

学位論文題名

炭素・窒素安定同位体比を用いた  
亜寒帯汽水湖の生態系構造解析

学位論文内容の要旨

沿岸浅海域は、生物生産性が高く、漁業活動の場として重要な役割を担っている。沿岸浅海域の高い生産性は、陸域からの高い栄養塩供給とともに、堆積物の表層まで光が届く事による。そのため沿岸生態系は、植物プランクトンとともに底生微細藻類や大型草藻類が重要な基礎生産者である事が明らかになっており、浮遊生態系と底生生態系が相互作用する複雑な生態系を構築している事が知られている。一方、沿岸域は人的影響を受けやすく、近年環境悪化が問題となっている。今後、自然環境の修復および持続可能な沿岸域の利用の為に、沿岸域における自然生態系の仕組みを把握する事が重要である。本研究対象域である、北海道東部の厚岸郡浜中町に位置する火散布沼(44°03'N、145°03'E)は、平均水深が1mと浅く、太平洋と最低幅50mの水路でつながれた亜寒帯汽水湖である。また、周囲は葦などに覆われた塩性湿地と森林に囲まれており、人的影響が限られている。これまでの研究により、火散布沼では、底生珪藻・大型藻類・海草を起点とする、底生基礎生産者が卓越した食物網が発達している事が予想される。そこで本研究では、自然生態系を把握する為に様々な環境諸因子とともに炭素および窒素の安定同位体比を用いて、底生系を中心とした火散布沼における食物網の解析とともに、それらに結びつく親生物元素の物質循環を解明する事を目的とした。

そのために主に4つの点に注目した。初めに水柱および堆積物の特徴を明らかにし、比較する事で底生生態系が発達する要因について考察した。次に、基礎生産者の同位体比を用いて堆積物の有機物起源を推定する事で、汽水湖内への系外からの影響を見積もった。さらに堆積物の特徴など環境因子と底生生物群集構造との関係を把握し、底生生物群集における食物源がどのような要因で変化するのかを明らかにした。そしてこれらの結果から、底生生態系において親生物元素がどのように運ばれているのかを考察した。

サンプリングは、2004年8月から火散布沼においてほぼ2ヶ月おきに、潮下帯に設けた調査地点において、下記の項目について行った。

海水試料: Chlorophyll *a* (Chl.*a*) およびフェオ色素、粒状有機炭素および窒素、粒状リン、無機態栄養塩(DIN(NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N), DIP(PO<sub>4</sub>-P))、堆積物試料: Chl.*a*およびフェオ色素、全有機炭素および窒素(TOC, N)、間隙水中の無機態栄養塩、酸揮発性硫化物態硫黄(AVS-S)、水質: 水温、塩分、溶存酸素、生物試料: 底生動物群集の現存量、水分含有量、炭素含有量。

また沼内の重要な基礎生産者として考えられる底生微細藻類群集は、ガラスビーズの入ったボックスを現場の干潟に設置し、現場の海水をボックス内に取り入れる事によって、現地で増殖させたものを採取した。そして、懸濁粒子・沈降粒子・表層堆積物および各種生物を適宜各定点において採取し、凍結乾燥させたのち、必要に応じ脱脂脱灰処理後、炭素および窒素の安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ )を測定した。

水柱のChl.a (全平均  $2.2 \pm 1.5 \text{ mg/m}^2$ ) に対して表層堆積物 (全平均  $128.2 \pm 67.7 \text{ mg/m}^2$ ) におけるChl.aは約60倍に達する高い値を示した。水柱の栄養塩はN/Pモル比が16以下であり、窒素が制限要因になっている事が明らかになった。一方、堆積物表層では再生産された無機態窒素を用いることで、年間を通して底生微細藻類が高い現存量を維持していると考えられた。また大型草藻類の優占種であるコアマモ (*Zostera japonica*) の  $\delta^{15}\text{N}$ は、堆積物の  $\delta^{15}\text{N}$ と高い正の相関関係を示した ( $r^2=0.41$   $p<0.05$ )。そのため、大型草藻類においても間隙水が重要な窒素源になっていると考えられた。

表層堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$ と  $\delta^{15}\text{N}$ は異なる空間分布を示していた。 $\delta^{13}\text{C}$ は湖中央部で約-17‰と最も高い値を示していたのに対し、 $\delta^{15}\text{N}$ は湖口部からの距離と相関( $r^2=0.48$   $p<0.05$ )があり、海側で高く陸側で約2.5‰と最も低い値を示していた。窒素は沖や陸から運ばれている事が示唆された。また沼内の底生基礎生産者は、堆積物中で再生産された窒素源を用いており、それらに影響を受けた  $\delta^{15}\text{N}$ 値を示すと考えられる。そのため、はじめに  $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いて表層堆積物への陸生および海生有機物の影響割合を推定した。その後  $\delta^{13}\text{C}$ およびC/Nモル比を用いて、陸生および海生有機物の割合を保ちながら、これらとともに沼内の主要な基礎生産者である底生微細藻類および*Z. japonica*の4つの起源からの堆積物中有機物への寄与率を推定した。その結果、表層堆積物の有機物起源は全地点で50%以上が底生微細藻類である事が見積られた。また本対象域には大きな河川流入はないが、陸生有機物の寄与率は10~45%であり沼内に強く影響している事が明らかとなった。

底生生物群集において種数や生物量は季節変動が大きかったが、多様度や分類群割合のような群集構造は空間により大きく変化していた。湖口部では出現種数が多く、生物量の50%以上を二枚貝類が占めていた。一方、奥部では出現種数は少なく、70%以上を巻貝類が占めていた。湖奥部は、湖口部に比べTOC、TN、AVS-S、泥分が高い値を示し、堆積物中が還元環境にある事を示していた。また巻貝類は多毛類および二枚貝類と異なり、有機物量およびAVS-Sと正の相関を示していた ( $r=0.54$ ,  $0.45$   $p<0.001$ )。巻貝類は表在性であるのに対し、多毛類や二枚貝類は内在性生物であり、有機物量とそれに付随する嫌気的環境が、内在性生物に強く影響を与えたと考えられる。その為環境因子に対する分類群ごとの反応の違いにより底生生物群集構造が決定づけられていると考察された。

底生生物の炭素同位体比は、分類群により異なる値を示していた。二枚貝類の  $\delta^{13}\text{C}$ は他の分類群よりも低い-15.0 ~ -12.0‰の範囲を示し、底生微細藻類 (-18.2 ~ -13.7‰) が主な食物源であると考えられた。一方、巻貝類は他の分類群よりも高い-13.4 ~ -7.9‰の範囲を示していた。海草(-10.8 ~ -8.4‰) や大型藻類 (-14.2 ~ -10.4‰)が主要な餌源であると考えられる。また最も湖全体に生息していた小型巻貝 (*Lacuna decorata*) は  $\delta^{13}\text{C}$ が空間的に変化し、大型草藻類の空間分布に伴って海藻類と海草類の間で食物源が変化している事が明らかであった。さらに  $\delta^{15}\text{N}$ は堆積物と相関 ( $r^2=0.64$ ,  $p<0.01$ ) があり、間隙水からの窒素が消費者へ運ばれている事が明らかとなった。地点毎の底生生物の炭素源寄与率を算出すると、分類群毎の空間分布の違いに伴い、湖口では底生微細藻類が85%を占めていたに対し、湖奥部では大型草藻類が50%以上を占めていた。

火散布沼内では、系外から供給された窒素を基にして沼生基礎生産から始まる底生生態系が発達していた。また高次の消費者に有機物が運ばれる過程において、有機物量などの環境因子により生息する分類群が決定され、それにより食物網起源となる基礎生産者が変動する事が明らかとなった。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 門 谷 茂  
副 査 教 授 岸 道 郎  
副 査 教 授 仲 岡 雅 裕  
副 査 准教授 工 藤 勲

学 位 論 文 題 名

## 炭素・窒素安定同位体比を用いた 亜寒帯汽水湖の生態系構造解析

汽水域は地球上で最も生物生産性ととりわけ動物生産性の高い場所として知られているが、人間の生活圏との接点に当たるため、陸域の環境改変の影響を受けやすく、脆弱性もまた併せ持っている。北海道のような亜寒帯域の自然環境を保護し、さらに環境修復および持続可能な汽水域利用を行っていくためには、指標となりうる人為的影響を殆ど受けていない、本来のあるべき自然生態系の特徴を知る事が必要である。しかし沿岸汽水域は、多くの種類の基礎生産者が混在するとともに、水柱の浮遊生態系と強くリンクした底生生態系からなる複雑な構造を持っていることなど、これまでその生態系の構造を解明する事は様々な研究上の隘路から困難なものであった。

本研究は、北海道東部に位置する汽水湖において、亜寒帯汽水域生態系の構造把握のために、様々な環境諸因子とともに、有機物起源の推定に有効な手段とされている、炭素および窒素の安定同位体比を用いて解析を進めたものであり、以下の構成からなる。緒論に続く第2章では、従来その正確な値が得られていなかった底生微細藻類の炭素・窒素安定同位体比について、ガラスビーズを付着基盤として現地培養を行うことにより明らかにした。さらに、水柱の基礎生産者は、窒素が制限要因であるが、表層堆積物では、間隙水中の再生産された窒素を用いる事で、極めて高い底生微細藻類の現存量を支えている。大型草藻類においても間隙水が重要な窒素源であり、基礎生産者の $\delta^{15}\text{N}$ 値が、堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ 値の影響を受けていることを見いだした。採取した各種様々な底生動物の食物源を解析し、水柱基礎生産者よりも底生基礎生産者が底生動物群集の主要な餌源であるという底生基礎生産者の相対的重要性を明らかにした。次に第3章では、表層堆積物中の有機物現存量の多寡に寄与する主要な有機物起源を明らかにしている。表層堆積物の炭素および窒素安定同位体比は、地点間において異なる傾向を示し、窒素と炭素ではその起源が異なる。窒素安定同位体比に着目し表層堆積物の有機炭素起源を算出した結果、汽水湖全体ではそれぞれおよそ、底生珪藻64%、陸生有機物23%、植物プランクトン7%、海草類7%の寄与率であることを見積もっている。表層堆積物の有機炭素起源の空間的差異は、有機

物の蓄積しやすさ、基礎生産者の生産量の違いとともに、大型草藻類現存量の差異の影響を受けていることを見いだした。第4章では、環境因子と底生生物群集構造の空間的特徴とともにそれらの関係を調べ、底生生物群集構造を決定づける環境因子の解析により以下のように考察している。堆積物において有機物濃度、AVS-S濃度、泥分の増加に伴い、種の多様性が低下し、内在性の多毛類や二枚貝類よりも表在性の巻貝類が卓越する。水深が浅いため常に水柱には豊富な溶存酸素が存在していることから、堆積物における有機物分解に付随する貧酸素化に対して、生息深度の異なる内在性と表在性生物では異なる反応を示すこと。また、空間的な環境の違い、環境因子に対する生物群集ごとの反応の違いにより、底生生物群集の構造が空間的にダイナミックな変化を示していることを明らかにした。第5章でそれらの特徴を持つ底生生物の餌源を明らかにし、底生生態系における物質輸送について考察している。底生生物は、主に分類群(二枚貝綱・巻貝綱・軟甲綱・多毛綱)によって食物源が異なることを見だし、大型草藻類の空間分布に伴って、海藻類と海草類間で底生動物の食物源が変化することを明らかにした。底生生物の空間的な群集構造の変化により、底生動物群集における主要な餌源も空間的に変化しており、汽水湖全体では、底生生物群集に対し底生微細藻類が51.6%、海草が35.0%、海藻が13.4%の炭素を貢献している事を見積もっている。各基礎生産者による底生生物への炭素寄与率の相対比は、それぞれの基礎生産量に依存しており、底生生物の窒素同位体比は、堆積物の影響を受けた底生基礎生産者の同位体比の影響を受けていることを明らかにした。

以上の通り、申請者は亜寒帯汽水域における底生生態系の特質を、安定同位体比と個々の種の生物現存量を組み合わせて解析することにより、多数の新知見を得ており、今後の沿岸汽水域低次生態系研究の発展に大きな貢献をす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、また研究者としての熱意や大学院博士課程における研鑽などもあわせ、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。