

# 沖縄産モズク類2種の組織培養と琉球列島における季節的消長 (有用藻類バイオテクノロジー基礎技術開発研究)

当真 武

目的：①平成5年度にイトモズク同化糸全部を種化することに成功し、種苗保存を安定的に供給できる技術を開発した。その種苗は天候の変動に強い種苗であることが判明したので、それを容易に保存できる技術を開発する。さらにオキナワモズクや他種についてもその技術を応用し、環境変動に強い種苗を作出する。

②イトモズク、オキナワモズクの各地域における季節的消長について明らかにし、より効率的な漁場利用を図る基礎資料を作成する。

方法：① 沖縄産モズク類2種について①グロースチャンバーを3台使用し、庫内温度を15℃、20℃、25℃、照度約3000Luxに設定し寒天培地(ノリマックス後期用)上で藻体約5cmに切り取り、その3～4本を乗せて長期培養し、さらに組織培養しながら基本的な生活環以外の発生を顕微鏡で観察する。培養液は下記の①②③のいずれも効果がみられた。

内容と結果：同化糸が低い照度15℃で5000Lux、20℃で500Lux、18℃で150Luxの条件下で約30日後と45日後に藻体が栄養繁殖をする体勢に変化した。しかし、20℃、5000Luxおよび25℃、5000Luxの条件下では変化しない。

考察：高水温、高照度下で同化糸が種化しないことは野外で観察されることと矛盾しない。すなわち天然で25℃以上、約5000Luxの曇天が続くと藻体がチギレやすくなる。チギレるという現象は別の意味で栄養繁殖の別の形態と推定されるからである。

組織観察の結果：種化する方法に3型以上がある。

本種の栄養細胞は環境条件が悪くなるとアキネート状を普通に形成し、不動胞子と遊走子を放出する。それらは個体群維持にとって重要な役割を果たしていると推定される。同化糸から無性胞子を出す方法が3つ以上存在する。

(1) 同化糸1細胞から直径数μmの球形細胞群で放出される場合と同化糸1細胞から1細胞が放出されるのがある(写真1)。その後の継続観察していないが個体維持と拡散になんらかの役割を果たしている推定される。

表-1. 培地の種類と使用法

海水1 l 当たりの添加量(mg)		海水1 l 当たりの添加量(l)	
① KNO <sub>3</sub>	300	② ノリマックス前期用	0.3
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	30		
ケイソウ32	30	③ ケイソウ浸漬液肥*	0.5
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	150		
L-メチオンin·9H <sub>2</sub> O	0.1		
ビタミン B <sub>12</sub>	0.2		

微小藻類培養用に沖縄水試八重山支場で使用中の成分構成。①、②、③は個別に使用する。  
\*ケイソウ浸漬液肥の作り方：よく発酵した園芸用ケイソウ1kgを防虫網に包み、不透明なタンク0.5tの中央部に垂下し、淡水に浸漬し蓋で密閉して約1週間後にネットを除去して使用する。室内実験では煮沸後に使用する。

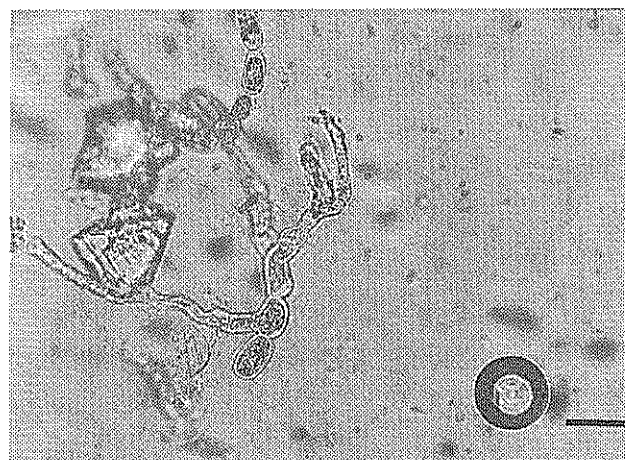


写真1 イトモズク同化糸と不動胞子  
上：スケール：30μ

(2) 同化糸1～数細胞から直接分岐糸状をだし、発生を繰り返して糸状体を形成する(写真2)。この種苗は環境の変化に強いことは平成5・6年度養殖試験で実

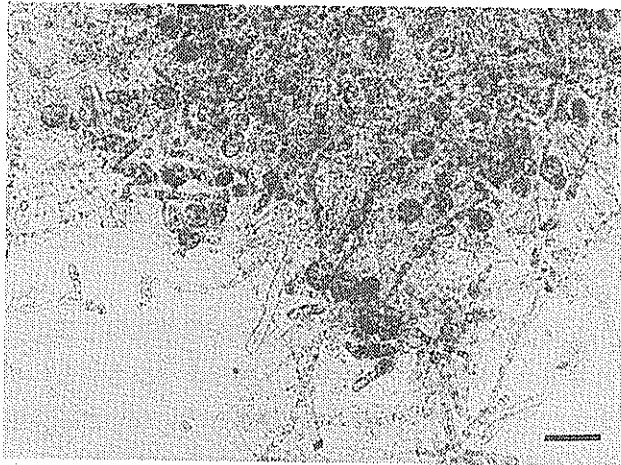


写真2 イトモズク同化糸のアキネート状の出現  
上：スケール：30 $\mu$

証済みである。

(3) 同化糸1個の細胞から直接直立枝(根系状)を出し、発生を繰り返す。それを三角フラスコ内で通気培養す

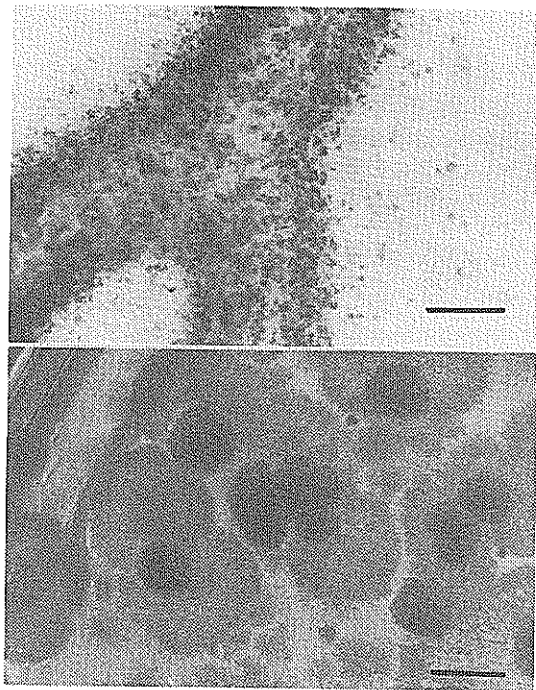


写真3 寒天培地上で種化したイトモズク  
上：スケール：上, 0.5mm, 下, 80 $\mu$

ると黒褐色の2-3mmの球状になる(写真3)。この種苗の養殖試験は本年度試験する予定

顕微鏡観察の結果は後述するオキナワモズクとかな

り類似するのでその項で説明する。ただしイトモズクでは図1に示すDは動胞子ではなく、不動胞子であった(写真3)。生殖器官である単子嚢が直接的に塊状を出し、根系状を多数だし同化糸間を浮遊する状態がみられるが、それに由来することも考えられる。

#### 単子嚢の内容物からの無性的発芽

生殖器官である単子嚢が配偶子を放出するのではなく、内容物を塊状にして放出するが、放出される際にはすでに直立枝が形成されて出てくることがある。モズク同化糸の間に多数の幼藻体が個別的に存在する場合があるが、それは単子嚢からの直接発に由来する可能性がある。このような現象はオキナワモズクでも不適条件下でしばしばみられる。危機的状況下で単子嚢が遊走子を形成しないで直立枝をつけた塊状体を放出するのはその起源を探るのに興味ある現象である。

#### 藻体のチギレによる栄養繁殖の利用

本種は天然産、養殖ものにかかわらず最初に発芽してくる個体はチギレやすい。その時期の藻体には中性複子嚢、単子嚢が形成されていない。1～3cm藻体をプレパレート上で押すだけで10数個片に分散しやすいことが観察される。その細片を5 $\ell$  ビーカーに收容し攪拌すると新基質に絡まりやすいことを確かめた。長い毛(hair)は新基質に絡まる際に重要な役割を果たすものと推定される。天然では曇天・降雨が続くと藻体が黒褐色に変化しチギレやすくなる。この現象は個体群維持になんらかの役割を果たしていると推定される。このチギレ易い性質を利用して後述する新網へ新たに藻体を絡ませた後、引き離す採苗法が考案されている。

イトモズク：生殖器官である単子嚢、中性複子嚢からの発生を主とする生活環が長崎県産で詳しく報告されている<sup>2, 16)</sup>。著者はいわゆるモズクとイトモズク間の初期発生に大きな相違点は見いだせなかったが、イトモズクで基本的な生活環以外に同化糸から直接発生し、再生産する部分があり、多様な発生を観察したのでさらに生活史ではさらに詳しい研究が必要である。

方法：② 調査と聞き取りにより八重山諸島から奄

美諸島の生産地の季節的消長を把握する。

イトモズクの季節的消長

宮古島から奄美諸島間の8地域における本種の発芽と消失時期は1993年から1994年（一部1995の発芽期を含む）にいたる調査と聞き取りによると本種の発芽は沖縄島では養殖によると11月上旬、天然で12月中旬に

から消失するまでの期間が最も長いのは沖縄諸島である。本種の養殖期間は曲線Fと曲線Gの間にある推定される。従ってこの調査結果からみると分布の中心は沖縄諸島周辺にあることになり、九州から東北に分布するモズクと琉球列島に分布するイトモズクが相違する可能性がある。

表2 琉球列島におけるモズク（イトモズク）の季節的消長 (1993~1994)

地域名(水深)	種類	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
奄美	奄美郷					◇w				◇◇		◇?	-	
	加計呂麻島													
美	蘇刈(1~7m)													
	伊平屋島(2~3m)			★c		◇c	◇w		◇		◇w◇c			
沖縄島	本部(3~6m)			★c			◇c					◇c		
	与那城(4~6m)			★c		◇w	◇w		◇w				◇w-	
	恩納(2~3m)			c★◇c					◇				◇c-	
宮古島	狩俣(2~3m)			c★◇c					◇		◇c			

◆ ◇ : モズク(イトモズク)の1993年発芽期~1994年消失期、◆ : 藻体の生育確認、◇ : 聞き取り調査、★ : 1994年度発芽期を追加、- : 調査時に発見できない、( ) : 天然産が生育しない地域、W : wild, 天然産、C : 養殖  
E : 人工採苗による発芽期、F : 収穫可能初期、G : 収穫終了期、H : 消失期、奄美大島産の時期は調査、既存資料、及び聞き取り調査から推定。

始まり、消失期は8月上旬である(表1)。表1には自生している地域はイトモズクとし、養殖によって生育する地域を(イトモズク)とカッコでくくった。それによると本種の発芽は、沖縄島では養殖上で11月上旬、天然では12月中旬に発芽し、8月上旬に消失する。宮古島が養殖網上で11月下旬に発芽し5月中旬に消失する。奄美大島における季節的消長は不明であるが、出現した期間が1月中旬から5月上旬であるという報告がある。著者および調査協力者の奄美大島の嘉鉄、蘇刈、加計呂麻島芝における1994年2月中旬、4月及び8月上旬の調査ではモズク類は全く発見されず、4月上旬にオキナワモズクの生育が認められている。イトモズクの奄美大島における生育量はかなり少ないようである。

表2に示す養殖の発芽期曲線E、天然発芽期曲線F及び消失期曲線Hから分かるようにイトモズクの発芽

考察：同化糸から直接発生するのは基本的な生活環境以外にみられた発生であり、これまでに報告されていない。伊藤<sup>1)</sup>は生活史で、種が自然での生存競争を勝ちぬく戦略であるという立場からとらえる必要があるとしている。イトモズクの栄養繁殖が個体群が生き残るために重要な役割を果たしていると思われる。特に耐ストレス戦略という観点から明らかにしなければならないが、海藻の生活史についての知識はまだ不完全なものであり<sup>3, 4)</sup>室内実験、生態観察を継続的に実施し種の持つ全体像を明らかにすることが、その延長線上にある養殖技術をさらに安定化することにつながると思われる。

## 2. オキナワモズク

オキナワモズクは寒天培地上でイトモズクのような種化しなかったが、同化糸が図1に示すように多様に胞子を出すのがみられた。(1)同化糸1細胞から直径数 $\mu\text{m}$ の球形細胞群で放出される場合(図1のBの2)と同化糸1細胞から1細胞が放出されるのがある(図1のBの1)のがみられ発生する。その後の継続観察していないが個体維持と拡散になんらかの役割を果たしている推定される。

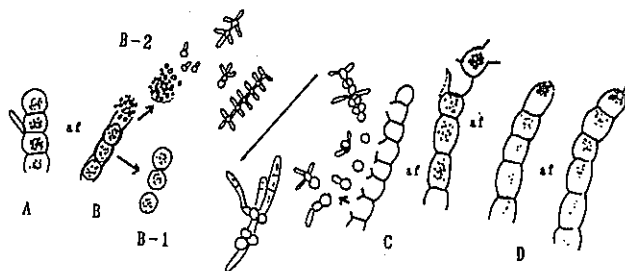


図1 オキナワモズクの無性生殖の数例

A: 同化糸から直接糸状を出す。石垣島伊野田産, 1994, 1月24日  
 B: 同化糸細胞から2形態の細胞を放出, B-1; 同化糸の1細胞毎放出 B-2; 1細胞から10数個の細胞を放出。C: B-1に近い形態。1994, 1, 25, 宮古島狩俣産, D: 寒天培地で静置培養, 同化糸が先端部を除いて白化する。その先端から遊走子1個放出, zf: 同化糸

(2) 同化糸1~数細胞から直接分岐糸状をだす。この状況を利用し種苗は作出する予定である。その他にも原形質状の小塊が多数形成されているので培養中である。それらが天候に強い種苗になる可能性が高い。D以外はイトモズクでも観察された。オキナワモズクの中性遊走子の発生が盤状体を主体に一部糸状体や塊状態を示す。後述するようにイトモズクで有性生殖細胞以外を利用した採苗法で養殖できるようになったので、この矮小体を含めた以下にのべる基本的生活環以外から種苗を作出できる可能性が高い。塊状から種苗として増殖させ保存中である。

### 単子嚢の内容物からの無性的発芽

生殖器官である単子嚢が配偶子を放出するのではなく、内容物を塊状にして放出するが、放出される際にはすでに直立枝が形成されて出てくることがある(図2)。危機的状況下で単子嚢が遊走子を放出しないで直立枝をつけた塊状体を放出するのはその起源を探るのに興味ある現象である。それらは基本的には不適環

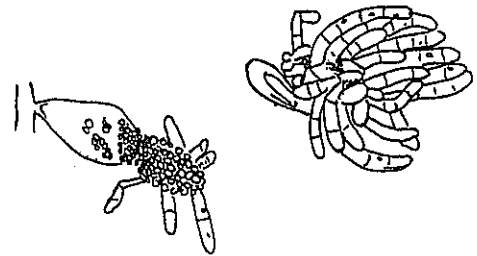


図2 オキナワモズク単子嚢から放出される発芽体  
1988, 7, 5

境における種の保存に関わっていると推定される。

オキナワモズクは沖縄県の与那国島、波照間島を除く八重山諸島を南限(北緯24度)に鹿児島県の奄美大島を北限(北緯29度)とするわが国では琉球列島特産の食用海藻である。分布している地域の年間の平均水温変動は図3に示すように<sup>5)</sup> 19~30°Cの生育環境である。生育期は11月~翌年の7月である。その時期の水温は19~28°Cの範囲にある。本種が自生しない地域の冬季最低平均水温が与那国が22.5°C, 屋久島が18.5°Cを示し、自生する地域の石垣から名瀬の冬季最低平均水温が19.2~20.2°Cの範囲にあるのは本種が発芽する適水温を示唆している。

八重山諸島から奄美諸島間の約1,000kmの10地域における本種の発芽・消失時期を1993年から1994年(一部1995年の発芽を含む)にかけて調査、および聞き取りした。オキナワモズクの発芽は10月中旬に沖縄島で始まり、八重山諸島と奄美諸島は11月下旬から12月上旬に始まる(表3, 曲線Aで示す)。さらに消失期は奄美諸島から沖縄島がほぼ7月下旬であり、宮古島が7月中旬, そして石垣島が5月下旬である。発芽期曲線Aと消失期曲線Dで示すように、発芽から消失期までの期間が最も長い地域は沖縄島であるので、本種の分布の中心はその付近にあると推定できる。養殖については収穫可能初期をB, 収穫終了期をCで示す。

奄美大島の漁場でポリエチレンフィルム(採苗器)を垂下した結果によると、夏期でも2cm以下の長さで生長することが確かめられている<sup>9)</sup>。しかし後述するように種苗保存するためビニール袋を水深4mの海底に

表3 琉球列島におけるオキナワモズクの季節的消長 (1993~1994)

地域名(水深)	種類 / 月	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
奄美	嘉鉄(1~7m)					◇○w?	—		●w		○	○w	◇	—
	加計呂麻島						—					○w	—	—
伊平屋島 (1~3m)	オキナワモズク	c◎				○c○w					○	○c	○w	
沖縄	本部(3~6m)	c◎	○w	○c					○c				c○w	
	与那城(4~6m)	c◎	w◎		○w		●c					●c		●w
	恩納(2~3m)	w◎		○w		●c					○		●w	
宮古島 狩俣 (2~3m)	オキナワモズク	w◎	○w	○c		●c					○		●c	
石垣島底地1.5m 竹富島	オキナワモズク				○w	●w		D			●w	F		
小浜島(1.5~4m)	オキナワモズク			w◎			○w		○c	○w	○c			

● ○: オキナワモズクの1993年発芽期~1994年消失期, ●: 藻体の生育確認, ○: 聞き取り調査, W: wild, 天然産, C: 養殖 ◎: 1994年度発芽を追加, —: 調査時発見できな, A: 発芽時期, B: 収穫可能初期, C: 収穫終了期, D: 消失期, 奄美大島産の時期は調査, 既存資料◇及び聞き取り調査から推定.

沈下させると自然の基質より孢子着生量が多くなり、発芽が早くなる傾向があることが分かってきた。沖縄島東海岸の平安座島で水深4mに沈下したビニール片に9月下旬に1mmの藻体がわずかに出現した。このように人為的な操作を加えると、その実験系はもはや自然のままの状態ではなくなってしまうということになるので、このことを留意する必要がある。本種は水温が生育の制限因子として働いていると推定できる。横浜は光合成植物は光、温度、CO<sub>2</sub>濃度などによって律速されるが海水中の海藻の水平分布に関しては、その分布を限定する要因としては温度のみを考慮すればよいとしている<sup>17)</sup>。さらに暖海性緑藻 *Halimeda* の地

理的分布を報告したTsuda・Kamura<sup>14)</sup>によると、その種数は先島諸島10、沖縄諸島10、そして奄美諸島5と減少している。沖縄諸島と奄美諸島間でその種数が大きく減少する要因を冬季表面水温の大きな差にあると推定している。沖縄諸島と奄美諸島間の生育環境は似ているようで、意外と相違があることを示唆している。奄美大島の水温は沖縄諸島以南と比較して低めに推移するので、天然で2cm以下のオキナワモズク藻体が周年生育する可能性は否定できない。

以上の結果から沖縄産モズク類2種の生活史の概略を示すと、生殖器官以外に同化糸から直接発生することを考慮すると、図-4に示すようになる。

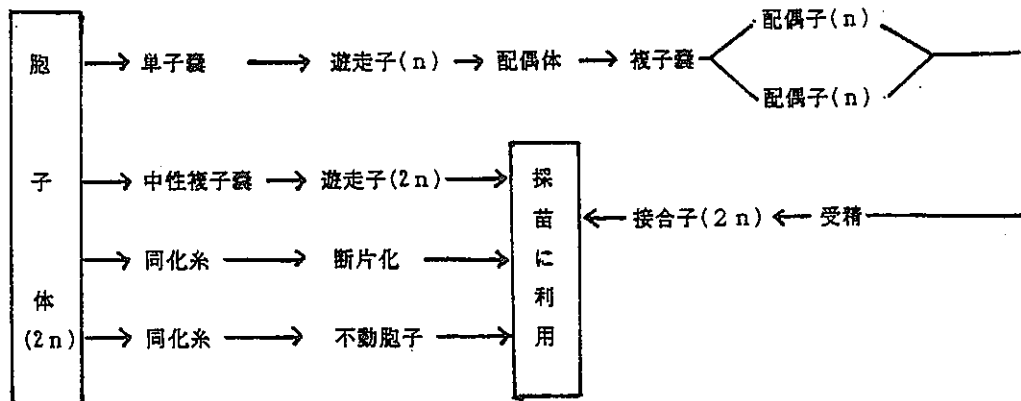


図4 イトモズクの生活環の概略

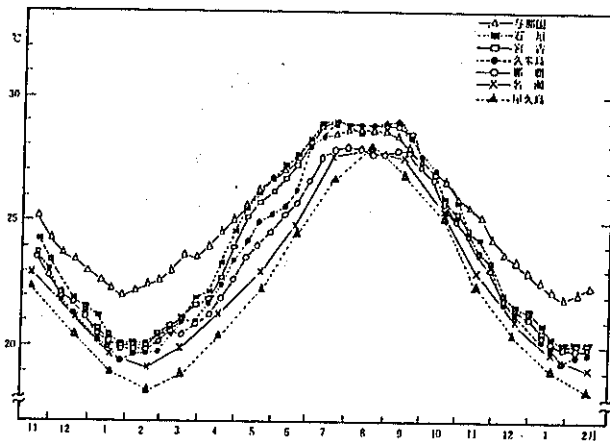


図3 琉球列島各地の沿岸水温の旬別あるいは月別変化<sup>5)</sup>

総合考察： WILLE<sup>15)</sup> は下等褐藻 *Ectocarpus* の研究で、単相の無性胞子の存在を報告し、大貝他<sup>6)</sup> は緑藻ヒビドロの研究でアキネートを報告している。ナガマツモ目でも同様な論議があるが詳しい報告はなく、その後褐藻類についてアキネートの報告は見あたらない(大貝, 増田 私信)。同化糸由来の種苗が天候に左右されにくいことが、さらに明らかになればモズク類の優良育種の作出が可能になる。

同化糸から多様に直接種化できることは生活環の subsycle の一環とするより、イトモズクが持つ耐ストレス戦略特性として重要な位置づけをするべきと考える。亜熱帯の藻類が増殖する手段として生殖器官からの発生の他に盛んに栄養生殖を行う種が多い。クビレツタ, *Gracilaria tikvahiae*, 台湾産オゴノリ *G. tenuistipitata*, フィリピンのキリンサイ類, イバラノリ<sup>11)</sup> などがそれを盛んに行う。藻類生活史の中で栄養生殖を重視する必要性を示している。

伊藤<sup>1)</sup> は生活史で、種が自然での生存競争を勝ちぬく戦略であるという立場からとらえる必要があるとしている。イトモズクの栄養生殖が個体群が生き残るために重要な役割を果たしていると思われる。特に耐ストレス戦略という観点から明らかにしなければならないが、海藻の生活史についての知識はまだ不完全なものであり<sup>3, 4)</sup>、室内実験、生態観察を継続的に実施し種の持つ全体像を明らかにすることが、その延長線上にある養殖技術をさらに安定化することにつながると思われる。同化糸由来の種苗が天候に左右されにくいことの要因が、さらに明らかになればモズク類の優良育種の作出が可能になる。

## 要約

### 1. イトモズク

1) 季節的消長は沖縄諸島では12月中旬に始まり、3~4月に繁茂し、8月中旬に消失する。奄美諸島における生育量は少なくその詳しい情報は少ないが、1月中旬から5月下旬に生育する、あるいは周年生育するという断片的な報告があるが、著者らの調査によると周年生育する可能性は薄い。

2) イトモズクの養殖法は基本的にはオキナワモズクと同じである。しかし藻体がチギレやすいという性質があるのでその特性を生かし、繁茂した網の上に新しい網を重ね、藻体を絡ませ採苗する方法(からまかき一)がある。

3) 生殖器官以外に同化糸から直接種苗となる発生をみつけ、それから種苗生産し養殖した結果、天候に左右されにくい種苗であることが明らかになり安定生産につながる種苗を開発した。同化糸から直接種を作出する方法がその他2つ以上あることを明らかにした。

### 2. オキナワモズク

1) 栄養生殖による発生：生殖細胞以外の細胞で同化糸が直接不動胞子や遊走子をだし発生することを明かにし、それを種苗として大量培養中である。基本的な生活環以外に不適環境に対し個体群が多様な生残るための機能があると思われる。近い将来さらに別の角度から種苗が作出されることが期待できる。

#### 2) 季節的消長

オキナワモズクの発芽は10月中旬に沖縄島で始まり、八重山諸島と奄美諸島は11月下旬から12月上旬に始まる。さらに消失期は奄美諸島から沖縄島がほぼ7月下旬であり、宮古島が7月中旬、そして石垣島が5月下旬である。発芽から消失期までの期間が最も長い地域は沖縄島であるので、本種の分布の中心はその付近にあると推定できる。琉球列島における養殖の収穫可能初期、収穫終了期を明らかにすることができた。

謝辞：沖縄県水産試験場八重山支場の玉城信英氏に寒天培地などの準備にご協力を得た。さらに奄美諸島のモズク類の季節的消長の調査には日本栽培漁業協会奄美事業場の升間主計場長の多大なご協力を得た。記して厚くお礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1)伊藤嘉昭 1977 生活史の起源(I)-新しい生活史学のための覚書き-. 生物科学, 第29巻第2号, 57-61.
- 2)右田清治・四井敏雄 1972 モズク増殖に関する基礎的研究-I. 長崎大学水産学部研報, 第34号, pp. 51-61.
- 3)中村義輝 1971 海洋植物の形態, 1. 褐藻類の形態形成と生活史. 海洋科学, 3:765-768.
- 4)中原紘之・増田道夫 1971 海洋植物の形態, 2. 緑藻と褐藻の生活史と水平分布. 海洋科学, 3:768-770.
- 5)西島信昇 1988 漁場としてのサンゴ礁 (西平守孝編著). 沖縄のサンゴ礁, 沖縄県環境科学検査センター, 191-207.
- 6)大貝政治・藤山虎也・河辺博 1982 緑藻ヒビミドロ属一種の生活史について. 藻類, 30:219-224.
- 7)岡村金太郎 1956 日本海藻誌. 第2版, 内田老閣圃, 東京, pp. 964.
- 8)新村 巖 他 1956 II-もずく生態調査. 昭和30年度鹿児島水試事報, 57-63.
- 9)新村 巖 1977 オキナワモズク養殖に関する基礎的研究. 鹿児島水試研報, 11, pp. 61
- 10)玉城英信・内藤美佐子 1994 有用藻類のバイオテクノロジー基礎技術開発研究. 平成4年度沖縄県水産試験場事業報, 230-236.
- 11)当真 武・本村浩司 1983 沖縄産イバラノリ (*Hypnea charoides*) の四分孢子発生と栄養繁殖. 沖縄生物学会誌, 22:95-101
- 12)当真 武 1981 オキナワモズク浸出液の雑藻抑制効果試験. 昭和54年度沖縄水試事報, 162-166.
- 13)当真 武 1995 沖縄産モズク類の組織培養と産地8地域の季節的消長. 平成5年度沖縄水試事報, 120-123.
- 14)TSUDA, R. T. and S. KAMURA, 1991 Floristic and geographic distribution of *Halimeda*(Chlorophyta) in the Ryukyu Islands. Jpn. J. Phycol. (Sôruï), 39:57-76.
- 15)WILLE, N. 1901 Studien über Chlorophyceae, I-VII. Vidensk. Selsk. Skr. I, Marth. Natur, Klasse, No. 6, 1-14.
- 16)四井敏雄 1980 モズクの生活環と増殖に関する研究. 長崎水試論文集, 第7集, pp. 48.
- 17)横浜康継 1986 海藻の分布と環境要因. (秋山優・有賀祐勝・坂本充・横浜康継共編)「藻類の生態」, 内田老鶴圃, 251-308.
- 18)吉田忠生・吉永一男・中嶋泰 1995 日本海藻目録(1995年改訂版). 日本藻類学会, 43:115-171.