

〈研究発表〉

雨天時下水処理水による受水先への水質影響

樋上 正晃¹⁾, Marfiah bint Ab.Wahid¹⁾, 中田 典秀¹⁾, 山下 尚之¹⁾, 田中 宏明¹⁾

¹⁾京都大学大学院工学研究科 附属流域圏総合環境質研究センター (〒520-0811 大津市由美浜 1-2)

概要

雨天時に合流式下水処理場放流水による放流先への水質影響を把握するため、近畿地方の合流式下水処理場放流水とその放流先の湖、その下流の河川で水質調査を行った。下水処理場放流水では晴天時に比べて大腸菌およびアンモニア性窒素、全リンなどの大幅な濃度増加が見られた。下水道放流水の放流先の湖、河川では、流量増加による濃度減少が見られるものの、晴天時には検出されなかった大腸菌が検出され、下水処理場放流水の水質変動による影響が示唆された。

キーワード: 合流式下水処理場, 河川, 湖沼, 簡易処理

1. 合流式下水道について

1.1 合流式下水道の概要¹⁾²⁾

日本における近代下水道の開始は明治時代である。当時コレラが発生したため、水系伝染病対策を行なうこと、また雨天時に都市内への浸水対策を行なうことが必要であった。これらを踏まえて、汚水および雨水を1本の管渠で排除する下水道として合流式下水道が導入された。1本の管渠で済むため、雨水管と汚水管の2本を用いる分流式下水道に比べて短期間に低コストでかつ狭い道路スペースで整備することができ、下水道普及率向上に貢献してきた。また、雨天時には計画日最大汚水量の数倍を超えた場合には、その超えた分の下水は下水処理場に到達する前に管渠の途中に設けられた雨水吐から放流できる。

現在では、古くから下水道に着手した大都市を中心とした191都市で導入されており、総人口の30%をカバーしている。なお、昭和45年以降は下水道導入の目的に公共用水域の水質保全が加えられたために終末処理場の設置が必須となったため、原則分流式下水道(汚水と雨水が別の管渠で排除する下水道)で下水道整備が行なわれている。

1.2 合流式下水道の問題点¹⁾²⁾

下水処理場では通常の処理では最初沈殿池・生物反応槽・最終沈殿池・消毒槽を経て放流される。合流式下水道の場合、雨天時下水全量を生物処理するとなると、降雨時には流入水量が増加し、最初沈殿池では固液分離(沈殿処理)が不十分になる。また、生物反応槽では滞留時間が低下し、有機物が十分に分解されず、流量の増加により汚泥が流出して微生物濃度が低下して、処理能力が低下する。最終沈殿池では、流量の増加と生物反応槽から流出した汚泥の負荷が増大する影

響により固液分離が不十分になる。流入水量が増加して計画日最大汚水量を超えた場合、その超えた分の下水は最初沈殿池で処理された後、生物反応槽や最終沈殿池は経由せずバイパス流路を経由して直接消毒槽に流下し、公共用水域に放流されることになる。これを簡易処理という。また、雨水吐から放流される場合には、未処理のまま直接公共用水域に放流されることになる。また、合流式下水道では流量の問題だけでなく汚濁物質の流入負荷量の問題も生じる。雨天時初期には管渠内にたまった汚濁物が押し流されることによりその負荷量が多くなる。特に、降雨直後の短時間に下水処理場へ到達する高濃度の汚濁負荷(ファーストフラッシュ)は、下水処理が十分にされず高濃度のまま放流される問題が生じる。

まず、下水処理場において生物処理されずに公共用水域に放流されるために、晴天時に比べてSSやBODなどの水質が悪化している処理水が放流される。この結果、放流先の河川等の水質汚濁につながるようになる。また、窒素・リンといった栄養塩類が高濃度で流出することで、主に湖沼等の閉鎖性水域で富栄養化の問題が生じることになる。

次に、主に雨水吐からは管渠内にたまっていたオイルボールやごみ、濁水が直接放流されるために、景観上の問題が生じる。さらに、下水道特有のにおいがあるために、直接放流された場合は雨水吐周辺を中心に臭気の問題が生じる。

2. 目的

前述のように、雨天時においては流入水量増加に伴う合流式下水処理場での簡易処理によって放流先における水質汚濁、衛生上の問題などが考えられる。このため、今回の調査では簡易放流水によって放流先への

水質上、衛生上の影響について現状把握を行なった。

3. 分析方法

3.1 分析項目

分析項目は、栄養塩項目は全窒素 (T-N)、溶存性窒素 (DT-N)、アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸性窒素および硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$)、全リン (T-P)、溶存性リン (DT-P) である。また、浮遊物質 (SS) や病原性微生物の指標としての大腸菌、大腸菌群についても分析した。

3.2 分析方法³⁾

T-N、DT-N についてはアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウムによる酸化分解の後紫外線吸光度法を行なった。なお、DT-N については孔径 $1.0\ \mu\text{m}$ ガラス繊維ろ紙 (Whatman) を用いてあらかじめ懸濁成分を除去している。 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール青吸光度法を用いた。 $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ については、銅・カドミウムカラム還元—ナフチルエチレンジアミン吸光度法を用いた。T-P、DT-P については、ペルオキシ二硫酸カリウムによる酸化分解の後、モリブデン青吸光度法で分析した。なお、DT-P については孔径 $1.0\ \mu\text{m}$ ガラス繊維ろ紙 (Whatman) を用いてあらかじめ懸濁成分を除去している。SS については、孔径 $1.0\ \mu\text{m}$ ガラス繊維ろ紙 (Whatman) を用いて、ガラス繊維ろ紙法で分析した。大腸菌および大腸菌群は、平板培養法とメンブレンフィルター法により測定した。大腸菌測定用の培地には特定酵素基質寒天培地「ニッスイ」(日水製薬)を、大腸菌群用の培地にはデソキシコレート酸塩培地「ダイゴ」(日本製薬)を使用した。どちらの方法も 37°C で 20 ± 2 時間培養後、形成したコロニー数を計数し、CFU(Colony Forming Unit)/mL として濃度を求めた。また、降雨データは最寄の气象台のデータを利用し、放流水流量は下水処理場より提供していただいた。

3.3 採水地点

採水地点は、下水処理場放流水、放流先の湖、その湖から排出される唯一の河川の3箇所である。晴天時は大きな水質変動が見込まれないために4時間間隔で、雨天時については水質変動、特にファーストフラッシュや簡易放流による影響を評価するため2時間間隔で最大連続24時間にわたって採水を行なった。採水方法は、オートサンプラー (ISCO 社 6712 型) を用いた自動採水である。

4. 結果

4.1 放流水

(1) 放流水流量変化

まず、雨天時における放流水質の変動について述べる。この地点では、朝5時から翌日深夜2時にかけて、累計 21.5mm の降雨が確認された。このため、下水処理場において簡易放流が行なわれた。降雨量と放流水流量は以下の Fig1 の通りである。晴天時放流水流量に比べて流量が降雨量の増加に伴って増加し、降雨量のピークの数時間後の朝10時と夜20時以降に放流水流量がピークとなっていることが分かる。

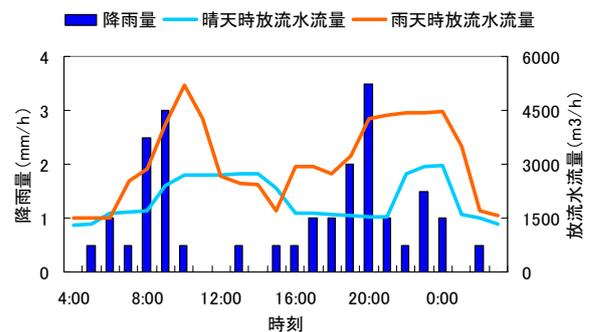


Fig.1: Rainfall and STP effluent water flow in a rainy day

(2) 放流水濃度変化

次に、この時の各成分の濃度変化について、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-P、大腸菌を例に示す (Fig.2~Fig.5)。

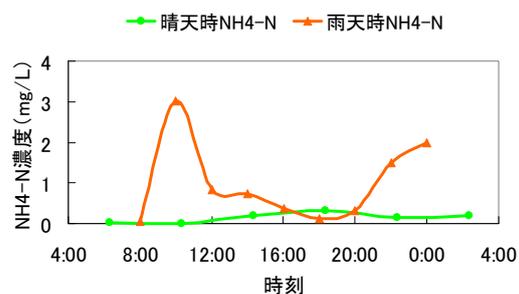


Fig.2: STP effluent $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in a rainy day

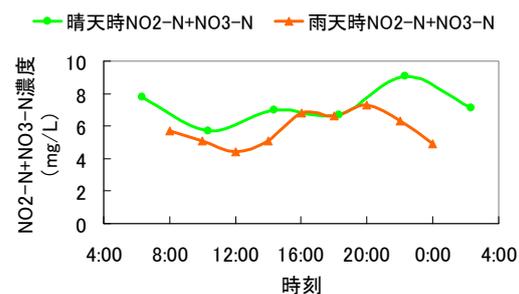


Fig.3: STP effluent $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in a rainy day

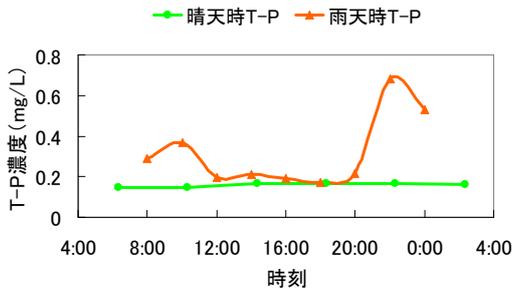


Fig. 4: STP effluent T-P concentration in a rainy day

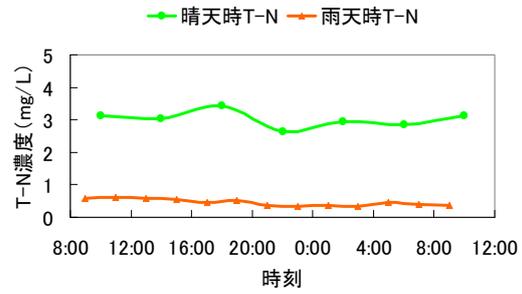


Fig. 6: Lake water T-N concentration in a rainy day

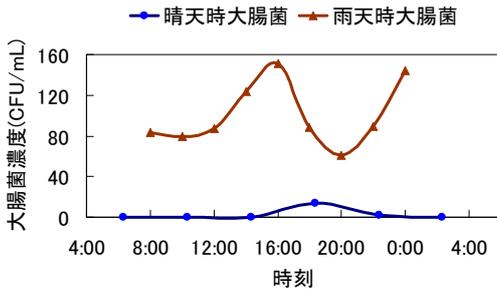


Fig. 5: STP effluent *E.coli* concentration in a rainy day

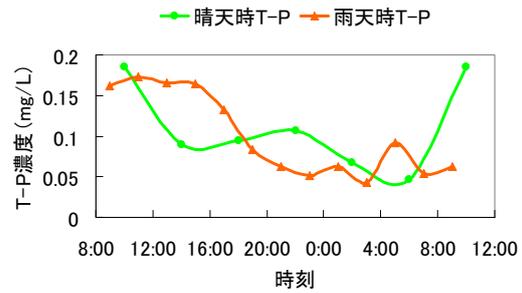


Fig. 7: Lake water T-P concentration in a rainy day

NH₄-N と NO₂-N+NO₃-N について考える。NH₄-N は晴天時に比べて濃度が増加し、逆に NO₂-N+NO₃-N は濃度が減少した。この要因として、簡易処理されたことで一部の一次処理水が生物処理されずに放流されたため、一次処理水中の NH₄-N の一部が硝化されずにそのまま放流されたものと考えられる。T-P については、晴天時に比べて濃度増加が見られる。特に放流水量がピークとなる 10 時と 22 時には濃度のピークが見られた。今回とは別の時期に同じ下水処理場で雨天時における一次処理水の水質変動を調査したときに、リン成分、特に懸濁性リン (=T-P から DT-P を減したもの) の増加を確認した⁴⁾。このため、今回のリン成分の増加についても懸濁性リンの流入によるものと考えられる。大腸菌についても、晴天時にはほぼ 0CFU/mL だが、雨天時は最大 150CFU/mL と十分に処理されないまま放流されていることが分かる。なお、いずれの項目においてもこの処理場での排水基準を満たしている。

4.2 湖水

次に、放流先の湖の水質について考える。ここでは、T-N、T-P を例に示す(Fig.6~Fig.7)。

T-N については、晴天時に比べて濃度減少が見られ、降雨による希釈効果が大きいものと考えられる。T-P については、放流水の濃度ピークからおよそ 6 時間遅れて濃度のピークが見られる。また、その時間帯を中心に晴天時に比べて濃度上昇が見られ、下水処理場放流水による水質影響が出ているものと考えられる。

4.3 河川水

湖のさらに下流にある河川での濃度分析結果を T-N、T-P、大腸菌を例に示す(Fig.8~Fig.10)。

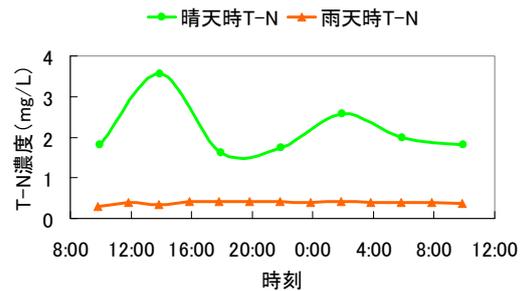


Fig. 8: River water T-N concentration in a rainy day

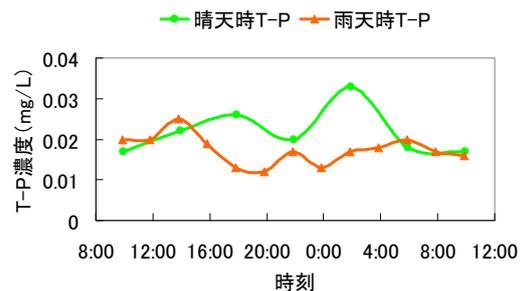


Fig. 9: River water T-P concentration in a rainy day

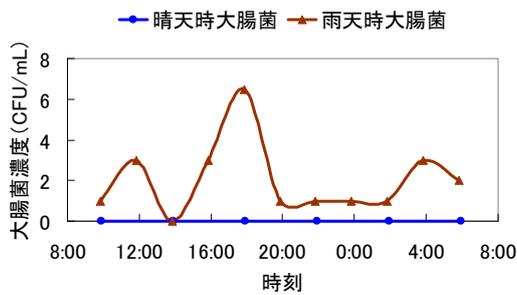


Fig.10: River water *E.coli* concentration in a rainy day

湖水同様、T-Nは晴天時よりも濃度が低く、しかも時間によらず安定していた。湖水同様降雨による希釈効果の影響が大きいものと考えられる。T-Pについては、晴天時に比べて濃度は低かった。また、湖水に比べて濃度が1オーダー低く、希釈効果が大きいものと考えられる。大腸菌は、晴天時にはほぼ検出されなかったものの、雨天時には1mL中に最大6CFU存在することが示され、下水処理場放流水による河川水への影響があることが示された。

5. 考察

5.1 放流水

放流水においては、大腸菌を中心に大半の水質項目で濃度増加が見られた。また、 $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ などの $\text{NH}_4\text{-N}$ を除く窒素成分において濃度減少がみられた。このため、簡易放流によって晴天時よりも多くの汚濁負荷が放流されたこと、また $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が高く $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度が低いことから、簡易放流期間において活性汚泥による生物処理がされなかった簡易処理水による影響が示唆される。また、大腸菌については、最大151CFU/mLも放流されており、湖内では希釈が行なわれるものの放流先への影響が懸念される。

5.2 湖水

湖水においては、リン成分については大幅な増加が見られた。下水処理場による影響だけでなく、降雨による路面排水、河川による流入などノンポイント由来のリン成分の濃度上昇も考えられる。いずれにしても、降雨によってリン由来の負荷が湖水に流入していることが示された。このため、季節によっては富栄養化への影響が懸念される。湖水については大腸菌および大腸菌群の調査は行なっていないものの、放流水、河川水での濃度変動から1mLあたり 10^1 オーダーの大腸菌が存在していたものと推測される。この湖の湖水採水地点付近には水浴場があるが、この場合アメリカのEPAのswimmableの基準を超えており、水浴上の問

題が生じていると考えられる。

5.3 河川水

河川水においても、基本的には湖水と水質変動の傾向は大きく変わらなかった。ただし、晴天時でも毎秒 15m^3 程度の水が流れているため、湖水と同様に希釈効果による濃度減少が見られる。また、大腸菌に関しては、放流水に比べると20倍以上希釈されているものの、1mlあたり最大6CFU検出されることとなった。これについては、ノンポイント由来の大腸菌流入はほぼ考えられないため、下水処理場による直接の影響であると考えられる。

6. 結論

以上のように、下水処理場での簡易放流に伴い、放流先での大腸菌濃度の増加が見られた。また、その他水質項目については湖水ではリン成分の増加が見られるものの、その他項目、地点では希釈によって濃度減少が見られた。ただし、流出負荷量としては増加していると考えられる。このため、今後も下水処理場放流先の水質監視を行なうと共に、下水処理場においても雨天時対策、特に病原性微生物に対する消毒・不活化について対策を行なう必要があると考えられる。

謝辞

今回の調査は、下水処理場および河川事務所の協力のもと行なうことが出来た。ここに御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 津野洋・西田薫：環境衛生工学(1995)
- 2) 篠田康弘：負の遺産からの脱却—動き出す合流改善事業—，月刊下水道，VOL23，No.5，pp4-6(2000).
- 3) 下水試験方法（上巻）：日本下水道協会(1997).
- 4) 樋上正晃・中田典秀・山下尚之・田中宏明：合流式下水処理場での雨天時下水の水質モニタリング，環境衛生工学研究，Vol.24，No.3，pp136-139(2010).