

# 利根川水系高崎川の河川水質と硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比

長谷川 武俊\*    安原 正也\*\*    李 盛源\*\*    中村 高志\*\*\*

キーワード：河川水, 土地利用, 硝酸イオン, 窒素・酸素安定同位体比, 窒素の起源

## 1. はじめに

千葉県の印旛沼（図1）は現在に至るまで富栄養化問題が解決されていない湖沼であり、水道水の原水を取水している湖沼としては全国ワースト上位の水質汚濁度を記録している（二瓶ほか, 2010）。また、湖沼における水質汚濁に係る環境基準の一つであるCOD（化学的酸素要求量）の平成28年度公共用水域水質測定結果（環境省, 2017）によれば、印旛沼のCODは年間平均で11 mg/Lと全国ワースト1位（宮城県の伊豆沼と同率1位）であった。

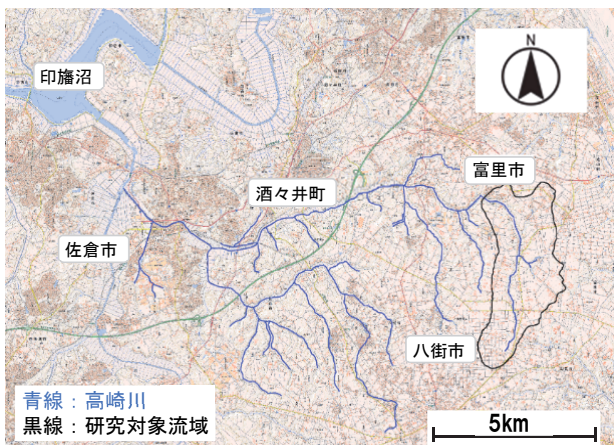


図1 印旛沼と高崎川水系

黒線で囲った範囲が研究対象流域。基図は国土地理院25,000分の1地形図。

赤松ほか（2010）によると、印旛沼に流入する河川のうち、特に高崎川の窒素汚染が深刻とされている。北川ほか（2013）は、印旛沼の水質環境が未だに改善されない原因として、印旛沼の流域内の田畑への過剰施肥を挙げ、窒素によって汚染された地下水が三面コンクリート護岸の継ぎ目や破損箇所などを通じて高崎川に流入する

としている。このようにして高崎川に流入する地下水は高崎川上流部の流量の80%前後を占めるとも述べている（北川ほか, 2010）。一方で、高崎川の流域では後述（第2章）するように、現在でも公共下水道の普及率は高いとは言えず、そのため生活排水が河川水の窒素汚染の一因となっている可能性も大きい。

そこで、本研究では高崎川最上流部の流路長約5.7kmの区間において、24時間計測を含む各種水文調査を実施し、その結果から得られた主要溶存成分と硝酸イオンの負荷量、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分析結果をもとに、肥料ならびに生活排水が高崎川の河川水質に与える影響を検討することを目的とした。

## 2. 研究対象流域の概要

高崎川は千葉県八街市に源を發し、富里市・酒々井町・佐倉市を流下して印旛沼に流入する全長12.2km、流域面積85.7km<sup>2</sup>、標高差約30mの河川である（図1）。源流は八街市の中心部にあり、富里市との境界付近までの1 km程度は暗渠となっている。

本研究では、この高崎川の上流部の流路長約5.7kmの区間を研究対象流域とした（図1）。研究対象流域の面積は約9.38km<sup>2</sup>、河川幅は約1.1~2.0m、水深は約12~20cm（2017年11月）である。流域内の土地利用は畑（57%）、水田（3%）、住宅地（13%）、森林（12%）、その他（工場、道路、学校など）（15%）によって構成されており、畑の割合が流域全体面積の50%以上を占めている（図2、図3）。この地域の畑地では春から夏にかけて西瓜の栽培が盛んであり、秋からは人参や大根といった根菜類が多く栽培されている。住宅地は流区内の上流部と下流部に集中しており、その間に森林が点在する。また、流域中心部から下流にかけての河川周辺には

\* 立正大学大学院地球環境科学研究科

\*\* 立正大学地球環境科学部

\*\*\* 山梨大学大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター

本稿は、立正大学地球環境科学部卒業論文（2017年）の一部に加筆・修正を行ったものである。

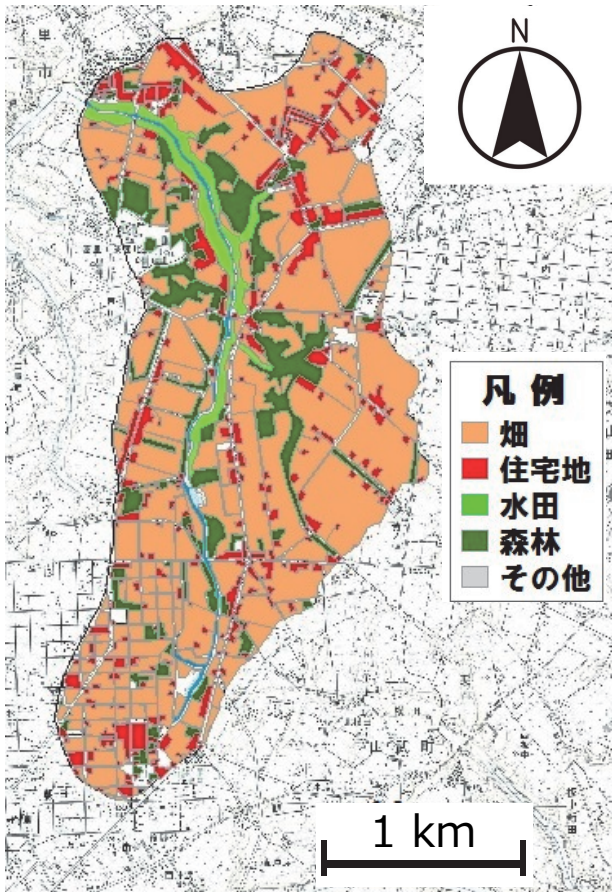


図2 研究対象流域の土地利用図

国土地理院25,000分の1地形図から判読し、地図太郎（東京カートグラフィック社製）を用いて作成。“その他”には道路、工場、学校が含まれる。

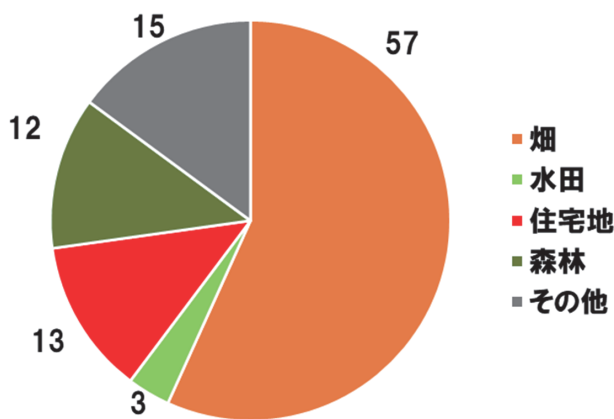


図3 各種土地利用の流域に占める面積比 (%)

図2の土地利用図に基づき算出。“その他”には道路、工場、学校が含まれる。

水田が広がっている。

研究対象流域に隣接する佐倉市における2017年の年平均気温は14.7℃、年降水量は1,413.5mmであった（気象庁、過去の気象データ検索の検索結果を基に計算。https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php）。同年6

月～11月の日降水量を図4に示す。降水は6月～10月に集中しており、特に10月には455.5mmと、年間降水量の3割程度の雨が10月の1ヶ月間にもたらされた。

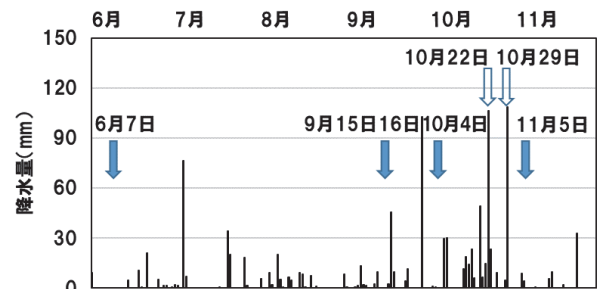


図4 佐倉市における2017年6月～11月の日降水量（気象庁、過去の気象データhttps://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.phpより作成）

青色の矢印が調査日、また白抜き矢印は研究対象地域に台風が襲来した日を示す。

汚水の処理状況を見ると、研究対象流域の上流部に位置する八街市では、公共下水道の処理人口普及率が28%、合併処理浄化槽の処理人口普及率が44%、残りの28%は未処理もしくは単独処理浄化槽を利用している（八街市、2017）。一方、中流部から下流部に位置する富里市においては公共下水道の処理人口普及率が54.7%、合併処理浄化槽の処理人口普及率が38.7%、未処理もしくは単独浄化槽の利用率が6.6%となっている（富里市、2015）。

### 3. 研究方法

現地調査は2017年6、9、10、11月の無降雨時に実施した（図4）。高崎川の河川水7地点、地下水6地点、護岸の排水パイプ（直径10cm～50cm程度）から高崎川へ流入する排水4地点を対象に、現地での水質測定（水温、電気伝導度（EC）、pH、溶存酸素量（DO））と採水を行った（図5）。6月7日には地点R2、R4、R6で河川水の調査を、9月15日～16日には最下流部である地点R6で24時間にわたって河川流量と水質の変化を2時間おきに調査した。また、9月13日には、排水パイプから河川に流入していた排水のうち、比較的流量の多い排水パイプ（最大流量10m<sup>3</sup>/day程度）を選び（地点D1～D4）、現地水質測定と採水を行った。10月4日には研究流域下流部で家庭用の浅井戸（地点W1～W4；深度20～40m）を対象に地下水調査を実施し、さらに11月5日には地点R4を除く地点R1～R6において河川水の調査、ならびに流域上流部の浅井戸（地点W5と地点W6；深度30～40m）において地下水調査を行った。現地では、水温



は日本計量器工業社製JC-2096, EC・pHはHORIBA社製D-54, DOはHACH社製HQ30dを用いて測定を行った。

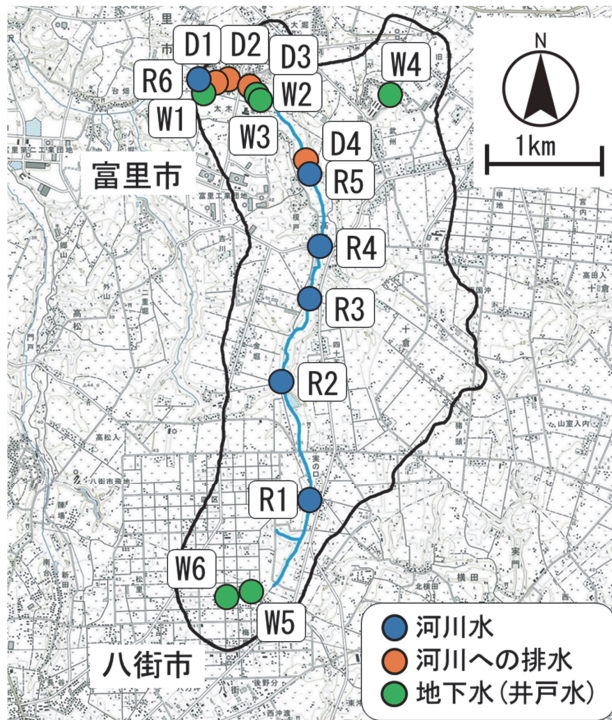


図5 調査地点

基図は国土地理院25,000分の1地形図。

また、合併処理浄化槽からの排水が河川水の水質に及ぼす影響を評価するために、本流域外であるが、参考のため、10月8日に茨城県つくば市小野崎地域の民家に設置してある合併処理浄化槽からの排水を採水・分析を行った。さらに、同じく参考データとするため、10月4日に水道水試料を研究対象流域内である富里市立沢新田地域内の公園の蛇口から採水した。

河川流量の算出には、浮子法によって測定した流速を用いた。距離10mの流路区間に浮子を5回流し、浮子が流下する平均時間を計測して表面流速を求めた。そして、得られた表面流速に0.6(係数)をかけたものを平均流速とし、同時に計測した流水断面積を乗じることによって流量を算出した。

採水した水試料は実験室に持ち帰り、イオンクロマトグラフ(Thermo Fisher Scientific社製DIONEX ICS-1600)を用いて、陽イオン( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )と陰イオン( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ )の定量分析を行った。 $\text{HCO}_3^-$ の定量分析にはpH4.8アルカリ度滴定法を用いた。硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比分析は脱窒菌法に基づき、安定同位体比自動分析システム(SerCon社製Cryo-Prep, 同社製Hydra20-20)

を用いて山梨大学において実施した。安定同位体比は以下の式で定義される。

$$\delta_{\text{sample}} (\%) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

ここで、Rは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ または $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ であり、Nは大気中の窒素、Oは標準海水の酸素を基準とする。測定精度は窒素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3$ )で $\pm 0.2\%$ 、酸素安定同位体比( $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3$ )で $\pm 0.3\%$ である。

## 4. 結果

### 4.1 水質と流量

水質分析結果を表1に示す。高崎川の河川水は調査時期や時間にかかわらず、硝酸イオン濃度は43mg/L以上と常に高い値を示す。最高濃度は地点R6における9月15日17時の62.6mg/Lであった。また、硝酸イオン濃度は河川の流下に伴い徐々に減少する傾向を示している(11月5日の地点R1~R6)。日変化では、9月15日17時の62.6mg/Lを除けば、9月16日の深夜1時~朝9時頃にかけて若干高い濃度が認められる程度であり、1日を通じて大きな変化はない。なお、9月15日17時のイオンクロマトによる溶存イオン濃度だが、本研究では外れ値とし、後述(第5章)の考察の際には9月15日17時の溶存イオン濃度のデータは考慮しないものとする。

地点R6において24時間流量観測を行った結果(図6)、9月15日~16日にかけては平均で237 $\text{m}^3/\text{h}$ 程度の流量があった。1日を通じて流量の若干の変化はあるものの、その最大流量と最小流量の差は20 $\text{m}^3/\text{h}$ 程度と小さく、これは流量観測の測定誤差の範囲内とも考えられる。

図7に地点R1~R6(約6kmの流路区間)における河川の流下に伴う流量変化(11月5日)を示す。地点R6における流量は1044 $\text{m}^3/\text{h}$ であり、9月の同地点にお

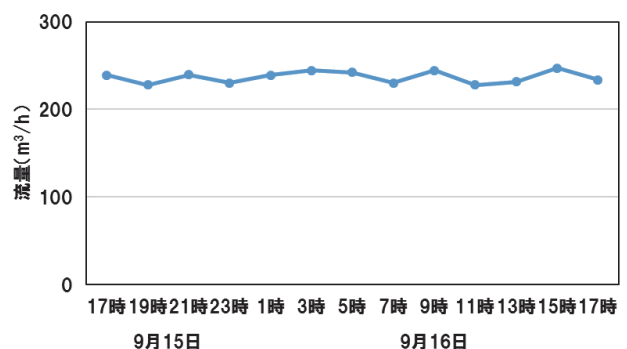


図6 地点R6における高崎川の流量の日変化(2017年9月15日~16日)

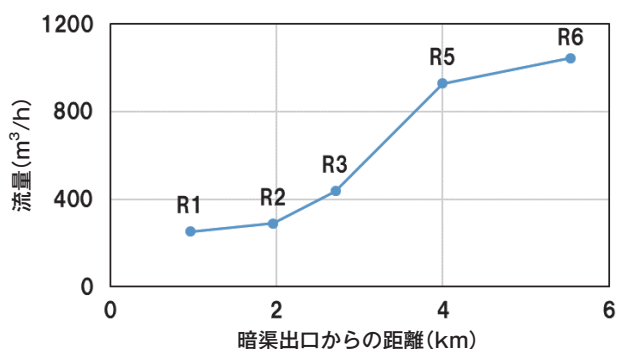


図7 流下に伴う高崎川の流量変化 (2017年11月5日)

ける流量（図6；237m<sup>3</sup>/h）と比べて4.5倍程度であった。同図から、河川の流下に伴って流量は増加するが、特に地点R3～R5の1km強の流路区間において500m<sup>3</sup>/h程度の急激な流量の増加が生じていることが確認された。

#### 4.2 硝酸イオンNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の負荷量

硝酸イオン濃度に河川流量を乗ずることで硝酸イオンの負荷量を算出した。9月は1時間当たりの負荷量、11月は1日当たりの負荷量を算出した。24時間連続観測期間中の1時間当たりの硝酸イオン負荷量の日変化のグラ

表1 2017年6月、9月、10月、11月調査時の水試料の溶存イオン濃度と硝酸イオンNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の窒素（δ<sup>15</sup>N）・酸素（δ<sup>18</sup>O）安定同位体比

月	日時	地点名	分類	水温 (°C)	pH	EC (mS/m)	DO (mg/L)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	δ <sup>15</sup> N-NO <sub>3</sub>	δ <sup>18</sup> O-NO <sub>3</sub>	
																		(‰)		
6月	7日	R2	河川水	18.8	7.7	37.4	7.4	16.2	1.9	13.3	32.4	21.3	0.3	43.1	0.5	39.3	82.1			
		R4		19.3	7.8	38.4	8.9	14.0	1.5	14.7	34.2	23.8	0.4	52.1	0.0	28.6	90.3			
		R6		20.4	7.8	35.2	10.2	15.5	2.0	14.2	30.8	24.4	0.6	45.8	0.4	27.8	83.0			
9月	13日	D1	排水	7.6	21.0			12.1	3.1	13.5	11.2	14.3	0.6	10.7	0.0	17.3	79.6	7.6	1.4	
		D2		6.8	28.9			11.3	3.4	16.0	23.8	18.7	0.0	29.2	0.0	12.0	112.0	7.2	1.7	
		D3		6.8	29.6			8.7	3.0	13.1	33.5	13.2	0.0	23.5	0.0	29.3	112.6	8.6	3.4	
		D4		7.1	22.2			9.8	5.9	14.2	17.1	10.8	0.0	16.9	0.0	11.4	103.7	4.0	1.9	
	15日	17時	R6	河川水	19.7	7.8	31.4	7.1	18.6	11.8	19.3	37.7	25.0	2.7	62.6	0.0	33.9	90.0	8.6	1.1
		19時			18.9	7.4	30.6	6.2	14.1	9.0	14.8	28.6	19.3	2.3	47.6	2.8	26.3	88.2	8.4	1.6
		21時			18.1	7.4	30.0	6.2	14.0	8.3	14.3	27.5	19.2	2.3	45.3	0.0	25.2	85.7	8.3	2.7
		23時			17.8	7.4	29.6	6.5	14.1	8.6	14.4	27.8	19.2	2.3	47.1	0.0	25.9	85.4	9.0	2.0
	16日	1時	R6	河川水	18.0	7.4	29.3	6.7	13.5	8.5	14.4	27.9	18.6	1.6	50.0	1.6	26.3	86.3	8.9	2.7
		3時			17.7	7.4	29.2	6.9	13.2	8.1	14.4	28.1	18.2	1.5	50.2	1.8	26.3	87.9	8.0	1.8
		5時			17.8	7.2	29.1	7.0	13.2	8.0	14.5	27.9	18.2	1.5	49.8	1.5	26.2	87.9	8.5	3.2
		7時			18.1	7.6	29.1	10.3	13.2	7.9	14.4	27.5	18.0	1.2	49.6	1.7	25.9	84.8	8.0	1.0
		9時			19.2	8.1	29.7	13.2	13.3	7.2	14.5	27.4	18.3	1.7	46.9	0.0	25.9	83.3	8.3	0.2
		11時			19.6	8.4	30.1	14.3	13.7	8.3	14.2	26.9	18.8	1.9	45.7	3.0	25.8	83.9	7.9	2.0
		13時			20.2	8.5	30.2	13.7	13.6	9.1	13.9	26.8	18.3	1.6	47.3	2.2	25.5	84.2	8.2	4.3
		15時			19.6	8.1	30.1	11.4	14.0	8.8	14.3	27.3	18.8	2.0	46.3	3.5	25.9	83.9	8.0	1.5
17時	19.0	7.6	30.3	8.1	13.5	8.2	14.6	28.1	18.3	1.8	46.6	0.0	25.8	88.8	8.3	3.6				
10月	4日	水道水		23.0	8.0	21.2	7.0	13.4	3.2	4.9	20.3	17.3	0.0	4.2	0.3	19.2	63.2			
		W1	井戸水	19.5	8.2	14.8	2.1	6.9	2.9	3.4	19.6	4.9	0.0	0.9	0.7	9.3	80.2			
		W2		19.8	7.6	25.7	8.5	8.4	0.9	15.6	20.0	11.1	0.0	47.9	0.0	47.0	29.9			
		W3		19.7	8.2	13.7	1.8	6.4	4.5	4.9	14.1	6.0	0.0	0.9	0.8	8.4	70.8			
	W4	20.1		8.0	26.2	4.7	9.9	1.8	6.8	34.2	13.4	0.0	36.1	0.4	31.2	62.5				
	8日	S1	浄化槽					42.3	11.3	7.5	14.7	59.8	0.0	15.4	6.5	27.8	48.8	8.5	-3.3	
		S2		43.7	11.2	7.8	15.6	62.5	0.0	15.4	6.0	29.7	51.9	9.0	-0.7					
		S3		46.1	13.4	8.2	16.4	65.0	0.3	24.9	7.7	27.6	62.5	7.8	0.4					
11月	5日	R1	河川水	16.7	7.0	26.1		8.6	3.4	10.9	28.9	13.2	0.2	58.3	0.0	49.1	25.3	5.4	-2.5	
		R2		17.2	7.2	26.5		9.4	2.7	11.8	29.7	13.6	0.2	53.2	0.3	47.8	37.2	5.5	0.1	
		R3		17.2	7.1	26.9		9.6	2.6	11.8	30.1	13.9	0.2	49.4	0.0	44.2	44.5	5.2	0.6	
		R5		17.2	7.4	26.8		10.7	2.5	12.2	29.1	14.6	0.2	48.2	0.0	36.4	55.5	6.5	0.7	
		R6		17.1	7.7	26.2		10.8	2.4	12.3	27.1	14.6	0.2	43.7	0.0	34.4	58.6	6.8	-0.1	
	W5	井戸水	8.2	24.1			16.7	0.6	16.5	19.2	16.3	0.0	29.5	0.0	11.4	114.1	12.2	2.2		
W6	8.2		25.4			13.4	0.6	19.4	23.6	22.8	0.0	22.6	0.3	8.1	125.7	14.1	5.7			

排水：高崎川へ流入している排水を排水パイプから直接採取。浄化槽：茨城県つくば市の民家の合併浄化槽からの排水。

フ(図8)をみると、観測を開始した9月15日17時には、それ以降の時間帯と比較すると負荷量が多少大きい結果となったが、19時以降は10.4kg/h~12.3kg/h程度とほぼ一定の負荷量を示した。一方、11月5日における河川の流下に伴う負荷量(日量)の変化(図9)は、図7の河川流量の変化の傾向と類似しており、硝酸イオンの負荷量は地点R1~R3の流路区間では緩やかに増加、地点R3~R5の区間で急激に増加、そして地点R5から再び緩やかに増加する傾向が認められた。また、地点R6での11月5日における負荷量は、9月15日~16日の負荷量の平均値と比較すると4倍程度であった(図9)。

### 4.3 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比

硝酸イオンの窒素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ )ならびに酸素安定同位体比( $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ )を用いることにより、地下水中の窒素の起源を推定することが可能である。一般に $\delta^{15}\text{N}$ は無機物質で小さい値を示す(環境省, 2016)。たとえば、 $\delta^{15}\text{N}$ は大気中の窒素成分との差として表現されるため、大気中の窒素ガスを固定して製造される無機化学肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は理論上0%となる。一方で、 $\delta^{15}\text{N}$ は有機物質では大きい値を示すという特徴がみられる(環境省, 2016)。田瀬(1996)は $\delta^{15}\text{N}$ として、降水で-8~2%, 化学肥料で-7.4~6.8%, 家畜糞尿で10~22%, 下水処理水で8~15%程度であることを、また村松ほか(2010)は生活雑排水では8%~30%であると報告している(図10)。

図10より、 $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ と $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ は9月15日~16日の河川水ではそれぞれ7.9~9.0%, 0.2~4.3%, 11月5日の

河川水では同5.2~6.8%, -2.5~0.7%, 護岸の排水パイプからの流入水(9月13日採水)では同4.0~8.6%, 1.4~3.4%, 合併処理浄化槽の排水(参考値:茨城県つくば市において10月8日採水)では同7.8~9.0%, -3.3~0.4%, また地下水(井戸水;11月5日採水)では同

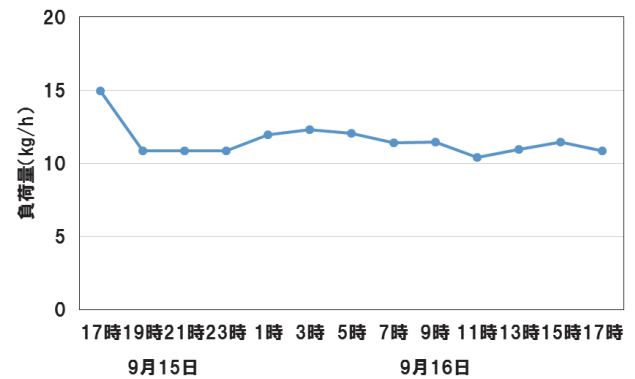


図8 高崎川の地点R6における1時間当たりのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>負荷量の日変化(2017年9月15日~16日)

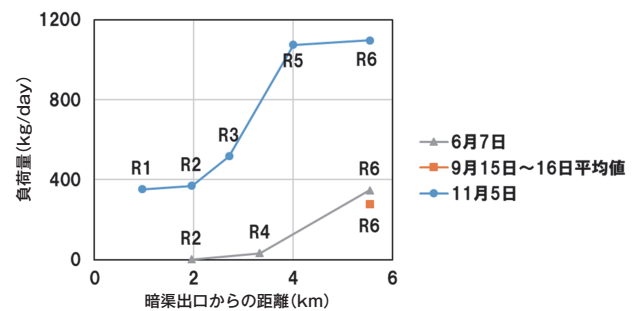


図9 2017年11月5日の高崎川の流下に伴うNO<sub>3</sub><sup>-</sup>負荷量(日量)の変化ならびに6月と9月のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>負荷量との比較

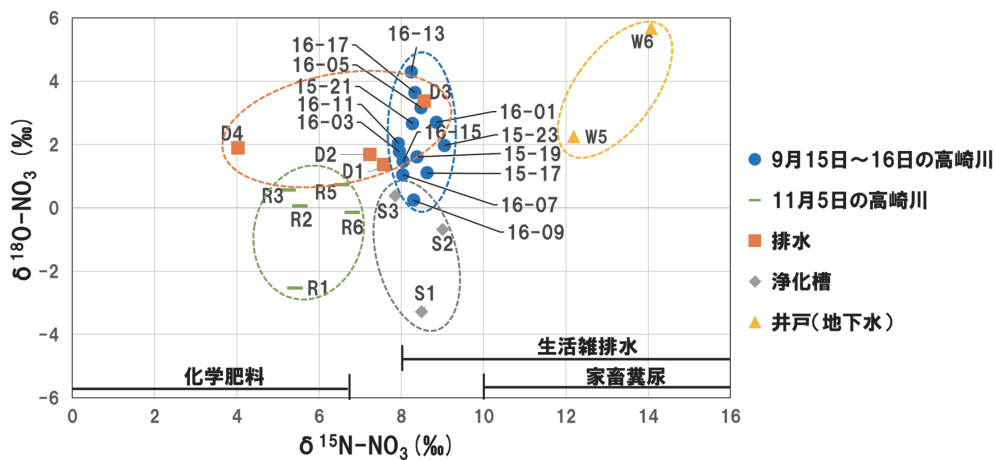


図10 硝酸イオンの窒素( $\delta^{15}\text{N}$ )・酸素( $\delta^{18}\text{O}$ )安定同位体比

図中の数字は日付と時間を表す(例)15-17:9月15日の17時)。破線で囲まれた範囲はそれぞれの分布域。排水:高崎川へ流入している排水を排水パイプから直接採取(9月13日採水)。浄化槽:茨城県つくば市の民家の合併浄化槽からの排水(10月8日採水)。図中の $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ の値の範囲:化学肥料-7.4~6.8%, 家畜糞尿10~22%, 生活雑排水8~30%(田瀬, 1996; 村松ほか, 2010)。



12.2～14.1‰, 2.2～5.7‰であった。図10において、9月15日～16日と11月5日の高崎川の河川水の $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ と $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ が明らかに異なることが注目される。

## 5. 考察

無降雨期間中における研究対象流域の河川水中の窒素の主な起源としては、1) 田畑への化学肥料（余剰肥料；浅層地下水経由）、2) 未処理あるいは単独処理浄化槽使用地域からの生活雑排水（未処理）もしくはし尿（処理済み）、3) 合併処理浄化槽使用地域からの排水（＝生活雑排水＋し尿；処理済み）が考えられる。図10の硝酸イオンの窒素安定同位体比の分析結果（ $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ ：7.9～9.0‰）に基づくと、9月15日～16日における高崎川の河川水中の窒素は、上述した2) もしくは3) に主な起源があるものと判断できる。一方、11月5日の河川水の $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ は5.2～6.8‰と、9月15日～16日より明らかに小さく、化学肥料とほぼ同じ同位体比を示している。したがって、11月5日においては、上述した1)、すなわち田畑へ散布された化学肥料が河川水中の窒素の主な起源であると推定される。

以上のように、9月15日～16日と11月5日では高崎川の河川水中の窒素の起源が異なることが明らかとなったが、その原因として、11月の調査時の1～2週間前に襲来した台風21号と22号の影響を挙げることができる。いずれも研究対象地域付近を通過しており、気象庁の過去の気象データ検索によると近隣の佐倉市や成田市では10月22日と29日にそれぞれ1日で100mm程度の雨量が観測されている（図4）。このような大量の雨が浸透する際、田畑に施肥された多量の窒素を含む化学肥料が降雨とともに地下に浸透した結果、浅層地下水面の上昇と同時に、地下水中の硝酸イオン濃度も上昇したものと考えられる。田畑における降雨浸透による浅層地下水面の上昇が地下水中の $\text{NO}_3^-$ 濃度の上昇をもたらすことは、福澤ほか（2003）によっても指摘されている。そして、化学肥料起源の高濃度の硝酸イオンを含む地下水が、北川ほか（2013）の指摘するように、コンクリートの継ぎ目などを通じて大量に河川へ流出したものと考えられる。その結果、上述した2) や3) を起源とする高い $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ を有する窒素の影響が相対的に小さくなったと判断される。図11には、11月5日における硝酸イオンの負荷量（日量）と、それぞれの調査地点より上流に分布する畑の面積との間の関係を示した。決定係数は0.9以上と両者の相関が非常に強いことも、化学肥料が河川水中の

窒素の主な起源という $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ に基づく上記の推定結果の妥当性を裏付けている。

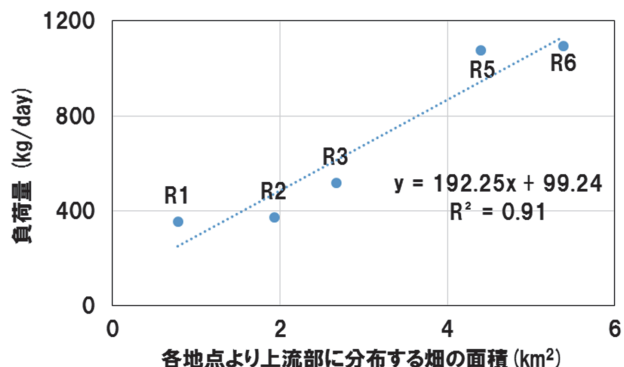


図11 河川の各調査地点より上流部に分布する畑の面積と1日あたりの $\text{NO}_3^-$ 負荷量（11月5日）の関係

11月5日とは対照的に、9月15日～16日の調査の前の1～2週間には目立った降雨はなかった（図4）。このため、田畑の浅層地下水の $\text{NO}_3^-$ 濃度は相対的に低く、また地下水位も低下していた（すなわち、河川に流入する浅層地下水の量が少なかった）と考えられる。ちなみに、9月15日～16日の地点R6における河川流量は11月5日の2割程度に過ぎなかった（第4.1章）。この結果、高い $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ を有する上述した2) や3) 起源の窒素の影響が河川水中に相対的に強く認められる結果になったものと推定される。これは、9月15日～16日の河川水中の亜硝酸イオン濃度（ $\text{NO}_2^-$ ：1.2～2.3mg/L）が11月5日（同0.2mg/L）と比べて1桁高い（表1）こととも整合的である。

## 6. まとめ

印旛沼に流入する河川のうち、窒素汚染が特に深刻とされる高崎川の最上流部に相当する面積約9.38km<sup>2</sup>の流域において、主要溶存成分と硝酸イオンの負荷量、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分析結果をもとに、高崎川の河川水質に与える化学肥料ならびに生活排水の影響について検討を行なった。

いずれも無降雨時に実施した研究の結果、台風による大雨の影響が残っていたと考えられる2017年11月5日には、先行降雨の少なかった9月15日～16日の約4倍に相当する1,100kg/dayの硝酸イオンの負荷量が高崎川の地点R6において観測された。

また、硝酸イオンの窒素安定同位体比の明瞭な違いから、河川水中の窒素の起源について、9月15日～16日に

は未処理, 単独処理浄化槽, 合併処理浄化槽使用地域からの生活排水が, 一方, 11月5日には田畑への化学肥料がその主な起源であることが明らかになった。

河川水の汚染プロセスのさらなる解明のためには, 硝酸イオンの酸素安定同位体比の分析結果も考慮に入れた解析を進める必要がある。また, 浅層地下水の調査地点の数を増やし, その水質や硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分析を通じて, 流域全体における水および窒素の挙動を詳細に検討してゆく必要がある。

## 謝辞

井戸水の採水や家庭排水の処理方法の聞き取り調査に際して御協力を頂きました, 富里市と八街市の皆さまに心より感謝申し上げます。

立正大学地球環境科学部の流域物質循環研究室と水文環境学研究室在籍の皆様には室内分析や野外調査などにおいて御協力頂きました。また同大学院生の船生泰寛氏からは様々な御助言, 御指導を頂きました。記して感謝いたします。

## 参考文献

赤松良久・二瓶泰雄・長谷川 定・林 薫・湯浅岳史・上原浩・小倉久子 (2010): 印旛沼流入河川における窒素汚染の実態とその要因, 河川技術論文集, 16, 311-316.

環境省 (2016): 硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル. 第I編, 3.3.2, 15-16.

環境省 (2017): 平成28年度公共用水域水質測定結果, 101-103.

気象庁, 「過去の気象データ検索」, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2018年12月1日閲覧).

北川正佳・二瓶泰雄・原田 渉 (2013): 印旛沼流入河川における地下水起源の窒素負荷に関する検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.69, No.4, I\_1711-I\_1716.

田瀬則雄 (1996): 地下水中の硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体存在比—汚染源の同定は可能か—, 水, 38 (8), 70-78.

富里市 (2015): 富里市污水適正処理構想 (平成27年度), 3-4.

二瓶泰雄・真茅良平・堀田和弘・湯浅岳史 (2010): 印旛沼流域における湧水の栄養塩・COD 環境の把握, 水工学論文集, 54, 1351-1356.

福澤久子・赤岡 輝・小澤秀明 (2003): 果樹栽培地域における浅層地下水の水質変動, 長野県衛生公害研究所報告, 26, 1-6.

村松容一・荒井寛未・近藤史也・大城恵理・千葉 仁 (2010): 窒素および硫黄安定同位体比による地下水汚染に及ぼす人間活動の影響の解明: 北西下総台地の例, 日本土壤肥料学会, 81-1, 7-15.

八街市 (2016): 統計書 (平成28年版), 45. 公共下水道の普及状況・污水处理状況, 60.

# Water chemistry and stable isotope ratios of nitrogen and oxygen of nitrate in Takasaki River, Chiba, Japan

HASEGAWA Taketoshi\*, YASUHARA Masaya\*\*

LEE Seongwon\*\*, NAKAMURA Takashi\*\*\*

\* Graduate School of Geo-environmental Science, Rissho University

\*\* Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

\*\*\* Interdisciplinary Graduate School, Research Center for River Basin Environment, University of Yamanashi

**Key words:** river water, land use, nitrate ion, oxygen-nitrogen stable isotope ratios of nitrate, nitrogen source

