

閉鎖性水域における大規模出水によるアオコの減少動態に関する研究 —江戸城外濠を例として—

中央大学大学院 学生会員 ○東野 禎久 中央大学大学院 学生会員 星野 成美
中央大学大学院 学生会員 磯田 裕一 中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

江戸時代から約 400 年の歴史を持ち、都市部において貴重な水辺空間となっている江戸城外濠(以下、外濠とする)では、豪雨時に合流式下水道から下水の未処理水が流入する。また、閉鎖性水域であるため、平水時には水の循環が起りづらく、汚濁物質が滞留しやすい。特に夏季の外濠では植物プランクトンの大量増殖により、アオコ現象が発生し、写真-1 の左のような景観障害、悪臭といった悪影響をもたらすが、令和元年台風第19号(以下、台風とする)が外濠上を通過した際、写真-1 の右のようにアオコが一掃された。さらに柿沼ら¹⁾は、導水による押し出し効果を用いたアオコ浄化方法を提案している。



写真-1 外濠の水面の様子 (新見附濠)
左：台風通過前 右：台風通過後

本研究は、写真-1 に示す台風通過後のアオコの減少動態を明らかにすることを目的とする。外濠の市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠での水位、Chl-a 濃度および栄養塩濃度について現地観測と分析、および得られた観測水位から各濠への流入・流出水量の数値計算を行った。

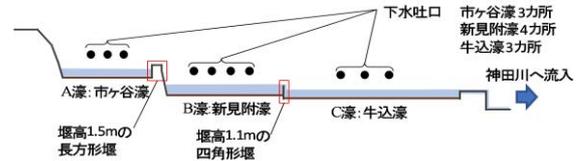


図-1 外濠の縦断面の概念図

2. 外濠の概要、現地観測および分析手法

2-1. 研究対象地の概要

本研究の対象地域である外濠は、市ヶ谷濠、新見附濠、牛込濠 (以後それぞれ A 濠, B 濠, C 濠とする) から成り、図-1 に示すように連なり、それぞれ下水吐口を持つ。表-1 に各濠の濠面積、平均水位、容積を示す。豪雨時には合流式下水道よりオーバーフローした下水未処理水が外濠に流入することがある。

表-1 各濠の濠面積、平均水位、容積

	A濠	B濠	C濠
濠面積 [m ²]	16,450	26,940	36,400
平均水深 [m]	1.23	1.39	1.82
濠の平均容積 [m ³]	20,234	37,447	66,248

2-2. 現地観測および分析手法

台風が日本に上陸する直前の 2019 年 10 月 10 日、および通過直後の 2019 年 10 月 13 日において A 濠, B 濠, C 濠において採水を行い、室内分析にて植物プランクトン現存量の指標として用いられる Chl-a (クロロフィル-a) の濃度²⁾をエタノール抽出法により測定した。また、植物プランクトンの増殖に関わる全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の濃度²⁾を吸光法により測定した。さらに、圧力式水位計を用いて 1 分間隔で台風通過期間中の水位の連続観測を行った。

2-3. 各濠への下水流入量の算出

得られた水位データを元に、降雨に伴う各濠への下水流入量を算出するため、各濠の水収支を計算した³⁾。A 濠, B 濠, C 濠それぞれの濠における水の保存関係は右の(1), (2), (3) 式に示す。ここに、 $Q_{inA}(t)$:A 濠への吐口からの流入量[m³/s], $Q_{outA}(t)$:A 濠の堰から越流量[m³/s], $Q_{rA}(t)$:A 濠の水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_A(t)$:A 濠の水位 [m], $Q_{inB}(t)$:B 濠への吐口からの流入量[m³/s], $Q_{outB}(t)$: B 濠での堰の流量[m³/s], $Q_{rB}(t)$:B 濠の水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_B(t)$:B 濠の水位 [m], $Q_{inC}(t)$: C 濠への吐口からの流入量[m³/s], $Q_{rC}(t)$:C 濠の 水面に降る雨による流入量[m³/s], $h_C(t)$:C 濠の水位 [m]とする。

$$Q_{inA}(t) = A_A \frac{dh_A(t)}{dt} + Q_{outA}(h_A(t)) - Q_{rA}(t) \quad (1)$$

$$Q_{inB}(t) + Q_{outA}(h_A(t)) = A_B \frac{dh_B(t)}{dt} + Q_{outB}(h_B(t)) - Q_{rB}(t) \quad (2)$$

$$Q_{inC}(t) + Q_{outB}(h_B(t)) = A_C \frac{dh_C(t)}{dt} + Q_{outC}(h_C(t)) - Q_{rC}(t) \quad (3)$$

各濠の堰での越流量については堰の越流公式を用い、越流係数は堰の形状から A 濠, C 濠では Govinda-Rao の式⁴⁾, B 濠では板谷・手島の式⁴⁾から求めた。各濠の水の回転速度は各濠への総流入量を各濠の容積で割ることで算出した。

3. 結果および考察

3-1 各濠への流入量の算出

表-2 に各濠における総下水流入量、上流の濠からの流入量、合計流入量、日平均流量、濠の水の回転速度、図-2 に XRAIN により観測された台風通過時の外濠上空および下水集水域の流域平均降雨強度、各濠にお

キーワード：水質、閉鎖性水域、アオコ、現地観測、江戸城外濠

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL：03-3817-1805 E-mail：a16.f7eg@g.chuo-u.ac.jp

る1時間毎の下水流入量，上流からの流入量の推移を示す。計算結果より台風通過中にA濠は下水の流入，B濠とC濠は下水および上流の濠からの流入が確認された。

3-2. 濠の水の回転速度と藻類の比増殖速度の比較

一般に、閉鎖性水域である湖沼では、水循環の指標として、湖沼の貯水量に対する単位時間当たりの流入、あるいは流出水量の比率である湖水の回転速度およびその逆数である滞留時間が用いられている⁵⁾。本論文では、各濠への流入水量と平均水体積から濠の水の回転速度を算出し、藍藻類の比増殖速度との比較を行った。アオコの原因種である藍藻類の最大比増殖速度は0.2~1.8[day]⁶⁾であるが、台風通過中の1日当たりの濠の水の回転速度に着目すると、各濠の水の回転速度が、藻類の最大比増殖速度を上回っている。これは、藻類が増殖するよりも速く濠の水が流下していることを示している。

3-3. Chl-a, 全窒素, 全リンの観測結果

図-3に台風通過前後におけるChl-a 濃度の変化、表-3に台風通過前後における全窒素, 全リン濃度および水温の変化を示す。いずれの濠においてもChl-a 濃度の減少がみられたが、水温および全窒素, 全リン濃度は台風通過前後で大きな変化は見られなかった。以上のことから、台風前後においてアオコの増殖に必要な水温および栄養塩濃度に大きな変化が見られなかったにもかかわらずChl-a濃度の減少が見られたのは、合流式下水道からの下水が外濠に流入し、下流へ濠の水が流出したことによって、水面に浮かぶアオコが押し出された結果だと考えられる。

4. まとめ

本研究では台風通過前後の外濠において現地観測を行い、各濠における下水流入量、Chl-a濃度および栄養塩濃度について分析および考察を行った。その結果、藻類が増殖するよりも速く濠の水が流下しており、台風前後の水面のアオコの変化は下水の流入および上流の濠からの流入によってアオコが押し出されたものであると推定した。

参考文献

- 1) 柿沼太貴：閉鎖性水域における藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した押し出し効果によるアオコ浄化手法に関する研究, 2019年度中央大学博士論文。
- 2) 永田俊, 熊谷道夫, 吉山浩平：温暖化の湖沼学, 京都大学学術出版会, pp222-232, 2012.
- 3) 津島 優樹:管路網水理解析に基づく都市流域における放流汚濁負荷量の定量評価に関する研究, 2015年度中央大学修士論文。
- 4) 水理公式集 昭和 60 年度版 p.p.283-286.
- 5) 中村剛也, 本間隆満, 宮原裕一, 花里孝幸, 朴虎東：諏訪湖における湖水の回転率が Microcystis の見かけの比増殖速度・現存量に与える影響, 2013年日本水産学会誌 79 巻 5 号 p.851-862
- 6) 高橋正征, 市村俊英：霞ヶ浦の湖水の栄養特性と「アオコ」の大量発生,「環境科学」研究報告集, B93-R12-2, 107-113,1981.

表-2 各濠における総下水流入量, 上流の濠からの総流入量, 合計流入量, 日平均流量, 濠の水の回転速度

	A濠	B濠	C濠
総下水流入量[m ³]	41,970	5,919	41,413
上流の濠からの総流入量[m ³]	0	54,855	91,703
合計流入量[m ³]	41,970	60,774	133,116
日平均流量[m ³ /s]	0.49	0.70	1.54
濠の水の回転速度[/day]	2.1	1.8	2.2

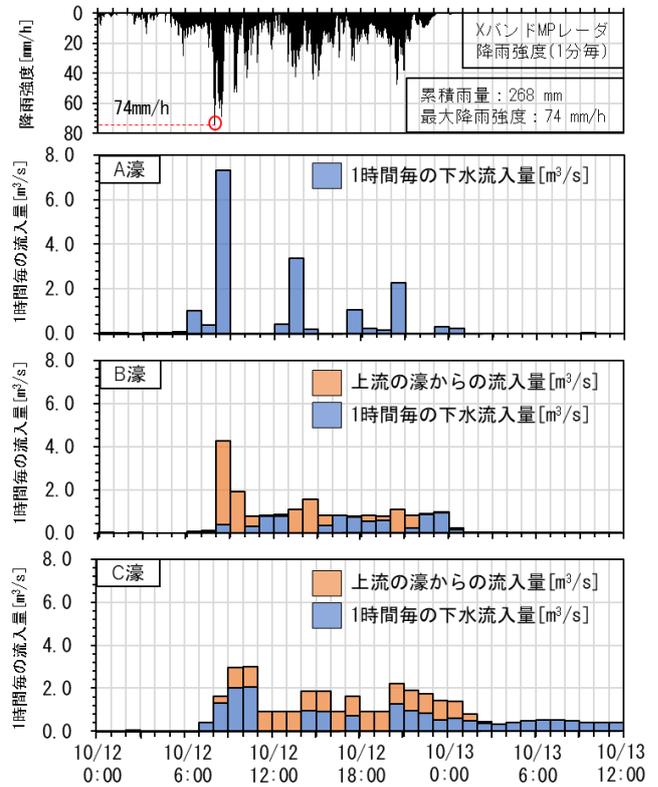


図-2 XRAIN で観測された外濠の流域平均降雨強度および各濠における下水および上流の濠からの流入量

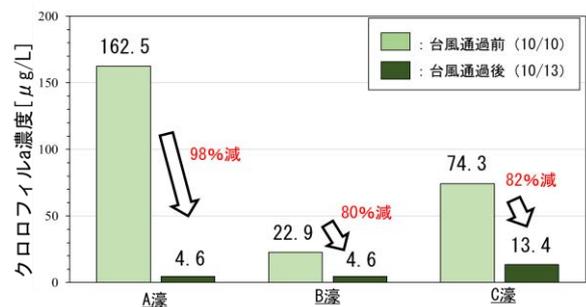


図-3 台風通過前後の Chl-a 濃度の変化
台風通過後に Chl-a 濃度が減少しているのがわかる。

表-3 台風通過前後における各濠の栄養塩濃度及び水温
各項目とも台風前後で著しい変化は見られない。

		A濠	B濠	C濠
全窒素 (TN) [mg/L]	台風通過前	2.10	1.60	1.70
	台風通過後	2.40	1.70	1.40
全リン (TP) [mg/L]	台風通過前	0.60	0.52	0.54
	台風通過後	0.48	0.50	0.36
水温 [°C]	台風通過前	22.9	23.2	22.8
	台風通過後	22.6	21.9	22.8