

# 霞ヶ浦の底泥表層の巻上げ時における栄養塩類の溶出特性

久岡夏樹\* 中菌孝裕\*\* 阿部千雅\*\*\* 鈴木 穰\*\*\*\* 南山瑞彦\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年の霞ヶ浦の底泥表層付近は一般的に浮泥と呼ばれる微細な粒子の層であり、風が吹いて湖水が流動すると浅い湖沼特有の巻上げが発生する。底泥が巻き上がることによる濁度の増加と、それによる底泥からの栄養塩類の溶出が問題となっており、水質悪化の要因として懸念されている<sup>1~3)</sup>。湖沼内における底泥の巻上げに関する研究<sup>4~7)</sup>が実施されているが、現場での計測に基づくものであり、制御された実験において栄養塩類の溶出特性については検討されていない。

このため本研究では、霞ヶ浦西浦の底泥を用いて、底泥巻上げ時の栄養塩類の溶出について詳細な挙動の確認を行い、その特性を評価した。

## 2. 実験方法

### 2.1 現地観測および試料採取

霞ヶ浦西浦の湖心(図-1)において、11月に多項目水質計(U-22DX、HORIBA製)を用い、底泥直上水の水温、DO、pHを測定するとともに、試料を採取した。

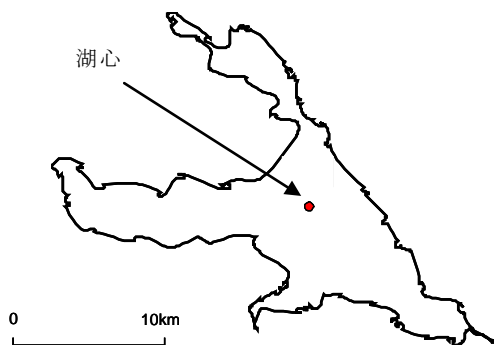


図-1 調査対象地点(霞ヶ浦西浦湖心)

底泥は、船上より不攪乱柱状採泥器(離合社製)を用い、アクリル製円筒(内径10cm又は4cm×高さ50cm)内にコア試料として泥厚が30cm上になるよう複数本採取した(写真-1)。採取した底泥試料は、低温に保ち底泥表面を攪乱し

ないように実験室に運搬した。なお、採取した底泥試料の一部を、表層:底泥表面から0-10cm、中層:10-20cm、下層:20-30cmに切り分けた後、遠心分離により間隙水を採取した。

また、底泥溶出試験に用いる底泥直上水(湖底から約50cm上の水)を、ポリタンクに採取した(写真-1)。

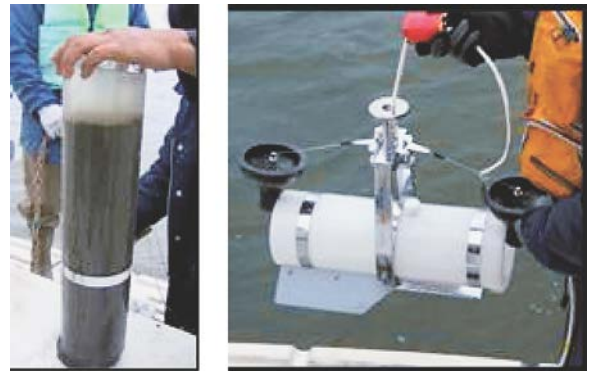


写真-1 試料採取(左:コア試料、右:底泥直上水)

### 2.2 水質および底質分析

採水した直上水および間隙水の試料は孔径1.0μmによるろ過を行った後、栄養塩自動分析装置にてアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、オルトリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の濃度を測定した。また、全有機体炭素計(TOC5000型:島津製作所社製)にて溶存態有機物(DOC)の測定を行った。

### 2.3 底泥溶出実験

採取した湖心の底泥を用いて、底泥を巻上げた場合の溶出実験を嫌気および好気条件下で行うとともに、比較として静置溶出実験(攪拌無し)を行った。実験期間は15日間とした。

#### 2.3.1 実験準備

コア試料(図-2)の上層水を排除した後、底泥の厚さを15cm程度にあわせ、予め1.0μmのGF/Bろ

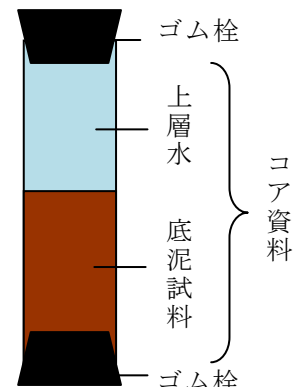


図-2 採取したコア試料

紙（ワットマン社製）でろ過した底泥直上水を、底泥表面を乱さないよう底泥上30cmまでサイホンにて注入した。注入した直上水にAir曝気を行った好気条件（DO:8 mg/L以上）と、N<sub>2</sub>曝気を行った嫌気条件（DO:1 mg/L以下）のコア試料を、20℃の恒温室（暗条件）に複数本準備した。

### 2.3.2 静置溶出実験

実験準備を行ったコア試料（好気条件と嫌気条件）を15日間静置し、直上水の栄養塩濃度の経時変化を観測した。実験期間中の直上水のサンプリングは、1~2日に1回行った。

### 2.3.3 間欠強制巻上げ溶出実験

底泥を強制的かつ間欠に巻上げ、それによる底泥からの溶出を観測した（以降、間欠巻上げ実験という）。実験期間日中に2回（8、15日目）、底泥表面から3cm上まで平板プロペラを静かに下げ、初期は緩やかな撹拌速度（5回/分）で2分間プロペラを回転させ底泥層を崩した。その後すぐ3枚羽のプロペラに交換し、底泥表面から10cm上で、撹拌速度200回/分で9分間巻上げを行った後、撹拌を停止した（図-3）。実験期間中の直上水のサンプリング頻度は、通常の1~2日の1回に加えて、巻上げ直後には多くした。

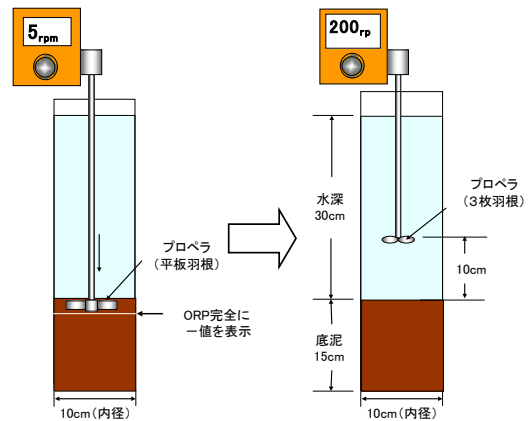


図-3 間欠強制巻上げ実験

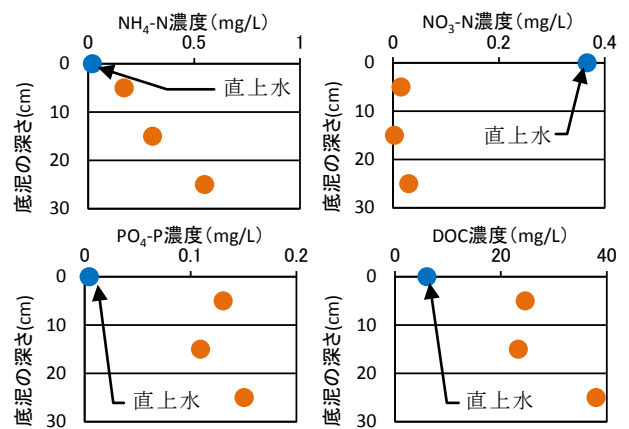


図-4 底泥直上水と間隙水中の濃度分布

## 3. 結果および考察

### 3.1 現地水質と実験供試底泥の性状

試料採取時における湖心の水深は6m、水温は11.4℃、DOは6.9mg/L、pHは8.1であった。

採取した底泥鉛直方向における底泥間隙水中のNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-PおよびDOCを図-4に示す。なお、現地底泥直上水中（底泥表面より50cm付近）の濃度も併せて図-4上の深度0cmの位置に示した。

NH<sub>4</sub>-N濃度は、直上水が0.02 mg/Lであるのに対し、底泥表層の間隙水中に0.17mg/Lほど含まれており、底泥間隙水内の蓄積が多いことが分かった。これとは逆に、NO<sub>3</sub>-N濃度は、直上水0.37mg/Lに対して、底泥表層間隙水0.02mg/Lであった。これは、好気状態で酸化態となった窒素が、直上水から底泥中へ拡散するとともに、底泥中で脱窒されているものと考えられる。PO<sub>4</sub>-P濃度については、直上水0.004mg/Lに対して、底泥表層間隙水0.13mg/Lであり、底泥間隙水内の蓄積が多いことが分かった。DOC濃度は、直上

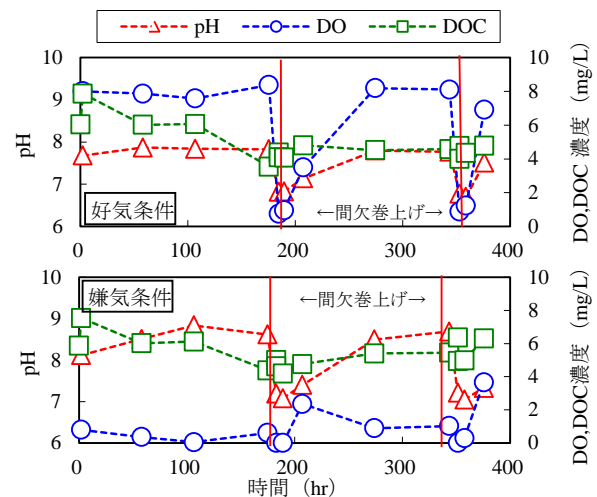


図-5 実験中のpH、DO、DOCの経時変化（上段：好気条件、下段：嫌気条件）

水濃度が6.0mg/Lに対し、底泥間隙水の濃度は24.6mg/Lであった。間隙水の測定結果から、仮に巻き上げが生じた場合、水中への栄養塩類の回帰が起こりやすい状態であることが分かった。

### 3.2 底泥溶出特性

#### 3.2.1 底泥巻上げ時の水質の変化

間欠巻上げ実験中の、pH、DO、DOCの経時変化を図-5に示す。

実験中のpHは、好気条件下において7.7から6.8付近まで、また嫌気条件下においては8.6から7.2付近まで低下した。これは、底泥のpHが採泥時で6.8程度と直上水と比較して低く、巻上げによって直上水のpHに影響を与えたと考えられる。巻上げ後9日目には元のpHに回復した。DO濃度は、好気条件下において8mg/Lが瞬時に0付近まで減少した。これは、嫌気状態の底泥が直上水と混合され、化学的反応による急激なDOの消費が起こったためと考えられる。DOCに関しては、顕著な変化は見られなかった。

### 3.2.2 底泥巻上げ方法とN、Pの溶出特性

間欠巻上げ実験と静置実験の、好気条件と嫌気条件における栄養塩類(NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P)濃度の経時変化をそれぞれ図-6、図-7に示す。

好気条件における間欠巻上げ実験の溶出NH<sub>4</sub>-N濃度は、静置実験に比べ、顕著に高い値を示した。一方、PO<sub>4</sub>-P濃度に関しては、間欠巻上げ実験と静置実験の間に顕著な差はなく、底泥が高濃度で巻き上がった場合でも、直上水が予め好気状態であれば、リンの溶出が抑制されることが明らかとなった。これは、巻き上げられた土粒子や金属水酸化物などにPO<sub>4</sub>-Pが吸着されたことにより、溶出が抑えられているものと考えられる<sup>8)</sup>。

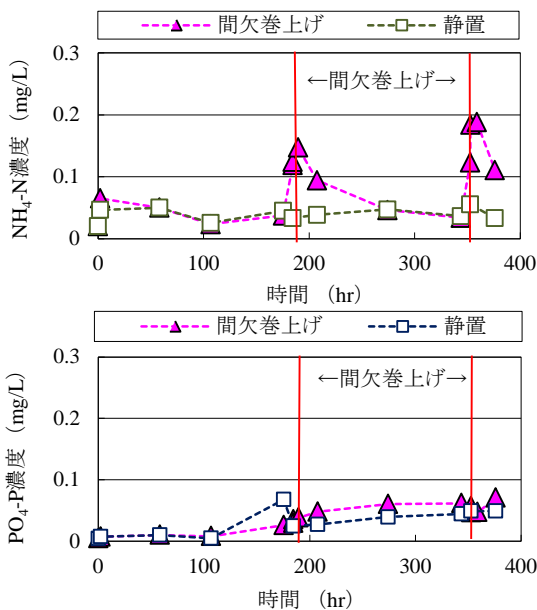


図-6 好気条件下における栄養塩類濃度の経時変化

嫌気条件においても、間欠巻上げ時の溶出NH<sub>4</sub>-N濃度は、静置実験に比べて顕著に高く、好気条件と同様に、数日後に濃度レベルが低下した。なお、静置実験の後半においてNH<sub>4</sub>-N濃度

が高い値を示したのは、底泥下層の嫌気層に溜まったガス泡が噴出し、直上水中にNH<sub>4</sub>-Nを放出したことが原因と考えられる。

PO<sub>4</sub>-P濃度の経時の上昇は、好気条件に比べて、3倍程度の大きさであったが、間欠巻上げ実験と静置実験の間に顕著な差は見られなかった。むしろ、間欠巻上げを行った直後にはPO<sub>4</sub>-P濃度が低下する傾向も見られた。

底泥間隙水の分析結果と底泥巻上げ実験の結果から、NH<sub>4</sub>-N濃度は、底泥間隙水中の濃度が直上水と比較して高いこと、底泥巻上げ直後に濃度が上昇したことから、底泥の巻上げによる影響が大きいと推察される。また、PO<sub>4</sub>-P濃度については、巻上げによる濃度上昇が小さかったこと、嫌気条件で濃度が大きく上昇したことから、溶存酸素濃度の低下による影響が大きいと推察される。

霞ヶ浦の底泥については、風浪等により巻上げが生じているが、巻上げにより溶出速度が増加するものは、NH<sub>4</sub>-Nであり、底泥直上水の環境が好氣的に保たれていれば、PO<sub>4</sub>-Pの溶出は抑制されていると考えられる。

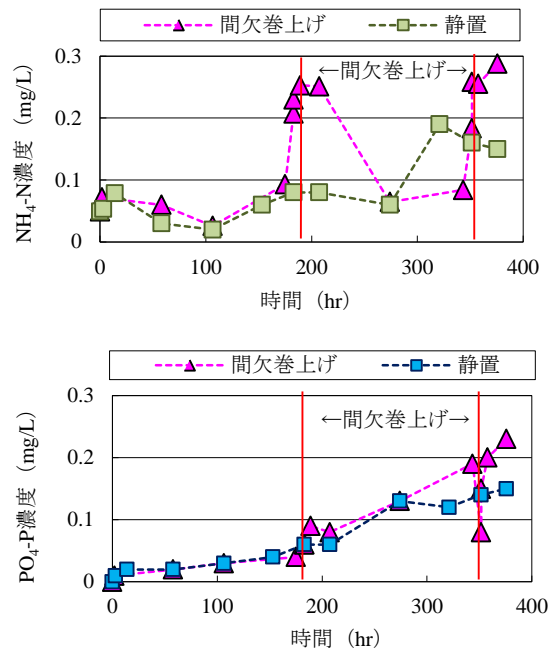


図-7 嫌気条件下における栄養塩類濃度の経時変化

## 4. まとめ

本研究では、霞ヶ浦における水質悪化の要因として懸念されている底泥の巻上げと、底泥からの溶出特性との関係について検討を行い、以下の知見を得た。

