

B-13 水田の窒素除去効果が利根川上流部の無機態窒素濃度に及ぼす影響の検討

○高瀬 陽彦¹・宮里 直樹^{2*}・青井 透²

¹群馬工業高等専門学校専攻科 環境工学専攻 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

²群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

* E-mail: nmiyazato@cvt.gunma-ct.ac.jp

1. はじめに

利根川水系は日本最大の流域面積と流域人口を持ち、首都圏の水源としての役割を担っている。しかし群馬県内の利根川上流部では、清澄な溪流にも関わらず窒素濃度が高いと報告されている¹⁾。これまで、本研究グループでは利根川原流域の湯檜曾川について継続的な水質調査を行い、群馬県の広範囲にわたって無機態窒素濃度(Inorg-N)が、一般的に富栄養化を発生させるといわれる全窒素濃度(T-N)0.15mg/Lよりも高いことを報告した。さらに青井ら²⁾は利根川の無機態窒素濃度は前橋市などの都市部を流下するに従い徐々に高くなり、利根川の間点に位置する利根大堰で最大濃度になると報告している。また2008年～2009年の利根大堰における利根川の無機態窒素濃度の経日変化を調査したところ、夏季と冬季で無機態窒素濃度が変化し、河川の流量による影響は小さく、水田による影響が考えられると報告している³⁾。

報告を受け、本研究グループでは利根川を水源とする群馬県内の水田が持つ環境保全機能について調査を行い、水田流出水の無機態窒素濃度が流入水の無機態窒素濃度より低くなることを報告した³⁾。しかし、群馬県内の水田がどの程度の無機態窒素を取り除き、利根川の無機態窒素濃度にどういった影響を与えているのかはわかっていない。

そこで本研究では、水田による利根川の無機態窒素濃度への影響を検討することとした。具体的には、群馬県内の利根川を対象として河川水の採取・水質分析を行い、無機態窒素濃度の経日変化を調査した。また群馬県内で最大の水田面積を持つ前橋市の水田を対象として流入水および流出水の水質分析を行い、前橋市の水田による無機態窒素除去量を算出し、前橋市の水田が利根川の無機態窒素濃度に及ぼす影響について考察したので報告する。

2. 研究方法

(1) 調査対象

a) 利根川河川水の調査および採取試料

利根川の無機態窒素濃度の経日変化を調査するため、県内中流部の中央大橋下で週1回程度、および最下流の利根大堰で月1回程度の採水を行い、東部地域水道事務所で週1回程度採水を行っていただいた。

b) 農業用水と水田の調査および採取試料

水田による無機態窒素の収支を調査するため、前橋市内の水田1面(高専の隣:面積は約2600m²,最大水深4cm)を対象として、水田への流入・流出水を採取し、水田への流入流量を図-1に示す60°三角堰(全長30cm,幅16cm,堰高2cm)と水位センサー(HUBO U20 Water Level Logger)を用い調査し、流量算出式(1)を用いて流量を算出した。

$$Q = \left(\frac{0.577}{60} \right) kh^{\frac{5}{2}} \times k = 83 + \frac{1.978}{B \cdot R_w^{1/2}} R_w = 0.1h \sqrt{\frac{h}{v}} \quad (1)$$

(Q: 流量[m³/min], h: 越流水深[m], B: 堰幅[m], k: 流量係数, R_w: レイノルズ数, v: 動粘性係数 [v=10⁻⁶m²/sec])

水田は、利根川の河川水(前橋市の上流域)を水源とし、天狗岩用水を流れる水を農業用水としているが、住宅地を流下するため家庭排水が流入している。二毛作のために田植えは6月下旬に、稲刈りは10月に行われている。水田所有者のご協力のもと、ほぼ毎日水田水の採水を行い、流入流量は30分毎に計測した。

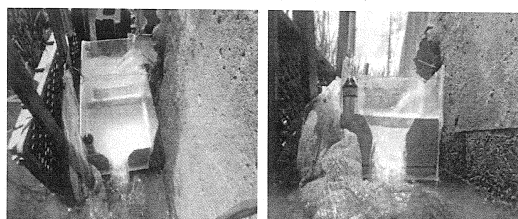


図-1 流量測定に用いた 60° 三角堰

c) 雨水の試料採取

水田における無機態窒素の収支を計算するには、雨水の影響を考慮する必要がある。そのため、高専内に雨量計を設置し、雨水を週1回程度採取した。

(2) 水質分析

利根川河川水を採取後、現地で水温と電気伝導度(EC)の測定を行った。その後直ちに研究室に持ち帰り、各態窒素(NH₄-N, NO₃-N, NOx-N, T-N)をオートアナライザー(ブランルーベ社, ACCS-II)を用いて分析を行った。すぐに分析できない場合は冷蔵庫にて4℃で保管した。

(3) 前橋市内の水田による利根川無機態窒素濃度への影響の検討

調査対象とした水田において窒素削減量を算出し、それを前橋市の水田が持つ窒素削減量と仮定したうえで、県内最大の水田面積を有する前橋市の水田による窒素削減効果が利根川河川水の無機態窒素濃度に及ぼす影響について検討した。水田における水収支を検討するうえで、問題となるのが浸透水量だが、本研究では、川西ら⁴⁾が用いている“浸透水量＝流入水量＋降水量－流出水量－蒸発散量”を用い、流出流量＝表面流出＋浸透水量とし、すべてが利根川に戻ると仮定した。各値を計算するうえで、降水量は気象庁前橋管区気象台のアメダスデータを、蒸発散位は三浦ら⁹⁾が提案しているペンマン法(2)を簡易的に計算することができる方法を用い、蒸発散量は大槻⁶⁾の水田での蒸発散比を用いて計算した。

$$ET_{pen} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{S}{l} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(u_2)(e_{sa} - e_a) \quad (2)$$

ET_{pen} : ペンマンの蒸発散位[mm/day]

Δ : 気温 t での飽和水蒸気圧曲線の勾配[mbar・℃⁻¹]

γ : 乾温計定数[= 0.66mbar・℃⁻¹]

S : 純放射量[MJ・m⁻²・day⁻¹]

l : 水の蒸発潜熱[MJ・10³m³]

$f(u_2)(e_{sa} - e_a)$: ダルトン型蒸発散量推定式[mm/day]

3. 調査・水質分析結果および考察

(1) 利根川河川水の水質分析結果

図-2に中央大橋および東部地域水道、利根大堰での無機態窒素濃度の経日変化を示す。中央大橋地点の濃度は5月から7月初旬にかけて上昇傾向(0.6mg/L→1.2mg/L)であり、その後7月11日の最大値(1.2mg/L)を境に低下する傾向が見られた。

東部地域水道では、5月から7月中旬にかけて減少傾向を示した。その後、7月22日に最大値(2.9mg/L)を記録し再び値は減少していった。利根大堰に関しても同様の傾

向が見られた。

(2) 水田流入・流出水の水質分析結果

図-3に調査対象とした前橋市内の水田の無機態窒素濃度の経日変化を示す。採水はH23年7月1日から開始し、8月31日まで計33回採水を行った。前橋市内の水田では流入水の無機態窒素濃度の算術平均値1.77mg/Lに対し、流出水の無機態窒素濃度の算術平均値が0.33mg/Lであり、全採水日において流入水の無機態窒素濃度より流出水の無機態窒素濃度が低くなっていた。このことから、水田を通過することにより無機態窒素濃度が低下したことが確認できた。

(3) 雨水の水質分析結果

図-4に高専敷地内で採取した雨水の水質分析結果を示す。雨水はH23年7月24日、31日、8月7日、22日、31日に採取した。雨水の無機態窒素濃度は測定開始日から増加し、8月7日に最大値5.1mg/Lとなった。その後、8月下旬にかけて低下した。8月7日以外の無機態窒素濃度は0.8～1.3mg/Lであった。

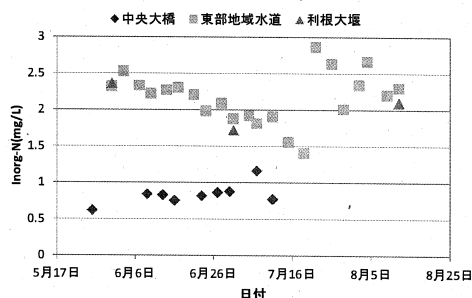


図-2 利根川の無機態窒素濃度の経日変化

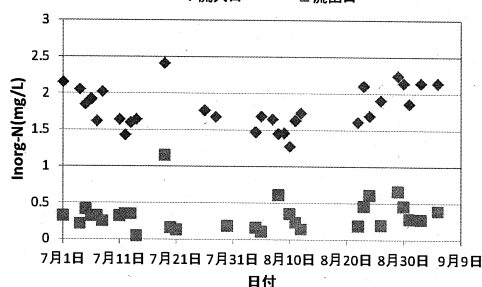


図-3 水田の無機態窒素濃度の経日変化

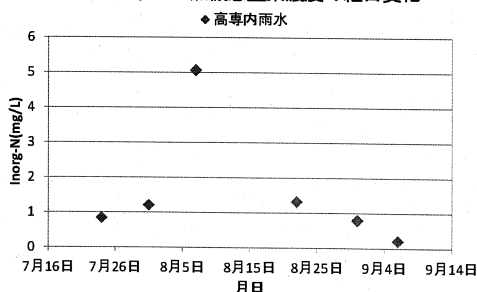


図-4 高専内雨水の無機態窒素濃度の経日変化

(4) 前橋市内の水田が有する無機態窒素除去量の設定

調査対象とした水田において、60° 三角堰を用いて水田に流入する農業用水の流量測定を行った。調査は8月5日から31日までの27日間実施した。農業用水の流量に雨量を加えれば水田に流入する流量が求められる。図-5に水田に流入する流量の経日変化を示す。なお、雨量データは前橋地方気象台のデータを参照した。

調査の結果、測定期間中に調査対象の水田には農業用水から約100m³、雨量と合計して約600m³の水が供給されていることが分かった。このことから、調査対象とした水田には農業用水より、雨水から多くの水を供給されていることがわかった。

また、調査対象の水田に流入する無機態窒素量を無機態窒素濃度と流入流量の積（農業用水、雨水別に算出）で求めた。結果を図-6に示す。

計算の結果、測定期間中に水田に流入する無機態窒素量は約310gで、うち農業用水からの流入は約200g（25%）であった。測定期間中は農業用水よりも雨水による無機態窒素の流入が大きいたことが考えられた。

次に水田から流出する無機態窒素量を推定した。まず、ペンマン法(2)から測定期間中の蒸発散量を推定すると、約400m³となった。この結果、測定期間中の流出水量は約210m³となった。水田からの流出水量が非常に少ないように思えるが、測定期間中に目視で確認できた表面流出はほとんどなく、浸透水量が少ないことを仮定すればこの値は妥当だと考えられた。流出水量と水田流出水の無機態窒素濃度の積から調査対象とした水田から流出する無機態窒素量を推定すると約80gとなった。測定期間中に調査対象の水田に流入する無機態窒素量と流出する

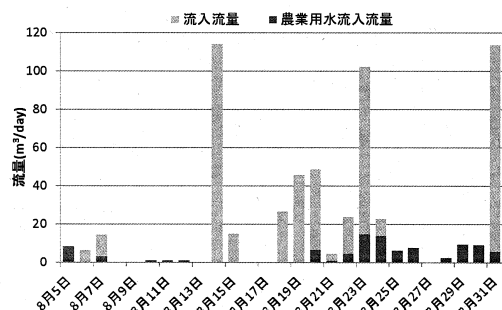


図-5 水田へ流入する流量の経日変化

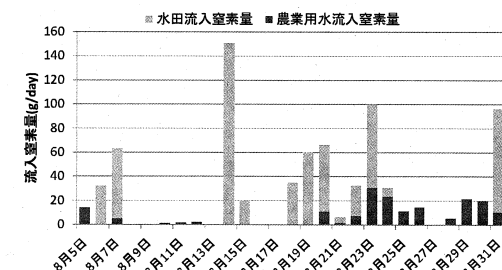


図-6 水田へ流入する無機態窒素量の経日変化

無機態窒素量の差から調査対象の水田による無機態窒素除去量が算出することができる。単位面積当たりの除去量として表したところ約1.0mg/m²/dayとなり、これを調査対象の水田から得られた前橋市の水田が持つ無機態窒素除去量として仮定した。

(5) 前橋市の水田が利根川無機態窒素濃度に及ぼす影響

調査対象の水田から求めた無機態窒素除去量を用いて、8月に前橋市内の水田がどの程度の利根川の無機態窒素濃度を除去しているのか、利根大堰で継続的な調査が行われた2008年のデータを用いて検討を行った。前橋市内の作付面積データは農林水産省の統計情報から2008年のデータ（2300ha）を使用した。

計算の結果、2008年8月は前橋市の水田は無機態窒素量約790kg（除去率：0.004%）を除去しているという結果となった。除去率としては低い値だが、前橋市の水田面積は県内最大ではあるものの群馬県に占める水田面積は14%であることを考えると、群馬県全域の水田および灌漑期間すべてを対象とすれば、群馬県の水田が利根川の無機態窒素濃度に影響を与えていることが予測された。

4. まとめ

今回の調査結果から、以下のことが示唆された。

- (1) 利根川河川水の水質分析の結果、中央大橋では5月から7月上旬まで無機態窒素濃度が上昇しその後低下する傾向が見られた。一方、東部地域水道では5月から7月にかけて低下傾向を示し、7月22日に最大値を示した。
- (2) 水田流入・流出水の水質分析の結果、流出水の無機態窒素濃度は全測定日において流入水の無機態窒素濃度より低くなっていた。
- (3) 調査対象とした水田から無機態窒素除去量を算出し、前橋市の水田が利根川無機態窒素濃度に与える影響を検討したところ8月で約0.004%の無機態窒素を削減している可能性が考えられた。

謝辞：本研究の一部は（財）河川環境管理財団の平成22、23年度河川整備基金助成事業一般的助成によって実施いたしました。河川水の採水においては東部地域水道事務所に協力いただきました。膨大な水質分析は本研究室岸分析主任によるものであります。また、現地調査においては本研究グループの5年生、水田所有者の清水氏にご協力いただきました。お世話になった全ての方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 森 邦広ら：谷川岳を含む利根川最上流から利根大堰までの栄養塩濃度の推移と流出源の検討，土木学会環境工学研究論文集，Vol. 39，pp. 235-246，2002。
- 2) 青井 透ら：利根川最上流谷川岳から最下流利根河口堰までの流下に伴う窒素濃度の変化，土木学会第47回環境工学フォーラム講演集，Vol147，pp. 58-60，2010。
- 3) 宮里直樹ら：利根川上流域の水質へ影響を及ぼす水田の環境保全機能の検討，土木学会第47回環境工学フォーラム講演集，Vol147，pp. 70-72，2010。
- 4) 川西拓也ら：湛水休耕田における炭素及び窒素収支，環境科学学会誌，Vol111，No2，pp. 123-130，1998。
- 5) 三浦健志ら：ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細，農土論集164，pp. 157-163，1993。
- 6) 大槻恭一：蒸発散（その8）-蒸発散量の推定法，農業土木学会誌，第57号，第11巻，pp. 65-71，1989。