褐藻類アカモク・ヤツタモクの幼胚および葉状部の 成長に及ぼす光質・光量の影響^{*1, 2}

松井敏夫, 大貝政治, 村瀬 昇

(1994年3月31日受付)

The Effects of Light Quality and Quantity on Germling and Thallus Growth in *Sargassum horneri* and *S. patens*

Toshio Matsui,^{*3} Masaharu Ohgai,^{*3} and Noboru Murase^{*3}

The effects of light quality and quantity on growth of germlings and thalli of *Sargassum horneri* and *S. patens* were examined in an indoor culture. Red, green, blue and white light were used at 3-5 different levels from 10 to 120 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$. The effect of light quality on their growth was the same in the germlings and thalli of both species. Growth of *S. horneri* was the best under white and blue light, better under green, but very poor under red light. Though *S. patens* did not grow under red light, it grew vigorously at similar rates under the other three light sources. As for the light quantity, both species grew well with more light. *S. horneri* grew 2-4 times faster than *S. patens*.

キーワード: アカモク, ヤツタモク, 幼胚, 成葉, 光質, 光量, 成長

海藻の生育と光との関係について、著者らは先にコンブ目数種の配偶体の成長・成熟および胞子体（幼葉）の成長に及ぼす光質・光量の影響を報告した。¹⁾ 一方、ホンダワラ類については、幼胚の発生様式や形態形成についての猪野,²⁾ 河本・富山,³⁾ 寺脇ら^{4, 5)}などの報告、また、幼胚の成長と光の関係についての小河,^{*4} Hales and Fletcher⁶⁾の研究があるが、幼胚、葉状部の成長と光質・光量について明らかにした報告はこれまでほとんどみられない。そこで、本研究ではアカモク、ヤツタモクの幼胚および葉状部の成長と光質・光量の間接関係を検討したので、その結果を報告する。

材料および方法

材料 アカモク *Sargassum horneri* の幼胚は母藻採集時に生殖器官に付着していたものを集めて実験材料としたが、ヤツタモク *S. patens* では採取した成熟母藻を流海水中で室内培養し、1~3日後に放出された卵をキャビラリーで採取した。このようにして得られた卵や幼胚を滅菌海水でよく洗浄し、培養液を入れて底に18×18 mmのカバーガラスを敷いたシャーレ中に散布した。これを

2~3日間静置して幼胚をカバーガラスに着生させ、実験に使用した。1枚のカバーガラスに着生した幼胚数はアカモクでは平均約45個体、ヤツタモクでは平均約83個体であった。なお、開始時の幼胚は多くの場合、仮根がわずかに伸びている発生初期段階のものであった。また、実験の開始時期はアカモクが4月下旬（水温約14.8℃）、ヤツタモクが6月上旬（水温約18.8℃）であった。葉状部については、未熟個体の茎（アカモク）や主枝（ヤツタモク）を、先端から長さ2 cmに切断し、雑藻を除去して材料とした。実験開始時の葉状部の湿重量はアカモクでは92.3~168.3 mg、平均123.8 mg、ヤツタモクでは80.5~150.3 mg、平均113.2 mgであった。これらの実験はアカモクで1~3月、ヤツタモクで3月に実施した。なお、これらの母藻や材料は山口県豊浦郡豊浦町沿岸の浅所で採取した。

培養方法 幼胚については、小形シャーレ（内径45 mm、高さ15 mm）に幼胚着生のカバーガラスをアカモクでは4枚、ヤツタモクでは3枚ずつ入れ、前報¹⁾のコンブ目配偶体の場合と同様な方法で静置培養した。また、葉状部については容量500 mlの平底フラスコにア

^{*1} 海藻の光特性に関する研究—II (Studies on Seaweeds' Relation to Properties of Light—II).

^{*2} 本研究は、科学技術庁の昭和61~63年度の科学技術振興調整費による「海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究」の中の「光利用による海中緑化技術に関する研究」の一環として実施された。

^{*3} 水産大学校増殖学科 (Shimonoseki University of Fisheries, Nagatahonmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-65, Japan).

^{*4} 小河久朗: ホンダワラ類の幼胚の発生に及ぼす温度、光、塩分濃度の影響について、昭和55年度文部省科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書、藻場（ガラモ場）の生態の総合研究、1981, pp. 51-54.

Fig. 1. Development of the germlings of *Sargassum horneri* (a-d) and *S. patens* (e-g).

a, e, the germlins when culture starts; b, after 5 days; c, after 10 days; d, after 20 days; f, after 15 days; g, after 20 days.

Table 1. Length of first primary leaf and percentage of germlings with various branching of primary leaf after 20 days culture in different quantum irradiances of red, green, blue, and white fluorescent light at 14–16°C, in *Sargassum horneri*

Light quality	Quantum irradiance ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	Length of first primary leaf* ¹ (μm)	Number of primary leaf				
			1	2	3	4	5
Red	10	$372 \pm 27^{*2}$	100	0	0	0	0
	25	492 ± 134	100	0	0	0	0
	50	712 ± 364	100	0	0	0	0
	75	766 ± 284	100	0	0	0	0
	100	$1,159 \pm 427$	100	0	0	0	0
Green	10	570 ± 114	100	0	0	0	0
	25	$1,219 \pm 323$	100	0	0	0	0
	50	$1,823 \pm 515$	95	5	0	0	0
	75	$2,727 \pm 591$	23	77	0	0	0
	100	$4,020 \pm 613$	0	30	55	15	0
Blue	10	$1,949 \pm 603$	86	14	0	0	0
	25	$3,313 \pm 898$	30	55	15	5	0
	50	$4,616 \pm 791$	5	50	30	15	0
	75	$4,400 \pm 1,415$	10	15	55	20	0
	100	$3,461 \pm 607$	0	5	25	50	20
White	10	$1,801 \pm 411$	100	0	0	0	0
	25	$2,773 \pm 566$	50	50	0	0	0
	50	$4,710 \pm 1,242$	5	85	10	0	0
	75	$3,819 \pm 1,265$	15	85	0	0	0
	100	$4,667 \pm 1,180$	11	71	18	0	0

*¹ Initial length of germling was $356 \pm 37 \mu\text{m}$.

*² Mean $\pm$ S.D. of 20 specimens.

カモクで4個体、ヤツマタモクで3個体ずつ入れて通気しながら培養した。各実験の期間は15~20日間、温度は14~16°Cで、3日ごとにPESI培養液²⁾を入れ換えた。培養期間中には幼胚や葉体に珪藻などが付着して増殖する場合がみられたので、その際には培養液交換時に筆やピンセットを使用してできるだけそれらを取り除いて実験を続行させた。光条件は、前報¹⁾と同様に、紅色、綠色、青色、白色の20 W三菱蛍光ランプを光源として東芝シャープカットフィルター(5 cm 平方)を併用し、幼胚については上方から、葉状部については下方からそれぞれ照射した。また、各光質ごとに3~5段階の光量区を設けて1日12時間明期とした。なお、葉状部については500 ml フラスコが収容できる1辺約10 cmの底のない紙箱を作り、その底にシャープカットフィルターを4枚並べて(10 cm 平方)、その上に培養フラスコを置いて培養した。

成長度の測定 幼胚については、培養5日以後の所定日に、アカモクについては20個体を、ヤツマタモクでは30個体をそれぞれのカバーガラスから外して、仮根を除く発芽体の長さを測定し、 $\{(\text{測定日の平均葉長}-\text{開始日の平均葉長}) \times 100 / \text{開始日の平均葉長}\}$ で成長度を表した。なお、発芽体が分岐した場合にはそれぞれの葉の長さを合わせたものを葉長とした。葉状部については測定直前に濾紙で水滴を拭いとった後、生重量を測定し、アカモクは4個体、ヤツマタモクは3個体について、 $\{(\text{測定日の平均湿重量}-\text{開始日の平均湿重量}) \times 100 / \text{開始日の平均湿重量}\}$ で増重率を表した。

結 果

幼胚

1. アカモク 各光質に10, 25, 50, 75, 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の5光量区を設け、5, 10, 15, および20日後に各区20個体について葉長を測定した。なお、培養開始時の発芽体の長さは $356 \pm 37 \mu\text{m}$ であった。

幼胚は成長すると、先ずやや扁平した円柱状の第1葉を形成し、³⁾下部に仮根を伸長した。成長がさらに進むと分岐して葉数が増え、第2、第3葉には縁辺に浅い切れ込みが認められるようになった(Fig. 1a-d)。分岐が最も早期にみられたのは青色光の100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 区で、培養5日後の数個体に長さ0.3 mmの第2葉がみられた。また、白色光と綠色光では培養10日後の高光量区で分岐した発芽体が多く観察された。培養20日後における第1初期葉の葉長ならびに葉数をTable 1に示す。葉長は青色光、白色光で長く、ついで綠色光で、紅色光では短かった。葉数は紅色光を除いて各光質とも高光量ほど多くなる傾向にあった。光質別にみると青色光で最も多く、ついで白色光、綠色光であった。しかし紅色光では

Fig. 2. Growth of *Sargassum horneri* germlings (excluding rhizoids) in culture at different quantum irradiances of red, green, blue, and white fluorescent light at 14-16°C.

Light quantities: ○, 100; ●, 75; △, 50; ▲, 25; □, 10 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

Fig. 3. Growth of *Sargassum horneri* germlings (excluding rhizoids) after 20 days culture in different quantum irradiances of red (●), green (△), blue (▲), and white (○) fluorescent light at 14-16°C.

Vertical bars indicate standard deviations ($n=20$).

各光量区ともすべて第1葉のままであった。

培養中の成長度をFig. 2に示す。紅色光を除く各光質の幼胚はいずれも培養日数の経過に伴ってしだいに伸長し、また高光量ほどよく成長した。培養10ならびに15日後における光質別成長度は青色光で最もよく、ついで白色光、綠色光であり、紅色光では非常に劣っていた。しかし培養20日後における成長度と光量の関係はFig. 3で示したように、白色光でも青色光と同程度の成長が

Table 2. Length of first primary leaf and percentage of germlings with various branching of primary leaf after 20 days culture in different quantum irradiances of red, green, blue, and white fluorescent light at 14–16°C, in *Sargassum patens*

Light quality	Quantum irradiance ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	Length of first primary leaf ^{*1} (μm)	Number of primary leaf		
			1	2	3
Red	10	386 $\pm$ 61 ^{*2}	100	0	0
	25	600 $\pm$ 144	100	0	0
	50	585 $\pm$ 107	100	0	0
	75	587 $\pm$ 112	100	0	0
	100	588 $\pm$ 133	100	0	0
Green	10	484 $\pm$ 88	100	0	0
	25	913 $\pm$ 135	100	0	0
	50	1,107 $\pm$ 195	100	0	0
	75	1,533 $\pm$ 360	100	0	0
	100	1,656 $\pm$ 375	100	0	0
Blue	10	721 $\pm$ 147	100	0	0
	25	908 $\pm$ 182	97	3	0
	50	1,010 $\pm$ 249	100	0	0
	75	1,283 $\pm$ 199	93	7	0
	100	1,437 $\pm$ 220	83	13	3
White	10	466 $\pm$ 84	100	0	0
	25	816 $\pm$ 172	100	0	0
	50	1,146 $\pm$ 275	100	0	0
	75	1,292 $\pm$ 157	97	3	0
	100	1,300 $\pm$ 246	80	20	0

*1 Initial length of germling was 236 $\pm$ 24 μm .

*2 Mean $\pm$ S.D. of 30 specimens.

みられた。光量増加に伴う成長は、青色光と白色光では 50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ まで光量とほぼ正比例の関係にあったが、それ以上の光量では大きな成長増加がみられなかった。これに対して緑色光での成長は、低光量では劣っているが、光量が 50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ をこえても成長増加がみられ、100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ では青色光や白色光とほぼ同程度を示した。しかし紅色光では高光量下でも成長が不良であった。

培養開始時に平均約 360 μm あった幼胚の葉長は、20 日後の 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ において、分岐した場合はその部分の長さも加えて青色光で平均 6.4 mm、白色光で 6.6 mm、緑色光で 5.9 mm、紅色光で 1.1 mm であった。

2. ヤツタモク 実験はアカモクについてと同じ 5 光量区を設けて 20 日間行い、その 5 日ごとに各区 30 個の発芽体について長さを測定した。なお、開始時の材料の平均葉長は 236 $\pm$ 24 μm であった。

発芽体の初期形態は Fig. 1 e–g のとおりで、発生が進むとやや扁平した円柱状の第 1 初期葉⁹⁾の中央付近から第 2 初期葉が形成され始めた。第 1 初期葉の葉長および葉数の変化については Table 2 に示すように、葉長は緑色光が最も長く、ついで青色光、白色光、紅色光の順で、

Fig. 4. Growth of *Sargassum patens* germlings (excluding rhizoids) in culture at different quantum irradiances of red, green, blue, and white fluorescent light at 14–16°C.

See Fig. 2 for further explanation.

光量の増加に伴って長くなった。しかし葉数の変化をみると紅色光と緑色光では各光量区とも実験 20 日後まで第 1 葉のみであったが、青色光と白色光では 75 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の実験区において一部の個体に第 2 葉の形成が認められた。特に青色光の 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 区では 15 日後に第 2

葉, 20 日後に第3葉が出ている個体がそれぞれ観察された。

実験中における成長状況は Fig. 4 のとおりで, 各実験区とも培養日数の経過に伴ってそれぞれの光条件に応じたほぼ一定速度の成長を示した。光量別では高光量ほどよく伸長し, 光質別では紅色光を除く3光質ではほぼ同程度の順調な成長がみられた。培養20日後における光量と成長度の関係を Fig. 5 に示した。緑色光, 青色光, お

Fig. 5. Growth of *Sargassum patens* germlings (excluding rhizoids) after 20 days culture in different quantum irradiances of red (●), green (△), blue (▲), and white (○) fluorescent light at 14–16°C.

Vertical bars indicate standard deviations ($n=30$).

Fig. 6. Vegetative growth of detached thallus tips (2 cm initial length) of *Sargassum horneri* in culture at different irradiances.

Light quantities: ○, 100; ●, 50; △, 20 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

よび白色光では, 実験した光量範囲内 ($100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以下) では, いずれも光量が高いほどよく成長し, 光質による違いはほとんどなかった。しかし紅色光での成長は非常に悪く, $25 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の光量区では成長促進がほとんどみられなかった。

培養開始時に平均約 $240 \mu\text{m}$ であった幼胚の葉長は, 20 日後の $100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ において, 分岐した場合はその部分の長さも加えて青色光で平均 1.5 mm , 白色光で 1.4 mm , 緑色光で 1.7 mm , 紅色光で 0.6 mm であった。

葉状部

1. アカモク 各光質ごとに 20, 50, $100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の3光量区を設け, 各区に4個体ずつの材料を用いて16日間培養し, その間2, 3日ごとに成長状況を調べた。葉体は培養日数の経過に伴って葉数が増加し, 長さが伸びてきた。重量変化からみた成長状況は Fig. 6 のとおりである。低光量下では各光質ともあまり成長がみられなかったが, $100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ になると光質による違いが明瞭になってきた。すなわち, 成長は白色光で最もよく, ついで青色光, 緑色光の順であり, 紅色光で劣っていた。培養16日後の $100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ における4個体の平均湿重量は実験開始時の 119.6 から 629.2 mg に, 123.1 から 512.7 mg に, 116.3 から 415.0 mg に, 125.5 から 301.5 mg にそれぞれ増加し, 増重率はそれぞれ430, 320, 260, および140%であった。また, $50 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ における増重率は, 白色光と青色光で165%とほぼ等しく, 緑色光で140%, 紅色光で95%であった。アカモクについては $20 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の光量区でも実験したが, 増重率の最高がやや低くて50%であったほかは, 光質と成長との関係は全く同じであった。

2. ヤツマタモク 光量段階として20, 60, $120 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の3区を設け, 各区に材料を3個体ずつ入れて

Fig. 7. Vegetative growth of detached thallus tips (2 cm initial length) of *Sargassum patens* in culture at different irradiances.

Light quantities: ○, 120; ●, 60; △, 20 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

15日間培養した。培養中の成長はFig. 7のとおりで、各光質とも光が強くなるにつれて成長も活発になった。また光質別では紅色光で劣っているほかは、いずれもほぼ同程度の成長がみられた。培養15日後の $120\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ におけるそれぞれの3個体の平均湿重量は、青色光では実験開始時の105.2から202.0 mgに、白色光では116.1から208.9 mgに、緑色光では123.7から227.1 mgに、紅色光では103.8から149.7 mgに増加し、増重率はそれぞれ93, 80, 84, 44%で、紅色光での成長が特に悪かった。また、 $60\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ における増重率は青色光と白色光で50%とほぼ等しかったが、緑色光でやや低く32%, 紅色光で24%であった。

考 察

アカモク幼胚の成長は発生初期では、青色光区で最もよく、ついで白色光、緑色光であり、紅色光下では劣っているが、発生が進むと白色光でも青色光と同程度の好成長を示す。光量については、青色光と白色光では $50\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上で活発であり、緑色光では低光量で成長は良くないが、光量が増すにつれて青色光とほぼ等しい成長がみられるが、紅色光では高光量下でも成長が不良である。また、発芽体の分岐状況からみても、葉長の長い成長の活発な青色光が最も多く、ついで白色光・緑色光であり、紅色光のもとでは分岐しない。ヤツマタモク幼胚の成長は、発芽体の葉長からみるとアカモクと同様に紅色光を除く3光質で各光量ともほぼ同程度の良好な成長がみられ、分岐は青色光と白色光で優れていた。光形態形成については大型藻類での報告はないが、被子植物でのキク科植物の切り木の根の発達と光質の関係⁹⁾をみると、根の数や長さは白色光や紅色光下のものが青色光や緑色光下のものより勝っていたが、最初に根が出現するものは逆に緑色光下で最も早かったと報告している。このように、植物の形態形成は光質によって大きく左右されることが認められている。したがって、今回の結果からアカモクやヤツマタモクの葉状部の分岐が青色光が多かったことは、形態形成が藻類においても光質によって大きく影響を受けていると考えられる。これらのことを含めて今回の結果を総括すると、両種の幼胚は形態形成が光質によって異なるものの、白色光、青色光、緑色光の $75\sim 100\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で活発に成長するものと思われる。沿岸域での光条件は、下田湾での海中光の測定結果⁹⁾から考えると、水深5 m付近ではすでに紅色光がほとんど無くなり、緑色光や青色光が大部分を占めて、そ

の波長域の光量を計算すると約 $62\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。アカモクやヤツマタモクの垂直分布をみると一般に水深5 m以浅に多く成育していたことから、このような海域での分布はそれぞれの幼胚の成長に好適な光条件が存在していることと関係が深いと考えられる。

葉状部は成長点を含む主茎または主枝の先端部を使用すれば室内培養でも活発に成長することが認められた。アカモクは白色光での成長が最もよく、ついで青色光、緑色光の順であって、紅色光では幼胚と同様に最も劣っている。ヤツマタモクでは紅色光での成長は悪いが、青色光、緑色光、白色光ではいずれもほぼ同様に順調な成長を示す。また両種とも $100\sim 120\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ までは光が強いほど成長も活発である。なお、本実験ではシャープカットフィルターを通した光で培養を行った結果、このような光質による成長の違いが認められたが、各色蛍光灯の光をそのまま使用した実験では、^{*)}紅色光下でも他光質とほぼ同程度の成長がみられている。これは、シャープカットフィルターを使用しないと、紅色蛍光灯から同時に放射される少量の青色光がカットされないで、その影響によって成長が促進されるからであろう。

アカモクとヤツマタモクの各条件下での成長速度を比較すると、幼胚と葉状部の成長速度は紅色光下を除けば、いずれもアカモクの方が2~4倍速い。アカモクの幼胚および葉状部がヤツマタモクのそれらより速く成長することは吉田・西川¹⁰⁾も報告しているが、本研究での培養水温(15℃)がアカモクの成長により適している^{*)}ことやアカモクの方が大形に成長する¹¹⁾ことなども、成長の速さに関係があるものと考えられる。

ホンダワラ類の幼胚の成長と光の関係については比較的浅所に生育するタマハハキモク *Sargassum muticum* を白色蛍光灯下で4週間培養した報告⁶⁾がある。これによれば、成長に好適な光量は $44\sim 88\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ とされているが、この実験では1日16時間照射となっているので、日間積算光量に換算すると、 $2.5\sim 5.1\text{E}/\text{m}^2/\text{day}$ となる。本研究では1日12時間照射で行っており、成長が良好であった光量 $75\sim 100\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ を日間積算光量に換算すると $3.2\sim 4.3\text{E}/\text{m}^2/\text{day}$ となり、光量のみからみると本研究の結果とほぼ同様である。

アカモクおよびヤツマタモクの成長と光質の関係については、前報¹⁾での褐藻類コンブ目のアラメ、クロメ、カジメなどの孢子体の成長が青色光で最もよく、紅色光では劣るという結果ともほぼ同じである。また、Luning

^{*)} 松井敏夫、大貝政治：海藻の光特性に関する研究。昭和61~63年度科学技術振興調整費、海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究(第1期)成果報告書、科学技術庁研究開発局、東京、1990, pp. 147~158.

^{**)} 松井敏夫、大貝政治：ホンダワラ類(ヤツマタモクとアカモク)の生長と水温、大量温排水に対する水産環境アセスメント総合調査。昭和50~55年総括報告書、水産庁・東海区水産研究所、1981, pp. 213~217.

and Neushul¹²⁾ はコンブ目 9 種の配偶体の成熟割合が水温によっても異なるが青色光の総光量に比例すると報告している。このことから、褐藻類の成長は成熟をも含めて一般に青色光で最もよく、ついで緑色光であり、紅色光で劣る傾向があるものと考えられる。また褐藻の光合成の実験から、影山と横浜¹³⁾ は深所産の種が白色光、緑色光および青色光を同じ効率で利用するのに対して、浅所産種では緑色光と青色光の利用効率が白色光のそれより低いとしている。今回は光合成色素の分析や吸収スペクトルの測定を行っていないが、幼胚の成長からみると今回の 2 種のうち白色光、青色光、緑色光でほぼ等しい成長を示したヤツマタモクの方が緑色光の低光量下で成長の良くなかったアカモクよりやや深所産の傾向を示している。一方、葉状部の成長は両種間で光質、光量に対する反応に差はみられず、ヤツマタモクでも低光量下の緑色光のもとでの成長は、白色光との差が大きかった。ヤツマタモクでも葉状部の伸長した場合、成長点は水面近くまで達し、その部分の光環境としては浅所に生育するものと等しいことと関係するものかも知れない。海藻の生育と光質との関係は、今後とも分布水深の異なる材料について光合成、葉体の色素分析、成長実験などを追求していく必要があると思われる。

文 献

- 1) 松井敏夫, 大貝政治, 大島芳明, 古原和明: コンブ目植物数種の配偶体の成長・成熟および胞子体(幼葉)の成長に及ぼす光質・光量の影響. 日水誌, **58**, 1275-1265 (1992).
- 2) 猪野俊平: 海藻の発生, 第 1 版, 北隆館, 東京, 1947, pp. 1-93.
- 3) 河本良彦, 富山 昭: ホンダワラ類の増殖に関する研究—I. クレモナ化繊糸による採苗, 培養について, 水産増殖, **16**, 87-95 (1968).
- 4) 寺脇利信, 野沢治治, 新村 巖: ホンダワラ類の初期形態形成に関する研究—II. ヤツマタモク. 藻類, **31**, 38-43 (1983).
- 5) 寺脇利信, 野沢治治, 新村 巖: ホンダワラ類の初期形態形成に関する研究—III. アカモク. 藻類, **31**, 97-101 (1983).
- 6) J. M. Hales and R. L. Fletcher: Studies on the recently introduces brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt IV. The effect of temperature, irradiance and salinity on germinating growth. *Botanica Marina*, **32**, 167-176 (1989).
- 7) M. Tatewaki: Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, **6**, 62-66 (1966).
- 8) E. Borowski and L. Kozłowska: The Influence of Light Color on the Rooting of Horim Golden *Chrysanthemum* cuttings. *ACTA Agrobotany*, **39**, 47-58 (1986).
- 9) 影山明美, 横浜康継: 深所性緑藻と光合成. 藻類, **25**, 167-175 (1977).
- 10) 吉田範秋, 西川 博: ホンダワラ類の生長. 長崎県水産試験場研究報告, **1**, 13-18 (1975).
- 11) 瀬川宗吉, 沢田武男, 桧垣正浩, 吉田忠生: 流れ藻の海藻学的研究—IV. 流れ藻調査資料から見たホンダワラ類の生長. 九大農学部学術雑誌, **17**, 429-435 (1960).
- 12) K. Lüning and M. Neushul: Light and Temperature Demands for Growth and Reproduction of Laminarian Gametophytes in Southern and Central California. *Marine Biology*, **45**, 297-309 (1978).
- 13) 影山明美, 横浜康継: 生育深度を異にする褐藻の光合成特性. 藻類, **22**, 119-123 (1974).

1) 松井敏夫, 大貝政治, 大島芳明, 古原和明: コンブ目植物数種の配偶体の成長・成熟および胞子体(幼葉)の成長に