

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

群馬工業高等専門学校専攻科環境工学専攻

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

群馬工業高等専門学校環境都市工学科

学会員 ○高瀬 陽彦

正会員 宮里 直樹

正会員 森田 哲夫

正会員 青井 透

1. はじめに

群馬県を流れる利根川は首都圏 2,700 万人の水源になっている河川にもであるが、清澄な溪流であると言われているにもかかわらず窒素濃度が高いと報告されている¹⁾。これまで、本校衛生工学研究室では数年にわたり利根川源流域の湯檜曾川について継続的に水質調査を行い、群馬県内の利根川最上流部でも窒素濃度が高い事を報告している²⁾。

一方で、群馬県ではこのような状態にある利根川を農業用水の水源として稲作を行っている。群馬県の平成 21 年度の水田面積は 28,400ha（作付面積は 19,200ha）であり、群馬県の耕地面積の 37.2%を占めている。利根川から農業用水が引かれ、張り巡らされた水路を通して水田へ輸送・利用され、再度利根川へ戻されていく。図-1 に青井ら³⁾が報告した 2008～2009 年の群馬県内最下流部にあたる利根大堰での利根川無機態窒素濃度と流量の経日変化を示した。4 月から 9 月に無機態窒素濃度が急激に変化しており、群馬県内の水田が利根川の無機態窒素濃度に少なからず影響を及ぼしていることが考えられた⁴⁾。

しかし、群馬県内の水田面積は年々減少し、休耕田が増加している。H2 年～H21 までの 20 年間で水田面積

は約 6,300ha 減少し、休耕田面積は平成 21 年度時点で約 4,200ha にもなっている。この休耕田を活用した水質改善方法は様々検討されている。中でも田淵ら⁵⁾⁶⁾は、休耕田を活用した窒素除去試験を行い、休耕田内を窒素濃度が高い用水が通過した場合、水田が窒素を削減するモデル式を提案している。

そこで、本研究で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、無機態窒素の濃度変化を調べるとともに、本校内に作成した模擬水田を対象として流入水、流出水の水質分析を行い水田が河川に及ぼす影響について検討した。また、模擬水田による水質分析結果から水田による窒素除去が利根川に及ぼす影響に関して検討した。また、田淵らが提案したモデル式を使い、県内最大の水田面積を持つ前橋市の休耕田を活用した場合の利根川の窒素量削減効果についても検討したので合わせて報告する。

2. 研究方法

(1) 調査対象

a) 利根川河川水の調査及び採取試料

図-2 に利根川河川水採取場所を示す。群馬県内での利根川河川水中の無機態窒素濃度を調査するため、中流部(前橋市：中央大橋)において週 1 回のペースで河川水を採水した。

b) 模擬水田による無機態窒素除去量の検討

水田による無機態窒素除去を検討するために模擬水田を高専内に作成した。作成した水田を図-3 に示す。プラ舟(プラスチック製、内寸 (cm) 約 80×50×20h) を 3 個用意して模擬水田とし、それぞれと A:高専内ため池底泥、B:市販のソルチ焼土+腐葉土で土壌を変えて模擬水田を作成した。模擬水田への流入水には窒素濃度の高い水源を想定して群馬高専の浄化槽処理水(接

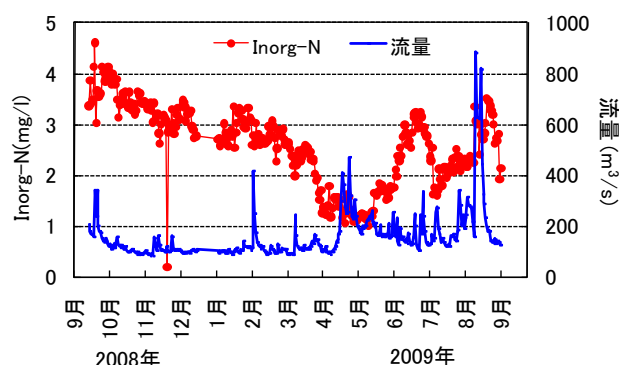


図-1 無機態窒素濃度と河川水量の経日変化(利根大堰)³⁾

キーワード 窒素除去、無機態窒素、利根川、水田、休耕田

連絡先 〒371-0845 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校専攻科環境工学専攻 TEL:027-254-9179

E-MAIL:nmiyazato@cvtl.gunma-ct.ac.jp

触曝気後、膜ろ過)を流入量 3L/h で使用した。プラ舟には上部から 6cm の位置が水面となるように排出口を設け、余剰水がプラ舟外に排出されるようにした。プラ舟の底から約 8cm の位置まで土を入れ、水部分の容積を約 24L とした。滞留時間は約 8 時間である。

(2) 水質分析

現場で採取した試料の水温と電気伝導度 (EC) の測定を電気伝導度計を用いて行った。その後研究室に持ち帰り、各態窒素をオートアナライザー (ブランルーベ社、ACCS-II) を使用して分析を行った。すぐに分析できない場合は冷蔵庫に 4℃ で保管した。

(3) 休耕田による窒素除去量の試算

水田通過による窒素除去量の試算式として式 (2.1) を田淵ら⁵⁾が提唱している。今回は、この試算式を用いて前橋市内の休耕田を整備し、稲作期に利根川河川水を通過させると仮定し、窒素除去量を試算した。



図-2 河川水の採水場所※群馬県河川課 Web サイトより



図-3 作成した模擬水田

$$R=10 \cdot A_p \cdot F \cdot P \cdot q \cdot X_u(1-\exp[-ao/q]) \quad (2.1)$$

ここに・R:窒素除去量 (kg/d)

・ A_p :水田面積 (ha)

・F:植生により変化する植生係数 (1~4)

・P:水流の条件により変化する効率係数 (0~1)

・ X_u :台地からの流出水濃度 (今回は農業用水の無機態窒素濃度とした) (mg/L)

・q:水田通過水量を水深で示したもの (m/d)

・ao:除去係数

である。また、ここで

・ $q=w/(A_p \times 10,000)$ w:用水水量(m^3/d)

・ $ao=0.000011T^2+0.005$, T:水温(℃)

である。

各係数の扱いは次の通りである。 A_p :水田面積は前橋市市内の休耕田面積のデータが記録されていないため、H21年度の群馬県の休耕田率(休耕田面積/水田面積×100%=14.6%)を求め、その値を前橋市の水田面積(約4,200ha:休耕田含む)にかけて前橋市の休耕田面積(613ha)を算出し、その値を使用した。F:植生係数およびP:効率係数は田淵ら⁶⁾の結果を参考にそれぞれ3、0.5とした。 X_u :農業用水の濃度は今回測定した前橋市での利根川河川水の無機態窒素濃度を用いた。W:用水水量は前橋市を流れる農業用水である天狗岩用水、桃木川、広瀬川のものとし、用水の流量は国土交通省河川局が2007年に発表したもの(46.1 m^3/s)を使用した。

3. 調査結果及び考察

(1) 利根川河川水の水質分析結果

図-4に前橋市での利根川河川水の水質分析結果を示す。無機態窒素濃度は4月から5月下旬にかけてやや低下傾向(1.0mg/L→0.7mg/L)であり、その後8月下旬にかけて増加していった。無機態窒素濃度の最大値は2.7mg/L(8月30日)であった。その後、無機態窒素濃度は1度低下したが、冬にかけて増加することが考えられた。2008~2009年の利根大堰での水質調査結果と比べて値は小さいものの同様の傾向が示唆された。

(2) 模擬水田の水質分析結果

図-5に模擬水田流入水(浄化槽処理水)および流出水の無機態濃度の経日変化を示す。図-5では9月28日までは、無機態窒素濃度は平均2.37mg/Lで減少した。

9月28日以降は濃度差が減少したが、これは稲の生育が止まる付近であり、稲による窒素の吸収がほぼ無くなったためだと考える。6月24日（田植え当日）の水質分析結果では無機態窒素濃度に急激な濃度の減少が見られたが、これは流出水を田植え直後（流入開始後）に採取したためプラ舟に滞留していた水であることが考えられ、流入水からの減少とは考えにくい。そのため、測定初日を除いた結果（ $n=19$ ）を用いて流入水の無機態窒素量から流出水の無機態窒素量を引くことにより無機態窒素除去量を計算した。流入水の無機態窒素濃度の算術平均値は17.7mg/L、また無機態窒素の流入量は1,271mg/dayであった。また、計算結果について検討するため1ha当たりにおける窒素除去量を算出した。流出水の無機態窒素濃度および無機態窒素量を表-1に、計算結果を表-2に示す。表-2に示した無機態窒素除去量について検討を行うため式(2.1)から A_p （水田面積）を抜いた式を使い、実験と同様の条件（植生係数のみ田淵ら⁶⁾の文献を参考に4に変更した。これは模擬水田では水草や藻の発生が多く見られたためである。）で無機態窒素除去量の試算を行ったところ無機態窒素除去量の試算値は4.06kg/ha/dayとなり、実測値より若干低いもののほぼ一致した。

(3) 休耕田を利用した窒素除去量の試算結果

式(2.1)を使い、前橋市内にある休耕田(613ha)を利根川用水が通過した場合の無機態窒素除去量を算出した。農業用水の無機態窒素濃度を前橋市での利根川河川水の無機態窒素濃度と同様と仮定し計算を行った。稲作が行われる期間は夏季であるため、図-1から稲作期（6～8月）の無機態窒素濃度の算術平均値（ $n=9:1.44\text{mg/L}$ ）を求め同様の計算を行ったところ、無機態窒素の除去量は約155kg/dayとなった。この値は農業用水の無機態窒素量の約2.7%を削減する値に相当する。一方、稲作期以外（4～5月、9～10月）に休耕田に用水を流し続けた場合の窒素除去量の計算も行った。稲作期以外の無機態窒素濃度の算術平均値（ $n=9$ ）は1.09mg/Lである。また、この期間は稲の生育による影響が稲作期と比べて少ない事が考えられるので、植生係数を1に変化させて計算を行った。その結果、窒素除去量は約60kg/dayとなった。この値は農業用水の窒素量の約1.3%を削減する値に相当し、除去量、削減率ともに稲作期の半分以下の値となる事が予想された。

前橋市を流れる農業用水は利根大堰手前で利根川に合流している。そこで、今回の窒素除去量から前橋市の休耕田を利用することで利根大堰の無機態窒素濃度にどのような影響を及ぼすのかを式(3.1)を新たに設定し試算した。

$$X_u' = W \cdot X_u - R \quad (3.1)$$

ここに、 X_u' :休耕田活用後の無機態窒素濃度である。試算に使用した値を表-3に、試算結果を表-4に示す。利根大堰の無機態窒素濃度は青井ら⁴⁾が2008年に測定した値を利用した。稲作期（6～8月）に前橋市内で休耕田を利用した場合における利根大堰での無機態窒素濃度の平均値を求めると2.342mg/Lとなった。このこ

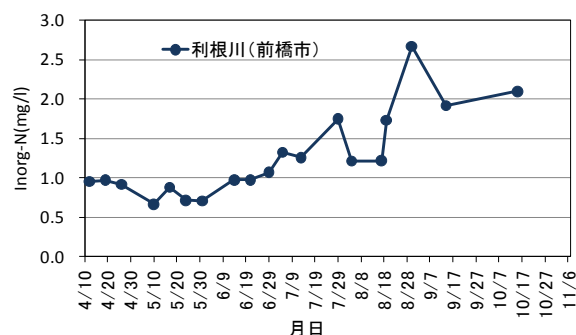


図-4 利根川(前橋市地点)の無機態窒素濃度の経日変化

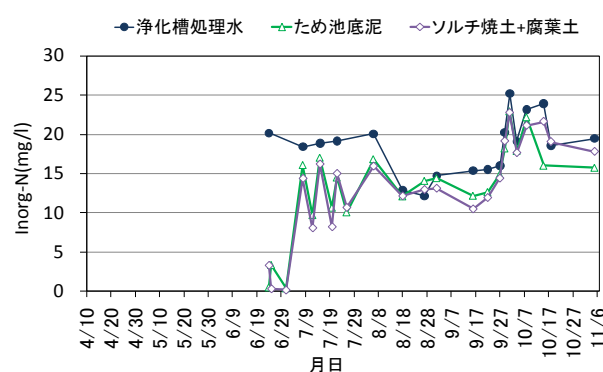


図-5 模擬水田の無機態窒素濃度の経日変化

表-1 模擬水田における無機態窒素流出量

模擬水田	Inorg-N 流出量(平均値)	
	(mg/L)	(mg/day)
A(ため池底泥)	15.1	1,083.8
B(ソルチ焼土+腐葉土)	15.2	1,091.6

表-2 模擬水田における無機態窒素除去量

模擬水田	Inorg-N 除去量	
	(mg/day)	(kg/ha/day)
A(ため池底泥)	187.5	4.69
B(ソルチ焼土+腐葉土)	179.7	4.49

とから稲作期に休耕田を使用することで、利根大堰での無機態窒素濃度に影響を与えることができると予想された。一方、稲作期以外に休耕田を利用した場合の利根大堰での無機態窒素濃度の平均値は 1.845mg/L となった。稲作期ほどではないものの、稲作期以外に水田を灌漑状態にすることで利根大堰での無機態窒素濃度が減少することが示唆された。次に上記の試算結果において、利根大堰の稲作期及び稲作期以外の総無機態窒素量がどう変化するか試算を行った。試算結果を図-6 に示す。図-6 から休耕田を利用した場合の総無機態窒素除去量を求めると 14t となった。この値を前橋市の休耕田面積(613ha)で除すると 22.8kg/ha となり、これが稲作期に休耕田を利用した場合の総無機態窒素除去量が試算できた。また、同様の計算を稲作期以外でも行った場合、総無機態窒素除去量は 8.8kg/ha となった。

表-3 利根大堰における流量および無機態窒素濃度

	流量平均 (m ³ /s)	Inorg-N	
		濃度平均 (mg/L)	除去量 (kg/day)
稲作期 (6～8月)	213.495	2.353	155
稲作期以外 (4～5, 9～10月)	171.482	1.852	60

表-4 利根大堰における無機態窒素の変化量

		Inorg-N	
		(mg/L)	(kg/d)
稲作期 (6～8月)	現在	2.353	43,348
	休耕田活用時	2.342	43,193
稲作期以外 (4～5, 9～10月)	現在	1.852	27,569
	休耕田活用時	1.845	27,509

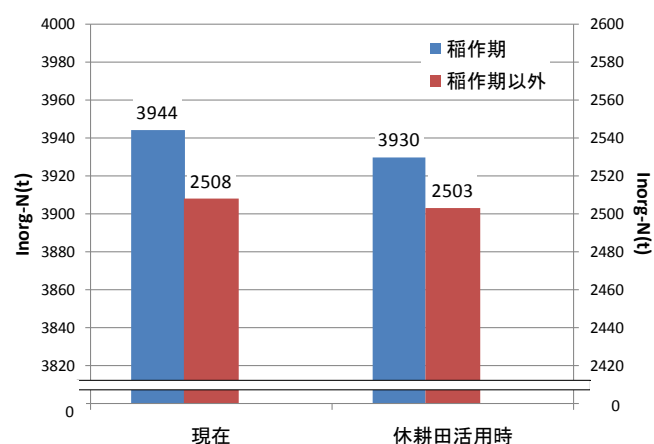


図-6 休耕田を利用した総無機態窒素量の変化

4. まとめと今後の課題

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、無機態窒素濃度は4月から5月にかけて低下する傾向を示し、8月下旬にかけて増加していった。その後冬にかけて無機態窒素濃度は上昇することが示唆された。
- (2) 模擬水田による実験結果から、無機態窒素減少量を計算したところ最大で 187.5mg/day となった。この値から 1ha あたりの無機態窒素除去量を計算すると 4.69kg/ha/day となり田淵ら⁵⁾のモデル式から求めた値とほぼ一致した。水田では稲による吸収だけでなく、土壌自体も含めた水田全体による除去が示唆された。
- (3) 前橋市内の休耕田を活用した場合に除去できる無機態窒素量の試算値は稲作期で 155kg/day、稲作期以外で 60kg/day であった。稲作期では農業用水中の窒素量の約 2.7%を削減する値に相当した。また、利根大堰での無機態窒素濃度を試算すると稲作期で 2.353mg/L から 2.342mg/L に変化しており、前橋市内の休耕田を活用することで利根大堰の無機態窒素濃度を減少させることが示唆された。

また、今後の課題は以下の通りである。

- (1) 今回、無機態窒素除去量を計算する際多くの仮定値を含んでいるため、その値を詳しく調査する必要がある。
- (2) 無機態窒素除去量等を全て平均値で計算しているため、各日ごとに再度計算を行う必要がある。
- (3) 今回、田淵らのモデル式をそのまま適用したが前橋市内の水田の特性を含んだ係数を検討する必要がある。

謝辞：本研究における、前橋市内の水田調査においては所有者の清水さんにご協力頂いた。また、各水質分析に関しては、衛生工学研究室内の岸分析主任に行って頂いた。その他、模擬水田の作成、採水には衛生工学研究室内の5年生に協力して頂いている。お世話になっている全ての方々に厚く御礼を申し上げます。

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) 宮里直樹ら：利根川上流域湯曽川における窒素の流出と窒素飽和現象の検討，環境工学研究論文集，Vol. 46, pp.437-443, 2009
- 3) 青井透ら：利根大堰での毎日採水による群馬県からの窒素流出量の実測，第44回日本水環境学会年会講演集，p. 337, 2010
- 4) 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，土木学会環境工学研究フォーラム講演集，Vol. 47, pp. 70-72, 2010
- 5) 田淵俊雄：水田除去機能付き窒素流出モデル，土壌の物理性，No. 78, pp. 11-18, 1998
- 6) 田淵俊雄ら：休耕田を活用した長期窒素除去試験，土壌の物理性，No. 87, pp. 27-36, 2001
- 7) 農林水産省「耕地及び作物面積」「耕地面積（2009/7/15時点）」