

有明海における脱窒活性の時空間変動

The spatiotemporal dynamics of denitrifying activity in Ariake bay

学籍番号 46808
氏名 阿部 哲也 (Abe, Tetsuya)
指導教官 鯉渕 幸生 講師

1. 研究の背景と目的

近年、有明海や東京湾をはじめとする閉鎖的な内湾では、富栄養化による赤潮の発生や、それに付随する貧酸素化が深刻な問題となっている。特に有明海においては、2000年冬季のノリの色落ち問題や、アサリやタイラギをはじめとした2枚貝の漁獲が大幅に減少するという問題が顕在化している。その原因の1つとして干潟などの減少によって当該海域の有する水質浄化能が損失されたためであると考えられている。

その水質浄化機能として脱窒が注目されており、特に、干潟ではその機能が活発に働いていると言われている。ここで脱窒とは、嫌気的条件下において硝酸態窒素が微生物群集の作用により亜硝酸態窒素まで還元された後に、その亜硝酸態窒素の一部が脱窒細菌の作用により更に亜酸化窒素(N_2O)あるいは窒素ガス(N_2)まで還元される作用のことである。脱窒反応の最終生成物は窒素ガスであり、窒素ガスを直接代謝基質として利用できる生物は極めて限られている。したがって脱窒は窒素を生物が直接利用できない形態に変換し、系内の窒素循環から本質的に離脱させる反応である。沿岸生態系では、窒素の負荷が富栄養化の進行の程度を決める支配的要因であると考えられている。したがって、脱窒反応による

窒素の不活化は、富栄養化の進行をくい止め海域の浄化につながる極めて重要な過程であると言える。しかし、その一方で現地調査の例は少なく、その活性やメカニズムについては不明な点が多く、干潟など浅海域の有する水質浄化能について定量的な見解はあまりなされていない。特に、本研究の観測対象としている底性微生物群集の存在量や機能・構造などに着目した水質浄化機能としての脱窒の解析はなされておらず、これらを調査することで浅海域における季節的・空間的な窒素循環の解明に寄与することができると考えられる。

そこで、有明海を対象として内湾における底質の有する脱窒速度を実験により求めることでその海域の有する浄化機能の評価を行い、更に底質サンプリングや流動観測を行うことでその季節的・空間的な変動メカニズムを明らかにすることを目的とした。

2. 研究フロー

本研究では、2004年、2005年に有明海奥部の下図に示す6地点において定期的にダイバーによる底質サンプリングと実験・分析に加え、同時に水質や流動の観測を行った。それによって得られたデータから、脱窒活性の季節的・地形的な変動と、その変動に関わると考えられる底性微生物群集構造、硝酸濃度、炭素含有率、水温、塩分、

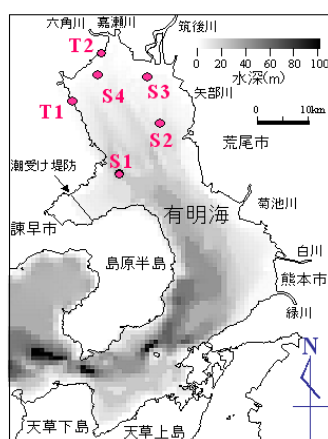


図1 現地観測地点

D0, ph, 流動等の対応を分析することで、有明海における脱窒のメカニズムの解析を行った。

3. 実験内容

3.1. 脱窒速度測定

2004年における脱窒活性の測定には簡便で比較的精度が高い方法としてアセチレン阻害法を用いた。この方法は、アセチレンが脱窒細菌による一酸化二窒素の窒素ガスへの酸化を阻害することを利用して、気相中に存在量の少ない一酸化二窒素の増加から脱窒速度を測定する方法である。

2005年には、更に詳細に脱窒のメカニズムを調査するため、 ^{15}N トレーサー法を用いて測定した。 ^{15}N トレーサー法とは、窒素安定同位体で標識した硝酸をトレーサーとして利用する手法である。この手法は、硝酸の直上水からの拡散によって底質内へ供給され脱窒された割合と、硝化によって生成された硝酸が脱窒に至った割合をそれぞれ求めることができるという利点がある。

3.2. キノンプロファイル法

呼吸鎖キノン（以下、キノン）とは、細菌の電子伝達鎖において水素キャリアーとして機能する補酵素である。好気呼吸を行

う細菌が持つユビキノン（Q-n (HX)）、嫌気呼吸を行う細菌が持つメナキノン（MK-n (HX)）に大別される。一般的に、一細菌種は一種類の優占キノンを持つ。優占キノンは、環境条件に応じて変化することがなく、遺伝的にも安定していることが知られている。また、キノン濃度は細菌群量と対応することが報告されている。2004年、2005年共に底質表層1cmについてキノンプロファイルを測定した。

3.3 栄養塩溶出速度の測定

コアサンプル採取後、直ちに現地にて培養し、直上水から定期的に海水サンプルを採取しフィルターにより懸濁物を取り除いた後保存した。溶存態無機栄養塩濃度の時系列変化を求め、底質・直上水間の溶存態無機栄養塩のフラックスを測定した。

3.4 間隙水栄養塩、C/N比、中央粒径

コアサンプル採取後、直ちに現地にて鉛直方向に表層から10cmを1cmごとに切断し、冷凍保存する。後に遠心分離により間隙水を抽出し、溶存態無機栄養塩の濃度を測定した。更に、底質を乾燥させ底質の炭素含有率と窒素含有率、C/N比を測定し、中央粒径の分析も行った。

3.5 水質・流動の観測

S1, S2に設置した流速計、水質計または投げ込み式の水質計によって現場の流動状況、水温、塩分、D0、クロロフィル a、濁度などの測定を行った。

4. 結果と考察

4.1. キノン含有量と脱窒速

2004年に得られたキノン含有量と脱窒速度との関係を下図に示す。両者には明らかな正の相関が認められ、キノン量の増加と

共に脱窒速度が増加していることが分かる。また、メナキノン含有量、ユビキノン含有量と脱窒速度の相関も調べたところ、前者については相関係数 $R=0.71$ 、後者については $R=0.60$ となり、メナキノン含有量とも良い相関が見られたため、嫌気性細菌群量は脱窒速度に大きな影響を与えていると言える。

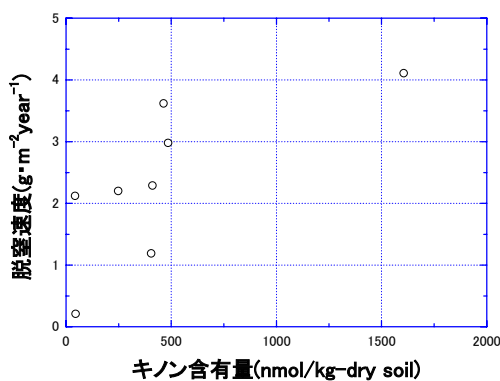


図2 キノン含有量と脱窒速度

さらに単位菌体量あたりの脱窒速度を求めたところ、いずれの地点においても、およそ 0.06 であったことから、微生物量あたりの脱窒活性は、各地点でそれほど違いはなかったと判断される。脱窒活性の議論については従来水温や無機態窒素との関係のみで議論されることが多かったが、実際には脱窒をする微生物(脱窒細菌)が存在し、さらに脱窒細菌がその機能を発揮していることが重要であると考えられ、今回の観測で脱窒速度とキノン量との間に対応が見られたのは妥当であると考えられる。脱窒に関するデータは測定の大雑雑さと現地環境の再現性への懸念から観測が不足している。今回の結果からキノン量により脱窒量の推定ができる可能性が示された。

4.1. 脱窒活性の変動とその要因

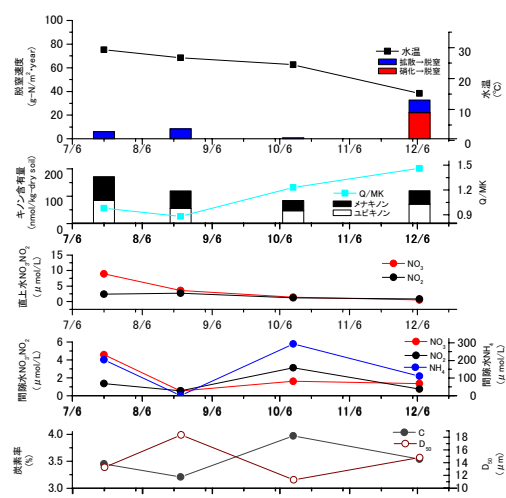


図3 S1における脱窒等の時系列

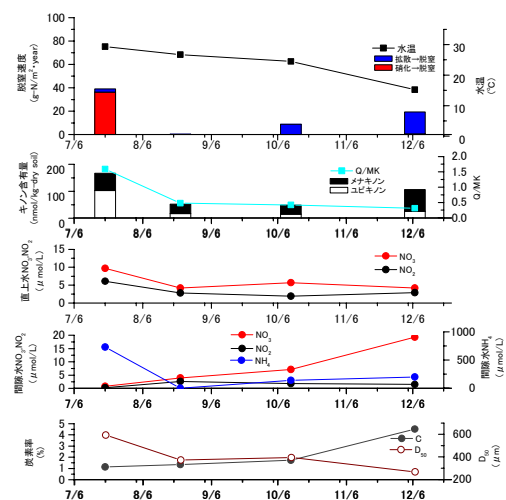


図4 S2における脱窒等の時系列

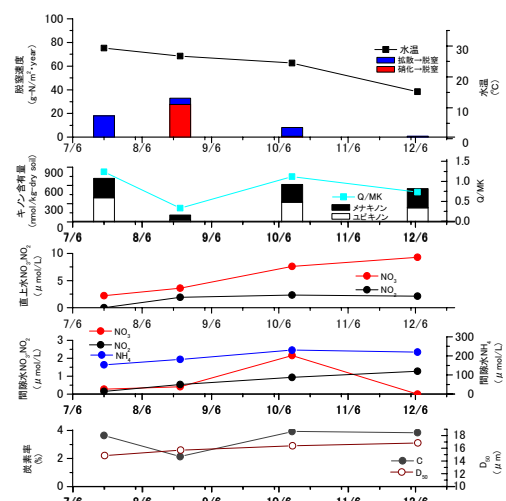


図5 S3における脱窒等の時系列

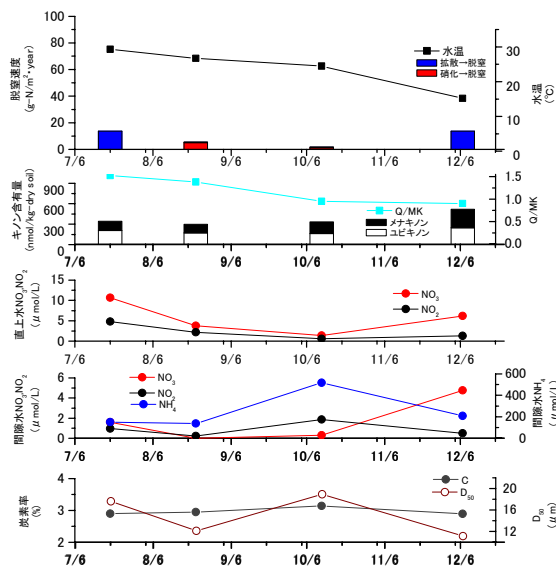


図 6 S4 における脱窒等の時系列

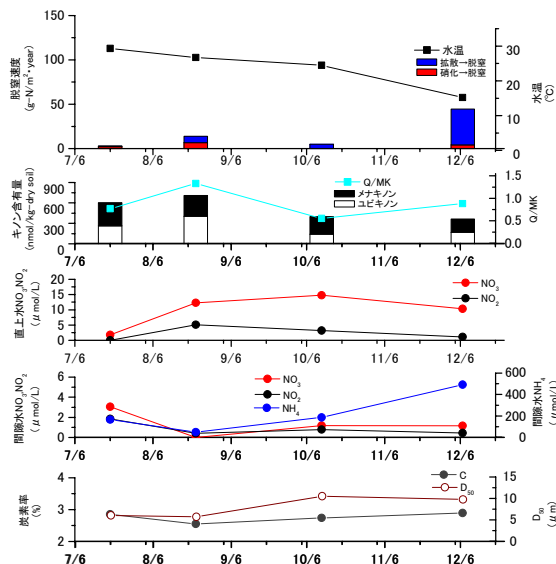


図 7 T1 における脱窒等の時系列

2005 年の 7 月 20 日から 12 月 7 までの有明海奥部の 5 地点における底質調査ならびに水質調査によって、現地の海域における空間的・季節的な脱窒活性の変動を調査したところ、観測地点ごとに脱窒活性の機構が異なるが、細菌群量と良い対応が得られ、脱窒活性がそれを行う細菌群量により左右されることが確認された。また、高い脱窒活性が得られるときは、同時に硝化活性が高いことが確認され、さらにそれはユビキ

ノン含有量と良い相関を示した。これにより、内湾における窒素除去過程として硝化が脱窒同様に重要であり、ユビキノン含有量によって硝化細菌の存在量の推定が可能であると考えられた。堆積物表層におけるユビキノン含有量や Q/MK と現場において同時に測定した直上水における DO とは相関を示さず、底質表層の酸化還元電位やユビキノン含有量はより長期的な直上水の DO 変動の影響や有機物負荷の影響を受けていると考えられる。有機物の負荷によって硝化が阻害されることが既に報告されているが、実際に今回の調査においても、底質に含まれる炭素含有率が少ない場合に、硝化活性ならびに脱窒活性が高くなるケースが多かった。

砂質の S2 において間隙水の無機栄養塩濃度の変動が大きいことや、泥質の地点と比較してキノン含有量に対して脱窒活性が高いことなどから、間隙水の移動による影響が考えられ、脱窒の解析では底質の粒径による物理的な基質の供給機構の違いなども考慮することが必要であることが明らかになった。

また、各地点のキノン構成や脱窒・硝化の活性、溶出速度の違いや、季節的な変動から、湾内において空間的、季節的にその底質の有する機能が異なる可能性が示唆された。