

大分川流域水田からの硝酸性窒素の流出について

大分高専 正会員 東野 誠
大分高専 学生会員 ○糸永諒太
大分高専 非会員 平田志郎

1. まえがき

水田や畑地での化学肥料の使用は、農業生産を増大するうえで不可欠であるが、これらの化学肥料由来と考えられる栄養塩の河川への流出は、流域のダム・貯水池、エスチャリー、および内湾等の閉鎖性水域を富栄養化させ、プランクトンの大増殖を引き起こす。これによって、水中の溶存酸素（DO）濃度を低下させ、魚類の生息環境や生態系に甚大な影響を及ぼす。本研究では、大分市内を流れる大分川を対象として、流域水田から河川へと流出する硝酸性窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）について検討を行った。とりわけ、水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ の流出に及ぼす降雨の影響に着目して、梅雨期を中心に大分川府内大橋周辺で採水、そして水質を分析し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 流下負荷量と河川流量との関係を調べるとともに、雨量強度が $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出に及ぼす影響について考察した。

2. 検討対象水域

調査対象とした大分川は、大分県由布市由布岳（標高 1584m）を水源とし湯布院、庄内から大分市内を貫流して別府湾へと注ぐ幹線流路延長 55km、流域面積 650km^2 の一級河川である。調査地点である府内大橋（大分市内）は河口より約 6.8km 上流に位置し、当該地点より約 1km 上流で支川の七瀬川、約 4km 上流で支川の賀来川が合流する（図-1）。この府内大橋周辺（大分川、七瀬川、賀来川沿い）は住居地域、商業地域の他に大小多数の水田が広がっており、梅雨期にはこれらの水田から多量の $\text{NO}_3\text{-N}$ が大分川へと流出することが懸念される。

3. 調査方法

水田が田植えの後、一定期間（梅雨期）水で満たされていることを想起すれば、施肥された水田土壌中の栄養塩は、先ず、何らかの原因によって直上の水中へと移動し、その後、河川へと流出すると考えられる。上述の点を考慮して、採水は 2012 年 6 月 21 日～10 月 16 日にかけて計 10 回実施した（表-1）。これら 10 回の現地調査について、6 月 21 日～7 月 18 日の 8 回はいずれも降雨時、また水田が湛水中に実施した。比較対象として、水田の湛水が終了した後、晴天時の 9 月 11 日、および 10 月 16 日の 2 回、調査を行った。現地調査では、前述（2.）の府内大橋において採水して試料とし、イオンクロマトグラフ（Dionex ICS-1000）を用いて $\text{NO}_3\text{-N}$ の分析を行った。河川流下負荷量は $\text{NO}_3\text{-N}$ の分析結果、および河川流量より算定した。なお、河川流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ は国土交通省大分河川国道事務所による府内大橋での堰の越流水深 $H(\text{m})$ の観測結果より、次式によって求めた。

$$Q=68.06 \cdot (H+0.79)^2 \quad (1)$$

4. 水質観測結果

水質分析結果を表-1 に示す。これより、降雨時の $\text{NO}_3\text{-N}$ は $1.90 \sim 3.36\text{mg/l}$ と、晴天時（ $1.54 \sim 1.87\text{mg/l}$ ）よりも僅かに高濃度となる傾向がみられるものの、雨天時と晴天時とで顕著な差異は認めら



図-1 調査対象地点（大分川府内大橋）

表-1 水質観測結果

観測日	天候	水位 (m)	流量 (m^3/s)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)
6/21	雨	0.65	141	2.18
6/25		1.28	292	2.41
6/27		0.52	117	2.30
7/3		1.16	259	1.90
7/4		0.82	176	2.07
7/12		2.07	557	2.15
7/13		1.68	415	1.98
7/18		0.37	91.6	3.36
9/11	晴	0.15	60.2	1.87
10/16		0.09	52.7	1.54

表-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量と雨量強度

観測日	$\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量 (kg/day)	雨量強度 (mm/hr)
6/21	26600	10.5
6/25	60800	25.0
6/27	23300	6.0
7/3	42500	27.5
7/4	31500	21.0
7/12	103000	48.0
7/13	71000	36.0
7/18	26600	4.0
9/11	9730	0.0
10/16	7010	0.0

れない。一方、河川流下負荷量(表-2)を見ると、雨天時の $\text{NO}_3\text{-N}$ の河川流下負荷量は晴天時のそれのおよそ 3~12 倍であり、降雨によって水田から流出したと思われる $\text{NO}_3\text{-N}$ が観測されている様子が見て取れる。

本研究で対象とするような水田から河川へと流出する栄養塩は、非特定(ノンポイント)汚染源と呼ばれ、家庭雑排水や家畜舎等からの排水のような汚染源の特定と定量化が比較的容易な特定汚染源と区別されている。このような非特定汚染源に関しては、 L - Q 式に代表されるように、汚濁負荷量(L)が河川流量(Q)の関数として表現される場合が多い^{1), 2)}。そこで、調査より得られた大分川府内大橋での河川流量と $\text{NO}_3\text{-N}$ 流下負荷量との関係を示せば、図-2 のようである。この図より、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 流下負荷量は流量の単調増加関数であり、観測値に合うようにパラメータフィッティングを行えば、 $L=aQ^b$ ($a=160$, $b=1.03$)を得る。図-2 には、以上のようにして得られた回帰曲線も併示されているが、これより、従来の研究成果と同様の傾向、すなわち、検討対象地点においても L - Q 式が有効であることが確認された。なお、降雨時(出水時)と晴天時(平常時)では L - Q 関係は異なるとされているが¹⁾、本研究では、降雨時の水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出に着目しているため、これに関する検証は行っていない。

5. 水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出に及ぼす降雨の影響

前述(4.)の L - Q 式は、流域毎に汚濁負荷量と河川流量との関係を把握するうえで便利であるが、これは汚濁負荷の河川への流出過程を考察し、あるいはその詳細を表現したものではない。ここでは、降雨時の水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ の河川への流出過程について以下に考察する。施肥によって水田土壌中へと供給された $\text{NO}_3\text{-N}$ は、湛水中には水田土壌間隙水中に溶存態として存在する。降雨によって雨滴が水田表面に落下すると、水・土壌境界面に圧力変動を生じ、これによって水田土壌中の間隙水の微弱な流動を引き起こす。すなわち、降雨によって水田土壌中に Darcy 則で表現できるような流れ場が形成される。以上のように考えれば、周辺の水田から大分川へと流出する $\text{NO}_3\text{-N}$ の量は水田土壌中に生じる流れの流速、ひいては雨量強度に関係することが示唆される。ここで、大分川府内大橋での $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量と雨量強度との関係を示せば図-3 のようである。なお、雨量強度は気象庁の HP より入手した。また、検討に際して、晴天時(9/11, 10/16)の観測データは除外した。図-3 より雨量強度の増大とともに $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量が増加する傾向がみられる。これは、上述の、雨量強度とともに間隙水中の流れの流速が大きくなり、水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量が増加する、という仮説を支持している。仮説中の、雨滴の落下による圧力変動によって生じる水田土壌中に流れ場の解析には、筆者による Hyporheic flow の解析結果³⁾が応用できる。今後は、水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ と雨量強度との関係を定量的に表現するとともに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量を推定するためのモデルを構築する予定である。

本研究は、科学研究費補助金、基盤研究(C)「陸水域における砂質底泥への乱れの浸透と水・底泥間での物質移動過程に関する研究、課題番号：22560522」(代表：東野 誠)の援助を受けて行われた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 二瓶泰雄, 田中辰弥, 滝岡健太郎: 出水時水質データが無い河川における L - Q 式推定法の一提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1176-1180, 2010.
- 2) 北島雄太, 田中晃司, 松永 学, 野口正人, 西田 渉, 鈴木誠二: 諫早湾調整池における降雨時の非点源汚濁負荷流出量の予測と評価に関する研究, 長崎大学工学部研究報告, 第38巻, 第70号, pp.38-43, 2008.
- 3) Higashino, M., Clark, J.J. and Stefan, H.G.: Porewater flow due to near-bed turbulence and associate solute transfer in a stream or lake sediment bed., *Water Resources Research* Vol.45(12), W12414, doi:10.1029/2008WR007374, 2009.

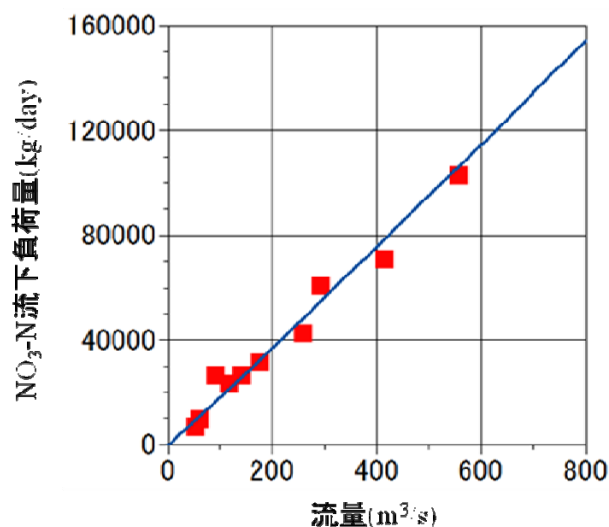


図-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 流下負荷量と流量の関係

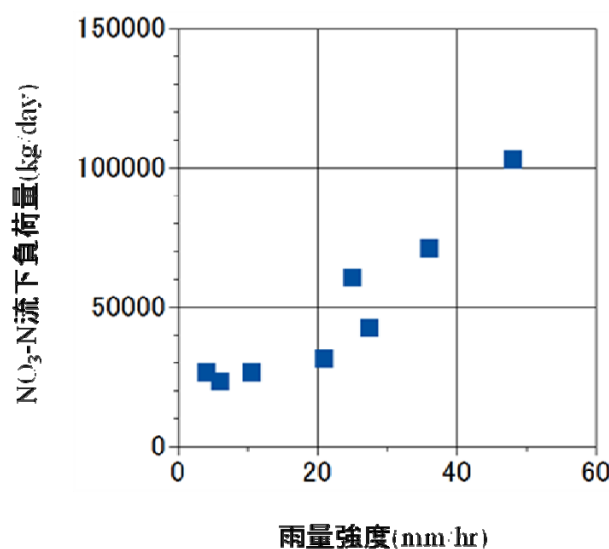


図-3 $\text{NO}_3\text{-N}$ 流下負荷量と雨量強度の関係