

水田を利用した下水処理水中の無機態窒素除去効果の検討

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

学生会員

○平田 悠介

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

学生会員

佐藤 マイケル

群馬工業高等専門学校専攻科環境工学専攻

学生会員

高瀬 陽彦

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

正会員

宮里 直樹

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

正会員

青井 透

1.はじめに

群馬県の下水処理施設に集められた下水は、標準活性汚泥法にて処理され、利根川に放流されている。そのため窒素をほとんど除去できておらず、首都圏の水源となる利根川の水質に影響を与えていることが考えられる。大都市では高度処理を導入して窒素を除去する場合もあるが、施設の増設や複雑な処理システムの導入といった技術面の課題、施設建設費用や施設運転費の増大といった課題がある。

一方で水田には、水田を通過することで流入水の窒素濃度を低下させる働きがあることが報告されている¹⁾。群馬県には平成23年度時点で水田面積が27,800ha(作付面積は17,600ha)²⁾あり、休耕田面積が平成21年時点で約4200haある。そこで、下水処理場で処理された水を水田に灌漑し、その後、利根川へ放水することによって、下水処理水が利根川の水質へ及ぼす影響を軽減できないかと考えた。

下水処理場で処理された水は、一般的に農業用水などから水田に流入する水より窒素濃度が高く、これまで報告されているように水田を通過することで、流入水中の窒素がどのように除去されるのかはあまり分かっていない。

そこで本研究では、水田を利用した下水処理水の浄化作用について検討を行うことを目的とした。実際の水田に下水処理水を流すことは難しいため、本研究では、実験用水田を作成した。流入水・流出水の水質分析を行い、実験用水田における窒素除去量を算出することで、水田で下水処理水中の窒素がどの程度除去されているのかを検討した。同時に下水処理水を水田の流入水に用いた場合で稲を生育し、米の収量について調査した。

2. 研究方法

(1) 実験装置

高専内にある下水浄化処理施設内に実験用水田を平成23年7月14日にプラ舟(内寸:縦847mm×横547mm×深さ330.5mm)を用いて作成した。流入水には、浄化槽処理水を膜処理した水(浄化槽膜処理水)を使用し、ポンプ(GS32-P3DH-10/12)を使って3l/hで流入させた。実験用水田は、窒素濃度の違いによる水田の窒素除去能について検討するために、2つのプラ舟をホースで繋ぎ、水田による窒素除去により、1つ目のプラ舟で窒素が除去された浄化槽膜処理水が2つのプラ舟の流入水になるように作成した。浄化槽膜処理水が最初に流入するプラ舟を高窒素濃度流入水田とし、その後、処理水が流入するプラ舟を低窒素濃度流入水田とした。図-1に作成した実験用水田の写真を示す。実験用水田には、高専に隣接する水田が二毛作であり、水田の土を使用することができなかったため、群馬県内の農地の土を深さ25cmになるように入れた。排水口は、水深5cm(滞留時間は1つのプラ舟当たり8時間)になるように設けた。



図 - 1 実験用水田 (8月1日撮影)

キーワード 水田, 無機態窒素, 利根川, 微生物, 下水処理

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校 TEL027-254-9191 E-mail:nmiyazato@cvtl.gunma-ct.ac.jp

実験用水田では、水田の土を使用することができなかったことから、実験用水田で使用した農地の土と前橋市内の水田の土については、各種土質試験の方法と解説に従って、密度、塑性限界、液性限界を求めた。また、下水試験方法に則って、水田の土の強熱減量を求めた。土質試験の結果を表-1に示す。得られた結果から、双方の土は、ほぼ同じ性質であることが考えられた。稲(コシヒカリ)は、平成23年7月15日に5列×8行の計40株を植え、稲の高さは、採水日に定規(50cm)で測定した。また稲は11月4日に刈り取りを行った。

表-1 土質試験の結果

	実験用水田に 用いた畑土	前橋市内の 水田の土
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.77	2.65
塑性限界値(%)	29.9	34.9
液性限界値(%)	43.9	41.4
強熱減量(mg/l)	5.85	6.87

(2) 水質の分析

下水処理施設内では、試料水を実験用水田の流入口と流出口で100mlのガラス瓶に採水した。採水は週3回程度行った。試料水を採取後、電気伝導度計(CM-21P:東亜DKK株式会社)を使用して、水温と電気伝導度(EC)を計測した。その後研究室にて、試料水の水素イオン濃度(pH)、塩素イオン濃度(Cl^-)、栄養塩濃度(アンモニア態窒素濃度($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素濃度($\text{NO}_2\text{-N}$)、酸化態窒素濃度($\text{NO}_x\text{-N}$)、全窒素濃度(T-N)、リン酸態リン濃度($\text{PO}_4\text{-N}$)、全リン濃度(T-P))を計測した。pHはガラス電極pHメーターを使用し、塩素イオン濃度は塩素イオン計(CL-2Z:同社)を用いて測定した。栄養塩濃度については、オートアナライザー(ACCS-II:ブランルーベ)を用いて分析した。

(3) 活性試験

水田は、稲の吸収による窒素削減とともに、土壌中に存在する微生物によって、硝化・脱窒作用を行い、水田に流入する水の窒素を除去していると考えられる。そこで、水田土壌中の微生物による窒素除去について検討を行うために、微生物の活性試験を

行った。

活性試験は、高野らの方法³⁾を参考に行った。また、微生物の脱窒速度は、水温によって変化するという報告がある⁴⁾ことから、本実験では、夏季と冬季における水田の窒素除去能について検討を行うために、土試料を静置するインキュベータの温度を10℃と30℃に設定した。水質分析は上記の方法にて200mlの水で溶存窒素を抽出し、0h、24h、48h、168h毎に行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 水質分析結果及び考察

(1) 無機態窒素濃度の経日変化

低窒素濃度流入水田を設置し、高窒素濃度流入水田と共に稼働し始めた8月3日から12月22日までの無機態窒素濃度の経日変化を図-2に示す。実験用水田通過後の無機態窒素濃度(低窒素濃度流入水田から流出水中の濃度)は、浄化槽膜処理水の無機態窒素濃度と比べ、12月6日を除く全採水日(48日)で低下していた。この結果から、実験用水田には、浄化槽膜処理水中の無機態窒素を除去する働きがあることが確認できた。

また9月下旬から11月上旬に、高窒素濃度流入水田及び低窒素濃度流入水田からの流出水に、無機態窒素濃度が著しく低い日があるが、これはポンプ不調により、流入量が設定していた流入量3/hより小さくなっていたためであると考えられた。流入量が減少したことにより、流入水が水田では滞留時間が長くなり、本来より無機態窒素濃度が低下したと考えられる。これ以降、9月下旬から11月上旬のデータは、信憑性が低いと考え、除外して検討を行った。

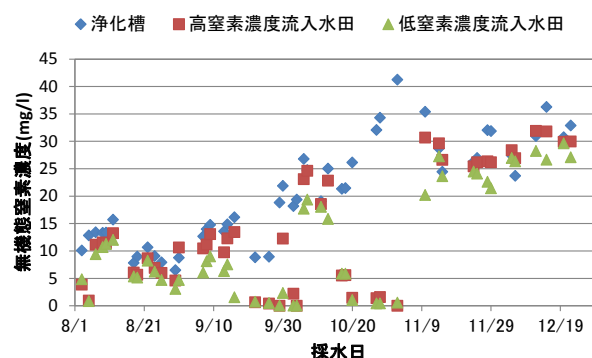


図-2 無機態窒素濃度の経日変化

(2) 無機態窒素の除去量

無機態窒素の除去量は、高窒素濃度流入水田と低窒素濃度流入水田のそれぞれの流入水と流出水の無機態窒素濃度が24時間同じであると仮定して算出した。採水を行っていない日の無機態窒素濃度は、区間推定法によって推定した。各月の無機態窒素の除去量と実験用水田の平均水温のグラフを図-3に示す。実験用水田全体の無機態窒素の除去量は、8月が707mg/m²/day、9月が1074mg/m²/day、12月が480mg/m²/dayとなった。12月の無機態窒素除去量は8月・9月に比べ、窒素除去量が減少していた。稲刈りは11月4日に行っており、12月の窒素除去量は土壌による吸収(窒素固定)や脱窒が考えられる。

これらの結果から、実験用水田は、夏季に比べれば少ないが、稲刈り後の冬季(12月)においても、無機態窒素を除去していることが示唆された。冬季の無機態窒素の除去量が夏季より少ない一因としては、稲による窒素の吸収がなくなったことが考えられる。また月平均水温は、8月・9月には25℃以上であり、12月には8℃と大きく下がっている。微生物の脱窒作用が水温に左右されるという報告があることから、水温の差が窒素除去量に影響しているのではないかと考えられた。

3.2 活性試験

水温により土壌の脱窒素量が低下するのか検討を行うため、微生物の活性試験を行った。11月29日に高窒素濃度流入水田のほぼ中央、深さ5cmから採取した土壌を用いて行った微生物の活性試験の結果を図-4、図-5に示す。図-4に示した好気状態での活性試験では、アンモニア態窒素濃度は、10℃及び30℃でほぼ同じ低下傾向が見られる。図-5に示した嫌気状態での活性試験では、10℃で静置した土壌において、時間が経過しても酸化態窒素濃度は、ほぼ一定であった。しかし、30℃で静置した土壌では、始め27.6mg/lであった酸化態窒素濃度が168時間(7日間)で1.5mg/lと低下していた。

これらの結果から、アンモニアの酸化においては、夏季と冬季で水田土壌による影響は小さいが、脱窒作用による酸化態窒素の減少は、冬季に比べ、夏季に活発に行われることが示唆された。一般的に水中では、アンモニア態窒素濃度が低く、酸化態窒素濃

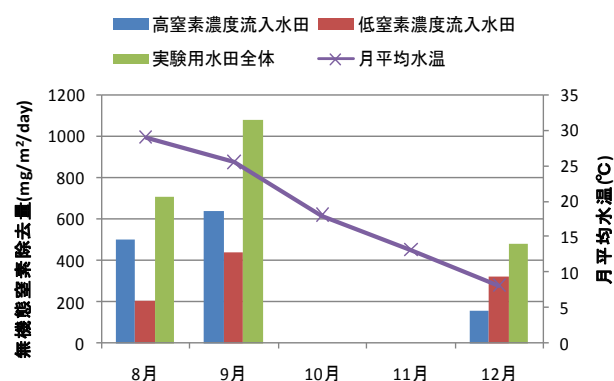


図-3 無機態窒素除去量と月平均水温

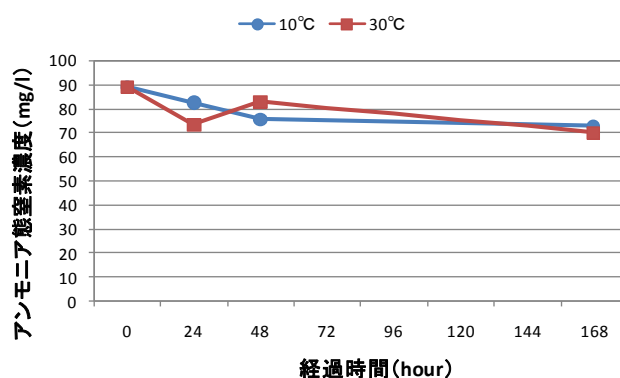


図-4 アンモニア態窒素濃度の経時変化(好気)

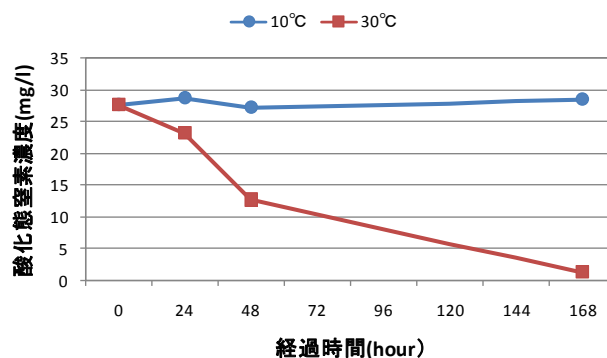


図-5 酸化態窒素濃度の経時変化(嫌気)

度が高いので、夏季の水田には、無機態窒素濃度を低下させる働きが大きいと考えられる。夏季の無機態窒素除去量が冬季の無機態窒素除去量と比べ、多かった理由の1つは、微生物の脱窒作用が活発に行われたと考えられた。また、実験用水田の滞留時間は8時間だが、30℃嫌気状態では48時間後には酸化態窒素濃度が活性試験開始時の酸化態窒素濃度の5割程に低下していることから、夏季においては滞留時間を長くすることにより、さらに窒素を除去できると考えられる。

3.3 稲の生育と米の収量

図-3に稲の高さの経日変化を示す。稲の高さは、

高窒素濃度流入水田で 8 月中に 47.9cm、9 月中に 10.8cm 伸び、低窒素濃度流入水田で 8 月中に 27.1cm、9 月中に 29.8cm 成長していた。稲穂は 8 月下旬に成り始め、稲の高さは、9 月下旬にほとんど変化しなくなった。

11 月 14 日に稲の刈り取りを行い、脱穀後の米の質量 118g が収穫できた。単位面積あたりに換算すると 85g/m² となった。農林水産省から公表されている収穫量⁵⁾より、群馬県の単位面積あたりの米の収穫量を計算すると、501g/m²であった。図-7 に実験用水田で収穫した米の写真を示す。

これらの結果から、実験用水田での米の収穫量は、群馬県内の水田と比べ、1/5 以下であり、少ないことが分かった。この要因としては、実験用水田に、肥料を与えなかったこと、また筆者らが稲の栽培に慣れていなかったため、野鳥による食害を受けたことが考えられる。

しかしながら、稲の高さが順調に伸びたこと、米が少量ではあったが、収穫できたことを考えると、下水処理水のみを流入させた水田で米を収穫することは可能であると考えられる。

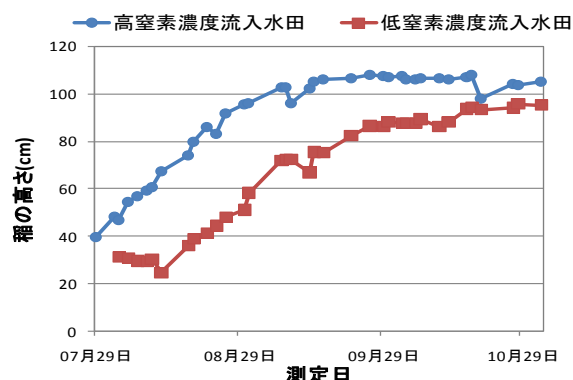


図-6 稲の高さの経日変化



図-7 収穫して脱穀した米

4. まとめ

1) 実験用水田では、夏季及び冬季で共に、水田通過

後における浄化槽膜処理水の無機態窒素濃度が低下していることが確認できた。

2) 実験用水田の流入水・流出水の水質分析結果から、無機態窒素除去量を計算したところ、8 月が 707mg/m²/day、9 月が 1074mg/m²/day、12 月が 480mg/m²/day となった。この計算結果から、夏季の方が、冬季よりも無機態窒素を除去していることが示唆された。

3) 微生物の活性試験からは、アンモニアによる酸化は夏季と冬季で水田による影響が少ないが、脱窒作用による酸化態窒素の減少は、冬季に比べ、夏季に活発に行われることが示唆された。このことより、無機態窒素は冬季より夏季に多く除去されることが考えられる。

4) 浄化槽膜処理水を実験用水田に流した場合でも、稲は順調に成長し、米が少量ながら収穫できた。このことから、下水処理水のみを流入させた水田で米を収穫することは可能であると考えられる。

5. 終わりに

下水処理水のみを流入させた水田は、流入する水の無機態窒素を除去し、稲も順調に成長することがわかった。下水処理場の終末に本研究で用いた小規模な水田を設置することや下水処理場から休耕田まで処理水を送水し、窒素を除去してから河川に放水することは、河川水の窒素濃度の低下に有効であるのではないかと考えられる。また、下水処理水を水源として収穫された米は、手間をかけずに稲を育てたいことや減反のことを考え、飼料米として用いることが妥当ではないかと考える。

謝辞：水質分析の一部に関しては、衛星工学研究室の岸分析主任にご協力いただきました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高瀬陽彦, 宮里直樹, 森田哲夫, 青井透: 休耕田を利用した利根川上流部における無機態窒素削減効果の検討, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会
- 2) 農林水産省「耕地及び作物面積」「耕地面積(平成 23 年時点)」<http://www.maff.go.jp/>
- 3) 高野典礼, 池本良子: 生物付着担体充填と汚泥の植種による濃厚土壌からの窒素流出抑制効果, 環境工学研究論文集, 第 41 巻, Vol. 41, pp675-682
- 4) 中曽根英雄, 山本富久, 黒田久雄, 加藤亮: 流域レベルでの水田の窒素除去量評価に関する研究, 水環境学会誌, Vol127, pp. 49-54
- 5) 農林水産省「平成 23 年度産水陸稲の収穫量」<http://www.maff.go.jp/>