

## 江戸城外濠における溶存酸素飽和度の動態に関する研究

中央大学大学院 学生会員 ○柿沼 太貴  
 中央大学理工学部 正会員 銭 潮潮  
 中央大学理工学部 正会員 大平 一典  
 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

### 1. はじめに

国の史跡である江戸城外濠跡<sup>1)</sup>(以下、外濠)は環境省が定めた湖沼における水質環境基準を超えた汚濁状態にあり<sup>2)</sup>、アオコの大発生による悪臭や景観上の問題が生じている。水質悪化の原因として、外濠周辺には合流式下水道が整備されていて、降雨が管渠の処理能力を超えた場合、下水未処理水の放出していることや、水面の落差が少なく滞留時間の長期化や、汚濁物質が流出せずに底泥が堆積することなどがあげられる。加えて、時空間的に詳細な水位、水質データが不足しており、効果的な水質改善対策を行うのが困難な状況である。以上の背景より、本研究では、水中の化学・生物環境を左右し、全体の水質に影響を及ぼす重要な要素である溶存酸素(DO)に着目し、都市部における人工的に造られた閉鎖性水域のDO飽和度の動態を把握することを目的とし、外濠においてDO飽和度、化学的酸素要求量(COD)、水温、クロロフィルa(Chl-a)全窒素(TN)、全リン(TP)、溶存態全窒素(DTN)、溶存態全リン(DTP)を複数地点にて観測を行った。

### 2. 対象地域概要

図-1に外濠および観測地点の位置を示す。外濠は、JR中央線に沿って四ツ谷駅から飯田橋駅にかけて位置し、上流より市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠(以下A, B, C濠)とつながり、神田川へと流入している。表-1にそれぞれの濠の面積、平均水深、下水集水域面積を示す。外濠への下水道等の流入口は目視と文献<sup>3)</sup>により18ヶ所確認できる。その内の計10ヶ所は合流式下水道の吐き口であった。その他の8ヶ所の水の吐き口の詳細は不明である。

### 3. 観測方法

#### (1) 定期観測

水中の化学・生物環境を左右し、全体の水質に影響を及ぼす重要な要素であるDOに着目し、DO飽和度の動態を把握することを目的に、A濠を対象として図-1に示す観測地点において、2013年9月から2014年10月にかけてDO飽和度とCODの一週間毎の定期観測を行った。DO飽和度、CODは共に鉛直方向水面から10cm(以下、水面近傍)と底面から10cmの地点(以下、底面近傍)にて採水および測定を行った。



図-1 外濠(市ヶ谷濠～牛込濠)の集水域図および観測地点の位置図。

表-1 外濠の面積、平均水深、下水集水域面積。

	A:市ヶ谷濠	B:新見附濠	C:牛込濠
面積[m <sup>2</sup> ]	17000	28800	39000
平均水深[m]	1.5	1.1	1.0
下水集水域面積[km <sup>2</sup> ]	1.4	0.4	0.19

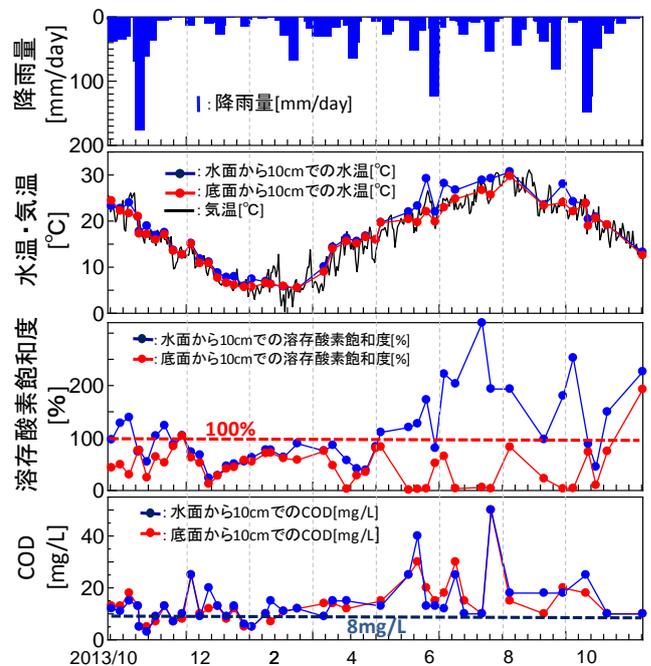


図-2 市ヶ谷濠(A濠)における降雨量、水温、気温、溶存酸素飽和度、COD、の時系列(2013年10月～2014年11月)。

キーワード 江戸城外濠、溶存酸素飽和度、現地観測

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科河川水文研究室

TEL: 03-3817-1805 E-mail:kakinuma@civil.chuo-u.ac.jp

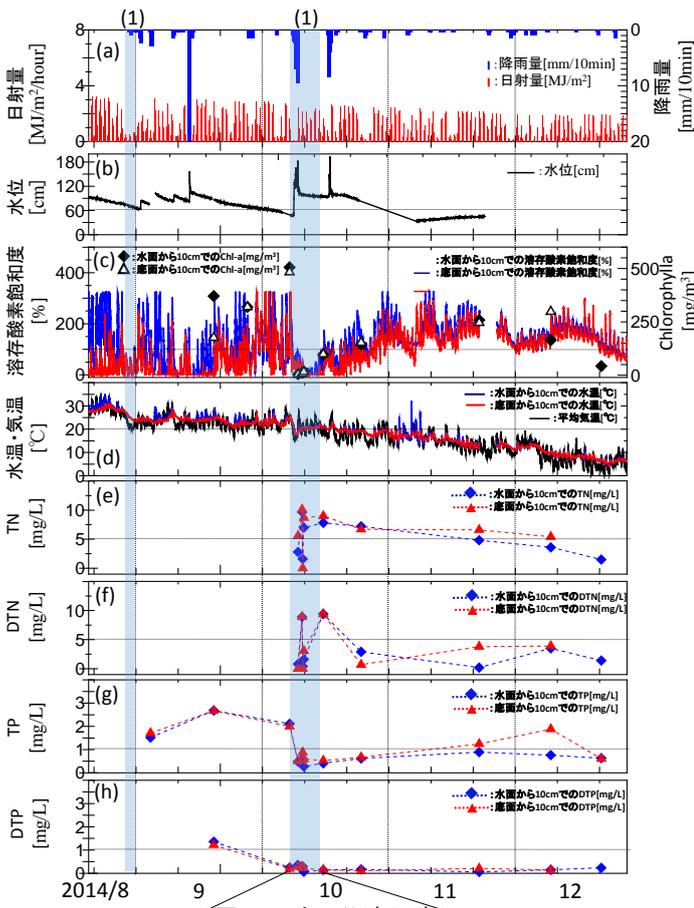


図-3a 市ヶ谷濠(A濠)

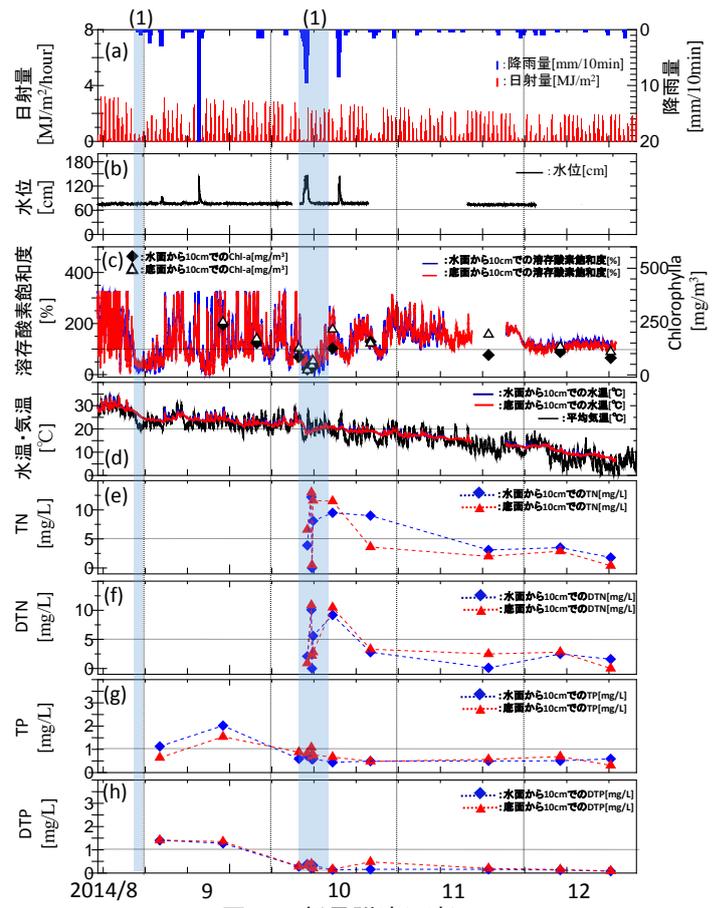


図-3b 新見附濠(B濠)

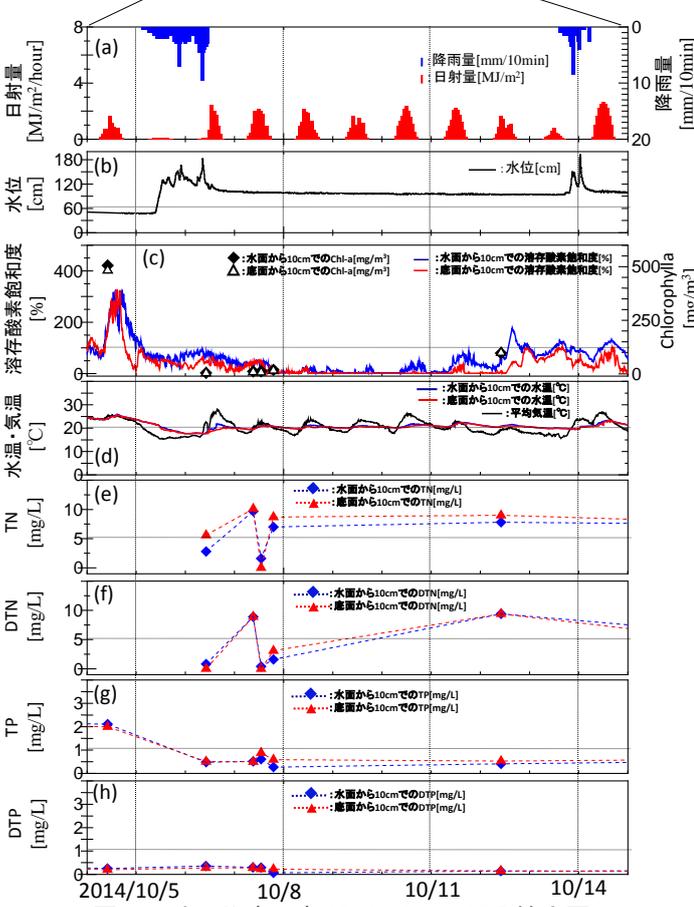


図-3d 市ヶ谷濠(A濠)2014/10/4~15の拡大図

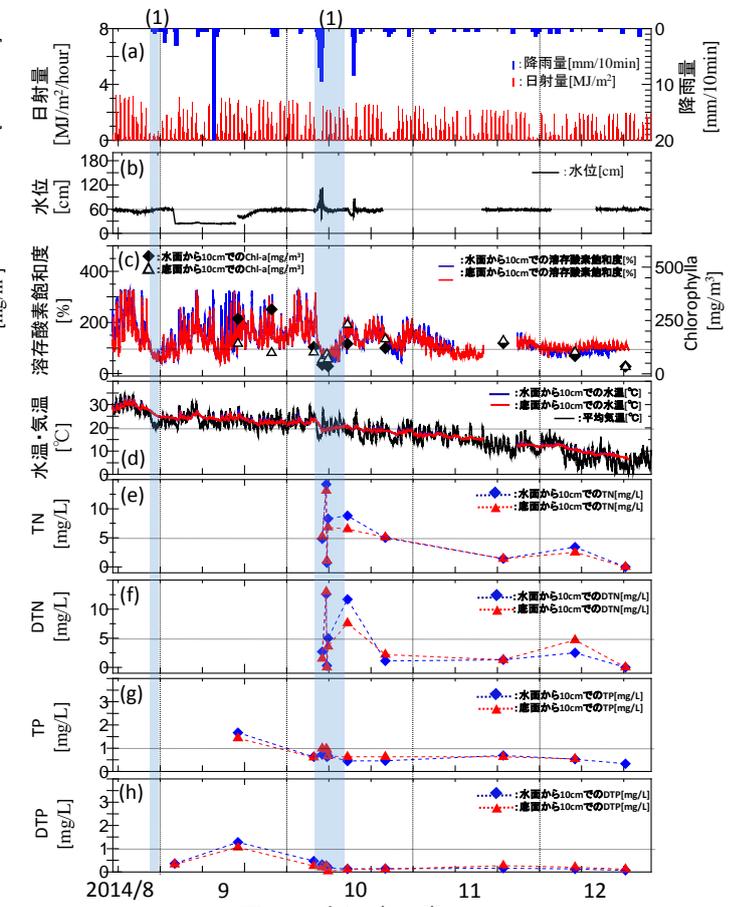


図-3c 牛込濠(C濠)

図-3 各濠における降雨量，日射量，水位，溶存酸素飽和度，Chl-a，水温，気温，TN，DTN，TP，DTPの時系列(2014年8月15日~12月17日)。

## (2) 定点連続観測

それぞれの濠において、図-1 に示す地点に水面近傍と底面近傍に鉛直方向 2 地点に DO 計 (D-Opto Logger, ZEBRA-TECH LTD) を設置し 2014 年 8 月 17 日から 12 月 23 日まで 5 分ごとに DO 飽和度、水温を計測した。また、DO 計と同地点に水位計 (ダイバー式水位計, DAIKI) を設置し同期間に 1 分ごとに水位を計測した。

## (3) 採水方法および分析方法

観測は、2013 年 10 月から 2014 年 12 月の間、10:00 に採水を行った。また、降雨による DO 飽和度の影響を知るために 2014 年 10 月 6 日に 9:00, 13:00, 19:00 の採水を行った。試水として DO 計設置地点においてハイロート採水器を用いて水面近傍・底面近傍で採取した。TN と TP 濃度は吸光光度計 (DR3900, TOA DKK) を用いて分析し、DTN と DTP 濃度は試水をメンブレンフィルターによりろ過を行い、ろ液を吸光光度計により分析した。Chl-a 濃度はエタノール抽出法により分析した。気温、降雨量、日射量は気象庁 (東京地点) のデータを用いた。

## 4. 観測結果

図-2 はそれぞれ降雨量 [mm/day], 水温 [°C], 気温 [°C], DO 飽和度 [%], COD [mg/L] の 2013 年 9 月から 2014 年 10 月までの時系列データを示す。図-3a, b, c, d はそれぞれ降雨量 [mm/10min] 日射量 [MJ/m<sup>2</sup>/hour], 水位 [cm], 溶存酸素飽和度 [%], Chl-a [mg/m<sup>3</sup>], 水温 [°C], 気温 [°C], TN [mg/L], DTN [mg/L], TP [mg/L], DTP [mg/L] の 2014 年 8 月 17 日から 12 月 23 日までの時系列データを示す。図-2d は A 濠における降雨時の 2014 年 10 月 4 日から 10 月 15 日の 12 日間を拡大した時系列データを示す。

### (1) 定期観測

図-2 の DO 飽和度より定期観測中、水面近傍の DO 飽和度は 100% (赤点線) を超える過飽和を多く示した。また、春季 (5 月) から冬季 (10 月) の期間中、水面近傍では 100% 以上の過飽和値を示し、底面近傍では貧酸素状態に近い値を示し差が大きいことが分かる。以上の結果より、春季 (5 月) から冬季 (10 月) の期間中の底面近傍水生生物が生息するのに困難な低い値であることが分かった。図-2 の COD より 2013 年 9 月 - 2014 年 10 月にかけて、計 42 回の観測中 36 回が、水面近傍と底面近傍共に環境省が定める環境基準 (青点線) を超える水生生物が生息するのに困難な値を示した。特に夏季に大きく上昇する傾向がみ

られた。以上の結果より、外濠は常に汚濁状態であることが分かる。

## (2) 定点連続観測

図-3 a, b, c より 2014 年 8 月から 10 月の A 濠を除く期間は水面近傍、底面近傍共に飽和値を超える過飽和を示した。また、すべての濠において 2014 年 8 月から 10 月の DO 飽和度は大きな日変動があることが分り、特に A 濠においては水面近傍では貧酸素に近い状態から過飽和の状態に大きく日変動し、底面近傍では貧酸素の値を多く示した。観測期間全体をみると、すべての濠において冬季 (10 月から 12 月) に増加傾向であることが分かる。図-3 a, b, c, d (1) の期間、すべての濠において水面近傍、底面近傍共に DO 飽和度、日射量、水温が減少し同じ挙動を示した。

## (3) 室内分析

図-3 a, b, c, d (c) より Chl-a 濃度はすべての濠において 11 回中 7 回が 100 [mg/m<sup>3</sup>] を超す高い値を示した。特に A 濠において、平水時 (2014 年 10 月 7 日) に 500 [mg/m<sup>3</sup>] を超す非常に高い値を示した。また、DO 飽和度と同じ挙動を示した。図-3 a, b, c, d (e) (g) より TN 濃度および TP 濃度共に環境省が定める湖沼の環境基準 (TN:1mg/L, TP:0.1mg/L) を超す高い値を示した。また、A 濠の底面近傍の TP 濃度を除く TN 濃度、TP 濃度は秋季から冬季 (2014 年 10 月から 12 月) にかけて、減少傾向であることが分かる。図-3 a, b, c, d (e) (f) (g) (h) よりすべての濠において DTN 濃度と TN 濃度を比較すると、値が近いことから溶存態の窒素が多いことが分かる。また、DTP 濃度と TP 濃度を比較すると、TP 濃度のうち懸濁態のリンが多いことが分かる。

## (4) 降雨時観測

図-3d (a) (b) (c) より降雨時における水位上昇時に DO 飽和度が 300 [%] から 0 [%] まで減少し、約 6 日間水面近傍、底面近傍共に貧酸素の状態を示した。また、Chl-a 濃度も DO 飽和度の減少に伴い、400 [mg/m<sup>3</sup>] から 40 [mg/m<sup>3</sup>] まで減少した。水温も降雨により約 8 [°C] 減少している。図-3d (e) (f) (g) (h) より TN 濃度、DTN 濃度共に 6 [mg/L] 上昇した。TP 濃度は 2 [mg/L] 減少した。DTP 濃度は降雨前後で変動はしていなかった。

## 5. 考察

### (1) 定期観測

春季(5月)から冬季(10月)の期間中、水面近傍では100%以上の過飽和値を示し、底面近傍では貧酸素状態に近い値を示し、差が大きい理由として、この期間に目視でアオコを確認したことから、水面近傍では植物プランクトンによる光合成によって酸素供給が行われ、底面近傍では底泥による化学的酸素消費や水面に浮遊しているアオコによって底面まで光が届かないことによる光合成の減少および動植物プランクトンの呼吸による酸素消費が卓越していると考えられる。また、夏季と冬季で水面近傍と底面近傍でDO飽和度が大きな差を示した要因として夏季と冬季で水温差が約15°Cあることから、冬季は夏季に比べて植物プランクトンの成長速度が低下し、光合成による酸素供給量が減少したためと考えられる。

### (2) 定点連続観測および室内分析

A 濠を除く観測期間中のDO飽和度は水面近傍、底面近傍共に飽和値を超える過飽和を示した。この要因として、すべての濠においてChl-a濃度が高い値を示したことから、定期観測と同様に植物プランクトンによる光合成の酸素供給が大きく影響していると考えられる。TN濃度およびTP濃度共に環境省が定める湖沼の環境基準を越す高い値を示していた要因として、合流式下水道からの下水の未処理水の流入、アオコが大発生することによる有機物濃度の上昇、底泥からの溶出が考えられる。また、TN濃度、TP濃度が秋季から冬季(2014年10月から12月)にかけ、減少傾向である要因として、同期間にChl-a濃度が上昇していることから、植物プランクトンが増殖するために栄養塩を摂取することによる影響が考えられる。また、同期間にDO飽和度が上昇しているため底泥からのDTN、DTPの溶出速度が減少したと考えられる。

### (3) 降雨時観測

水位上昇時にDO飽和度が300[%]から0[%]まで減少し、約6日間水面近傍、底面近傍共に貧酸素の状態を示した要因として、DO飽和度が徐々に減少し、TN濃度が上昇したことから、アンモニア態窒素の硝化による酸素消費が考えられる。また、同期間に日射量、水温も減少していることから、植物プランクトンによる酸素供給量が減少し、動植物プランクトンの呼吸による酸素消費や外濠への下水流入時に底泥が

巻き上げられることによる、化学的酸素消費の影響が大きいと考えられる。10月12日の観測時にDO飽和度が上昇し始めた時に、Chl-a濃度も上昇し始めたことから、DO飽和度は植物プランクトンによる影響が大きいと考えられる。

## 6. まとめ

本論文は水中の化学・生物環境を左右し、全体の水質に影響を及ぼす重要な要素である溶存酸素(DO)に着目し、都市部における人工的に造られた閉鎖性水域のDO飽和度の動態を把握することを目的とし、外濠においてDO濃度とCODの一週間毎の定期現地観測、DO飽和度、COD、水温、Chl-a、TN、TP、DTN、DTPの連続観測、降雨時のDO飽和度の挙動に関する現地観測結果をまとめたものである。得られた知見を以下に示す。

- 1) 外濠の溶存酸素飽和度は春季(5月)から冬季(10月)の期間中、底面近傍は水生生物が生息するのに困難な低い値であり、水生生物が生息改善対策を行う必要があることが分かった。
- 2) 観測期間中CODは42回の観測中36回が、水面近傍と底面近傍共に環境省が定める環境基準を超える水生生物が生息するのに困難な値を示すことが分かった。
- 3) 夏季から冬季にかけてA濠を除く地点において水面近傍、底面近傍共に飽和値を超える過飽和を示した。また、すべての濠においてDO飽和度は大きな日変動があることが分り、特にA濠においては水面近傍では貧酸素に近い状態から過飽和の状態に大きく日変動し、すべての濠において冬季に増加傾向である。
- 4) Chl-a濃度はすべての濠において高い値を示した。特にA濠において、平水時に500[mg/m<sup>3</sup>]を越す非常に高い値を示した。TN濃度およびTP濃度共に環境省が定める湖沼の環境基準を越す汚濁状態を示した。
- 5) 降雨時における水位上昇時にDO飽和度が300[%]から0[%]まで減少し、約6日間水面近傍、底面近傍共に貧酸素の状態を示した。

## 参考文献

- (1) 千代田区、新宿区、港区：「史跡江戸城外堀跡保存管理書」、2008。
- (2) 千代田区安全生活課：「千代田区の環境」、2003。
- (3) 東京都下水道局「下水道台帳」。