

伊豆沼におけるハス繁茂期の底質有機物と流動の関係

東北大学工学部 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。過去の人間活動の拡大に伴い、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、現在では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。その要因として挙げられるのが、底質に堆積した汚濁物質の溶出による内部負荷であり、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。しかし、これらは汚濁物質の再堆積や、栄養塩等の再溶出によって持続的な効果が得られず、シードバンクの喪失を引き起こすために底生生態系への配慮に欠ける²⁾ことから、新たな底質改善技術が求められている。

内部負荷の大きな要因には、底質の有機汚濁化が挙げられる。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、流動と底質有機炭素(OC)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OC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日から同10月13日にかけて、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)。Stn.A, Stn.B, Stn.Dは湖心方向にハスの繁茂が見られた。各地点で1週間ごとにセディメントトラップの設置・回収を行い、POCの沈降量を算出した。また、セディメントトラップの設置・回収時に底質の表層を採取し、OC含有率の測定を行った。加えて、自記式の流速計、濁度計、水深計を係留設置、Stn.A近傍の高台に風向・風速計を設置して、それぞれ連続測定を行った。



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 :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。底面せん断力は次式を用いて算出した。

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

ここに ρ :水の密度(0.998g/m³), 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。

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

この関係式より、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が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 $(\tau/\tau_{ce}-1)$ 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

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。期間中の底質 OC 含有率の平均値は Stn.A が 7.9% と最も高く、次いで Stn.B が 2.8%, Stn.D が 2.4%, 最も低かったのは Stn.C で 0.3% であった。また、ハスの繁茂が見られた Stn.A, Stn.B, Stn.D では観測期間のはじめと終わりで底質 OC 含有率はそれぞれ 2.2%, 1.3%, 3.1% 増加していた。

次に、9 月 8 日と 10 月 13 日の底質に含まれる粒径 75 μm 以下の粒子の割合を測定したところ底質 OC 含有率との間に高い正の相関が見られた。加えて、底質含水率と底質 OC 含有率の間にも同様に高い正の相関が見られた。このことから、粒径が小さく、含水率の高い底質ほど OC 含有率が高くなると考えられる。

3.2 POC 巻き上げ・沈降フラックスと底質 OC 含有率の関係

解析結果から、POC 巻き上げに要する限界流速 U_{ce} を 0.6cm/s と推定した。したがって、流速が 0.6cm/s 以上のときに巻き上げが起こっているものとして POC 巻き上げフラックス E, 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。各地点で POC の巻き上がりと底質 OC 含有率には負の相関があった。しかしながら、1~2 週間毎の底質 OC 含有率の減少・増加と POC 収支における巻き上げ卓越・沈降卓越は必ずしも一致しなかった。この原因として、POC 沈降速度は巻き上げが起こっている時と起こっていない時で変化し、巻き上げ限界流速は底質性状によって異なるために、実際の巻き上げ・沈降量との差が生じたことが考えられる。

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 含有率の関係を図 4 に示す。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、最も相関性の高かったものを採用し、Stn.B で 1.8cm/s, Stn.C で 0.9cm/s, Stn.D で 2.6cm/s とした。

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、 V は Stn.B で 1.2cm/s, Stn.C で 0.8cm/s, Stn.D で 2.6cm/s で最も高い正の相関が得られた(図 5)。Stn.C と Stn.D においては、流速超過確率と底質 OC 含有率、POC 収支と相関の高かった流速値はほぼ同程度であったが、Stn.B については差が見られた。

4. おわりに

これまでの研究では底質 OC 含有率と流速超過確率の関係しか明らかにされていなかったが、本研究を通じ、流速超過確率は POC 沈降・巻き上げの指標となり、その収支により底質 OC 含有率が決定されることが新たに明らかとなった。底質 OC 含有率と流速超過確率には負の相関が見られ、一定以上の流速発生確率が高くなることで底質 OC 含有率が低下することが確認できたが、その閾値となる流速値は観測地点によって異なる。これは底質性状によって POC の挙動が異なることに起因すると思われる。今後、この流速値と底質性状の関係についてさらに検証を重ねたい。

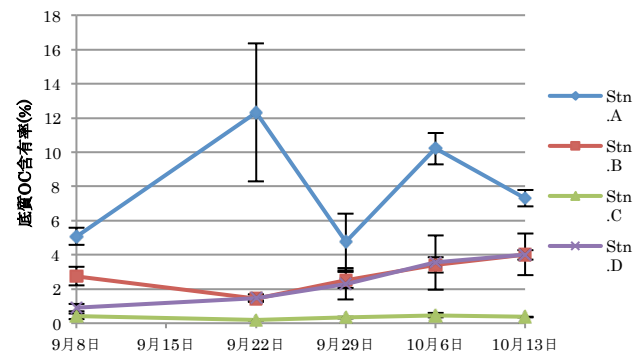


図 2 観測期間中の底質 OC 含有率の変動

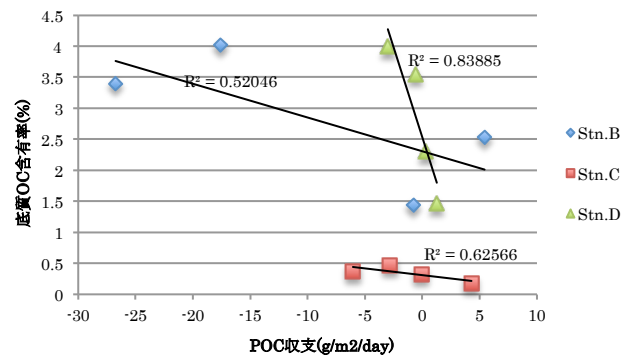


図 3 POC 収支と底質 OC 含有率の関係

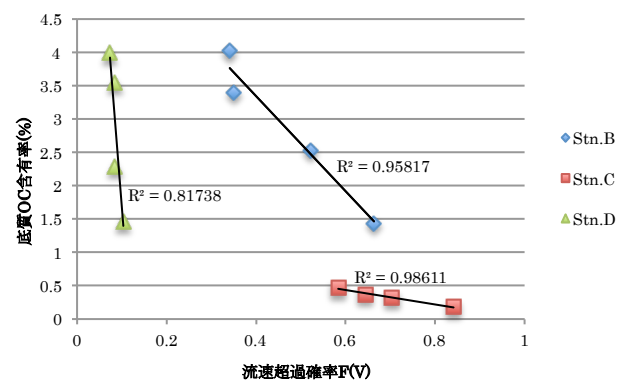


図 4 流速超過確率と底質 OC 含有率の関係

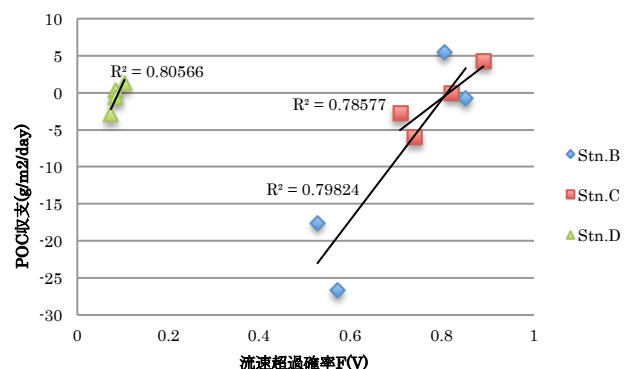


図 5 流速超過確率と POC 収支の関係

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: 霞ヶ浦の淀床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: 伊豆沼の沿岸部における底質と流動の関係, 東北大学卒業論文, 2012
- 4) Hawley, N. and Lesht, B. N.: Sediment resuspension in Lake St. Clair. *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