

# アオコが繁茂する閉鎖性水域における底質の季節的な変動特性に関する研究

## A study on the characteristic of seasonal variation of sediment in closed water body with algal blooms

17N3100028F 塚本 健斗 (河川・水文研究室)  
Kento TSUKAMOTO / River Engineering and Hydrology Lab.

**Key Words :** Water quality, Sediment, Edo castle outer moats, Characteristics of Spatial Distribution

### 1. はじめに

世界中の湖沼・貯水池等の閉鎖性水域における水質の問題の1つとしてアオコがあり、アオコが問題となる要因として、これらが腐敗時に悪臭を発生させることや、表層に集積したアオコがライトブルーに変色し景観を悪化させること等が挙げられる。そのため、近年においても湖沼・貯水池管理の重要な課題となっている。ラン藻類である*Microcystis*属や*Anabana*属によるアオコは通常、水温が上昇する春以降に増殖し始め、それが夏から秋にかけて水面に集積することにより生じる。水中からの消失期には底泥へ沈降し、休眠細胞として生存し、翌年水中へ回帰することがわかっている<sup>1)</sup>。アオコが繁茂する閉鎖性水域における底泥に関する研究はあまりされていない。そこで本研究では江戸城外濠をフィールドとして底泥の有機物量や泥分率及びCHNS元素分析を用いて季節的な変動特性を把握することによりアオコが繁茂する閉鎖性水域における底泥の動態を明らかにし、アオコの季節的な変動を考慮した対策を提案することが目的である。

### 2. 方法

#### 2-1 対象湖沼

江戸城外濠(以下、外濠とする)は降雨時に生下水が流入することや有機汚泥の堆積などにより水質が悪く、アオコによる景観阻害、および悪臭に毎年悩まされている湖沼である。そのため、都市部の貴重なオープンスペースであるにも関わらず、十分に利用されていない。本研究ではアオコの動態を把握するために、面的に水質および底泥の栄養塩や汚濁物質の堆積状況を計測した。加えて底泥の性質を把握するために外濠の底泥を用いた室内実験を行った。また外濠は上流から市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠と流れており(以下、上流からA濠、B濠、C濠とする)、下水集水域の大きさの違いや地下水の流入、流下の影響等により各濠の底泥の特徴が異なるため各濠の傾向を把握する必要がある。効果的な水質改善対策を提案するためには、降雨時における濠への下水未処理水の影響を知る事は最重要である。加えて、堆積物による局所的な影響を調査するために、

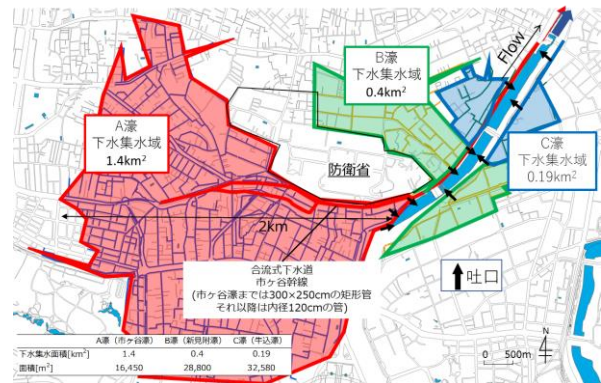


図-1 江戸城外濠の下水集水域の特性  
A濠、B濠、C濠の順に下水集水域が大きい。

表-2 水質と底泥の測定項目

	水質	底泥
現地分析	pH, EC, 水温, DO, 濁度	pH, ORP
室内分析	TN, TP, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, COD, PO <sub>4</sub> -P, Chl-a, Phycocyanin	泥分率, 強熱減量, 酸素消費実験, 栄養塩溶出実験, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, COD, PO <sub>4</sub> -P, CHNS, n-ヘキサン抽出物質

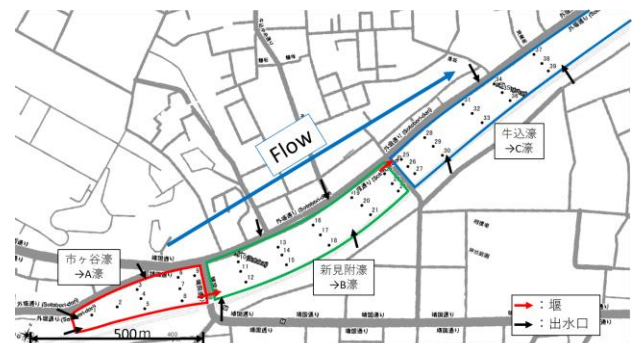


図-3 測定地点

流下方向に100mおき、横断方向に20m間隔の計39地点流入した汚濁物質の堆積状況を知る必要がある。外濠の下水集水域の特性を図-1に示す。

#### 2-2 調査概要

夏季(7月)、秋季(10月)及び冬季(3月)に外濠の水質及び、底泥の空間分布特性を把握するため、流下方向に100mおき、横断方向に20m間隔の計39地点(A濠 9地点、B濠 15地点、C濠 15地点)で採水と採泥を行った。観測日は降雨の影響がない日を選定するため前三日に降雨が無いことを条件とした。測定項目及び測定地点を表-2及

び図-3に示す。また、外濠の水源は越流水によるものが大きな割合を占めるため下水集水域の影響が大きい。その影響を考慮するために2019年台風24号(2019/9/28-10/3)の際にセジメントトラップを設置することで新たに堆積する底泥の把握を行った。

### 3. 底泥の性状評価

#### 3-1 室内実験を用いた外濠における底泥の評価

外濠の底泥の性状を定量的に評価するため、不攪乱試料(コアサンプル)を用いて栄養塩溶出実験を行った。外濠は最大水深が3m程度の浅い湖沼であるが、夏季には底層の溶存酸素が少なくなり、嫌気性となることから、本研究では最も悪条件を想定し嫌気性条件で栄養塩溶出実験を行った。また、他の湖沼と比較を行うため、実験条件は底質浄化マニュアルに準拠して行った。結果を図-4に示す。底泥からの栄養塩の溶出速度は他の湖沼よりも早く、アンモニア態窒素、リン酸態リン共に高い値を示した。この結果から外濠が富栄養となっている要因として、底泥が大きな割合を占めていることが推察される。そのため、アオコを効果的に除去するためには、底泥に対策を施す必要があるといえる。また、冬季と秋季の栄養塩溶出速度に6%程度の差であったため、季節毎に底泥の性状に起因する溶出量はあまり変化しないため、外濠において栄養塩の溶出量は水温に依存するものと推察できる。

#### 3-2 有機物量と粘土・シルト分の割合

既往の研究から底泥に含まれる粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の粒子である粘土・シルト分(以下、粘土・シルト分とする)の割合が多いとIL600(総有機物量)が多いとされている。これは粘土・シルト分には有機物を吸着しやすい性質を持つためである。外濠の底泥の粘土・シルト分の相関を図-5に示す。外濠の底泥は粘土・シルト分の割合が多い。また、総有機物量との相関関係が強いため外濠の底泥はに含まれる有機物はほとんど粘土・シルト分の堆積量に依存していると推察できる。この粘土・シルト分を河川で一般的に用いられる浸食、運搬、堆積と流速の関係であるユルストローム図に当てはめると流速が遅くても沈降はしにくい、一度沈降すると流下させるために $70\text{cm/s}$ 以上の流速が必要のため、沈降した粘土・シルト分を取り除くためには浚渫等で直接底泥を取り除く必要があると推察できる。また、冬季はアオコの休眠細胞が最も多い時期であり<sup>1)</sup>、外濠の優占種である*Microcystis*属の粒径はシルト・粘土分に含まれるため、IL600とIL375の間に揮発する有機物である腐植性有機物(フミン酸、フルボ酸、ヒューミン)との相関が高いため冬季の傾きが大きくなったことが推察される。

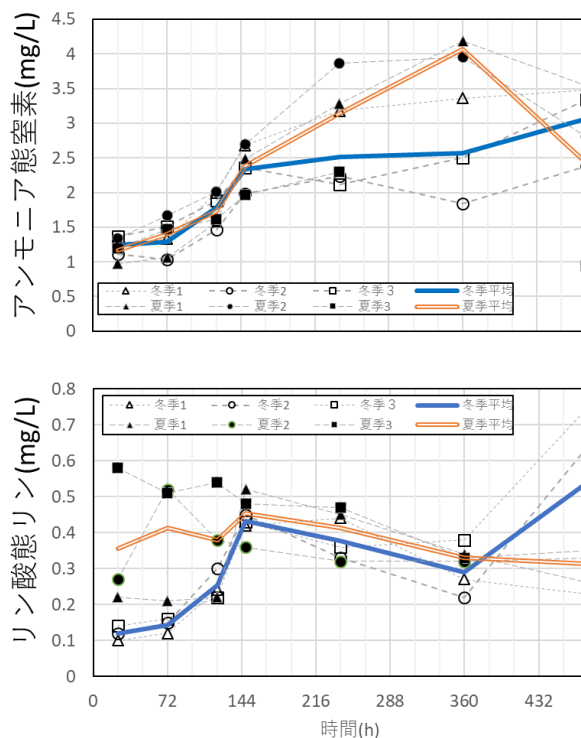


図4 栄養塩溶出実験

栄養塩の溶出速度は他の湖沼と比較して、比較的高い値を示しているため、水中の栄養塩(TN,TP)が高い理由は底泥によるものだと考えられる。

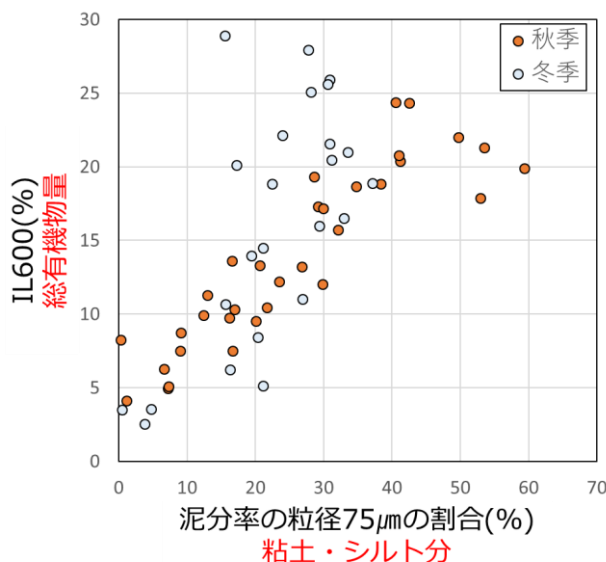


図-5 粘土・シルト分と総有機物量の相関

粘土・シルト分と総有機物量の相関が強いため、堆積している底泥に含まれる有機物はほとんど粘土・シルト分の量に依存していると推察できる。

#### 4. 底泥の季節的な変動特性

##### 4.1 強熱減量を用いた有機物の割合の評価

既往の研究から底泥は不安定な有機物と比較的安定な有機物である腐植性有機物に区分される。不安定な有機物に区分される脂肪酸、ペプチド、セルロース等は下水に多量に含まれ、250-350℃で最も燃焼する。また、比較的安定な有機物である腐植性有機物であるフルボ酸及び、フミン酸が370-390℃、ヒューミンが530-540℃で最も燃焼する<sup>23)</sup>。そのためIL300を不安定な有機物、IL600を腐植性有機物として評価した。比較泥として未処理下水が堆積した福山内港の底泥(福山泥)のIL比は0.5-0.6の高い値を示しており、一次生産起源の有機物が卓越する海域の底泥(呉泥)のIL比は0.3程度の値をとる<sup>3)</sup>。外濠の夏季、秋季及び冬季の強熱減量の結果とIL300(300℃での燃焼量)/IL600(600℃での燃焼量)を図-6、図-7に示す。図-6より有機物の総量は夏季、冬季、秋季の順に多いことがわかった。また、セジメントトラップに新たに堆積した底泥はIL300の有機物量が多いことから降雨時に越流水として流入した生下水が外濠の底泥に含まれる有機物量を多くしていることが推察できる。加えて、図-7より外濠のIL300/IL600は0.5-0.8程度の値をとることから比較的未処理下水由来の有機物量が多い底泥であることが推察される。

##### 4.2 底泥の表層に含まれるアオコの休眠細胞量

既往の研究によると底泥に含まれるアオコの休眠細胞を把握するためには細胞数の計数やrDNAによる細胞濃度の計測、濁度とChl-a(植物プランクトンの指標)の相関関係等の手法が用いられてきた<sup>6)7)8)</sup>。本研究では経験に依存せず、簡易的にアオコの休眠細胞を把握するために濁度とChl-aの相関関係を用いて底泥に含まれるアオコの休眠細胞の傾向について調査を行った。濁度とChl-aの計測には多項目水質計を用い、濁度が急激に上昇した水深を底泥の表層と定義し、その水深の相関関係によってアオコの吸引細胞に関する底泥の季節変動を定性的に調査した。結果を図-8に示す。傾きが単位当たりの懸濁態に含まれるChl-aがアオコの濃度を表している。そのため、傾きが大きい冬季の底泥にアオコの休眠細胞が多く含まれており、秋季の底泥にはあまりアオコの休眠細胞が存在しないことが推察される。また、水中に含まれるChl-aは秋季に多く、冬季に少ない。冬季は水温は表層水で11.7-15.7℃と低かったためアオコの適正温度ではなく、増殖できなくなったために沈降し、休眠細胞として底泥に堆積したことが考えられる。沈降が始まる水温を明確にするために連続観測を行う事を今後の課題としたい。

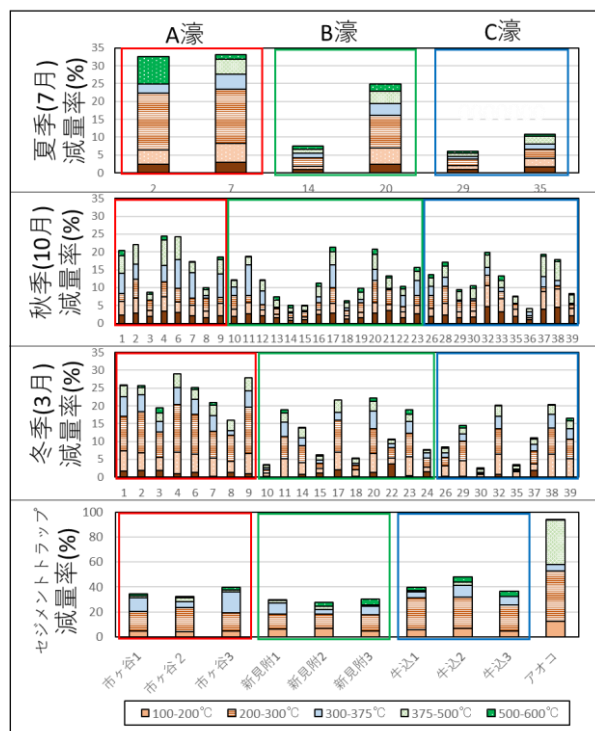


図-6 夏季、秋季及び冬季の強熱減量

夏季、冬季、秋季の順に有機物量が多い。

また、セジメントトラップに堆積した底泥の有機物は、外濠に既に沈降した底泥の有機物量と比較すると多い。

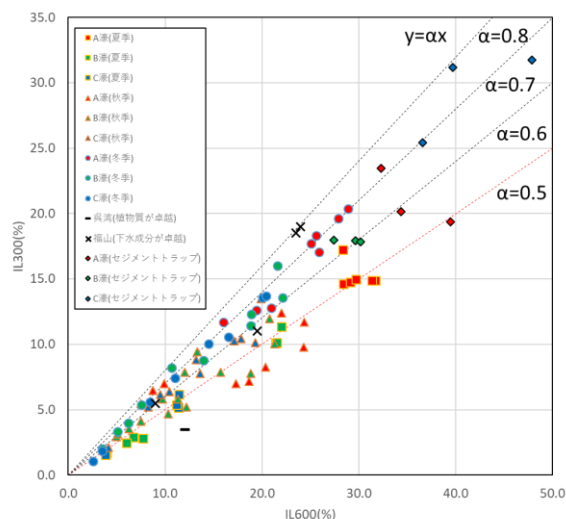


図-7 強熱減量による有機物の評価

夏季、冬季、秋季の順に有機物量が多い。

また、下水由来の底泥の割合が大きく、5-8割の底泥が下水由来であった。また、冬季の底泥の下水由来の割合が最も大きく、6-8割程度であった。



#### 4.2 アオコの休眠細胞の鉛直分布

冬季と秋季のアオコの休眠細胞の鉛直成分を図-9、図-10に示す。冬季の休眠細胞は計測限界である表層から6cmまで濁度とChl-aの相関関係がみられたため、少なくとも表層から6cmにはアオコの休眠細胞が存在していることが推察される。秋季は濁度とChl-aの相関関係が表層から2cmまで確認されたが以深では相関がみられなかったため、アオコの休眠細胞の堆積は2cm程度だと推察できる。

#### 5. まとめ

本研究の主な成果を次に示す。

- (1) 外濠の底泥の溶出速度は他の湖沼と比較すると早く、富栄養化の大きな要因であることが推察された。
- (2) 外濠の底泥に含まれる有機物は粘土・シルト分と強い相関があり、流下によって取り除くことは難しいことを示唆した。
- (3) 外濠の底泥に含まれる有機物の5-8割は下水由来であり、冬季の底泥に下水由来の有機物が最も堆積していた。
- (4) 底泥に含まれるアオコの休眠細胞は冬季に最も堆積していることが推察された。
- (5) アオコの休眠細胞は冬季に少なくとも6cm、秋季に2cm程度堆積していることが推察された。

#### 参考文献

- 1) 長濱 祐美, 中川 圭太, 菅谷 和寿, 富岡 典子, 相崎 守弘: 霞ヶ浦底泥における Microcystis rDNA の分布と季節変動, 水環境学会誌, 40 巻(2017)4 号
- 2) 福井勝吾, 中岡孝行, 中下慎也, 日比野忠史: 有機物の分解過程を考慮した河口域に堆積する有機泥の性状に関する考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 69, NO.4, pp. I\_417-I\_422, 2013.
- 3) TOUCH NARONG, 日比野 忠史: 乾式燃焼法に基づいた堆積泥の有機物形態を評価する手法, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, I\_1417-I\_1422, 2015.
- 4) 日比野忠史, 太刀内絃平, TOUCHNARONG, 中下慎也: 沿岸域に堆積する勇氣泥に含まれる有機物の分類法, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, I\_1101-I\_1105, 2014.
- 5) 底質の調査・試験マニュアル(平成 15 年底質浄化協会)
- 6) 笹田 康子, 岡井 隆, 小養 幸代, 田中さと子, 浅いため池の底質環境, 香川県環境保健センター所報 第 6 号(2007)
- 7) 長濱 裕美, 中川 圭太, 菅谷 和寿, 富岡 典子, 相崎 守弘, 霞が関底泥における Microcystis rDNA の分布と季節変動, 水環境学会誌, 2017 年 40 巻 4 号 p. 183-188
- 8) 辻村 茂雄, 滋賀県琵琶湖研究所, アオコ発生における底泥中の休眠細胞の役割解明とその除去方法

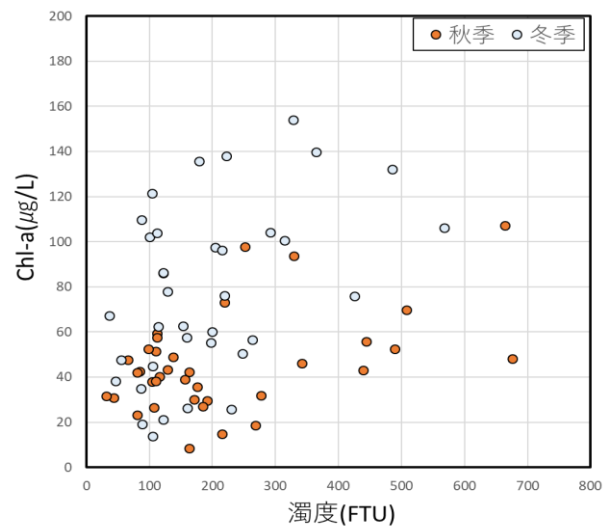


図-8 底泥表層に含まれるアオコの休眠細胞  
冬季に底泥の表層にアオコが多く堆積している。

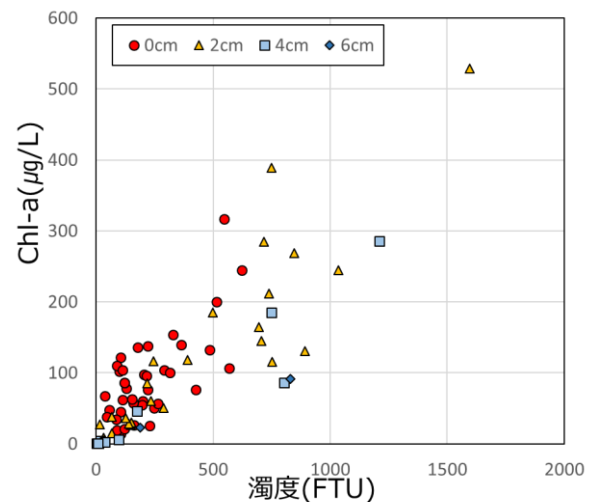


図-9 冬季の底泥に含まれるアオコの休眠細胞  
少なくとも表層から 6cm は休眠細胞が堆積している

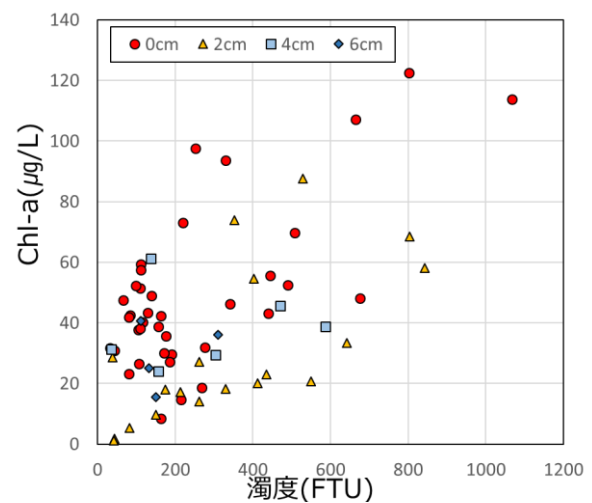


図-10 冬季の底泥に含まれるアオコの休眠細胞  
少なくとも表層から 6cm は休眠細胞が堆積している