

底泥からのリン溶出に関する実験的検討

石井裕一・橋本旬也・安藤晴夫・木瀬晴美・田部一憲・櫛島智恵子

【要約】東京湾において赤潮発生の一因とされる底泥からのリン溶出について、室内実験により律速因子の検討を行った。酸素消費速度の小さい試料ほどリン溶出速度は小さく、また無酸素条件下では直上水の NO_3^- の底泥表面の酸化により、リン溶出が抑制されることが確認された。

【目的】

東京湾で頻発する赤潮の発生原因として底泥から溶出するリンの寄与が指摘されており、底層の貧酸素化と併せて解決すべき課題の1つとなっている。底泥からのリン溶出について、その抑制対策に係る基礎的資料の集積を目的とし、東京湾における複数地点の底泥を用いたリン溶出実験から得られた知見を報告する。

【方法】

東京湾内湾の7地点(図1)において底泥不攪乱柱状試料を採取し、リン溶出に係る室内実験を実施した。2017年9月、12月および2018年3月に アクリルカラム(高さ40cm、内径7cm、外径8cm)を用い底泥表面から20cm程度までを採取し、これを試料とした(写真1)。アクリルカラム内の底泥直上水の溶存酸素濃度が、リンが溶出するようになる無酸素～貧酸素(0~0.1mg/L程度)まで低下した時点を実験始期(T_0)とし、インキュベーター内(20°C、暗条件)に静置した。実験開始後は1日から2日間隔でカラム内の底泥直上水をサイフォンにより静かに抜き取り、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を経時的に測定した。実験期間中に各地点5回($T_0\sim T_4$)の濃度測定を行い、リン溶出フラックスを算出した。また、別途算出した底泥の酸素消費速度等との比較から、底泥からのリン溶出の制限因子について検討を加えた。

【結果の概要】

各地点のリン溶出フラックスと底泥の酸素消費速度定数 k および T_0 時の直上水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度との関係を図2に示す。9月採取試料は、酸素消費速度定数が大きくなるに伴いリン溶出フラックスも増大する正の相関が認められた($R^2 = 0.4564$)。一方、 T_0 時の直上水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度については、12月および3月採取試料でそれぞれ負の相関を示していた(12月： $R^2 = 0.5643$ 、3月： $R^2 = 0.3364$)。底泥からのリン溶出は底泥の酸化還元反応と密接に関係している。本実験は無酸素～貧酸素条件下で開始しているが、酸素消費速度が速い時期(9月)にはその影響が強く現れ、また酸素消費速度が低下し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が卓越する時期(12月および3月)には NO_3^- による底質酸化がリン溶出抑制に影響している可能性が示唆された。

NO_3^- によるリン溶出抑制は底泥直上水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度との関係からも読み取れる(図3)。 $\text{NO}_3\text{-N}$ が一定程度以上(概ね0.2mg/L以上)の濃度で直上水中に存在する場合、水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は上昇しない、すなわち、底泥からの $\text{PO}_4\text{-P}$ 溶出が抑制されていることが確認された。無酸素条件下においては、水中の NO_3^- が酸化剤となり底泥表面を酸化し、リンの溶出を抑制していたものと推察された。

一般的に底泥中のリンはその存在形態からFe結合型、Al結合型およびCa結合型に分画することができる。Fe結合型リンは無酸素条件下での底泥の酸化還元電位低下によってFeやMnが還元され、乖離したリンが水中に拡散する。したがって、無酸素条件下であってもFe等より還元される電位の高い NO_3^- が水中に存在すればFe等は還元されることなくリンの乖離・拡散も引き起こされない。そのため、直上水が無酸素であっても NO_3^- の底質酸化効果によってリン溶出が抑制されたものと推察された。

以上のことから、底泥からのリン溶出抑制には、①直上水中の酸素濃度を上昇させること、② NO_3^- 等の酸化剤により底泥表面の酸化還元電位を上昇させること、が有効であると考えられた。



図1 採泥地点

地点に付した数字は東京都環境局の内湾調査地点番号



写真1 実験に供した底泥不攪乱柱状試料

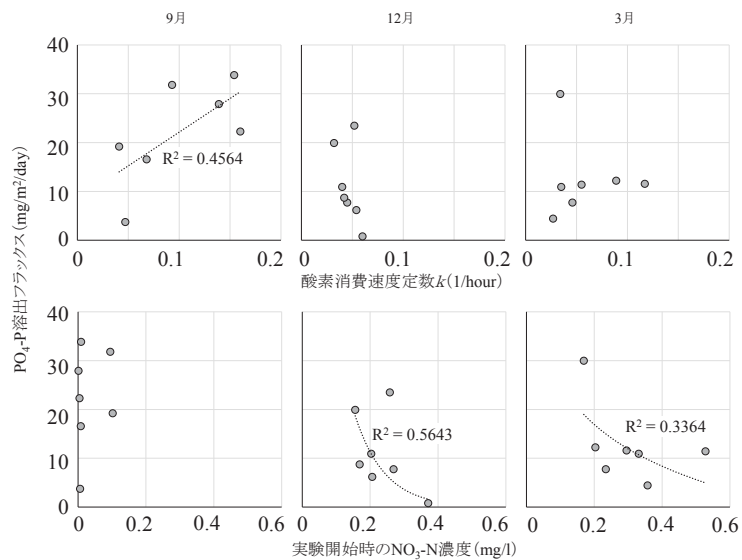


図2 PO₄-P 溶出フラックスと酸素消費速度定数および NO₃-N 濃度との関係

高水温期は酸素消費速度定数、その他の季節は直上水中の NO₃-N 濃度との相関関係が認められた。

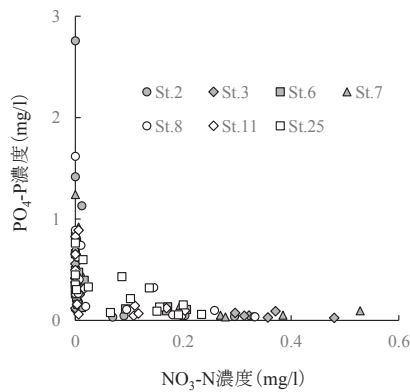


図3 底泥直上水中の PO₄-P 濃度と NO₃-N 濃度との関係

NO₃-N 濃度が一定程度 (約 0.2mg/L) 以上になると PO₄-P は低濃度となっている。