

栄養塩比と代謝からみた下水処理排水が付着藻類と水生昆虫に与える影響

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 正会員 ○中城 由佳里

信州大学理学部 宮原 裕一

信州大学繊維学部 平林 公男

1. 背景と目的

下水道普及率は79.9%（令和元年度）となり、下水道の普及に伴い多量の下水処理排水が公共の流域に放流されている。下水処理排水には有機物や無機化された栄養塩が含まれ、水域の富栄養化を促す。また、下水処理の過程で塩素処理が行われるため、残留塩素による河川生態系への影響も危惧される。河川生態系は、一次生産者の付着藻、付着藻を捕食する水生昆虫、水生昆虫を捕食する小型の魚類、小型の魚類を捕食する大型の魚類から構成されている（図1）。付着藻類や水生昆虫に関する研究は、流速など物理的要因や水中の栄養塩量など化学的要因から、各々の生物相や生物量を論じたものが主である。そこで今回、上田終末処理場の排水が放流されている千曲川中流部において、付着藻類と水生昆虫の「栄養塩類（C:N:P:Si比）」と付着藻類の「生態系代謝（光合成・呼吸速度）」を調査し、下水処理排水中の栄養塩や残留塩素が付着藻類と水生昆虫の関係にどのような影響を及ぼすのか評価した。

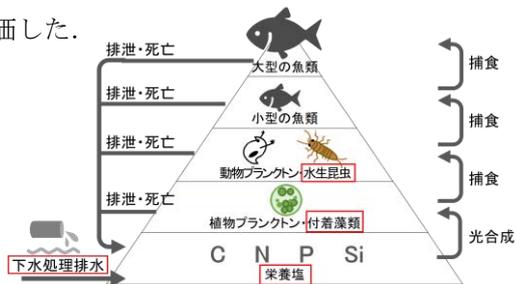


図1 河川生態系の概略図

引用：JAMSTEC, 大気汚染物質のPM2.5の窒素成分が、海の植物プランクトンを増大,
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/quest/20180629/02.html より加筆

2. 実験方法

2-1 試料採取

2017年9月から2018年12月にかけて、千曲川中流部（長野県上田市）で河川水と河床の付着物を採取した。上田終末処理場（標準活性汚泥法で処理、現在の処理能力は平均28,200 m³/日、処理人口は約6万人）からの下水処理排水が流入している場所、その上流に

キーワード 下水 付着藻 水生昆虫 栄養塩 代謝
 連絡先 〒135-0016 東京都江東区東陽3-22-6 東陽町 AXIS ビル 基礎地盤コンサルタンツ株式会社
 TEL.03-5632-6807 FAX.03-5632-6817

位置する常田、下流に位置する下塩尻の3箇所を試料を採取した（図2）。水生昆虫は常田と下塩尻で2016年、2017年、2018年の4月～9月にかけて採取した。



図2 千曲川における試料採取地点

2-2 下水処理排水が栄養塩に与える影響

河川水は溶存態有機炭素(DOC), 溶存態全窒素(DTN), 溶存態無機窒素(アンモニア態窒素: $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 硝酸態窒素: $\text{NO}_3\text{-N}$), 溶存態全リン(DTP), 溶存態ケイ素(DSi)を測定した。採取した付着物からは、単位面積あたりの乾燥重量、強熱減量、クロロフィルa(Chl.a)量、炭素・窒素・リン・ケイ素量を求めた。水生昆虫は、炭素・窒素・リン量を求めた。炭素・窒素・リン量を求める際に使用した水生昆虫のサンプル数は、常田で8個体、下塩尻で2個体であった。

2-3 下水処理排水が付着藻類の代謝に与える影響

下水処理排水の影響が少ない常田と下水処理排水の影響が大きい下塩尻の水と付着藻類を組み合わせで培養し、培養時の酸素濃度の変化を観察した。この溶存酸素濃度の変化から純生産速度と呼吸速度を求めた。さらに、培養実験の結果から、下水処理排水の影響が大きい箇所の付着物中に硝化細菌が生息している可能性が示唆されたため、硝化細菌数の計測を行った。

3. 結果と考察

3-1 下水処理排水が栄養塩に与える影響

3-1-1 下水処理排水が付着藻類の栄養塩に与える影響

下塩尻の C/P 比は、常田の C/P 比よりも約 2 倍高かった(図 3)。河川を含む淡水生態系では、付着藻類の C:N:P 比は、水中の溶存態窒素・溶存態リンなどの栄養塩量や光合成活性などにより大きく変化する。特に C/P 比は付着藻類を餌とする水生昆虫にとって重要であり、C/P 比が高い、つまり炭素に比べてリンが不足した状態であると、その付着藻類は質の悪い餌となる(Sterner 他,2002)。よって、下水処理排水は付着藻類の餌としての質を低下させると考えられた。

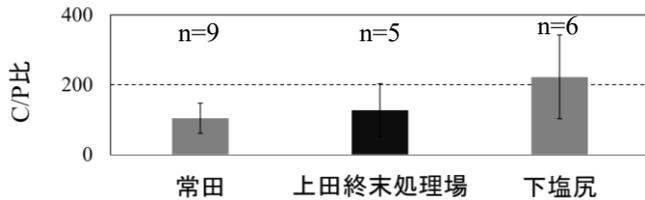


図 3 付着藻類の C/P 比 (平均値±標準偏差)

3-1-2 下水処理排水が水生昆虫の栄養塩に与える影響

常田と下塩尻の水生昆虫の C/P 比は、ほぼ同じ値であった。この結果から、下水処理排水が流れ込むかどうかに関わらず、水生昆虫の体内 C/P 比は一定に保たれると考えられた。今回の結果と 3-1-1 の結果を合わせると、下塩尻の水生昆虫は常田の水生昆虫よりもリン制限下にあることが示唆された。

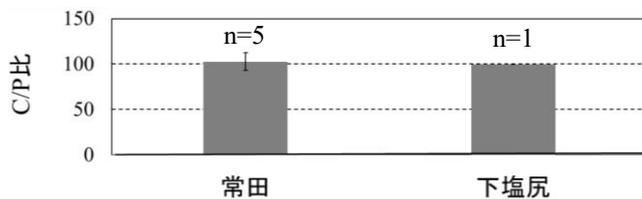


図 4 水生昆虫の C/P 比 (平均値±標準偏差)

3-3 下水処理排水が付着藻類の代謝に与える影響

3-3-1 光合成速度に及ぼす影響

常田と下塩尻の河川水と付着藻類を組み合わせ培養し、光合成速度を観察した。光合成速度は、藻類量(chl.a 量)あたりの最大純生産速度で評価した。組み合わせは表 1 のように行い、処理区 No.1~4 とした。

表 1 培養処理区

	No.1	No.2	No.3	No.4
水	常田	常田	下塩尻	下塩尻
付着藻	常田	下塩尻	常田	下塩尻

培養中は 4 段階の光を点灯・照射し、それを 2 回繰り返した。1 回目を前半、2 回目を後半とした。No.3 処理区のみ、後半に付着藻類の最大純生産速度が約 $2 \mu\text{g-O}_2/\mu\text{g-Chl.a/h}$ も大きく低下した(図 5)。

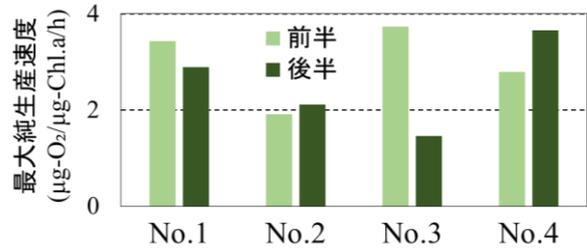


図 5 各処理区の最大純生産速度

他の処理区との比較から、No.3 処理区における最大純生産速度の低下は下塩尻の水質によるものと考えられた。下塩尻には下水処理排水が流れ込んでいることから、下水処理排水が下塩尻の付着藻類の最大純生産速度を低下させたと考えられた。

そこで、常田の付着藻類を用い、下水処理水の混合率を変え、同様な培養実験を行った。この実験から、下水処理排水の混合率が 40 %を超えると付着藻類の最大純生産速度が低下することが確認された。要因として、下水処理排水に含まれるアンモニアと次亜塩素酸から生成するモノクラミン(式 1)の影響が考えられた。



3-3-2 呼吸速度に及ぼす影響

常田と下塩尻の河川水と付着藻類を組み合わせ培養し、呼吸速度を観察した。呼吸速度は、藻類量あたりの呼吸速度で評価した。培養処理区は表 1 と同様とした。その結果、No.4 処理区の呼吸速度は、培養の前半後半ともに他処理区より高かった(図 6)。

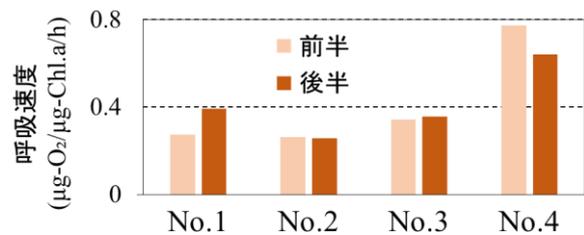


図 6 各処理区の呼吸速度

この原因として、下塩尻の付着物中に生息する硝化細菌の存在が示唆された。硝化細菌数(アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌)を計測したところ、のアンモニア酸化細菌は下塩尻で 2.4×10^4 MPN/mg 以上、常田で 9.2×10^3 MPN/mg であった。亜硝酸酸化細菌は下塩尻で 2.4×10^4 MPN/mg 以上、常田で 5.8×10^2 MPN/mg であった。よって、下水処理排水が流入する場所には硝化細菌が多く存在しており、硝化(式 2)の過程で酸素が消費されやすくなることが示唆された。硝化が活発に行われ溶存酸素濃度が低下すると、水生昆虫にとって住みにくい環境になると予想された。

