

学 位 論 文 題 名

Study on propagational mechanisms
of *Lithophyllum yessoense* in southwestern Hokkaido

(北海道南西部に生育するエゾイシゴロモの繁殖学的研究)

学位論文内容の要旨

北海道南西部の磯焼け地帯には紅藻の無節サンゴモが繁茂しており、表層剥離やアレロケミカルの放出によってコンブやワカメなどの着底と生育を抑制していると考えられている。そのため、無節サンゴモの生理・生態学的研究の重要性は以前から指摘されているが、研究材料として非常に扱いづらいために、ほとんど進歩していないのが現状である。本研究では主として無節サンゴモの一種、エゾイシゴロモの分布、孢子生殖、生長・光合成の生理特性、生長・表層剥離の季節変化を調べ、これらの特徴から本種の繁殖機構を解明した。

【分布】調査地点として対馬暖流の影響が強い高温域に 6 点、対馬暖流の影響が弱い、または対馬暖流と親潮が混合する中温域に 9 点、親潮の影響が強い低温域に 2 点の計 17 点を設定した。1999 年 8 月と 9 月に、水深 2-3m 地点で 5 回にわたりエゾイシゴロモ、サモアイシゴロモ、ミヤベオコシ、全無節サンゴモの被度を調べた。また、同年 11 月に採集した 3 種の光合成活性を 5-35℃、0-1328 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で測定した。

エゾイシゴロモの絶対被度は、高温域で磯焼け状態の 2 地点で高く優占したが（70-86%）、ホソメコンブなどによる天蓋が存在する 4 地点では低かった（12%以下）。本種の絶対被度は中温域の 9 地点いずれでも 12%以下で優占種ではなかったが、サモアイシゴロモが 6 地点で優占種となった。低温域の 2 地点でエゾイシゴロモはほとんど出現せず（0.25%未満）、ミヤベオコシの絶対被度が 11-38%であり本海域の優占種であった。エゾイシゴロモ、サモアイシゴロモ、ミヤベオコシの光合成の飽和開始光強度(I_k)はそれぞれ 286, 207, 186 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で、最適光合成水温はそれぞれ 25℃、20℃、15℃であった。この結果から、主要無節サンゴモ 3 種の水平分布は水温によって限定されている事が分かった。さらに、この 3 種のうちエゾイシゴロモは他の 2 種に比べ高水温に適応し、高光量に依存していることが明らかになった。

【孢子生殖】1998 年 5 月から 1999 年 5 月にエゾイシゴロモ四分孢子体を採集し、孢子の形成

過程を調べた。また、放出直後の胞子の核数を調べ、多核胞子の出現頻度、胞子と核の大きさを測定した。さらに、胞子を 15℃、16–43 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で静置培養し、発生様式、生存率、生長を観察した。

0 核、1 核、2 核、3 核、4 核の胞子が見られた。胞子径は 4 核胞子で最も大きく、核数が少なくなるにつれて小さくなった。しかし核径はいずれも 8.8–9.1 μm で、各胞子間で有意な差はなかった。0 核胞子は分割することなく枯死したが、1 核胞子はカニノテ型の発生様式を示し、多核胞子は不規則に分割した。3、4 核胞子の相対生長率は 1、2 核胞子の約 2–3 倍であり、高い生長力を有することが明らかになった。

生殖器巢内には四分胞子囊の他、内部の細胞質を無分割、二分割、三分割する胞子囊が認められた。分割様式に関わらず、成熟した胞子囊は合計 4 個の核を有し、囊内で形成された胞子には 1 核の胞子以外に 2、3、4 個の核を持つ多核胞子と無核胞子が存在することを確認した。多核胞子の出現頻度は 1998 年 12 月の 32% から 1999 年 3 月の 76% まで増加したが、4 月に 63%、5 月には 21% と著しく減少した。全胞子囊に対する四分胞子囊の比率は 4 月で 66.5%、5 月では 92% と高くなった。また、四分胞子囊の中で核が不均等配分された比率は 4 月では 100% であったが、5 月では 43% に低下した。生存率は 1 核胞子で 72% であったが、核数が多くなる程減少し、4 核胞子では 14% であった。以上の結果から、多核胞子は核が不均等に配分されることにより形成される事が明らかになった。また、多核胞子の出現頻度と生育地点の水温の間には有意な負の相関関係があり、低水温が多核胞子形成の原因になることを示した。

【生長・光合成の生理特性（幼体・成体）】1997 年 2 月から 6 月にエゾイシゴロモ四分胞子体を採集し、胞子を放出させて 20–40 日間静置培養した。幼体の培養条件は 0.04–240 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、5–25℃、硝酸態窒素濃度 (0.6–24.7 μM)、リン酸態リン濃度 (0.1–4.8 μM) に設定した。成体の生長・光合成特性を調べるために 1999 年 12 月と 2000 年 5 月に採集し、15℃、83 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で 6–38 日間前培養した。生長速度を 5–25℃、8.3–332 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で 40 日間培養して調べた。光合成速度を 5–30℃、0–830 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で測定した。

エゾイシゴロモ幼体の生長率は 240 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の高い光量で飽和し、15–20℃ で高い生長率を示したが、5℃ で著しい生長制限を受けた。生長率が飽和する硝酸態窒素、およびリン酸態リン濃度はそれぞれ約 4.0 μM 、0.4 μM であり、これらの値は他の海藻種で報告された値より低かった。また、最大生長率の 1/2 を得る時の硝酸態窒素とリン酸態リン濃度はそれぞれ 0.5 μM 、0.14 μM で、前者の値は褐藻、緑藻に比べて低かった。以上の結果から、エゾイシゴロモ幼体は貧栄養塩環境に比較的強い適応力を有していることが分かった。一方、成体の生長速度は 83 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で飽和し 16 $\mu\text{m d}^{-1}$ であった。また、生長最適水温は 20℃ で、24 μm

d^{-1} の高い値を示したが、 5°C では $2\mu\text{m d}^{-1}$ と著しく低下した。この結果は光要求性は成体よりも幼体の方が高く、また水温に対する反応は幼体、成体で同じ傾向になることを示した。最大総光合成速度($P_{g\text{ max}}$)は 25°C で最大の $45\mu\text{g O}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ に達した。見かけの最大光合成速度($P_{n\text{ max}}$)は $5\text{--}25^{\circ}\text{C}$ で $10\text{--}16\mu\text{g O}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ であった。光補償点 (I_c) は 15°C 以上で $45\text{--}121\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ になった。光飽和光量 (I_k) は 10°C 以上で $120\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 以上を示し、 20°C で最大値の $173\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ になった。光合成効率 (α) は $10\text{--}30^{\circ}\text{C}$ で $0.12\text{--}0.28$ 、 5°C では 0.56 であった。以上の結果から、エゾイシゴロモ成体は低光量環境に適応する光合成特性を有するが、高水温では光合成の光要求性は高く、大型海藻の天蓋下のような低光量環境では生育に適さないことが分かった。

【生長・表層剥離の季節変化】1999 年 2 月から 2000 年 2 月にかけて、高温域でエゾイシゴロモの着生面積を経時的に測定した。さらに、単位面積(25mm^2)当たりの表層剥離面積 (%) を算出すると共に、表層剥離の過程を観察した。

縁辺生長率は 15°C 以上になる 6 月から 11 月には $3.8\mu\text{m d}^{-1}$ 以上であり、約 15°C の 11 月で最も高く $6.9\mu\text{m d}^{-1}$ であった。しかし、 10°C 以下になる 1 月から 4 月にはほとんど生長しなかった。縁辺生長率と水温は有意な正の相関を示したが、全天日射量および栄養塩濃度（硝酸塩、リン酸塩）と縁辺生長率との間に有意な正の相関はなかった。年間縁辺生長速度は 1.2mm y^{-1} であった。表層剥離は春と秋に著しく、4 月と 5 月で単位面積当たり 32–46%、10 月と 11 月で 11–17% であった。他の時期では 4% 以下であった。春の表層剥離は生殖器果の脱落と同時に起こり、剥離片は厚さ約 $30\mu\text{m}$ でシート状であった。一方、秋の剥離片は厚さ約 $10\mu\text{m}$ でパッチ状であった。以上の結果から北海道南西部に生育するエゾイシゴロモは 6 月から 11 月によく生長し、水温の影響を強く受けることが分かった。春の表層剥離は生殖活動を終えた表層の脱落であり、秋の表層剥離は活発な生長活動の結果起こることを確認した。

本研究では北海道南西部海域のエゾイシゴロモの繁茂は他の無節サンゴモに比べ高水温に適応すると共に、高光量に依存し、また他の大型海藻よりも低栄養塩濃度に適応していることに起因していることを明らかにした。さらに、本種の胞子生殖は繁殖に有効な機能を果たさず、旺盛な栄養生殖が主な繁殖方法であることを示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 弘 敏
副 査 教 授 中 尾 繁
副 査 助 教 授 安 井 肇

学 位 論 文 題 名

Study on propagational mechanisms of *Lithophyllum yessoense* in southwestern Hokkaido

(北海道南西部に生育するエゾイシゴロモの繁殖学的研究)

無節サンゴモはその表層剥離やアレロケミカルスの放出によってコンブやワカメなどの着底と生育を抑制している。しかし無節サンゴモの生理・生態学的研究はほとんど進んでいない。本研究では主として無節サンゴモの一種、エゾイシゴロモの分布、胞子生殖、生長・光合成の生理特性、生長・表層剥離の季節変化を調べ、これらの特徴から本種の繁殖機構を解明した。

分布：北海道南西部の高水温域に 6 点、中水温域に 9 点、低水温域に 2 点の計 17 点の調査地点を設定し、8 月と 9 月に水深 2-3m 地点でエゾイシゴロモの被度を調べた。また、11 月に採集した藻体の光合成活性を測定した。

エゾイシゴロモの絶対被度は、高水温域で磯焼け状態の 2 地点で高く (70-86%)、ホソメコンブなどの天蓋が存在する 4 地点では低かった (12%以下)。中水温域の 9 地点いずれでも 12%以下であり、低水温域の 2 地点ではほとんど出現しなかった (0.25%未満)。光合成の飽和開始光強度(I_k)は 286 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で、最適光合成水温は 25℃であった。この結果から、エゾイシゴロモは高水温に適応すると共に高光量に依存していることが分かった。

胞子生殖：1 年間、エゾイシゴロモ四分胞子の形成過程、および胞子の核数を調べ、多核胞子の出現頻度、胞子と核の大きさを測定した。さらに、胞子を静置培養し、その発生様式、生存率、生長を観察した。

0 核、1 核、2 核、3 核、4 核の胞子が見られ、核径はいずれも 8.8-9.1 μm であった。0 核胞子は分割することなく斃死したが、1 核胞子は正常 (カニノテ型) に発生し、多核胞子は不規則に分割した。3、4 核胞子の相対生長率は 1、2 核胞子の 2-3 倍で、高い生長力を示した。

多核胞子の出現頻度は12月の32%から3月の76%まで増加したが、4月に63%、5月には21%と著しく減少した。全胞子嚢に対する四分胞子嚢の比率は4月で66.5%、5月では92%と高くなった。生存率は1核胞子で72%であったが、核数が多くなる程減少し、4核胞子では14%であった。また、多核胞子の出現頻度と生育地点の水温の間には有意な負の相関関係があり、低水温が多核胞子形成の原因になることを示した。

生長・光合成の生理特性(幼体・成体):エゾイシゴロモ幼体の生長率は高光量($240\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)で飽和し、高水温(15-20℃)で高い生長率を示したが、低水温(5℃)で著しい生長制限を受けた。生長率が飽和する硝酸態窒素、およびリン酸態リン濃度はそれぞれ約 $4.0\mu\text{M}$ 、 $0.4\mu\text{M}$ であった。また、最大生長率の1/2を得る時の硝酸態窒素とリン酸態リン濃度はそれぞれ $0.5\mu\text{M}$ 、 $0.14\mu\text{M}$ であった。以上の結果から、エゾイシゴロモ幼体は貧栄養塩環境に比較的強い適応力を有していることが分かった。成体の生長速度は $83\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で飽和し、 $16\mu\text{m d}^{-1}$ であった。また、生長最適水温は20℃で、 $24\mu\text{m d}^{-1}$ を示したが、5℃では $2\mu\text{m d}^{-1}$ と著しく低下した。したがって光要求性は成体よりも幼体の方が高く、また水温に対する反応は幼体、成体で同じ傾向を示した。最大総光合成速度($P_{g \text{ max}}$)は25℃で最大($45\mu\text{g O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)に達した。見かけの最大光合成速度($P_{n \text{ max}}$)は5-25℃で $10\text{-}16\mu\text{g O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。光補償点(I_c)は15℃以上で $45\text{-}121\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ になった。光飽和光量(I_k)は10℃以上で $120\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上、20℃で最大($173\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)になった。光合成効率(α)は10-30℃で0.12-0.28、5℃では0.56であった。以上の結果から、エゾイシゴロモ成体は低光量環境に適応する光合成特性を有するが、高水温では光合成の光要求性は高く、大型海藻の天蓋下のような低光量環境では生育に適していないことが分かった。

生長・表層剥離の季節変化:1年間、高水温域でエゾイシゴロモの着生面積を経時的に測定し、単位面積(25mm^2)当たりの表層剥離面積(%)を算出すると共に、表層剥離の過程を観察した。

縁辺生長率は15℃以上(6月~11月)では $3.8\mu\text{m d}^{-1}$ を越え、約15℃の11月に最も高く($6.9\mu\text{m d}^{-1}$)になったが、10℃以下(1月~4月)ではほとんど生長しなかった。年間縁辺生長速度は 1.2mm y^{-1} であった。表層剥離は4月と5月で32-46%、10月と11月で11-17%であった。他の時期では4%以下であった。

本研究は無節サンゴモの繁殖特性を明らかにすると共に、本種と磯焼けの関係を解明するための豊富な資料を提供したもので、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。