

江戸城外濠からの流出水が神田川の水質に与える影響調査

チョンニカーン ジュアンポップシン¹・柿沼 太貴¹・山田 正²

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フェロー会員 中央大学理工学部都市環境学科（〒102-0083 東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: a16.kcw3@g.chuo-u.ac.jp

神田川は、東京の中心を流れる都市感潮河川であり、沿川には、現在でも多くの歴史・文化遺産や行事がある歴史的にも文化的にも重要な場所である。江戸時代に、日本最古の都市水道である神田上水として整備され、江戸の市民に飲料水を供給してきた。しかし、現在の神田川は、降雨時における合流式下水道からの未処理水の流入や東京湾からの貧酸素水塊の侵入等により水質の悪化が問題視されている。

本研究では、外濠流出口及び上下流地点の神田川を対象として、平水時における水質・流量観測及び、降雨時における流水質・流量の集中観測を行い、外濠から神田川の水質への影響を定量的に評価した。その結果、平水時、降雨時共に外濠からの流出があり、神田川の水質への影響があることが分かった。

Key Words : Edo Castle Outer Moats, Kanda River, Nihonbashi River, rainfall, water quality

1. はじめに

都市域を流れる河川は世界各地において利水目的以外に人々の憩いの場や癒しの空間の中心あるいはシンボルとして存在してきた。神田川は、東京の中心を流れる都市感潮河川であり、沿川には、現在でも多くの歴史・文化遺産や行事があり、歴史的にも文化的にも重要な場所である。江戸時代に、日本最古の都市水道である神田上水として整備され、江戸の市民に飲料水を供給してきた。また、舟運にも利用され、人々の生活と深くかかわっていた。

しかし、現在の神田川は、降雨時における合流式下水道からの未処理水の流入や東京湾からの貧酸素水塊の侵入等により水質の悪化が問題視されている。神田川、日本橋川において、従来から水質環境の形成機構の解明を目的とした多くの現地観測、理論展開、数値計算などが行われてきた。たとえば、呉ら^{1) 2) 3)}は、出水時の水質濃度変化を表現する水質ハイドログラフの形成機構に関して、水質ハイドログラフのタイプがファーストフラッシュ型、流量希釈型、後期高濃度型に分類できることを示すとともにその予測手法に関して質量保存則のみから表現する理論展開を提案している。また、川村ら⁴⁾は都市河川感潮域における水質、流動特性に関する研究を行い、潮位による塩分濃度の変化などを報告した。

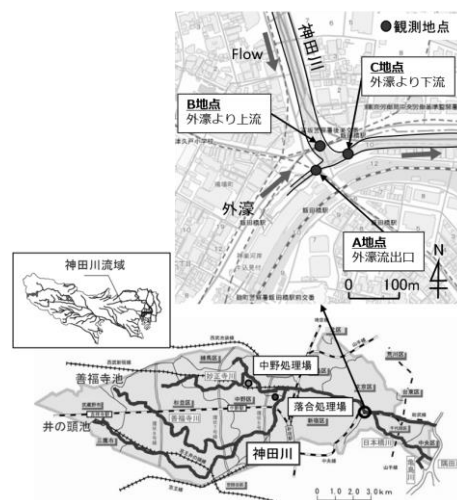


図-1神田川流域と観測地点

水質環境の形成機構の解明するためには、神田川に合流する江戸城外濠による水質への影響を定量的に評価する必要があるが未だ議論はされていない。よって、本研究では、外濠流出口及び上下流地点の神田川を対象として、平水時における水質・流量観測及び、降雨時における流水質・流量の集中観測を行い、外濠から神田川の水質への影響を定量的に評価した。

2. 研究概要・手法

(1) 研究対象・観測地点

図-1に神田川流域と観測地点を示す。神田川は荒川水系の支流であり、三鷹市の井の頭池に源を発し東へ流れ、隅田川に合流する一級河川である⁵⁾。流路延長24.6 km、流域面積105.0 km²である。外濠の表面積は77,900 m²、平均水深は1.2 mである。観測地点は、外濠から神田川への流出口（A地点）、外濠より上流の地点（B地点）、外濠より下流の地点（C地点）の合計3地点である。

(2) 観測期間

図-2に平水時における観測日時及び期間を示す。観測日は降雨の影響がない日時を選定した。2016年10月14日11:00~22:00に、流量及び水質観測を行った。

図-3に降雨時における観測期間及び各地点の出水状況を示す。2016年12月13日16:00から12月14日18:00まで、図-1に示す観測地点で流量及び水質観測を行った。

降雨は12月13日23:00から開始し、14日10:00に止んだ。最大降雨強度は11mm/h、累積降雨量は40mmであった。1:00から6:00まで向でのB地点の吐き口から下水未処理水が出水し、4時からA地点から流出したことが目視により確認した。

(3) 観測内容・方法

流量観測については、A地点にストリームプロADC、C地点にワークホースADCを用いて流速を測り、得られた断面積・流速により流量を算出した。B地点の流量については、C地点の流量からA地点の流量を引くことにより算出した。

水質観測については、現地でポータブル電気伝導率・pH計（WM-32EP）により水温、水素イオン指数（以下、pH）、酸化還元電位（以下、ORP）、電気伝導率（以下、EC）、塩分濃度を測定した。保存したサンプルから実験室で吸光光度計を用いて懸濁物質（以下、SS）、全窒素（以下、TN）、全リン（以下、TP）、アンモニア態窒素（以下、NH₄-N）、硝酸態窒素（以下、NO₃-N）、硝酸態窒素（以下、NO₂-N）を分析した。分光光度計（UV-1800）を用いてアセトン抽出法により、クロロフィルa（以下、Chl-a）を分析した。溶存酸素濃度（DO）については、平水時におけるA地点の表層で、B及びC地点で鉛直方向5の箇所（水深の1割、3割、5割、7割、9割の箇所）で計測した。降雨時におけるA地点の底層、B、C地点の河床から1mの箇所計測した。

3. 観測結果

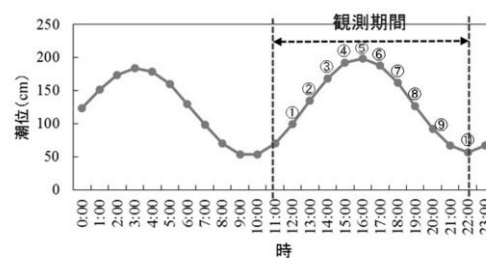


図-2 平水時における観測日及び期間

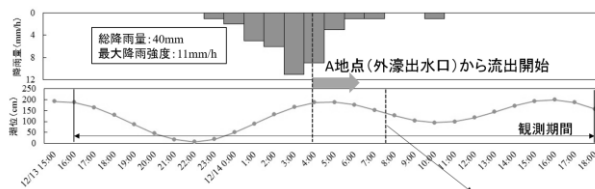


図-3に降雨時における観測期間及び各地点の出水状況

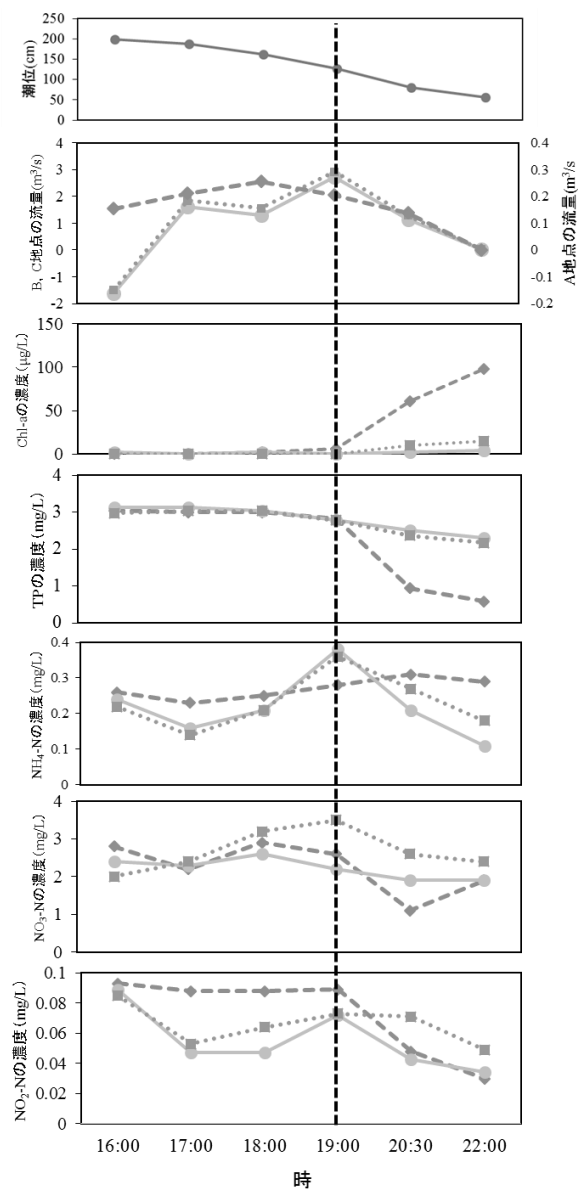


図-4 平水時に潮位、流量及び水質濃度の経時変化

(1) 平水時・水質濃度の経時変化

図-4に平水時における潮位、流量及び水質濃度の経時変化を示す。19:00以降、Chl-a濃度は急激的に増加し、約60~100 µg/Lになった、外濠の値(71.592 µg/L)と近似しているため、下げ潮開始4時間後(干潮に近づいた時)に、外濠の水が流出したことが考えられる、19:00以前、A地点から流出した水のChl-a濃度はほぼ0 µg/Lであり、神田川の値と近似しているため、上げ潮時に逆流して流入した水が考えられる。

Chl-aに関しては、19:00以降、外濠から神田川(C地点)の約6~10倍の濃度のChl-aが流出し、神田川の水質(アオコの問題)に影響を与えたことが分かった。

他の水質項目に関しては、19:00以降、外濠から神田川(C地点)の約0.3倍の濃度のTP、約1.5倍の濃度のNH₄-N、約0.6倍の濃度のNO₃-N及び約0.6倍の濃度のNO₂-Nが流出した。

流量については、20:30~22:00に、外濠から約560トンの水が流出し、総流量の比率は約6%であることが分かった。流量及び水質濃度の観測結果から汚濁負荷量を算出した。汚濁負荷量とは、環境に放出される汚濁物質の量を指し、汚濁物質の濃度と流量を掛け合わせた量で評価する。下記の式に示すように、外濠から流出した総負荷量Load_Aに対する外濠より神田川下流の総負荷量Load_Cの割合を総負荷量流出率と呼ぶ。

$$\text{負荷量load}(g/s) = \text{流量}Q(m^3/s) \times \text{水質濃度}C(mg/L)$$

$$\text{総負荷量Load}(kg) = \sum_{t=1}^n \text{負荷量load}(g/s)$$

$$\text{総負荷量流出率Ratio} = \frac{\text{外濠から流出した総負荷量Load}_A(kg)}{\text{外濠より神田川下流の総負荷量Load}_C(kg)} \times 100\%$$

によりNH₄-NとTPの負荷量流出率を算出した。

20:30~22:00に、TP、NH₄-N、NO₃-NとNO₂-Nの総負荷量流出率はそれぞれ4.66%、9.54%、5.62%、8.94%であり、TP、NH₄-N、NO₃-NとNO₂-Nに関しては、外濠からの流出水が神田川の水質に与える影響はそれぞれ4.66%、9.54%、5.62%、8.94%であることが分かった。

(2) 降雨時・水質濃度の経時変化

図-5に降雨時における降雨量、潮位、流量、水質濃度の経時変化を示す。

流量に着目すると、1:00から、上げ潮時にも関わらず、降雨量の増加によりB、C地点の流量が急激に増加し、4:00に最大流量(約7.4 m³/s)になった。その後、降雨量の減少による流量も減少した。A地点において、4:00前に、B地点における流量の増加による影響を受け、神田

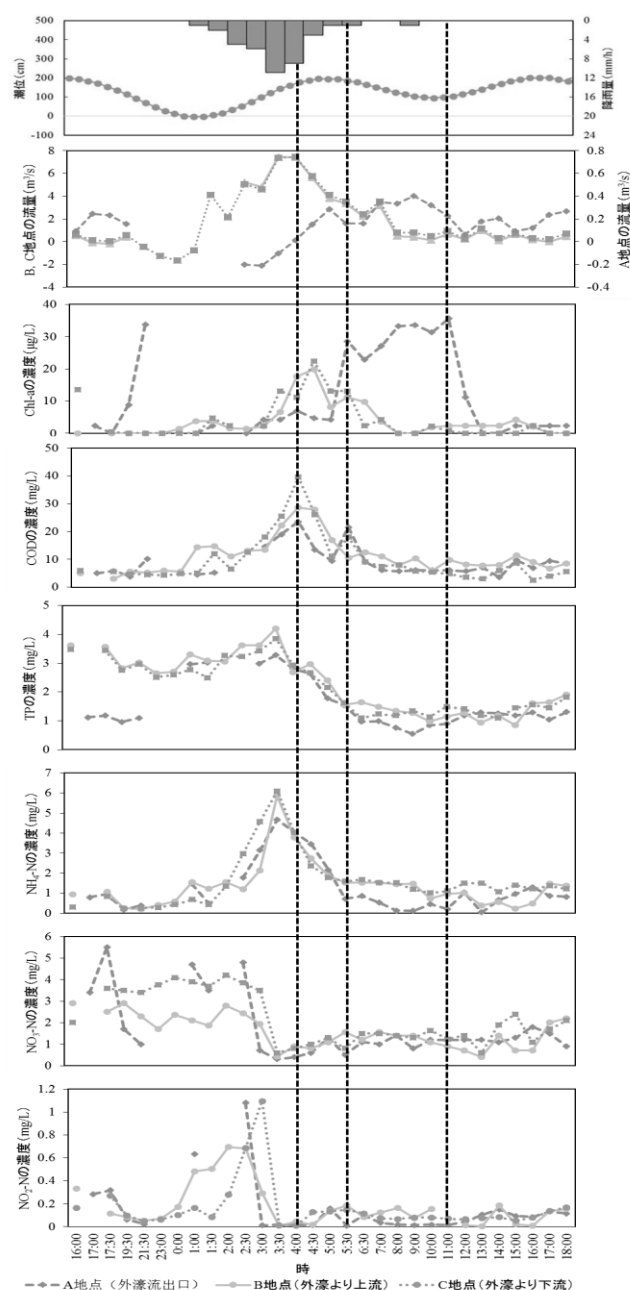


図-5 降雨時における降雨量、潮位、流量及び水質濃度の経時変化

川の水がA地点に流入した。4:00から、神田川に流れ始め、9:00に最大流量(約0.4 m³/s)になった。

Chl-aの濃度について、4:00から5:30まで、A地点におけるChl-aの濃度が低い。原因として考えられるのは、この間に外濠に流出した水が4:00前に神田川へ流入したことが推察される。5:30~11:00に、A地点におけるChl-aが高い濃度で維持され、外濠の水が流出し始めたことが分かった。11:00以降、Chl-aの濃度が急激に減少し、外濠におけるChl-aがほぼ流出したことが分かった。他の水質項目に関しては、5:30~18:00に、外濠から神田川(C地

点)の約0.6~3倍の濃度のCOD, 約0.4~1.1倍の濃度のTP, 約0.1~1.1倍の濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$, 約0.4~2倍の濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ と約0.06~1.8倍の濃度の $\text{NO}_2\text{-N}$ が流出した。

流出量に関して, 外濠の水が流出し始めた時(5:30), A地点の流量がC地点の約5%を占めた。A地点が最大流量になった時(9:00), C地点の約50%を占めた。5:30~18:00に, 総流量の比率は約20%であり, 平水時(約6%)により著しく高いことが分かった。従って, 流量について, 降雨時における外濠からの流出水が神田川に与える影響が平水時より大きいことが分かった。

総負荷量流出率については, 外濠からの流出が確認された5:30~18:00に, COD, TP, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ の総負荷量流出率はそれぞれ約23%, 18%, 9%, 20%, 16%であることが分かった。

4. まとめ

本研究では外濠流出口及び上下流地点の神田川を対象として, 降雨時と平水時における流量及び各水質項目の集中観測を行った。各水質項目及び流量の経時変化を考察し, 総負荷量流出率を算出した。以上のことから得られた知見を以下に示す。

(1) Chl-a は, 平水時では下げ潮開始4時間後, 外濠から神田川に約6~10倍の濃度の Chl-a が流出することが分かり, 降雨時では, 神田川流量の逡減時に約15~30倍の濃度の Chl-a が流出することが分かった。つまり,

平水時及び降雨時ともに神田川の水質に影響があることが分かった。よって, 外濠におけるアオコの改善対策は神田川にとっても重要である。

(2) 総負荷量流出率によりTP, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ は, 平水時では神田川の水質への影響がそれぞれ4.66%, 9.54%, 5.62%, 8.94%であることが分かり, 降雨時では, それぞれ18%, 9%, 20%, 16%であることが分かった。また, 降雨時では, CODに関して外濠から神田川の水質に与える影響が23%であることが分かった。

(3) TP, $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ に関して平水時と比較すると, 降雨時に約2~4倍の総負荷量流出率であったことから, 外濠に流入した下水未処理水が神田川の水質に影響していることが考えられる。

参考文献

- 1) 呉修一, 北村知里, 江花亮, 山田正: 小流域における水質ハイドログラフの形成過程および推定手法に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.50, pp.~, 2006
- 2) 呉修一, 北村知里, 江花亮, 山田正: 小流域における水質ハイドログラフの形成過程に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.49, pp.157-162, 2005
- 3) 東京都建設局: 神田川流域河川整備計画(変更原案), 2015年5月。
- 4) 東京都環境局観測結果を使用: 平成12年の公共用水域水質調査結果