

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05925

研究課題名(和文) 土壌の窒素浄化機能を極限にまで高める水質浄化用高機能土壌団粒の創製

研究課題名(英文) Creation of high functional soil aggregate for wastewater treatment to enhance nitrogen treatment performance of soil to the maximum

研究代表者

佐藤 邦明 (Sato, Kuniaki)

島根大学・学術研究院環境システム科学系・准教授

研究者番号：60533289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：土壌を利用した水質浄化法で最も重要なことは、いかに有効に汚水を土壌へ接触浸透させるかであると示されてきた。そこで、水質浄化用土壌団粒を作成し、土壌への汚水の接触を極限にまで高めようと考えた。本研究では、窒素除去プロセスである「硝化」および「脱窒」に特化した高機能土壌団粒を創製し、土壌の窒素浄化機能を極限にまで引き出すことを試みた。アンモニアや硝酸吸着能を有する資材を土壌に混合し、人工的に土壌団粒を作成することで、窒素浄化能を高めることが可能であった。また、資材や運転管理によって硝化や脱窒菌群などの微生物群集を制御できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の土壌を利用した水質浄化方式では、汚水を土壌に導入する方法の改良に過ぎなかった。これに対し、本研究では土壌団粒の物理化学的制御により、硝化や脱窒に寄与する生物性をもコントロールすることによって、水質浄化機能を高めることが可能であることを示した。共同体として発揮される土壌微生物群の活動の場を、土壌団粒によって人工的に創出しようとする発想は今までになかった。

土壌は世界中普遍に存在しており、土壌を利用した水質浄化法は低コストでローメンテナンスな技術である。土壌など地域に存在する資源を利用した水質浄化技術の発展は、世界規模での水環境問題の解決や地域資源循環型社会の構築に大きく寄与できる。

研究成果の概要(英文)：It has been proposed that the contact efficiency between soil and water is most important on a soil-based wastewater treatment system. To maximize the contact efficiency, we conceived the idea of the creation of artificial soil aggregate for wastewater treatment. The purpose of this study is to create high-performance soil aggregates specialized in nitrification and denitrification and maximize the nitrogen purification function of the soil. Mixing materials with high ammonia and nitrate adsorption capacities with soil enabled to enhance the nitrogen purification capacity of the artificial soil aggregate. It was suggested that the selection of materials and operation management could regulate the consortia of microorganisms such as nitrifying and denitrifying bacteria.

研究分野：土壌圏生態工学

キーワード：土壌式水質浄化 土壌団粒 硝化 脱窒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土壌を利用した水質浄化法は、本邦での実施例は少ないが欧米諸国の先進国のみならず、発展途上国でも利用されている処理方式である。従来法としてはセピテックシステムが広く用いられており、汚水を腐敗槽で固液分離した後、自然土壌に数本の溝を掘って中に砂利を敷き詰めた所へ地下浸透させ処理する方法である。しかし、自然土壌を汚水浄化に用いた場合、土壌の浄化機能はその種類に大きく依存し、土壌の水浸透能が汚水処理の律速要因になっていた。このような制限を解消するため、我々は「多段土壌層法」の開発を行ってきた。

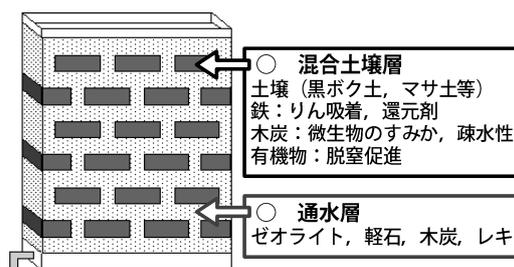


図1 多段土壌層法概略図

多段土壌層法は、各種資材を混合し水質浄化能を強化した土壌をレンガ積層状に配置し(混合土壌層)、周囲に通水性の良い資材を配置した(通水層)構造を持つ(図1)。目詰まりに対して有効で、従来法と比較して高速処理が可能になっている。従来法では、土壌の飽和透水係数の7~15%を汚水の最大負荷量としており、 $25\sim 50\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ の負荷量が普通であった。しかし多段土壌層法では、河川浄化を対象とした実証試験において、BODが $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度の高汚濁河川水でも $4000\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ の高速処理が可能であった。

土壌が砂粒を用いる生物膜法に比べ高品質の水処理ができるのは、粘土鉱物や有機物等の物理化学特性の異なる様々な粒子の集合体である団粒が存在するためである。この多様な物理化学的環境は、水質浄化の主役である様々な微生物の生存を可能にしている。これまで我々は、土壌を利用した水質浄化法で最も重要なことは、この浄化の核心部である土壌団粒へ、いかに有効に汚水を接触浸透させるかであると示してきた。

以上の背景より、本研究のテーマである「水質浄化を目的とした高機能土壌団粒の創製」の着想に至った。土壌へ各種資材を混合し水質浄化機能を強化しつつ、人工的に耐水性を高めた土壌団粒を作成することで、土壌への汚水の接触を極限にまで高めようと考えた。これまで、この人工土壌団粒を対象に水質浄化試験を行ったところ、 $3000\text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$ の高速負荷条件でもBOD及びリン浄化において90%以上の高い除去率が得られている。しかし一方、窒素浄化に関しては最大30%弱の除去率に留まった。一般に土壌粒子は負に荷電しており硝酸が溶脱しやすく、従来の土壌式浄化法でも窒素浄化能の低さが課題であった。この人工土壌団粒において窒素浄化能を向上させる手法を見出せば、従来法に比較して優れた有機物・リン・窒素除去能力を有し、高速処理が可能新たな土壌式浄化法の確立が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では窒素除去プロセスである「(有機態窒素の)無機化-硝化」および「脱窒」に特化した人工土壌団粒を作成し、その運転管理手法を確立することで、土壌の持つ窒素浄化機能を極限にまで引き出すことを試みた。人工土壌団粒の作成にはアンモニアや硝酸吸着能を持つ炭化物等を混合し、運転管理では飽和(装置内部を水で満たし酸素供給を制限)・不飽和(装置上部から汚水を重力浸透させ、土壌間隙に空気がある状態)での処理や送気によって好気・嫌気環境を制御して、人工土壌団粒に硝化や脱窒菌群を集積させることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 硝化に特化した人工土壌団粒の作成とその評価

①アンモニア吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の水質浄化性能の評価

黒ボク土をベースに、アンモニア吸着能を有する資材として陽イオン交換樹脂(以下、CEと称す)、ゼオライト(Z)を混合した。また、微生物の定着や有機物吸着の観点から炭化物に着目し、竹・ヨシ・もみ殻を対象に、試薬の浸漬や炭化温度の異なる炭化物を作成し、アンモニア吸着試験を行った。その結果、性能の良かった 400°C で炭化した竹粉炭(炭400)と塩化マグネシウムで浸漬した後に 600°C で炭化した竹粉炭(炭600Mg)の2つを混合資材とした。バインダーを加え球形に造粒した後、ふるい分けを行い、粒形 $2.8\sim 5.6\text{ mm}$ の土壌団粒を浄化試験に用いた。またゼオライト混合団粒は粒径が $1.0\sim 2.8\text{ mm}$ の団粒(Zs)も作成した。添加資材を混合しない黒ボク土のみの団粒(N黒)も作成し、砂利(N砂利)も比較対象としてカラム試験により浄化試験を実施した。

内径 6 cm 高さ 35 cm の円筒カラムを使用し、不飽和下向流で送気を行いながら浄化試験を実施した。負荷量は $3000\text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{日}$ とし、原水濃度は2段階(平均T-N 4.85 および $8.92\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)で行い、開始147日目後に濃度を変更した。

②ゼオライト混合人工土壌団粒における団粒サイズと送気の影響

黒ボク土にアンモニア吸着能の高かったゼオライトを重量比 8 : 2 で混合し、粒径が 1.0~2.8 と 2.8~5.6mm の大小二種類の人工土壌団粒を作成した。内径 6cm 高さ 35cm の円筒カラムを使用し、団粒サイズの大小と送気の有無を組み合わせ、計 4 本のカラムで水質浄化試験を実施した。不飽和下向流で実施し、負荷量は $3000 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{日}$ とした。以下それぞれを(小), (大), (小送), (大送)と示す。

(2) 脱窒に特化した人工土壌団粒の作成とその評価

①硝酸吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の水質浄化性能の評価

黒ボク土をベースに、硝酸吸着能を有する資材としてヒドロタルサイト(以下, HT と称す), 陰イオン交換樹脂(AE)を混合した。過去に、有機資材をカルシウム溶液に浸漬した後に炭化、または炭化後に塩化鉄溶液に浸漬すると陰イオン交換容量の増加することが報告されている。竹・ヨシ・もみ殻を対象に、試薬の浸漬や炭化温度の異なる炭化物を作成し、硝酸吸着試験を行った。その結果、性能の良かったカルシウム溶液で前処理を行い 600°C で炭化した後、塩化鉄溶液で処理を行った竹粉炭(炭 600CaFe)を添加資材として使用した。添加資材を混合しない黒ボク土のみの団粒(D 黒)も作成し、砂利(D 砂利)も比較対象としてカラム試験により浄化試験を実施した。炭素源としてカラム上部に、おがくずと鉄粉からなるペレットを充填した。このペレットを上部に充填せず、(炭 600CaFe)と混合したカラム(混合)も作成した。

円筒カラムを使用して飽和下向流で処理を行い、原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を約 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ に設定した。負荷量は当初 $3000 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{日}$ とし、42 日目からは半分の量に低下させた。また 164 日目から炭素源として竹片を投入し浄化試験を行った。

②硝酸吸着容量の違いが人工土壌団粒の脱窒処理能に与える影響

硝酸吸着能付加処理を行った竹粉炭の混合割合が異なる 3 種類の人工土壌団粒と、陰イオン交換樹脂を混合した人工土壌団粒を作成した。カルシウム溶液で前処理を行い 600°C で炭化した後、塩化鉄溶液で処理を行った竹粉炭を使用した。竹粉炭混合団粒では、2:8, 3.5:6.5, 5:5 で竹粉炭と黒ボク土を混合し、3 種類の土壌団粒を作成した。(以下、それぞれ 2:8 竹粉炭, 3.5:6.5 竹粉炭, 5:5 竹粉炭と称す。)陰イオン交換樹脂は黒ボク土と 2:8 で混合して人工土壌団粒を作成した(AE2)。

円筒カラムを使用して飽和下向流で処理を行い、原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を約 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ に設定した。負荷量は当初 $3000 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{日}$ とし、47 日目からは $1500 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ に変更した。229 日目からは原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を約 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ とした。また、炭素源として竹片やヨシを投入した。ヨシについては、カラム上部 5cm 分の全量, 2.5cm 分の半量, 1.25cm 分の 1/4 量と調整して投入量の変化に対する影響を、投入頻度を変えながら評価した。

4. 研究成果

(1) 硝化に特化した人工土壌団粒の浄化性能評価

①アンモニア吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の水質浄化性能の評価

開始直後から (CE), (Z), (Zs) で $\text{NH}_4\text{-N}$ が低く、吸着により除去された。その後硝化の進行に伴い、他の団粒の $\text{NH}_4\text{-N}$ も減少し、(CE)を除き 123 日目には $\text{NH}_4\text{-N}$ が $0.03 \sim 0.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ まで低下した。(CE)は同時期に一時的な $\text{NH}_4\text{-N}$ の上昇が見られた。また (CE), (Z), (Zs) で原水以上の T-N が示され、吸着していたアンモニアが硝化されたと推察された。147 日目に原水濃度を上昇させると、(N 砂利)では処理が追いつかなくなったためか、他に比べ高い $\text{NH}_4\text{-N}$ を示した。その後、(CE)や (Z) では一時的な $\text{NH}_4\text{-N}$ の上昇が見られた。(CE)では、浄化試験後資材の観察から崩壊している団粒もあったため、それが一時的な $\text{NH}_4\text{-N}$ の上昇を引き起こしたとも推察された。全期間を通して、最も $\text{NH}_4\text{-N}$ の流出が低く、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の流出が高かったのは (Zs) であった

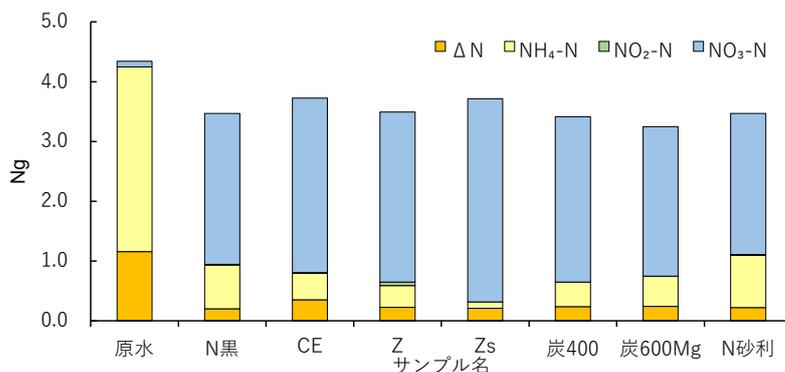


図2 アンモニア吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の評価における原水による積算窒素投入量と各処理水からの積算窒素流出量 (ΔN =全窒素-無機態窒素)

(図2)。ゼオライトのアンモニア吸着能の高さに加え、サイズが小さいことで汚水との接触効率が高かったためと考えられた。

浄化後資材において $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸着量を測定したところ (Z) と (Zs) で高かった。浄化前後において (CE) の陽イオン交換容量は (Z) や (Zs) よりも高かったが

NH₄-N 吸着量は低く、ゼオライトにおける NH₄-N 吸着の選択性の高さが示された。16S rDNA の V4 領域を対象としたアンプリコンシーケンス解析の結果では、アンモニア酸化古細菌である *Nitrosotalea devanatterra* が (炭 600Mg) のカラム下層を除き優占していた。(炭 600Mg) では pH が高く、好酸性型との報告のある *Nitrosotalea devanatterra* は優占しにくかったと推測された。検出されたニトロスピラ科 2 種について混合資材によって優占割合に変化が見られ、同じ原水の投入であっても混合資材により硝化に関わる微生物群集構造に違いがみられることが分かった。

②ゼオライト混合人工土壌団粒における団粒サイズと送気の影響

図 3 に原水および処理水の各窒素濃度の変化について示した。NH₄-N は原水の平均値が 3.59 mg・L⁻¹ で、(小), (小送)では 0.33, 0.27 mg・L⁻¹, (大), (大送)では 0.55, 0.55 mg・L⁻¹ であった。小団粒の方が団粒の表面積が大きいのでアンモニア吸着能が高く、低い値になったと考えられた。有機態窒素の平均値を比較すると(小), (小送)は 0.46, 0.40 mg・L⁻¹, (大), (大送)は 0.57, 0.62 mg・L⁻¹ であった。小団粒の方で低い値を示し、有機態窒素の無機化が起こりやすかったと考えられた。NO₂-N と NO₃-N は、全てのカラムで最初の 2 週間は検出されなかった。28 日目には NO₂-N が流出し、すべてのカラムで最大値を示した。(小)と(小送)が 3.57, 4.21 mg・L⁻¹ で(大), (大送)が 2.23, 2.36 mg・L⁻¹ であった。(小)と(小送)ではアンモニア吸着量が高く、より硝化反応が進行したと考えられた。その後、NO₂-N が減少し NO₃-N が増加した。49 日目には NO₂-N が(小送)と(大送)でどちらも検出されず、(小)と(大)では 1.49 と 0.49 mg・L⁻¹ であった。一方、NO₃-N は(小送)と(大送)で 4.98, 5.17 mg・L⁻¹, (小)と(大)では 2.88, 4.23 mg・L⁻¹ であった。送気を行うことで中間物質である NO₂-N が素早く低下し、硝化反応が促進されたと考えられた。全期間の物質収支では(小送)で NO₃-N 流出量が最も高かった。小団粒の方が有機態窒素の無機化およびアンモニア吸着能が高く、送気によって効率よく硝化反応が進行したためと考えられた。

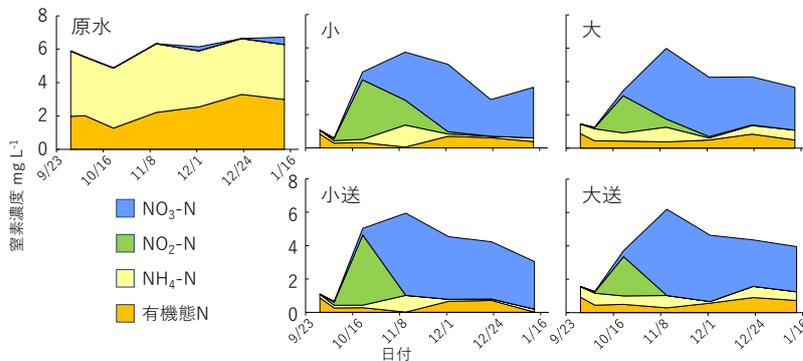


図 3 ゼオライト混合団粒の団粒サイズと送気の影響評価における原水および処理水の各窒素濃度の経時変化

(2) 脱窒に特化した人工土壌団粒の浄化性能評価

①硝酸吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の水質浄化性能の評価

開始直後に (D 黒), (D 砂利) 以外の団粒で低い NO₃-N を示し、硝酸吸着能を持つ資材の混合効果が現れた (図 4)。これらの団粒では、時間が経つにつれ、濃度が上昇し、原水濃度よりも高い濃度を示した。破過にいたるまでの時間の長さは、(HT) < (炭 600CaFe) = (混合) < (AE) の順番であった。どのカラムからも NO₂-N や NH₄-N が若干検出され、還元状態の進行している傾向が見られたものの、おがくずペレットの効果は限定的であった。竹片を投入したところ、(AE) を除き、NO₃-N が一気に低下し、竹片が脱窒に必要な電子供与体として機能した。(AE) は破過直後の濃度上昇によって、最初の竹片投入効果が見えにくかった。竹片投入後時間が経つにつれ、有機源の消耗からか、NO₃-N の上昇が見られ、その後、竹片投入の度に NO₃-N の低下が生じた。(HT), (炭 600CaFe), (混合) では、(D 砂利) や (D 黒ボク) に比べて NO₃-N の上昇が

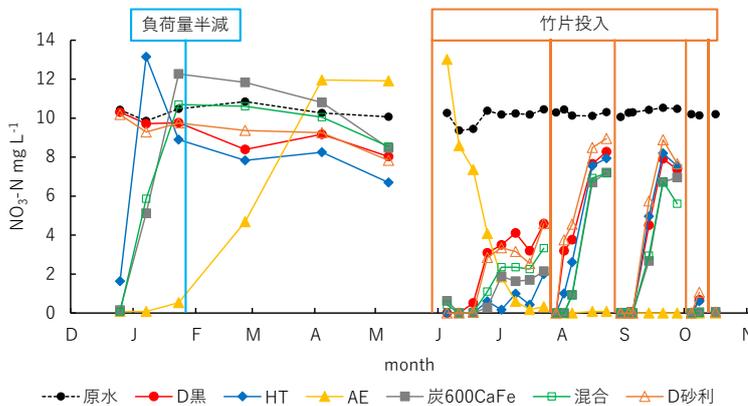


図 4 硝酸吸着能を持つ資材を混合した人工土壌団粒の評価における原水および処理水の硝酸態窒素濃度の経時変化

緩やかになる傾向にあった。(AE) では2回目の竹片投入以降、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が検出されず高い処理性能を示し、全期間を通して $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量が最も低かった。

浄化試験後に各資材の硝酸吸着能を調査した結果、(AE) では浄化試験前後で吸着能に変化はなかったが、(炭 600CaFe) や (HT) では吸着能の低下がみられ、今後の検討が必要であると考えられた。アンプリコンシーケンス解析の結果より、(D 砂利) では *Aeromonadaceae* 科の細菌が大きく優占していた。人工土壌団粒だけでみられる *Opitutaceae* 科や *Pirellulaceae* 科の細菌が存在する等、資材によって微生物群集構造に違いが見られた。

②硝酸吸着容量の違いが人工土壌団粒の脱窒処理能に与える影響

開始当初すべての団粒で $\text{NO}_3\text{-N}$ は流出しなかったが、その後濃度が上昇した(図5)。上昇する開始時期は(2:8竹粉炭)、(3.5:6.5竹粉炭)、(5:5竹粉炭)、(AE2)の順で早かった。これは吸着容量の差によるものと考えられた。竹片を投入すると $\text{NO}_2\text{-N}$ が流出し、脱窒反応によるものと示唆された。その後、竹粉炭団粒では有機源の投入ごとに $\text{NO}_3\text{-N}$ が低下し、107日目からのヨシ全量の隔週連用期には、ほぼ $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ を推移した。これは $\text{NO}_3\text{-N}$ の流入と吸着、脱窒でバランスがとれたためと考えられた。一方、(AE2)ではより長く $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}$ の流出が持続した。吸着容量が高く、脱窒速度以上に大量に吸着した場合、長期に影響することが示唆された。

その後、ヨシ全量の隔週連用により COD が上昇した。そこで、131日目のヨシ投入後、間隔を2週間にしたところ、竹粉炭団粒では $\text{NO}_3\text{-N}$ が上昇したが、AE 団粒ではほぼ $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。その後、ヨシ半量の隔週連用にしたところ、全ての団粒で $\text{NO}_3\text{-N}$ の流出が抑制された。一方で COD の上昇が見られたため、ヨシ投入量を1/4に変更した。AE 団粒では低い $\text{NO}_3\text{-N}$ を維持し、竹粉炭団粒では竹粉炭混合割合の高い団粒ほど $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低く推移し、これは吸着容量の差によるものと考えられた。

229日目より原水濃度を約 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ に調整した後、竹粉炭団粒の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が $8.3\sim 10.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ まで上昇した。このためヨシを半量にしたところ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は再び流出しなくなったが、CODの上昇が見られた。一方、この間も AE 団粒では終始低い $\text{NO}_3\text{-N}$ を維持していた。この後、271日目から、ヨシ投入量を1/4とし隔週連用を浄化試験終了まで継続した。竹粉炭団粒では竹粉炭の混合割合の低い団粒ほど $\text{NO}_3\text{-N}$ の流出が見られたが、一方で $\text{NH}_4\text{-N}$ が3.5:6.5竹粉炭、5:5竹粉炭で大きく上昇した。AE 団粒は原水濃度を上げた際やヨシの投入量の変化に対して影響を受けず、全期間を通して $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量が最も低く、高い浄化能を示した。

浄化試験後のアンプリコンシーケンス解析では、鉄還元菌と考えられる *Geobacter* 属の細菌の優占割合が竹粉炭の混合割合の高い団粒ほど高かった。鉄還元菌が $\text{NO}_3\text{-N}$ の $\text{NH}_4\text{-N}$ 化に寄与するとの報告があり、竹粉炭団粒での高い $\text{NH}_4\text{-N}$ に関係したと考えられた。

カラム上部では細菌叢に多様性が見られ、下部は特定の細菌群の割合が多く、特殊性の高いことが示唆された。また、団粒ごとに優占する細菌が異なり、混合する資材によって細菌叢に特徴が見られた。

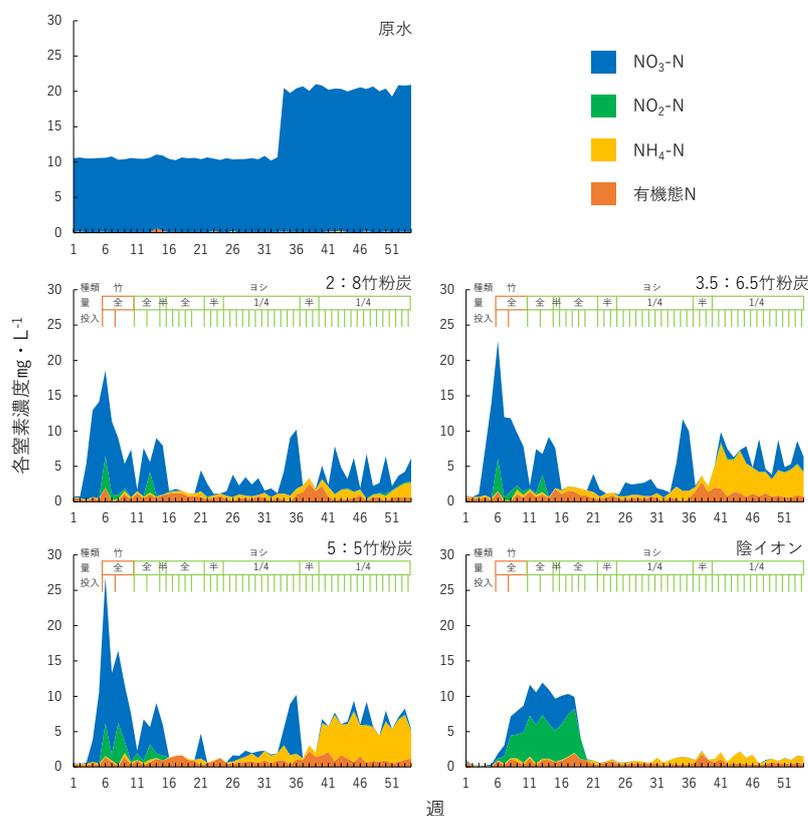


図5 硝酸吸着容量の違いが脱窒処理能に与える影響評価における原水および処理水の各窒素濃度の経時変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 佐藤邦明, 安部香奈江, 高松亜弥, 岩島 範子, 増永 二之	4. 巻 48
2. 論文標題 水質浄化を目的とした人工土壌団粒の創造	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 環境技術	6. 最初と最後の頁 146 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5956/jriet.48.146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Kuniaki, Wakatsuki Toshiyuki, Iwashima Noriko, Masunaga Tsugiyuki	4. 巻 2019
2. 論文標題 Evaluation of Long-Term Wastewater Treatment Performances in Multi-Soil-Layering Systems in Small Rural Communities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied and Environmental Soil Science	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/1214368	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤邦明, 小川拓真, 平野誠, 増永二之
2. 発表標題 脱窒機能を強化した水質浄化用土壌団粒の創製
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2020年度岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤邦明, 岡本千尋, 平野誠, 増永二之
2. 発表標題 窒素浄化に特化した水質浄化用高機能土壌団粒の創製
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤邦明, 熊崎大地, 池田有希, 増永二之
2. 発表標題 窒素の溶脱抑制を目的とした炭化物による土壌改良
3. 学会等名 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

土壌圏生態工学研究室 http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/ecotech-soil/index.html

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------