

学 位 論 文 題 名

褐藻フシスジモク *Sargassum confusum* の

増殖生物学的研究

学位論文内容の要旨

褐藻ホンダワラ類は、熱帯から寒帯域まで世界各地に広く分布し、大きな群落を形成することが知られている。近年、北海道沿岸では海藻群落が減少しつつあり、特に日本海側でその傾向が顕著である。この海域で大型になり、大きな群落を形成する種としては、フシスジモク *Sargassum confusum* が挙げられる。しかし、北海道沿岸においてホンダワラ類は、これまで、天然コンブ漁の妨げになる害藻として取り扱われ、駆除方法等の報告があるが、水産生物資源としての観点からの研究やそれらの繁殖に関する試みはあまりなされなかった。

フシスジモクは主に日本海側に分布し、ニシン、ハタハタ、シワイカナゴなどの有用魚種をはじめ、幾多の動植物に生活や繁殖に適した場を与えている。本種はこのような水産生物資源の保全だけでなく、環境保全や自然海岸の回復機能を有する海藻として注目され、群落の形成が期待されている。また、フコキサンチンやフコイダンなど機能性成分を含有することから、有望な海藻資源である。

本研究では、フシスジモクの計画的な増殖の基礎となる受精卵の確保、育成方法、形態に伴う繁殖特性を見出す目的で、初期胚から成体までの形態形成を明らかにした。

まず、北海道南部海域に生育する本種の生殖器床形成時期や卵放出時期、卵放出日等を調べた。また、生殖器床上につく受精卵の状態を明らかにし、フシスジモク雌性体につくられる卵数を概算した。その結果、北海道南部海域におけるフシスジモクの卵放出時期は毎年ほとんど同じで、江差町泊では5月中旬～6月中旬、江差町愛宕では6月中旬～7月上旬、せたな町大成区久遠では6月上旬、函館市志海苔では7月上旬～中旬、函館市臼尻では7月中旬～8月上旬であった。卵はこの期間の大潮時に放出された。雌性生殖器床1 mmあたりにつく受精卵数は 150.6 ± 24.8 個であった。江差町沿岸のフシスジモク雌性体1個体の放出卵数は、主枝長100 cmあたりで $6 \times 10^5 \sim 1.9 \times 10^6$ 個、200 cmで $4.4 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7$ 個、300 cmで $1.4 \times 10^7 \sim 3.9 \times 10^7$ 個と推定された。

次に、室内培養で受精卵、幼胚、幼体の形態形成やそれらに及ぼす様々な環境要因の影響を調べた。フシスジモク受精卵の発生は、一定の形態形成様式を示し、幼胚で1～64細胞期の分割胚、1次仮根胚、2次仮根胚に段階が進み、幼体で主軸形成体、付着器

形成体、主枝形成体に発達する。異なる水温 (3, 5, 10, 15, 20 °C) がフシスジモク受精卵、幼胚、幼体に及ぼす影響調べた結果、水温 3 °C では、1 次仮根胚で発生段階が停滞した。水温 5 °C では、2 次仮根胚で発生段階が停滞した。水温 10 °C では、1 年後に主軸形成体となった。水温 15 °C では、全ての藻体が主枝形成体となり、主枝の早期形成の最適水温であった。水温 20 °C では、主枝形成体となったが、半数以上の個体が付着器形成体の段階で枯死し、主枝形成を抑制していると考えられた。水温 3 °C、5 °C で発達段階が停滞した幼胚は、低光量条件 ($20 \sim 40 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) において 2 年半経過後も発達段階が進行しないで生きており、水温 15 °C に移植すると正常に発生した。このことから、長期間、大量の幼胚を保存することが可能になった。異なる光量 (40, 80, 160, 320 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)、光周期 (8:16, 10:14, 12:12, 14:10, 16:8 light: dark hr) がフシスジモク幼体に及ぼす影響を調べた結果、全ての条件で幼体は主枝形成体を示し、主枝の早期形成条件は高光量、長日条件であった。異なる塩分 (10, 15, 20, 25, 30, 35 psu) が本種幼体に及ぼす影響を調べた結果、幼体は塩分濃度 15 ~ 35 psu で生長し、広い塩分濃度に適応することがわかった。

次に、海中培養でフシスジモク大型藻体を継続観察して、成体の季節的消長を調べた。本種の季節的消長は以下の 5 期に分けることができた。

緩生長期 (12 月 ~ 翌年 3 月) : 水温が下降する時期にあたり、主枝が緩やかに伸長する (生長率 $0.2 \sim 0.5 \text{ cm}/\text{day}$)。主枝の伸長と共に、主枝上についていた大型の葉 LL (葉長 5 cm 以上、葉副 1 cm 以上) がほとんど脱落し、新たに全縁で倒卵形または披針形の中型の葉 ML (葉長 2 ~ 5 cm、葉副 0.5 ~ 1 cm) をつける。気胞 (直径 3 ~ 5 mm) が形成され、葉 ML の根元からは側枝が発出、伸長する。

急生長期 (4 ~ 6 月) : 水温が上昇する時期にあたり、主枝が著しく伸長する (生長率 $1.1 \sim 1.8 \text{ cm}/\text{day}$)。側枝が多数発出し、伸長して小枝、気胞、線状の葉 SL をつける。主軸頂点部の主枝は LL を多く形成し、蕾状を呈する。

成熟期 (7 月) : 水温は $15 \sim 18^\circ\text{C}$ くらいで、主枝が最長に達する ($176.8 \sim 296.2 \text{ cm}$)。生殖器床が形成され、配偶子を放出する。

枯死・脱落期 (8 ~ 9 月) : 水温が最高に達し、 20°C 以上を越える日が連続して続く時期にあたり、主軸下方についている古い主枝が先端より枯死し始めるため、全長が著しく減少する。5 ~ 7 本の主枝が脱落し、主軸上に脱落痕を残す。

再生期 (10 ~ 11 月) : 水温が下降し始める時期に当たる。主枝長の減少が治まり、新しい主枝や古い主枝は大型の葉 LL や気胞をつけ始める。付着器は主軸基部より新しい表層細胞に覆われて発達する。

さらに、室内で育成した幼体 (主枝形成体) を海中移植して継続観察し、形態形成の特徴から年齢に伴う法則性を見出すことに努めた。その結果、1 年目藻体は、2 年目以上の藻体に比べて生長が緩慢で、生殖器床を形成しなかった。加齢に伴い主軸上にできる主枝脱落痕の数に法則性を認め、本種の年齢査定に適していることが明らかになった。1 年目藻体 (主枝脱落痕数 $N_S : 0$)、2 年目藻体 ($N_S : 0-3$)、3 年目藻体 ($N_S : 3-6$)、4 年目藻体 ($N_S : 7-11$)、5 年目藻体 ($N_S : 12-17$)、6 年目藻体 ($N_S : 18-23$)、7 年目藻体 ($N_S : 24-29$)、8 年目藻体 ($N_S : 30-35$)、9 年目藻体 ($N_S : 36-41$)。藻体の年齢 n は $n \div$

$(N_s+16)/6$ の式で算出することができる。

海中培養期間中、枯死・脱落期～再生期にかけて、ほぼ全ての藻体の付着器表面より各所で棍棒状を呈した発芽体が多数発出し、その横断切片を観察した結果、付着器の栄養繁殖個体であることを確かめた。2月にはそれらが約1 cmの全縁で倒卵形の葉を示し、やがて2～4枚に枚数を増やした。これら発芽体は、①葉をある程度つけて3月頃から主枝を発出する型と、②多数の葉を形成し続けて6月頃に主枝を発出する型とに分かれた。また、③6月になってから始めて葉を形成し始める個体も存在し、この型は12月に主枝を伸ばした。①は1年目藻体と同様に生長期、枯死・脱落期をむかえ、②では生長期、枯死・脱落期は明瞭でなかったが、どちらの型も再生期で主軸、主枝が太くなり、2年目藻体と同じ形態を呈した。③は、②と同様に生長期、枯死・脱落期が不明瞭であったが、再生期より後に主枝を形成するため、1年目藻体と同じ形態を示した。これら藻体を継続観察すると、発芽葉状体由来の2年目藻体は生殖器床を形成した。このような付着器の栄養繁殖発芽体は、群落維持に寄与し、増殖用種苗として有効であることを認めた。

以上の結果より、本種で明らかになった初期胚から成体の特徴は、安定した種苗生産、育成方法や保存方法、天然群落診断や海域での計画的な群落形成に応用することができる。また、付着器の栄養繁殖個体は新しい増殖技術の開発につながる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嵯峨	直恆
副査	教授	高橋	豊美
副査	教授	五嶋	聖治
副査	助教授	安井	肇
副査	助教授	水田	浩之

学位論文題名

褐藻フシスジモク *Sargassum confusum* の 増殖生物学的研究

フシスジモク *Sargassum confusum* は水産生物資源の保全、環境保全や自然海岸の回復機能を有する海藻として注目され、群落の形成が期待されている。本研究では、フシスジモクの計画的な増殖の基礎となる受精卵の確保、育成方法、形態に伴う繁殖特性を見出す目的で、初期胚から成体までの形態形成を明らかにした。

本論文は、5つの章より構成され、第1章では、全体における緒言を示し、第2章において、計画的な増殖の基礎となる受精卵の確保について論じた。第3章では、受精卵、幼胚、幼体の発生に及ぼす環境要因の影響を調べると共に、形態形成を観察し、幼胚の最適育成条件や大量保存条件を明らかにした。第4章では、大型藻体を海中培養し、季節に伴う形態形成の変化を詳細に観察した。また、室内で幼体まで育成した1年目藻体を海中に移植培養し、形態形成の特徴から加齢に伴う法則性を見出した。第5章では、本研究の結論としてフシスジモクを計画的に海域に展開する方法について考察した。

第2章において、北海道南部海域に生育する本種の生殖器床形成時期や卵放出時期、卵放出日等を調べた。また、生殖器床上につく受精卵の状態を明らかにし、フシスジモク雌性体につくられる卵数を概算した。その結果、北海道南部海域におけるフシスジモクの卵放出時期は毎年ほぼ同じで、江差町泊では5月中旬～6月中旬、江差町愛宕では6月中旬～7月上旬、せたな町大成区久遠では6月上旬、函館市志海苔では7月上旬～中旬、函館市臼尻では7月中旬～8月上旬であった。卵はこの期間の大潮時に放出された。雌性生殖器床1mmあたりにつく受精卵数は 150.6 ± 24.8 個であった。江差町沿岸のフシスジモク雌性体1個体の放出卵数は、主枝長100cmあたりで $6 \times 10^5 \sim 1.9 \times 10^6$ 個、200cmで $4.4 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7$ 個、300cmで $1.4 \times 10^7 \sim 3.9 \times 10^7$ 個と推定され、海域で藻体のサイズにより受精卵数を容易に見積もることが可能になった。これらの知見は、本種の計画的な増殖の遂行に寄与する。

第3章において、室内培養で受精卵、幼胚、幼体の形態形成やそれらに及ぼす様々な環境要因の影響を調べた。フシスジモク受精卵の発生は、一定の形態形成様式を示し、幼胚で1~64細胞期の分割胚、1次仮根胚、2次仮根胚に段階が進み、幼体で主軸形成体、付着器形成体、主枝形成体に発達する。異なる水温が受精卵、幼胚、幼体に及ぼす影響を調べた結果、水温20℃は主枝形成を抑制し、水温15℃は主枝の早期形成の最適水温であり、水温3℃、5℃で生長が停滞した幼胚は、2年半経過後もすべて正常に発生することが明らかになった。異なる光量、光周期が本種幼体に及ぼす影響を調べた結果、主枝の早期形成条件は高光量、長日条件であった。このことから、水温、光条件の組み合わせは、本種幼体の育成方法や長期幼胚保存に応用できることを認めた。異なる塩分確かめる濃度が幼体に及ぼす影響を調べた結果、幼体は塩分濃度15~35 psuで生長し、広い塩分濃度に適応することがわかった。これらの知見は、本種を海域に展開する際、有効な情報になる。

第4章において大型藻体を海中培養した結果、本種の季節的消長は、緩生長期、急生長期、成熟期、枯死・脱落期、再生期の5期が毎年繰り返すことを明らかにした。室内で育成した幼体を海中移植して継続観察した結果、加齢に伴い主軸上にできる主枝脱落痕の数に法則性を認め、この形質が本種の年齢査定に最も適していることを見出した。1年目藻体（主枝脱落痕数 N_S :0）、2年目藻体（ N_S :0-3）、3年目藻体（ N_S :3-6）、4年目藻体（ N_S :7-11）、5年目藻体（ N_S :12-17）、6年目藻体（ N_S :18-23）、7年目藻体（ N_S :24-29）、8年目藻体（ N_S :30-35）、9年目藻体（ N_S :36-41）。藻体の年齢 n は $n = (N_S + 16) / 6$ の式で算出することができる。海中培養期間中、枯死・脱落期~再生期にかけて、ほぼ全ての藻体の付着器表面より栄養繁殖個体が多数発出した。これら栄養繁殖個体を継続培養した結果、受精卵から育成した藻体と同様の季節的消長を繰り返し、加齢することが明らかになった。このことから、付着器の栄養繁殖個体は、群落維持に寄与し、増殖用種苗として有効であることを認めた。

主論文は平成18年1月26日9時から10時まで第二研究棟特別講義室において、審査員および関連教官9名および一般聴講22名出席のもと発表された。一般聴講においては、幼胚の形態形成に光がどのように関わっているのかについて、付着器の栄養繁殖のきっかけとなる現象は何かについて質疑・応答がなされた。また、審査員および関連教官においては、付着器からの栄養繁殖の個体と判断する根拠と見分け方について、高齢の年齢査定はどのようにして明らかにしたのかについて、天然の藻体寿命について、天然群落において付着器からの栄養繁殖個体が群落形成に寄与する程度について質疑・応答がなされた。本研究で明らかになった初期胚から成体の特徴は、安定した種苗生産、育成方法や保存方法、天然群落診断や海域での計画的な群落形成に応用することができるものであり、北方の沿岸生物資源の保全と増殖に貢献すると判断し、博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。