

# 江戸城外濠からの流出水が神田川の水質に与える影響に関する研究

## A study on the influent of water quality of effluent from Edo castle outer moat in Kanda river

16N3100022I ジュアンポップシン チョンニカーン (山田研究室)  
Juengpobsin Chonnikarn/ YamadaLab.

**Key Words :** Edo Castle Outer Moats, Kanda River, Nihonbashi River, Water quality

### 1. はじめに

世界各地の都市域を流れる河川は、治水・利水目的に加え人々の憩いの場やシンボルとして存在してきた。東京の中心を流れる神田川や日本橋川の沿川には、多くの歴史・文化遺産や伝統行事があり、歴史的にも文化的にも重要な場所である。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、水質汚染や悪臭が引き起こされ問題となっている。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<sup>1)・2)・3)</sup>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した。また、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<sup>4)</sup>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、潮位変動による塩分変化などを報告した。神田川に流入する江戸城外濠においても柿沼ら<sup>5)</sup>は降雨時の出水時における現地観測から高濃度の栄養塩類の汚濁水が外濠に流入することを報告している。

著者らは、2016年10月14日平水時および降水時における神田川の流量及び各水質項目の集中観測を行い、外濠から神田川へ平水時に約6-10倍、降雨時に約15-30倍高いChl-a濃度が流出していることが分かった。また、各水質項目の外濠から神田川への総負荷量流出率はTP(全リン)、NH<sub>4</sub>-N(アンモニア態窒素)、NO<sub>2</sub>-N(硝酸態窒素)はそれぞれ平水時に4.7%、9.5%、8.5%、降雨時に18%、9%、16%であることが分かった。しかし、昨年の観測は10月に実施したため、夏場に増殖するアオコは減小傾向であり、Chl-a濃度が十分に分析できていない。そこで本研究は、外濠からの流出水が神田川の水質におよぼす影響を定量的に把握することを目的とし、アオコの発生がピークに達する夏場における現地観測

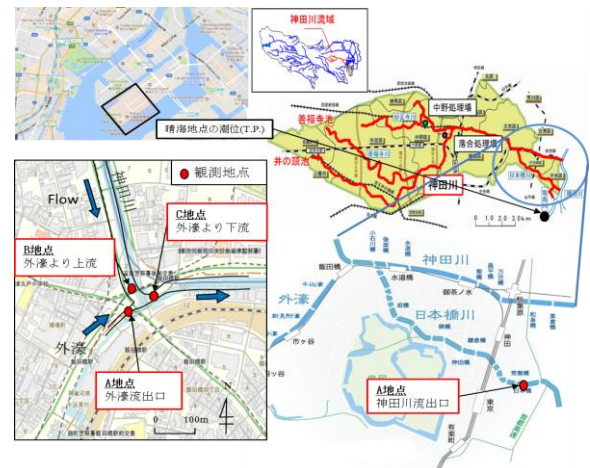


図-1 神田川・日本橋川の観測地点と晴海地点の潮位

及び得られたデータを基に水質シミュレーションを行った。

### 2. 研究概要・手法

#### (1) 研究対象・観測地点

図-1に神田川・日本橋川における観測地点を示す。神田川は荒川水系の支流であり、三鷹市の井の頭池から東へ流れ隅田川に合流する。流路総延長24.6km、流域面積105.0 km<sup>2</sup>を持つ一級河川である。神田川は上流からの流水の約8割が下水処理場からの放流水であり、出水時には下水の未処理水が流入することが著者らにより確認されている。外濠の表面積は77900 m<sup>2</sup>、平均水深は1.2 mである。日本橋川は神田川の支流であり、東京都の中心地を流れる流路総延長 4.8km の 1 級河川である。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)、神田川から日本橋への地点 (日本橋地点) の合計4地点である。

#### (2) 観測期間

図-2に観測日時及び期間を示す。平水時の観測を行うために観測日は降雨の影響がない日時を選定し、2017年8月22日10:00 から23日12:00の計26時間にわたり流量及び水質観測を行った。

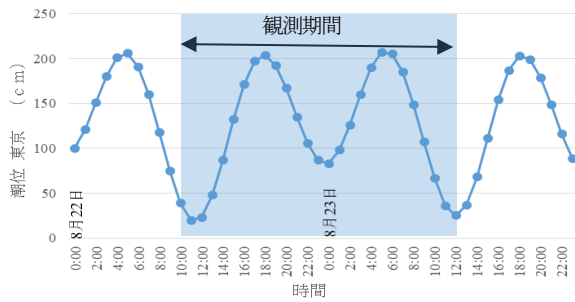


図-2 観測期間における潮位 (晴海地点)

### (3) 観測内容・方法

流量観測については、A地点及びB地点にストリームプロADCIPを用いて流速・断面形を測り、得られた断面流速から流量を算出した。C地点の流量については、A地点の流量とB地点の流量を足すことにより算出した。

水質項目については1時間ごとに各地点においてバケツを用いて表層の水を採水し、速やかに研究室に持ち帰り室内分析を行った。現地観測項目はpH（水素イオン指数）、ORP（酸化還元電位）、EC（塩分濃度）であり、室内分析はBOD、TP、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、Chl-aを測定した。

## 3. 観測結果

### (1) 水質濃度の経時変化

図-3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。2017年8月22日14:00~17:00と2017年8月23日2:00~4:00（青枠）の晴海地点における潮位とA地点のChl-a濃度は増加しその時間は神田川の値と近似していることから、上げ潮時に神田川から逆流して外濠に流入したことが考えられる。また、2017年8月22日17:00~20:00も外濠と神田川のChl-a濃度は近似していることから、下げ潮開始から約3時間後（干潮に近づいた時）に、外濠の水が神田川へ流出したことが考えられる。この時、A地点のChl-a濃度が最も高い757 μg/L値を示した。

今回の観測期間中、外濠からの流出水濃度においてピーク値Chl-a:1401 μg/L、TP:2.42mg/L、NH<sub>4</sub>-N:1.07mg/L、NO<sub>2</sub>-N:0.975mg/Lであった。合流前のB地点の濃度と比較すると、Chl-a:16倍、TP:0.8倍、NH<sub>4</sub>-N:0.67倍、NO<sub>2</sub>-N:0.73倍であった。よって、平水時において外濠からの流出水により神田川へのChl-aへの影響が大きいことがわかる（表-1）。図-4に観測時における外濠と神田川の合流地点及び合流後のC地点の写真を示す。高濃度のアオコを含んだ水が神田川に流れていることが良くわかる。また、観測時に水面付近に寄るとカビ臭のような悪臭の発生を確認した。

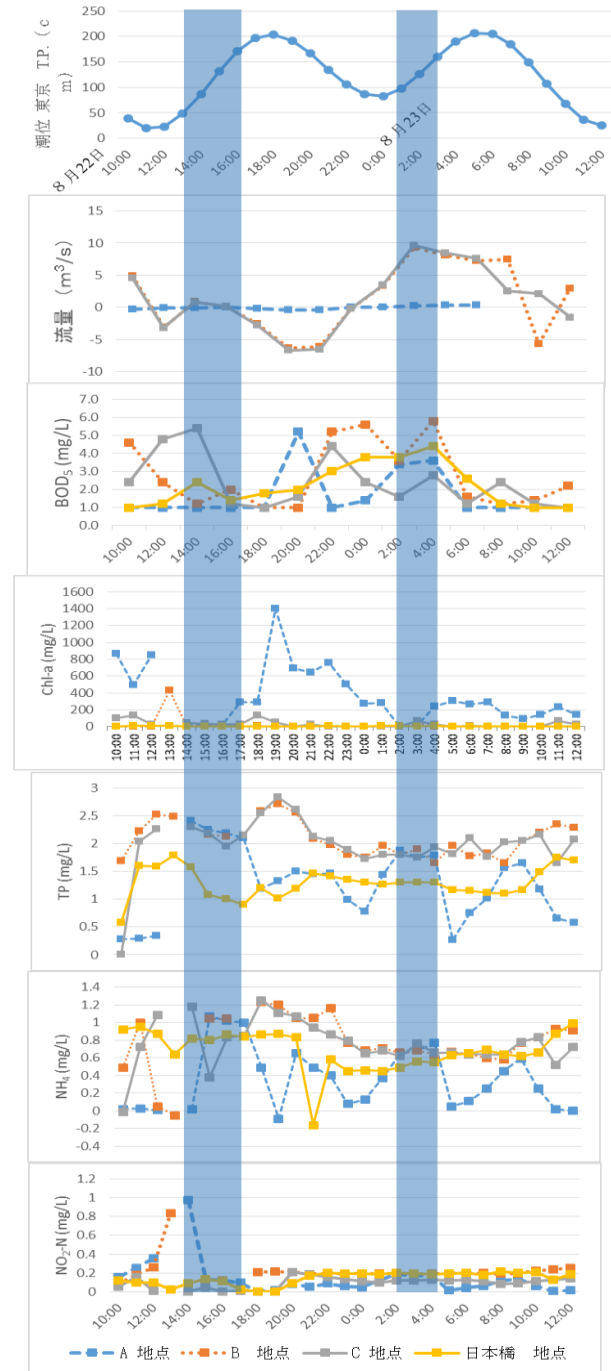


図-3 平水時における潮位、流量及び水質濃度の経時変化（上から、流量、BOD、Chl-a、TP、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N）

### (2) 総負荷量流出率

流量について、今回の観測期間中、外濠から神田川への総流量 128,174m<sup>3</sup>の水が流出し、神田川の流量に対する比率は約28.5%であることが分かった。以上の水質及び流量の観測結果から、総負荷量流出率を算出する。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て算出する。ここでは、下記の式で示すようにA地点（外濠）の総負荷量をC地点

(外濠より下流の神田川) の総負荷量で除したものを総負荷量流出率と定義した。

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

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

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

表-2に各栄養塩類の総負荷量流出率は、TPは11.4%、NH<sub>4</sub>-Nは4.7%、NO<sub>2</sub>-Nは57.6%の影響があることが分かった。Chl-aに関しては、アオコは鉛直方向に移動する種であり、負荷量としては考えないため議論はしない。

#### (4) 秋季観測結果との比較

ここでは、去年の冬季における観測結果と比較し、季節変化を考察する。神田川において外濠から流入する夏季のChl-a濃度は、秋季のChl-a濃度の約6倍（B地点12倍、C地点4.4倍）高い値であることが分かった。また、他の水質項目においてもTP0.6倍、NH<sub>4</sub>-N2.6倍、NO<sub>2</sub>-Nは約2倍高い値を示した。以上より、神田川における夏季のChl-a、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N濃度は秋季の値より高く、秋季のTPは夏季の値より高いということが分かった。夏季におけるChl-a濃度の上昇は水温上昇によるアオコの増加に起因するものと考えられる。しかし、他の水質項目において増加していたことから、降雨量の変化や下水処理場からの放流水を考慮した水質改善対策が必要と言える。

### 4. 水質シミュレーション

本章では、現地観測により得られた結果から、生態系モデルを用いた水質シミュレーションを行う。数値計算の第一歩として、外濠からの流出水により下流の日本橋地点の水質への影響を計算し評価する。

#### (1) 物質循環モデルの概要

図-5に湖沼内の各物質の移動経路を示す。本研究では、変数として、生物学的酸素要求量（BOD）、溶存酸素濃度（DO）、植物プランクトン量（Chl-a）、アンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）、亜硝酸態窒素（NO<sub>2</sub>-N）、亜硝酸態窒素（NO<sub>3</sub>-N）、リン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P）を使用した。計算領域は隅田川（0～40K.P.）・神田川（0～40 K.P.）・日本橋川（0～10 K.P.）・妙正寺川（0～26 K.P.）・江古田川（0～27 K.P.）・善福寺川（0～24 K.P.）で行っている。

#### (2) 境界条件及び初期条件

上流端及び中野・落合下水処理センターにおける流量は東京都環境局における調査結果を用いて一定流量を



図-4 外濠から神田川へ流出するアオコの様子

表-1 外濠におけるクロロフィルa濃度 (2017年8月22日以降) .

日付	時	A地点	B地点	C地点	日本橋地点
8月22日	14:00	32.592	0	39.836	0
	15:00	27.936	25.196	34.776	0.804
	16:00	16.708	17.12	23.692	0
	17:00	287.624	0	23.692	0
	18:00	289.932	10.136	137.476	0
	19:00	1401.328	5.892	54.636	0
8月23日	20:00	694.72	2.74	0	0
	2:00	0	0	5.48	10.136
	3:00	19.036	46.148	68.172	4.656
	4:00	242.712	1.236	27.936	8.94

表-2 平水時にTP、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-Nの負荷量及び負荷量流出率.

水質項目	A地点の負荷量	C地点の負荷量	負荷量流出率 (%)
Chl-a	45682.732	12211.976	3.740814079
TP	111815.532	978312.636	11.42942735
NH <sub>4</sub>	17387.784	374881.896	4.638203174
NO <sub>2</sub>	22602.9204	39233.0646	57.61191645

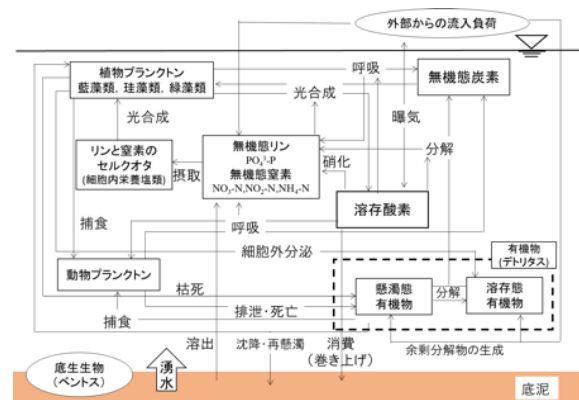


図-5 湖沼内の各物質の移動経路

与えている。下流端には、晴海地点の1時間潮位データを使用した。各水質項目においては、東京都環境局による公共用水域水質測定結果を用いた。外濠からの流出水には、2017年8月22日-23日における平水時流量水質観測結果を与えたケース1と与えないケース2を計算し

比較を行った。

### (3) 数値計算結果

図-6にC地点および日本橋地点における数値計算結果及び潮位（晴海地点）を示す。ここでは現地観測で特に神田川に影響のある水質項目であるChl-a、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pを議論する。Chl-aにおいて、C地点において1度目の濃度上昇時では、約8時間後に日本橋地点に到達し約11時間後に日本橋地点でピークが確認できた。濃度はC地点より約6割減少していた。また、2度目の濃度上昇時では、約2時間後に日本橋地点でピークが見られた。濃度はC地点より約2割減少していた。濃度上昇時間の差異について、初期濃度上昇時におけるC地点の流速7cm/sであり、約2時間後には流速が0に近い値となっている。一方で、2度目の濃度上昇時では流速が約13cm/sあり、約3時間後には流速が0に近い値となっていることから、潮位のタイミングにより下流に流れ着く濃度が大きく変わることが分かった。他の水質項目に関して、NH<sub>4</sub>-NはChl-aと同様の濃度変動が見られた。PO<sub>4</sub>-Pに関しては、日本橋地点における濃度上昇時間は他の項目と一致していたが、濃度の大きな変化は見られなかった。以上の結果から、平水時においては潮位のタイミング及び流速が神田川から日本橋地点への到達時間に影響していることがわかった。また、外濠のChl-aが日本橋川および神田川に及ぼす影響を定量的に評価することができた。

## 5. まとめ

外濠からの流出水が下流の神田川・日本橋川の水質に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とし、夏季の平水時における現地観測及び数値計算により得られた本研究結果を以下に示す。

- (1) 夏季における外濠から神田川へ流出するChl-a濃度は神田川の約16倍高い濃度の水が流出することがわかった。よって、外濠におけるアオコの改善対策は神田川の水質にとっても重要であることいえる。
- (2) 各栄養塩類の神田川への総負荷量流出率はそれぞれTP:11.4%、NH<sub>4</sub>-N:4.7%、NO<sub>2</sub>-N:57.6%であることがわかった。つまり、外濠における合流式下水道からの越流水の対策をはじめとする水質改善対策は、神田川で問題となっている高栄養塩類濃度の改善につながる事が分かった。
- (3) 夏季と秋季の平水時における外濠から神田川への負荷量を比較すると、Chl-a濃度に関しては秋季より夏季の方が約6倍高く、総負荷量流出率に関しても秋季より夏季の方がNH<sub>4</sub>-N:2.6倍、NO<sub>2</sub>-N:2倍高い値を示し、TPは0.6倍低い値を示した。この結果から、水質改善対

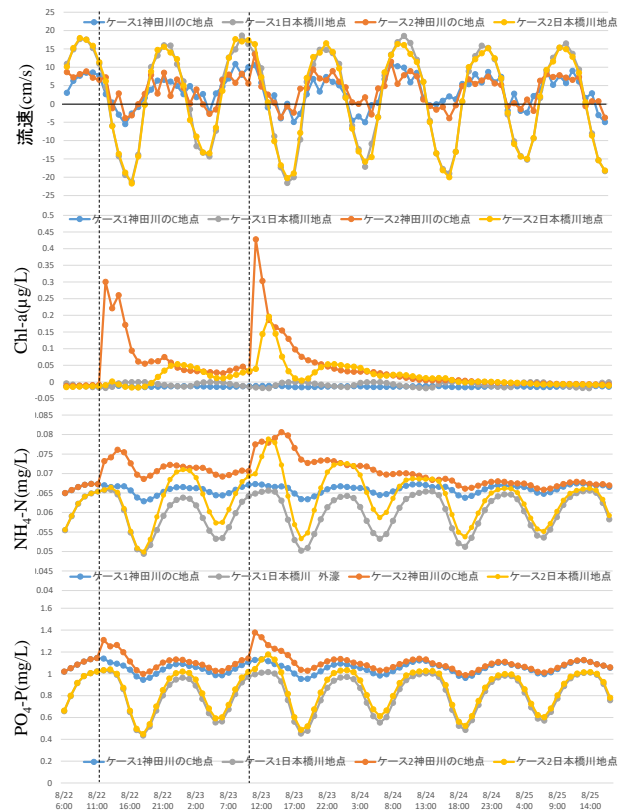


図-6 数値計算結果（上からC地点および日本橋地点における流速、Chl-a、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P）

策を提案するうえで、水質項目によって季節変動を考慮した対策が必要であることが示唆される。

- (4) 数値解析により、平水時における外濠からの流出水の影響は、潮位に大きく依存することが分かった。日本橋川・神田川の水質改善に向けて、生態系モデルの精度向上及び降雨時における影響を調査し、改善対策を提案していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 呉修一，山田正：単一斜面における水質ハイドログラフ形成過程に関する研究，土木学会水工学論文集，Vol.48，pp.55-60,2004.
- 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) 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.
- 4) 川村理史，岡部真人，山田正：都市河川感潮域における水質・流動特性に関する研究，中央大学理工学研究所論文集，14号，pp.73-83,2008.
- 5) 柿沼太貴，山田正：江戸城外濠における出水時の水質変化とその評価，第24回地球環境シンポジウム講演集，pp49-51，2016.