

水深の浅い閉鎖性水域における不規則の導水がアオコ発生回数に与える影響に関する考察

中央大学大学院 学生会員 ○宮内 和樹

中央大学研究開発機構

正会員

小山 直紀

中央大学研究開発機構

フェロー会員

山田 正

1. はじめに

本研究の対象地である江戸城外濠（以下、外濠）と玉川上水の位置図を図-1に示す。外濠は富栄養化した閉鎖性水域であり、毎年夏季になるとアオコが発生し周辺に悪臭や景観阻害などの悪影響を及ぼしている。この状況を改善するために東京都は様々な対策を行ってきたが、抜本的な解決に至らなかったことから「外濠浄化に向けた基本計画」²⁾で、導水により外濠の浄化を目指すを発表した。計画には導水源として玉川上水の水を取水源の多摩川から引き、本来の玉川上水の姿に甦らせる可能性を展望しながら、当面は①多摩川上流水再生センターの下水再生水 (0.15 m³/s程度) ②荒川河川水、その他外濠周辺のトンネル湧水を活用し外濠浄化に必要な水量 (0.5 m³/s程度) を確保することが明記されている。しかし、導水ルート①②はいずれも動力を必要とするものであり、東京都が最終的に目指している玉川上水の復活で期待されている災害時の緊急水利の役割³⁾を果たすことができない可能性がある。一方で玉川上水を通じて多摩川から常時導水することに対しては、日ごとに多摩川本川に流量の差があることや、既に水道用水として7.0 m³/s⁴⁾取水していることから困難であると考えられる。そこで著者らは外濠における不規則の導水がどの程度アオコ発生抑制に効果があるのかを整理する必要があると考えた。

以上の背景を踏まえ本研究では、外濠に不規則で導水を行った場合、またはアオコ抑制に不十分な導水（外濠周辺のトンネル湧水を想定）のみがある場合の不規則の導水が、アオコ抑制に与える影響に関して生態系モデルを用いて考察を行った。

2. 計算手法

本研究で生態系モデルに用いる基礎式を(1)~(12)に示す。これらを用いて1日ごとの水質諸量を求めた。各パラメータについては数が多いため既往研究⁴⁾を参照いただきたい。計算では外濠の最上流である市ヶ谷濠を模して水深1.23 m、容量20,234 m³の水域を用いた。入力する気象データは水温、日射量、降水量であり、水温は江戸城外濠（2022年）、日射量と降水量は気象庁東京観測所における過去10年間の年間総量の平均と最も差の小さい年の値（日射量：2015年、降水量：2017年）を使用した。不規則導水の水質は多摩川（日野橋地点、玉川上水分岐前約6 km上流）における2017~2021年の平



図-1 玉川上水・外濠の現況

均值、常時導水の水質は外濠周辺の湧水を想定し、東京都環境局による明治神宮地点における値⁵⁾を使用した。導水頻度は1~14日に1回の等間隔、導水量は0~1.0 m³/s（回転率：0~4.3/day）の0.2 m³/s刻みとし、計算期間はアオコが発生しやすい夏季（5/1~10/31, 184日間）とした。初期値は江戸城外濠の観測値から適当な数字を用い、計算に用いたパラメータは外濠における既往研究⁶⁾を参考にした。

●植物プランクトン (Chl-a)

$$C = C_c + C_d + C_g \tag{1}$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{C_{i, in} q_{in}}{V} - \frac{C_i q_{out}}{V} + P_i(1-\epsilon) - K_r C_i - K_d C_i - \frac{v_{ps} C_i}{h} \tag{2}$$

$$P_i = \mu_{max i} \frac{N_i}{N_i + K_N} \frac{P_i}{P_i + K_{Pi}} \frac{I}{I_{opt i}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt i}}\right) \frac{T}{T_{opt i}} \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt i}}\right) C_i \tag{3}$$

●COD

$$COD = C_0 + \alpha_{coc} C_i \tag{4}$$

$$\frac{dC_o}{dt} = \frac{C_{o, in} q_{in}}{V} - \frac{C_o \cdot q_{out}}{V} - \gamma_{Co} C_o - \frac{v_{Co} C_o}{h} + \frac{R_{Co}}{h} + \alpha_{coc} (K_d C + P_i \epsilon) \tag{5}$$

●全窒素 (T-N)

$$TN = N_o + N_i + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CON}} \cdot C \tag{6}$$

$$\frac{dN_o}{dt} = \frac{TN_{in} q_{in} (1-r_{Ni})}{V} - \frac{N_o q_{out}}{V} + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CON}} (K_d C_i + P_i \epsilon) - \gamma_{No} N_o - \frac{v_{No} N_o}{h} \tag{7}$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{TN_{in} q_{in} r_{Ni}}{V} - \frac{N_i \cdot q_{out}}{V} + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CON}} (K_r C - P_i) - \gamma_{Ni} N_i + \gamma_{No} N_o + \frac{R_{Ni}}{h} \tag{8}$$

●全リン (T-P)

$$TP = P_o + P_i + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CoN} \cdot \alpha_{NP}} \cdot C \tag{9}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{TP_{in} q_{in} r_{Pi}}{V} - \frac{P_i q_{out}}{V} + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CON}} \frac{\alpha_{NP}}{\alpha_{CoN}} (K_d C - P_i) + \gamma_{Po} P_o + \frac{R_{Ni}}{h} \tag{10}$$

$$\frac{dP_o}{dt} = \frac{TP_{in} q_{in} (1-r_{Pi})}{V} - \frac{P_o q_{out}}{V} + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{CON}} \frac{\alpha_{NP}}{\alpha_{CoN}} (K_d C + P_i \epsilon) - \gamma_{Po} P_o - \frac{v_{Po} P_o}{h} \tag{11}$$

●水温依存性

$$K_i = K_{20} \exp(a(T-20)) \tag{12}$$

※下付き文字で流入と流出を表す (in, out)

3. 計算結果および考察

図-1に計算に使用した入力データ(水温, 日射量, 降水量), 図-2にクロロフィルa濃度の計算結果の一部抜粋として, 導水しない場合(黒), 常時0.1 m³/s(回転率: 0.4/day)導水した場合(緑), 9日に1回1.0 m³/s(回転率: 4.3/day)導水した場合(紫), 14日に1回0.8 m³/s(回転率: 3.5/day)導水した場合(青)の計算結果と導水量の時系列を示す. 図-2より, 常に導水しない場合はアオコ発生目安(50 µg/L)を100~250 µg/L以上上回って推移しているのに対し, 常時0.1 m³/s導水した場合は, 130 µg/L以下で推移している. しかし, いずれのクロロフィルa濃度も計算期間のおおよそ全体を通じてアオコの発生目安以上で推移している. また, 間隔を空けて導水した場合クロロフィルa濃度はアオコ発生目安を下回るが, (紫)と(青)でアオコ発生目安を下回る日数が異なることが分かる. 以上より, 常時0.1 m³/s(回転率: 0.4/day)の導水ではアオコ抑制に不十分であること, 間隔をあけた導水の場合, 導水量と頻度によってアオコ発生目安を下回る日数が異なることが分かった.

導水量・頻度とアオコ発生日数の関係を明らかにしたものを図-3に示す. ここから導水量を増やす, あるいは導水頻度を短くすることでアオコの発生日数が減少することが分かる. また, アオコの発生を完全に抑制する導水量と頻度を確保することが難しい場合でも, どの程度アオコの発生日数を抑えることができるかを明らかにした. 例えば常時導水がない場合(図-3(a)), 0.8 m³/sの導水量(青)を5日に1回確保した場合, 計算期間の約60%(約110日/184日)はアオコを抑制できることが分かる.

4. まとめ

本研究では閉鎖性水域の例として江戸城外濠をあげ, 全く導水がない場合, またはアオコ抑制に不十分な導水のみがある場合に, 不規則の導水がアオコ抑制に与える影響に関して生態系モデルを用いて考察を行った. その結果, 不規則の導水を行うことでアオコの発生日数を減少させることができる可能性があることが分かった. また, 導水量・頻度とアオコ発生日数の関係を明らかにすることで, 導水量と頻度に応じたアオコ発生日数が分かり, どの程度アオコを抑制できるのかを定量的に評価した. 本研究では藻類の増殖速度をある一定値としているが, 今後は幅を持たせることで, 導水量と頻度によって変わるアオコ発生日数に対し, 決定論ではなく幅を持った議論を展開できるよう目指す.

参考文献

- 1) 東京都建設局: 事業概要 令和4年版, 2022.
- 2) 東京都都市整備局: 外濠浄化に向けた基本計画, 2022
- 3) 寺井しおり, 細見寛, 辻野五郎丸, 柿沼太貴, 山田

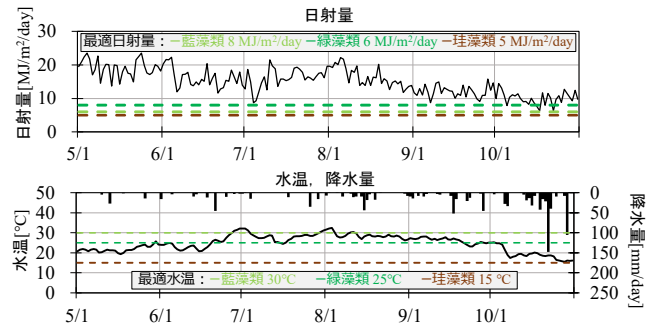


図-1 入力データ(水温, 日射量, 降水量)

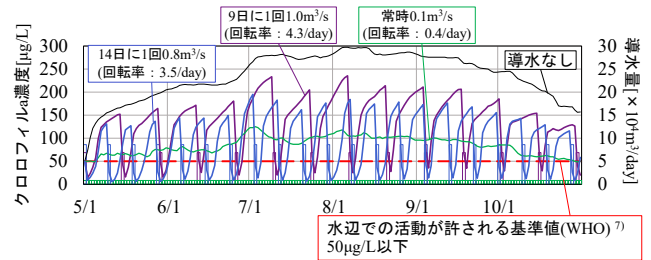


図-2 クロロフィルa濃度の計算結果の一部抜粋

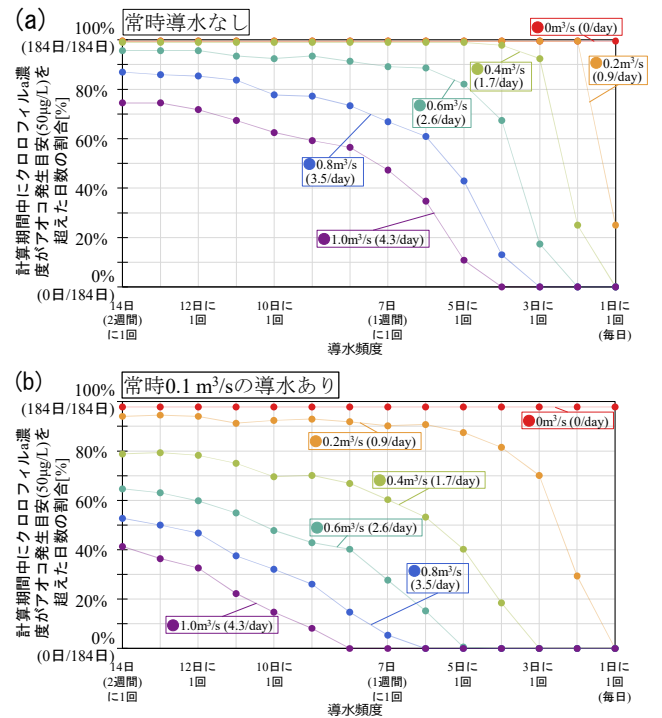


図-3 導水量と頻度を変化させた場合のアオコ発生日数
(a) 常時導水なし (b) 常時0.1 m³/sの導水あり

正: 玉川上水からの通水実現が東京水循環に与える有意性の検証, 第25回地球環境シンポジウム講演集, Vol.25, pp.129-136, 2017.

- 4) 東京都水道局: 事業年報 令和2年度版
- 5) 東京都環境局: 主な湧水地点の水質測定結果, 2000.
- 6) 柿沼大貴: 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, 中央大学博士論文, 2019.
- 7) World Health Organization 1999, Guideline Values for Cyanobacteria in Freshwater.