

短報

フラップゲートを経由して排出される下水処理場放流水の栄養塩類の経時的変動調査

柏原学・秦弘一郎・古賀敬興・古閑豊和・平川周作・黒川陽一
宮脇崇・志水信弘・松本源生・石橋融子・山西博幸*

季別運転を実施している大牟田市北部浄化センターの放流水は、河川放流前水路及びフラップゲートを経由して堂面川へ排出される。フラップゲートは、有明海の潮位が 2.8 m 未満で開放されるため、フラップゲートが閉じている間は水路内に浄化センター放流水が滞留する。そのため、浄化センター放流水は、滞留時に水質が変化することが懸念された。そこで、放流口から出た水の水質変化について、放流口からフラップゲートに達するまでの水路内 3 地点を調査した。フラップゲート開放前からフラップゲート閉鎖まで経時的に調査したところ、化学的酸素要求量、全窒素及び全リンの濃度変動は通常の浄化センター運転時の変動範囲内であった。また、フラップゲート開放時は、浄化センター放流水が約 2 時間かけて放流口からフラップゲートまでの水路内を移動することが示唆され、河川に放流される水の評価は、浄化センター放流水で行うことができると考えられた。

[キーワード：下水処理場、季別運転、フラップゲート、化学的酸素要求量、全窒素、全リン]

1 はじめに

下水処理場は我々の生活に直結した重要な施設である。下水道の役割は、生活環境の改善、浸水の防除、公共用水域の水質の保全をはじめとして、近年では下水道資源及び施設の有効利用、望ましい水循環・水環境の創出など多岐に渡っている^{1,2)}。その中で、下水道資源及び施設の有効利用の一つとして、栄養塩類増加運転(季別運転)による放流先海域への栄養塩類供給がある。季別運転とは、放流先水域の養殖業を鑑み、必要な時期に栄養塩類を供給する運転をさす^{3,4)}。季別運転は、2016 年度末時点で全国 33 箇所⁵⁾の下水処理場にて実施されている⁵⁾。有明海に着目すると、山西ら⁶⁾は、季別運転を行う佐賀市浄化センターを対象として六角川及び有明海湾奥における栄養塩類の分布調査を報告している。また、古賀⁷⁾、城戸ら⁸⁾は、季別運転を行う大牟田市北部浄化センター及び南部浄化センターを対象として、有明海東部における季別運転による水温、塩分への影響を調査し、水温の極端な上昇及び塩分の極端な低下が発生しないことを報告している。しかし、大牟田市北部浄化センターを対象とした季別運転と栄養塩類の挙動に関する詳細な調査は実施されていない。

これら浄化センターでは、ノリの非養殖期である夏季(硝化促進期)に硝化・脱窒を促進させることで放流水中の全窒素(T-N)濃度を低下させ、ノリの養殖期である冬季(硝化抑制期)に硝化・脱窒を抑制させることで放流水中の T-N 濃度を硝化促進期と比較して高い状態に維持する季別運転を行っている。また、北部浄化センター(浄化セン

ター)の放流水は、ノリ養殖の漁場である海域に直接排出されるのではなく、水路及びフラップゲート(FG)を通過して堂面川の感潮域へ排出される。FG は、有明海の干満に伴い潮位が 2.8 m を下回った時に水圧差によって開放されるため、FG が閉じている間は水路内に放流水が滞留する。そのため、浄化センター放流水は、滞留時に水質が変化することが懸念された。そこで、季別運転による栄養塩類等の供給状況調査の前段階として、この水路にて FG 開放前から FG 閉鎖を確認するまで 12 時間採水し、その水質の変動について調査を行ったので報告する。

2 調査方法

2・1 調査地点

調査地点は、図 1 及び図 2 のとおり浄化センター放流口から FG を経由して堂面川へ放流されるまでの遊水路内(St-1 - St-3)の 3 地点とした。各調査地点は約 150 m 間隔であり、St-1(放流口直下)、St-2(遊水路中央部)、St-3(FG 付近)である。なお、本調査では、浄化センター放流口直下に位置する St-1 の水質は浄化センター放流水と同等の水質であるとした。調査は、硝化促進期から硝化抑制期への切替期である 2017 年 11 月 3 日に行った。採水は各地点で 8 時 30 分から 20 時 30 分まで 1 時間毎に行い、バケツで採取した表層水をポリプロピレン容器に保存した。図 3 に調査当日の三池港の潮位図及び FG 開放時間を示す。採水当日は 11 時 30 分頃に FG が開放され、17 時 30 分頃に FG が閉鎖された。

2・2 分析項目及び分析方法

分析項目は、T-N、硝酸態窒素 (NO₃-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、全リン (T-P)、リン酸態リン (PO₄-P)、化学的酸素要求量 (COD)、pH、塩分とした。T-N については、残留塩素による妨害を除去するため、既報に従って測定した⁹⁾。NO₃-N については JIS K0102 43.2.6、NO₂-N については JIS K0102 43.1.3、NH₄-N については JIS K0102 42.2、T-P については JIS K0102 46.3.1、PO₄-P については JIS K0102 46.1.1、COD については JIS K0102 17 に準拠して測定した。pH 及び塩分については、マルチ水質チェッカー (株式会社堀場製作所 U-52G) を用いて採水時に測定した。

3 結果及び考察

3・1 pH・塩分・COD

pH の変化を図 4 に示す。pH はどの地点においても 7.1 - 7.7 を推移していた。このことから、水路内に蓄積された放流水の pH は、滞留時に変化しないことが分かった。

塩分の変化を図 5 に示す。FG 開放直後、FG 付近の St-3 の塩分は、2.8 psu と一時的に高くなったが、その後、塩分は徐々に低下し、0.5 psu 前後となった。St-1 及び St-2 では、FG の開閉に関わらず、塩分は 0.5 psu 前後を推移していた。このことから、FG 開放時には FG 付近の St-3 の塩分は一時的に増加するが、経時的に浄化センター放流水と同等の塩分に戻ることが分かった。

COD の変化を図 6 に示す。COD は、St-1 では 8.3 - 11.2 mg/L、St-2 では 9.8 - 10.5 mg/L、St-3 では 9.1 - 11.2 mg/L で推移していた。St-2 及び St-3 における COD の変動幅は、St-1 における変動幅の範囲内であり、水路内の COD の変動は、浄化センター放流水の変動範囲内であることが分かった。

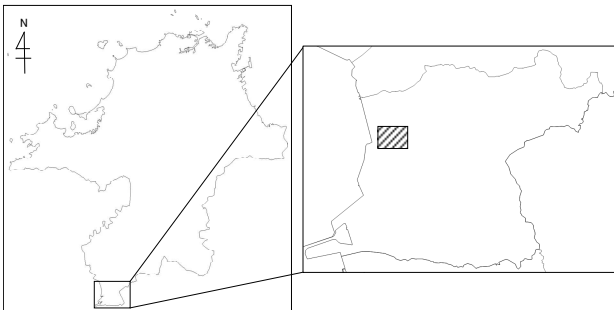


図 1 調査地点 (福岡県 (左図) 及び大牟田市 (右図))

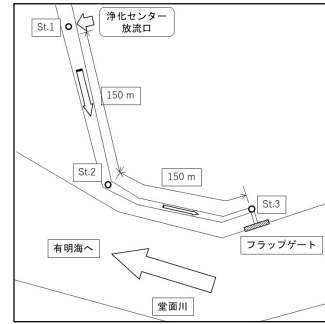


図 2 調査地点 (図 1 右図の斜線部分拡大図)

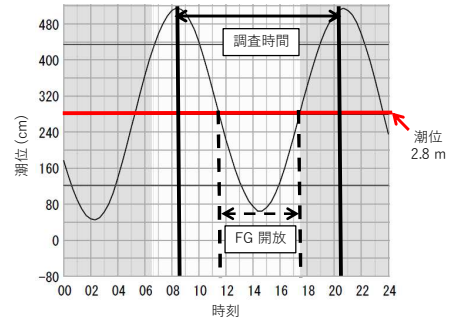


図 3 三池港の潮位図 (2017 年 11 月 3 日)

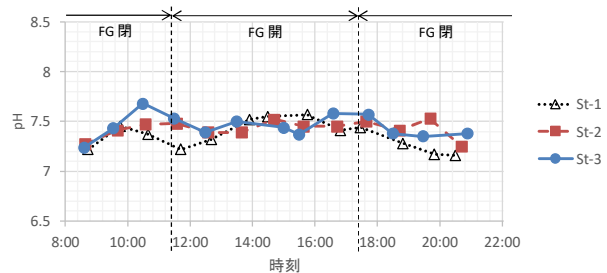


図 4 St-1 - St-3 における pH の変化

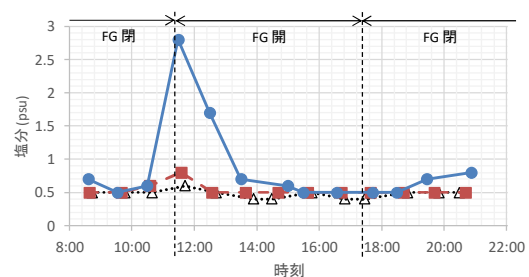


図 5 St-1 - St-3 における塩分の変化

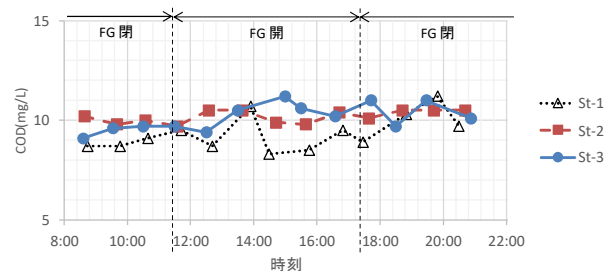


図 6 St-1 - St-3 における COD の変化

3・2 T-N・NH₄-N・NO₂-N・NO₃-N

T-N の変化を図 7 に示す。放流口直下の St-1 における T-N は、FG 開放までは 8.7 - 9.1 mg/L であったが、FG 開放後 1 時間経過して徐々に低下し始め FG 開放 3 時間後に 6.4 mg/L となった。その後、T-N は FG 閉鎖 2 時間前から徐々に上昇し FG 閉鎖 2 時間後に 9.3 mg/L に到達していた。水路中央部の St-2 における T-N は、FG 開放後 2 時間経過してから徐々に低下し始め FG 開放 4 時間後に 6.1 mg/L となり、FG 閉鎖後も 6.1 - 6.3 mg/L と T-N の上昇が見られなかった。FG 付近の St-3 における T-N は、St-2 と同様に FG 開放後 3 時間経過して徐々に低下し始め FG 開放 5 時間後に 6.2 mg/L となり、FG 閉鎖後も 6.2 - 5.9 mg/L と T-N の上昇が見られなかった。FG 開閉に伴い T-N は増減するものの、FG 開放により、放流口直下の St-1 と FG 付近の St-3 における T-N 濃度の差は小さくなった。これは、FG 開放により、放流口直下の St-1 付近に滞留していた水に流れが生じたため、St-2、St-3 の順に濃度が上昇したと推察された。一方、放流口直下の St-1 における T-N は 6.4 - 9.3 mg/L と変動していたが、これは浄化センター運転時の放流水の濃度変動によるものと考えられる。さらに、FG 開放後の各地点での T-N 低下時間に注目すると、St-1 では FG 開放 1 時間後から 3 時間後まで、St-2 では FG 開放 2 時間後から 4 時間後まで、St-3 では FG 開放 3 時間後から 5 時間後までと、何れも約 2 時間の経過が見られることから、FG 開放時は、浄化センター放流水が約 2 時間かけて St-1 から St-3 へと移動することが示唆された。

次に NH₄-N の変化を、図 8 に示す。水路中央部の St-2 及び FG 付近の St-3 における NH₄-N は、FG 開放後に 1.4 mg/L から徐々に低下し、FG 閉鎖後も 0.5 - 0.7 mg/L と NH₄-N の上昇は見られなかった。一方、放流口直下の St-1 における NH₄-N は、FG 開放前後で大きな変化は見られなかったが、FG 開放後 3 時間程経過してから徐々に増加し、FG 閉鎖後に 2.8 mg/L まで増加した。続けて、NO₂-N の結果を図 9 に示す。NO₂-N の変化は、濃度範囲が 0.07 - 0.14 mg/L と小さかったが、グラフの概形は NH₄-N に類似しており、NH₄-N と NO₂-N は同様の挙動を示していた。

一方、NO₃-N については NH₄-N 及び NO₂-N と異なっていた。NO₃-N の結果を図 10 に示す。放流口直下の St-1 における NO₃-N は、FG 開放までは 7.1 - 7.3 mg/L であったが FG 開放後 1 時間経過して徐々に低下し始め 4.8 mg/L となった。その後、NO₃-N は FG 閉鎖 2 時間前から徐々に上昇し FG 閉鎖 2 時間後に 5.8 mg/L に到達していた。St-1 と比較して FG に近い St-2 における

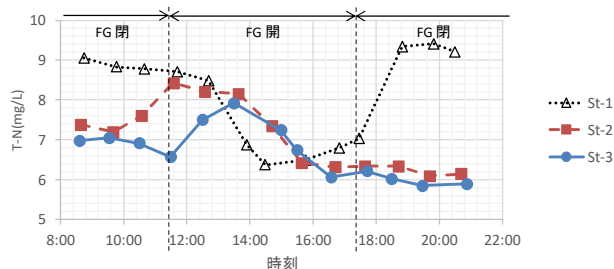


図 7 St-1 - St-3 における T-N の変化

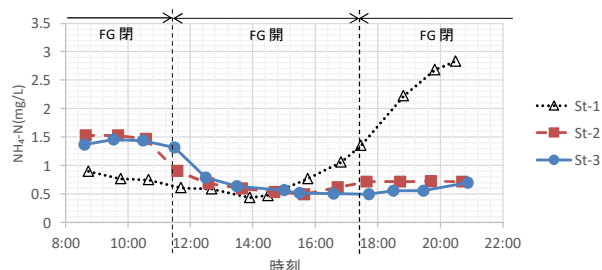


図 8 St-1 - St-3 における NH₄-N の変化

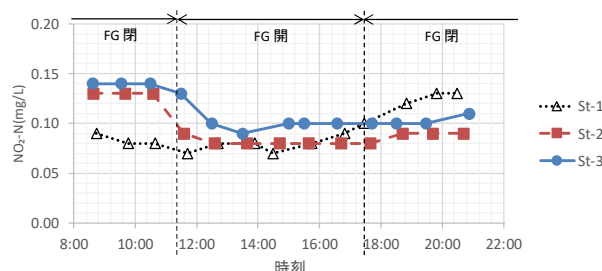


図 9 St-1 - St-3 における NO₂-N の変化

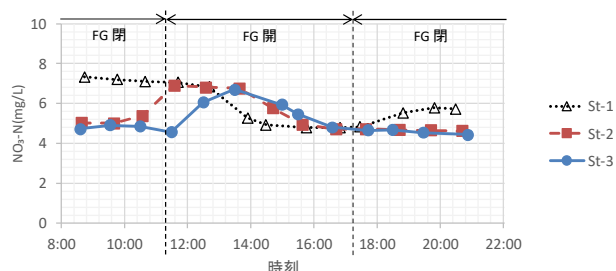


図 10 St-1 - St-3 における NO₃-N の変化

NO₃-N は、FG 開放後 3 時間経過してから徐々に低下し、FG 閉鎖後も 4.6 - 4.7 mg/L であった。FG 付近の St-3 における NO₃-N は、St-2 と同様に FG 開放後 3 時間経過して徐々に低下し、FG 閉鎖後も 4.4 - 4.7 mg/L であった。また、図 10 に示した NO₃-N の結果と図 7 に示した T-N の結果を比較すると、NO₃-N の挙動は T-N の場合と同様の増減であった。

このように、St-1 の NH₄-N、NO₃-N 及び NO₂-N の濃度変化を精査すると、浄化センター放流水の水質は一日の中で変動することが示唆された。また、FG 開放時は、浄

化センター放流水が約 2 時間かけて St-1 から St-3 へと移動すること、FG 閉鎖後は、滞留により St-2 及び St-3 の濃度はほとんど変化しないことが示された。さらに、FG 開放時間及び閉鎖時間が 6 時間程度であり、St-2 及び St-3 における濃度変動は St-1 における濃度変動の範囲内であったことから、水路内における濃度変動は浄化センター放流水の濃度変動に由来するものと考えられた。

3・3 T-P・PO₄-P

T-P の変化を図 11 に示す。水路中央部の St-2 における T-P は、FG 開放前に 0.83 - 0.88 mg/L であり、FG 開放 3 時間後から徐々に上昇し、FG 閉鎖直後に 1.1 mg/L で最大となり、FG 閉鎖後は 1.0 mg/L であった。FG 付近の St-3 における T-P は、FG 開放前に 0.75 - 0.80 mg/L であり、FG 開放直後に 0.69 mg/L と低下したが、その後徐々に増加し、FG 閉鎖後に 0.94 mg/L となった。一方、放流口直下の St-1 における T-P は、FG 開放前に 0.86 - 0.90 mg/L であり、FG 開放 3 時間後から徐々に上昇し、FG 閉鎖後も上昇し続け 2.0 mg/L となった。また、T-P と PO₄-P は同様の傾向を示し、グラフの概形は類似していた (図 12)。平成 29 年度大牟田市維持管理年報によると、放流水中の T-P は、最高値 2.16 mg/L、最低値 0.16 mg/L、平均値 0.67 mg/L であり、今回の T-P 濃度変動の範囲内であった¹⁰⁾。なお、大牟田市北部浄化センター及び南部浄化センターでは、窒素に関する季別運転のみ実施しており、リンを対象とした季別運転を行っていないため、放流水中の T-P 及び PO₄-P の濃度変動は浄化センターへの流入水中の T-P 及び PO₄-P の濃度変動及び浄化センターの処理状況によるものと考えられた。St-1 では、16 時以降の T-N、NH₄-N、NO₂-N 及び NO₃-N についても濃度上昇が見られており、これは T-P 及び PO₄-P と同様の理由ではないかと考えられる。

4 まとめ

大牟田市北部浄化センターより放流された水の水路内の水質について調査した結果をまとめると以下のとおりである。

- ① pH、塩分及び COD は調査全体を通してほとんど変化が見られなかったが、T-N 及び T-P 等は調査内で変化が見られた。
- ② T-N 調査結果より、FG 開閉に伴う浄化センター放流水由来の水塊は、St-1 から St-3 までを約 2 時間かけて移動していることを確認した。
- ③ FG 閉鎖後は、滞留によって St-2 及び St-3 では各水質項目の濃度変化は見られなかった。

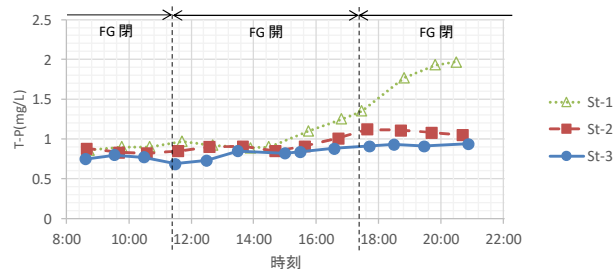


図 11 St-1 - St-3 における T-P の変化

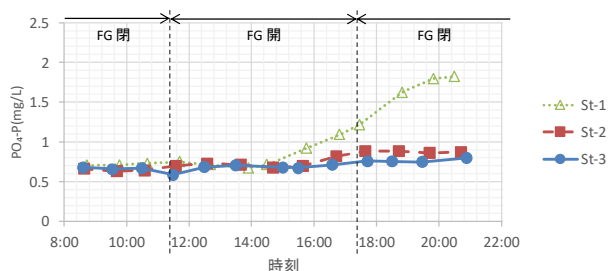


図 12 St-1 - St-3 における PO₄-P の変化

- ④ 浄化センター放流水の水質は一日の中で変化が見られた。

浄化センター放流水の水質は、処理状況により変動する可能性があるものの、顕著な変化は見られなかった。また、FG 開閉が約 6 時間毎に起こることに対し、浄化センター放流口直下から FG まで 2 時間かけて放流水が水路を流れることが確認された。したがって、FG 閉鎖時に水路内に一時的な滞留が発生したとしても、水路内で大幅な水質変化が起こるとは考えにくい。以上の結果から、河川に放流される水の評価は、浄化センター放流水で行うことができると考えられる。

謝辞

本研究実施にあたり、採水及び情報提供にご協力いただいた大牟田市企業局、大牟田市環境保全課の方々に感謝の意を表します。また、本研究は、平成 29 年度及び平成 30 年度「瀬戸内海の環境保全・創造に係る研究助成」から支援を受けました。ここに、感謝の意を表します。

文献

- 1) 国土交通省：下水道の役割、
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000601.html (2020/4/8アクセス)。
- 2) 国土交通省近畿地方整備局：下水道の役割としくみ、
<https://www.kkr.mlit.go.jp/kensei/town/gesui/sikumi.html> (2020/4/8アクセス)。
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局下水道部：栄養塩類の循環バランスに配慮した運転管理ナレッジに関する事

- 例集, 2014. <http://www.mlit.go.jp/common/001033458.pdf> (2020/4/8アクセス).
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書（案），2015. <http://www.mlit.go.jp/common/001105123.pdf> (2020/4/8アクセス).
- 5) 岩井聖：第 63 回日本水環境学会セミナー講演資料集, 37-54, 2018.
- 6) 山西博幸ら：水環境学会誌 41(2), 35-42, 2018.
- 7) 古賀みな子：下水道の真の役割とは, 月刊下水道 35(5), 70-80, 2012.
- 8) 城戸知昭, 古賀みな子, 星良和：第 43 回下水道研究発表会講演集, 482-484, 2006.
- 9) 柏原学ら：水環境学会誌, 43(2), 35-41, 2020.
- 10) 大牟田市企業局：大牟田市下水道維持管理年報（平成 29年度）, 2019.

(英文要旨)

Periodic Changes in Nutrients in the Water from a Treatment Plant discharged through a Flap Gate

Manabu KASHIWABARA, Koichiro HATA, Takaoki KOGA, Toyokazu KOGA, Shusaku HIRAKAWA, Yoichi KUROKAWA, Takashi MIYAWAKI, Nobuhiro SHIMIZU, Gensei MATSUMOTO, Yuko ISHIBASHI and Hiroyuki YAMANISHI*

Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,

Mukaisano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan

** Department of Civil Engineering and Architecture, Faculty of Science and Engineering, Saga University, 1 Honjo, Saga, Saga 840-8502*

Under seasonal operation, wastewater from Omuta City Northern Sewage Treatment Plant is discharged to the Domen River by way of a pre-river canal and a flap gate. The wastewater stays in the canal while the flap gate is closed because the flap gate is only opened when the tidal level of the Ariake Sea is lower than 2.8 m. However drastic changes in the water quality of the canal can affect the supply of nutrients to the Ariake Sea, and this is why the plant operates seasonally. To understand changes in the quality of the water discharged from the outlet, we investigated three points in the canal from the outlet to the flap gate. We investigated water quality changes over time from before the flap gate is opened to when the flap gate is closed, and we observed that the fluctuations in chemical oxygen demand, total nitrogen, and total phosphorus were within the fluctuation range during normal operation of the sewage treatment plant. When the flap gate was opened, the wastewater from the sewage treatment plant moved from the outlet to the flap gate in the canal in about 2 h. Finally, we propose that water discharged to the river could be evaluated by monitoring the wastewater from the sewage treatment plant.

[Key words ; sewage treatment plant, seasonal operation, chemical oxygen demand, total nitrogen, total phosphorus]