

## 水稻作付田および休耕田における硝酸態窒素、リンの浄化量

辻 正樹\*・武井真理\*\*

**摘要：** 水稻作付田および休耕田において、灌漑によって流入した硝酸態窒素とリンの浄化量を測定した。作付田への流入水量は一般的な水田の用水量とほぼ同等であった。休耕田への流入水量は作付田の3倍以上と多かった。作付田における表流水の差引排出量から求めた平均窒素除去速度は $257\text{mg m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ で、浄化率は97%に及んだ。休耕田の窒素浄化率は60%であったが、除去速度は $502\text{mg m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ で作付田の約2倍になった。流入水量を多く設定できる休耕田では、大量の汚濁水を処理できるためより多くの硝酸態窒素を浄化できると期待された。

**キーワード：** 水稻作付田、休耕田、硝酸態窒素、水質浄化

## Degrees of Water Purification in Cultivated Rice Fields and Fallow Fields

TSUJI Masaki and TAKEI Mari

**Abstract:** Degrees of water purification were measured in cultivated rice and fallow fields. The amount of influent water into cultivated rice fields was approximately the same as that needed for irrigation during rice planting in general. The amount of influent water into the fallow fields was 3 times greater than in the cultivated rice fields. The amount of nitrogen purification in cultivated rice fields was  $257\text{ mg m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ , and the purification rate reached 97%. The nitrogen purification rate in fallow fields was 60%, while the amount of purification was approximately twice that of cultivated rice fields at  $502\text{ mg m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ . Therefore, large amounts of nitrate nitrogen are purified in fallow fields by extensive runoff water.

**Key Words:** Cultivated rice field, Fallow field, Nitrate nitrogen, Water purification

## 緒言

閉鎖系水域である伊勢湾・三河湾では、富栄養化に対する改善が十分に進んでおらず、陸域からの栄養塩類流出を低減させる必要がある。陸域における負荷源は工業系や生活排水系に加え農業に由来するものも少なくない。また、近年地下水における硝酸態窒素の汚染が数多く報告され、農地での施肥や家畜ふん尿との関連性が指摘されている<sup>1)</sup>。そのため、農地での施肥量削減や窒素・リン等栄養塩類の排出量低減が強く求められている。

一方、水田は肥料や有機質資材に由来し畑土壌から流出しやすい硝酸態窒素を浄化する高い能力を有することが知られており、農業生態系からの流出負荷量削減に向けた有効利用が期待されている<sup>2, 3)</sup>。また、近年水稲作付けが行われていない休耕田の面積が急増しており、農地の利用率低下が懸念されているが、これら休耕田においても水質の浄化のために役立つことができる可能性がある。

そこで、本研究では水稲作付田に加えて休耕田において環境負荷物質である窒素とリンの浄化量を測定し、有効活用が期待される休耕田での試験事例を積み重ね、その浄化機能の評価を確立して、水質保全策に資することを目的に試験を行った。

## 材料及び方法

試験は愛知県南知多地域の近接する水稲作付田（以下「作付田」）と休耕田で行った。これらの水田へは、用水路を通じて硝酸態窒素やリン濃度を多く含む河川水が灌漑されている。この河川の集水域には保水性の低い頁岩土壌の野菜畑が分布しており、土壌改良のため家畜ふん堆肥が多投されている影響から、河川水の硝酸態窒素やリン濃度が高く推移していると考えられる。

試験水田の面積は作付田が241m<sup>2</sup>、休耕田が307m<sup>2</sup>であり、水路をはさんで隣接している。土壌は灰色台地土である。作付田は「あさひの夢」を2009年5月21日に移植し、9月27日に収穫した。肥料は被覆肥料入り複合肥料を移植前に窒素成分量で2.2gm<sup>2</sup>全面・全層施

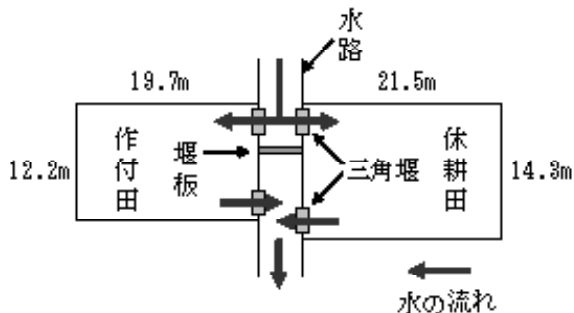


図1 試験ほ場の概要

用し、追肥は行わなかった。休耕田は2002年より水稲の作付けを中止し、無作付けとしている。

作付田と休耕田への灌漑水の供給は、共通の水路から行った（図1）。両水田への灌漑は、取水口下流の水路に堰を設置して水位を取水口より高く保つことによって行った。作付田では、耕作者の慣行に倣い、時期に応じて三角堰の高さを調節して流入水量を加減したが、休耕田では三角堰の高さを一定に保ち、常時通水した。通水期間は2009年5月22日から9月7日までとした。ただし、7月2日から7月15日までは中干しのため水路への通水が遮断されたため作付田、休耕田ともに通水を中断した。なお、灌漑水を通水した水路は水稲作付け期間以外の秋期から春期にかけても通水が遮断されたため、水稲非作付け期の調査はできなかった。

流入水量および流出水量は、取水口および排水口に三角堰を設置し、堰の越流水位を投げ込み式水位計で計測して算出した<sup>4)</sup>。降雨量はアメダスデータ（観測地点：愛知県南知多）を使用した（図2）。5月24日から9月7日まで、毎週1回、流入水および流出水を採水してpH、EC、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、全窒素、全リンを測定した。硝酸態窒素はイオンクロマトグラフ（島津製作所、HIC-10A）、アンモニア態窒素はインドフェノール青吸光光度法（ビーエルテック・ブランルーベ）、全窒素は化学発光法（三菱化成、TN-05）、全リンはペルオキシ二硫酸カリウム分解・モリブデン青吸光光度法で計測した。なお、作付田では排水口から田面水の流出が見られない時期があった。この場合は作付田の排水口付近の田面水を採水し、化学成分の分析に供した。採水日を中心としてその前後3日間の計1週間分の表流水の流入水量（灌漑水量と雨水量）および流出水量（表面排水量）と全窒素、全リンの濃度から、それぞれの流入量および流出量を積算した。さらに、流出量から流入量を減じて差引排出量を求め、表流水における浄化量とした。

また、ポラスカップを深さ30cmに埋設し、土壤浸透水を採取するとともに、捕集漏斗を上部に取り付け

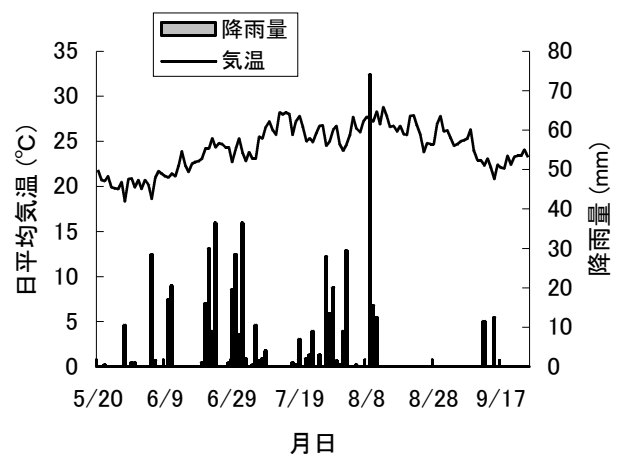


図2 試験期間中の日平均気温と降雨量

た採水器を設置して雨水を採取し、土壌浸透水と雨水の硝酸態窒素とアンモニア態窒素を測定した。

### 試験結果

#### 1 流入および流出水量

試験水田への1週間単位の流入水量と流出水量の推移を図3に示した。

作付田では水稻の生育に応じて間断灌水が行われるため、中干し期間を除いて常時通水した休耕田より通水量は少なくなった。取水口の三角堰の高さを固定した休耕田では、河川から用水への導水量の変化や他の周辺水田の取水状況等により用水路の水位が変動したため、流入水量は大きく変動した。特に、中干し前の5月から6月の作付田の流入水量が0~100L m<sup>-2</sup> wk<sup>-1</sup>であったのに対し、休耕田では300~600L m<sup>-2</sup> wk<sup>-1</sup>と多かった。中干し後7月以降の作付田の流入水量は0~200L m<sup>-2</sup> wk<sup>-1</sup>であったのに対し、休耕田でも0~300L m<sup>-2</sup> wk<sup>-1</sup>となり差は少なかった。

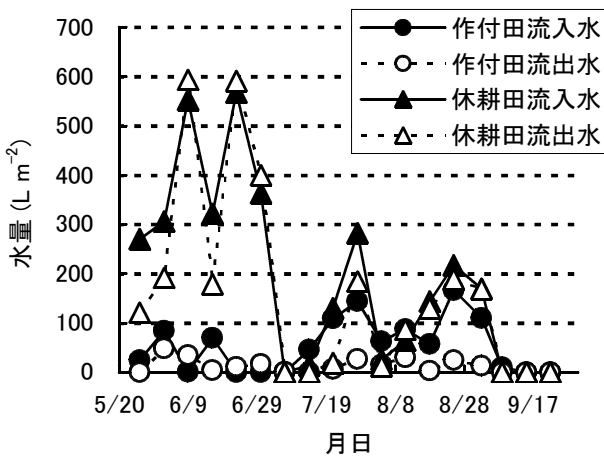


図3 流入水および流出水の水量の推移

#### 2 流入水および流出水の水質

試験水田の流入水および流出水のpHの推移を図4に、ECの推移を図5に示した。流入水のpHは7~9で推移し、作付田の流出水のpHは流入水より高く、休耕田での流出水のpHは7前後で安定していた。流入水のECは0.2~0.8dS m<sup>-1</sup>で推移した。流出水のECは、作付田、休耕田ともに流入水よりやや低く推移する傾向であった。

流入水および流出水の硝酸態窒素濃度の推移を図6に示した。流入水の硝酸態窒素濃度は10.6~47.4mg L<sup>-1</sup>で推移し、7月から8月は変動が大きかった。作付田流出水の硝酸態窒素濃度は、田植え直後は高かったもののその後は6mg L<sup>-1</sup>以下と中干し前まで低い濃度で推移した。中干し後は変動が大きく、流入水の濃度とほぼ同等の時期があった。休耕田流出水の硝酸態窒素濃度は、時期による変動が大きかったが、概ね流入水の1/2以下に低下する時期が多かった。流入水および流出水のアンモニア態窒素濃度は0.4mg L<sup>-1</sup>以下と総じて低かった(図7)。また、流入水中の硝酸態窒素濃度は全

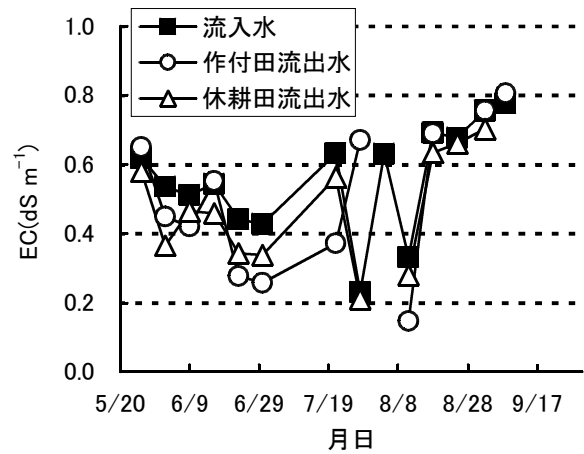


図5 流入水および流出水のECの推移

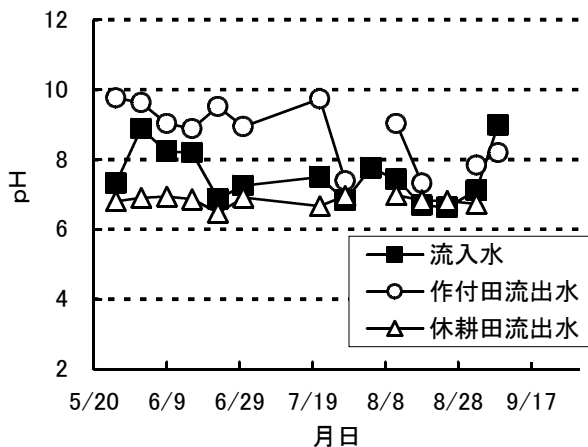


図4 流入水および流出水のpHの推移

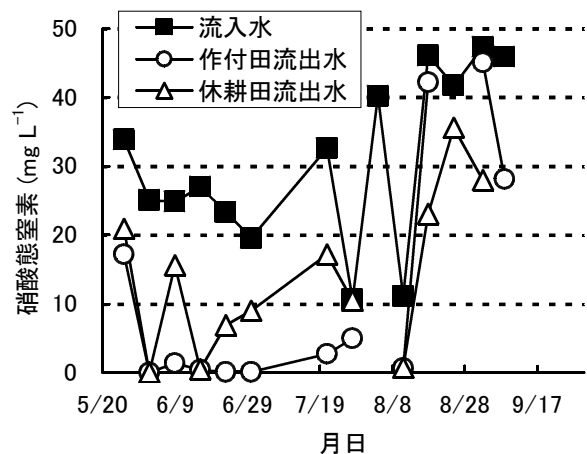


図6 流入水および流出水の硝酸態窒素濃度の推移

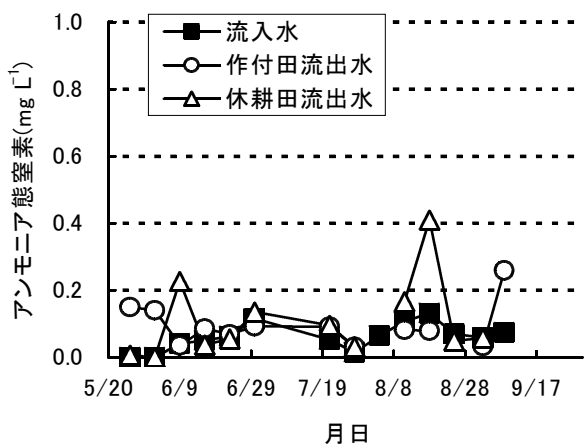


図7 流入水および流出水のアンモニア態窒素濃度の推移

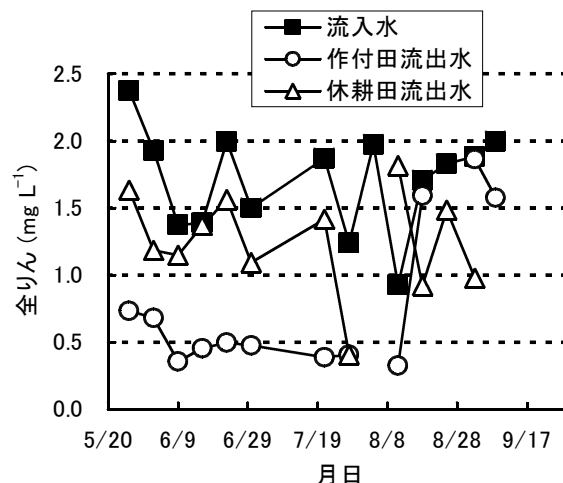


図9 流入水および流出水の全りん濃度の推移

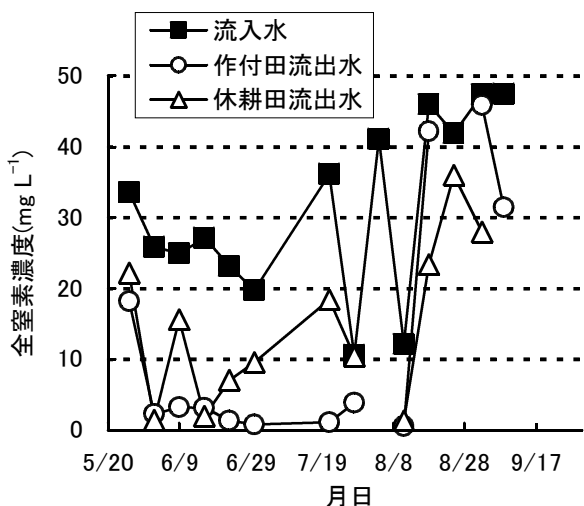


図8 流入水および流出水の全窒素濃度の推移

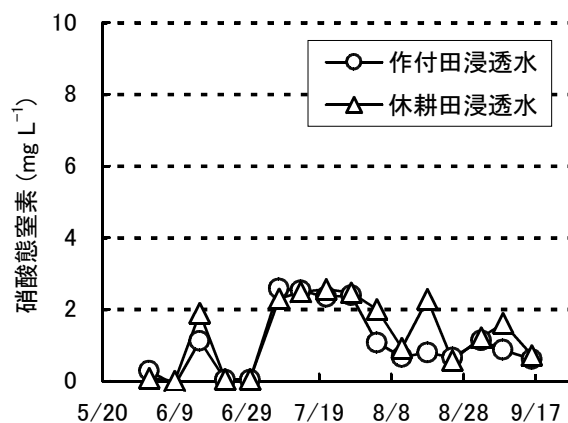


図10 土壌浸透水中の硝酸態窒素濃度の推移

窒素濃度の95%以上を占めており、全窒素のほとんどが硝酸態であった(図8)。流出水中でも窒素のほとんどが硝酸態窒素であったが、流出水量が少なく全窒素濃度が  $5 \text{ mg L}^{-1}$ 以下に低下した場合に、硝酸態窒素濃度の割合が相対的に低下することがあった。

流入水および流出水の全リン濃度の推移を図9に示した。流入水の全リン濃度は  $0.93 \sim 2.37 \text{ mg L}^{-1}$ で推移した。作付田流出水の全リン濃度は、田植え直後を除いて中干し前まで  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$ 以下の低い濃度で推移したが、中干し後は変動が大きかった。休耕田流出水の全リン濃度も中干し直後を除いて流入水より低い傾向を示し、その低減率は1~67%であった。

### 3 土壌浸透水および雨水の硝酸態窒素濃度の推移

土壌浸透水中の硝酸態窒素濃度は作付田および休耕田ともに常に低く概ね  $1 \text{ mg L}^{-1}$ 以下で推移した。中干し後は  $3 \text{ mg L}^{-1}$ 近くまで濃度が上昇する時期があった(図

10)。雨水の硝酸態窒素濃度も  $1 \text{ mg L}^{-1}$  (全窒素は  $2 \text{ mg L}^{-1}$ ) を超えることはなかった。

### 4 作付田および休耕田の表流水における窒素、リンの浄化効果

試験水田の表流水における全窒素および全リンの浄化効果(差引排出量)を表1にまとめた。

作付田では慣行により間断灌水を行うために流入水量が制限されたことから、全窒素および全リンの灌漑水による流入量も休耕田に比べて少なくなった。雨水による全窒素の流入量は、作付田でも流入量全体の1.0%とわずかであった。また、作付田では流出水量も極端に少なかったことから、全窒素および全リンの流出量も少なくなった。

浄化量測定期間中の作付田における見かけ上の全窒素浄化速度(流入水中の全窒素量から流出水中の全窒素量を差し引いた量)は  $257.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ で浄化率は97%

に及んだ。全リンの見かけ上の浄化率も92%になった。休耕田における見かけ上の全窒素浄化率は60%であったが、浄化速度は502.3mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>で作付田の約2倍になった。全リンの見かけ上の浄化率は36%であったが、浄化速度は17.7mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>で作付田の約1.5倍であった。

## 考 察

水田は栄養塩類、特に硝酸態窒素を浄化する高い能力を有することが知られている。湛水土壤においてこの硝酸態窒素浄化能力は、土壤微生物による脱窒と植生による吸収によるものと考えられており<sup>5)</sup>、水温や田面水中の硝酸態窒素濃度等によっても左右される<sup>6)</sup>が、浄化量は加えて通水量にも依存すると考えられる。そのため、水田における浄化量を評価するうえでは、通水量の把握が重要となる。現場の水田管理では水稻の生育状況に応じて流入水量や水位を調節しているため、栽培様式や気象条件、土壤条件等で通水量が大きく変動する。今回試験を行った作付田の試験期間中の流入水量は976L m<sup>-2</sup>で、一般的に水稻作付け期間中に必要なかんがい用水量とされる1,000L m<sup>-2</sup><sup>7)</sup>とほぼ同等であり、適切な水管理が行われたと考えられる。それに対し、休耕田の流入水量は3430L m<sup>-2</sup>で、作付田の3倍以上と多くなった。硝酸態窒素濃度の高い灌漑水を通水する場合、作付田では水稻倒伏が懸念される<sup>8)</sup>のに対し、休耕田では水稻生育への考慮が不要であるため、通水量は作付田より多く設定することができると考えられる。

流入水と流出水の表流水の差引排出量として求めた全窒素の見かけの浄化量を見てみると、作付田では全窒素の浄化率が97%と非常に高く、また流入水中の窒素のほとんどが硝酸態窒素であることから、湛水による硝酸態窒素浄化能が非常に有効であることがわかる。一方、休耕田の全窒素の浄化率は作付田に劣るものの、浄化速度は502.3mg・m<sup>-2</sup>・d<sup>-1</sup>で作付田の約2倍となり、より多くの硝酸態窒素を浄化できた。休耕田では通水量が作付田の3倍以上となったことが反映された結果と考えられる。ただし、調査水田では図1に示したように取水口と排水口が同一辺にあり、灌漑された水が水田をくまなく流れたとは考えにくい。そのため、休耕田においても水田土壤の浄化能力が最大限に発揮され

た結果とはならないことが推定される。また、作付田では水稻株が均等間隔で並ぶのに対し、休耕田では雑草が繁茂した状態であったため、水の流れ方や滞留時間がそれぞれ異なると考えられる。この点についても、水田内での部位による浄化率の差異を生じ、浄化量の変動をもたらす要因になっていると考えられる。

これまでの水田での水質浄化試験の報告で、糟谷ら<sup>9)</sup>は日単位で測定した場合、硝酸態窒素濃度が30mg L<sup>-1</sup>を超える灌漑水を流入させた水田の窒素除去速度が1g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>を超える高い値になったと報告している。また、岡本ら<sup>10)</sup>は灌漑水の滞留時間が異なる水田において、水稻作付け期の窒素除去量は130~730mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>で、滞留時間が短いほど除去量が多くなること、小山田ら<sup>11)</sup>は硝酸態窒素濃度が異なる灌漑水を流入させた水田において水稻作付け期の硝酸態窒素の浄化量は90~144mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>であり、硝酸態窒素濃度が高いほど浄化量も多くなることを報告している。休耕田での試験では田淵ら<sup>5)</sup>が水稻作付け期の休耕田の見かけの窒素浄化量が400~600mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>であったと報告している。このように、水田による硝酸態窒素の浄化量は、灌漑水の窒素濃度や滞留時間、作付け状況等により変動が見られ、今回試験を行った作付田および休耕田においても諸々の条件が変化することにより見かけの窒素浄化量も変動することが予想される。

水田における窒素浄化では、土壤微生物の果たす役割が大きいと考えられている。硝酸態窒素の浄化には還元層における脱窒菌が関与しており、田面水の浸透過程で多くの硝酸態窒素が除去される。今回の試験においても、土壤浸透水中の硝酸態窒素濃度は低く、本水田でも下方への溶脱は少ないと考えられる。また、取水口から通水し、排水口から流出した田面水は、全ての時期において硝酸態窒素濃度が低下した。全窒素浄化率の時期による変動を見てみると、作付田では中干し前と中干し後でほぼ同程度であったが、休耕田では中干し前の66%に対して中干し後は49%と浄化率が低下した。土壤浸透水の硝酸態窒素濃度が中干し後に若干上昇する傾向が認められていることから、休耕田では中干し後の浄化効果が一時的に低減したと考えられる。このことは、中干しにより発生した地割れにより土壤が酸化されたため、中干し前は高く維持された土壤中の脱窒菌の働きが一時弱まったことが要因では

表1 水田表流水における全窒素、リンの差引排出量および浄化率

|     |   | 中干しまで  |     |       |        |      | 中干し以降 |     |       |        |      | 全期間   |     |       |        |      |
|-----|---|--------|-----|-------|--------|------|-------|-----|-------|--------|------|-------|-----|-------|--------|------|
|     |   | 流入     |     | 流出    | 差引排出量  | 浄化率  | 流入    |     | 流出    | 差引排出量  | 浄化率  | 流入    |     | 流出    | 差引排出量  | 浄化率  |
|     |   | 灌漑水    | 雨水  |       |        |      | 灌漑水   | 雨水  |       |        |      | 灌漑水   | 雨水  |       |        |      |
| 作付田 | T-N (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | 104.9  | 4.0 | 5.7   | -103.3 | 0.98 | 394.6 | 1.6 | 14.2  | -382.0 | 0.97 | 264.9 | 2.6 | 10.4  | -257.1 | 0.97 |
|     | T-P (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | 6.8    | -   | 1.3   | -5.5   | 0.81 | 16.8  | -   | 0.7   | -16.1  | 0.96 | 12.3  | -   | 0.9   | -11.3  | 0.92 |
|     | 水量 (L m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )   | 3.8    | 6.1 | 2.5   | -7.4   | -    | 12.8  | 3.7 | 2.0   | -14.6  | -    | 8.8   | 4.7 | 2.2   | -11.3  | -    |
| 休耕田 | T-N (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | 1271.1 | 4.0 | 438.6 | -836.5 | 0.66 | 537.4 | 1.6 | 273.8 | -265.2 | 0.49 | 838.4 | 2.6 | 338.6 | -502.3 | 0.60 |
|     | T-P (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | 87.5   | -   | 57.7  | -29.8  | 0.34 | 21.3  | -   | 12.1  | -9.1   | 0.43 | 48.9  | -   | 31.2  | -17.7  | 0.36 |
|     | 水量 (L m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )   | 50.7   | 6.1 | 44.2  | -12.6  | -    | 16.9  | 3.7 | 12.8  | -7.9   | -    | 30.9  | 4.7 | 25.8  | -9.7   | -    |

注) 中干しまで(5月24日~7月10日)、中干し以降(7月11日~9月11日)  
 差引排水量 = 流出量 - 流入量  
 浄化率 = -差引排水量 / 流入量

ないかと推察される。作付田では流出水量が少なかったため、水田中での滞留時間が長くなりほとんどの硝酸態窒素が浄化される結果になったと考えられる。

加えて休耕田では雑草の発生量が多く、硝酸態窒素の浄化に大きな役割を果たしていると考えられる。休耕田では当初、セイタカアワダチソウ、スギナ等の畑地雑草が多かったが、入水後はイヌビエ、アメリカセンダングサ等の水田雑草が多く繁茂し、これら雑草による硝酸態窒素の吸収が大きいと考えられる。雑草はいずれ枯死して雑草由来窒素の多くは土壌残留し、その後無機化して無機態窒素を生じると考えられるが、さらに脱窒作用も受けると考えられるため、浄化量に及ぼす影響度合いは、今後さらに検討する必要がある。

一方で、リンの濃度低下は硝酸態窒素に比べると小さいため、今回の試験では水田による浄化率は硝酸態窒素より低い結果となった。リンの除去は植生による窒素吸収や土壌吸着、粘土粒子の沈降等があると考えられ、植生による窒素吸収に加えて土壌微生物による脱窒が主である硝酸態窒素の除去とは様相が異なる結果になったと推察される。

以上のように、通常の水管理に即した作付田と休耕田の水質浄化量を測定し、結果を得た。今回の試験は1年間だけの結果であり、さらにデータを積み重ねる必要があるが、水田には硝酸態窒素やリンを浄化する高い能力を有することが改めて確認できた。水質浄化に向けた作付田利用を考える場合、今回の水稲作付期間での窒素流入量は $28.8 \text{ g m}^{-2}$ となり、通常栽培の2倍以上となるため水稲への影響が大きな課題となり、慎重な対応が必要である。一方、水稲生育への懸念がなく流入水量を多く設定できる休耕田ではより多くの栄養塩類浄化が期待できる。そのため、休耕田の活用を水質浄化の方策に組み入れることでより多くの栄養塩類を浄化できると考えられる。

## 引用文献

1. 環境省編. 環境白書. 環境省. 東京. p. 181-183 (2010)
2. 小川吉雄, 酒井一. 水田における窒素浄化機能の解明. 日本土壌肥科学雑誌. 56(1), 1-9(1985)
3. 糟谷真宏. 地下水かんがいによって流入した硝酸態窒素の水田作土浸透過程における脱窒. 日本土壌肥科学雑誌. 70(2), 123-131(1999)
4. 日本規格協会. 工業用水・排水の試料採取方法. JISハンドブック・環境測定Ⅱ(水質). 東京. 日本規格協会. 567-594(2009)
5. 田淵俊雄, 黒田久雄, 志村もと子. 休耕田を活用した長期窒素除去試験. 土壌の物理性. 87, 27-36(2001)
6. 田淵俊雄, 篠田鎮嗣, 黒田久雄. 休耕田を活用した窒素除去の試み. 農業土木学会誌. 61(12), 19-24(1993)
7. 吉田昌一. 稲作科学の基礎. 博友社. 東京. p. 1-316(1986)
8. 小川吉雄, 酒井一. 畑地から水田内へ流入した硝酸態窒素の動向. 日本土壌肥科学雑誌. 55(6), 533-538(1984)
9. 糟谷真宏, 小竹美恵子. 地下水かんがいに由来する硝酸態窒素の水田における除去. 日本土壌肥科学雑誌. 68(6), 651-658(1997)
10. 岡本芳郎, 中村精文, 小林浩幸. 休耕水田を利用した水稲作付け圃場へのかけ流しによる灌漑用水の汚濁の除去とそのメカニズム. 農業土木学会論文集. 64(6), 997-1010(1996)
11. 小山田勉, 小林登. 水田の水質浄化機能に関する研究. (第1報) 灌漑水によって流入した硝酸態窒素の黒ボク土壌における浄化. 滋賀県農業試験場研究報告. 28, 85-101(1988)