

伊豆沼における底質有機物堆積機構の解析

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○藤巻 史也
 東北大学大学院工学研究科 正会員 野村 宗弘
 東北大学大学院工学研究科 正会員 西村 修

1. はじめに

湖沼は閉鎖性の水域であり、水の滞留時間が長いことから、河川や海と比較して汚濁物質が蓄積しやすい。生活排水や工業廃水の流入によって悪化した湖沼の水環境に対して、流域における排水対策などによって、流入する汚濁負荷は減少している。しかしながら、湖沼の水質には未だ大幅な改善が見られない。その要因には、底質に堆積した汚濁物質の溶出による内部負荷があり、湖沼の水質改善を推進するためには、流入(外部)負荷対策と併せて、内部負荷対策を行うことが重要である¹⁾。従来行われてきた一般的な内部負荷対策として、浚渫や覆砂といった工法があるが、これらは持続的な効果が得られず、シードバンクの喪失による底生生態系への影響が懸念される²⁾ことから、新たな底質改善技術が求められている。内部負荷増加の大きな要因には、底質の有機汚濁化がある。既往の研究³⁾において、流動の制御により底質の有機汚濁化を防ぎ、新たな底質改善技術を提案できる可能性が示唆されているが、流動と底質有機物との関係については、依然として研究の余地がある。そこで本研究では、流動による底質有機物の堆積機構を明らかにすることを目的として、水質改善の進んでいない閉鎖性水域である伊豆沼において調査を行った。

2. 研究手法

2.1 伊豆沼沿岸部における現地観測

2015年9月8日、9月22日、9月29日、10月6日、10月13日の計5回、宮城県栗原市と登米市にまたがる伊豆沼沿岸部4地点において現地観測を行った(図1)。各観測日にセディメントトラップの設置・回収を行い、懸濁態有機炭素(POC)の沈降量を算出した。また、底質の表層を採取し、底質有機物量の指標として有機炭素(OC)含有率の測定を行った。加えて、自記式の流速計、濁度計を各地点に設置、Stn.A近傍の高台に風向・風速計を設置し、観測期間中、連続測定を行った。



図1 伊豆沼の全体図と観測地点

2.2 POCの巻き上げ・沈降フラックスの算出

Stn.AからStn.DにおけるPOC巻き上げ・沈降フラックスの経時変化を以下の式から算出した。

a) POC沈降フラックス

$$S = w_s(C - C_{bg}) \quad (1)$$

$$w_s = \frac{q_s}{C_s} \quad (2)$$

ここで S:POC 沈降フラックス(g/m²/s), w_s:POC の沈降速度(m/s), C:POC 濃度(g/m³), C_{bg}:POC 濃度の基底値(g/m³), q_s:各設置期間にセディメントトラップで捕集した POC 沈降量(g/m²/s), C_s:セディメントトラップ設置期間中の平均 POC 濃度(g/m³)である。なお、POC 濃度の経時変化は観測した濁度から換算した。

b) POC 巻き上げフラックス

$$E = 0 \quad (U < U_{ce}) \quad (3-1)$$

$$E = \sigma \left(\frac{\tau}{\tau_{ce}} - 1 \right)^n \quad (U_{ce} \leq U) \quad (3-2)$$

ここで E:POC 巻き上げフラックス(g/m²/s), U:流速(cm/s), U_{ce}:巻き上げ限界流速(cm/s), τ:底面せん断力(g/cm・s²), τ_{ce}:限界底面せん断力(g/cm・s²), σ, n:モデルパラメータである。この式は流速が一定値を超えた時に、巻き上げフラックス E で POC が巻き上がることを示す。なお、ここでの流速は 10 分間隔で 30 秒間連続観測したものの平均値を用いた。また、底面せん断力は次式から算出した。

$$\tau = \rho C_f U^2 \quad (4)$$

ρ:水の密度(0.998g/cm³), C_f:抵抗係数(0.0041)である。

c) 巻き上げ限界流速の推定と σ, n の決定

巻き上げによって底面から浮遊した POC が鉛直方向に均一に拡散するとした場合、POC 濃度の変化量(g/m²/s)は次式で表せる⁴⁾。

$$h \frac{dc}{dt} = E - S \quad (5)$$

ここで h:水深(m), t:POC 濃度の観測間隔(600s)である。また、式(5)と式(3-2)から次式を得る。

$$h \frac{dc}{dt} + S = \sigma \left(\frac{\tau}{\tau_{ce}} - 1 \right)^n \quad (6)$$

ここで、次のようなデータ解析を行って巻き上げ限界流速 U_{ce}とモデルパラメータ σ, n を決定した。

- 観測期間中、流動と POC 濃度変化に高い相関の見られた期間のデータを用いて、式(6)の左辺と底面せん断力を無次元化した(τ/τ_{ce}-1)の相関を調べた。
- その際、U_{ce}として設定する流速値を 0.1cm/s から 2.0cm/s まで 0.1cm/s 刻みで変化させていき、上記の相関が最も高かった流速値を U_{ce}とし、そのときの近似曲線の式から σ, n を決定した。

2.3 底質 OC と流速超過確率の関係

既往研究⁵⁾において底質 OC 含有率と負の相関のあった流動指標である流速超過確率を用いて、底質 OC 含有率との関係を解析した。流速超過確率 F(V)は次式で表される。

$$F(V) = \frac{V_{cm/s} \text{ を超える流速データ数}}{\text{観測された全流速データ数}} \quad (7)$$

キーワード 閉鎖性水域, 底質汚濁, 流動, 沈降, 巻き上げ, ハス

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 環境生態工学研究室 TEL:022-795-7473 FAX:022-795-7471

3. 結果及び考察

3.1 底質 OC 含有率の変動

観測期間中の Stn.A から Stn.D における底質 OC 含有率の変動を図 2 に示す。伊豆沼においては秋にかけて底質有機物量が増加する。加えて、ハスの繁茂が見られる場 (Stn.A, B, D) と見られない場 (Stn.C) では、前者のほうが底質有機物量が多い。これは、湖内のハスが枯死し、分解されて底質に沈降、堆積すること起因すると推察される。なお、底質に含まれる粒径 $63 \mu\text{m}$ 以下の粒子の割合および底質含水率と底質 OC 含有率との間には高い正の相関が見られ、粒径が小さく、含水率の高い底質ほど有機物量が多いことが分かった。

加えて、Stn.B と Stn.D における平均 POC 沈降量はそれぞれ $30.7\text{g/m}^2/\text{day}$, $6.1\text{g/m}^2/\text{day}$ であった。また平均流速はそれぞれ 2.00cm/s , 1.08cm/s であった。しかし、この 2 地点の底質有機物量は図 2 のとおり近い値であることから、流動の小さい場では、沈降有機物量が少なくても底質有機物量は増加し、一方で流動の大きい場では、沈降有機物量が多くても、流動の小さい場と比べて底質有機物量が低く抑えられることが分かった。

3.2 POC 巻き上げ・沈降フラックスと底質 OC 含有率の関係

巻き上げ限界流速を解析した結果、POC 巻き上げに要する限界流速 U_c が 0.6cm/s と推定された。この値を用いて POC 巻き上げフラックス E を求め、沈降フラックス S を算出した。そこから得られた Stn.B, Stn.C, Stn.D における POC 収支 ($E-S$) と底質 OC 含有率の関係を図 3 に示す。この結果から、流動によって底質から巻き上がる有機物量が沈降する有機物量を上回るほど、底質有機物量が低くなることが分かった。

3.3 流速超過確率と底質 OC 含有率, POC 収支の関係

Stn.B, Stn.C, Stn.D における流速超過確率と底質 OC 含有率には強い負の相関が得られた (図 4)。なお、閾値とした流速値 V は 0.1cm/s から 3.0cm/s の間で 0.1cm/s 刻みで変化させ、最も相関の強かったものを採用した。また、流速超過確率と POC 収支の相関について同様に V を決定したところ、Stn.C, Stn.D で最も強い相関が得られた V は、流速超過確率と底質 OC 含有率の相関において得られたものと一致した (図 5)。したがってこの V の値は、各地点において底質から巻き上がる有機物量が、沈降する有機物量より多くなる流速値であると考えられる。

4. おわりに

これまでの、底質 OC 含有率と流速超過確率の間に負の関係があることしか明らかにされていなかったが、本研究により、流速超過確率は有機物の巻き上がりが卓越する流速の指標となり、底質有機物量は巻き上がり卓越の多寡により決定されることが新たに明らかとなった。しかし、その閾値となる流速値は観測地点によって異なっており、これは底質性状の差異や沈降してくる有機物量の多寡等に起因すると思われる。今後、この流速値の物理的な意味についてもさらに検証を重ねたい。

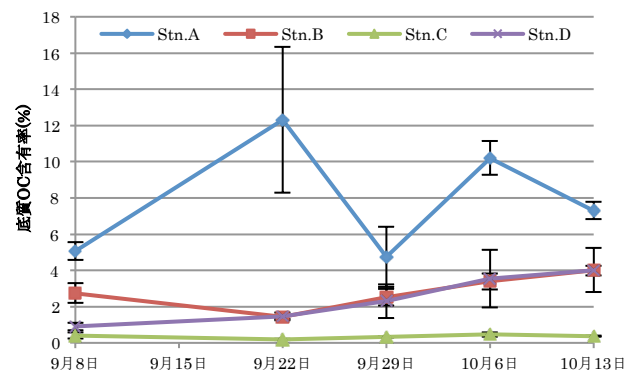


図 2 観測期間中の底質 OC 含有率の変動

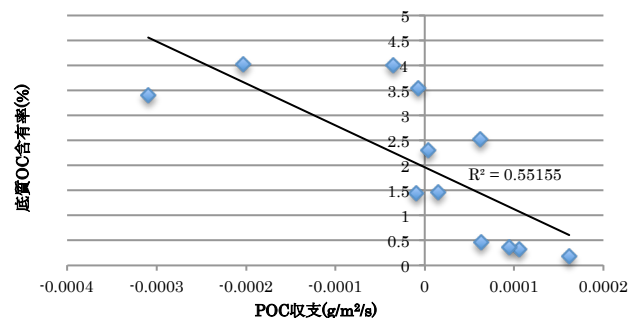


図 3 POC 収支と底質 OC 含有率の関係

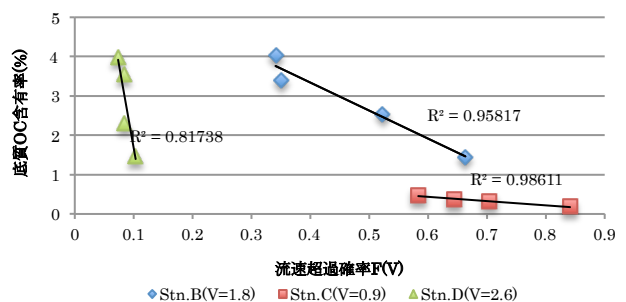


図 4 流速超過確率と底質 OC 含有率の関係

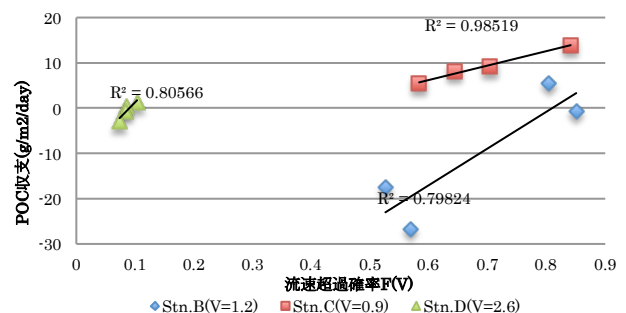


図 5 流速超過確率と POC 収支の関係

参考文献

- 1) 湖沼技術研究会: 湖沼における水理・水質管理の技術, 2007.
- 2) 黒田ら: 霞ヶ浦の浚渫土中の散布体バンクの種組成とその空間的不均一性, 応用生態工学, 12(1), pp.21-36, 2009.
- 3) 金田一ら: 伊豆沼の沿岸部における底質と流動の関係, 平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 CD(pdf), VII-53, 2012.
- 4) Hawley N, et al.: Sediment resuspension in Lake St. Chair. *Limnol. Oceanogr.*, 35, 1050-1067, 1990.
- 5) 西村ら: 浅い閉鎖性水域の底質環境形成機構の解析と底質制御技術の開発, 環境研究総合推進費報告書, 2013.