

広域農業地域における水質負荷量に関する一考察

Study on water pollution load in a large farming area

(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 山下 彰司 (Shoji Yamashita)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 新目 竜一 (Ryuichi Simme)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 赤岩 孝志 (Takashi Akaiwa)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 鶴木 啓二 (Keiji Unoki)

1. はじめに

北海道東部に位置するA川は、その下流端にはラムサール登録湿地となっている汽水湖のB湖が接続している。近年、A川から流入する水質負荷物質により、B湖の水質の悪化が懸念されており、その対策が望まれている。本文では、B湖の水質に大きな影響を与えている短期流出時(出水時)における水質負荷物質(主に窒素)の挙動を分析し、B湖の水質対策に資するものである。

2. A川の環境負荷物質の流出特性

本研究における調査対象河川は道内有数の酪農地帯である道東のA川とした。また、A川は汽水域をもつB湖に流入している。さらに、このA川支川C川では現在国営環境保全型かんがい排水事業Z地区で、家畜フン尿処理施設の整備や排水路沿いの林帯の設置などの取り組みがなされている。調査対象河川A川の模式図を図-1に示す。

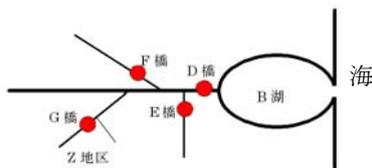


図-1 A川模式図

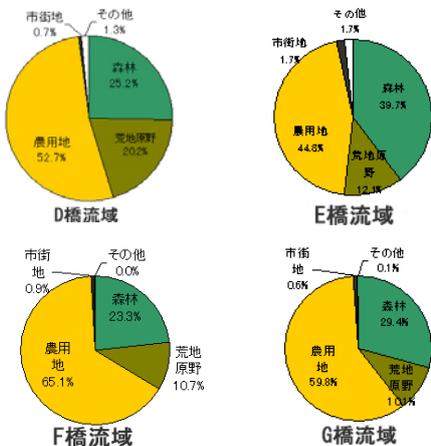


図-2 土地利用図 (D橋)

図-2に示すように調査対象河川流域(A川最下流端D橋流域)の土地利用の52.7%は農地(採草放牧地)であり、A川は北海道の典型的な大規模酪農地帯を貫流する河川である。調査にあたっては、流域内に観測地点を4カ所(D橋:流域面積557km²、E橋:流域面積21.5km²、F橋:流域面積5.8km²、G橋:流域面積67.6km²)設置し、2006年及び2007年の6月~11月において3回/月の定期流量水質観測と高水時に2回の流量水質観測を行った。得られたデータを元にBOD、COD、全窒素、SS、全リンの各負荷量の項目においてL-Q式(負荷量と流量の関係式)を作成し、その特性を調べた。L-Q式は以下の定義で示される。

$$\left(\frac{L}{A}\right) = a \left(\frac{Q}{A}\right)^n \quad (1)$$

上式でA:流域面積、L:負荷量、Q:流量

a、n:係数

すべてのL-Q式の相関係数は0.9以上の高い正の相関を示した。各観測地点で負荷量項目毎のL-Q式のべき乗係数nを図-3に整理する。図中、SS項目のE橋地点を除いて、すべてべき乗係数nが1以上であった。これは、この流域では各負荷量が、「洗い出し型」¹⁾であり、この流域の負荷量の主な発生源は面源負荷であることを示している。

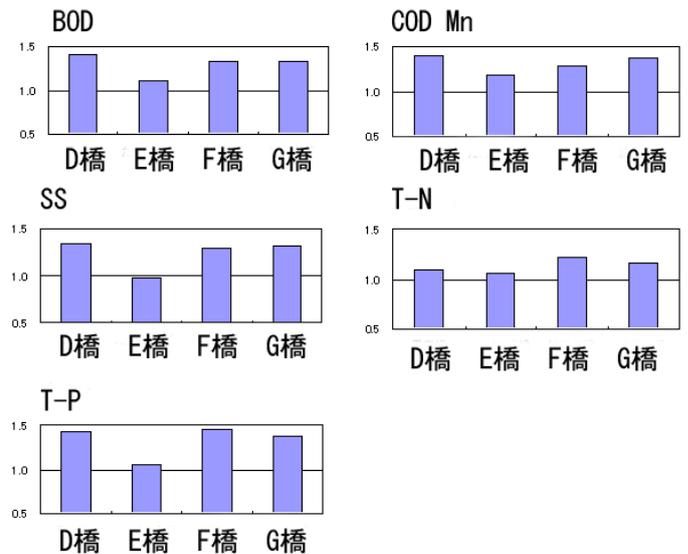


図-3 べき乗係数 n の比較

大規模酪農地帯を貫流する流域での環境負荷物質のなかで、農地に堆肥、スラリー等として散布される窒素は代表的な物質である。散布された窒素はアンモニア態窒素から、土壌中の硝酸菌により、亜硝酸態窒素さらに硝酸態窒素に変化して植物に利用され、あるいは河川に流出する。また、一部の窒素は水に溶けずにそのまま河川に流出するものもある。溶存性のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素等の他に非溶存性のもの(懸濁態)も含めて全窒素としている。以下に窒素に関して考察していく。

3. 貯留関数法を用いた窒素負荷量の算定

①流出モデルの概要

流出モデルには、日野、長谷部が提案している「数学的フィルター分離AR法」²⁾を用いて表面・中間流出成分と地下水流出成分を分離した2段タンク型非線形貯留関数モデル(2段タンク型星モデル)³⁾⁴⁾⁵⁾を使用した。このモデルは、観測雨量、流量データを前処理することなく、利用できるモデルである。基本式は(1)の通りである。図-4に概念図を示す。

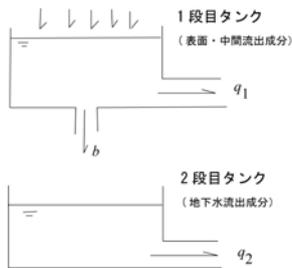


図-4 2段型タンクモデル型貯留関数モデル概念図

基本式は以下の通りである。

$$\begin{cases} s_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \\ \frac{ds_1}{dt} = r - q_1 - b \\ b = k_{13}q_1 \end{cases} \quad (1)$$

- ここで、 s_1 : 1段目タンク貯留高(mm)
- r : 観測雨量(mm)
- q_1 : 表面・中間流出高(mm/hr)
- b : 1段目タンクから2段目タンクへの浸透供給量(mm/hr)
- k_{11} 、 k_{12} : 貯留係数
- k_{13} : 浸透係数
- p_1 、 p_2 : 貯留指数

1段目タンクの損失項 b は浸透供給量として、すべて2段目タンクへの入力とした。また、 p_1 、 p_2 、 k_{11} 及び k_{12} については表面流に Manning 則を用い、以下の値に固定した。

$$p_1 = 0.6, \quad p_2 = 0.4648 \quad (2)$$

$$k_{11} = c_{11}A^{0.24}, \quad k_{12} = c_{12}k_{12}^2(\bar{r})^{-0.2648}, \quad k_{13} = c_{13} - 1$$

ここで、 A : 流域面積(km²) \bar{r} : 平均雨量強度(mm/hr)
 c_{11} 、 c_{12} 、 c_{13} : 未知定数

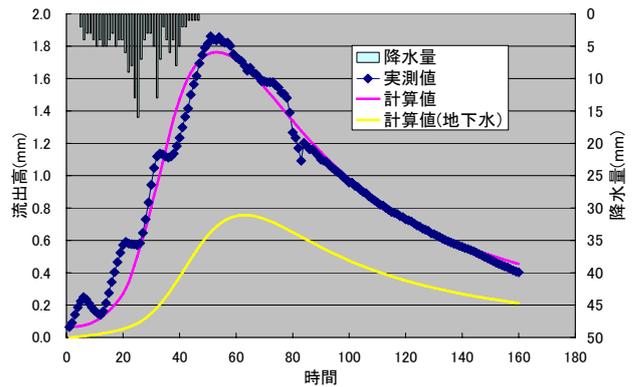


図-5 流出高経時変化図(2006年10月出水時、D橋)

図-5に2006年10月洪水時のD橋における実測流出高と計算流出高及び計算された地下水流出高の経時変化を示す。計算値はおおむね実測値と適合していることが見て取れる。

②水質負荷モデルの概要

海老瀬ら⁶⁾は負荷量 L を表面・中間流出及び地下水流出成分の線形和で以下の式のように表現している。

$$L = aQ_1 + bQ_2 + L_0 \quad (2)$$

上式で、 L_0 は基底流量 Q_0 に対する基底負荷量とし、降雨前の負荷量を便宜的に与える。また、 Q_1 、 Q_2 はそれぞれ表面・中間流出流量、地下水流出流量である。係数 a 、 b は最小二乗法で実測負荷量の分布に最も適合したものとする。

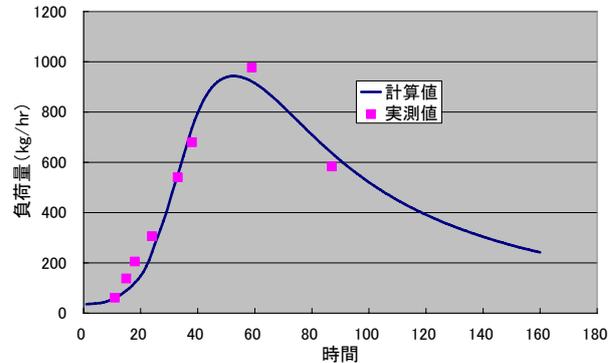


図-6 全窒素負荷量経時変化図(2006年10月出水時、D橋)

図-6に2006年10月洪水時のD橋における全窒素の実測負荷量と計算負荷量の比較した図を示す。図より計算負荷量は実測負荷量をおおむね再現できることがわかる。また、図-7に流量変化に伴う全窒素負荷量の変化を、図-8に全窒素負荷濃度の経時変化を示す。図-7、8において、多少の誤差はあるが、計算値はほぼ再現できているのではないかと考える。今後、観測データを蓄積し、このモデルで窒素流出特性を明らかにしてみたい。

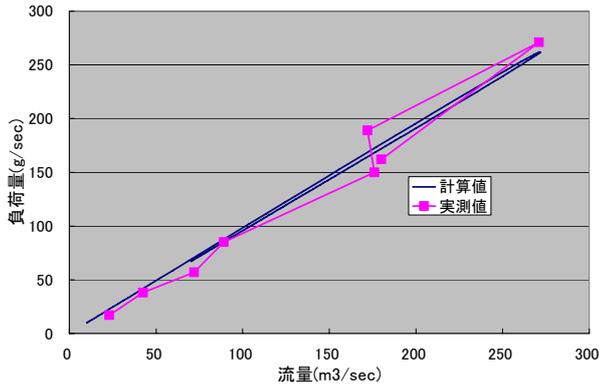


図-7 流量—全窒素負荷量変化図(2006年10月出水時、D橋)

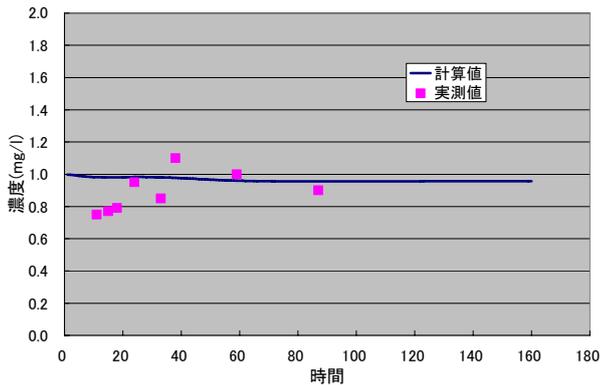


図-8 全窒素負荷濃度経時変化図(2006年10月出水時、D橋)

4. 酪農地帯における出水時の窒素負荷量の挙動

平田ら⁷⁾は山地溪流において溶存性の硝酸態窒素について、その濃度は流量のピーク時に最小となり、流量の低減に伴って濃度は上昇し、降雨前の濃度に戻る事が報告している。また、海老瀬ら⁶⁾は降雨時の流量変化に対する硝酸態窒素負荷量の変化は反時計回りとなる事を報告している。また、橋ら⁸⁾は山岳小河川において出水時の全窒素は懸濁物質の影響が大きく、増水時の濃度の増加も著しい事を報告している。

本研究では、D、E、F、G橋の4観測地点において、硝酸態窒素と全窒素について、負荷濃度の経時変化と流量変化に伴う負荷量の変化を調査したが、だいたい総じて、流量との関連で硝酸態窒素においては反時計回り(図-9)、全窒素においては時計回り(図-10)の傾向が見られた。この傾向の

違いの要因は、硝酸態窒素は溶存性であるため、出水後期に遅れて増加してくる地下水成分の寄与を受けることが多く、全窒素は非溶存性の懸濁態窒素も含んでいるが、懸濁態窒素は出水初期の表面流の寄与を多く受けるからだと考えられる。

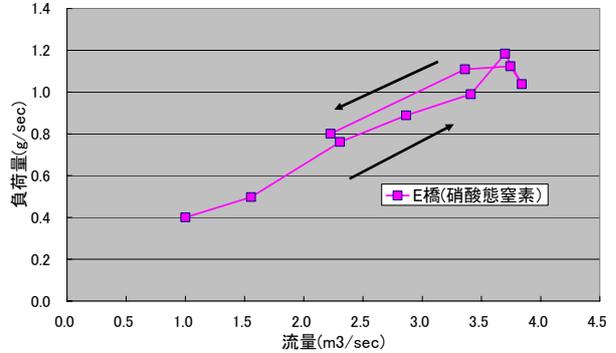


図-9 硝酸態窒素—流量関係図(2007年6月出水時)

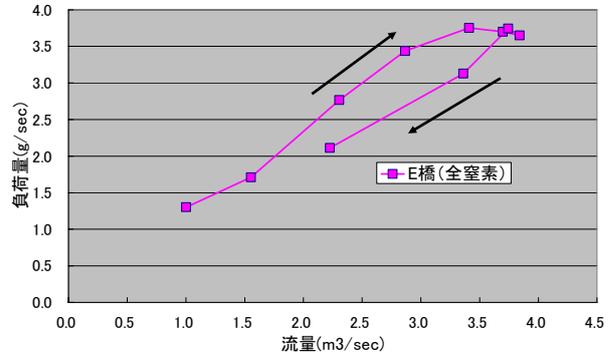


図-10 全窒素—流量関係図(2007年6月出水時)

図-11、12に2007年6月出水時の4観測地点における全窒素と硝酸態窒素濃度の時間変化を、図-13に2007年6月出水時の4観測地点の全窒素濃度に硝酸態窒素濃度が占める割合(以降、硝酸態窒素比とする)の時間変化を示す。各地点において全窒素濃度はE橋を除いて流量の増加に伴って増加し、ピークを形成して、減少に転じるが、硝酸態濃度及び硝酸態窒素比は出水時初期に減少するが、時間の経過とともに上昇していくことが見られる。

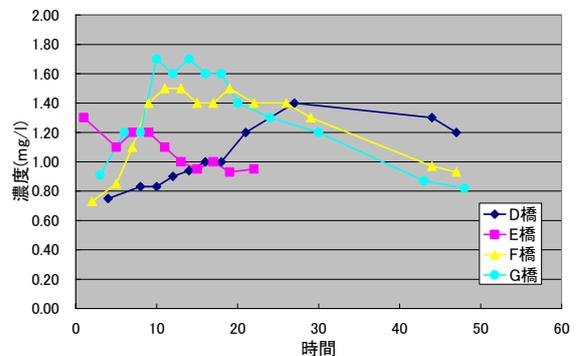


図-11 全窒素濃度の時間推移図(2007年6月出水時)

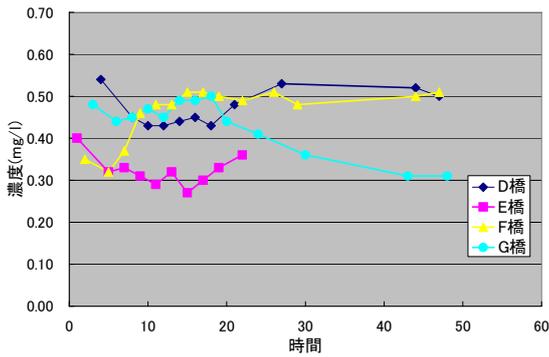


図-12 硝酸態窒素濃度の時間推移図 (2007年6月出水時)

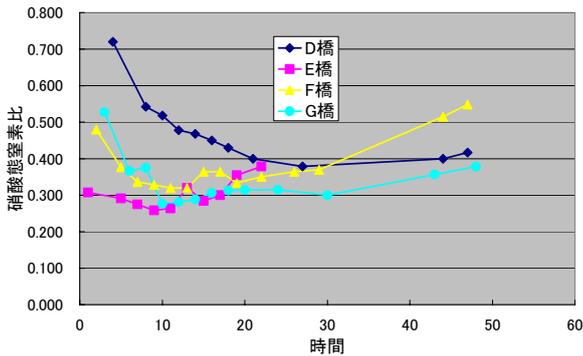


図-13 硝酸態窒素比の時間推移図 (2007年6月出水時)

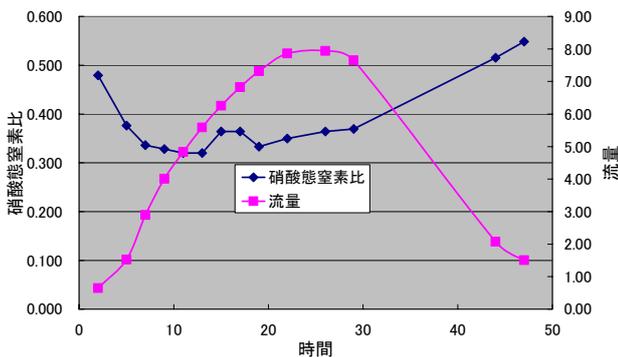


図-14 硝酸態窒素比と流量ハイドロの比較 (F橋)
(2007年6月出水時)

また、典型的例として、図-14に2007年6月出水時のA川のF橋地点で採水した河川水における硝酸態窒素比とハイドログラフの比較図を示す。図より、硝酸態窒素比は流量の増加とともに減少していき、流量のピーク前に最小値を示した後に、流量がピークを過ぎ減少していくにもかかわらず硝酸態窒素比は上昇していく傾向を示している。要因としては、先に述べたように出水時の初期は河川水における表流水の割合が多いことから、全窒素流出量の増加と降雨による希釈に伴い、相対的に硝酸態窒素の濃度の割合は減少していくが、出水後期には、河川水に占める地下水流出成分が卓越してくるため、硝酸態窒素濃度の割合が増加してくるためと考えられる。この傾向は感潮域であるD橋地点を除くすべての地点で見られた。山田⁹⁾は農業地域(畑地)における降雨時の懸

濁態窒素と硝酸態窒素の挙動に関する同様な報告をしている。

5. まとめ

当研究チームでは、大規模酪農地域を貫流するA川流域に観測箇所4点を設置し、2006年、2007年の2カ年間に渡って、流量データ、水質データを収集した。収集したデータより、水質負荷物質として窒素に着目して、出水時におけるその挙動を検討した。結果として、農用地が土地利用の過半を占める調査対象流域(平水時の平均全窒素濃度はD橋で0.94mg/l、E橋で1.05mg/l、F橋で0.83mg/l、G橋で0.95mg/l)では、出水時における溶存性の硝酸態窒素と全窒素では流出の挙動が若干異なり、それは出水時の表面・中間流成分と地下水流出成分の影響を受けることが考えられた。

しかしながら、収集したデータはまだ2カ年分だけであり、検討結果を検証するためにも今後もデータを蓄積していくことが重要と思われる。

参考文献

- 1) 橋 治国、吉澤 香、山田俊郎、阿部正明：石狩川の非特定汚染、第12回寒地技術シンポジウム、P76～80、1996
- 2) 日野幹雄、長谷部正彦：水文流出解析、森北出版、1985
- 3) (財)北海道河川防災研究センター・研究所：実践流出解析ゼミ、平成18年7月
- 4) 嵯峨 浩：北海道におけるタンクモデルの総合化、(財)北海道河川防災研究センター研究所紀要 P59～69、1998
- 5) 園山裕士、星 清：2段タンク型貯留関数モデルの同定手法の改良、北海道開発土木研究所月報 No589 P7～18、2002年6月
- 6) 海老瀬潜一、宗宮 功、平野良雄：タンクモデルを用いた降雨時流出量負荷解析、用水と廃水 Vol21 No.12、P46～48、1979
- 7) 平田健正、村岡浩爾：山地小流域における溶存物質の降雨流出特性について、第30回土木学会水理講演会論文集、P43～48、1986
- 8) 橋治国、安藤正治、大森博之：連続採水による森林小河川の水質特性(9～11月<1986,1987年>)土木学会北海道支部論文報告集、P401～406、1988
- 9) 山田俊郎：農業地域からのノンポイント汚濁負荷の評価と削減対策に関する研究、
http://www.sangetsu.co.jp/hibizaidan/pdf/re_yamada.pdf