

出水時の流入河川水質が湖沼内水質環境に与える影響

中央大学大学院	学生員	○越田 翔子
中央大学大学院	学生員	呉 修一
中央大学大学院	学生員	本永 良樹
中央大学理工学部	フェロー会員	山田 正

1. はじめに

千葉県の北部に位置する印旛沼(11.55 km²)へ流入する河川水質はCOD・窒素・リン濃度でみると昭和60年以降徐々に低下している。しかし、市街地・農地等から発生する汚濁負荷はいずれも年々横這い、または増加している。原因として降雨に伴う田畑や道路からの肥料や粉塵の巻き上げなどの面源を起源とする負荷物質の流入が考えられる。著者らは出水時の流入河川水質が印旛沼の水質環境に与える影響の定量的な評価を行うことを目的として、各流入河川の水質ハイドログラフ形態の違いが印旛沼の水質に与える影響を検討した。

2. 印旛沼流域の概要

印旛沼は総流域面積が約541.1km²あり、印旛沼の水は上水道水源・農業用水・工業用水として利用されている。印旛沼は西沼と北沼に別れており、捷水路で繋がっている。西沼へ流入する主な河川は鹿島川(流域面積153.6km²)、高崎川(流域面積84.2km²)、手繰川(流域面積30.8km²)、神崎川(流域面積52.8km²)、桑納川(流域面積24.7km²)、師戸川(流域面積14.0km²)であり、北沼へは江川(流域面積12.8km²)が流入している。また、利根川と北沼を結ぶ長門川があり、平水時は印旛沼の水位が利根川より高く自然流下し長門川を通り利根川に放水するが、渇水等で印旛沼が維持管理水位を下回った場合は利水用の水を確保するために利根川から長門川を通し酒直揚水機場で利根川の水を汲み上げ、印旛沼へ取水する。

3. 2次元不定流解析および水質解析について

3-1. 領域概要

実測データに基づき印旛沼の形状を地形データとして与え、標高は平水時の水面を0m、湖沼の最深部を-2.37m、また実際に河道や湖沼でないところは氾濫しないように十分高い値を与えた。境界条件として印旛沼に4河川が直接流入、1河川が流出入すると定義する。また、上水道・農業用水・工業用水の取水口合わせて16箇所から常に一定量の取水を行っているとして定義する。Manningの粗度係数は $n=0.03s/m^{1/3}$ とする。本研究で考慮した水質項目はBOD・溶存酸素・クロロフィル-a(Chl-a)・アンモニア態窒素(NH₄-N)・亜硝酸態窒素(NO₂-N)・硝酸態窒素(NO₃-N)・リン酸塩(PO₄-P)である。気象条件として気象庁公表の千葉県佐倉気象観測所で観測された気温データを用いた。

3-2. 解析手法及び計算条件

連続式(1)及び x, y 方向の2次元不定流式(2)、(3)を水位及び x, y 方向の単位幅流量について差分し、陰解法を用いた。計算条件は、時間差分間隔 $\Delta t = 30s$ 、空間差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 50m$ のメッシュとした。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) + gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \quad (2)$$

キーワード：水質ハイドログラフ、2次元不定流計算、

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL:03-3817-1805 E-mail:koshida_s@civil.chuo-u.ac.jp

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{\frac{7}{3}}} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] = 0 \quad (3)$$

$h(x, y, t)$: 水深(m), $H(x, y, t)$: 水位(m), $M, N(x, y, t)$: x, y 方向単位幅流量($m^3/s/m$), g : 重力加速度(m/s^2), Manningの粗度係数, ρ_w : 水の密度(kg/m^3) $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: 有効剪断応力

水質計算には水質計算基礎方程式(4)を用いた。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + P_c = 0 \quad (4)$$

c : 水質計算関数, u, v, w : x, y, z 方向流速成分, D_x, D_y, D_z : x, y, z 方向分散係数, S_c : 湧き出し, 沈降, P_c : 水質計算項目

3-3. 初期条件及び境界条件

初期条件として, 水質項目はBOD・溶存酸素・クロロフィル-a(Chl-a)・アンモニア態窒素(NH_4-N)・亜硝酸態窒素(NO_2-N)・硝酸態窒素(NO_3-N)・リン酸塩(PO_4-P)をそれぞれ2001年度の実測値の平均を与えた。境界条件として, 2005年1月1日から12月31日までの1時間毎の実測の流量を与え, ケース1では実測流量に比例した水質ハイドログラフを与えケース2ではケース1で与えた水質ハイドログラフを平均したものを一定値で与えた。[図1], [図2], [図3], [図4]はそれぞれ江川, 桑納・神崎川, 鹿島・高崎川, 手繰川におけるBOD濃度・溶存酸素濃度・アンモニア態窒素(NH_4-N)濃度・亜硝酸態窒素(NO_2-N)濃度・硝酸態窒素(NO_3-N)濃度・リン酸塩(PO_4-P)濃度とその平均濃度の比較を示す。但し, クロロフィル-a濃度は一定値として0.03mg/lを与えた。

4. 結果

4-1. 流況

平水時は流入河川付近以外で流動は、長門川から北沼へ入り捷水路を通して西沼へ向かう流れがわずかにあ

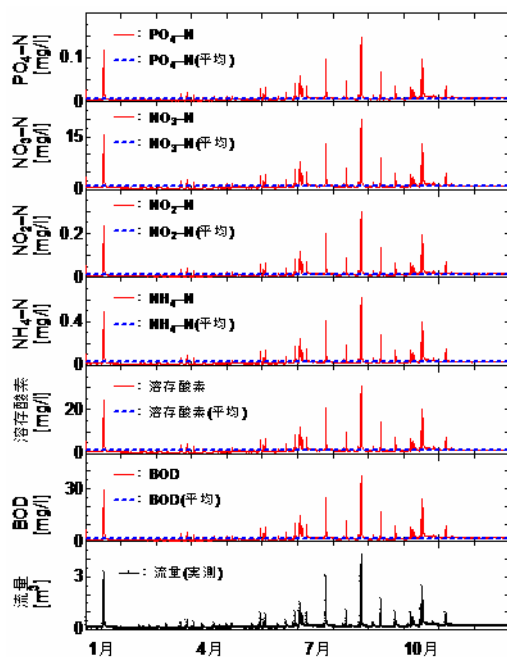


図-1 江川における各種計算濃度
と各種計算濃度(平均)の比較

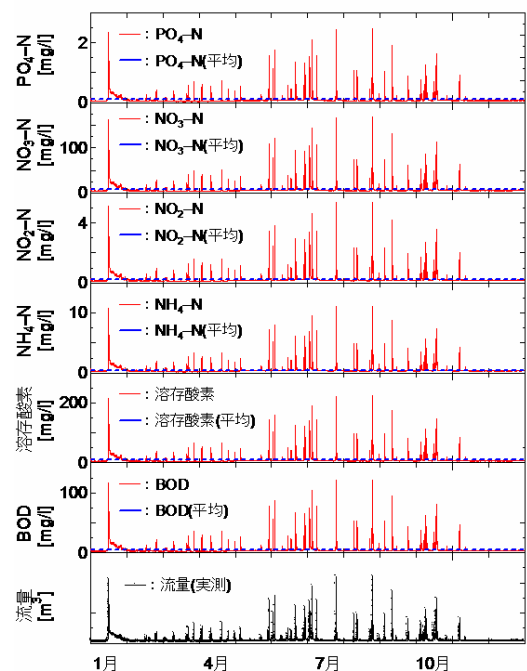


図-2 桑納・神崎川における各種計算濃度
と各種計算濃度(平均)の比較

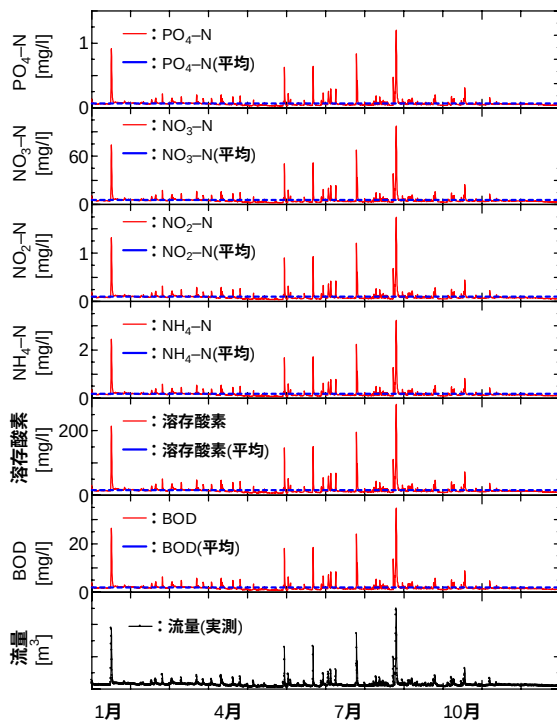


図-3 鹿島・高崎川における各種計算濃度
と各種計算濃度(平均)の比較

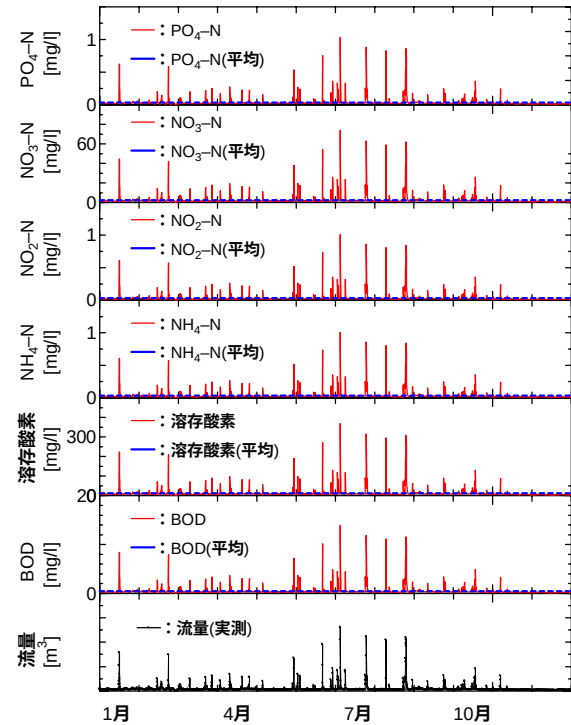


図-4 手繰川における各種計算濃度
と各種計算濃度(平均)の比較

る。出水時に流入河川からの流量が増加すると平水時とは逆に、西沼から北沼へ流れ、長門川へ向かう流れが見られた。

4-2. 水質

【図 5】に実測流量に比例した BOD 濃度と一定値の BOD 濃度(平均)を与えた場合の北沼(中心部)・西沼(中心部)・上水道取水口下における水質ハイドログラフの比較を示す。実測流量に比例した BOD 濃度を各流入河川に与えた場合、流量上昇時に印旛沼の BOD 濃度も上昇するが、BOD 濃度を平均で与えた場合には、流量上昇時にも水質ハイドログラフを与えた場合に比べ濃度が上がらない。地点ごとに見ると、北沼での BOD 濃度は他の 2 地点に比べて低く、流入河川からの影響をあまり受けていない。渇水時に流入してくる長門川の水質が他の河川水質に比べ低酢、流量が多くないためと考えられる。西沼は他の 2 地点に比べ BOD 濃度が高い。これは鹿島・高崎川からの流入河川水質の影響を強く受けている。上水道取水口下の BOD 濃度は西沼と水質ハイドログラフの形態は似ているものの、流入河川から離れているため濃度の絶対値はピーク時で西沼の約半分程度である。

【図 6】に実測流量に比例した硝酸態窒素濃度と一定値の硝酸態窒素濃度(平均)を与えた場合の北沼(中心部)・西沼(中心部)・上水道取水口下における水質ハイドログラフの比較を示す。地点ごとに見ると、北沼の硝酸態窒素濃度は流入河川からの影響をあまり受けていない。これは、西沼に流入する河川の影響を受けないためと考えられる。北沼は渇水時に流入してくる長門川の水質の影響を強く受けている。西沼は北沼、上水道取水口下の 2 地点に比べ硝酸態窒素濃度が高い。これは近くで流入している鹿島・高崎川からの流入河川水質の影響を受けている。上水道取水口下の硝酸態窒素濃度は西沼と水質ハイドログラフの形態は似ているものの、流入河川から離れているため濃度の絶対値はピーク時で西沼の約 2/3 程度である。

【図 7】に実測流量に比例したリン酸塩濃度と一定値のリン酸塩濃度(平均)を与えた場合の北沼(中心部)・西沼(中心部)・上水道取水口下における水質ハイドログラフの比較を示す。リン酸塩濃度の水質ハイドログラフを与えた場合は流量上昇時にリン酸塩濃度も上昇するが、リン酸塩濃度を平均で与えた場合には、流量上昇時

にも水質ハイドログラフを与えた場合に比べ濃度が上がらない、地点ごとに見ると、北沼のリン酸塩濃度は流入河川からの影響をあまり受けていない。これは、西沼に流入する河川の影響を受けないためと考えられる。北沼は渇水時に流入してくる長門川の水質の影響を強く受けている。リン酸塩は3地点を場所の違いによる差は見られない。

5. まとめ

印旛沼の水質変化に流入河川からの水質が与える影響は大きく、流入河川からの距離に比例して影響が強くなるということがわかった。降雨時に流入河川からの影響を多く受けるのは流入河川の多い西沼であり、北沼は渇水時に流入する長門川の影響を強く受ける。本研究を通して、実測流量に比例した各物質濃度と一定値の各物質酸塩濃度(平均)を与えた場合で出水時の印旛沼の水質に違いが現れることがわかった、流入河川水質が印旛沼の水質に与える影響を解明するためには、平水時の水質濃度と共に出水時の水質ハイドログラフ形態の解明が重要になってくることを示した。

謝辞

本研究の遂行に際し、独立行政法人水資源機構、千葉県県土整備部より貴重なデータを提供して頂いた。ここに謝意を述べる。

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, 劉金双, 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, 2006.

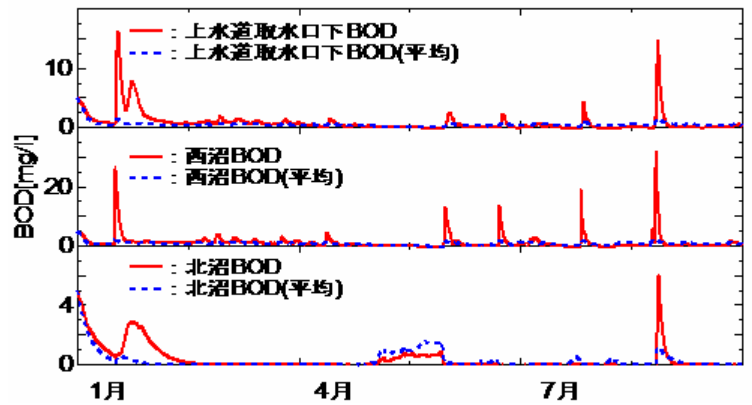


図-5 北沼・西沼・上水道取水口下における BOD 濃度と BOD 濃度(平均)の比較

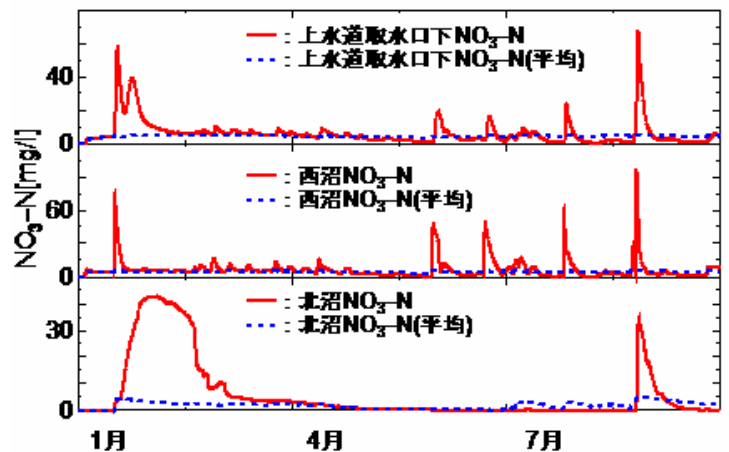


図-6 北沼・西沼・上水道取水口下における硝酸態窒素濃度と硝酸態窒素濃度(平均)の比較

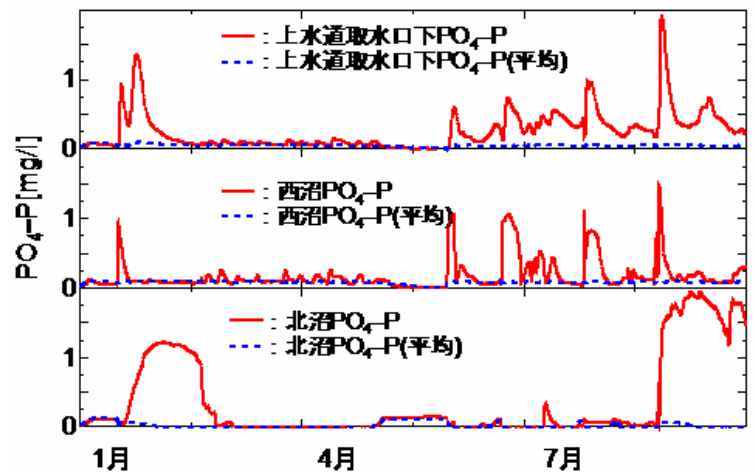


図-7 北沼・西沼・上水道取水口下におけるリン酸塩濃度とリン酸塩濃度(平均)の比較