

13.7 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、小森行也、岡安祐司

【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 21 年度調査の内容

2.1 過年度および平成 21 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 年度は、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把握した。

2.2. 山川における晴天時水質の調査

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 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 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21年4月～平成22年3月の間、各箇所週1回程度の頻度で、晴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。なお、山川流域では、4月～9月の間、水稻栽培が実施されており、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いる。

[VI]図-2の Na^+ 濃度および K^+ 濃度の年間変動を見ると、年間を通じて、大きな変動は見られなかった。

図-3の窒素濃度の年間変動を見ると、4月になり灌漑期に入ると、徐々に濃度が低下し、灌漑期間中は低いレベルを維持した。一方、9月になり灌漑用水の供給が停止した後は、濃度が上昇し、非灌漑期には高い濃度を維持した。また、1月～4月にかけての、低い

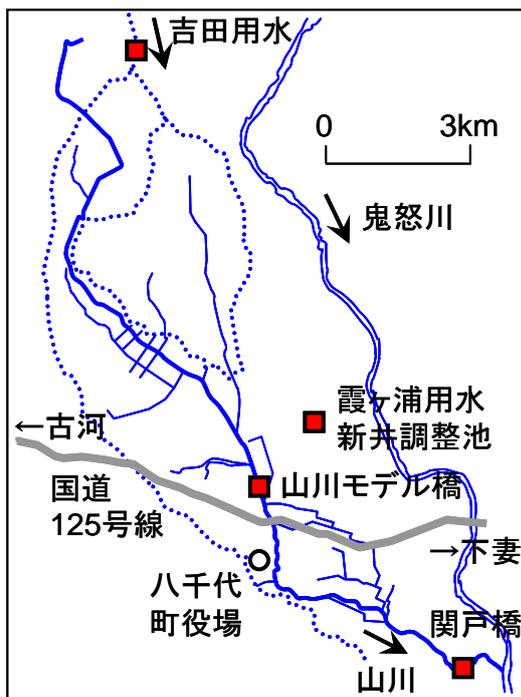


図-1 山川流域採水地点

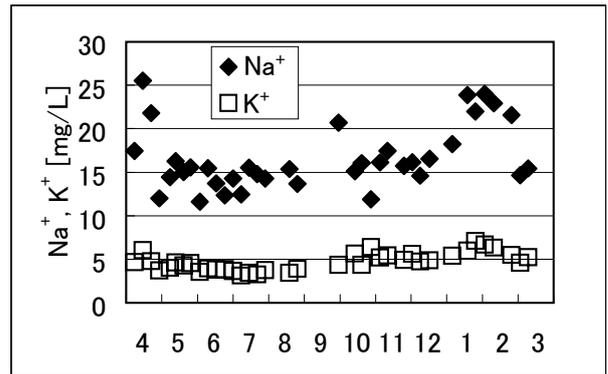


図-2 山川関戸橋における、晴天時の Na^+ 濃度と K^+ 濃度の実態

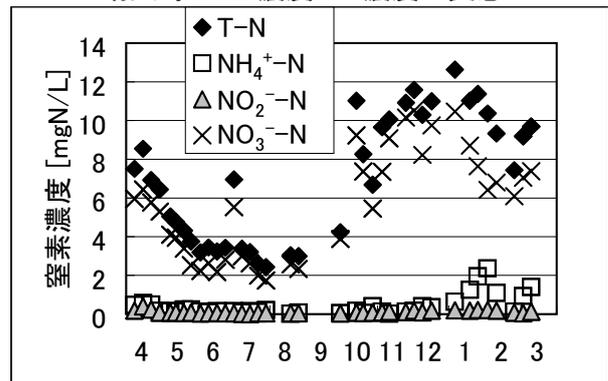


図-3 山川関戸橋における、晴天時の窒素濃度の実態

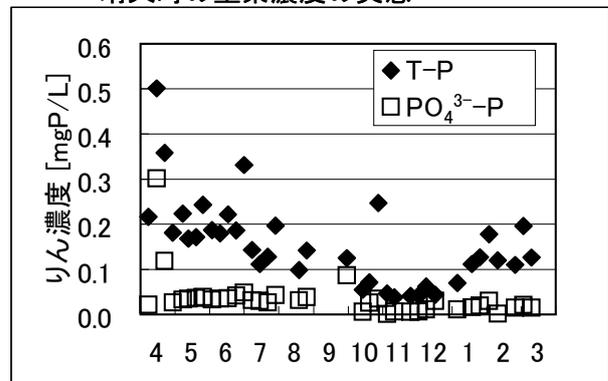


図-4 山川関戸橋における、晴天時のりん濃度の実態

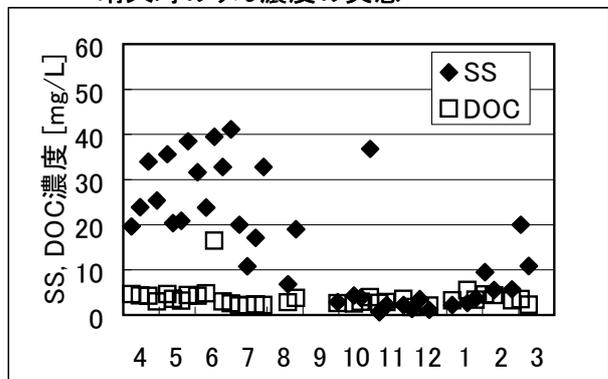


図-5 山川関戸橋における、晴天時の有機性汚濁指標の実態

温度の時期には、アンモニア性窒素が観測され、流域内における硝化の進行が不十分であることが示唆された。

図-4 のりん濃度の年間変動を見ると、T-P 濃度に関しては、4月～6月の間が最も高く、次いで、7月～9月および1～3月が高く、10月～12月が最も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、年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年間変動を見ると、SS 濃度に関しては、4月～9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。

なお、予め実施した、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 に比流量とナトリウムイオン負荷量の関係を、図-6 に比流量とカリウムイオン負荷量の関係を示す。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 比流量と負荷量の関係

項目	a	b	r^2
Na^+	5.77	0.65	0.64
K^+	1.99	0.72	0.48

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。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。灌漑期、非灌漑期の別や、作付けている作物の種類などを反映している可能性があり、今後、詳細に検討する必要があると考えられる。

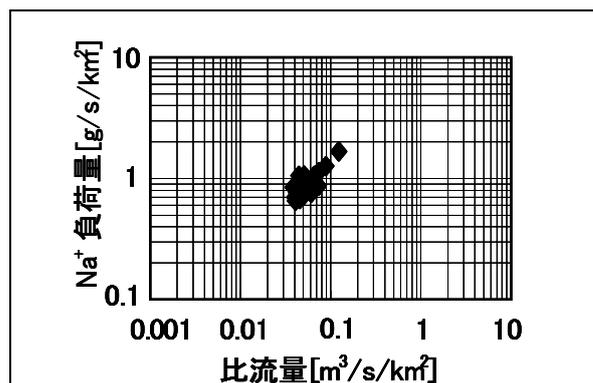


図-5 比流量とナトリウムイオン負荷量の関係

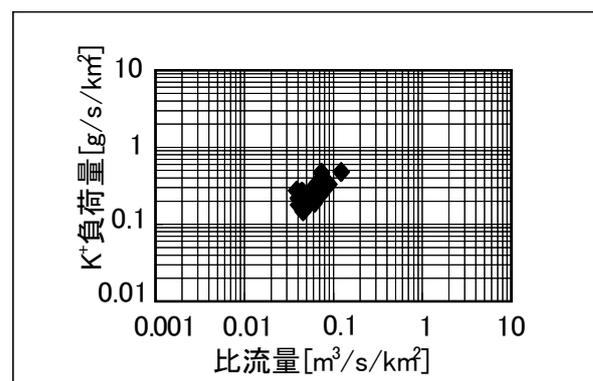


図-6 比流量とカリウムイオン負荷量の関係

表-2 比流量と負荷量の関係

項目	a	b	r^2
T-N	0.23	-0.15	0.0077
D-N	0.16	-0.23	0.0182
T-P	1.07	0.83	0.15
D-P	0.13	1.67	0.20
SS	2303	3.06	0.40
DOC	3.51	1.09	0.59

2.2-3 山川におけ雨天時流出特性の把握

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、雨天時のトレーサー物質 (Na⁺) および栄養塩類 (K⁺、T-N、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、T-P、D-PO₄³⁻-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 に示す山川関戸橋で、夏季 (平成 21 年 8 月 31 日)、および、秋季 (平成 21 年 12 月 3 日~4 日) の間の 2 回、各回、9 試料ずつ採水を実施した。

なお、採水時には、採水地点の流量を合わせて測定した。また、採水時の対象流域における降雨量は、国土交通省【川の防災情報】で公開されている国土交通省関東地方整備局下館河川事務所伊讚出張所 (茨城県筑西市女方) での雨量観測結果を用いた。

図-7 に夏季調査における降雨量の時間変化を示す。降雨開始より 2 時間前を 0 時間の基準と設定した。降雨開始後 12 時間の間の累積雨量は 44mm であった。図-8 に山川関戸橋での比流量の時間変化を示す。

また、図-9 に秋季調査における降雨量の時間変化を示す。降雨開始より 1 時間前を 0 時間の基準と設定した。降雨開始後 13 時間の間の累積雨量は 20mm であった。図-10 に山川関戸橋での比流量の時間変化を示す。図-11 に比流量とナトリウムイオン負荷量の関係を、図-12 に比流量とカリウムイオン負荷量の関係を示す。比流量と負荷量の関係を

$$L = aQ^b$$

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

と仮定し近似式を得ると、定数 a, b は表-2 のようにまとめられた。

表-1 比流量と負荷量の関係

項目		a	b	r^2
Na ⁺	夏季	6.16	0.66	0.86
	秋季	1.95	0.35	0.22
K ⁺	夏季	5.59	1.14	0.99
	秋季	5.73	1.06	0.65

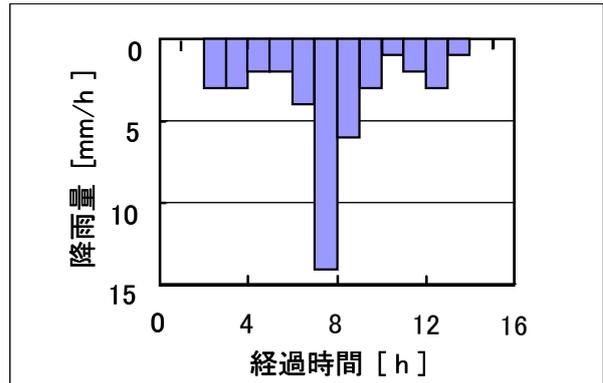


図-7 夏季雨天時調査における降雨量の時間変化

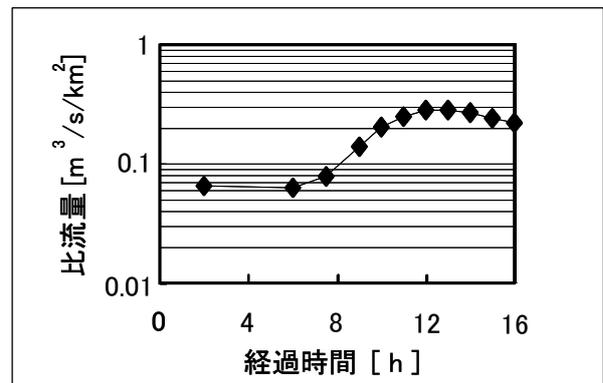


図-8 夏季雨天時調査における流量の時間変化

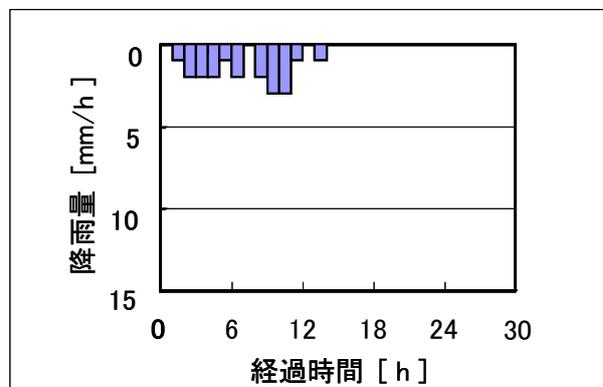


図-9 秋季雨天時調査における降雨量の時間変化

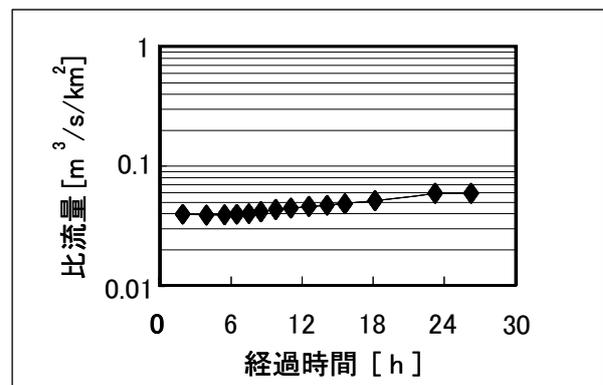


図-10 秋季雨天時調査における流量の時間変化

図-13に K^+/Na^+ の時間変化を示す。平成 19 年度に、利根川水系北浦の流入河川である鉾田川の支流で実施した雨天時調査結果²⁾では、畜産排水の混入がほとんどなく、流域における汚濁負荷発生総量に占める生活系の割合が大きい支流では、 K^+/Na^+ が 0.5 程度までの増加で抑えられていた一方、畜産排水の混入が考えられる支流では K^+/Na^+ が 0.6~1.4 程度にまで増加していたが、平成 21 年度に実施した山川流域の夏季雨天時調査結果は、畜産排水の混入があるケースに傾向が近く、 K^+/Na^+ が 0.7 程度にまで上昇した。一方、降雨強度が小さかった秋季雨天時調査結果では、 K^+/Na^+ の上昇は抑えられており、降雨強度が小さいことが K^+ の流出を抑制していた可能性が考えられた。

平成 21 年度の山川雨天時調査で得られた各栄養塩類、有機汚濁指標負荷量と比流量の関係を図-14~19 に、得られた近似式の定数 a , b を表-3、表-4 に示す。

図 20~25 に、トレーサー物質 (Na^+) の負荷量に対する各栄養塩類、有機汚濁指標負荷量の比率の時間変化を示す。

一方、図 20、23 に全窒素、溶解性窒素については、夏季に比べて、秋季の方が、 Na^+ 濃度に対する比率が高く、比流量が増加してもその比率は大きくは変化しなかった。秋季には、畑作が主に行われるため、施肥などにより土壌中の窒素濃度が上昇していることが考えられた。一方、図 21、24 に示すりん、および図 22、25 に示す有機性汚濁指標の Na^+ に対する比率は、比流量の増加に伴い、増加する傾向が見られた。

[V2]

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 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、比流量とトレーサー物質、栄養塩類、有機汚濁指標の流出負荷量の関係、トレーサー物質と栄養塩類、有機性汚濁指標の濃度比の整理を行った。

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、平成 21 年度調査で得られた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。

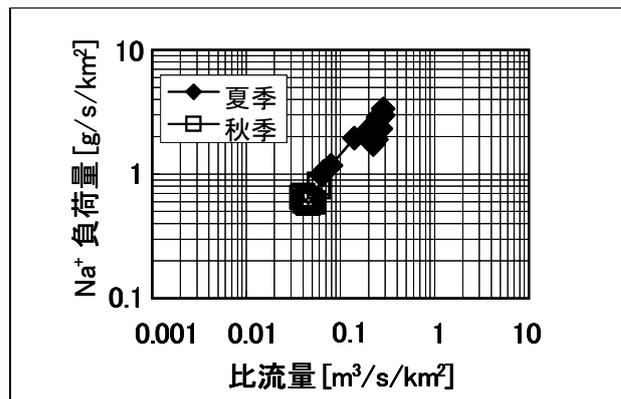


図-11 比流量とナトリウムイオン負荷量の関係

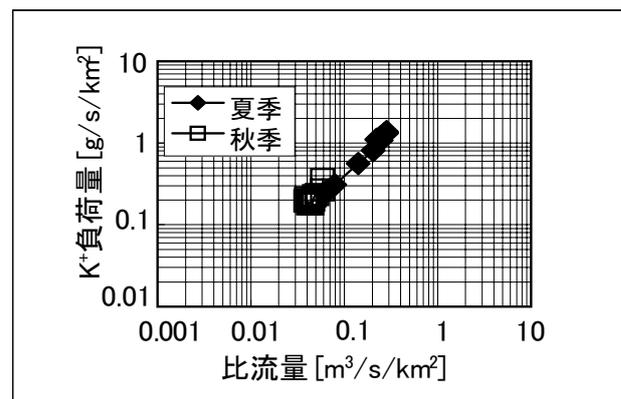


図-12 比流量とカリウムイオン負荷量の関係

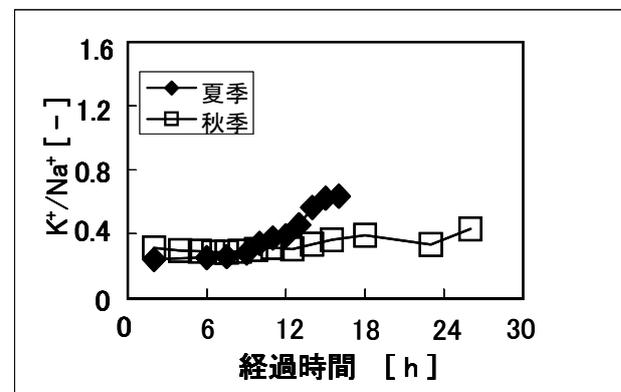


図-13 カリウム/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

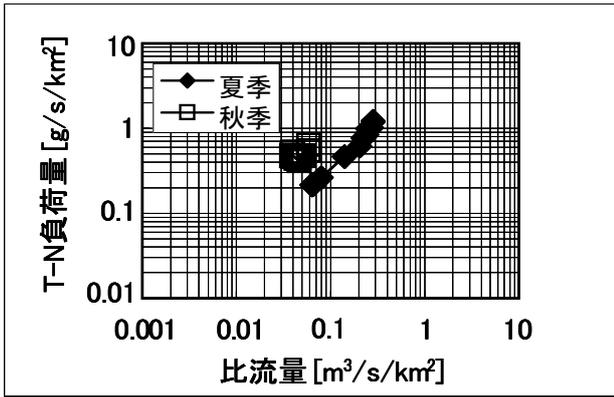


図-14 比流量と全窒素負荷量の関係

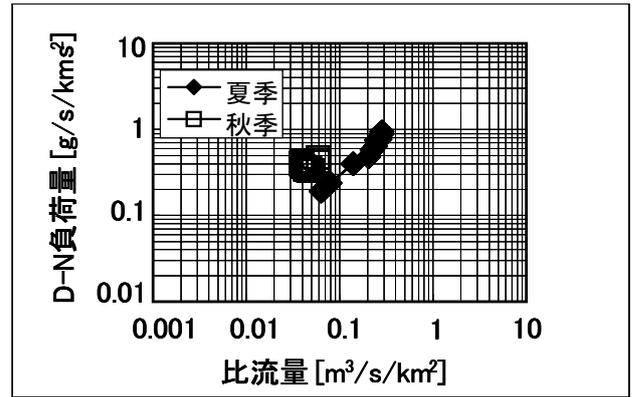


図-17 比流量と溶解性窒素負荷量の関係

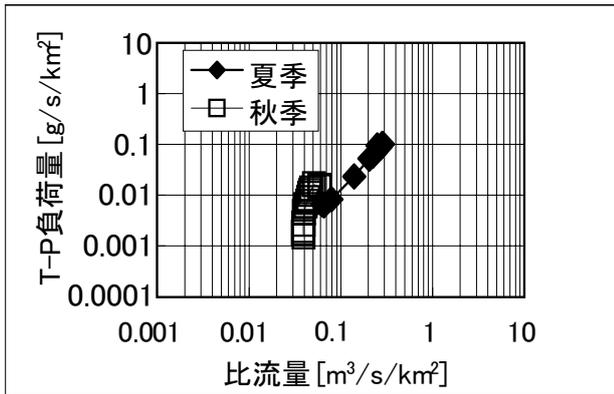


図-15 比流量と全りん負荷量の関係

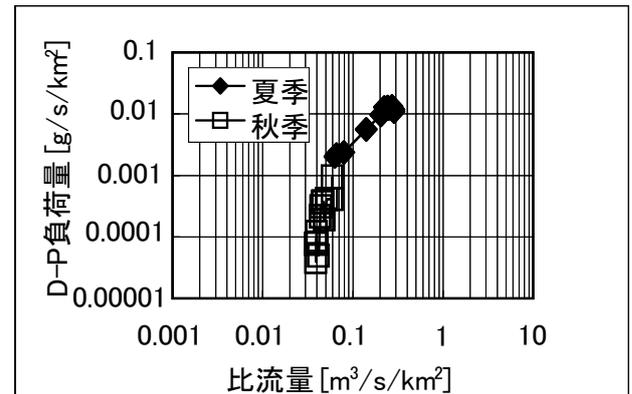


図-18 比流量と溶解性りん負荷量の関係

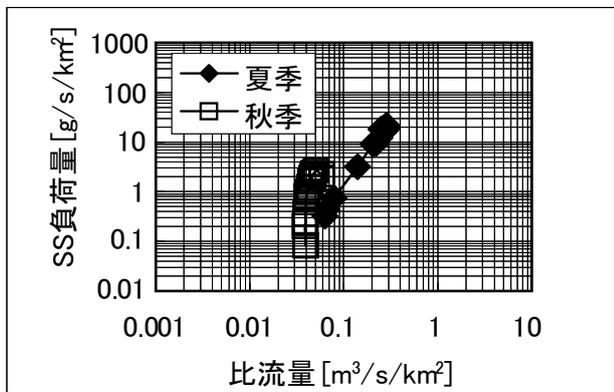


図-16 比流量と浮遊物質負荷量の関係

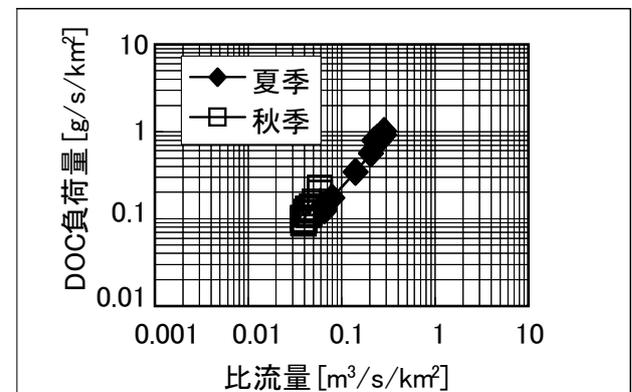


図-19 比流量と溶解性有機炭素負荷量の関係

表-3 比流量と負荷量の関係

項目 ↓		a	b	r^2
T-N	夏季	4.30	1.10	0.98
	秋季	1.71	0.41	0.28
T-P	夏季	1.06	1.88	0.99
	秋季	30457	4.96	0.71
SS	夏季	574.7	2.66	0.99
	秋季	50000000	5.73	0.55

表-4 比流量と負荷量の関係

項目 ↓		a	b	r^2
D-N	夏季	2.75	0.98	0.97
	秋季	0.53	0.11	0.02
D-P	夏季	0.069	1.28	0.47
	秋季	7217	5.65	0.73
DOC	夏季	5.39	1.36	0.99
	秋季	37.7	1.85	0.94

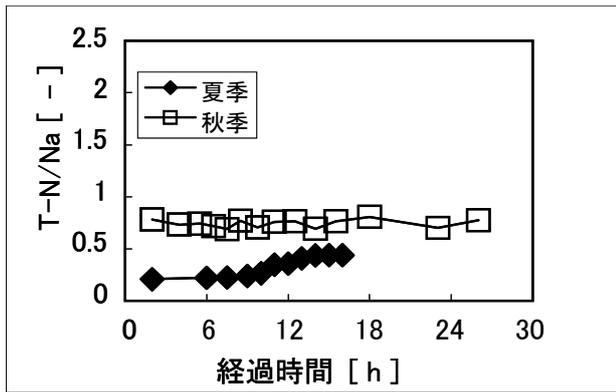


図-20 全窒素/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

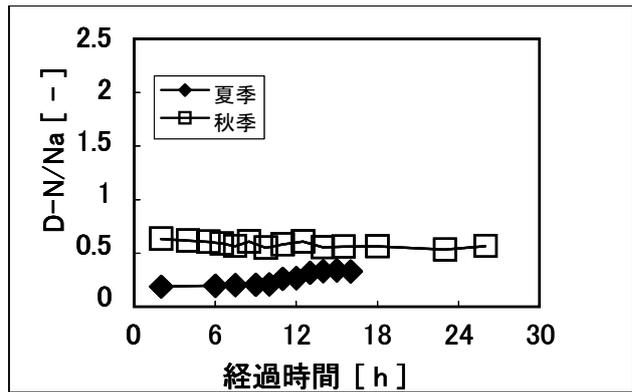


図-23 溶解性窒素/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

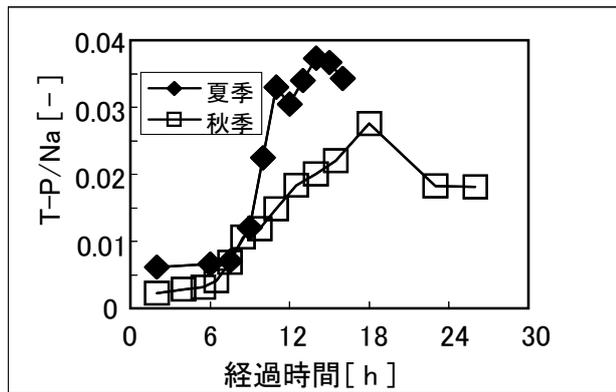


図-21 全りん/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

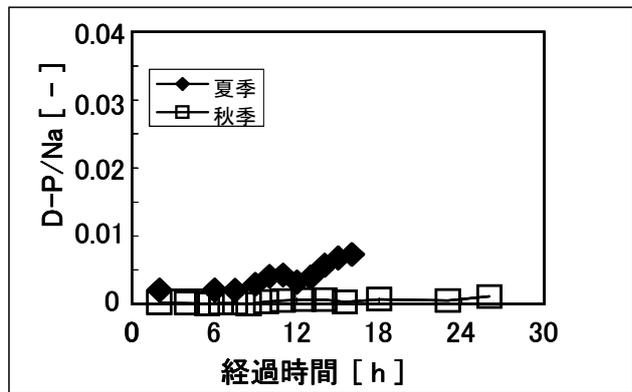


図-24 溶解性りん/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

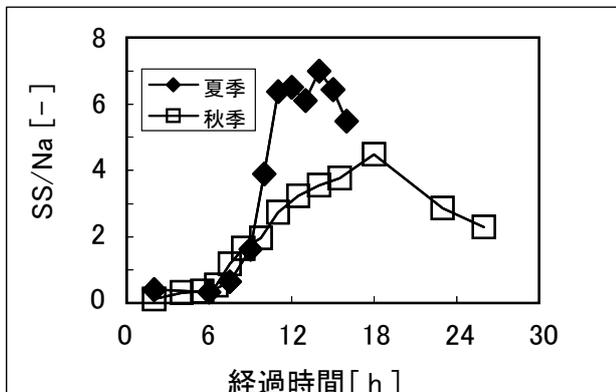


図-22 浮遊物質/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

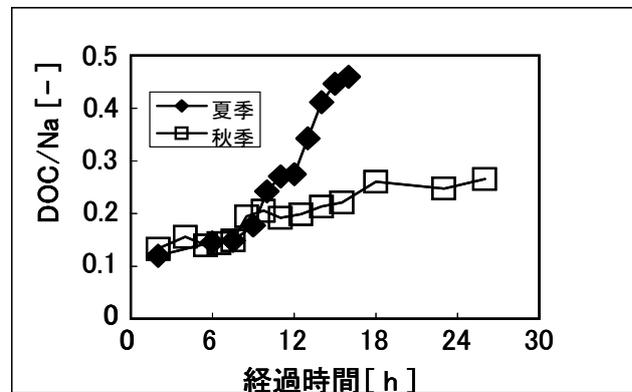


図-25 溶解性有機炭素/ナトリウムイオン濃度比の時間変化

参考文献:

- 1) 平成 18 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 4080 号、pp.21-28、2007
- 2) 平成 19 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 4123 号、pp.117-126、2009
- 3) 岡安祐司、鈴木穰、晴天時における、生活排水、畜産排水起源のトレーサー物質および栄養塩類の流出実態、環境工学研究論文集、45、pp.19-28、2008

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

Budgeted: Grant for operating expenses
General account

Research Period: FY2006-2010

Research Team: Water Environment Research
Group (Water Quality)

Author: MINAMIYAMA Mizuhiko

KOMORI Koya

OKAYASU Yuji

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

