潟沼における懸濁物質の挙動と特性

Behaviour and Characteristics of Suspended Solids in Hinuma Lake

小山由美子¹・藤田昌史²・信岡尚道³・三村信男⁴

Yumiko OYAMA, Masafumi FUJITA, Hisamichi NOBUOKA and Nobuo MIMURA

The behaviour and characteristics of suspended solids were examined using a sediment trap method at Hinuma Lake, a shallow estuarine lake, from November of 2007 to January of 2008. In a vertically well-mixed period, phytoplankton accounted for 17% in suspended solids. Hence, particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in suspended solids derived largely from phytoplankton. In contrast, only 4-6% of phytoplankton occupied in suspended solid in a stratification period. Fluid muds, resuspended due to wind, were likely to be a contributor for particulate organic carbon in suspended solids.

1. はじめに

湖水中の懸濁物質は、土砂・粘土・動植物プランクトン・水酸化物などからなる。富栄養湖では湖内で生成される有機性の懸濁物質量が非常に多く、例えば木崎湖では、植物プランクトンが懸濁物質の全重量の半分以上を占めたという報告もある(佐藤, 1987)。死滅した植物プランクトンなどが沈降する現象はプランクトン雨と称されることもあり、分解時に水中の溶存酸素を消費して水質の悪化を招く。

浅い潟沼では、沈降距離が短いために未分解の有機性懸濁物質が湖底に多く供給され、底質のヘドロ化が問題となっている。また、風波による波動の影響が直接湖底に達し、一度沈澱した懸濁物質が巻き上げられ、再懸濁する現象も明らかになっている(潟沼技術研究会, 2007)。これらの有機性懸濁物質は、湖底付近の溶存酸素を消費し、貧酸素水塊の発生を引き起こす場合もある。

海域では、佐々倉ら(2005)が広島湾奥域において観測を行っており、成層期と混合期には懸濁物質の沈降特性に違いが現れることを報告している。浅い汽水湖でも、塩分侵入による密度場の変化によって、特有の現象が生じている可能性があるが、研究例はほとんどない。

そこで本研究では、浅い汽水湖である潟沼において、3ヶ月間にわたり計4回、セジメントトラップによる懸濁物質の捕集および湖水環境の調査を行った。水温や塩分の観測結果から各々の観測期間を混合期と成層期に分別し、捕集した懸濁物質の分析結果と比較して、懸濁物質

の挙動や特性を調べた。

2. 現地観測と方法

(1) 観測地点と期間

茨城県中央部に位置する潟沼は、支流潟沼川の水がせき止められてできた汽水湖であり、湖水面積9.35km²、最大水深6.5m、平均水深2.1mである。底質は匂いのある暗褐色の粘土質であることが分かっている。他の汽水湖にも見られるように、内部生産が盛んで富栄養状態が続いている。ヤマトシジミは全国有数の漁獲量であるが、年々減少傾向にあることが問題となっている。

現地観測は、図-1に示した湖心部で、2007年11月5日～2008年1月21日の間に計4回行った。各回の観測では、約1～2週間にわたり、後述するように水中にセジメントトラップを垂下し、懸濁物質を捕集するとともに、自記式観測器を用いた自動観測を行った。この間の観測地点における水深は、潮汐の影響により2.5～3.0mの間を推移していた。

(2) 自記式測定器による観測

アレック電子社製Compact-CT、DOW、EMおよびYSI/Nanotech社製多項目水質モニター model 6600を用い

図-1 観測地点

1 学生会員	茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻
2 正会員	博(工) 茨城大学講師 工学部都市システム工学科
3 正会員	博(工) 茨城大学准教授 工学部都市システム工学科
4 正会員	工博 茨城大学教授 広域水圏環境科学教育研究センター

図-2 セジメントトラップの設置

図-3 観測期間の湖水環境

て、水温、塩分、溶存酸素、流速を連続観測した。水温、塩分、溶存酸素は、上層(湖底上1m)、下層(湖底上0.5m)で観測し、得られたデータは日平均を算出した後グラフ化した。流速は、下層のみにおいて観測した30分間隔の観測データをグラフ化し、水戸地方気象台により公開されている日平均風速とともに示した。

(3) セジメントトラップによる懸濁物質の捕集

セジメントトラップの設置図を図-2に示す。自記式観測器の観測深度に合わせ、上層と下層に設置した。セジメントトラップの形状は、円筒形で筒長/直径比を3以上にすれば、捕集率がほぼ1程度で過不足なく懸濁物質を捕集できることが報告されていることから(角皆, 1981)、ここでは、直径8cm、高さ28cmの円筒型捕集容器を用い、各層に3器ずつ設置した。セジメントトラップによる観測では、その期間を2週間以内とするのが一般的であり、本観測でも約1~2週間の観測期間を設定

した。

(4) 捕集した懸濁物質の解析

セジメントトラップにより捕集された懸濁物質を回収し、SS(懸濁物質量)、POC(懸濁有機炭素量)、PON(懸濁有機窒素量)、PP(懸濁態リン量)を分析した。また、植物プランクトン量を表す指標としてChl.a(クロロフィルa)、死滅した植物プランクトン量を表す指標としてPhaeo(フェオフィチン)を分析し、それらの合計を植物色素量として算出した。SSおよびPPは上水試験方法(日本水道協会, 2001)、植物色素量はLorenzen法、POC、PONはCHNコーダーを用いて分析した。また、得られたそれぞれの重量データを観測期間の日数と容器の開口部断面積で除することにより、単位時間・単位面積あたりの沈降フラックスを求めた。

3. 結果と考察

(1) 観測期間の湖水環境

2007年11月5日~2008年1月21日における水温、溶存酸素、塩分と流速を図-3に示す。

期間1(11月5日~11月15日)は、水温、塩分濃度が上下層で差が小さく、下層にも溶存酸素が十分存在していたことから、湖水が十分に混合している混合期であったと判断できた。

その後、塩分濃度は急激に上昇し、高塩分な状態へ移行した。これは秋季から冬季にかけて河川流入量が減少し、海水の侵入が促進されたために発生したと考えられる。期間2-1(12月14日~12月25日)、期間2-2(12月25日~1月9日)、期間2-3(1月9日~1月21日)では、上層と下層で水温や塩分濃度に明確な差が見られた。特に、期間2-1と期間2-2では、下層の溶存酸素濃度が低かった。したがって、これら3つの期間を成層期と判断した。

これらの4期間を流速について比較すると、成層期である期間2-1、2-2、2-3の流速は、混合期の期間1に比べて穏やかに推移し、特に期間2-1では目立った上昇が見られなかった。信岡ら(2005)は、塩分侵入時には底層の流れが鈍化する傾向があると述べており、その現象によるものと考えられる。一方で、成層期の3期間のうちでも期間2-2、2-3ではしばしば大きい値を観測するという特徴が見られた。これは日平均風速の増加傾向とほぼ一致しており、風速が流況に影響していることが示唆された。

(2) 沈降フラックス

図-4に懸濁物質の沈降フラックスを示した。成層化の有無によらず、上層より下層で大きくなった。この傾向は前述した佐々倉ら(2005)による海域での観測結果と同様であった。一方、上層の沈降フラックスはそれほど変化が見られなかったが、下層では変動が大きかった。

図-4 懸濁物質量の推移

図-5 懸濁物質の組成

また、下層において植物色素量は期間1が卓越していたが、期間2-1、2-2、2-3では相対的に少なかった。一方POCは期間2-2、2-3で相対的に高かったことから(図-5)、植物プランクトンの変動とは連動していなかった。

(3) 懸濁物質の組成

図-5に示した結果を用いて、POC、PON、PPの植物色

表-1 植物色素量と懸濁態CNPとの関係

		期間			
		1	2-1	2-2	2-3
POC/SS (mg-C/g-SS)	上層	63	119.5	76.8	80.8
	下層	56.8	77.3	61.5	62.4
PON/SS (mg-N/g-SS)	上層	9.9	18.5	14.4	13.1
	下層	8.1	11.6	9.3	9.5

表-2 懸濁物質中に占めるCNの割合

		期間			
		1	2-1	2-2	2-3
PP/植物色素 (g-P/g)	上層	1.2	3.2	3.3	3.3
	下層	1.0	3.3	2.3	2.5
PON/植物色素 (g-N/g)	上層	5.5	32.9	31.1	23.2
	下層	6.1	24.8	28	20.9
POC/植物色素 (g-C/g)	上層	35	212	166	143
	下層	43	165	185	137

素比を算出した(表-1)。一般的に、植物プランクトンのC/Chl.aは30～100 (g-C/g)、N/Chl.aは5～15 (g-N/g)、P/Chl.aは2～4 (g-P/g) (西條ら, 1995)になると言われている。本観測では、期間1はこれらの値に概ね近かった。

以上の考察を受け、期間1に捕集された有機炭素の全量を植物プランクトンの成分と仮定して、植物プランクトンが懸濁物質の全量に占める割合を試算した。計算方法は、捕集された有機炭素を、一般に用いられる植物プランクトンの示性式 $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ に基づいて植物プランクトンの重量に換算し、全懸濁物質に対する重量比を求めた。その結果、期間1における植物プランクトンの全懸濁物質重量比は、上層で約18%、下層で約16%となった。また、換算した植物プランクトン量と捕集物の植物色素量から、植物プランクトンの色素含有量として上下層とも約9 (mg-色素量/g-乾燥重量)を得た。植物プランクトンの色素含有量はその種類によって異なることが知られている。茨城県霞ヶ浦環境科学センターが平成16年10～11月に潟沼において行った植物プランクトン観測の結果、優勢種として報告された珪藻の *Skeletonema* の色素含有量は10.0 (mg-色素量/g-乾燥重量)であり(元田, 1975)、これが今回の試算結果と近似していることから、この試算の妥当性が確認できた。以上を踏まえると、期間1に捕集されたPOCのほとんどは、植物プランクトンに由来している可能性が高いといえる。

期間1の試算で得られた9 (mg-色素量/g-乾燥重量)

と実測の植物色素量を用いて、期間2-1、2-2、2-3の懸濁物質中に占める植物プランクトン量を算出すると、各期間、上下層ともに4~6%前後を推移する結果が得られた。つまり、植物プランクトンの寄与率は成層期で混合期の約1/3に減少する結果となった。この要因として、水温が低下したことによる植物プランクトンの存在量が低下したことが予想される。また、プランクトンやその遺骸など有機微細粒子は比重が海水に近く沈降速度が小さいため(細川ら, 1988)、図-3に示したように、この期間では塩分濃度が上昇していたことから、植物プランクトンは沈降しにくくなった可能性も考えられる。

次に、植物プランクトンの寄与が低下したとされる期間2-1、2-2、2-3におけるPOCの由来を、浮泥の巻き上げに着目して検討した。

期間2-1、2-2、2-3は、流況が比較的穏やかに推移した期間であった。このように流れが弱いとき、浅い湖沼では底泥の表面に風波による水平往復流が作用して、含水率の高い浮泥層が恒常的に形成されることが明らかにされている(湖沼技術研究会, 2007)。浮泥の成分は、プランクトンの遺骸、流入汚濁、糞粒、有機物に付着したバクテリアなどからなる湖底に蓄積された有機物であり、比重が小さく巻き上がりやすいという性質を持つ。これらの事実から、成層期に捕集された懸濁物質が巻き上がった浮泥を含むと仮定した。

期間2-1は、懸濁物質の沈降フラックスは格段に小さいが(図-4)、POCおよびPONの割合が非常に大きいという特徴がある(表-2)。これは、浮泥層が形成されたものの巻き上がりは少量に止まった期間と考えられる。つまり、期間2-1中の流速は大きな巻き上げを起こす程度には至っていなかったと推測された。また、下層に比べ上層で有機成分の比率が大きいのは、有機微細粒子がより高く巻き上がって上層に運ばれ、下層には比較的重い無機成分が残されたためではないかと考えられた。

期間2-2、2-3は、期間2-1と比較して、下層の懸濁物質の沈降フラックスが倍増し(図-4)、有機成分の比率は減少したものの、依然として期間1より高い濃度を保っていた(表-2)。これらの期間は、期間2-1に比べて大きな流速を観測した頻度が高く、これが浮泥の巻き上げ量を増大させたと推測される。また、期間2-1から有機成分の比率が減少した要因としては、浮泥に加え底質も巻き上げられたことが考えられる。底質は浮泥と比べて有機成分が少なく巻き上げも起こりにくい、流速の程度によっては巻き上がる可能性も十分にある。

浮泥が巻き上がる流速を調べた実験例として、日比野ら(2006)によるものがある。この実験では、海底形状が平坦な場合には底面流速が6.0cm/sを超えると底面から浮泥が巻き上がり、8.2cm/sで巻き上げ量が増大すること

が確認された。このように、浮泥が巻き上がるために必要な流速が存在すると考えられる。また、底質をも巻き上げる流速はそれ以上であることが推測される。今回の実験結果からは、期間2-1の流速が浮泥を巻き上げる程度であり、期間2-2、2-3の流速では巻き上げ量の増大、もしくは底質をも巻き上げる程度に至っていたと考えられた。この考察をもとに、実測の流速と日比野らの実験結果と照合してみると、ある程度の整合性を見ることができた。

以上より、懸濁物質の挙動は流速によって左右されると考えられるが、前述のように流速の決定要因には風速の影響が大きい。そのメカニズムとしては、まず、成層化によって風のエネルギーが底層水に伝わりにくくなり、浮泥層が形成される。ところが、ある程度の強風は流速の増大を招き、浮泥さらには底質を巻き上げることが考えられた。

4. おわりに

茨城県湖沼において、水深の違う2層でのセジメントトラップを用いた沈降フラックスの現地観測を行った。また同時に、水温、溶存酸素、塩分、流速、濁度の連続観測を行った。これらの結果から懸濁物質の挙動を推測し、以下のようにまとめた。

沈降フラックスは上層よりも下層で大きくなる傾向があり、その組成は湖水状態によって次のように決定されると考えられた。塩分侵入が少なく、湖水が成層化していないとき、懸濁物質の組成は植物プランクトンのそれに近くなった。仮に懸濁物質中の有機炭素の全量を植物プランクトンのものとする、湖沼において植物プランクトンが懸濁物質に占める割合は17%程度と推定された。

塩分侵入により密度成層ができると、懸濁物質の有機物含有量は混合期と比較して大きくなった。これは植物プランクトンの沈降速度が弱まったことに加え、底層の流速が弱まり湖底上に浮泥層が形成されたことによるものと推測された。これにより比較的弱い流速のときでも有機成分の多い浮泥が湖水中に巻き上がり懸濁物質中の有機物含有量が増加すると考えられた。また、流速がある一定以上になると底質までも巻き上げるため、懸濁物質の有機成分は若干減少すると考えられた。

参 考 文 献

- 茨城県霞ヶ浦環境科学センター(2005):茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報, 第1号, pp. 48-49.
- 湖沼技術研究会(2007):湖沼における水理・水質管理の技術. 西條八束, 三田村緒佐武(1995):新編湖沼調査法, 講談社サイエンティフィク.
- 佐々倉諭, 日比野忠史, 高御堂良治, 村上和男, 松本英雄(2005):広島湾奥域における有機懸濁物質の沈降特性, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 911-915.

- 佐藤敦久 (1987) : 水環境工学—浮遊物質からみた環境保全—, 技報堂出版.
- 日本水道協会 (2001) : 上水試験方法・解説 (2001 年版), 日本水道協会.
- 角皆静男 (1981) : セジメントトラップと粒子沈降のメカニズム, 日本水産資源保護協会.
- 信岡尚道, 鈴木 学, 長谷川慎一, 三村信男, 鯉渕幸生, 須能紀之 (2005) : 塩分浸入に着目した潤沼の環境解析, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 881-885.
- 日比野忠史, 松本英雄 (2006) : 広島湾に分布する浮泥の特性と季節的な性状, 土木学会論文集B, Vol.62, No.4, pp. 348-359.
- 細川恭史, 三好英一, 関根好幸, 堀江 毅 (1988) : 内湾における有機微細粒子の沈降速度の実測, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 372-376.
- 元田茂編 (1975) : 海洋プランクトン, 東海大学出版会.
-