

霞ヶ浦における懸濁態リンの変動要因についての検討

篠原隆一郎¹⁾, 今井章雄¹⁾, 高津文人¹⁾, 富岡典子¹⁾, 古里栄一²⁾, 佐藤貴之¹⁾³⁾, 佐野友春⁴⁾, 小松一弘¹⁾, 三浦真吾¹⁾, 霜鳥孝一¹⁾

1) 国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター

2) 埼玉大学大学院 理工学研究科

3) 福島県環境創造センター 研究部

4) 国立研究開発法人国立環境研究所・環境計測研究センター

1. はじめに

湖沼において、リンは、生物の生長に対して制限要因になる物質である。過剰なリンの供給は、シアノバクテリア等植物プランクトンの異常増殖を引き起こし、異臭や、景観の悪化等の問題を引き起こすことが知られている。浅い湖沼において、底泥の巻き上がりが懸濁態リン、特に無機態リン、の主な供給プロセスであると考えられている一方で^{1,2)}、懸濁態リンには、表層水中に存在する生物体(藻類・バクテリアに含まれるリン)由来のものも含まれている。

茨城県の県南に位置する霞ヶ浦は、浅い湖沼でありながら、懸濁態リンの中には、有機態のリンの割合が無機態リンに比べて多い湖である³⁾。つまり、浅い湖沼でありながらも、「生物由来のリン」による変動が、表層水中におけるリンの濃度を決定する主要な要因である可能性が推察される。しかしながら、湖沼において波が十分に発達した場合、底泥の巻き上がりが発生することも知られている⁴⁾。そこで、本研究では、巻き上がり、および、生物由来のリンのプロセスのどちらが懸濁態リン濃度に影響を与えるのか、観測を行い、検証した。

これらの供給プロセスの違いは、懸濁態リンから、溶存態リンへの遊離・溶出のプロセスにも影響を与える。例えば、底泥から水面へと無機態リンが供給される場合、底泥由来の粒子と、水柱とのリンの平衡濃度によって、底泥由来の粒子に付着したリンが水中へと供給される。一方で、生物由来のリンが優占している場合、有機態リンの分解プロセス—特に、酵素活性等によって無機態リンが水中へと供給されると考えられる。つまり、本研究によって、それらどちらのプロセスが湖内のリン循環に影響を与えるか、という点が明らかになる可能性がある。本研究では、① 現地における波の推算と、濁度の変化の連続分析、② 有機態および、無機態リンの濃度変動を観測し、風の変動などと併せて解析、③ 核磁気共鳴装置(³¹P NMR)を用いて懸濁粒子に含まれるリンの具体的な形態を分析することで、どのようなリンの化合物形態が懸濁態リン中に存在するのかを明らかにした。

2. 方法

霞ヶ浦の南岸にある国立環境研究所の敷地にある防波堤で、2012年~2013年の5月~9月にかけて、合計23回の採水を行った。採水は4Lのポリバケツで行い、酸洗浄したナルゲンの20Lタンクに保存し、実験室に持ち帰った。10Lは、GF/Fフィルターを用いて濾過を行い、³¹P NMR用に保存した。また、200mLずつ濾過したGF/Fフィルターに関しては、懸濁態リン(PP)、懸濁性無機態リン(PIP)、懸濁性有機態リン(POP)、懸濁性有機炭素(POC)、懸濁性有機窒素(PON)の分析に使用した。

PPの分析に関しては、ろ紙を470°Cで2時間焼き、それを塩酸で抽出して分析した。PIPは、ろ紙を焼くことなく、塩酸でPを抽出することで測り取り、PPとの差分をPOPとした。

³¹P NMRの分析はsolid, solutionの二種類あるが、今回はより詳細な化合物の分析を行うため、solution ³¹P NMRを使用して分析を行った。分析前に、NaOH: 0.25 mol L⁻¹, EDTA 0.05 mol L⁻¹の混合溶液を作成し

⁵, これを用いて, 1 サンプル, 50 mL の溶液を注入し, 4 時間の振盪・抽出を行った. その溶液を凍結乾燥し, 分析直前に再度 1.35mL の NaOH(1 mol L⁻¹)-EDTA(0.1mL⁻¹), 0.15 mL の D₂O に溶解した上で, ³¹P NMR の分析を行った. NMR の詳細なセッティングに関しては, Shinohara et al. (2012, 2016)^{2,6} を参照されたい. この分析を行うことで, PO₄ の形を持つオルトリン酸以外にも, モノヌクレオチド等のモノエステル結合, DNA やリン脂質等のジエステル結合等のリン化合物を検出することができる.

3. 結果と考察

2012 年夏季において推算された波と, 濁度の変化を, 図 1 に示す. 風向の変動は, 観測された時期においてはよく見られるパターンで, 概ね南南西~北東の風であった. 観測された地点が南西岸であることから, 東北東~北東風の際には特に波が発達し, 底面せん断応力が, 以前から観測されている限界底面せん断応力を超えていた. また, その際には, 濁度が明らかに上昇し, 波による底泥巻き上がりによって濁度が上昇していたことがわかる.

PIP, POP の組成については, POP が殆どを占めており(図 2), 全体で約 80%が有機態であった. PIP は, 風速や底面せん断応力との相関が得られなかった. むしろ, POC, PON 等と割と明瞭な相関が得られたため, 底泥巻き上がりよりも, 水柱における生物生産が PP の変動に影響を与えているものと推察された.

³¹P NMR の結果を見ると, 有機態が全体の 70%を占めており, DNA 等のジエステル結合態は存在するものの, 核酸(モノヌクレオチド)が最も多いリン化合物であった. モノヌクレオチドは, 極めて容易に分解する化合物と言われている. つまり, 霞ヶ浦の懸濁態リンは, ① 生物由来のリンが PP の変動に影響を与え, ②非常に分解されやすい化合物で構成されていることが明らかになった.

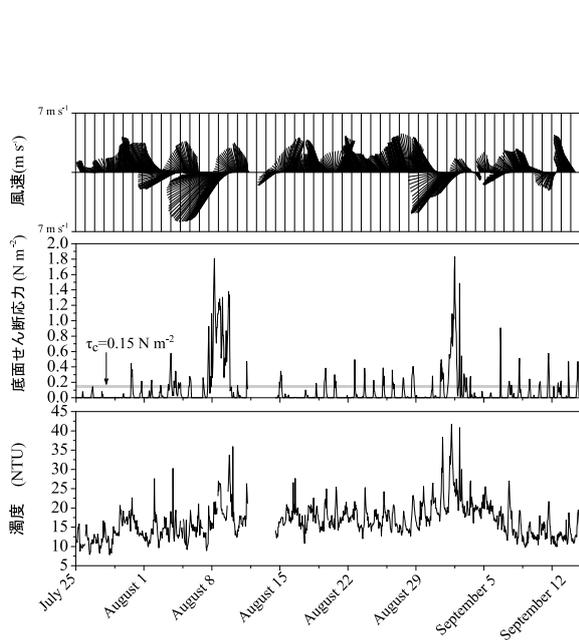


図 1. 風速のベクトル図と波による底面せん断応力および, 濁度の時間変化.

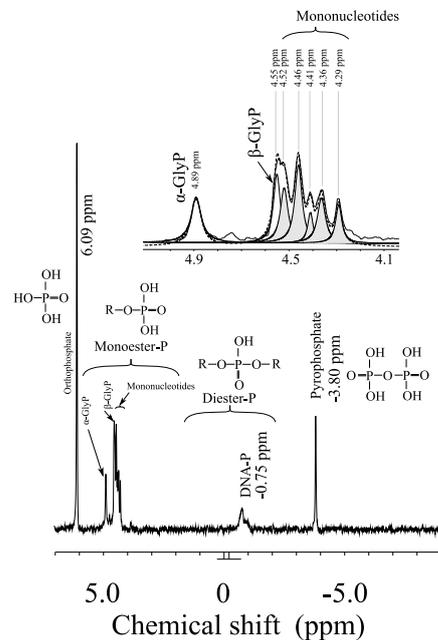


図 2. 霞ヶ浦における懸濁態リンの化合物組成の例.

1) Hamilton, D. P.; Mitchell, S. F. *Freshwat. Biol.* 1997, 38, 159–168. 2) Shinohara, R.; Isobe, M. *Fundamen. Appl. Limn.* 2010, 176, 161-171. 3) Shinohara et al. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 10572–10578. 4) Seki et al. *J Jpn Soc. Civil Eng. G* 2006, 62, 122–134. 5) Cade-Menun, B.; Preston, C., *Soil Sci.* 1996, 161, 770–785. 6) Shinohara et al. *Sci. Tot. Environ.* 2016, 563–564, 413–423.