 8,000 lux で最も良かった。なお 8,000 lux 以上の各照度では発生体がやや淡色になった。また 3,000 lux の好適照度で 3 日間培養した約 10 細胞の発生体を材料として, 同様な照度実験を行なったが, その結果は上述の胞子からの実験とほとんど同じ傾向であった。

フクロマフノリについては 1964 年 4 月 20 日から培養を始め, 3, 8, 19 日後に生残率および生長を測定した。

Table 9. Survival rate of tetrasporic sporelings in various light intensities, in *G. furcata*.
Water temperature, 14~20°C. Other explanations the same as for Table 8.

Culture duration (days)	Light intensity (lux)							
	0	30	300	1,000	3,000	8,000	13,000	50,000
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
3	97	99	99	99	99	97	99	86
8	0	83	83	92	93	94	98	74
19	0	81	82	89	93	92	96	68

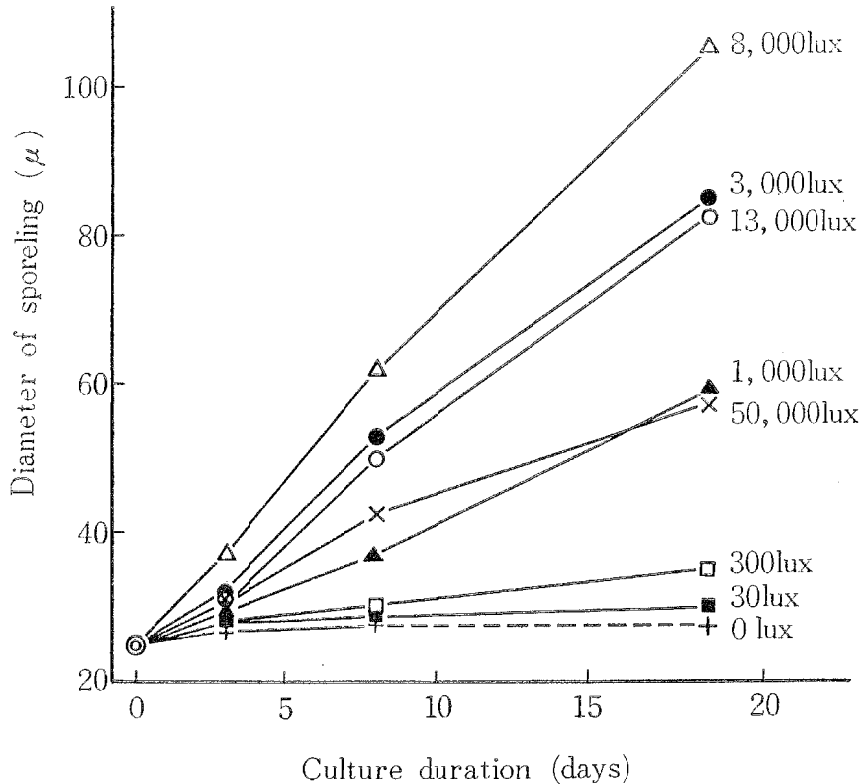


Fig. 39. Growth of tetrasporic sporelings in various light intensities, in *G. furcata*. Water temperature, 14~20°C. Dotted line indicates diameter of dead sporelings. Other explanations the same as for Table 8.

各照度における生残率は第9表のとおりで暗黒では8日以内にすべての胞子が死滅し、また50,000 lux では19日後に生残率が約70%に低下した。しかし30~13,000 lux の各照度ではいずれも大部分が正常に発生した。発生体の生長経過は第39図のとおりで、フクロフノリでもマフノリの場合と同様に、1,000~50,000 lux の範囲内で生長が良好で、このうち特に8,000 lux で良かった。

以上の結果をまとめると、光は胞子の発生に必須な条件で、マフノリ胞子に好適な照度は生残率、生長からみて1,000~50,000 lux である。フクロフノリの胞子は高照度に対してマフノリよりやや弱く、1,000~13,000 lux で生残率、生長が良く、マフノリと同様に8,000 lux が最も良好である。

第4章 胞子付け方法

フノリ胞子液の調製には従来から藻体を干出時に採取し、これが浸漬する程度の少量の海水中に入れて、藻体から多量の胞子を放出させる方法によって行なわれている(須藤, 1949 a)。しかしこの方法では胞子が放出されなかったり、胞子液の濃度に著しい差がみられる場合がある。このため、より確実な胞子液の調製法と発生初期の管理方法について、この研究の成果から検討を加えた。

胞子液の調製：胞子は第1章第1節で明らかにしたように、両種の放出盛期に多く放出されるが、この期間中でも常に多量に放出されるのではなく、潮汐の影響によって周期的に放出される。放出周期には第1章第3節で述べたように、両種ともほぼ半月の周期と日周期とがある。このうちほぼ半月を単位とする日間放出量の周期は、胞子の成熟周期とはほぼ一致して変動し、この現象は第2章第1~4節で検討したように、露出、塩分、温度、光などの諸要因を変化させても大きく調節することができない。したがって胞子の採取は日間放出量の周期的変動を考慮し、放出量の多い大潮の時期に行なう必要がある。

これに対して放出日周期における放出時刻はマフノリ、フクロフノリでそれぞれほぼ定まってはいるが、露出、塩分、明暗の周期的交替などの人為的処理によって比較的容易に変えることができる。すなわち第2章第1節の結果から、海水中の藻体を露出させふたたび海水に浸漬する処理は、露出させる時刻によって胞子の放出を早めたり、遅らせたりすることができ、再浸漬後30分以内に日間放出量の大部分を放出させる。次に塩分については、多量の胞子が放出されるのは第2章第2節の結果から両種とも17~52%であるが、塩分濃度差の大きい海水に浸漬して現場海水に戻す処理も露出と同様に放出を早めることができる。さらに温度については第2章第3節で述べたように、多量の胞子はマフノリで15~25°C、フクロフノリで10~20°Cで放出される。しかし温度変化については詳細に検討した結果、露出や塩分変化のような放出の促進および放出時間の変化はほとんどみられない。次いで光については第2章第4節で明らかにしたように、照度変化は放出に急激な影響を与えない。しかし明期と暗期の周期的交替は放出日周期に最も大きく影響する要因とみられ、明期、暗期の時刻とその長さによって放出時刻を変えることができる。以上のように、放出時刻の調節は藻体に露出処理または塩分変化を与えることによって容易に行なうことができ、さらに明暗処理を併用することがより効果的である。

これら各要因の胞子放出への影響を総合すると、まず胞子採取の適期は放出盛期における大潮の時期である。次に胞子の放出時刻を確認し、この放出時刻前に藻体を露出させるか、濃度差のある海水または淡水に浸漬してのち、現場海水に戻せば短時間内に多量の胞子を採取することができる。胞子採取の時期や藻体の処理時刻などは種類によって異なるので、以下に両種について四分胞子採取のための最も良い方法を具体的に検討する。なお果胞子の採取も四分胞子とほぼ同じ条件で行なうことができる。

まずマフノリについて述べる。胞子採取の適期は放出盛期の5月中旬~6月中旬の大潮時であるが、放出量や放出、着生、発生に対する温度条件からみると、この盛期のうちでも特に5月下旬~6月上旬の大潮時が胞子採取に良い。マフノリでは放出最盛時刻が夜間の21~0時であるが、その放出を露出処理や淡水処理によって早めることができる。このため胞子液の調製には藻体を昼間の12~16時に採取して2~7時間露出さ

せ、18時前後に現場海水に戻して約30分間浸漬する。また現地において午後に干出した藻体を冠水前に採取し、海水に再浸漬してもほぼ同様な結果が得られる。藻体を露出させる代りに1～6時間の淡水浸漬も有効な方法である。この方法によれば藻体1gあたり平均 1×10^6 個程度の健全胞子を採取することができる。また放出量はやや少なくなるが藻体の処理時刻を変えることにより、ほぼ午後の間ならば任意の時刻に胞子を放出させることができる。午前に多量の胞子を採取するためには、午後の干出時に採取した藻体を引き続いて露出しておき、藻体が乾燥しすぎて硬くならないように留意し、胞子を採取しようとする時刻に海水に戻す。この方法によると日間放出量の約4/5以上の健全胞子が得られる。

次にフクロフノリについては、放出量や放出、着生、発生に対する温度条件から考えて、4月下旬～5月上旬の大潮の時期が胞子液調製の適期である。フクロフノリの胞子は、藻体の露出処理や淡水処理などによって短時間内に放出されるが、その放出が著しく早められることはない。したがって、胞子の採取にはこれらの処理を放出時刻の6時ごろに行なう必要がある。またフクロフノリの胞子放出は前日の午後の干出や暗期の時刻によっても大きく影響される。このため午後の干出時に藻体を採取し、18時ごろに1度海水に戻して暗黒下におき、翌朝1～4時からふたたび露出させるか、または淡水に浸漬し、6時ごろに海水に戻せば濃厚な健全胞子液を調製できる。もし午後の干出前に藻体を採取した場合には、14時前後から露出させて前述の方法を行えば良い。また現地において午前に干出した藻体を採取し、海水に浸漬しても多量の胞子が得られる。この方法によればマフノリとほぼ同量の胞子を再浸漬後の30分間に放出させ得る。また放出量はやや少なくなるが、露出時刻を変えれば午前の任意の時刻に胞子をまとめて放出させることができる。胞子を午後に採取するためには、藻体を夜半から露出させて藻体表面の水けがなくなり、なお柔らかな状態に乾燥させ、胞子を採取しようとする時刻に海水に戻せばその直後に日間放出量の約4/5以上の胞子を放出させることができる。この場合、胞子の採取時刻より約12時間前に藻体を明るい場所から暗い場所へ移せば一層効果的である。

胞子の着生については、第1章第4節で述べたように両種の胞子とも基物に接触すれば1分以内に着生する。しかし胞子は静水中で1mm沈降するのに1分前後も要するので、これらを基物に着生させるためには基物と接触する機会を多くしなければいけない。次に胞子の着生と塩分については第2章第2節で述べたように両種とも塩分26～43%で多く着生し、温度については第2章第3節で述べたようにマフノリで15～25°C、フクロフノリで10～20°Cで多く着生する。照度については第2章第4節で述べたように着生にほとんど影響しない。これらの結果から、岩礁に胞子を着生させる場合には胞子液の塩分、温度に大きな変化を与えないように注意し、須藤(1949b)が行なっているように干出時に濃厚胞子液を2～3分ごとに少量ずつ散布する方法が良いと考えられる。また網に着生させる場合には濃厚胞子液中に数分ごとに網を浸漬、露出させるのが良い。

胞子の初期発生については、第3章第2節で述べたように両種とも露出により障害を受ける。発生と塩分については両種とも26～43%、温度についてはマフノリで20～25°C、フクロフノリで15～20°C、照度についてはマフノリで1,000～50,000 lux、フクロフノリで1,000～13,000 luxが好適である。このように、フノリ類の胞子発生に好適な条件は自然条件に比して比較的狭いので、自然の干出する場所に着生した胞子は、これらの要因の大きな変化によって発生障害を受け、発生初期の間に多く死滅すると考えられる。しかし胞子の環境変化に対する抵抗力は、発生が進むと強くなっていく。これらのことから、胞子はなるべく多く着生させ、その後の発生初期における管理に特に留意して著しい環境変化を与えないようにすることが望ましい。

このように、本研究では胞子放出の生態観察および放出、着生、発生と環境諸要因の関係を検討し、その結果から確実な胞子液の調製法とその後の着生、発生に好適な諸条件を明らかにした。

要 約

本研究はマフノリおよびフクロフノリの増殖法、特に健全な胞子を予定した時期により多く種苗として採

取できる方法を開発し、着生とその後の生育を計るための基礎的研究として行なったものである。胞子放出については、まず自然状態における放出生態を明らかにし、次に実験的に放出におよぼす環境要因、すなわち露出、塩分、温度、光の影響について調べた。着生については、沈降速度、着生所要時間、着生と塩分、温度、照度との関係、また発生に関しては、四分胞子の発生経過および露出、塩分、温度、照度の影響についての実験を行なった。実験材料は下関市吉見地先の潮間帯岩礁に生育していたものを用い、その結果を項目別に要約すれば次のとおりである。

1. マフノリ四分胞子の放出時期は5月上旬～6月下旬(水温17～22°C)、果胞子では5月中旬～6月中旬(水温19～21°C)であり、フクロフノリの四分胞子は4月上旬～6月中旬(水温14～21°C)、果胞子は4月中旬～6月上旬(水温15～20°C)である。このような下関市吉見地先における放出開始の時期は他の地域と多少ずれているが、この時期の水温を比較するとほぼ同じである。

2. 四分胞子の放出経過はマフノリおよびフクロフノリともほぼ同じで、まず四分胞子は4個が分離しないまま放出され、20～40秒後に多少変形しながら分かれ、すぐに4個の球形胞子になる。また果胞子はやや細長く変形しながら1～2個ずつ連続的に放出されるが、直ちに球状になる。その放出口は果孔のような特定のか所がなく、果皮の1か所あるいは数か所にみられる。

3. マフノリおよびフクロフノリの胞子放出は、海水に浸漬状態でも毎日ほぼ一定時刻の4～6時間に周期的にみられる。その放出最盛時刻はマフノリで毎日21～0時、フクロフノリで3～9時の場合が多い。また干出した藻体では干出後ふたたび海水に浸された時に多くの胞子が放出される。すなわち自然状態においては、マフノリの胞子は主として午後の上潮時に、フクロフノリのそれは主として午前の上潮時に放出される。胞子の日間放出量は両種とも大潮時に多く、小潮時に少ない。大潮時の放出量は両種とも藻体1gあたり最高 $2 \sim 3 \times 10^6$ 個、平均 $1 \sim 2 \times 10^6$ 個程度である。この日間放出量の周期的増減は胞子の成熟周期とほぼ一致する。

4. 藻体の露出は成熟胞子量を急激に増減させる要因ではないが、露出時刻と時間は放出時刻に対して大きな影響をおよぼす。すなわち放出時刻前の露出は放出を早め、放出時刻内のそれは放出を遅らせ、いずれも海水に再浸漬した直後の短時間内に胞子をまとめて放出させる。特に露出による放出の促進はマフノリにおいて著しい。

5. 胞子の放出と塩分については、両種とも生育現場の海水(塩分35%)を中心とした塩分17～52%の海水中ではほぼ正常に行なわれる。極端な低塩分や高塩分の海水から普通海水への急激な塩分変化は、露出処理の場合と同様に、胞子の放出を早める。

6. 胞子放出と温度については、マフノリでは15～25°C、フクロフノリでは10～20°Cの範囲内ならばほぼ同じ経過で多量の胞子が放出されるが、温度変化による放出の促進はみられない。

7. 胞子放出と光の関係について、照度は胞子放出に大きな影響をおよぼさないが、昼夜すなわち1日における明期と暗期の交替は周期的な放出現象に変化を起させる。

8. マフノリ四分胞子の沈降は、静置した海水(水温21°C、塩分35%)中で、1mmに1分内外を要する。さらに胞子が基物に接触してからほぼ完全に着生するまでの時間は両種とも1分以内である。着生胞子の形状は、やや扁平になり、側面からみると楕円体をしている。

9. 胞子の着生率が良いのは、塩分濃度で両種とも26～43%、水温でマフノリは15～25°C、フクロフノリは10～20°Cである。なお照度は着生に対してほとんど影響をおよぼさない。

10. マフノリの胞子の発生様式は、側面からみると発生開始後2、3日間は、おもに胞子の内容が分裂して楕円体に近く、その後基物の接触部分から分裂が盛んになり、基物に沿って生長し、しだいに扁平な盤状体になる。

11. 胞子の発生について、その露出は一般に発生体に障害を与え、その影響は露出時間および乾燥度合によって異なる。両種の胞子とも、強い乾燥を受ければわずか1時間の露出で死滅し、充分な湿度では3～5

時間以上露出すると死滅するものが増加する。露出に対する抵抗力は、発生が進めばやや強くなる。

12. 胞子の発生と塩分濃度との関係は、一般に低塩分においては生残率が低く、高塩分では生長が遅れる傾向があり、好適な塩分濃度は両種とも26~43%である。

13. マフノリの胞子の発生適温は20~25°C、フクロフノリの胞子は15~20°Cで、発生が進むとそれぞれ20~30°C、15~25°Cでもよく生長する。

14. 胞子の発生におよぼす照度の影響は、両種ともほぼ同じ傾向で、胞子は暗黒下では数細胞まで分裂するが、その後死滅する。胞子の発生に適した照度はマフノリで1,000~50,000 lux、フクロフノリで1,000~13,000 luxである。

15. 胞子を多量に短時間内に採取するには、放出量の多い時期に藻体を採取し、これに露出処理や塩分変化を与え、また明暗周期を併用することによって、胞子の放出時刻と時間の調節をする必要がある。すなわち、マフノリでは5月中旬~6月中旬における大潮時の12~16時に、フクロフノリでは4月中旬~5月中旬の大潮時の1~4時にそれぞれ藻体を採取し、水をきって露出させておき、必要とする時刻に普通海水に戻せば多量の胞子を短時間内に採取できる。最適の露出時間は両種とも上記の藻体採取時刻から2~5時間であるが、露出の代りに藻体を淡水に浸漬して普通海水に戻してもほぼ同様な結果が得られる。これらの処理とともに明暗周期の調節、藻体採取前の干出時刻を考慮すれば、特にフクロフノリについては一層効果がある。

以上のように、この研究においては胞子放出の盛期とその周期が明らかになり、放出、着生、発生と環境要因との関係から、種苗としての胞子を確実に、しかも予定した時刻に多量採取できる方法が確立された。さらには胞子の着生、育成を計るための好適諸条件が究明された。これらの結果は投石、磯掃除などによるフノリ類の増殖、さらにはフノリ類の移植に際して最も重要な胞子放出手段や胞子付けの計画的、効果的な実施を可能にし、フノリ類の増殖技術を高めることができる。

文 献

- 新崎盛敏, 1948: 伊勢・三河湾産フクロフノリの生態学的研究(1). 日本水産学会誌, **13**, 164~166.
 ———, 1949: 伊勢・三河湾産フクロフノリの生態学的研究(2). 日本水産学会誌, **14**, 207~210.
 ———, 1953: 海藻胞子の発芽, 生育に及ぼす光の影響に関する二, 三の実験. 日本水産学会誌, **19**, 466~470.
 福原英司, 1956: 余市産フクロフノリ *Gloiopeltis furcata* POST. et RUPR. の生態について. 北海道区水産研究所研究報告, No. 14, 66~78.
 ———, 1958: 日本海沿岸におけるフクロフノリの生態とその増殖について. 北海道水産試験場事業月報, **15**, 39~42.
 船野 隆・長谷川由雄, 1964: 忍路湾のフクロフノリとエゾツノマタの生態. 北海道区水産研究所研究報告, No. 29, 75~84.
 ———, 1967: フクロフノリの発生について. 藻類, **15**, 68~75.
 本田信夫, 1962: アサクサノリ類の養殖に於ける人工採苗に関する研究. 岡山県水産試験場昭和36年度臨時報告, 1~67.
 猪野俊平, 1939: フクロフノリの胞子発生に就て. 植物及動物, **7**, 1237~1240.
 ———, 1947: 海藻の発生. 北隆館, 東京.
 神田千代一, 1947: フクロフノリの生態に就いて. 生態学研究, **10**, 28~34.
 金子政之助, 1939: 朝鮮産フクロフノリの生態に関する研究. 全羅南道水産試験場報告, No. 12, 1~33.
 片田 実, 1955: テングサ類の増殖に関する基礎的研究. 農林省水産講習所研究報告, **5**, 1~87.
 ———, 1963: 胞子を種苗としたオゴノリの養殖—I. 水産増殖, **11**, 105~112.

- 木下虎一郎・渋谷三五郎, 1937 a : フクロフノリの発生条件に関する試験 第1報 果胞子の発生適温. 北海道水産試験場事業旬報, No. 353, 71~72.
- , 1937 b : フクロフノリの発生条件に関する試験 第2報 発生初期に必要な干出時間の程度. 北海道水産試験場事業旬報, No. 368, 233~235.
- , 1937 c : フクロフノリの発生条件に関する試験 第3報 四分胞子の発生適温. 北海道水産試験場事業旬報, No. 369, 245~247.
- , 1938 : 北海道産フクロフノリの成熟期に就て. 水産研究誌, **33**, 562~568.
- 木下虎一郎, 1942 : フノリの新養殖法. 日本水産学会誌, **11**, 1~4.
- , 1944 : ワカメの新養殖法. 北海道水産試験場事業月報, **1**, 259~264.
- , 1949 : ノリ・テングサ・フノリ及びギンナンサウの増殖に関する研究. 北方出版社, 札幌.
- 黒木宗尚・平野和夫, 1955 : アマノリ類の糸状体の単胞子放出について (2) 放出口週期. 東北海区水産研究所研究報告, No. 4, 279~282.
- 松井敏夫・安田 力, 1955 : マフノリ及びフクロフノリの胞子放出について (I). 農林省水産講習所研究報告, **4**, 129~135.
- 松井敏夫, 1956 : マフノリ及びフクロフノリの胞子放出について (II) 放出時刻に及ぼす乾燥の影響. 農林省水産講習所研究報告, **6**, 141~148.
- , 1957 : マフノリ及びフクロフノリの胞子放出について (III) 自然岩礁に於ける冠水時の放出. 農林省水産講習所研究報告, **6**, 353~358.
- , 1959 : マフノリ及びフクロフノリの胞子放出について—IV 蔭干時間と有効胞子量との関係. 農林省水産講習所研究報告, **8**, 113~120.
- , 1962 : マフノリ及びフクロフノリの胞子放出について—V 光週期の放出に及ぼす影響. 農林省水産講習所研究報告, **11**, 197~203.
- 宮崎広三, 1924 : ふのりの発生に就て. 水産講習所試験報告, **20**, 105~113.
- Muenschler, W. L. C., 1915 : Ability of Seaweeds to Withstand Desiccation. Publications of Puget Sound Marine Station, **1**, 19—23.
- 西川 博, 1951 : 五島フノリの成熟期並に種蒔き増殖実験. 五島灘並にその周辺調査, No.11, 29~41.
- , 1962 : マフノリ四分胞子の成熟・放出について. 水産増殖, **9**, 223~227.
- 大石芳三, 1917 : 「ふのり」の蕃殖に就て. 水産研究誌, **12**, 291~293.
- 岡村金太郎, 1936 : 日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京.
- 岡崎彰夫, 1957 : 糊料海藻及びその加工品. 水産物便覧, 水産物団体懇話会, 東京.
- 大野磯吉, 1932 : 北海道における浅海利用水産増殖講話. 北海道水産会, 札幌.
- 沢田武男, 1958 : オゴノリの果胞子放出に関する研究 第3報 蔭干によらない果胞子放出について. 九州大学農学部学芸雑誌, **16**, 387~396.
- , 1964 : オゴノリにおける四分胞子の放出. 九州大学農学部学芸雑誌, **21**, 117~121.
- 瀬川宗吉・尾形英二・沢田武男, 1955 a : オゴノリの果胞子放出に関する研究 第1報 蔭干に伴う果胞子放出について. 九州大学農学部学芸雑誌, **15**, 235~243.
- , 1955 b : オゴノリの果胞子放出に関する研究 第2報 果胞子放出の機作について. 九州大学農学部学芸雑誌, **15**, 245~253.
- 須藤俊造, 1949 a : フノリの胞子の放出, 浮游及び着生 (海藻胞子付けの研究 第四報). 日本水産学会誌, **14**, 184~188.
- , 1949 b : マフノリの「タネマキ」の研究 (海藻胞子付けの研究 第5報). 日本水産学会誌, **15**, 226~228.
- , 1950 : テングサの胞子の放出, 浮游及び着生 (海藻胞子付けの研究 第6報). 日本水産学会誌, **15**, 671~673.
- , 1960 : アサクサノリの室内培養の方法について. 水産増殖, **7**, 7~11.
- 高山活夫, 1939 : 三重県産フノリ属の成熟時期に就いて. 水産研究誌, **34**, 277~279.

Studies on the Liberation and Germination of Spores in
Gloiopeltis tenax (Turn.) J. Ag. and
G. furcata Post. et Rupr.

By

Toshio MATSUI

Summary

Gloiopeltis tenax and *G. furcata*, collectively known as Funori, are in Japan commercially important red algae. These species are used both as a source of phycocoloids and as food. For a great many years, a number of procedures for the propagation of *Gloiopeltis* have been used in various districts of Japan. These have consisted of : (1) providing in the *Gloiopeltis*-zone suitable substrate of new rocks or large boulders in sandy or similar areas where the bottom is unsuitable for colonization, (2) excluding other algae in the *Gloiopeltis*-habitat during the season of spore liberation and (3) sowing spores directly on the rocks, etc. The efficiency of these procedures is, however, not always high due to a lack of basic biological knowledge on *Gloiopeltis*. In order to enhance the propagative efficiency, it is clear that methods for obtaining large quantities of spores must be developed, and conditions favourable for germination of the spores determined.

In this investigation, laboratory experiments on liberation and germination of the spores of *G. tenax* and *G. furcata* were carried out between 1954 and 1966 at Yoshimi, Shimonoseki in Japan.

Observations on spore liberation

Information on spore liberation in nature has been obtained from observations on fronds collected either at a time when they were immersed or exposed. These observations include the process and season of liberation, relation between tide and liberation and adhesion of the spores.

1) At Yoshimi liberation of spores from *G. tenax* occurs in May to June and from *G. furcata* between April and June (Table 1). In a comparison of these results with those from other localities in Japan, it seems that spore liberation commences when the temperature of the water rises to about 18°C and 15°C for *G. tenax* and *G. furcata* respectively.

2) The process of liberation is similar in both species. Tetraspores discharged as a tetrad after which the individual spores separate (Fig. 2 A—D). Carpospores are released successively, either singly or in pairs, through the pericarp from one or two places in the cystocarp (Fig. 2 E—H).

3) Spore liberation from submerged fronds in laboratory experiment occurs once daily within a definite period of time. Both tetraspores and carpospores are released from about evening to midnight in *G. tenax* and in *G. furcata* the spores are shed in early morning although there is some variation with tide (Fig. 3). The fronds are exposed in the natural habitat twice daily, and spores of *G. tenax* are generally liberated when the fronds are covered in the afternoon by the rising tide (Fig. 4). Contrariwise in *G. furcata* liberation occurs following the incoming tide in the forenoon (Fig. 5). The total number of spores liberated per day increases markedly during the spring tide, and then decreases extremely following the neap tide (Fig. 7).

4) The spores of *Gloiopeltis* are slightly heavier than seawater. They sink in undisturbed seawater at a rate of about 1 millimeter per minute. Based on this observation, it can be assumed that the spores liberated in the natural habitat are extensively dispersed by very little water movement. A majority of the spores adhere within 1 minute after contact with the substratum (Fig. 8).

Influence of environmental factors on spore liberation

As mentioned above spore liberation in the natural habitat generally occurs when exposed fronds are reflooded by the incoming tide. It is therefore considered that exposure of the fronds has a pronounced influence on spore liberation. For this reason experiments on liberation and adhesion of tetraspores were carried out to determine the effects of environmental factors closely related to emersion, such as exposure, salinity, water temperature and light.

1) Exposure of the fronds to air has a significant effect on the time at which spore liberation occurs. In *G. tenax* the liberation is apt to be accelerated by exposure. If the fronds are exposed for 2~6 hours, and then immersed, even 10 hours before the peak of daily liberation, they discharge within a short time a majority of the spores which will be liberated that day (Fig. 10). In *G. furcata* it is confined to the case re-immersing the fronds around the peak of daily liberation that a great deal of the spores are liberated immediately after the re-immersion. However, even if liberation does not occur immediately after re-immersion, the exposure affects the time of the subsequent liberation (Fig. 11). In both species the number of spores liberated immediately after re-immersion gradually decreases if the exposure is prolonged beyond 6 hours. The effects of delaying liberation and of obtaining a great number of spores within a short period are recognizable within about half-a-day (Figs. 13-15).

2) Spore liberation in both species is not significantly influenced by salinity between 17 and 52 ‰. Above 60 ‰ and below 12 ‰, liberation is delayed and the number of spores liberated decreases (Figs. 16, 17). But if the fronds especially those of *G. tenax*, are transferred from either above 60 ‰ or below 12 ‰ to 35 ‰, there is a tendency for spore liberation to be accelerated (Figs. 18, 19). The optimal range of salinity for adhesion of spores of both species is 26~43 ‰ (Fig. 20).

3) Spore liberation is not accelerated by change of water temperature in both

species. The temperature having no significant influence on liberation is range of 15~25°C in *G. tenax* and 10~20°C in *G. furcata*. At temperature above or below these ranges, liberation is delayed and the number of spores shed decreases (Figs. 21—26). Adhesion of spores is great within respective ranges of water temperature as mentioned above in both species (Fig. 27).

4) Illumination after a period of darkness does not accelerate liberation, although periodic alternation of light and dark has a profound influence on the rhythm. When illuminated with approximately 3 klux for 3~18 hours in a 24 hour period, the fronds discharge spores periodically at a definite time. The time is determined by the light-dark period to which the fronds has become adapted while in culture during the experiment (Figs. 28, 29). As an example, when the fronds are subjected to a daily regime of 12 hours' light (3 klux) and 12 hours' darkness for 2~3 days, maximum liberation in *G. tenax* always occurs 4~6 hours after the fronds are transferred from light to dark; in *G. furcata* liberation occurs after about 12 hours in darkness (Figs. 30, 31). With fronds held in continuous light or continuous darkness, or under conditions of alternating light and dark in which the duration of light is shorter than 6 hours or longer than 21 hours per day, after a few days the number of spores liberated decreases and the rhythm of liberation ceases.

Germination of spores

The mode of germination of the tetraspores of *G. tenax* and the influence of exposure, salinity, temperature and light on the germination of tetraspores in both species were studied in laboratory culture.

1) Tetraspores of *G. tenax* develop into a disc initially as in *G. furcata* which was described earlier by Inoh (1937, 41). These spores gradually divide into numerous cells, and the sporelings then initiate a prostrate, parenchymatous disc (Figs. 32, 33).

2) Spore germination is generally inhibited by exposure to air, but the effect depends upon the duration of exposure, degree of desiccation and stage of germination. Spores of both species are killed following exposure to air of 50% relative humidity for an hour. In air of 100% relative humidity, most of the spores survive 3~5 hours exposure (Tables 2, 3). Spores are more sensitive to exposure than sporelings.

3) The optimal range of salinity for germination is between 25 and 43‰ for both species (Tables 4, 5, Figs. 34, 35). At salinities below 26‰ the survival rate decreases, while at salinities exceeding 43‰ growth is delayed, but sporelings of about 10 cells, which cultured at salinity of 35‰ for a few days, normally develop even in hypotonic seawater with a salinity as low as 17‰.

4) The optimal temperature for spore germination are between 20~25°C in *G. tenax* and 15~20°C in *G. furcata* (Tables 6, 7, Figs. 36, 37). The optimal temperature for growth of sporelings of about 10 cells are between 20~30°C for *G. tenax* and 15~25°C for *G. furcata*. At suboptimal temperatures, the sporelings develop slowly, but

remain healthy, whereas at temperatures above the optimal range for the sporelings appear unhealthy.

5) In darkness spores of both species divide to form only a few cells, but with 12 hours' illumination per day the spores germinate in a normal manner. Favourable growth of the sporelings at light intensities of 1~50 klux for *G. tenax* and 1~13 klux for *G. furcata* was observed (Figs. 38, 39).

Method of artificial spore liberation

The number of spores liberated in a day alters in relation to the tidal periodicity between neaps and springs. And it is influenced only slightly by artificial treatment of the fronds. The time of day during which spores are liberated can, however, be manipulated by treatments which include exposure to air, change of salinity and regulation of the light period. Spores must therefore be obtained during spring tides when maximum number are liberated daily. Fronds are collected during spring tide and exposed to air before liberation occurs. If the period of exposure is between 2 and 12 hours, large quantities of spores are shed following immersion in seawater. Similarly, large quantities of spores are also discharged by the treatment which returns to seawater after immersion in freshwater for a few hours. Moreover, if such treatments are combined with a regulated light period, the quantity of spores liberated is increased markedly. The results obtained in the present investigation are very useful when applied to the propagation of *Gloiopeltis* for practical purposes.