# 荒川水系霞川の流下に伴う流量ならびに 溶存イオン負荷量の変化

井 上 美 奈\* 安 原 正 也\*\* 李 盛 源\*\* 伊 東 優 希\*\*\*

キーワード:失水河川,河床間隙水域,溶存イオン負荷量,金子台,茶畑,市街地

### 1. はじめに

武蔵野台地北西縁に沿って流下する霞川(図1(A); 荒川水系入間川の支流)では2016年11月,最下流部の入 間市黒須地区の約0.5kmの流路区間において水流がほぼ 消滅し,涸川となったことで関心を集めた(毎日新聞, 2016年11月12日記事).河川水の伏没による同様の流量 の大幅な減少や水流の消滅,いわゆる"瀬切れ"は,武 蔵野台地北部や西部の他の中小河川においても認められる. 野川や空堀川(川合ほか,2013),また不老川(狭山市 (編),1989)はこのような失水河川の代表例であり,そ の特定の流路区間(失水区間)では河川水が伏没浸透す る結果,季節によって著しく流量が減少することが報告 されている.

ここで,河川の失水区間において伏没した河川水は 地下水に転化し,河床下に形成される河床間隙水域 (hyporheic zone)を一定距離流下した後、下流におい て河床から浸出して再び河川水(地表水)に戻る.河床 間隙水域では脱窒や吸収等の活発な生物化学的作用が生 起することが予想され,河川水の水質改善や河川生態系 の維持に果たすその役割が近年,水文学と生態学の学際 的な研究テーマとして国際的に注目されている(たとえ ば,Hill,2000;浅枝(編著),2011).しかし,武蔵野台 地の河川はもちろん,このような中小河川の流下に伴う 流量や溶存化学成分の負荷量の変化を流域全体で詳細に 扱った水文学的研究はこれまで限られており,失水河川 を対象とした研究事例のさらなる蓄積が望まれる.

# 2. 研究目的

武蔵野台地北西縁を流下する霞川(図1(A))を対 象に,2018年と2021年の調査結果に基づき,同河川の流



#### 図1 霞川とその流域および地形断面図

図1(A)中の数字は河川水調査地点(2018年7月24日).茶色の実線は分水界.図1(B)の地形断面図の作成には 国土地理院GSIMapsを使用.基図は国土地理院1/25,000地形図「飯能」,「青梅」,「所沢」,「川越南部」.

\*\* 立正大学地球環境科学部環境システム学科

<sup>\* (</sup>株)アクシス

<sup>\*\*\*</sup> 立正大学大学院地球環境科学研究科

下に伴う流量と溶存イオン濃度の変化を明らかにする. 続いて,各溶存イオンについて負荷量を求め,流下に伴 う溶存イオン負荷量の増減を引き起こすプロセスを明ら かにすることを目的とした.

#### 3. 研究地域

霞川(全長約16km)は東京都青梅市根ヶ布付近に源 流を有し,青梅市と埼玉県入間市を流下後,狭山市広瀬 地先において入間川に注ぐ(図1).気象庁「青梅」観 測点における1991年~2020年の平均年降水量は1,563mm である(気象庁HP).

電川流域(流域面積:約26km<sup>2</sup>)は霞川左岸の加治丘陵, 右岸の金子台、その間の沖積低地から構成される(図1). 図1 (B)の地形断面図(測線A-A')から、 霞川流域 の中流部における加治丘陵と金子台の標高はそれぞれ 180m, 140m程度, また霞川の沖積低地のそれは125m 程度である。加治丘陵は上総層群相当層の礫層・砂層・ シルト層からなる(狭山市(編), 1989). 一方, 金子台 (下末吉面に相当)は、上総層群相当層等の基盤上に堆 積した、下位から1)下末吉層(金子台礫層)、2)層 厚5~6mの下末吉ローム層、3)厚さがそれぞれ数m 前後の武蔵野ロームと立川ロームから構成される(入間 市史編さん室(編),1986;1994).金子台の浅層地下水 位(地表面から地下水面までの深さ)は15~20m(檜山 ほか、1993)、また新立(2022)によると5~20m程度と されていることから、同台地の浅層地下水は下末吉ロー ム層もしくは金子台礫層中に賦存しているものと推定さ れる. 霞川沿いの沖積低地は, 角田(1980, 1982) によ ると、青梅市大門(図1(A)の地点18)付近より上流 では有機物を多く含む軟弱なシルト混り粘土層(一般に 層厚1.5~2.0m)からなるが、同地点より下流では礫層 とその上にのるシルト~礫混り粘土層から構成される.

土地利用(表1,図2)をみると,霞川流域の上流部 (~地点29)には青梅市街地や森林・ゴルフ場,中流部 (地点29~地点49)には広大な茶畑,また下流部(地点 49~地点63)には入間市街地が展開している.特に,地 点39~地点45と地点45~地点48の区間では,流域のそれ ぞれ約51%,42%(表1)が茶畑に利用されていること が注目される.また,地点48より下流側は,市街地の占 める割合が概ね90%以上と,都市化が非常に進んだ地域 となっている.

#### 4. 現地調査・分析方法

2018年7月24日の無降水日に現地調査を実施し、霞川 本流の17地点、支流9地点の合計26地点において流量測 定、現地水質測定ならびに水試料の採取を行った(図1 (A)、図2). 霞川流域の最上流部に近い気象庁「青梅」 観測点における調査日前の1週間における先行降水量は 0.0mm、同2週間のそれは1.0mm、また同1ヶ月間のそ れは32.0mm(気象庁HP)と、調査は梅雨期の降水の影 響が非常に少ない状態下で行われた. さらに、季節によ る河川水の伏没状況の違いを確認するため、2021年11月 5日の無降水日に補足調査を実施した. 補足調査時に は、最下流部の地点61と地点63(図1 (A)、図2)の みを対象として同様の調査を実施した. 2021年11月5日 の前の1週間、2週間、1ヶ月間の先行降水量はそれぞ れ0.5mm、27.0mm、75.0mmであった(気象庁HP).

流量測定では、まず水流を幅0.5m~1mのセクショ ンに分割したのち、それぞれのセクションの中央部にお いて流速計を用いて6割水深の流速を測定した.流速 の測定にはプロペラ式流速計(VR-301,ケネック社製) を使用した.続いて、得られた流速を各セクションの水 流断面積と掛け合わせることで流量を求め、それらを合 算することで河川断面全体の流量とした.水深が浅い等

表1 霞川流域の土地利用(面積割合)

	源流	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	地点	霞川流域
	~地点1	1~11	11~18	18~26	26~29	29~34	34~39	39~45	45~48	48~49	49~50	50~51	51~52	52~54	54~57	57~61	61~63	全体
住宅地	28%	80%	55%	43%	71%	48%	60%	28%	42%	91%	97%	96%	92%	98%	100%	95%	83%	55%
茶畑	0%	0%	1%	2%	2%	0%	18%	51%	42%	9%	1%	4%	5%	2%	0%	0%	0%	18%
森林	67%	17%	26%	29%	24%	49%	5%	10%	12%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	16%
灯田	0%	1%	6%	12%	3%	2%	18%	9%	4%	0%	1%	0%	4%	0%	0%	1%	2%	6%
ゴルフ場	5%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
水田	0%	1%	1%	14%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%

国土地理院1/25,000地形図「飯能」,「青梅」,「川越南部」から算出.



図2 霞川流域の土地利用,河川水調査地点(2018年7月24日)ならびに流域区分 土地利用図(上図)は国土地理院1/25,000地形図「飯能」,「青梅」,「川越南部」に基づき作成.

の理由で流速計が使用できない場合には浮子法で表面流 速を求め、その値に0.75を乗ずることで平均流速とした. 現地においては水温(D617, テクノセブン社製), pH
(WM-32EP, 東亜DKK社製) ならびに電気伝導度(EC)
(同上)を測定した. 試料水は、溶存イオン(F<sup>-</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>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) 濃度測定用に100mLのポリプロピレンボ トルに採水し、冷蔵保存した. 現地水質測定ならびに採 水は河川中央の水面直下で行った. 試料水は実験室に 持ち帰り、0.22µmメンブレンフィルター(Millex®-GP, MerckMillipore社製) で濾過した. その後, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は pH4.8アルカリ度滴定法, その他の溶存イオンはイオ ンクロマトグラフ (Dionex ICS-1600, Thermo Fisher Scientific社製)を用いて濃度を測定した.

# 結果と考察

### 5.1 河川流量

2018年7月24日の霞川における流量の測定結果と流下 に伴うその変化を表2,図3に示す.なお、土地利用に 基づく上流部、中流部、下流部の区分とその範囲につい ては第3章を参照されたい.

最上流の地点1(流量160m<sup>3</sup>/day)から中流部の地点29 (同 2,000m<sup>3</sup>/day), さらに下流部の地点49(同 6,800m<sup>3</sup>/ day)にかけて,この約12kmの上流部と中流部の流路 区間においては河川の流下に伴って流量は徐々に増加 する.調査当日の地点49(入間川合流点より約4km上流)の霞川の河道の状況を図4(左図)に示す.その後,下流部では,地点49から地点54にかけての2km弱の区間で流量は6,800m<sup>3</sup>/dayから3,400m<sup>3</sup>/dayへと半減する.そして地点54から地点61(流量14,000m<sup>3</sup>/day)にかけて急増した後,地点61から地点63(入間川合流点直前)のわずか約0.5kmの区間でその流量は14,000m<sup>3</sup>/dayから72m<sup>3</sup>/dayへと激減する.2018年7月24日の調査時には,2016年11月(毎日新聞,2016年11月12日記事)と同様,地点63付近では霞川はほぼ干上がっていた(図4右図).

さらに,2021年11月5日の補足調査時においても,地 点61(流量14,000m<sup>3</sup>/day)から地点63(同11,000m<sup>3</sup>/ day)の区間で流量の明らかな減少が観測された(表2, 図3).地点61の河川水の20%強が同区間で伏没したこ とになる.

ここで,入間川合流点から上流約4kmの地点49まで の下流部には取水施設等は確認できなかった.以上から, 現在の霞川は,1)入間川合流点より上流約2~4km と2)最下流部の約0.5kmの河道区間において,河川水 が大量に伏没すなわち地下水に転化する失水河川(流路 の一部に顕著な失水区間を含む河川)であることが明ら かとなった.

#### 5.2 河川水の水質

2018年7月24日の霞川本流の河川水の電気伝導度(EC)

表2 現地測定結果(2018年7月24日, 2021年11月5日)

(-;未測定)

	地点番号	時間		水温 ℃	pН	EC mS/m	DO mg/L	流量 m <sup>3</sup> /day	備考
	1	2018.07.24	10:20	27.3	8.61	22.5	10.85	160	
	11	2018.07.24	10:40	31.0	8.60	18.4	8.77	990	
	17	2018.07.24	11:10	—	-	_	-	26	左岸支流
山达动	18'	2018.07.24	11:20	_	_	_	_	17	左岸支流
(青梅市)	18	2018.07.24	11:30	33.3	7.91	22.7	7.75	190	18'合流後
(11 194114)	23	2018.07.24	11:55	_	_	_	_	35	右岸支流 (暗渠)
	24	2018.07.24	12:00	_	_	_	_	17	右岸支流
	26	2018.07.24	12:15	32.4	7.82	23.3	7.90	690	
	29	2018.07.24	13:15	32.2	7.47	25.0	6.40	2000	
	30	2018.07.24	13:45	_	_	_	_	35	右岸支流 (暗渠)
	34	2018.07.24	13:55	35.3	8.26	23.8	11.55	1500	34' 合流前
	34'	2018.07.24	13:45	34.0	9.17	25.7	8.62	450	右岸支流
中海如	36	2018.07.24	14:10	_	_	_	_	100	左岸支流
中沉部 (入間击)	39	2018.07.24	14:35	30.6	7.81	29.1	8.23	2300	
	44	2018.07.24	15:20	35.3	9.09	106.6	8.50	150	右岸支流
	45	2018.07.24	15:50	34.2	9.39	29.4	12.79	3200	
	48	2018.07.24	16:30	32.6	8.83	28.4	10.45	5500	
	49	2018.07.24	10:00	29.5	7.88	32.5	8.26	6800	
	50	2018.07.24	11:10	30.7	7.74	32.8	7.80	5400	
	51	2018.07.24	11:50	31.7	8.24	32.4	9.91	5300	
	52	2018.07.24	12:30	32.2	8.12	32.0	8.55	5100	
下流部	54	2018.07.24	12:50	33.5	8.54	31.9	9.79	3400	
(入間市・狭山市)	57	2018.07.24	14:30	33.7	9.11	30.5	10.97	5600	
	61	2018.07.24	15:20	39.1	8.99	30.1	10.52	14000	61'合流前
	61'	2018.07.24	15:30	23.2	7.87	28.8	7.50	710	左岸支流 (暗渠)
	63	2018.07.24	16:50	33.8	8.97	29.8	13.17	72	
	61	2021.11.05	12:00	18.2	8.77	26.6	_	14000	61'合流後
	63	2021.11.05	11:10	17.4	8.44	26.7	_	11000	



図中の数字は調査地点番号(図1(A),図2参照).矢印は主要な支流の 流入点.破線は2021年11月5日の地点61~63における流量変化.



図4 霞川の河道状況(地点49と地点63;2018年7月24日)

それぞれの地点の下流側から撮影.地点49の水流の幅は約2m,地点63の河道の幅は約15m. 霞川最下流部の約0.5km の河道区間(地点61~63;図1(A))で河川水は伏没し,2018年7月24日当日,入間川合流点直前の地点63におい て水流はほぼ消滅(右写真).魚の遺骸(矢印;拡大写真)の状態から,このような状況になってからさほど時間は 経過していないものと判断された.

は、上流部に比べて中流部や下流部において高い傾向が 認められる(表2). ECが106.6mS/mと全測定地点中で 最高値を示す地点44は、金子台の茶畑を流下後に霞川右 岸に合流する支流である.地点45、地点48、地点57、地 点61、地点63ではpHがほぼ9かそれ以上と高く、溶存 酸素濃度(DO)も10~13mg/Lと高濃度を示す.ちなみ に水温が30℃の場合、飽和溶存酸素濃度は7.6mg/L程度 であることから(半谷、1964)、河川水温(表2)から 判断して溶存酸素は過飽和状態にある.これは、調査日 の天候を反映して河川水中で活発な光合成が行われたこ とに原因があるものと考えられる.

河川水中の主要溶存イオン濃度の分析結果(表3)を ヘキサダイアグラムを用いて図5に表す.本流の水質タ イプはすべてCa-HCO<sub>3</sub>型であり,上流から下流に向かっ て全体的に溶存イオン濃度が増加する.地点34'と地点 44は右岸に広がる金子台の茶畑からの水を集めた支流で ある.施肥の影響を受けたその水質タイプは本流の河 川水と明らかに異なり,地点34'ではNa-SO<sub>4</sub>・NO<sub>3</sub>型, 地点44ではNa-Cl・SO<sub>4</sub>・NO<sub>3</sub>型を呈する.過去の金子台 の浅層地下水や金子台周辺の河川水の水質測定結果(檜 山ほか,1993:小川ほか,1998:山崎ほか,2011)とも 整合的である.一方,入間市街地に源を有する支流の地 点61'の水質は霞川本流と同じCa-HCO<sub>3</sub>型であり,濃 度も本流の河川水のそれと大差なかった.

続いて図6に,河川水の水質をトリリニアダイアグラム 上に表示した.前述の通り,地点34'と地点44の支流は 明らかに異なる水質組成を有する.また,霞川本流の河  川水は、上流部から下流部にかけて、陰イオンではCl<sup>-</sup>、 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、陽イオンではNa<sup>+</sup>とK<sup>+</sup>の割合が徐々に
 増加する、下流部の支流である地点61<sup>'</sup>の水質組成は霞
 川本流のそれとほぼ同じであった。

2018年7月24日の霞川の流下に伴う溶存イオン濃度の変 化(図7)では、巨視的には上流から下流に向かって各イ オン濃度が上昇する.しかし、詳細に見るとその変化に はいくつかの特徴が認められる. まず, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> は下流部においてほぼ一定の濃度を示す一方で、NO<sub>2</sub>-、 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>は地点49より下流において明らかにその濃 度が低下することが注目される。第5.1章で述べたと おり、この区間では大量の河川水が地下水へ転化(地点 49~地点54、地点61~地点63)、また反対に地下水から 河川水への転化(地点54~地点61)が生じている. すな わち、河川水(地表水)中での生物化学的作用に加え、 河床下に形成された河床間隙水域で生起する活発な生物 化学的作用によって、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>の各イオン が効率よく水中から除去された可能性がある.対照的に, SO4<sup>2-</sup>は地点49より下流においてわずかながらその濃度 が増加している.都市域の浅層地下水は総じてSO<sup>2-</sup>濃 度が高いことが報告されている(たとえば, Erickson *et al.*, 2014;伊東ほか, 2020) ことから,よりSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃 度が高い入間市街地の浅層地下水が霞川にもたらされる 結果かもしれない.

なお,地点34と地点39の間でCl<sup>-</sup>やPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>濃度が上昇 するが(図7),これは右岸から流入する地点34<sup>'</sup>の支 流の水質(表3)に原因があるものと考えられる.同じ 表3 溶存成分濃度分析結果(2018年7月24日,2021年11月5日) (-;未分析)

	地点番号	時間		F <sup>-</sup> mg/L	Cl⁻ mg/L	NO2 <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	PO4 <sup>3-</sup> mg/L	SO4 <sup>2-</sup> mg/L	HCO3 <sup>-</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	NH4 <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L
	1	2018.07.24	10:20	0.2	6.8	0.0	3.0	0.0	17.5	90.0	7.9	0.0	1.4	4.0	30.2
	11	2018.07.24	10:40	0.2	5.1	0.0	1.8	0.0	13.2	79.3	6.0	0.0	1.3	3.0	26.0
	17	2018.07.24	11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18'	2018.07.24	11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_	-	_
上流部	18	2018.07.24	11:30	0.2	5.1	0.0	2.4	0.0	16.6	98.5	6.8	0.0	2.1	4.4	31.5
	23	2018.07.24	12:00	-	-	-	_	-	_	-	_	-	-	-	_
	24	2018.07.24	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_	-	_
	26	2018.07.24	12:15	0.2	6.1	0.1	3.6	0.0	17.4	97.6	7.5	0.0	2.4	4.7	31.4
	29	2018.07.24	13:15	0.2	6.7	0.0	5.5	0.0	18.3	100.7	8.9	0.0	2.4	5.4	32.4
	30	2018.07.24	13:45	-	-	-	_	-	_	-	_	-	-	-	_
	34	2018.07.24	13:55	0.2	7.7	0.1	3.9	0.0	19.3	91.5	9.5	0.0	2.5	5.1	29.9
	34'	2018.07.24	13:45	0.2	20.4	0.2	24.1	0.7	23.6	42.4	21.2	0.0	5.9	4.0	18.0
	36	2018.07.24	14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_	-	_
中流部	39	2018.07.24	14:35	0.2	19.0	0.1	7.8	0.3	19.9	94.6	16.1	0.0	3.0	5.9	32.2
	44	2018.07.24	15:20	1.4	168.4	0.0	57.4	3.1	170.9	11.8	104.6	0.0	11.9	3.3	89.7
	45	2018.07.24	15:50	0.2	21.0	0.2	5.1	0.5	23.5	95.5	17.9	0.0	3.6	5.3	33.0
	48	2018.07.24	16:30	0.2	19.6	0.2	6.2	0.6	23.0	90.6	16.5	0.0	4.1	5.7	31.1
	49	2018.07.24	10:00	0.2	22.2	0.3	9.4	1.0	25.4	105.9	25.4	0.0	4.4	6.1	31.9
	50	2018.07.24	11:10	0.2	22.3	0.3	10.2	1.0	26.2	104.9	26.3	0.0	4.5	5.9	31.4
	51	2018.07.24	11:50	0.2	22.1	0.2	11.9	0.9	25.2	104.0	25.2	0.0	4.3	6.1	31.5
	52	2018.07.24	12:30	0.2	22.0	0.1	12.1	0.9	25.1	102.2	24.4	0.0	4.3	6.0	31.6
下流部	54	2018.07.24	12:50	0.2	21.9	0.1	11.7	0.8	25.4	100.1	23.1	0.0	4.2	6.0	31.8
	57	2018.07.24	14:30	0.2	21.2	0.1	9.5	0.6	25.8	96.7	21.7	0.0	4.2	5.7	31.5
	61	2018.07.24	15:20	0.2	20.6	0.1	8.3	0.4	26.7	93.4	19.7	0.0	4.1	5.6	31.8
	61'	2018.07.24	15:30	0.2	17.4	0.0	13.5	0.3	26.0	87.9	16.2	0.0	4.2	5.8	32.1
	63	2018.07.24	16:50	0.3	19.9	0.1	8.7	0.3	27.1	93.4	19.4	0.0	4.3	5.7	31.9
	61	2021.11.05	12:00	0.1	11.1	0.0	20.5	0.3	23.4	78.1	12.2	0.0	2.9	5.7	28.5
	63	2021.11.05	11:10	0.1	11.0	0.0	20.2	0.2	23.1	77.2	12.0	0.0	2.9	5.8	28.5



図5 霞川河川水の水質: ヘキサダイアグラム (2018年7月24日) 基図は土地利用図 (図2). オレンジ色 (地点34', 44, 61') は支流 河川水.上流部,中流部,下流部の区分は表2,図3を参照.



図6 霞川河川水の水質;トリリニアダイアグラム(2018年7月24日) 上流部,中流部,下流部の区分は表2,図3を参照.地点34',44,61'は支流河川水.



流量の変化図については図3を参照.

く地点44の支流については,地点34'(450m<sup>3</sup>/day;表 2)と比較してその流量が少ないこともあり(150m<sup>3</sup>/ day;表2), 霞川の水質に及ぼす明瞭な影響は認めら れなかった.また, 霞川流域の上流部の地点1から地点 34前後までの区間では霞川の流量はほぼ一定で,いず れのイオンも顕著な濃度上昇を示さず低濃度のままで あった.これは,当該区間では霞川の河川水が南東側に 位置する金子台の地下水を涵養する状況にある(角田, 1982;檜山ほか,1993)ため,右岸の広大な茶畑や市街 地から地下水経由でもたらされる溶存物質の負荷を霞川 が受けないためと推定される.

#### 5.3 溶存イオン負荷量

人間活動,特に肥料(施肥)や家庭排水が水質に及ぼ す影響を評価する上で有効なイオンであるCl<sup>-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup> を例にとり,2018年7月24日の霞川の流下に伴うこれら 溶存イオンの日負荷量の変化,ならびに各河道区間にお ける負荷量の増減(収支)を図8に示す.それぞれの河 道区間の負荷量の増減については,本流の下流側の調査 地点の負荷量から一つ上流側の地点の負荷量を減ずるこ とで評価した.なお、負荷量は各地点の流量に溶存イオ ン濃度を乗ずることで算出した.

両成分とも、地点29付近でおおむね10kg/day程度の 負荷量が観測される。その後の河川流量の増加に伴って 負荷量も増加し、地点49においてCl<sup>-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>はそれぞれ 150kg/day, 64kg/dayの極大値を示す。そして、約1.8km 下流の地点54で80kg/day, 40kg/day程度までそれぞ れ減少したのち、ふたたび地点61において280kg/day, 110kg/dayと増加する。その後、最下流部の地点63では 両イオンとも負荷量は約1kg/dayまで激減する。すなわ ち、霞川では地点49~地点54、地点61~地点63の区間に おける河川水の伏没(地下水への転化)に伴い、大量の Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンが河床間隙水域に負荷される実態(図 8中の"負荷量の増減"のグラフ)が明らかとなった。

河床間隙水域にもたらされるこれらのイオンのうち, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は生物化学的作用(脱窒や植物プランクトン等に よる吸収)のため,特に水中から失われやすいイオンと



図8 霞川の流下に伴う塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)・硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)の日負荷量の 変化と各河道区間における負荷量の増減(収支)(2018年7月24日)

各河道区間の負荷量の増減=下流地点の負荷量--上流地点の負荷量. 縦軸のスケールの違いに注意.土地利用図は図2参照.

一般にみなされる。2018年7月24日には、地点54(流量 3.400m<sup>3</sup>/dav)から地点61(同14.000m<sup>3</sup>/dav)の区間で 河川流量が増加するが (図3), その一部は、上流の地 点49から地点54にかけて河川水が伏没して一度地下水に 転化したものが、地点54から地点61の区間で河床から浸 出してふたたび河川に戻った結果と考えられる. この河 川水から地下水、また地下水から河川水への転化によっ て、 霞川のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は地点54の11.7mg/Lから地点61の 8.3mg/Lへと明らかに低下する(表3,図7).PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> も、地点54の0.8mg/Lから地点61の0.4mg/Lとその濃度 は半減する.このように、無機栄養物質であるNO<sub>3</sub>で PO43-は河床間隙水域においてその負荷量を大きく減ず ることが明らかとなった.対照的に、第5.2章でも述 べたように、地点54 (21.9mg/L) から地点61 (20.6mg/ L) ではCl<sup>-</sup>濃度はほとんど変化しない. SO<sup>2-</sup>について も同様である(地点54;25.4mg/L,地点61;26.7mg/L). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>やPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>に比べ, Cl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は河床間隙水域で生 物化学的作用の影響を受けにくいものと考えられる.

続いて、最下流部の地点61と地点63の河道区間に注目 する.この区間で地下水に転化する溶存イオン負荷量を 正確に評価するためには、2018年7月24日の場合、地点 61のすぐ下流において霞川に合流する支流(地点61') からの負荷量を考慮に入れる必要がある.すなわち、地 点61と地点63の河道区間において地下水に転化する負荷 量は、地点61の負荷量に地点61'のそれを加えたものか ら地点63の負荷量を差し引くことで正確な値を求めるこ とができる. なお, 2021年11月5日には地点63の調査位 置を支流(地点61')の下流側へと変更したため, 2018 年7月の様に同支流からの影響(負荷量)を考慮する必 要はない.

結果を表4に示す.表4より,2018年7月24日には地 点61から地点63の河道区間において,無機栄養物質であ るNO<sub>3</sub><sup>-</sup>;130kg/day,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>;1kg/day,PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>;6kg/ day,K<sup>+</sup>;60kg/dayが河床間隙水域に負荷されている. また,肥料や家庭排水をその主な起源とするCl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> も,それぞれ300kg/day以上が供給される.2021年11月 5日には伏没する河川水の量が少なかったこともあり, 2018年7月と比べて河床間隙水域への負荷は少量となる が,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>;70kg/day,PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>;2kg/day,K<sup>+</sup>;9kg/ day, またCl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>も40kg/day,80kg/dayがそれぞ れ河床間隙水域にもたらされている.前述した地点49か ら地点61にかけての河道区間と同様の生物化学的作用が ここでも生起しているものとすれば、地点61から地点63 の最下流部の河床間隙水域で除去されるNO<sub>3</sub><sup>-</sup>やPO<sub>4</sub><sup>3-</sup> も相当量に達するものと予想される.

この霞川の最下流部で伏没した大量の河川水(2018年 7月24日:約14,000m<sup>3</sup>/day, 2021年11月5日:約3,000m<sup>3</sup>/ day)のほとんどは,最終的には霞川合流点より下流の 入間川(図1(A))に地下水として排水されるものと考 えられる.この時,霞川の最下流部の河床間隙水域にお

		2018年7月24	日	2021年11月5日						
	地点61 河川水 (kg/day)	地点63 河川水 (kg/day)	地点61~63 地下水へ転化 (kg/day)	地点61 河川水 (kg/day)	地点63 河川水 (kg/day)	地点61~63 地下水へ転化 (kg/day)				
Cl <sup>-</sup>	290	1	300	160	120	40				
$\mathrm{NO_2}^-$	1	0	1	0	0	0				
$\mathrm{NO_3}^-$	120	1	130	290	220	70				
$\mathrm{PO_4}^{3-}$	6	0	6	4	2	2				
$\mathrm{SO_4^{2^-}}$	370	2	390	330	250	80				
$\mathrm{HCO}_3^-$	1300	7	1400	1100	850	250				
Na <sup>+</sup>	280	1	290	170	130	40				
K <sup>+</sup>	57	0	60	41	32	9				
$\mathrm{Mg}^{2^+}$	78	0	82	80	64	16				
$Ca^{2+}$	450	2	470	400	310	90				

表4 霞川最下流部の地点61と地点63における溶存イオン負荷量ならびに同区間で地下水に転化(伏没)する負荷量\*

\* 地下水へ転化する負荷量=地点61の負荷量+地点61'の負荷量—地点63の負荷量. ただし, 地点61'の負荷量を考 慮する必要があるのは2018年7月24日の場合のみ(本文参照). 

# 6. 霞川下流部の河川水と地下水の交流関係とその 変化

霞川の最下流部では、2016年11月には水流がほぼ消滅 するという"近年ではなかった"(毎日新聞、2016年11 月12日記事)現象が観察された.その約3ヶ月前の2016 年8月22日には首都圏を直撃した台風9号による集中豪 雨が発生し(気象庁「青梅」観測点における日降水量: 264.5mm,気象庁HP)、霞川流域でも護岸崩壊などの甚 大な被害を出した.本稿では、この洪水による大量の土 砂の堆積が同年11月の"近年ではなかった"水流消滅の 直接的な原因と考え、霞川最下流部(地点61~地点63) の河道断面ならびに河川水と地下水の交流関係を,洪水 の前と後について図9のように考察した.

洪水前には水流の顕著な減少や消滅が報告されていな いことから、2016年8月22日以前の同区間の霞川は地下 水によって涵養されていたと考えられる(得水河川;図 9(A)). しかし、洪水に伴う大量の土砂の堆積で河床 面が上昇した結果,河床と地下水面の間に通気帯が形成 され、河川水が地下水面に向かって浸透(伏没)する状 態に変化した(失水河川;図9(B)).この状態は現在 に至るまで維持されており、河床下に形成された河床間 隙水域(地下水面と河床の間の通気帯を含む)は地下水 面の季節変化によってその厚さを変える。第4章で述べ たように、2018年7月24日の調査時前の先行降水量は 2週間で1.0mm, 1ヶ月間で32.0mmであった. これは 2021年11月5日の補足調査時のそれ(2週間:27.0mm. 1ヶ月間;75.0mm)と比べて明らかに少量であること から、2018年7月には2021年11月の補足調査時より地下 水面が低かった可能性がある、このため、同区間におけ る河川水の伏没量は2018年7月には約14,000m<sup>3</sup>/dayと、 2021年11月(約3.000m<sup>3</sup>/dav)に比べて大量であったも のと考えられる。今後、河床下の地下水面の深さ(地下 水位)とその季節変化の観測を行い、河床間隙水域の広



図9 2016年8月22日の洪水に伴う霞川最下流部(地点61~地点63)の河道断面ならび に河川水と地下水の交流関係の変化((A):洪水前,(B):洪水後)

図9(B)では、地下水面の季節変化によって、霞川から伏没する河川水量と河床間隙水域の層厚(河床と地下水面の間の部分を含む)が変化する.2016年8月22日の洪水による土砂の堆積により、地点49~地点54の区間でも洪水後、河道断面の状態が同様に変化した可能性がある(図3;2018年7月24日には同区間で河川流量が半減).

がりとそこで生起する生物化学的作用について,図9の 内容をさらに検証してゆく必要がある.

# 7. おわりに

武蔵野台地北西縁を流下する霞川の約16kmの区間を 対象に,2018年7月と2021年11月の調査結果に基づき, 同河川の流下に伴う流量,溶存イオン濃度,溶存イオン 負荷量の変化とそのプロセスについて議論した.

その結果,2016年の台風9号(8月22日)による洪水 以降の霞川では、1)入間川合流地点より上流約2~4 kmと2)最下流部の約0.5kmの2つの区間において河 川水が大量に伏没(地下水に転化)していることが確認 された.この河川水の伏没に伴い、無機栄養物質や汚染 物質が河床間隙水域に大量に負荷されることが明らかと なった.さらに、河床間隙水域では脱窒や吸収をはじめ とする生物化学的作用によって、窒素やリンが効率的に 除去されていることが示唆された.

今後,河床間隙水域の地下水を直接採水して水質を測 定することで,水質浄化に果たす霞川下流部の河床間隙 水域の役割を定量化できるものと考えられる.併せて, 河床ならびに河道近傍の堤内地に地下水位観測井を設置 し,河道とその周辺の地下水位を測定することで,1) 河川水,2)河床間隙水域の地下水,3)堤内地の地下 水という3つの水体間での水と溶存物質の移動を評価す ることが可能となり,河床間隙水域内で生起する生物化 学的プロセスの理解がさらに進むものと考えられる.今 後の課題としたい.

#### 謝 辞

本稿は、立正大学地球環境科学部環境システム学科に 提出した井上美奈の2018年度卒業論文の内容に、2021年 11月の補足調査の結果を加え、改稿したものである。同 学科の流域物質循環研究室ならびに水文環境学研究室の 学生諸氏、同学科2年(当時)の竹口秀輝氏、また同大 学院地球環境科学研究科(当時)の木村真夏氏、長谷川 武俊氏には現地調査や水質分析に際し、多大なご協力を いただいた.記して感謝いたします.

# 引用文献

- 浅枝 隆 (編著) (2011):「図説 生態系の環境」. 朝倉書店, 179p.
- Erickson, M. L., Langer, S. K., Roth, J. L., and Kroening, S. E. (2014) : Contaminants of emerging concern in ambient

groundwater in urbanized areas of Minnesota, 2009–12. U. S. G. S. Scientific Investigations Report 2014-5096, 38p. (with appendix).

- 半谷高久(1964):溶存酸素ガス測定法一総論(主として飽 和溶解量について)一.分析化学,14(6),567-576.
- Hill, A. R. (2000) : Stream chemistry and riparian zones. *In* "Streams and Ground Waters" (Jones, J. B. and Mulholland, P. J., eds.), pp.83-110, Academic Press, San Diego, CA.
- 檜山哲哉・宮岡邦任・嶋田 純・板寺一洋・S. Dapaah-Siakwan・ 辻村真貴・島野安雄・榧根 勇(1993):金子台付近にお ける不圧地下水一水質の空間分布と地形段丘面による差異 一. 筑波大学水理実験センター報告, No.18, 29-39.
- 入間市史編さん室(編)(1986):「入間市史 原始・古代資料 編」、入間市,742p.
- 入間市史編さん室(編)(1994):「入間市史 通史編」.入間 市, 1050p.
- 伊東優希・安原正也・李 盛源・中村高志・稲村明彦 (2020): 東京都品川区の浅層地下水の地球化学的性状について.地 球環境研究, Vol.22, 111-121.
- 川合将文・高橋賢一・山田泰三(2013):河川の水量確保を 目的とした空堀川下流域の地下水環境調査(2).2013年 東京都土木技術支援・人材育成センター年報,157-166. 気象庁;青梅/2016年(日ごとの値)降水量

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\_ no=44&block\_no=1001&year=2016&month=&day=&view =p1 (2021年11月6日閲覧)

- 気象庁;青梅/平年値(年・月ごとの値)降水量 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml\_amd\_ ym.php?prec\_no=44&block\_no=1001&year=&month=&da y=&view=p1(2021年11月6日閲覧)
- 毎日新聞:「入間・霞川 埼玉で川消える 干上がり川底が露出」. https://mainichi.jp/articles/20161112/k00/00e/040/256000c (2016年11月12日記事;閲覧日2021年12月24日)
- 小川祐美,田瀬則雄,檜山哲哉,嶋田 純 (1998):埼玉県金 子台付近における不圧地下水の硝酸性窒素の起源に関する 一考察.日本水文科学会誌,28(4),125-134.
- 狭山市(編)(1989):「狭山市史地誌編」.狭山市, 690p.
- 新立菜々佳(2022):埼玉県金子台における硝酸性窒素の起 源と地下水水質形成プロセスについて.立正大学環境システ ム学科2021年度卒業論文,107p.
- 角田清美(1980): 武蔵野台地西端部の地下と自由地下水. 駒 沢地理, No.16, 15-41.
- 角田清美(1982):武蔵野台地西部の地形と自由地下水.三井 嘉都夫教授還暦記念事業会(編)「環境科学の諸断面—三 井教授還暦記念論文集—」, pp.53-62, 土木工学社.
- 山崎秀太朗・中山大地・松山 洋(2011):施肥に伴う硝酸態 窒素の河川流出に関する実証的研究-狭山茶園地帯を対象 に一.水文・水資源学会誌,24(4),202-215.

# Downstream changes of river discharge and dissolved ion loads in the Kasumi River, Saitama, central Japan

INOUE Mina\*, YASUHARA Masaya\*\*, LEE Seongwon\*\*, and ITOH Yuki\*\*\*

\* Axis Co., Ltd.
 \*\* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University
 \*\*\* Graduate School of Geo-Environmental Science, Rissho University

# Abstract :

The Kasumi River, a 16-km long major tributary of the Iruma River, central Japan, was studied on July 27, 2018 for the changes of water chemistry and dissolved ion loads as well as river discharge. In the 2-4km and 0-0.5km reaches upstream of the confluence of the Kasumi River and Iruma River, the measurements of discharge revealed a significant decrease in discharge of the Kasumi River from  $6,800\text{m}^3/\text{day}$  to  $3,400\text{m}^3/\text{day}$  and from  $14,000\text{m}^3/\text{day}$  to  $72\text{m}^3/\text{day}$  for the 2-4km and 0-0.5km reaches upstream of the confluence, respectively. It was also the case on November 4, 2021 and the Kasumi River showed a considerable decrease in discharge from  $14,000\text{m}^3/\text{day}$  to  $11,000\text{m}^3/\text{day}$  for the 0-0.5km reach upstream of the confluence. The hyporheic zone is expected to develop beneath the river bed of these reaches, where a hyporheic flow path begins when river water enters the hyporheic zone and ends when it re-emerges into the river after travelling a certain distance. Due to the surface and subsurface hydrologic interactions mentioned above, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> concentration of the river water on July 27, 2018, for example, decreased by some 30% and 50%, respectively. Our results in the Kasumi River demonstrate that the hyporheic zone serves as a sink of the dissolved ion loads including nutrients such as nitrogen and phosphorus.

Key words : losing stream, hyporheic zone, dissolved ion load, Kaneko-dai Upland, tea field, urban area