

〔報告〕

都市排水の環境影響に関する研究（その2） — 神田川水系の生物相に及ぶす下水処理水の影響 —

竹内 健 和波 一夫

1 はじめに

下水道の整備に伴い、都市部においては水量に対する下水処理水（以下、処理水）の割合が90%を越える河川もみられている。このような河川では放流先水域の水量や水質が処理水によって大きく左右されることとなり、その水域の生態系へ与える処理水の影響は大きいと考えられる^{1),2)}。一方、処理水は貴重な水資源として認識され、これまでも散水や水洗便所用水、工業用水等として再利用されてきた³⁾。近年では水量の枯渇した河川等に処理水を放流して水の流れを取り戻したり、ビオトープやせせらぎ水路等の新しい水辺空間を創出したりする事例が増加し、今後も処理水の積極的な活用が予想されている。河川等に放流される処理水が増加している現在、放流先水域に生息する水生生物と処理水との関係の評価することは極めて重要な課題となっているが、現時点ではこの関係についての検討は十分に行われていない状況にある。そこで、本調査では河川水量に対する処理水の割合が非常に高い神田川水系を調査対象とし、処理水の流入による生物相の変化を中心に水生生物と処理水との関係について調査を行なった。

2 調査河川の概要

東京都三鷹市にある井の頭池を水源とする神田川は、途中で善福寺川と妙正寺川を合流して隅田川へと流入する全長約25kmの一級河川である。流域には2つの下水処理場があり、その1つである東京都下水道局・落合水再生センター（以下、落合処理場）は神田川の高田馬場分水路に、もう一方の同・中野水再生センター（以下、中野処理場）は妙正寺川にそれぞれ処理水を放流している。それぞれの処理水の流入後、妙正寺川は高田馬場分水路と合流し、さらに神田川の本流へと流入する。神田川の水源地である井の頭池では水量のほとんどを地下水の汲み上げに依存しており、神田川上流域の水量は池への汲み上げ量と大きく関係している。下流域では白鳥橋から約1.4km上流までが感潮域となり、隅田川を介して干満の

影響を受ける。神田川及び妙正寺川の両岸は上流域のごく一部を除いてコンクリートの垂直護岸で、河床も大部分がコンクリートで固められている。流路は単調でほぼ直線状に改修され、処理水が流入していない水域では水量も少ない典型的な都市型河川である。なお、神田川の環境基準は河川C類型が指定されているが、妙正寺川及び善福寺川には類型が指定されていない。

3 調査方法

(1) 調査地点及び調査時期、回数

調査地点を図1に示す。神田川水系にある2つの下水処理場の放流口を基点として、それぞれ上下流に調査地点を設定した。神田川では5地点（基点の上流側に2地点、下流側に3地点）、妙正寺川では2地点（基点の上流側と下流側に各1地点）の合計7地点を調査地点とした。季節変動を把握するため、2005年7月（夏季）、10～11月（秋季）、2006年1月（冬季）、3月（春季）に各1回ずつ、合計4回の調査を行なった。

(2) 環境測定及び水質分析

図1に示した7地点において、水温、水素イオン濃度（pH）、電気伝導度（EC）、溶存酸素量（DO）等を現場で測定した。また、試料水を実験室に持ち帰り、生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、浮遊物質（SS）、窒素、りん等を分析した。源水橋及び高戸橋、センター上流、センター下流の4地点においては、流量等の測定を行なった。水質分析については、工場排水試験方法JIS-K0102に従った。

(3) 底生動物

図1に示した7地点において、東京都環境局が実施した水生生物調査⁴⁾の方法に準拠し、定量と定性の2つの方法で採集を行なった。採集した生物は10%ホルマリンで固定した後に、種の同定及び必要な計測をした。

(4) 付着藻類

図1に示した源水橋及び高戸橋、センター上流、センター下流の4地点において、東京都環境局が実施した水

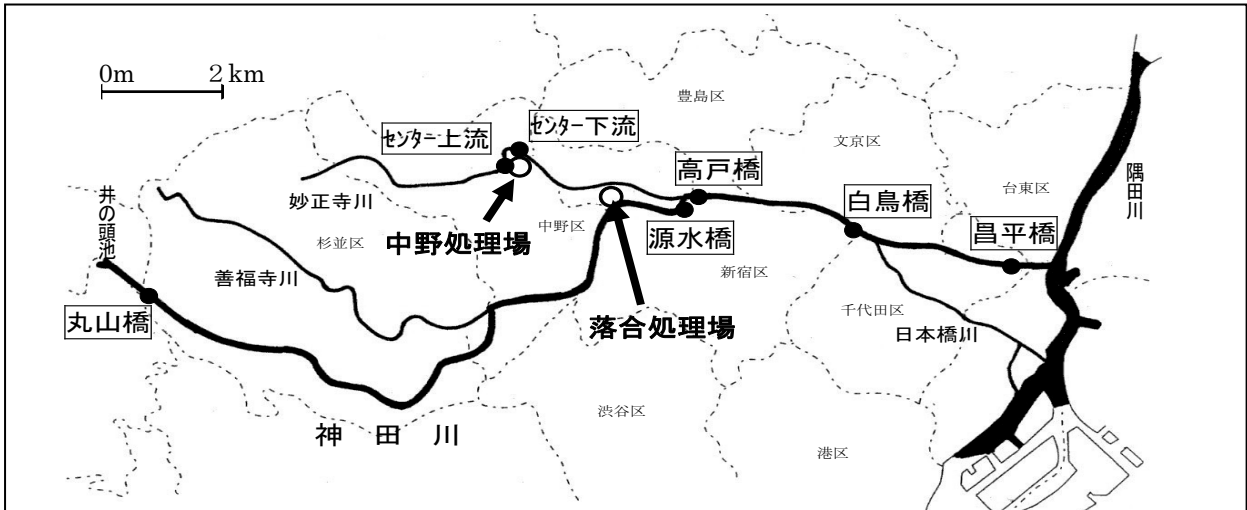


図1 調査地点

生生物調査⁴⁾の方法に準拠し、採集を行なった。採集した生物は10%ホルマリンで固定した後に、種の同定及び必要な計測をした。なお、種の同定は主に珪藻類について行なった。

(5) 魚類、水生植物等

図1に示した7地点において、魚類、水生植物等の採集及び目視観察を行なった。採集及び目視観察は底生動物の定量採集を行なった場所を中心に上下流方向へ約50mずつ調査範囲を拡大し、その範囲内に生息する生物を対象とした。魚類等の採集には手網やカゴ網、投網等の網漁具を用いた。また、目視による観察は水面上から行なった。

4 結果

(1) 環境測定及び水質分析

各調査地点における環境測定及び水質分析の結果を表1に示す。処理水が流入する前(源水橋及びセンター上流)と流入後(高戸橋及びセンター下流)の河川水量を比較すると、神田川では4.4~7.4倍、妙正寺川では3.6~12.6倍にそれぞれ増加した。次に処理水の流入前と流入後の河川水の水質を比較すると、流入後の水温は常に高く、特に冬季においては流入前よりも約8℃も高かった。また、水温の年間変動幅は、流入前よりも流入後の方が小さかった。pH及びDOは流入前よりも流入後の方が低く、EC及びBOD、COD、窒素、りん等は流入前よりも流入後の方が高い傾向にあった。

(2) 底生動物の出現状況

丸山橋及び源水橋、高戸橋、センター上流及びセンタ

一下流の各地点において採集された主な底生動物の出現状況を表2に示す。また、定量採集時に採集された底生動物の種類数及び個体数の地点別変動を図2に示す。各地点における出現した総種類数(定量及び定性採集)は丸山橋30種類、源水橋28種類、高戸橋29種類、センター上流25種類、センター下流20種類であった。総種類数は全ての地点で季節的な変化がわずかに見られ、全体的に夏季に多く冬季に少ないという傾向が見られた。また、両河川の総種類数を比較すると、神田川の方がわずかに多かった。これに対して個体数(定量採集)は河川によって傾向が異なり、神田川では夏季に少なく冬季に多かったが、妙正寺川では夏季に多く冬季に少なかった。また、両河川の個体数を比較すると、妙正寺川の方が多く、最大で53倍の差(夏季調査)があった。次に処理水が流入する地点前後での生物相を比較すると、両河川ともに流入後の総種類数はわずかに減少するが、個体数は増加する傾向が見られた。流入後に個体数が大きく増加した種としてはウズムシ亜目、シマイシビル、ミズムシ等で、逆に大きく減少した種としてはモノアラガイ、ミズミズ科、主にエリユスリカ亜科を中心としたユスリカ科であった。

(3) 付着藻類の出現状況

源水橋及び高戸橋、センター上流及びセンター下流の各地点において採集された主な珪藻類の出現状況を表2に示す。また、付着藻類全体の種類数及び細胞数の地点別変動を図2に示す。各地点における付着藻類全体の種類数及び珪藻類の種類数(カッコ内は珪藻類)は源水橋66種類(61種類)、高戸橋73種類(68種類)、センタ

表 1 各調査地点における環境測定及び水質分析、各指数

調査年月日		2005/7/15 ・ 11/1 ・ 2006/1/11 ・ 3/6					2006/1/11 ・ /3/6		2005/7/14・10/28・2006/1/12・3/7	
調査地点		神田川			妙正寺川		下水処理場		神田川	
		丸山橋	源水橋	高戸橋	センター上流	センター下流	落合	中野	白鳥橋	昌平橋
環境測定及び水質分析	気温 (°C)	9.6~30.0	4.9~27.2	4.5~25.5	4.0~29.5	7.0~29.0	4.8~13.0	7.2~16.5	7.0~20.0	9.0~22.0
	水温 (°C)	9.8~22.2	4.5~22.8	12.3~24.5	8.7~24.7	16.1~24.8	16.8~17.7	15.9~16.9	12.2~22.8	12.3~22.9
	pH	6.8~7.4	8.2~8.9	7.1~7.3	6.8~7.5	6.6~6.8	6.8~7.0	6.5~6.6	7.0~7.2	7.1~7.1
	DO (mg/L)	6.9~10.0	9.4~12.1	7.8~9.2	8.9~12.4	7.5~10.0			6.8~8.4	5.6~7.5
	EC (ms/m)	23.8~26.9	28.3~32.6	37.8~44.9	28.4~29.5	36.1~43.2	40.7~45.4	39.8~40.5	68.9~301	207~760
	C-BOD (mg/L)	1.0~2.4	0.7~1.3	0.8~2.4	0.5~6.5	0.9~2.3	1.9~2.3	1.0~1.6	0.6~1.9	0.6~6.5
	T-BOD (mg/L)	1.0~2.1	0.8~2.1	1.5~7.3	0.8~6.1	1.2~3.9	5.3~6.0	1.3~3.7	0.9~10.4	0.9~10.9
	COD (mg/L)	2.7~5.2	1.5~3.5	4.8~10.1	0.9~4.7	4.9~7.4	10.1~10.8	8.3~8.5	5.0~10.2	4.6~10.6
	SS (mg/L)	6.5~36.5	1.0~3.5	0.2~3.9	0.9~6.5	0.2~1.3	0.7~1.0	0.7~0.8	0.5~1.5	0.1~5.9
	T-N (mg/L)	5.2~6.6	6.0~8.0	9.4~11.1	6.1~6.7	9.4~12.8	9.6~12.3	10.9~13.4	9.3~12.1	8.5~10.2
	T-P (mg/L)	0.0~0.1	0.0	0.8~1.0	0.0~0.1	0.0~0.9	1.1~1.4	0.8~1.0	0.6~1.1	0.7~0.9
	水深 (m)		0.07~0.18	0.41~0.90	0.07~0.33	0.13~0.45				
	流速 (m ³ /秒)		0.00~0.77	0.00~0.52	0.06~0.36	0.26~0.75				
流量 (m ³ /秒)		0.47~0.71	2.99~3.96	0.02~0.12	0.18~0.52					
	×10 ³ (m ³ /日)		40~62	260~340	1.6~11	16~45		*240	*20	
底生動物	総種類数 (定量+定性採集)	30	28	29	25	20			14	18
	個体数	35~898	62~190	39~1,117	82~1,457	330~4,278			1~13	1~284
	汚濁指数	PI値 判定	2.78~3.11 αms	2.80~3.25 αms	2.71~3.29 αms	2.84~3.24 αms	2.11~3.24 βms~αms		3.00~4.00 αms~ps	3.50~4.00 αms~ps
	Shannonの多様性指数	2.30~2.76	1.94~3.23	0.67~2.21	1.71~3.03	0.32~2.26			0.00~0.95	0.00~2.61
附着藻類	種類数 (カッコ内は珪藻類)		66 (61)	73 (68)	56 (48)	54 (45)				
	細胞数 ×10 ³ (cells/cm ²)		48~220	170~1,900	29~350	3.8~360				
	汚濁指数	PI値 判定	2.03~2.60 βms~αms	2.02~2.50 βms	1.92~3.08 βms~αms	1.89~2.44 βms				
	Shannonの多様性指数		0.41~4.11	0.05~2.07	2.66~3.81	3.33~4.07				
	クロロフィルa (mg/m ²)		1.2~141	8.1~242	12.8~133	27.3~252				
	クロロフィルb (mg/m ²)		0.5~59.3	2.5~75.5	6.3~46.2	12.8~83.5				
	クロロフィルc (mg/m ²)		0.2~23.4	0.9~31.5	2.7~22.0	2.1~44.5				
強熱減量 (mg/cm ²)		0.22~2.12	0.29~3.82	0.83~2.01	0.70~5.74					

* 落合処理場及び中野処理場の流量は各処理場からの放流量を表し、数値については東京都下水道局⁵⁾の「平成17年度の下水処理の状況」から引用した。

一上流 56 種類 (48 種類) センター下流 54 種類 (45 種類) であった。底生動物と異なり、出現した全体の種類数については明確な季節的な変化が見られなかった。これに対して細胞数は季節的な変化が見られ、全ての地点において冬季に多く夏季に少なかった。また、両河川を比較すると全体の種類数及び細胞数は神田川の方が多く、全体の種類数では最大で 2 倍 (夏季調査)、細胞数では最大で 6 倍 (冬季調査) の差があった。次に処理水が流入する地点前後での生物相を比較すると、全体の種類数については両河川ともにほとんど差がみられなかった。しかし、細胞数については流入後で変化がみられ、神田川では大きく増加し妙正寺川ではわずかに減少した。両河川ともに流入後の細胞数が大きく増加した種としては、*Fragilaria construens*、*Fragilaria elliptica* 等の数種類の珪藻類と緑藻類であった。逆に大きく減少した種としては、*Gomphonema parvulum*、*Navicula minima* 等の 10 数種類の珪藻類と藍藻類の *Homoeothrix varians* であった。

(4) 魚類、水生植物等

各調査地点における主な生物の採集及び観察結果を

表 3 に示す。魚類は 15 種類、爬虫類は 1 種類、両生類は 2 種類が確認された。昌平橋で採集されたヤマアカガエル 1 個体については、調査 5 日前に降った雨 (降雨量 35.5mm) により上流域から流されてきたと思われる。水生植物についてはその定義が明確でなく、どの植物を水生植物とするかという判断は難しいが、ここでは角野⁹⁾の定義に従って分類した。両河川ともに、水生植物は処理水が流入する前よりも流入した後の方が多く生育していた (写真 1~2)。特に夏季調査時のセンター下流地点においては、処理水の放流口から下流へ向けて、カヤツリグサ科のマツバイが大量に繁茂していた。

(5) 汚濁指数と多様性指数

汚濁指数とは生物を用いた水質汚濁の程度を示す指数で、数値が大きいほど汚濁が進んでいると評価される。また、多様性指数とは種数の豊富さや個体数の均一性を示す指数で、数値が大きいほど多様性が高いと評価される。多様性指数の算定方法にはいくつかの手法があるが、本調査では Shannon-Weaver の算定式を用いた。また、汚濁指数には Pantle-Buck の算定式を用いた。これらの指数を用いて、処理水が流入する前 (丸山橋及び源水橋、

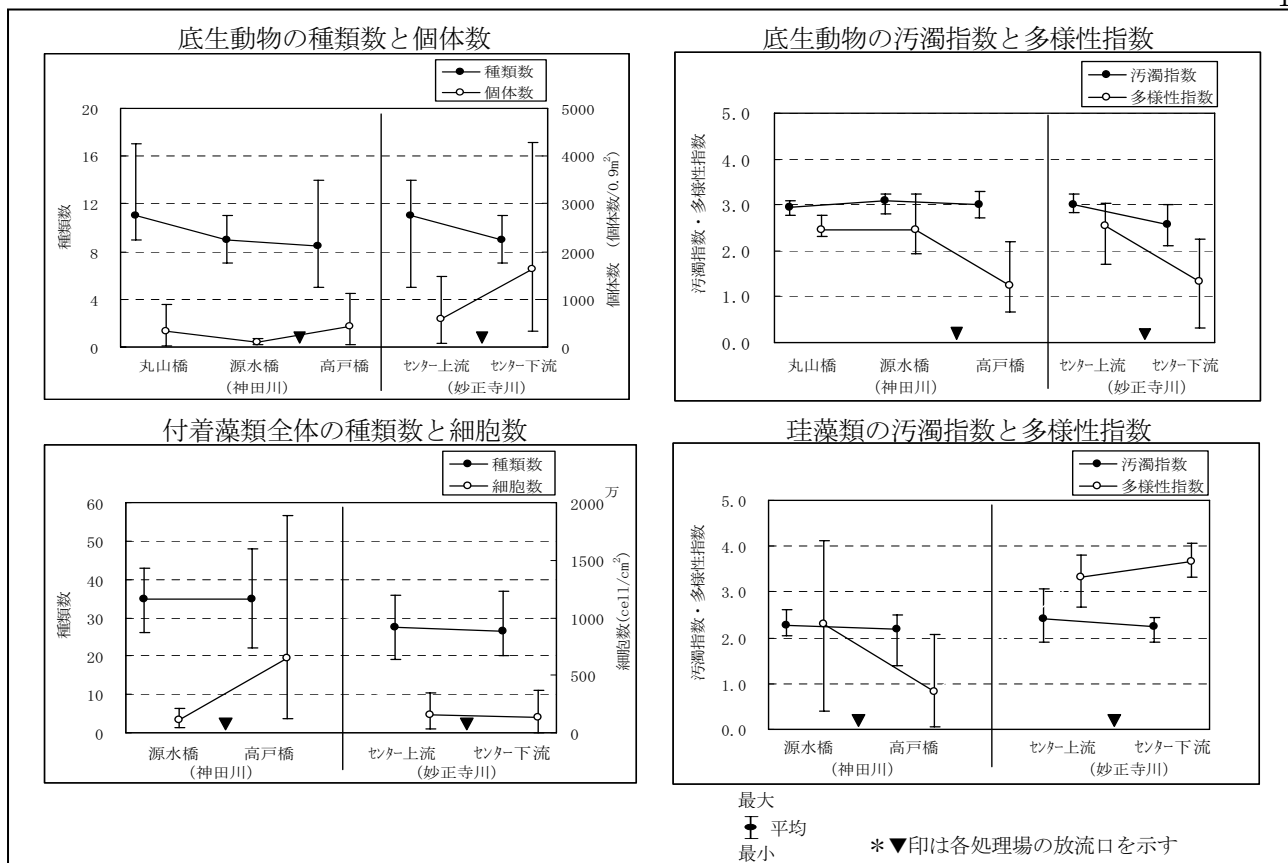


図2 底生動物及び付着藻類の種類数、個体数（細胞数）、各指数

高戸橋)と流入した後(センター上流及びセンター下流)で採集された底生動物(定量採集)及び珪藻類を評価した結果を表1及び図2に示す。処理水が流入する地点前後での汚濁指数を比較すると、底生動物、珪藻類ともに両河川では明らかな変化は見られなかった。一方、処理水が流入する地点前後での多様性指数を比較すると、底生動物では両河川とも流入後に大きく低下した。しかし、珪藻類は神田川では流入後に大きく低下したものの、妙正寺川では上昇した。珪藻類の多様性指数が流入後に上昇した理由については不明であるが、水質以外にも日照条件や付着基盤の形状の違い、流速等の要因が複合的に影響しているのではないかと推測された。

5 まとめ

処理水が流入する地点前後の水量及び水質、汚濁指数を比較した結果、神田川水系では処理水の影響を強く受けているものの、生物を指標とした汚濁の程度は処理水が流入した後もほとんど変わらないことがわかった。しかし、底生動物や付着藻類の出現状況、多様性指数の変化から判断すると、処理水が水生生物に対して少なからず影響を及ぼしていることがわかった。特に、水生植物



写真1 中野処理場・放流口の上流側 (調査地点名: センター上流)



写真2 中野処理場・放流口の下流側 (調査地点名: センター下流)

流路内にはマツバイ等の水生植物が大量に繁茂している

表3 その他生物の採集及び観察結果

	調査地点						
	丸山橋	源水橋	高戸橋	センター上流	センター下流	白鳥橋	昌平橋
魚類	モツゴ タモロコ ドジョウ ブルーギル トウヨシノボリ ヌマチチブ		コイ マルタ ウグイ ドジョウ ウキゴリ		カワムツ ドジョウ	コイ ギンブナ ボラ	コイ カワムツ ボラ マハゼ
両生類 爬虫類	ミシシビ アカミカメ					ミシシビ アカミカメ	ミシシビ アカミカメ ヤマアカガエル ヒキガエル属
甲殻類	スジエビ アメリカザリガニ	ヌマエビ科	テナガエビ ヌマエビ科 アメリカザリガニ			ニホンイサザアミ テナガエビ クロベンケイガニ	ニホンイサザアミ テナガエビ イッカクモガニ エビジャコ
昆虫類	コカゲロウ属 ハグロトンボ クロスジギンヤンマ ヒメアメンボ属 ヒメトビケラ属	コカゲロウ属 ヒメトビケラ属	コカゲロウ属 ヒメトビケラ属	コカゲロウ属 ヒメトビケラ属	コカゲロウ属 ヒメトビケラ属	ヒメトビケラ属	
水生植物	クサヨシ イネ科 ミクリ		オオカナダモ アイノコイトモ イネ科 ミクリ属 マツバイ	イネ科 ミクリ属 マツバイ	シヤジクモ属 ミズハコベ イネ科 ミクリ属 マツバイ		

の繁茂と処理水の流入は大きく関係していると推測された。水生植物は底生動物をはじめとする様々な生物の生息場所の一つとして利用されているが、その繁茂水域の拡大は種の多様性や個体数を増加させることにつながると予想される。今回の調査結果から、処理水の水質向上や河川構造の改良等の対策次第によっては、神田川においてもさらに多くの水生生物が生息できる可能性にあることが考えられた。

報告書、日本の水をきれいにする会 (1980)

9) 角野康郎：日本水草図鑑、文一総合出版 (1994)

参考文献

- 1) 田中宏明ら：水生生態系から見た河川水質の評価に関する研究、平成 15 年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp315-322 (2005)
- 2) 生態系との共生をはかる下水道のあり方検討会編：生態系にやさしい下水道をめざして、技報堂出版 (2001)
- 3) 東京都：第二世代下水道マスタープラン、東京都下水道局計画部総合計画課 (1992)
- 4) 東京都環境局：平成 13 年度水生生物調査結果報告書、東京都環境局環境評価部広域監視課 (2003)
- 5) 東京都下水道局：平成 17 年度の下水处理の状況、http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/fukyu/fukyu_m5nen.htm (2005)
- 6) 森下郁子：指標生物学 生物モニタリングの考え方、山海堂 (1985)
- 7) 渡辺仁治：淡水珪藻生態図鑑、内田老鶴圃 (2005)
- 8) 日本の水をきれいにする会：水生生物相調査解析結果