

⑩-1 流域スケールで見た物質動態特性の把握に関する研究②

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境研究グループ（水質）

研究担当者：岡本誠一郎、平山孝浩、北村友一、
對馬育夫

【要旨】

河川集水域からの栄養塩類の流出機構を解明するため、印旛沼流入河川である高崎川と鬼怒川支流の山川で雨天時の水と硝酸イオンの安定同位体比に着目した負荷量調査を行った。その結果、高崎川の雨天時調査において、増水時の河川水の 80% が直接流出であることが示唆され、 $\delta^{18}\text{O}\text{NO}_3$ を用いた解析から、増水時の硝酸態窒素負荷量の 0～4% が雨水由来である可能性が示唆された。また、増水時には $\delta^{15}\text{N}\text{NO}_3$ は低下することが明らかとなり、大気由来や化学肥料等の $\delta^{15}\text{N}\text{NO}_3$ の低い硝酸態窒素の流出割合が増加したと考えられた。

キーワード：印旛沼、山川、栄養塩、雨天時調査、安定同位体比

1. はじめに

近年、閉鎖性水域や河川においては、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。閉鎖性水域においては富栄養化が常態化しており、環境基準の達成率が低いため、閉鎖性水域の水質を良質に保つ必要がある。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いという問題点がある。本研究は、栄養塩類の発生源別と雨天時流出機構の解明を行うことを目的としている。前年度は、河川集水域からの栄養塩類の流出実態を解明するため、印旛沼流入河川である高崎川で晴天時と雨天時の、鬼怒川支流の山川で雨天時の負荷量調査を行った。そして、地点間比較や土地利用との関係から流出特性を調査した。晴天時調査からは、集水域の畑の割合が高いほど河川水中の硝酸態窒素濃度が高くなる傾向がみられた。

近年、安定同位体比に着目した流域環境評価が盛んに行われている。安定同位体比には起源や反応履歴を示す情報が「刻印」されているためである（永田¹⁾、2010）。例えば、 ^{14}N と ^{15}N では化学的な反応に差異はないが、質量が異なるため、同じ温度条件下でも原子の振動数に違いが現れ、 ^{14}N の方がより速く振動する。したがって、 ^{14}N の結合は ^{15}N の結合に比べ切れやすく、窒素固定され易い。また、硝化・脱窒過程では大気中へ放出され易い（和田²⁾ 1986；酒井ら³⁾ 1996；高津ら⁴⁾ 2005）。一般的に、安定同位体の存在比はある特定の基準物質の安定同位体比に

対する千分率偏差（ δ 記法）で (1) のように表される。

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left(\frac{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N} \text{ 試料}}{({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N} \text{ 大気})} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$
基準物質と同じ安定同位体比であれば、 δ 値は 0 になり、重い同位体がより多く含まれていれば正になり、軽い同位体が多ければ負となる。

図 1 に Kendall ら⁵⁾ がまとめた硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ダイアグラムを示す。これから以下の特徴がわかる。(i) 下水や畜産排水の処理場に由来する硝酸イオンは、窒素の安定同位体比が高い ($\delta^{15}\text{N} = +10 \sim +20\text{‰}$)。処理場では、アンモニアの揮発や脱窒に伴って、 ^{14}N が選択的に大気中に放出される。一方、処理槽内では ^{15}N が「濃縮」される。(ii) 大気由来する硝酸イオンは、酸素の安定同位体比が高い ($\delta^{18}\text{O} = +60 \sim +90\text{‰}$)。大気中において、 O_3 は非常に高い $\delta^{18}\text{O}$ 値 (90～122‰) を示すため、降雨に含まれる硝酸イオンの $\delta^{18}\text{O}$ まで影響する。(iii) 水域生態系における主要な硝酸イオンの代謝過程に伴い、同位体分別が起こる。このうち、脱窒においては、窒素と酸素の両方について、しばしば大きな同位体分別が伴うため、ある水系の中で、脱窒が活発に進行していれば、 $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ダイアグラム上で直線的に並んだプロットとして識別される場合がある (図 1 上の矢印)。

大手ら (2008)⁶⁾ は、琵琶湖流入主要河川である野洲川と安曇川の最上流部から河口（琵琶湖への流入地点）までの硝酸イオンの濃度と安定同位体比の流下変化を調査した。その結果、野洲川では、硝酸イ

オンの濃度は、上流から下流にむけて上昇傾向を示し、これとともに、 $\delta^{15}\text{N}$ も著しく上昇していたことを報告し、野洲川の中・下流域における窒素の負荷が主に排水系（農業排水を含む）であることを推察した。また、安曇川の流程では、濃度の上昇も野洲川ほどの傾向は見られなかったことから、中・下流に集中した農耕地や住宅地がないため、 $\delta^{15}\text{N}$ の高い硝酸イオンが流入しないためであると推察した。また、赤松(2010)⁷⁾は河床堆積物中の $\delta^{15}\text{N}$ について、流域内に森林しか存在しない河川ではすべての点でほぼゼロに近い値を示している一方で、都市域を流れる河川では全域で富栄養化の基準となる 6‰ を超えていたことを報告した。

本年度は出水時の河川水の水 (H_2O) の酸素・水素、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比に着目することにより、出水時における栄養塩類の流出機構の解明を試みた。

2. 調査方法

2.1 調査河川と水質調査地点

印旛沼流入河川の鹿島川の支流である高崎川と、鬼怒川の支流である山川を対象に、集水域の土地利用情報を整理し、栄養塩類の負荷量調査を実施した。図2は、高崎川と山川の集水域と採水調査地点である。集水域の面積は、高崎川で 79km^2 、山川で 32km^2 である。

高崎川の雨天時調査は、平成24年11月17日と平成25年1月18～20日に実施した。平成24年11月17日の雨天時の先行晴天日数は4日、累積降雨量は 38.5mm である。降雨開始前を含め数時間おきに8回、本流のC、Gの2地点で流量観測と水質調査を行った。平成25年12月18～20日の雨天時の先行晴天日数は7日、累積降雨量は 45mm であり、Iの1地点で数時間おきに流量観測と水質調査を10回行った。なお、C地点では畑の割合、I地点では、森林の割合が多い。

山川の雨天時調査は、平成24年11月6日に実施した。先行晴天日数は5日、累積降雨量は 40mm である。下流側の1地点で数時間おきに流量観測と水質調査を11回行った。

2.2 雨天時調査のデータの解析方法

雨天時調査の結果を解析するにあたり、高崎川は佐倉観測所、山川は下妻観測所の1時間ごとの雨量データを使用した。河川流量、雨天時河川水の各水質成分濃度、雨水と河川水の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ および硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ (以下、 $\delta^{15}\text{NNO}_3$ 、 $\delta^{18}\text{ONO}_3$) は実

測とした。水の安定同位体比を用いた増水時の河川水の基底流出と直接流出への分離と硝酸イオンの窒素、酸素の安定同位体比を用いた硝酸性窒素の流出挙動を解析した。なお、採取したサンプルは赤外線半導体レーザーを用いたキャビティリングダウン吸収分光法により、水の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を、脱窒菌法により硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を測定した。

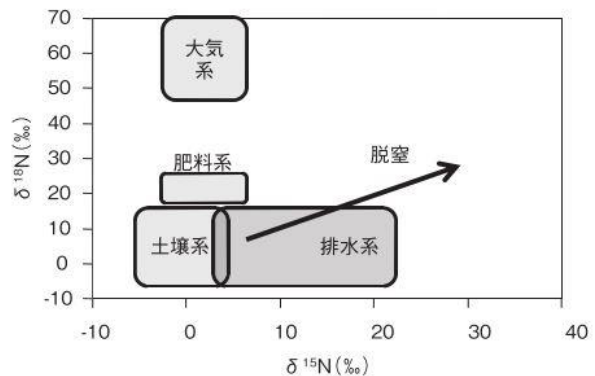
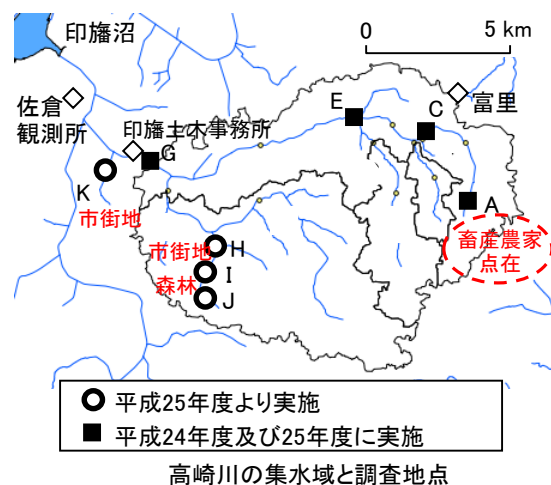


図1 硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ダイアグラム



高崎川の集水域と調査地点



山川の集水域と調査地点

図2 調査地点

3. 結果と考察

3.1 水の同位体比を用いた増水ピークの成分分離

図3は、平成24年11月17日の高崎川地点C、Gの河川水と雨水の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の変化である。降雨前の河川水の $\delta^2\text{H}$ は雨水より低く、降雨に伴って増加した。地点Cでは流量ピーク時には雨水より高くなった。河川水の $\delta^{18}\text{O}$ は、降雨前は雨水と近い値であり、一旦増加したあと減少し、翌日には初期の値に戻った。図4は $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係である。河川水の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は正の相関関係を示し、16データで回帰直線を求めると、傾きは約8となった。雨水は河川水の近くにプロットされ、 $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ からは、河川水に占める雨水の割合の算出は難しいことがわかる。図4の点線は雨水を通る傾き8の直線である。大気中の水蒸気の蒸発と凝縮が平衡状態にあるとき、 $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の比は8となることが知られており(天水線⁸⁾)、雨水データは1試料しかないが、変動する場合はこの点線に沿って変動するものと推測される。雨水のもととなった水蒸気の生成場所や生成環境を反映する指標(d:deuterium excess parameter)として、以下の式が提案されている⁸⁾。

$$d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$$

雨水のdは、日本では夏に低く(<10‰)、冬に高い(>20‰)⁸⁾。図5は、高崎川河川水と雨水のd(deuterium excess parameter)である。本調査時の雨水試料のdは、26と高く、冬の降水の特徴を示していた。河川水のdは、降雨とともに上昇し、ピーク時でも雨水の値を下回っていることがわかる。

$\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を用いた洪水ハイドログラフの成分分離は、一部が雨水の値を上回ったことや、河川水の値と近いことから、正しく計算できなかった。そこで、成分分離計算にはdを用いた。降雨前のdを基底流出水、雨水のdを直接流出水の値として、この2成分の混合と仮定し、以下の式を適用した。

$$d_t = f \times d_{\text{new}} + (1-f) \times d_{\text{old}}$$

$$f = Q_{\text{new}} / Q_t$$

Q : 河川の流量

f : 混合率

d : deuterium excess parameter

添え字 t, new, old : 各時間の値、直接流出の値(雨水の値)、基底流出の値(降雨前の値)

図6は、全流量の測定値と、成分分離された基底流出、直接流出の流量およびfの変化である。基底流出流量は、降雨時に若干増加する程度であり、直

接流出量と比較すると増加が小さかった。全流量がピークを示す22:30頃には、直接流出の割合が約80%($f \approx 0.8$)となった。下流側の地点Gでは、上流側の地点Cと比較して、洪水ピーク後のfの減少が遅かった。なお、平成25年12月18~20日の高崎川の調査では、増水前からの採水ができなかったため、基底と直接流出の成分分離は出来なかった。

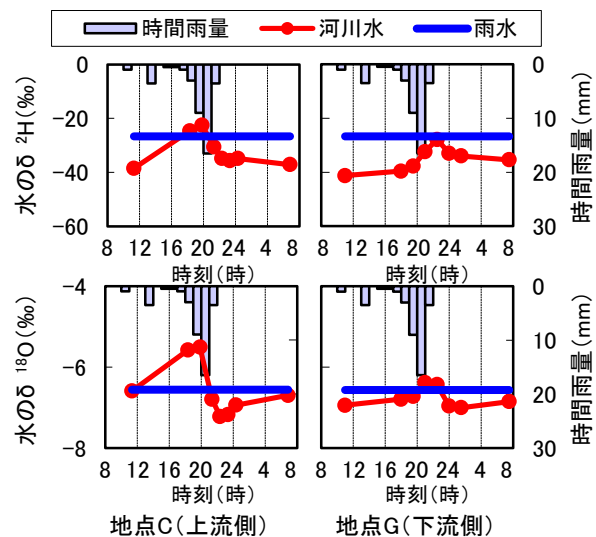


図3 雨天時の河川水の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の変化

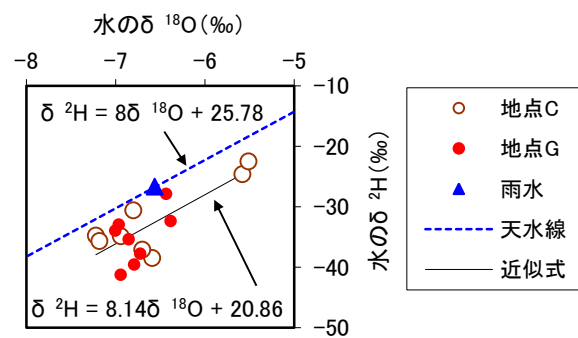


図4 $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係

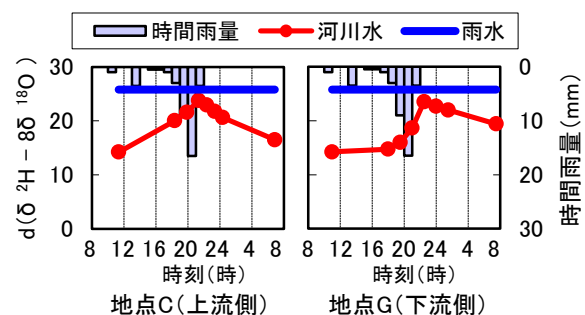


図5 雨天時の河川水のdの変化

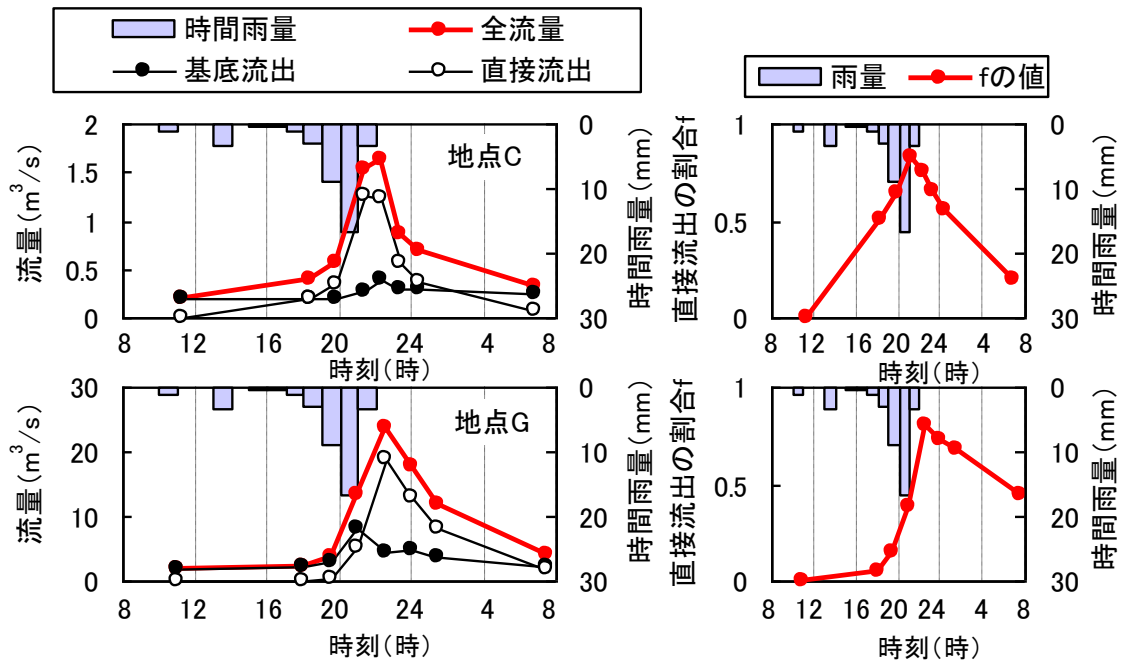


図6 全体、直接流出、基底流出の流量とfの変化

3.2 硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ による流出解析

図7は、平成24年11月17日の硝酸態窒素濃度と、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の変化である。河川水では、硝酸態窒素濃度の低下に従い、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が低下し、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ が上昇した。図8は、今回の雨水と河川水の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ ダイアグラムと起源情報⁹⁾である。雨水の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ は0‰、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ は72‰であり、降水の範囲に含まれた。河川水は、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が6~8‰、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ が1~5‰の範囲にプロットされた。この位置は、土壌由来と糞尿や畜産廃棄物由来が重複している箇所であった。この領域を拡大すると、河川水の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ は、負の相関関係を示した。脱窒反応が進行するときは、同位体分別によって $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ がともに上昇し、正の相関となるから、今回の増水時の河川水中硝酸態窒素の同位体比の変化は、脱窒の進行していない硝酸態窒素の混合があったと考えられる。図8に矢印で示したように、降雨時の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の変化は単純な往復にはならず、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ が上昇、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が低下した後は、先に $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ が降雨前の値付近に戻り、その後 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が降雨前の値付近に戻った。これは、大気由来と化学肥料等の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低い硝酸態窒素の流出割合が増加したためと考えられた。

図9は、地点C、Gの比流量と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の関係である。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ は、河川の流量に対して直線的に増加していた。そこで、雨天時の $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ は、雨水の高い $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の影響を受けて変化したと仮定し、硝酸態窒素濃度と流量から全体の負荷量を求め、以下の式で雨水

由来の硝酸態窒素負荷量を推定した。

$$\delta^{18}\text{O}_t = \delta^{18}\text{O}_{\text{new}} \times f + \delta^{18}\text{O}_{\text{old}} \times (1-f)$$

この式から、

$$f = (\delta^{18}\text{O}_t - \delta^{18}\text{O}_{\text{old}}) / (\delta^{18}\text{O}_{\text{new}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{old}})$$

雨水由来負荷量 = f × 全体の負荷量

添え字 t、new、old : 河川水、雨水、降雨前

図10は、硝酸態窒素の全負荷量と、雨水由来負荷量およびその割合である。雨水由来の硝酸態窒素の負荷量の全負荷量に対する割合は、0~4%と低く、上流よりも下流で高くなる傾向がみられた。

図11は、雨水由来の硝酸態窒素負荷量を2通りの方法、すなわち前述の $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ を用いる方法と、水のdを用いて表面流出水流量を求め、雨水の硝酸態窒素濃度を掛ける方法で求め、比較したものである。雨水由来の硝酸態窒素負荷量は、地点Cではピーク時の負荷量に差が生じたが、ピークの時間や変化の傾向は互いに類似していた。したがって、増水時の硝酸イオンの $\delta^{18}\text{O}$ の上昇は、雨水の高い $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の影響によるものと考えられる。硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ が、地下水と雨水の混合のみで決定されるとすると、両者は連動して変化するはずである。そこで、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ から求めた混合率fと、降雨前河川水と雨水の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ を用いて $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の推定値を算出した。図12は、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の変化の推定値と実測値の比較である。雨水由来の硝酸態窒素の混合率が低いため、推定値の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ はほとんど低下せず、実測値と乖離した。雨天時の河川水中硝酸イオンの起源の正確な推定の

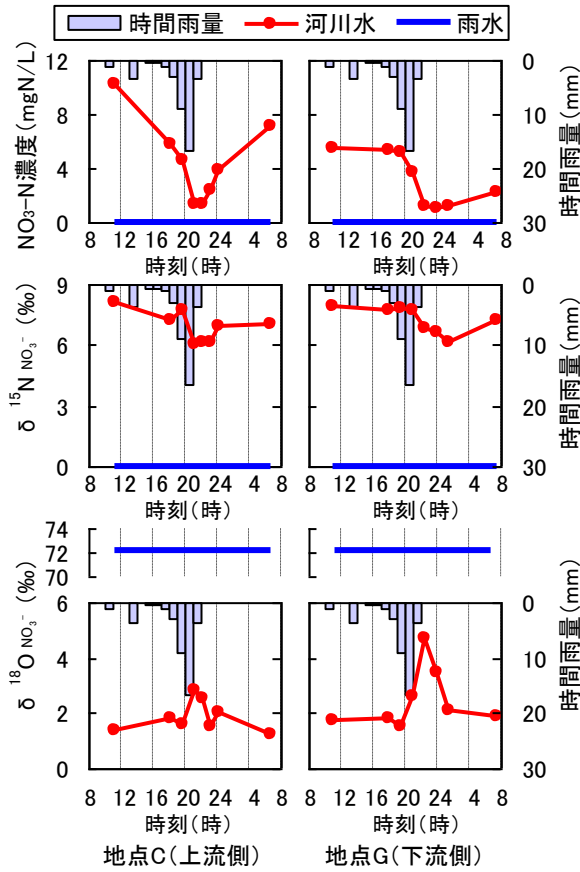


図7 雨天時の河川水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\delta^{15}\text{N NO}_3^-$ 、 $\delta^{18}\text{O NO}_3^-$ の変化

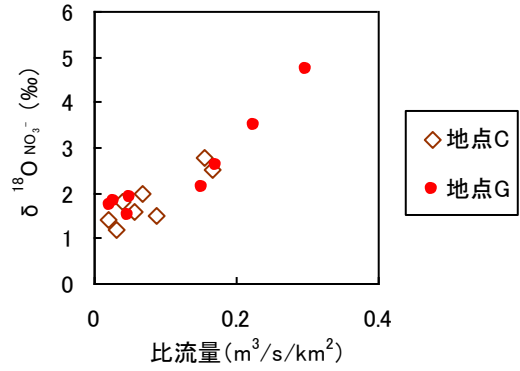


図9 比流量と $\delta^{18}\text{O NO}_3^-$ の関係

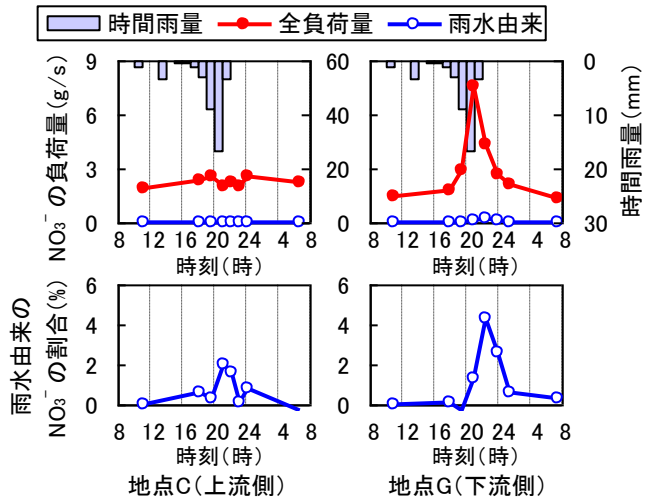


図10 $\text{NO}_3\text{-N}$ の全負荷量と雨水由来負荷量およびその割合

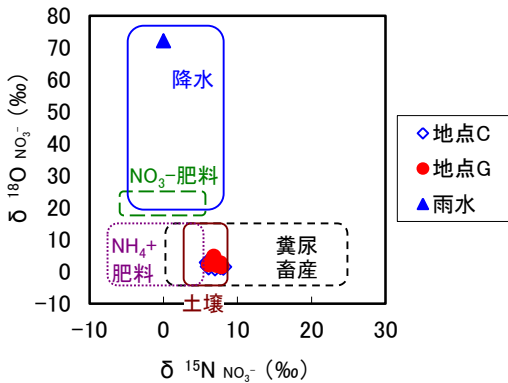


図8 $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ダイアグラム上の河川水と降水の位置

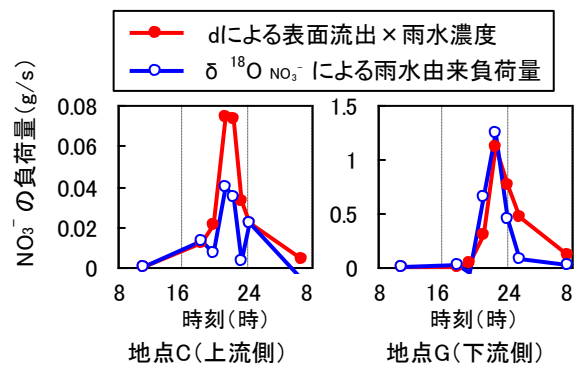


図11 雨水由来の $\text{NO}_3\text{-N}$ の、水のdに基づく直接流出流量から求めた負荷量と、 $\delta^{18}\text{O NO}_3^-$ から求めた負荷量の比較

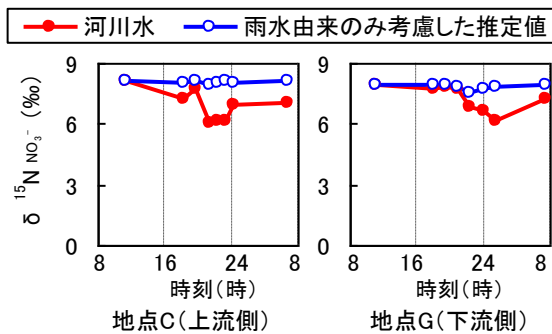


図12 $\delta^{15}\text{N NO}_3^-$ の実測値と、雨水由来の $\text{NO}_3\text{-N}$ のみが混合したと仮定した場合の $\delta^{15}\text{N NO}_3^-$ の推定値の比較

ためには、地下水と雨水だけでなく、他の要因を考慮する必要があることがわかる。硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ については、雨水の他に、森林溪流水¹⁰や化学肥料などが低い $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ を示すことが報告されており、集水域の土地利用は、地点Cでは畑の割合が70%、と高いことから、増水時には化学肥料等の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低い硝酸態窒素の流出割合が増加したと考えられる。今後、森林由来や化学肥料などの $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の測定が必要である。

表-1 は、河川水の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と他の水質項目との相関係数の一覧である。図 13 は、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と、 K^+/Na^+ および溶存態 Al 濃度の関係である。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ は、増水時に増大する項目である流量や SS とは負の相関を示した。増水時に希釈される項目である硝酸態窒素、EC、無機イオン類各種とは強い正の相関を示した。 K^+/Na^+ とは負の相関であった。溶存態金属類では、B と正の、Al と負の強い相関を示した。

以上は、増水時の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低下に従って、 K^+/Na^+ と溶存態 Al 濃度が高い相関をもって増加することを意味し、増水時に流出する硝酸態窒素は、 K^+/Na^+ 、溶存態 Al と同じ起源である可能性がある。

図 14 は、平成 25 年 12 月 18~20 日の雨天時の高崎川 I 地点での硝酸態窒素濃度、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の変化である。本調査でも流量増加時に、硝酸態窒素濃度の低下に伴う、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低下と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の上昇が確認された。

図 15 は、山川の結果である。増水時の山川でも硝酸態窒素濃度の低下に伴って $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が低下していた。ここでは $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の顕著な増加は観られなかった。

増水時は硝酸態窒素濃度の低下に伴う $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低下は、土地利用によらず確認されたが、気由来の硝酸態窒素の流出特性は、土地利用により異なる可能性があった。

表 1 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と各水質項目との相関係数 R

	全流量	SS	粒子態N	粒子態P	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$
地点C	-0.83	-0.71	-0.61	-0.67	0.86	0.10	0.82	0.49
地点G	-0.63	-0.53	-0.66	-0.67	0.91	0.75	0.85	0.79
	EC	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+/Na^+
地点C	0.86	0.93	0.89	0.86	0.89	0.92	0.88	-0.91
地点G	0.93	0.93	0.88	0.92	0.93	0.94	0.91	-0.94
	D-Fe	D-Mn	D-Cu	D-Mo	D-B	D-Zn	D-Al	D-Ni
地点C	-0.31	-0.05	0.22	-0.36	0.89	0.17	-0.88	0.90
地点G	-0.41	0.23	-0.72	0.72	0.90	-0.15	-0.97	0.80

※ 網掛けは、危険率1%で有意

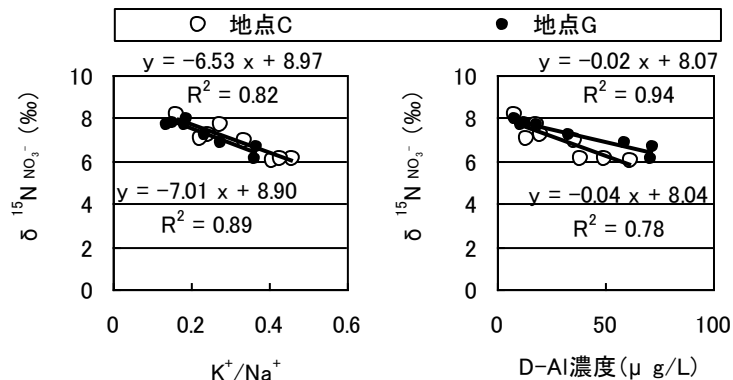


図 13 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と K^+/Na^+ および D-Al 濃度との関係

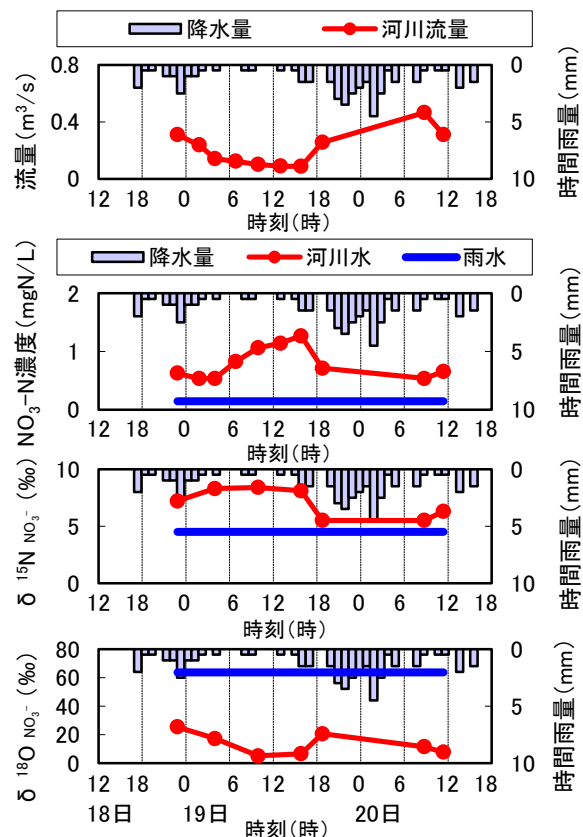


図 14 高崎川地点 I の流量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の変化

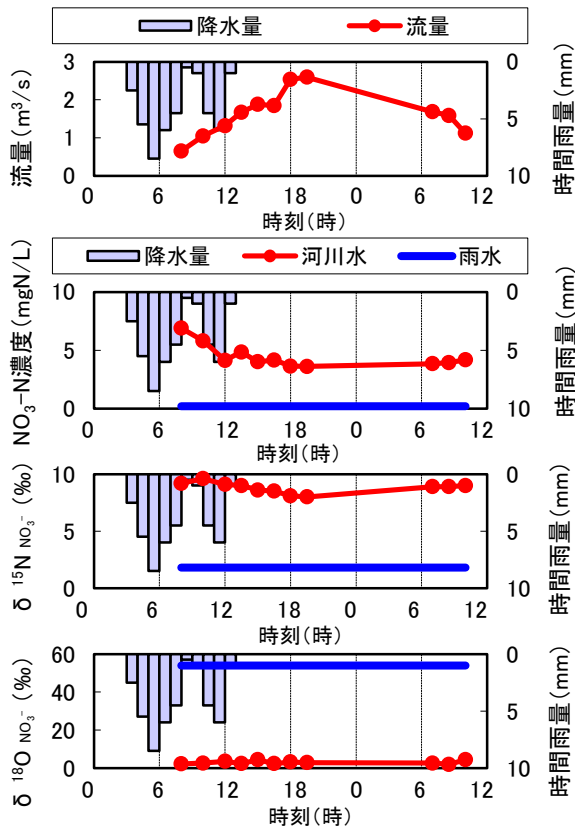


図 15 山川の流量、NO₃-N 濃度、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ の変化

5 おわりに

印旛沼流入河川である高崎川で晴天時と雨天時の、鬼怒川支流の山川で雨天時の安定同位体比に着目した負荷量調査を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 高崎川の雨天時において、水の同位体比を用いて成分分離を行ったところ、増水ピーク時の河川水の 80% が直接流出であることがわかった。
- (2) 高崎川の雨天時の $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ を用いた解析から、増水時の硝酸態窒素負荷量の 0~4% が雨水由来である可能性があった。
- (3) 畑の割合が多い高崎川の小流域では増水時に $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ は低下することが明らかとなった。増水時には化学肥料等の $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の低い硝酸態窒素の流出割合が増加したと考えられた。

参考文献

- 1) 永田 俊 (2010) 各種安定同位体を用いた流域窒素負荷の診断、地球環境 15(2)、189-194
- 2) 和田英太郎 (1986) 生物関連分野における同位体効果—生物界における安定同位体分布の変動—、RADIOISOTOPES 35、136-146
- 3) 酒井均、松久幸敬 (1996) 安定同位体地球化学、初版、東京、大学出版会
- 4) 高津文人、河口洋一、布川雅典、中村太士 (2005) 炭素、窒素安定同位体自然存在比による河川環境の評価、応用生態工学 7(2)、201-213
- 5) Kendall, C., E. M. Elliot and S. D. Wankel (2007) Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. In: R. Michener and K. Lajtha, eds., Stable isotopes in ecology and environmental science. 2nd ed., Blackwell Scientific, Oxford, 375-449.
- 6) 大手信人 (2008) 大気降水物としての窒素が水源域に与える負荷、永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで、京都大学学術出版会、59-69
- 7) 赤松 良久 (2010) 河床堆積物の炭素・窒素同位体比に基づく流域環境評価、土木学会水工学委員会環境水理部会研究集会
<http://www.jsce.or.jp/committee/hydraulic/kankyousuiri/_works/hop/h22/docs/08akamatsu.pdf>
- 8) 永田俊、宮島利宏(2008)、水の同位体比を利用した水循環の評価、「流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで—」第 2 章、京都大学学術出版会、33-55.
- 9) 永田俊、宮島利宏(2008)、大気降水物としての窒素が水源域に与える負荷、「流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで—」第 3 章 1 節、京都大学学術出版会、59-69.
- 10) 井手淳一郎(2011)、窒素・酸素安定同位体比を用いた扇状地河川における出水時の硝酸性窒素の起源推定に関する研究、河川整備基金助成事業成果報告書、助成番号:23-1211-01

STUDY ON COMPREHENDING THE DYNAMIC CIRCULATION AND RUNOFF OF MATERIALS ON A BASIN SCALE (2)

Budget: Grants for operating expenses (General Account)

Research Period: FY2011-2015

Research Team: Water Environment Research Group (Water Quality)

Authors: OKAMOTO Seiichiro, HIRAYAMA Takahiro, KITAMURA Tomakazu, TSUSHIMA Ikuo

Abstract:

Nutrient load surveys were conducted to clarify the runoff mechanism from the river watershed by measuring the water's stable isotope ratios from Takasaki River flowing into Lake Inbanuma and Yama river flowing into Kinu River. The results suggest that 80% of the river water during wet weather was derived from direct runoffs and 0-4% of the NO₃-N load during wet weather was composed of rain water. In addition, it was revealed that the stable isotope ratio of nitrate was decreased during wet weather. This is probably due to chemical fertilizers running into the river, which have a low stable isotope ratio of nitrate.

Key words: Lake Inbanuma, nutrient, runoff, land use, stable isotope ratio