

学 位 論 文 題 名

Studies on Biological Interactions and
Seagrass Functions in a Seagrass Ecosystem

(海草藻場生態系における生物間相互作用と海草の機能に関する研究)

学位論文内容の要旨

生物群集の制御機構において、競争や捕食・被食関係で発達する負の影響に加えて正の影響を及ぼす種間関係の重要性も注目されているが、その研究は前者にくらべて不十分とされている。“foundation species”は、様々な生態系においてこの正の影響を通じてさまざまな関連生物の適応度を高め、それらの生物群集の成立に大きく寄与する生物であるが、その影響を及ぼすプロセスとしてこれらの環境改変作用の重要性が指摘されている。浅海の砂泥底に植物群落を形成する海草は、その植物体という三次元構造の発達により静穏効果を発揮するとともに物質循環に影響を与え、周辺環境とは大きく異なる環境特性をもつ海草藻場を形成する。また、一次生産によって藻場生態系の動物群集を支える付着藻類をはじめとするさまざまな生物の生息基質として機能するとともに、餌生物に捕食回避のための隠れ家を提供する。このため、海草藻場ではその環境に依存して多種多様な藻場生物が一時的あるいは恒常的に生息することが知られ、海草は大きな環境改変作用をもつ foundation species の代表的な存在とされている。一方、海草藻場に生息する生物の中には、競争や捕食・被食関係を通じて海草動態に直接的あるいは間接的に影響をおよぼす生物が存在する。たとえば、海草葉を基質として利用する付着藻類は、その密度によっては海草を被陰するなどの負の影響をもたらす、海草の生産量や現存量の減少を引き起こす。また、その付着藻類を餌とする一次消費者が、付着藻類量を抑制することによって海草への付着藻類の負の影響を緩和し、海草の生産性が維持される間接効果の成立も報告されている。

このように、海草藻場生態系では、海草と藻場生物間に相互作用が存在するものの、これまでは各作用が個別に研究され、相互の作用が統合的に取り扱われることはなかった。本研究では、北海道東部厚岸湖のアマモ場(*Zostera marina* bed)において、海草と藻場生物(付着藻類、付着藻類食者)間の各作用をその季節変動に注目して解明し、その相互作用を統合的に解釈することで沿岸域の重要な生態系の一つとされる海草藻場の成立と特性にはたす種間相互作用の役割を検討した。

海草による環境改変作用の季節変動

アマモの生産量あるいは現存量の季節変動に連動した環境改変作用によって海草藻場環境が季節的に大きく変動していることが明らかとなった。静穏効果の指標とした藻場内の流速観測やセヂメントトラップ実験の結果は、アマモ現存量が高い春から夏にかけて静穏な環境が形成されるが、秋期に現存量の減少に伴い、流速減少効果は小さくなり、波浪の抑制効果の低下による底質の攪乱(再懸濁)が発生した。また、底質からの栄養塩の溶出は海草の生産速度の高い春から初夏にかけてほとんど確認されず、生産速度の低下した

8月以降に急増し、海草の生産活性に連動した地下部からの底質中の栄養塩吸収速度の季節変動が溶出速度を間接的に制御しており、溶出する栄養塩への依存性が高いと考えられる海草以外の付着藻類などの一次生産者に影響を与えていた。さらに、生物基質の提供作用や捕食ストレスの緩和作用は、海草現存量の季節変動に依存して春から夏に大きく、秋以降減少した。

藻場生物による海草季節動態の制御

藻場生物による海草への作用も季節的な変動が確認された。春から初夏にかけては、付着藻類生産量の約50%に達するアミ類による付着藻類の摂食が確認され、付着藻類種構成においてもアミ類の摂食されにくい付着形態をもった属グループの優占が確認された。このことから、アマモ葉上の付着藻類密度および現存量はアミ類の摂食によって低く推移し、付着藻類の海草への負の作用が緩和され、海草の高い生産量が実現され現存量が増加したと考えられた。一方で、晩夏以降は、付着藻類の生産活性が上昇し、アミ類の消費量を生産量が大きく上回ったため、付着藻類のブルームが発生し、高密度の付着藻類による被陰などの負の影響によると考えられる海草の生産速度の大幅な低下と現存量の減少が確認された。このように本調査地においては、競争的阻害や間接効果を通じて、付着藻類、付着藻類食者のアミ類といった藻場生物がアマモの季節的な変動に大きく影響していることが明らかとなった。

このように、本調査地におけるアマモ（海草）と藻場生物間に相互作用が存在し、それらの季節的な変動が明らかとなったが、この結果は海草の環境改変作用に依存して藻場に生息する付着藻類や付着藻類食者が、海草の季節動態そして間接的にその動態に連動する環境改変機能の制御に関与することを示唆している。本調査地における中心的な一次消費者であるアミ類は、海草の高い現存量に依存した静穏効果や捕食ストレスの緩和作用によって海草から正の作用を受けているが、その海草の高い現存量はアミ類の間接効果によって実現されていた。また、間接効果による海草現存量の春から初夏にかけての増加は、晩夏の生物基質量を増加させ付着藻類ブルームとそれを餌資源とするアミ類の個体群の急増を可能にしていると考えられた。また、春から初夏にかけての間接効果によるアマモ生産量の増加にともなう底質からの栄養塩溶出の抑制は、アマモの付着藻類に対する競争的優位性をさらに高めていると考えられる。したがって、本調査地では、相互作用にもとづいた海草と付着藻類の生産期の季節的な切り替わりによって、海草藻場生態系の特徴である海草の高い環境改変機能と多くの一次消費者の餌資源として重要な付着藻類の高い生産性が実現されていることが明らかとなった。また、藻場生物による海草の季節動態の制御は、海草現存量に依存した静穏効果を季節的に変動させているため、藻場内への物質の集積と藻場外への放出という物質循環上の海草藻場機能の季節的な変動に関与していることが明らかとなり、異地性流入を通じた生態系間ネットワークが発達した沿岸域においてはその影響が藻場内にとどまらない可能性が示唆された。

本研究は、海草藻場を対象に *foundation species* の環境改変作用を通じた正の影響をともなう種間関係についての知見を集積するとともに、*foundation species* と関連生物の相互作用の発達がこのような生態系の成立と動態制御に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。この結果は、生態系の保全・管理において、対象とする生態系の *foundation species* だけに注目した取り組みだけではなく相互作用を通じて連動した関連生物にも注目することが必要不可欠であることを示唆している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 向 井 宏

副 査 教 授 片 倉 晴 雄

副 査 教 授 五 嶋 聖 治 (大学院水産科学院)

副 査 教 授 門 谷 茂 (大学院環境科学院)

学 位 論 文 題 名

Studies on Biological Interactions and Seagrass Functions in a Seagrass Ecosystem

(海草藻場生態系における生物間相互作用と海草の機能に関する研究)

本論文は、生物群集の制御機構において、従来注目されていた競争や捕食などの負の相互作用に代わり、環境改変作用などを通して正の影響を持つ“foundation species”に注目した群集の相互作用系についての研究である。海草と光や栄養塩を巡って競争する付着藻類、それを食べるアミ類の三者の相互作用を、海草の環境改変作用を軸に季節変動に注目して明らかにし、その相互作用を統合的に解釈することで沿岸域の重要な生態系の一つとされる海草藻場の成立と特性にはたす種間相互作用の役割を検討した。

まず、海草の生産量の変動による環境改変作用（底質からの栄養塩の溶出、攪乱による再懸濁など）の季節変動を具体的な観測を通して明らかにした。

また逆に、藻場生物による海草の季節動態を制御していることを、アミ類の摂食速度、付着藻類のバイオマスの変動などの測定によって明らかにした。その中で、三者の間に直接的な負の相互作用があり、間接的な正のフィードバックの相互作用が介在することなども豊富なデータを用いて明らかにした。このように競争的阻害や間接効果を通じて、付着藻類、付着藻類食者のアミ類といった藻場生物がアマモの季節的変動に大きく影響していることが明らかとなった。

このように、本研究は海草と藻場生物間に相互作用が存在し、それらが季節的に変動することを明らかにしたが、この結果は海草の環境改変作用に依存して藻場に生息する付着藻類や付着藻類食者が、海草の季節動態そして間接的にその動態に連動する環境改変機能の制御に関与することを強く示唆した。本調査地における中心的な一次消費者であるアミ類は、海草の高い現存量に依存した静穏効果や捕食ストレスの緩和作用によって海草から正の作用をうけているが、その海草の高い現存量はアミ類の間接効果によって実現されていた。また、間接効果による海草現存量の春から初夏にかけての増加は、晩夏の生物基質を増加させ付着藻類ブルームとそれを餌資源とするアミ類の個体群の急増を可能にしていると考えられた。また、春から初夏にかけての間接効果によるアマモ生産量の増加にともなう底質からの栄養塩溶出の抑制は、アマモの付着藻類に対する競争的優位性をさらに高めていると考えられる。したがって、相互作用にもとづいた海草と付着藻類の生産期の季節的な切り替わりによって、海草藻場生態系の特徴である海草の高い環境改変機能と多くの一次消費者の餌資源として重要な付着藻類の高い生産性の実現されていることを明ら

かにした。また、藻場生物による海草の季節動態の制御は、海草現存量に依存した静穏効果を季節的に変動させているため、藻場内への物質の集積と藻場外への放出という物質循環上の海草藻場機能の季節的な変動に関与していることが明らかとなり、異地性流入を通じた生態系間ネットワークが発達した沿岸域においてはその影響が藻場内にとどまらない可能性を示唆した。

以上のように、本研究は、海草藻場を対象に *foundation species* の環境改変作用を通じた正の影響をともなう種間関係についての知見を集積するとともに、*foundation species* と関連生物の相互作用の発達がこのような生態系の成立と動態制御に大きな影響を及ぼしていることを明らかにしたもので、近年の群集生態学における正の相互作用の役割を定量的に明らかにしたという点で、当該分野の発展に寄与するもので、理学博士の学位を授与するに十分値するものである。