

B-17 海水を利用した 生物学的有機物除去法の検討

○井上 龍太郎¹・新田見 匡²・藤田 昌史^{3*}

¹茨城大学大学院理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

²横浜国立大学工学研究院 機能の創生部門 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常磐台 79-5)

³茨城大学工学部 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

※E-mail: fujita@mx.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

ツバルなどの環礁洲島は、リング状になっており、内湾をラグーンという。サンゴ礁や有孔虫の遺骸で国土形成されている。また、衛生施設として Septic Tank やピット式トイレが用いられている。ツバルの首都フナフチでは、92%の家屋がどちらかを保有している。しかし、Septic Tank はボトムレスで施工されることが多く、ピット式トイレも浸透性が高いことから、満ち潮時には海水が地中を通してタンク内部に浸入し、引き潮時に生活排水が海岸へと流出している¹⁾。

ラグーンは外洋のように海水が交換されにくいことから水質汚濁が進んでおり、底質からは酸揮発性硫化物の生成が確認されている¹⁾。人為的な水質汚濁は国土形成を担っている生態系に影響を与えている可能性が高く²⁾、早急に水質対策を実施する必要がある。

我々はラグーン海岸で起こっている硫酸塩還元反応をタンク内で集約せることによる排水処理の可能性を考えた。既に海水中の硫酸塩を利用することにより有機物が除去できることを確認している³⁾。

本研究では、都市下水のみを処理する活性汚泥を対照系として、海水を強制添加して処理運転した活性汚泥の速度論的特性と微生物相を調べた。

2. 方法

2-1 6L-SBRの運転

(1) 都市下水を用いた処理実験 (Run1)

都市下水処理施設から採取したスクリーン通過水を植種源とした。同施設の初沈越流水を流入水として、6L-SBR を194日間運転した。1サイクル24時間の運転工程は流入・攪拌：沈殿・排水=23：1時間とし、水温はツバル国のSeptic Tank 内を模擬して30℃とした。HRT=1.5日である。

(2) 海水を強制添加した処理実験 (Run2)

195日目からは海水を強制添加し始めた。サイクル時間、

水温、流入負荷は同条件としたが、装置内の硫酸塩濃度を高めるため、運転工程は流入・攪拌：沈殿・排水：海水投入・沈殿・排水=22：1：1時間とした。

2-2 硫酸塩還元活性試験

300mL三角フラスコを5本準備し、6L-SBRの処理水をさらに2日間処理したものに、それぞれ酢酸塩 (Ac)、プロピオン酸塩 (Pro)、酪酸塩 (But)、乳酸塩 (Lac) (各50mgC・L⁻¹) と硫酸塩 (70 mgS・L⁻¹) を添加した。もう一つは、初沈越流水 (W.W.) と硫酸塩 (70 mgS・L⁻¹) とした。Run2では、準備した処理水のなかに海水が含まれ、十分量の硫酸塩が存在することから、VFAsの4系には硫酸塩を添加しなかった。そして、SBRから採取した汚泥を遠心分離により上澄液を取り除いたものを加え、pH は7.0に調整した。その後、N₂ガスにてパージして密閉した。攪拌を始めて5hにわたる試験を開始した。サンプリング間隔は1hとした。

2-3 16S rDNAのシーケンス解析

運転開始後 185 日目 (Run1)、356 日目 (Run2) に装置内から活性汚泥を採取し、FastDNA SPIN Kit for soil (Qbiogene) でDNAを抽出した。抽出したDNAは、ユニバーサルプライマー (27f-1492r) を用いて、PCR 増幅を行った⁴⁾。PCR産物は、Wizard DNA Clean-Up System (Promega) により精製し、QIAGEN PCR Cloning kit (QIAGEN) によりライゲーションを行った。ライゲーション反応物の形質転換と塩基配列の解読はタカラバイオ(株)に委託した。解読した全ての塩基配列はBlast検索に供し、検索でヒットした上位の系統により、分類・整理した。

2-4 水質・汚泥の分析

本研究では、硫酸塩、VFAs (揮発性有機酸)、TOC、DOC、MLSS、MLVSS の分析を行った。硫酸塩は高速液

体クロマトグラフ (C-R7A, Shimazu 社) を用いた。VFAs は、高速液体クロマトグラフ (CLASS-VP, Shimazu 社) を用いた。TOC、DOC は全有機体炭素計 (TOC-V_{CSH}, Shimazu 社) を用いて測定をした。MLSS、MLVSS は下水試験方法に則って測定した。

3. 結果・考察

3-1 6L-SBR の有機物除去変化

図 1 に 6L-SBR の排水処理時の有機物濃度を示した。Run0 とは、活性汚泥の培養期間の事である。また、図 2 に 6L-SBR の TOC 有機物除去率を示した。図 1 から、Run1 の有機物処理時の濃度にはばらつきがあり排水処理が安定していなかった。しかし、Run2 になり、排水処理が安定した。これは海水強制添加によるものであると考えられ、図 2 でも Run1 で有機物除去率 60~90% とばらつきがあるものの、Run2 では 80~90% となっていた。海水強制添加により硫酸塩が豊富に供給されたため Run2 では排水処理が安定したと考えられ、逆に Run1 では都市下水だけで運転していたことから硫酸塩が不足していたものと考えられる。

3-2 SRB による有機物除去の寄与の変化

Run1、2 における硫酸塩還元性試験の有機物除去速度とそれに対する SRB (Sulfate Reducing Bacteria: 硫酸塩還元細菌) の寄与を図 3 に示した。SRB の寄与は、硫酸塩消費速度から有機物除去速度に換算したものをを用いた。また、本研究では都市下水と海水を用いて活性汚泥を集積したため、様々な SRB が存在する。そのため SRB の同化による速度は、*Desulfovibrio vulgaris* の増殖収率 6.7g/mol^4 を考慮して換算した。下部の棒グラフ部分が SRB による有機物除去速度を示しており、上部棒グラフ

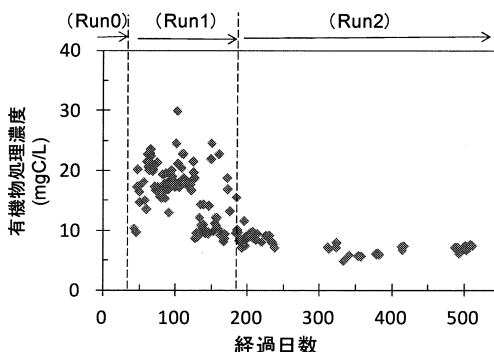


図 1 6L-SBR の排水処理状況

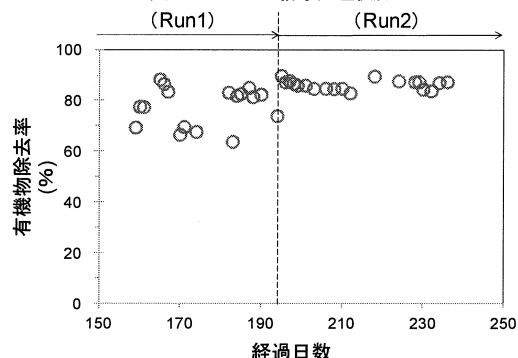


図 2 6L-SBR の有機物除去率

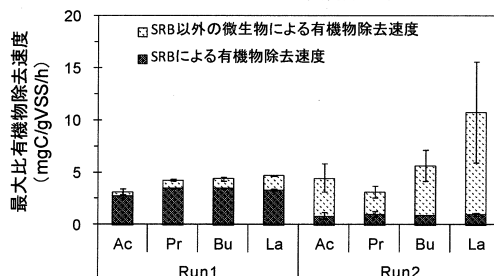


図 3 有機物除去に寄与する SRB の割合

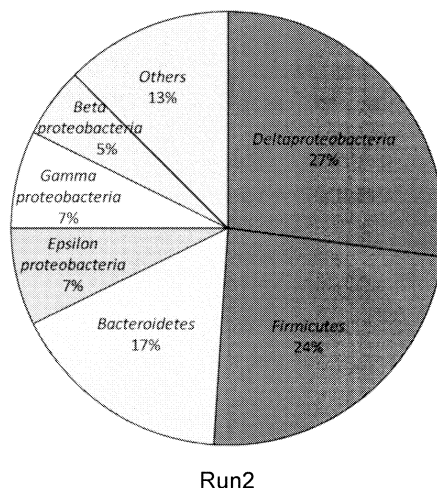
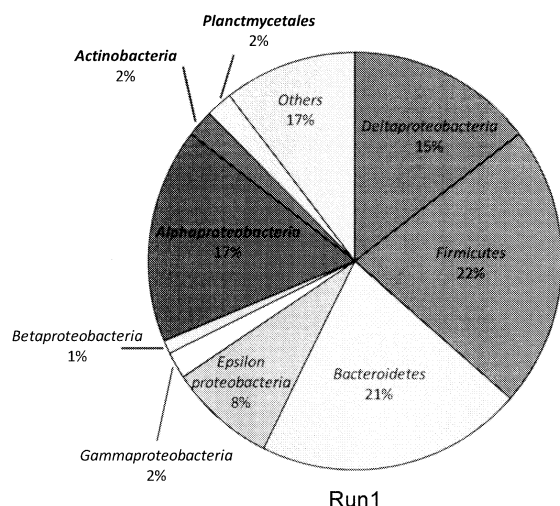


図 4 海水強制添加による微生物相の変化

部分が SRB 以外の有機物除去速度を示している。Run1 での各低級脂肪酸の SRB 寄与率はそれぞれ 88.9、81.0、79.0、71.3%であった。また、Run2 では、18.8、31.8、16.0、9.1%であった。Run1 の平均は 80.0%であったのに対し、Run2 では 18.9%であった。図 1、2 では海水強制添加により硫酸塩が豊富に供給されたために排水処理が安定したと考えたが、実際には SRB の有機物除去に寄与する割合は減少していることが分かった。

3-3 海水強制添加に伴う微生物相の変化

Run1 と Run2 のシーケンス解析の結果 (図 3) を比べると、Run2 にのみ *Alphaproteobacteria*、*Actinobacteria*、*Planctomycetales* に属すクローンが検出され、合計で全体の 21%を占めていた。これは Run2 における海水の投入が、リアクター内の微生物相に変化を与えた結果だと考える。特に *Alphaproteobacteria* は全体の 17%を占めており、海水投入時の排水処理において重要な役割を担っていた可能性がある。また Run1、Run2 で検出された *Deltaproteobacteria* のクローンのうち、硫酸塩還元細菌に近縁な配列のものが、Run1 では 73%、Run2 では 100%であった。Run2 では硫酸塩還元細菌が海水中の硫酸塩を利用した排水処理を担い、優占したものと考ええる。

4. まとめ

本研究では、海水を強制添加して都市下水を処理した活性汚泥の速度論的な知見を得るとともに微生物相の知見を得ることを目的とした。得られた知見を以下に示した。

- ・ 6L-SBR の処理水の DOC 濃度は、Run1 ではばらつきがあり処理が安定していなかったが、海水を強制添加した Run2 では有機物除去が安定した。
- ・ Run1 では SRB の有機物除去に対する寄与率が

80.0%であったのに対し、Run2 では 18.9%であった。海水強制添加により硫酸塩の供給量は増加したが、SRB の寄与は低下しており、SRB 以外の微生物も有機物除去を担っていることがわかった。

海水強制添加後には *Alphaproteobacteria*、*Actinobacteria*、*Planctomycetales* に属するクローンが新たに検出された。特に、*Alphaproteobacteria* は全体の 17%を占めていた。検出された *Alphaproteobacteria* の中には好塩性の細菌が含まれていたことから、*Alphaproteobacteria* が海水存在下における有機物除去において重要な役割を担っていると考えられた。

参考文献

- 1) Fujita, M., Suzuki, J., Sato, D., Kuwahara, Y., Yokoki, H., Kayanne, H.: Anthropogenic impacts on quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu, *Sustainability Science*, 8, 381-390, 2013.
- 2) Osawa, Y., Fujita, K., Umezawa, Y., Kayanne, H., Ide, Y., Nagaoka, T., Miyajima, T., Yamano, H.: Human impacts on large benthic foraminifers near a densely populated area of Majuro Atoll, Marshall Island, *Marine Pollution Bulletin*, 60(8), 1279-1287, 2010
- 3) 井上龍太郎, 藤田昌史: 海水を利用した生物学的排水処理の可能性, 水環境学会講演集, 46, 477, 2012.
- 4) Nittami, T., Magura, T., Imai, Y., Matsumoto, K.: Candidatus *Monilibacter* spp., common bulking filaments in activated sludge, are members of Cluster III *Deffluviococcus*, *Systematic and Applied Microbiology*, 32(7), 480-489, 2009.
- 5) Alfred, S. T., Claude, E. H., Jean-Pierre, B., Jean, L. G.: Microcalorimetric Studies of the Growth of Sulfate-Reducing Bacteria: Energetics of *Desulfovibrio vulgaris* Growth, *Journal of Bacteriology*, 145(1), 191-199, 1981.