

〔報告〕

都市排水の環境影響に関する研究（その1） — 下水処理水の神田川水質に及ぼす影響 —

和波 一夫 竹内 健 亀井 理恵* 佐藤 綾子*

(*工学院大学 環境化学工学科)

1 はじめに

都心を流れる神田川は、井の頭池を水源とする延長25.48kmの一級河川である。神田川は、流量、流況の点から、①井の頭池から落合水再生センター（以下、落合処理場という）の処理水流入点までの区間、②落合処理場の処理水流入後から江戸川橋（文京区）までの区間、③江戸川橋から河口までの区間（感潮域）の3つの区間に区別されている。20年前の神田川は、生物化学的酸素要求量（BOD）が10mg/l以上の汚濁した河川であったが、下水道普及に伴って経年的に水質改善し、現在、上記②の区間ではBOD2mg/l程度に低下した。しかし、栄養塩類の窒素・りんは、BODの経年変化とは異なり、顕著な改善傾向は認められない¹⁾。神田川の水質の課題を明らかに、水質改善対策を検討するため、水質縦断調査等を行ったので、その結果を報告する。

2 方法

(1) 調査地点と調査時期

調査地点を表1、図1に示す。主な地点の特徴は、次のとおりである。No.1丸山橋は、水源である井の頭池に近い上流の地点である。No.3源水橋は、妙正寺川（中野処理場が

表1 神田川の調査地点名

No.	河川名	調査地点名	水質調査	冬期水温調査
1	神田川	丸山橋(三鷹市)	○	
2	神田川	久保前橋(新宿区)		○
3	神田川	源水橋(豊島区)	●	○
4	神田川	落合処理場放流口(新宿区)	○	○
5	神田川	高田橋(豊島区)		○
6	神田川	高戸橋(新宿区)	●	
7	神田川	面影橋(新宿区・豊島区)		○
8	神田川	一休橋(文京区)		○
9	神田川	白鳥橋(新宿区・文京区)	○	○
10	神田川	飯田橋(千代田区・文京区)		○
11	神田川	水道橋(千代田区・文京区)		○
12	神田川	昌平橋(千代田区)	○	○
13	神田川	柳橋(中央区・台東区)		○
14	妙正寺川	千歳橋(中野処理場上流)中野区	●	○
15	妙正寺川	中野処理場放流口(中野区)	○	○
16	妙正寺川	中野処理場下流(中野区)	●	○
17	妙正寺川	辰巳橋(新宿区)		○
18	隅田川	両国橋(神田川合流後点)中央区		○

●: 流量測定地点

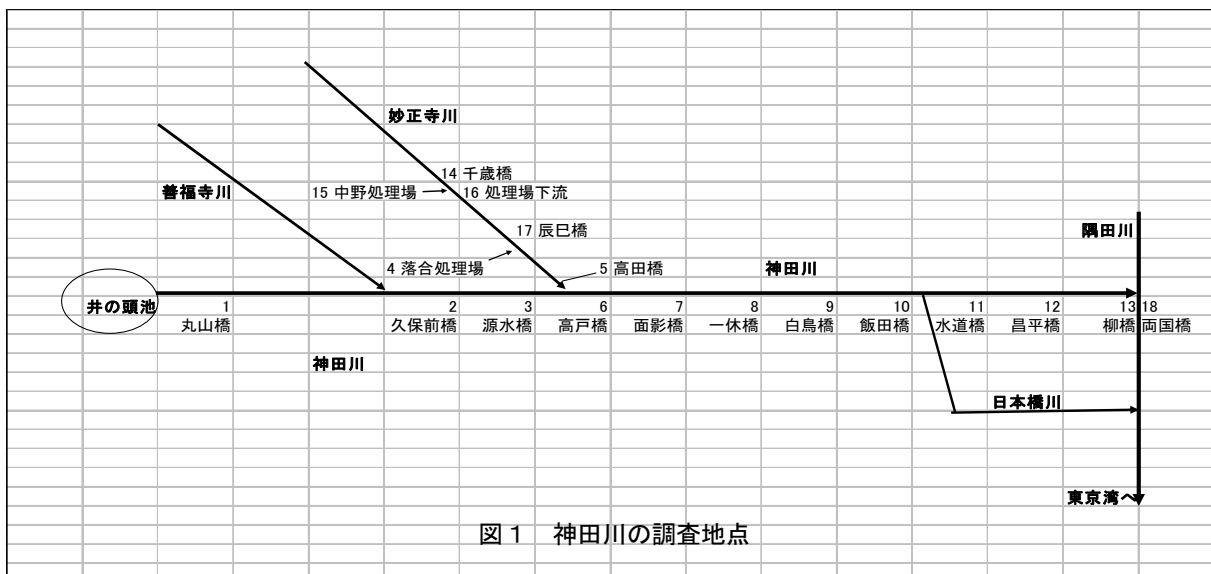


図1 神田川の調査地点

流入する神田川支川)と落合処理場の処理水が神田川に合流する直前の地点であり、下水処理水の影響を受けない地点である。No.6 高戸橋は、下水処理水が流入した直後の地点である。No.9 白鳥橋、No.12 昌平橋は下流の地点で感潮域である。

水質縦断調査は、4回(調査月は7月、11月、1月、3月)実施した。冬期水温調査は、2回(1月、2月)実施した。雨天時調査は、白鳥橋を定点とし、6月中旬から1月中旬までの間に実施した。

(2) 水質分析の方法

水質項目は、生物化学的酸素要求量(本調査では硝化細菌の作用を抑制した方法で行った。以下、C-BODと表記する。)、化学的酸素要求量(COD)、溶存性有機体炭素量(DOC)、浮遊物質(S.S)、全窒素(T-N)、硝酸性窒素(NO₃-N)、亜硝酸性窒素(NO₂-N)、アンモニア性窒素(NH₄-N)、全りん(T-P)、りん酸性りん(PO₄-P)、全亜鉛とした。以上の水質項目は、JISK0102工場排水試験方法に従い分析した。エストロゲン(ES)については、日本エンバイロケミカルズ(株)のELISA法キットを用いた。なお、ESの一部についてはLC-MS/MS法で分析した。

3 結果と考察

(1) 水質縦断調査

神田川の水質縦断変化を図2に示す。C-BOD(図2-1)は、3月の昌平橋を除くと3mg/l以下の低い値であり、下水処理水が流入していない地点(丸山橋、源水橋)と流入後の地点(高戸橋、白鳥橋、昌平橋)に大きな差は認められなかった。一方、COD、DOC(図2-2、図2-3)は、高戸橋から下流地点では値が高くなった。これらのことから下水処理水中の生物難分解性物質が神田川に流入していると考えられた。T-N(図2-4)も下水処理水が流入後の地点から高くなったが、その濃度変化はCOD、DOCに比べてやや緩やかであった。T-P(図2-5)は、源水橋から高戸橋間の変化は顕著であり、源水橋のT-Pは検出限界に近い低い値であるのに対し、高戸橋は1mg/l程度に高くなった。S.Sは最上流地点の丸山橋を除いて5mg/l以下の低い値であった(図2-6)。ES作用強度(既報²⁾の比活性値をもちいて17β-エストラジオールとエストロンの値から求めた。)は、ELISA法、LC-MS/MS法とも高

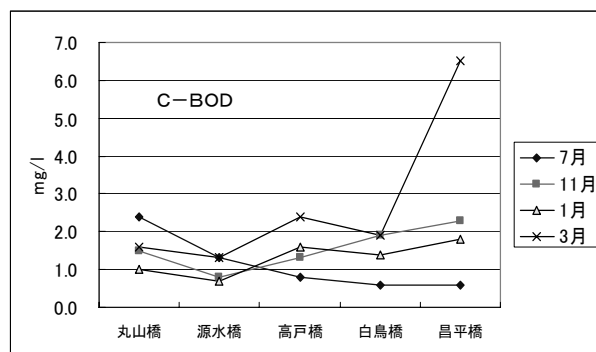


図2-1 水質の縦断変化(C-BOD)

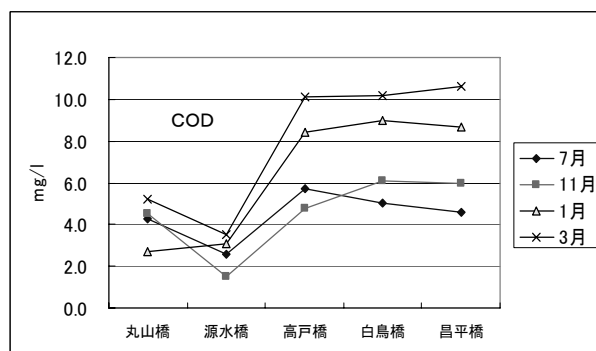


図2-2 水質の縦断変化(COD)

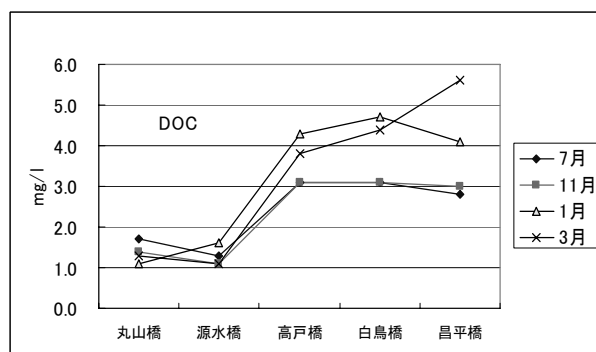


図2-3 水質の縦断変化(DOC)

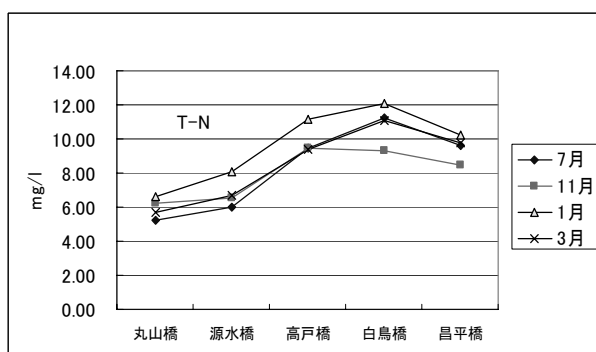


図2-4 水質の縦断変化(T-N)

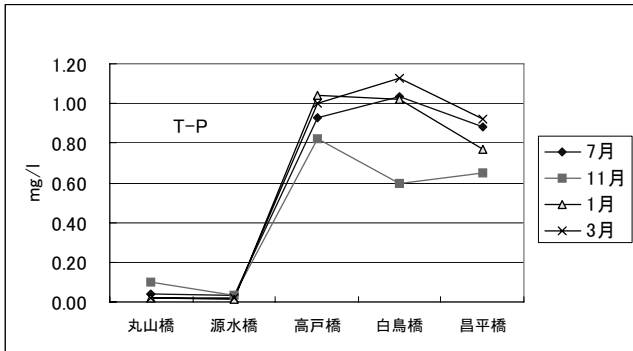


図 2-5 水質の縦断変化 (T-P)

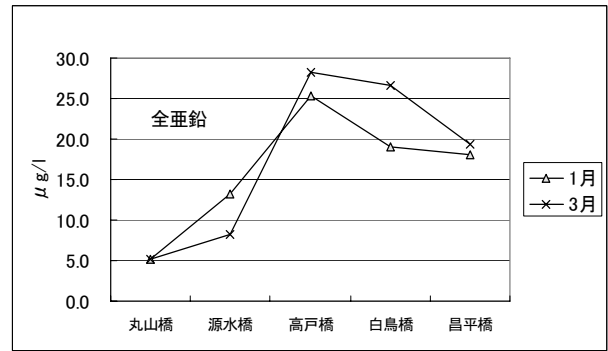


図 2-9 水質の縦断変化 (全亜鉛)

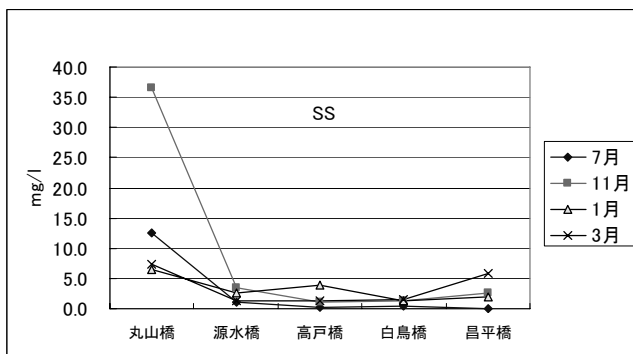


図 2-6 水質の縦断変化 (SS)

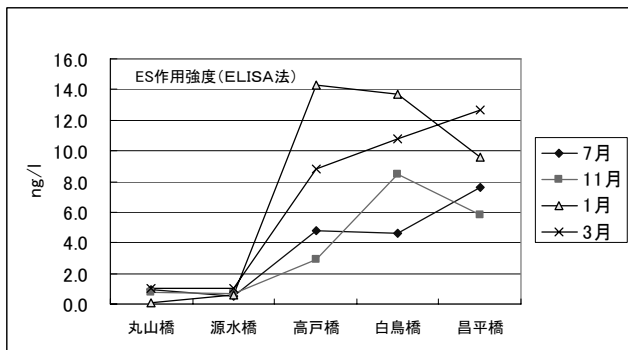


図 2-7 水質の縦断変化 (ES 作用強度)

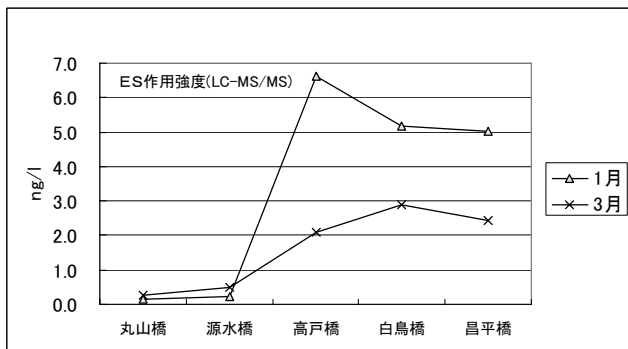


図 2-8 水質の縦断変化 (ES 作用強度)

戸橋から下流地点で顕著に高くなった(図2-7、8)。水生生物保全の観点から環境基準が定められた全亜鉛は、基準値 $30 \mu\text{g/l}$ を超えることはなかったが、3月の高戸橋は $30 \mu\text{g/l}$ に近い値であった(図2-9)。以上から次のことが明らかになった。①下水処理(活性汚泥法、砂ろ過)で除去されるC-BOD、SSについては、下水処理水の神田川への影響はほとんどない。②しかし、活性汚泥法、砂ろ過では十分に除去することができない生物難分解性物質、栄養塩類(窒素、りん)、ESについては、下水処理水の神田川水質への影響は大きく、特にりんの影響は顕著である。全亜鉛についても下水処理水の影響が認められる。

(2) 負荷量

C-BOD、COD、T-N等の負荷量を表2に示す。河川流量、各水質項目は、調査日(1月11日、3月6日)の1日1回測定データであるが、これをその日の平均的値と仮定して試算した。落合処理場と中野処理場の当日放流量は、下水道局報告値を用いた。上記2つの処理場の合計放流量が河川流量(下水処理場処理水が流入した後の高戸橋地点)に占める割合は、1月が88%、3月が84%(表2の流量比率)であった。同様に高戸橋地点におけるC-BOD、COD負荷量の下水処理場割合は79~104%(表2の負荷量比率)であり、他の水質項目の負荷量もほとんどが下水処理場由来であると推測された。なお、負荷量比率が100%を超える場合は、下水処理場からの流入物質が河川流下中に分解されたか、あるいは河川内に蓄積されていると考えられるが、上述したように1回測定データによる試算であるため、測定誤差が原因で負荷量比率が100%を超えた可能性もある。

(3) 冬期水温調査

近年、下水処理水は上昇傾向にあり、冬期の水温は

表2 BOD等の負荷量

項目	調査月	濃度	流量	負荷量	濃度	流量	負荷量	濃度	流量	負荷量	流量比率%	負荷量比率%
	月	N1:中野*	N2:中野	N3:中野	O1:落合*	O2:落合	O3:落合	T1:高戸橋	T2:高戸橋	T3:高戸橋	(N2+O2)×100/T1	(N3+O3)×100/T3
C-BOD mg/l	1月	1.0	20000	20	1.9	240000	456	1.6	296300	474	88	100
C-BOD mg/l	3月	1.6	20000	32	2.3	198000	455	2.4	258300	620	84	79
COD mg/l	1月	8.5	20000	170	10.1	240000	2424	8.4	296300	2489	88	104
COD mg/l	3月	8.3	20000	166	10.8	198000	2138	10.1	258300	2609	84	88
DOC mg/l	1月	4.7	20000	94	5.4	240000	1296	4.3	296300	1274	88	109
DOC mg/l	3月	4.1	20000	82	4.8	198000	950	3.8	258300	982	84	105
T-N mg/l	1月	13.4	20000	269	12.3	240000	2947	11.1	296300	3298	88	98
T-N mg/l	3月	10.9	20000	218	9.6	198000	1909	9.4	258300	2425	84	88
T-P mg/l	1月	0.8	20000	15	1.4	240000	329	1.0	296300	308	88	112
T-P mg/l	3月	1.0	20000	19	1.1	198000	222	1.0	258300	258	84	93
ES作用強度* ng/l	1月	10.6	20000	212	15.2	240000	3648	14.3	296300	4237	88	91
ES作用強度* ng/l	3月	14.4	20000	288	11.4	198000	2257	8.8	258300	2273	84	112
ES作用強度** ng/l	1月	2.8	20000	56	11.1	240000	2658	6.6	296300	1956	88	139
ES作用強度** ng/l	3月	5.4	20000	108	2.1	198000	422	2.1	258300	538	84	98
全亜鉛 μg/l	1月	27.5	20000	550	26.8	240000	6432	25.4	296300	7526	88	93
全亜鉛 μg/l	3月	27.7	20000	554	26.3	198000	5207	28.2	258300	7284	84	79

ES*:ELISA法 中野*:中野処理場 落合*:落合処理場 流量*:m3 負荷量:C-BOD,COD,DOC,T-N,T-PIはkg, ESはmg、全亜鉛はg
ES**:LC-MS/MS 下水処理場流量:下水道局データ

17℃程度の高い値である。下水処理水の河川水温への影響範囲を把握するため、1月27日、2月27日に神田川縦断調査を行った。下流地点の柳橋（測定時間 9 時 30 分）から、上流地点に向かって順次測定を行った（最終地点の久保前橋の測定時間 12 時）。なお、1月、2月とも調査時間中は下げ潮、気温は 10℃前後であった。図3に水温の縦断変化を示す。下水処理水が流入する直前の地点（源水橋）の水温は、10℃以下であったが、流入後の地点（面影橋）は 14℃以上となり、その後、流下にとまって徐々に水温は低下した。しかし、下流地点でも 10℃以下に低下することはなく、下水処理水の河川水温への影響は河口部まで及んでいることが分かった。

(4) 雨天時調査

神田川流域は合流式で下水道整備されているので、雨天時越流水が神田川に流入する。雨天時の神田川水質の実態を把握するため、下流域の白鳥橋で週 1 回程度の頻度で 25 回水質調査を行った。25 回調査のうち雨天時は 6 回であった。

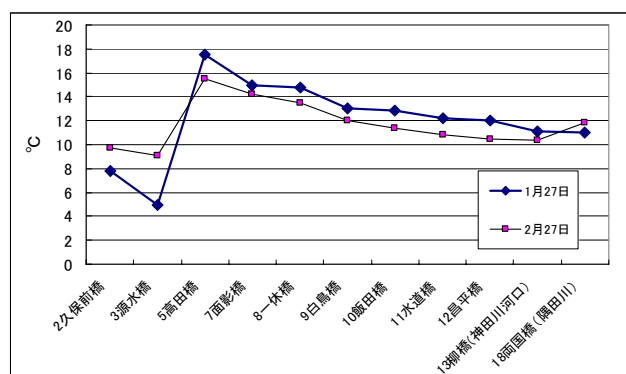


図3 水温縦断変化

C-BOD等の測定結果を図4に示す。C-BODは、晴天時測定 19 回のうち調査日 10 月 11 日 (6mg/l)、11 月 7 日 (6.9mg/l) の 2 回を除くと、1~2mg/l 程度の低い値であった。一方、雨天時のC-BODは全般に値が高く、6月22日は51mg/lであった。なお、雨天時測定 6 回のうち、10月4日は他の雨天時と異なり 1mg/l の低い値であった。10月4日は調査前日までの 8 日間は降雨がなく、当日の降水量は 2mm 程度の少雨であったことから、雨天時越流水の流入がなかったものと考えられる。

雨天日が比較的多い 6 月、7 月をケースにして以下のように降水量と水質の関係を検討した。降水量は気象庁の気象データ³⁾を利用した。

ア 前日晴天時→調査当日晴天時（いずれも降水量 0mm）の場合

C-BOD、COD、SS、NH₄-Nは、基準値以下または低い値であった。

イ 前日晴天時(降水量 0mm)→調査当日雨天時の場合

調査日 6 月 22 日(前 4 日間降水量 0mm → 当日降水量 25mm)および 6 月 29 日(前 5 日間降水量 0mm → 当日降水量 10.5mm)では、C-BODはそれぞれ 51mg/l、28mg/l の高い値であった。CODは 38 mg/l、26mg/l であった。

ウ 前日雨天時→調査当日晴天時の場合

前日降水量が 60mm、調査日は晴天の 7 月 5 日では、C-BODは 2mg/L、CODは 5mg/l の低い値であった。

エ 前日雨天時→調査当日雨天時の場合

7 月 25 日(降水量 20.5mm)、翌 26 日の調査日(降水量 74.5mm)と雨天が続いた場合は、C-BOD12mg/l であり、晴天時に比べて高いものの、上記イのケースほどは高くなかった。CODについても同様であり 15mg/l であった。

以上からは、晴天日が数日継続した後に、降雨があると神田川水質は著しく汚濁するが、降雨終了後の水質回復は比較的早いと推測された。すなわち雨天時初期越流水の影響が特に大きいと考えられた。

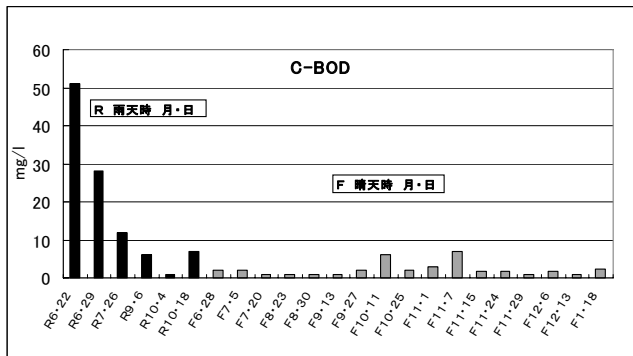


図4-1 雨天時・晴天時水質 (C-BOD)

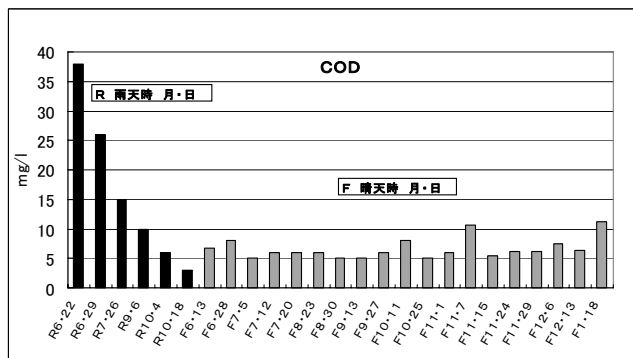


図4-2 雨天時・晴天時水質 (COD)

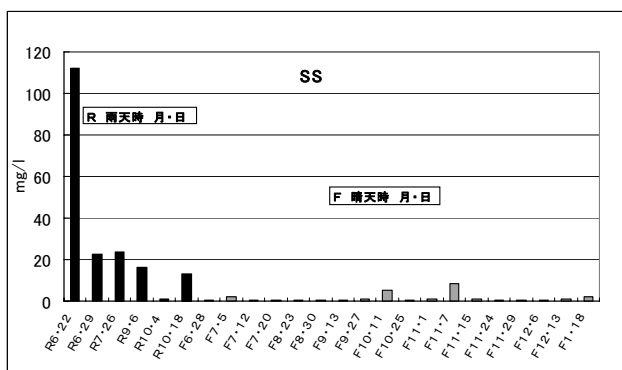


図4-3 雨天時・晴天時水質 (SS)

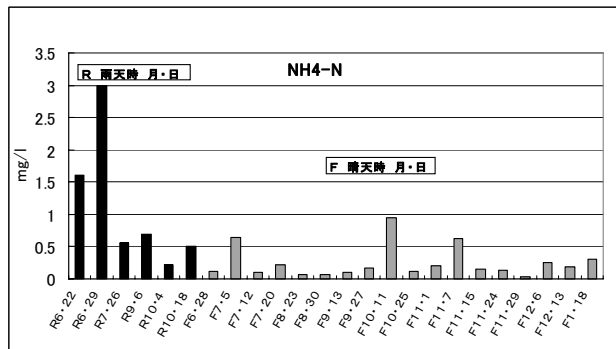


図4-4 雨天時・晴天時水質 (NH₄-N)

4 おわりに

神田川の水質縦断調査等を行った結果、下水処理水の神田川水質への影響は、水質項目によって異なることが分かった。C-BOD、SSは、下水処理水の影響が小さいが、りんは下水処理水の影響が非常に大きく、ESや全亜鉛についても影響が大きい。負荷量については、すべての項目で下水処理水の負荷量割合が高かった。これは、神田川流量の約8~9割を下水処理水が占めていることによる。神田川の水質は、降雨によって著しく悪化するが、降雨終了後の水質回復は比較的早いことが推測された。神田川の水質をより一層改善するには、下水の高度処理と雨天時越流水対策を進めていくことが必要であり、有機汚濁削減の観点からは、雨天時初期越流水の抑制が効果的と考えられる。

参考文献

- 1) 東京都環境局：平成16年度公共用水域及び地下水の水質測定結果、(2006)
- 2) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究(その3)、東京都環境科学研究所年報 2000, pp.165-175, (2000)
- 3) 気象庁 HP <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>