

64. 江戸城外濠における水温・日射量・栄養塩と溶存酸素濃度の関係性に関する考察

柿沼 太貴¹・銭 潮潮²・大平 一典²・山田 正³

¹学生会員 中央大学理工学部研究科都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²正会員 中央大学理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³フェロー会員 中央大学理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

E-mail:kakinuma@civil.chuo-u.ac.jp

江戸城外濠跡(以下、外濠)は都市部では数少ない水と緑を有する重要な場所であるが、アオコやスカムによる悪臭や景観の悪化が問題となっている。外濠における水辺環境の実態を把握するために、各水質項目の現地観測とその検討を行った。次に、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濃度(以下、DO濃度)に着目し、水温・日射量・栄養塩との関係性の検討を行った。Chlorophyll-a (Chl-a)、全窒素(TN)、全リン(TP)の観測により、夏季から冬季における水質状況を明らかにした。平水時のDO濃度変化量と日射量の観測値から、変化量が最も大きくなる時間帯および日射量を示した。

Key Words : dissolved oxygen concentration, water temperature, solar radiation, nutrient,

1. はじめに

外濠は1956年に「江戸城外濠跡」として国指定の史跡に定められ¹⁾、都市部では数少ない水と緑を有する、歴史的、空間的にも重要な場所であるが、外濠はアオコやスカムによる悪臭や景観上の問題が生じている。水質悪化の構造的要因として、降雨が外濠周辺に整備されている合流式下水道の管渠の処理能力を超えた場合、下水未処理水が外濠に放出されていることである。加えて、同一濠内の落差が小さく水滞の滞留時間の長期化や、濠に流入する汚濁物質が流出せずに底泥に堆積することなどがあげられる。外濠における水質調査は年4回の千代田による水質調査のための、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²⁾。

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水温・日射量・栄養塩とDO濃度の関係性を把握することを目的とし、外濠においてDO濃度、水温、水位の観測、Chlorophyll-a, b, c (以下Chl-a,b,c)、全窒素(TN)、全リン(TP)の室内分析を行った。また、平水時・降雨時におけるDO濃度と水温・日射量の関係性についての分析を行った。

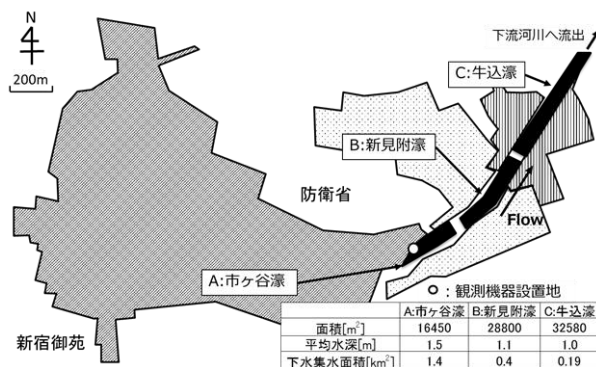
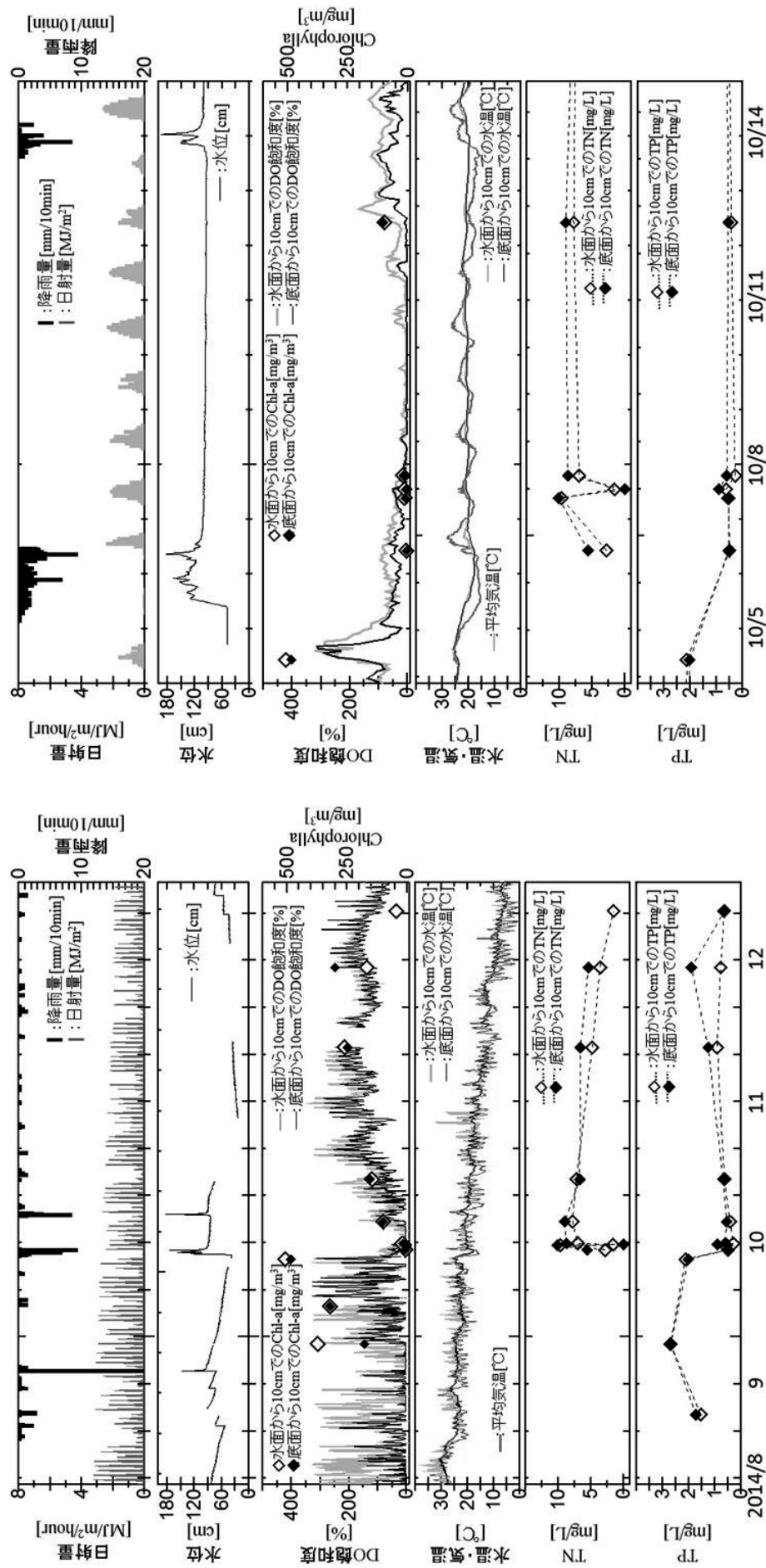


図-1 外濠(市ヶ谷濠～牛込濠)の集水域図
および観測地点の位置図。

2. 調査方法

(1) 対象地域概要

図-1 に外濠付近の集水域図および観測地点の位置図を示す。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。A 濠から C 濠まで距離約 1.3km、高低差約 12m である。外濠への下水道等の流入口は目視と文献³⁾により 18ヶ所確認できる。その内の計 10ヶ所は合流式



(a) 2014年8月15日～12月17日.

(b) 2014年10月4日～12日の拡大図 (降雨時).

図-2 A 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, TP の時系列 (2014年8月15日～12月17日).

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。

(2) 観測方法

DO飽和度、水温を計測するために、A濠を対象として図-1に示す観測地点において、2014年8月から12月の5か月間、DO飽和度と水温を5分間隔で連続的に観測した。設置方法はロガー内蔵のDO計(Dopto Logger, ZEBRA-TECH LTD)を水面から10cmと底面から10cmの鉛直方向2地点(以下、水面近傍・底面近傍)に設置した。また、DO計と同地点にロガー・バッテリー内蔵の小型水位計(ダイバー式水位計, DAIKI)を設置し同期間に1分間隔で水位を計測した。気温、降雨量、日射量は外濠から約2km離れている気象庁(東京地点)のデータを用いた。

(3) 採水方法および分析方法

観測は、2014年8月から2014年12月の間、計10回の定時(10:00)観測を行った。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、冷却して持ち帰り、分析を行った。TN濃度はアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-クロモトロブ酸法に従い、試料中の全ての窒素形態を硝酸態窒素に分解した後、吸光光度計(DR3900, TOA DKK)を用いて波長410nmの吸光度を測定し、濃度を算出した。TP濃度はペルオキシ二硫酸カリウム分解-アスコルビン酸還元法に従い、試料中の全てのリン形態をリン酸に分解した後、吸光光度計を用いて波長880nmの吸光度を測定し、濃度を算出した。Chl-a,b,c濃度はユネスコ法に従い濃度を算出した⁴⁾。DO濃度と気温、降雨量、日射量の関係性を知るために、気象庁(東京地点)のデータを用いて分析した。なお、気温、降雨量は10分間隔のデータ、日射量は1時間間隔のデータである。

3. 観測結果と考察

図-2(a)はそれぞれ降雨量[mm/10min]、日射量[MJ/m²/hour]、水位[cm]、DO飽和度[%]、Chl-a[mg/m³]、水温[°C]、気温[°C]、TN[mg/L]、TP[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-2(b)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) 定点連続観測

図-2(a)より2014年8月から10月における日中に、水

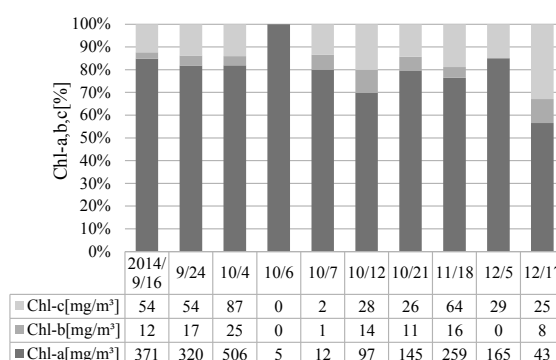


図-3 Chl-a, b, cの分析結果及び割合。

面近傍はDO飽和度は100%を超える過飽和を多く示し、夜間は貧酸素状態を示し、大きく日変動することが分かる。また、底面近傍では貧酸素状態に近い値を示し、水面・底面近傍間の差が大きいことが分かる。観測期間全体を見ると、冬季(10月から12月)に増加傾向であることが分かる。図-2(b)の2014年10月4日から12日の期間、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。水面近傍と底面近傍におけるDO飽和度の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、DO飽和度の日変動幅が、夏季に比べ冬季が小さい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ことが主たる原因と考えられる。

(2) 室内分析

図-2(a)よりChl-a濃度は12回中7回が100mg/m³を超す高い値を示した。また、平水時(2014年10月7日)に500mg/m³を超す非常に高い値を示した。DO飽和度と比較するとDO飽和度の季節変動と同じ挙動を示した。TN濃度およびTP濃度はTN:1.5から9.7mg/L、TP:0.27から2.68mg/Lの値を示した。また、TN濃度は秋季から冬季(2014年10月から12月)にかけ、減少傾向であることが分かる。栄養塩が高い要因として、合流式下水道からの下水の未処理水の流入や汚濁物質が堆積している底泥からの溶出が考えられる。2014年10月までは目視でアオコが確認できたが、以降は確認できなかった。しかし、Chl-a濃度は100mg/m³以上の高い値を示したことから、水中に存在する植物プランクトンの種類が変わったことが考えられる。図-3にA濠における計10回のChl-a, b, cの割合を示す。Chl-cの割合が夏季では約0%~15%

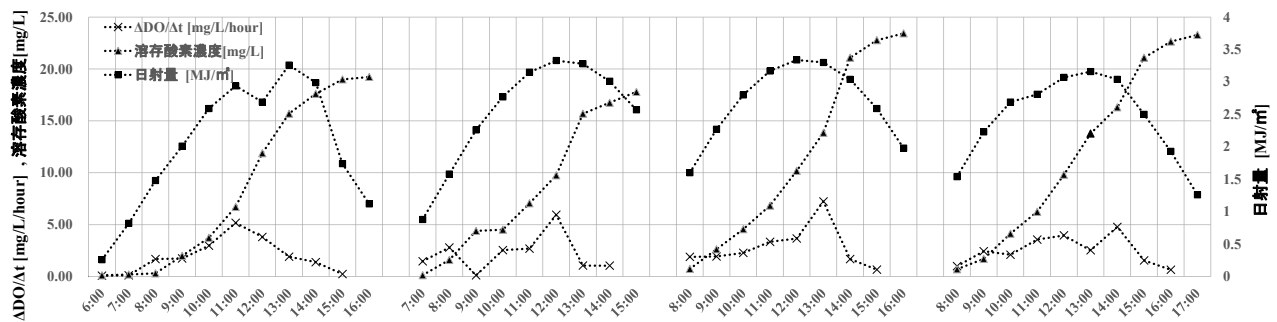


図-4 日射量，溶存酸素濃度，溶存酸素濃度変化量の時系列（2014年8月4日～7日）。

を示し，冬季では約15%～30%を示した。Chl-aは全ての藻類に含まれ，Chl-bは緑藻類，Chl-cは褐藻類や珪藻類などに含まれていることから⁹⁾，外濠では季節により植物プランクトンの種類が変化していると考えられる。

(3) 降雨時観測

図-2(b)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，400mg/m³から40mg/m³まで減少し，6日間低い状態が継続した。水温も降雨により約8℃低下している。TN濃度は6mg/L上昇し，TP濃度は2mg/L減少した。DO飽和度が減少した要因として，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や，Chl-a濃度が減少していることから，植物プランクトンが流し出され光合成による酸素供給量が減少したことや，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などが考えられるが詳細は不明である。また，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。

(4) DO濃度と日射量

図-2(a)(b)のDO濃度と日射量・水温の時系列データを見ると，同じ挙動をしていることが分かる。よって，2014年8月4日から7日の前後5日間降雨のない平水時の4日間を選定し，分析を行った。図-4に水面近傍のDO濃度の上昇開始時刻からピーク時刻までの日射量[MJ/m²/hour]，DO濃度[mg/L]，1時間ごとのDO濃度の変化量 $\Delta DO/\Delta t$ [mg/L/hour]を示す。DO濃度変化量と日射量から，平水時における変化量が最も大きくなる時間帯は11:00から15:00における日射量2.8から3.2MJ/m²/hourであることが分かる。つまり，夏季における光合成によるDO濃度の生産が最も活発になる時刻・日射量が分かった。

6. まとめ

- 1) 外濠のDO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，改善対策を行う必要があることが分かった。
- 2) 夏季から冬季にかけてDO飽和度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，冬季に増加傾向である。
- 3) Chl-a濃度は平水時に500mg/m³を超す非常に高い値を示した。TN濃度，TP濃度共に高い汚濁状態を示した。
- 4) 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，DO濃度は日射量，水温による影響より，植物プランクトンによる影響が大きいと考えられる。
- 5) 平水時におけるDO濃度変化量が最も大きくなる時間帯は11:00から15:00における日射量2.8から3.2MJ/m²/hourであることが分かり，DO濃度の生産が最も活発になる時刻・日射量が分かった。

謝辞

本研究は中央大学共同研究プロジェクト「横断的学術連携による水辺再生技術と総合的なランドデザインの融合手法の確立に関する研究～外堀通りを事例として～」(代表者，山田正)の支援を受けて，行われたものである。記して謝意を表す。

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，電子下水道台帳，<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/osigoto/daicyo.htm>。
- 4) 西条八束，三田村緒佐武：新編湖沼調査法，講談社サイエンティフィク，pp.187-192，1995。
- 5) 三室守，谷垣俊昭，民秋均：クロロフィル-構造・反応・機能，裳華房，pp.15-17，2011。