

# Shoot and leaf dynamics of eelgrass *Zostera marina* L. along multiple environmental gradients

(多重環境勾配下におけるアマモの成長動態)

## 学位論文内容の要旨

海草藻場は、高い生態系サービスを提供する場として知られているが、沿岸域の開発や水質悪化などにより、縮小、消失が著しい。海草藻場の消失に対して、各国で保全・回復プロジェクトが進められているが、その成功率は高くない。海草の個体群動態についての理解が不足していることが、保全・回復の失敗の原因になっていると考えられる。

海草は、地下茎の分枝による成長（クローン成長）および種子繁殖と死亡とのバランスによって、その分布と現存量を変動させる。また、各シュートにおける生産性は葉の更新速度と寿命によって決まる。シュートと葉の成長過程をコントロールする要因が明らかになれば、海草藻場の保全・回復、さらには生態系サービスの向上にも寄与できると考えられる。そこで、本研究では、日本の本州太平洋岸に分布するアマモをモデルとし、シュートの生産に寄与する分枝と種子生産、そして葉の成長様式に影響する要因を明らかにすることを目的とする。さらに、これらの動態をモニタリングするため、高精度で葉の成長量を測定できる手法を開発する。

分枝様式と葉の寿命に影響する要因の解明においては、野外実海域と同様の環境を有しながらも物理攪乱を排除してアマモの生育実験を実施できるメソコスム水槽を用いた。また、その水槽を用い、本研究で開発した海草成長量の測定手法の妥当性を検証した。分枝に影響する要因解明と成長量測定手法の開発については、小田和湾と三河湾に自生するアマモ場でメソコスム実験の結果の検証を行った。種子生産については、久里浜湾に自生するアマモを対象に現地調査によって行った。

アマモは、光量が低くなる冬季に分枝することがメソコスム実験水槽と現地調査によって観測された。メソコスム実験水槽と三河湾では、この期間においてシュート密度が2倍以上に増加した。この冬季の分枝は、光量の強さと正の関係があることが示された。メソコスム水槽のアマモにおいては、1つの親シュートが最大で4回分枝した。これは、密度を5倍に増加させる

効果に換算される。

久里浜湾に生育するアマモの種子は、5月から7月の間に形成された生殖株において、3157個  $\text{m}^{-2}$ が生産され、その内の23%が倒屈した生殖シュートに含まれ、11%が生きている生殖シュートから脱落した花序に含まれていた。また、室内実験では、脱落した花序は、成熟した種子が多く含まれるほど沈降することが示された。この結果より、これら種子（生産種子量の約1/3）は、その場へ落下したものと推測された。種子が散布された後、底泥に含まれる種子密度は、8月に205個  $\text{m}^{-2}$ であり、1月までに減少した。種子の減少に対して、種皮は増加傾向にあった。これから、この種子密度の減少は、藻場内に留まった種子に対する捕食によるものと推測される。これらの過程を経て、発芽までに至った種子は、8月の埋土種子量の5%（11個体 $\text{m}^{-2}$ ）であった。これは、シュート密度を数十パーセント増加させる程度に過ぎず、分枝によるシュート密度の増加ポテンシャルに対して非常に効果は小さい。すなわち、既存の藻場においては、分枝がシュート密度の増加に大きく貢献する一方、種子の発芽による寄与はほとんどないと言える。行方が特定できなかった2/3の生産種子は、成熟に至らなかったか、もしくは一部が平面的な藻場拡大に寄与したものと推測される。

アマモの葉の寿命は、1年の間に34.9日から89.6日の間で変動し、水温と負の関係があることが示された。葉寿命と日射量との関係については見出されなかった。葉に付着する藻類の生物量は水温と強い正の関係が見られたことから、付着藻類による光合成に必要な光量の障害が生じた可能性も考えられたが、パス解析の結果、葉寿命の低下には、付着藻類の生物量よりも水温の上昇が直接的に影響している可能性が示された。この結果は、高水温下においては葉が短命化し、葉数が減少するリスクが高くなる可能性を示している。

アマモの葉の成長量測定手法の開発においては、1枚の葉の成長モデルを個体レベルに拡張するモデルを作成した。このモデルは、葉重量と葉間期の2変数のみから成長量を求めることができる。メソコスム実験水槽で生育するアマモについてこの手法を適用した結果、既往の最も直接的な測定手法（マーキング法）による結果と一致した。次に、1個体（シュート）の加齢を考慮したモデルを開発し、三河湾のアマモ場に適用したところ、アマモ成長量を正確に測定できることが示された。

本研究より、海草のシュートの動態において重要な分枝と生産種子の変動を決める環境要因、葉の動態において重要な葉寿命を決める環境要因が明らかになった。また、精度が高い葉の成長量測定手法を開発した。これにより、海草の成長動態と環境変動の関係をより深く理解できると共に、葉の成長動態を効率よくかつ精度よくモニタリングできるようになり、藻場の保全・回復、さらには生態系サービスの向上に寄与できることが期待される。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 仲 岡 雅 裕  
副 査 教 授 本 村 泰 三  
教 授 宮 下 和 士  
教 授 甲 山 隆 司  
部 長 寺 脇 利 信

(水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所生産環境部)

学 位 論 文 題 名

## Shoot and leaf dynamics of eelgrass *Zostera marina* L. along multiple environmental gradients

(多重環境勾配下におけるアマモの成長動態)

海草藻場は、高い生態系サービスを提供する場として知られているが、沿岸域の開発や水質悪化などにより、縮小、消失が著しい。海草藻場の減少に対して、各国で保全・回復プロジェクトが進められているが、その成功率は高くない。海草の個体群動態についての理解が不足していることが、保全・回復の失敗の原因になっていると考えられる。特に、シュートと葉の成長過程をコントロールする要因が明らかになれば、海草藻場の保全・回復、さらには生態系サービスの向上にも寄与できると考えられる。そこで、本研究では、日本の本州太平洋岸に分布するアマモをモデルとし、シュートの生産に寄与する分枝と種子生産、そして葉の成長様式に影響する要因を明らかにした。さらに、これらの動態をモニタリングするため、高い精度で葉の成長量を測定できる手法を開発した。

第一章における全般の課題の説明、および方法の解説の後、第二章では、冬季におけるアマモのクローン成長が光量の変異にどのように反応するかを検証した。その結果、アマモは、光量が低くなる冬季に分枝することが実験水槽と野外において観測され、この期間においてシュート密度が2倍以上に増加した。冬季の分枝は、光量の強さと正の関係があることが示された。実験水槽のアマモにおいては、1つの親シュートが最大で4回分枝した。これは、密度を5倍に増加させる効果に換算される。

第三章では、アマモの種子分散と加入過程を詳細に定量化した。アマモの種子は、5月から7月の間に形成された生殖株において、3000 m<sup>2</sup>以上が生産された。室内実験では、脱落した花序は、成熟した種子が多く含まれるほど沈降することが示され、この結果より、種子の大部分は、その場へ落下したものと推測された。種子が散布された後、底泥に含まれる種子密度は、8月から1月にかけて減少した。種子の減少に対して、種皮は増加傾向にあったことから、種子密度の減少は、藻場内に留まった種子に対する捕食によるものと推測された。

発芽までに至った種子は、8月の埋土種子量の5%であり、種子によるシュート密度の増加は、分枝によるシュート密度の増加ポテンシャルに対して非常に小さいことが判明した。

第四章では、アマモの葉の寿命と水温の関係を検討した。アマモの葉の寿命は、1年の間に34.9日から89.6日の間で変動し、水温と負の関係があることが示された。葉寿命と日射量との関係については見出されなかった。葉に付着する藻類の生物量は水温と強い正の関係が見られたことから、付着藻類による光合成に必要な光量の減少が生じた可能性も考えられたが、パス解析の結果、葉寿命の低下には、付着藻類の生物量よりも水温の上昇が直接的に影響している可能性が示された。この結果は、高水温下においては葉が短命化し、葉数が減少するリスクが高くなる可能性を示している。

第五章では、アマモの葉の成長量測定手法の開発を行い、1枚の葉の成長モデルを個体レベルに拡張するモデルを作成した。このモデルは、葉重量と葉間期の2変数のみから成長量を求めることができる。実験水槽で生育するアマモについてこの手法を適用した結果、既往の最も直接的な測定手法（マーキング法）による結果と一致した。次に、1個体（シュート）の加齢を考慮したモデルを開発し、三河湾のアマモ場に適用したところ、アマモ成長量を正確に測定できることが示された。

以上の成果を元に、第六章では総合考察を行った。本研究より、海草のシュートの動態において重要な分枝と生産種子の変動を決める環境要因、葉の動態において重要な葉寿命を決める環境要因が明らかになった。また、精度が高い葉の成長量測定手法を開発した。これにより、海草の成長動態と環境変動の関係をより深く理解できると共に、葉の成長動態を効率よくかつ精度よくモニタリングできるようになり、藻場の保全・回復、さらには生態系サービスの向上に寄与できることが期待される。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。