

流域規模での水・物質循環管理支援モデルに関する研究(2)

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（水質）

研究担当者：南山瑞彦、平山孝浩、久岡夏樹

【要旨】

流域で発生する栄養塩類の閉鎖性水域への流出機構を明らかにするために、生活系、畜産系の汚濁物質発生特性（トレーサー物質及び溶解性栄養塩類の実態）の解明を行った。また、生活系、畜産系の汚濁排出量が多いと考えられる流域を対象として、晴天時、雨天時におけるこれらの物質の流達特性を把握し、トレーサー物質と溶解性栄養塩類の流出負荷量と比流量の関係を整理した。今後は、水位連続観測による流量の連続把握を行うことで、流域からの雨天時を含めた総流出負荷量を把握することが可能となると考えられる。

キーワード：流域モデル、トレーサー、栄養塩類、流出機構、生活排水、畜産排水、物質循環

1. はじめに

閉鎖性水域や河川において、種々の対策が行われているにも関わらず、栄養塩濃度は横ばい傾向にある。水質改善のために河川管理者によるマスタープラン策定が行われているが、発生源ごとの水域への栄養塩類の流出機構が明確でなく、また、発生源ごとの寄与度と対策効果を総合的に評価できる流域規模の水質評価モデルが存在しないという問題点があるため、目標の実現に不確実性が残る。水質改善計画を確実なものとするためには、発生源ごとに窒素・りん等の栄養塩類の流出過程を追跡する手法と、土地利用や営農形態の変化等の定量的影響やそれらの相互関係を含めて総合的に把握・分析できるツールを開発する必要がある。

本研究では、土木研究所で開発中の流域水・物質循環モデル(WEPモデル)を基盤としつつ、栄養塩類の発生源ごとに水域への流出機構を明らかにし、窒素流出・輸送モデルを改良するとともに新たにりん流出・輸送モデルを追加することで、表流水と地下水の流域規模での総合的な水・物質循環モデルとして実用的なものとする。

水質チームは、①試験流域における水質・水文データ収集を行い、その情報を元に、②発生源ごとの水質特性の解明を行い、③発生源から水域への栄養塩類の流出機構の解明を行う部分を担当する。

2. 平成 22 年度調査の内容

2.1 過年度および平成 22 年度の調査内容

流域で発生する汚濁負荷が水域へ到達する機構を考察するための基礎情報収集を目的として、流域におけ

る点源と面源の割合が異なる複数の流域を対象として、水質の実態を調査した。

平成 18 年度調査では、生活系の汚濁物質発生特性の解明、および、流域で発生する汚濁負荷が水域へ到達する機構の解明のため、①利根川水系手賀沼流入河川の大津川の支流、②利根川水系北浦流入河川を対象に晴天時のトレーサー物質及び溶解性栄養塩類の実態を調査した。

平成 19 年度は対象流域として、①利根川水系手賀沼流入河川の大津川の支流（平成 18 年度調査に比べて採水地点を増加）、②利根川水系北浦流入河川の鉾田川（平成 18 年度調査で、畜産系排水の混入が示唆された地点）③群馬県赤城山西南麓の河川を選定し、晴天時のトレーサー物質及び溶解性栄養塩類の実態を調査した。

平成 20 年度は対象流域として、利根川水系鬼怒川の支川である山川を選定し、晴天時のトレーサー物質及び栄養塩類の実態を調査した。本支流域内の家畜頭数は人口と同程度の高水準であり、畜産系排水の混入が想定される。

なお、晴天時には、生活系、事業系、大規模な畜産系等の点源で発生する汚濁が、人為的な処理や流下過程で土壌への吸着や生物などへの摂取により低減されて、その残りが恒常的に水域へ到達していると考えられる。閉鎖性水域へ到達する汚濁負荷の総量を考える際には、晴天時に一時的に流域に保持された汚濁負荷が雨天時に移動することも考慮する必要があり、雨天時も含めた調査が必要である。

そこで、平成 21～22 年度には、平成 20 年度に引き

続き、利根川水系鬼怒川の支川である山川を対象として、雨天時も含めて、トレーサー物質および栄養塩類の流出実態を調査するとともに、水位連続観測による流量の連続把握を行い、総流出負荷量の算定を行った。

2.2. 山川における平成22年度の水質調査

畜産業が盛んで、流域における汚濁発生量総量に占める畜産系汚濁負荷の割合が大きいと考えられる利根川水系鬼怒川右岸山川流域を対象に、トレーサー物質 (Na^+) および栄養塩類 (K^+ 、 T-N 、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、 T-P 、 $\text{D-PO}_4^{3--}\text{P}$) の実態調査を実施した。また、あわせて、有機性汚濁の指標である SS 、 DOC についても実態調査を実施した。採水は図-1 に示す4箇所で、平成22年5月下旬～平成22年10月の間、各箇所週1回程度の頻度で、主に晴天時（ただし、5月、6月、9月の各1回は雨天時）の日中に実施した。

ここでは、山川流域の下流末端に位置する関戸橋における調査結果を図-2～5に示す（ただし、 T-P と SS は、3回の雨天時データを含めていない）。なお、山川流域では、4月～9月の間、水稻栽培が実施され、この期間には、吉田用水や霞ヶ浦用水から灌漑用水が供給されており、ここでは、灌漑用水中の水質も合わせて調査した。また、中流域で流量観測が実施されている山川モデル橋においても、同様に調査を行った。

図-2の Na^+ 濃度および K^+ 濃度を見ると、調査期間を通じて、大きな変動は見られなかった。

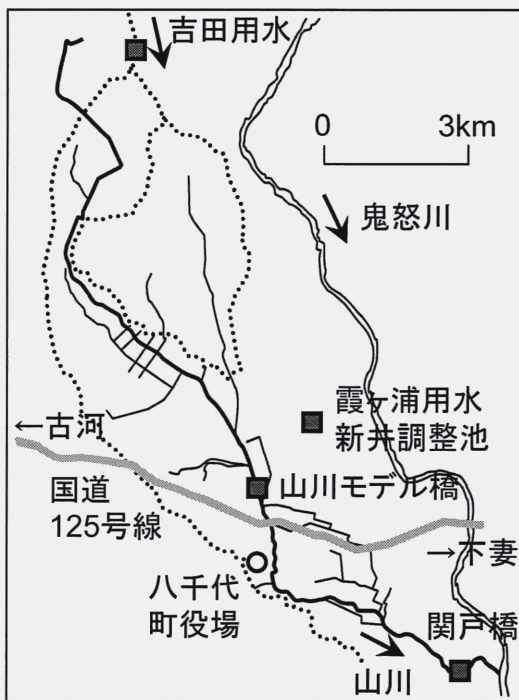


図-1 山川流域採水地点

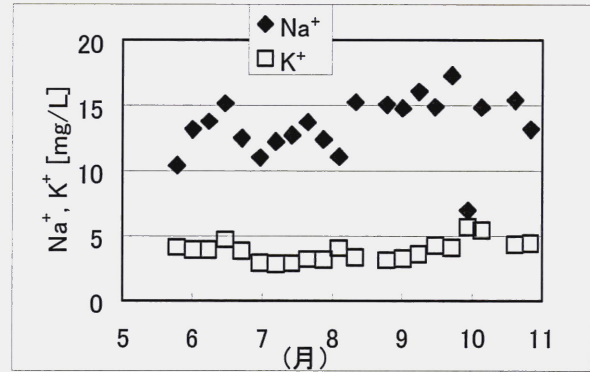


図-2 山川関戸橋における Na^+ と K^+ 濃度

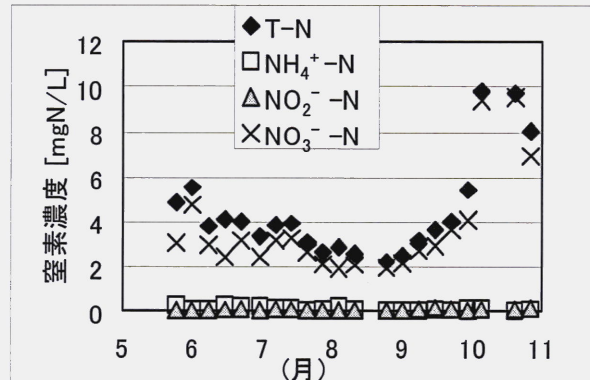


図-3 山川関戸橋における窒素濃度

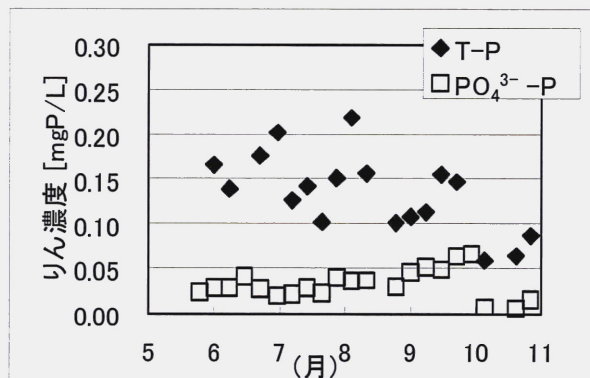


図-4 山川関戸橋におけるりん濃度

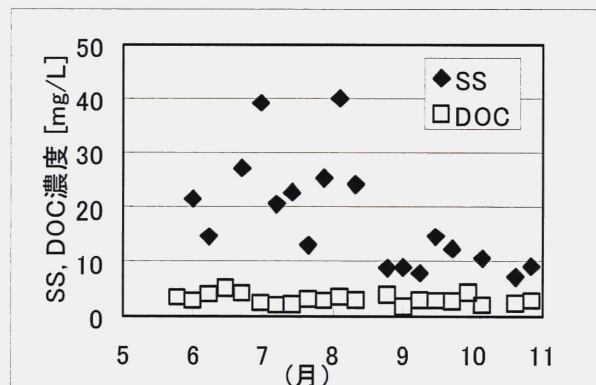


図-5 山川関戸橋における有機性汚濁指標

図-3の窒素濃度の変動を見ると、10月の非灌漑期には高い濃度となったが、その他は、それに比べ低いレベルを維持した。

図-4のりん濃度のこの期間の変動を見ると、T-P濃度に関しては、5月～8月が高く、9月～10月が低い傾向が見られた。オルトリン酸態りん ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)濃度に関しては、この期間を通じて大きな変動は見られなかった。

図-5の有機性汚濁指標のこの期間の変動を見ると、SS濃度に関しては、5月～8月の灌漑期が高く、一方、非灌漑期には低い傾向が見られた。溶解性有機炭素(DOC)濃度に関しては、年間を通じて大きな変動は見られなかった。

以上の傾向は、平成21年度の年間の結果りとほぼ同様の傾向であった。

過年度実施した、山川関戸橋における水位と流量の関係を把握する調査結果に基づき、採水時に水位を記録することで、採水時の流量を把握した。

図-5に晴天時の比流量とナトリウムイオン負荷量・カリウムイオン負荷量の関係を示す。なお、ここでは、平成21年度の晴天時のデータと平成22年度の晴天時のデータをあわせて解析した。比流量と負荷量の関係を

$$L = aQ^b$$

ここで、 L : 負荷量 [g/s/km^2]

Q : 比流量 [$\text{m}^3/\text{s/km}^2$]

a, b : それぞれ定数

と仮定し近似式を得ると、定数 a, b は表-1のように求められ、比較的よい相関が得られた。

表-1 比流量と負荷量(Na^+, K^+)の関係

項目	a	b	r^2
Na^+	5.28	0.64	0.74
K^+	1.40	0.63	0.56

さらに同様に、比流量と、全窒素(T-N)、溶解性窒素(D-N)、全りん(T-P)、溶解性りん(D-P)、浮遊物質(SS)、溶解性有機炭素(DOC)のそれぞれの負荷量の関係を整理した結果、表-2のようにまとめられた。

全りん(T-P)、溶解性りん(D-P)、浮遊物質(SS)、溶解性有機炭素(DOC)に関しては、一定の相関が見られたが、全窒素(T-N)、溶解性窒素(D-N)に関しては、相関が見られなかった。全窒素のL-Q関係を図上にプロットしてみると、2つのグループに分かれている傾向が見られた(図-6)。5月～9月を一つのグル

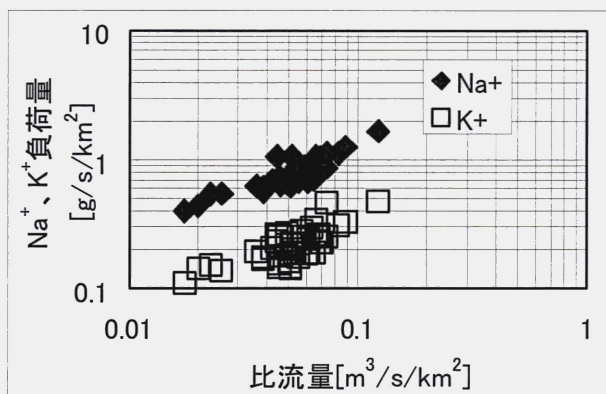


図-5 比流量と Na^+, K^+ 負荷量の関係

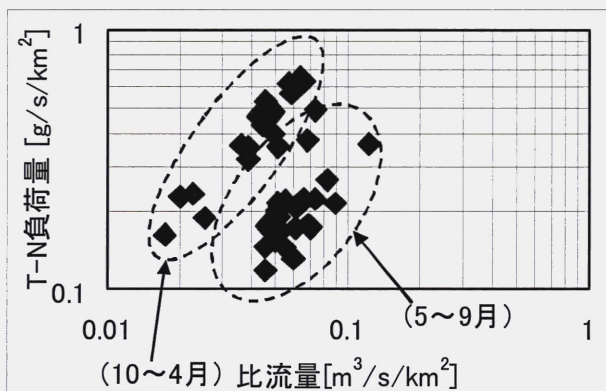


図-6 比流量とT-N負荷量の関係

表-2 比流量と負荷量(N,P,SS,DOC)の関係

項目	a	b	r^2
T-N	0.43	0.16	0.014
D-N	0.34	0.13	0.0077
T-P	0.23	1.24	0.43
D-P	0.22	1.78	0.37
SS	217	2.04	0.36
DOC	2.63	0.96	0.47

表-3 期間別の比流量と負荷量(N)の関係

期間	項目	a	b	r^2
5~9月 灌漑期	T-N	1.46	0.71	0.31
	D-N	1.03	0.64	0.26
10~4月 非灌漑期	T-N	8.44	0.96	0.87
	D-N	8.32	0.99	0.85

ープ(これを「灌漑期」という)、10月～4月をもう一つのグループ(これを「非灌漑期」という)として、窒素のデータを2つのグループに分けて整理した結果、表-3の通りとなった。灌漑期・非灌漑期ともに一定の相関が見られる。

2.3 山川における総流達負荷量

畜産業が盛んで、流域における汚濁発生量総量に占める畜産系汚濁負荷の割合が大きいと考えられる利根川水系鬼怒川右岸山川流域を対象に、山川関戸橋における全窒素・全りん の総流達負荷量を試算した。

山川関戸橋において圧力式水位計を用いて、水位を平成21年6月から平成23年1月まで10分おきに連続測定した。ただし、平成21年9月に約23日間、平成22年6月から7月に約41日間の欠測期間があった。過年度実施した水位と流量の関係把握する調査結果に基づき、1時間平均の水位を流量に換算して、流達負荷量計算に用いた。

比流量と負荷量の関係

$$L = aQ^b$$

ここで、 L : 負荷量 [g/s/km²]

Q : 比流量 [m³/s/km²]

a, b : それぞれ定数

を用い到達負荷量を計算した。定数 a, b は、晴天時には2.2で求められた定数を、雨天時には過年度の雨天時における調査結果¹⁾を適用した。ただし、晴天時には、関戸橋における比流量が0.15 [m³/s/km²]未滿の時、雨天時とはそれ以上の時とした。また、全窒素では、灌漑期・非灌漑期別の定数を用いた。計算に用いた定数を表-4に示す。

表-4 計算に用いた定数 (比流量と負荷量の関係)

項目	晴天時 雨天時	時期	a	b
全窒素	晴天時	灌漑期	1.46	0.71
		非灌漑期	8.44	0.96
	雨天時	—	4.30	1.10
全りん	晴天時	—	0.23	1.24
	雨天時	—	1.06	1.88

表-5 流達負荷量等の計算結果

	全窒素 (t/year)	全りん (t/year)	備考
比流量と負荷量の関係を用いた流達負荷量	350	11	
過年度の原単位法による総排出負荷量 ²⁾	120	13	原単位：第5期霞ヶ浦の湖沼水質保全計画

到達負荷量の計算結果を、過年度における原単位法による排出負荷量の計算結果²⁾とあわせて、表-5に示す。全窒素に関しては、流達負荷量が総排出負荷量を大きく上回っており、排出負荷量を過小評価している可能性が考えられる。また、全りんに関しては、流達負荷量が総排出負荷量と概ね同程度であった。

3. まとめ

流域で発生する栄養塩類の閉鎖性水域への流出機構を明らかにするために、平成21~22年度は流域で発生する汚濁負荷が水域へ到達する機構を考察するための基礎情報収集を目的として、利根川水系鬼怒川の支川である山川を選定し、晴天時および雨天時のトレーサー物質及び溶解性栄養塩類の流出実態を調査した。

さらに、水位連続観測による流量の連続把握を行い、比流量と流出負荷量の関係を用いて、流域からの栄養塩類の雨天時を含めた流達負荷量を計算した結果、これまでの原単位法による総排出負荷量計算結果と異なり、さらなる排出・流達機構の解明が必要と考えられた。

参考文献:

- 平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料第4191号、pp.190-197、2010
- 平成20年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料第4157号、pp.144-151、2009

STUDY ON RUNOFF-MECHANISMS OF NUTRIENT POLLUTANT AND DEVELOPMENT OF RUNOFF MODEL

Budged: Grant for operating expenses
General account

Research Period: FY2006-2010

Research Team: Water Environment Research
Group (Water Quality)

Author: MINAMIYAMA Mizuhiko
HIRAYAMA Takahiro
HISAOKA Natsuki

Abstract: In order to understand runoff-mechanisms of nutrient pollutant from watershed to receiving water body, concentrations of a tracer (i.e. sodium ion) and nutrients in domestic wastewater and occurrence of their runoff in dry weather and rainy day were studied. By analyzing ratios of nutrient to the tracer, it was possible to estimate existence of household wastewater. And the result suggested that ration of potassium ion to a tracer (i.e. sodium ion) is a good indicator of contamination of livestock wastewater.

Key words : runoff, tracer, nutrient, domestic wastewater, household wastewater, material cycling