

〔報告〕

雨天時水質調査結果について（1） －雨天時における河川水質の変化－

安藤 晴夫 和波 一夫 石井 真理奈 竹内 健*

(*東京都環境局自然環境部)

1 はじめに

東京湾の水質は、一部に改善の兆しはあるものの、赤潮や貧酸素水塊の発生状況などには改善傾向がみられない。また、近年、人口増加が著しい運河の周辺地域等では、雨天後に住民から水質や悪臭についての苦情が寄せられ、その原因は、主に合流式下水道からの雨天時越流水によるものと考えられる。大雨直後に行われた調査では、東京都内湾（東京都の地先海域）や運河部で大腸菌群数や有機汚濁物質濃度が著しく上昇したことが確認されている¹⁾。こうした雨天時汚濁を防止するため、東京都下水道局は、合流改善クイックプラン、新・同クイックプランに基づいて対策を進めているが、それによる雨天時の河川・海域の水質改善効果についてはこれまで十分に把握されていない。

こうした背景から、東京都環境局は、2007～2009年度に都内の河川（神田川、目黒川）及び運河（高浜運河、勝島運河、天王洲運河）で、雨天時の水質汚濁状況を把握するために、連続採水調査を行った。ここでは一連の調査結果のうち、降雨による河川水質への影響が明確に認められた2008年2月の神田川での調査結果について報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

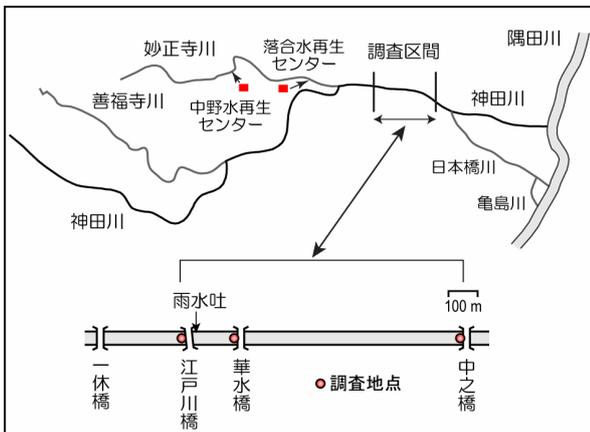


図1 調査地点図

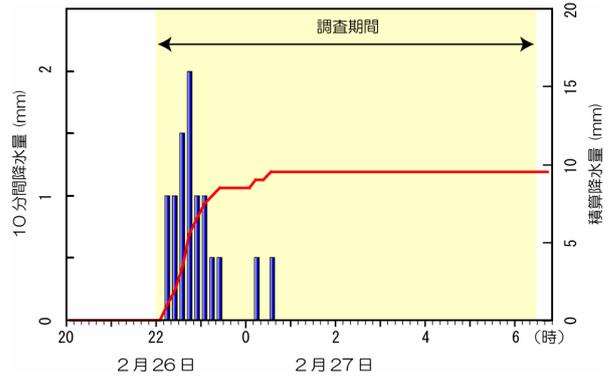
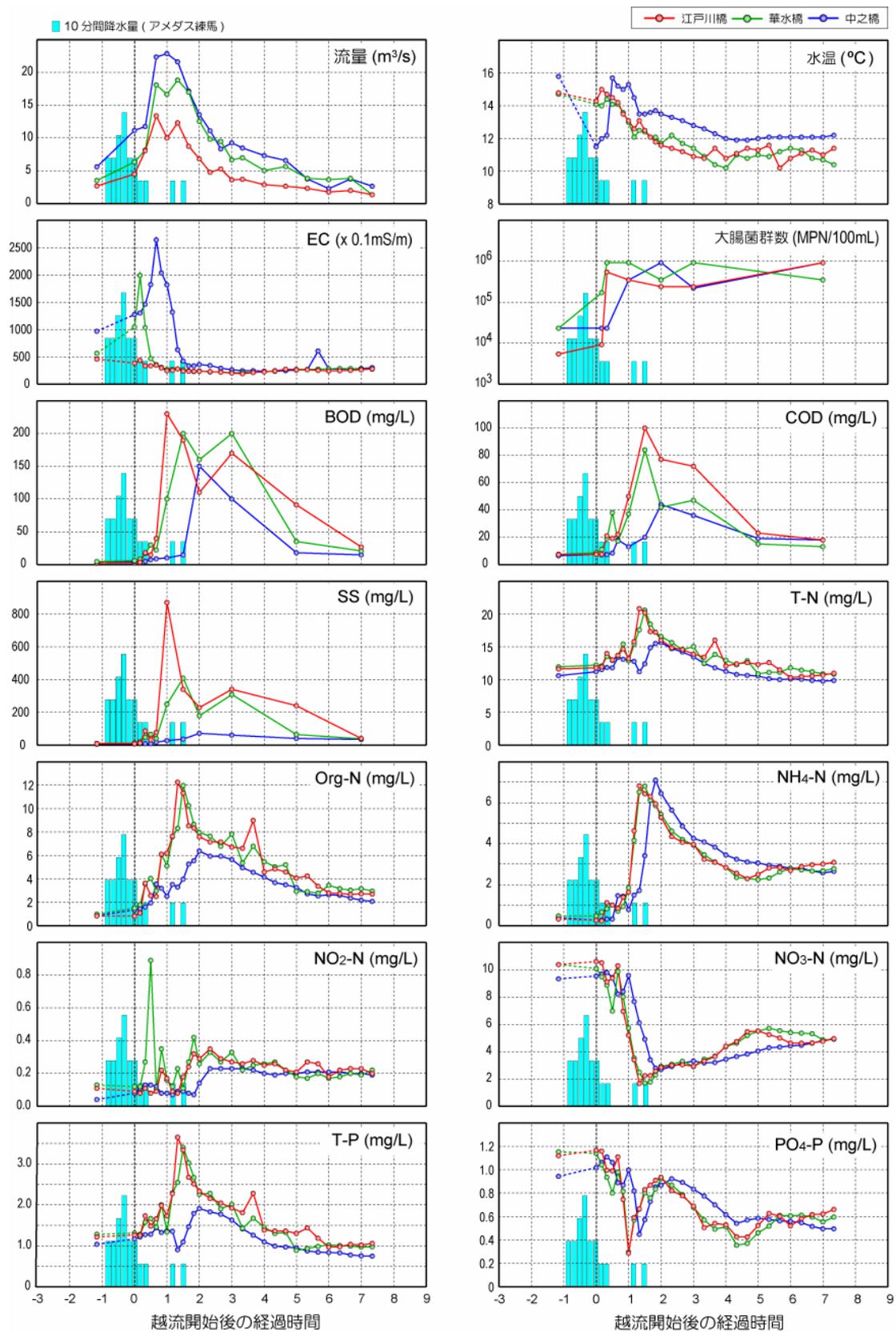


図2 降雨状況（気象庁アメダス練馬）

神田川は、井の頭池を水源とし、両国橋付近で隅田川に合流する流路延長24.6km、流域面積105.0km²の都市河川で、上・中流では、妙正寺川、善福寺川、江古田川が合流し、中野、落合の水再生センターから下水処理水が流入する。調査は、神田川下流域の江戸川橋、華水橋、中之橋の3地点で行なった。これらの地点は感潮域に位置し、東京湾の潮位変化に応じて水位が変化する。また調査期間を通じた各地点の平均水深は、上流側からそれぞれ、1.2 m、2.0 m、3.4 mであった。江戸川橋直下の左岸には合流式下水道の雨水吐き室があり、大雨の時にはそこから越流水が神田川に流入する。江戸川橋－華水橋間の距離は約180m、華水橋－中之橋間は約780mである。また、水質測定計画の測定地点である一休橋は、江戸川橋のひとつ上流側の橋である。

2.2 降雨の状況

気象庁のアメダス練馬の降水量データによれば、調査日（2008年2月26日）に先行する降雨は、2週間前の6mm/日であることから、降雨前の採水測定開始時には、河川流量と水質は、降雨の影響を全く受けない状態であったと考えられる。図2の棒グラフは、調査当日の10分間降水量、折れ線グラフは積算降水量の推移である。図2に示すように、短時間にまとまった雨が降り、雨水吐き室からの越流が始まる20分前の時点で10分間降水量は2mm



* 10分間降水量は、0.5 mm 単位で、最大値は 2 mm
 * 越流開始時刻は、2008年2月26日23時10分

図3 降雨にともなう流量及び水質の変化

のピークに達した。降雨の時間は約2時間半で、この間の総降水量は9.5mmであった。

2.3 採水および現場測定

降雨開始前の22時に1回目の採水・測定を行った後は、雨水吐き室の状況を目視で観察し、越流が確認された23時10分から10分間隔で2時間、更にその後は20分間隔で採水・測定を行ない、越流開始から7時間20分後に採水測定を終了した。

調査終了後、冷暗所保存した試料を実験室に持ち帰り、窒素及びりんに関する項目は、すべての試料について、またBODやCOD等は一部を間引いて分析を行った。

なお、流量は、事前に測量した河床形状と、採水時に測定した河川水位及び流速から計算した。

3 調査結果

3.1 流量及び水質の変化

図3に、3地点における流量と水質の推移を示す。横軸は時間で、越流が始まった時点をもととした。表1は、一休橋における2007～2008年度公共用水域水質測定結果から求めた各項目の平均値と75%値で、晴天時の平均的な状況を示す。

降雨前の流量は、晴天時の平均的な値とほぼ同じレベルの3～5m³/sであったが、降雨に伴い次第に増加して、越流開始の約40分後には、当初の4～5倍に増加してピークに達し、雨が止むと減少し始め、約4時間後には降雨前のレベルに戻った。

地点間の流量を比較すると下流側の地点ほど流量が大きい結果となったが、実際には、流量測定方法に起因する影響が考えられる。すなわち、各地点の水位（水深）は、東京湾の潮位と連動して変化し、その変動幅は、江戸川橋、華水橋、中之橋でそれぞれ0.4m、0.7m、1.1mで

あった。また、図3の電気伝導率(EC)は、江戸川橋では一定で、潮位変化による水質への影響が認められないのに対し、その下流の華水橋、中之橋では、一時的にECが上昇し、下流の2地点では下層に海水が進入し、それが巻き上げられて混合したことを示している。そして下層に海水が進入した地点では、上下層で流速が異なり、上層1点で全層の流速を代表させた場合、海水の層厚が大きい地点ほど過大な流量値が計算される可能性がある。

大腸菌群数は、江戸川橋、華水橋では越流開始直後に10⁶オーダーまで増加したのに対し、中之橋ではそれよりやや遅れて同じ菌数レベルになった。このことは、未処理の下水が越流水に混入し、それが流下したためと考えられる。その後、菌数は調査終了の時点まで3地点ともほぼ同じレベルで推移し、ほとんど減少しなかった。

BODは、越流開始後急激に上昇し、江戸川橋、華水橋では最大値が200mg/Lを超え、晴天時の約100倍に達した。その後、中之橋でも時間遅れで約150mg/Lを記録した。ここでのBODには、いわゆるN-BODの寄与も含まれる。

CODは、BODの1/2以下の濃度で推移し、またピーク時の値は最下流の中之橋では江戸川橋、華水橋の1/2以下の値であった。

SSは、越流開始の1時間後に江戸川橋で800mg/Lを超え、極めて高い値を示した。江戸川橋は、他の2地点に比べて水深が浅いことから、河床から巻き上げられた比重の大きい土壌由来成分が、寄与した可能性がある。また中之橋は上流側の2地点に比べると濃度の変化は小さかったが、それでも晴天時の値と比べると非常に高かった。また調査終了時点では、3地点とも同じ濃度レベルに低下した。

全窒素(T-N)の雨天時の変化は、BODやCODに比べて小さく、ピーク時の濃度は晴天時のわずか2倍程度であった。また中之橋では、他の地点のピーク時にむしろ濃度が一時的に低下する傾向が認められた。

形態別窒素では、NH₄-N濃度が、降雨に伴い急激に上昇したのに対して、NO₃-N濃度は、それと相補的に急激に低下し、晴天時との比較では、NH₄-Nは約30倍、NO₃-Nは約1/4になった。また、NH₄-NとNO₃-Nは、3地点がほぼ同じ濃度レベルで推移し、中之橋では、やや時間遅れで変化した。有機態窒素(Org-N)もNH₄-Nと同様な挙動を示したが、中之橋では他の2地点ほど濃度が上昇しな

表1 晴天時の水質状況(一休橋)

項目	平均値	75%値
流量 (m ³ /s)	4.4	5.0
BOD (mg/L)	2.1	2.3
COD (mg/L)	5.8	6.3
SS (mg/L)	2.5	3.3
T-N (mg/L)	9.85	11.43
T-P (mg/L)	0.95	1.11
NH ₄ -N (mg/L)	0.33	0.22
NO ₂ -N (mg/L)	0.12	0.07
NO ₃ -N (mg/L)	7.08	8.50
PO ₄ -P (mg/L)	0.87	1.00

表2 晴天時と雨天時の通過負荷量の比較

項目	晴天時負荷量	雨天時負荷量			雨天時負荷量/晴天時負荷量		
	一休橋	江戸川橋	華水橋	中之橋	江戸川橋	華水橋	中之橋
流量 (m ³)	134,640	141,214	232,254	282,727	1	2	2
BOD (kg)	141	15,113	23,948	11,861	107	170	84
COD (kg)	390	6,613	8,346	6,061	17	21	16
SS (kg)	168	37,590	41,459	10,452	224	247	62
T-N (kg)	663	2,019	3,324	3,498	3	5	5
T-P (kg)	64	269	422	365	4	7	6
NH ₄ -N (kg)	22	429	745	776	20	34	35
NO ₂ -N (kg)	8	27	56	39	3	7	5
NO ₃ -N (kg)	477	783	1,190	1,681	2	2	4
PO ₄ -P (kg)	59	111	170	227	2	3	4

かった。晴天時、神田川の流量の約90%を下水処理水が占め、処理水中の窒素は、硝化が進められてNO₃-Nとなっている。しかし雨天時は、未処理の下水が流入するため、こうした挙動を示したと考えられる。

全りん (T-P) は、江戸川橋、華水橋では、濃度が上昇し、ピーク時には晴天時の約3倍になり、その後は濃度が低下して、調査終了時には晴天時に近いレベルに戻った。一方、中之橋では、一時的に濃度が低下した後、他の2地点よりやや低めの濃度で推移した。一方、PO₄-Pは、3地点とも降雨により、急激に濃度が低下した後、当初の濃度よりやや低い値まで再び上昇し、次第に低下して調査終了時点の濃度は晴天時の約60%であった。降雨前のT-Pに占めるPO₄-Pの割合は、100%に近いので、雨水の流入でPO₄-Pが希釈されるとT-P中の溶存態P濃度は低下する。一方、懸濁物が流入するとT-P中の懸濁態P濃度は上昇する。江戸川橋と華水橋では、懸濁態Pの寄与が大きいためT-Pが上昇するが、中之橋では小さいので一時的に濃度が低下したと考えられる。

3.2 晴天時と雨天時の通過負荷量の比較

積算で9.5mmの降雨があった本調査の雨天時と晴天時

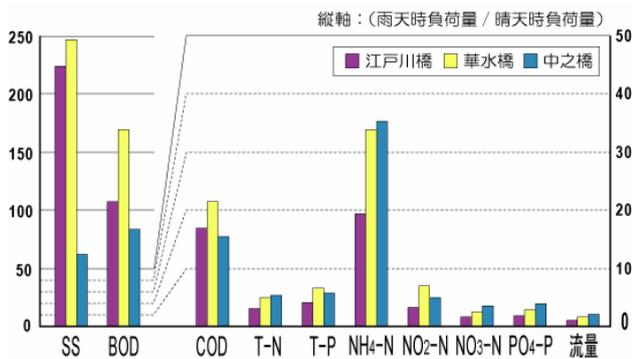


図4 雨天時負荷量と晴天時負荷量の比較 (倍率)

の負荷量を比較した。調査地点毎に調査期間 (8時間30分) の通過負荷量を積算した。一方、表1の一休橋の各項目の平均値を晴天時の流量、水質とみなし、その状況が雨天時調査と同じ時間継続したと仮定して総通過負荷量を求め、両者を比較した (表2, 図4)。

総流量は、江戸川橋では晴天時よりやや高めの値であったのに対して下流の橋ほど流量が増加し、中之橋では、約2倍であった。流下に伴う流量の増加は、途中区間での流入を示すとも考えられるが、図3のECの変化について述べたように下流の2地点では潮位の影響で、調査当初及び終了時の江戸川橋と華水橋の流量は、表1の一休橋の平均流量に比べてかなり低い。表1のデータは、年間の平均値であるため、今回調査が行われた冬季には、平均流量がこれより小さい可能性があり、その場合には、降雨による流量の増加が更に大きかったと考えられる。

BODとSSは、華水橋では、晴天時に比べてそれぞれ約170倍、約250倍の高い値を示した。一方、中之橋での通過負荷量は、上流の地点よりも減少しており、調査区間内に沈降、堆積したと推定される。

CODもBOD、SSと同様に華水橋で最も高く (晴天時の約20倍)、中之橋で最も低くなっている。

窒素、りんに関する項目では、多くが下流の地点ほど通過負荷量が多いのが特徴で、晴天時の負荷量と雨天時中之橋の値を比較すると、NH₄-Nは、約35倍、それ以外の項目は2~7倍の範囲で、降雨時にNH₄-Nの負荷量が著しく増加することを示している。

以上の雨天時における地点間の負荷量比較は、各地点で流量が正しく把握できたことを仮定しているが、前述のように調査区間は感潮域に位置するため、流量測定方

法に起因する誤差の影響も否定できない。

4 おわりに

雨天時の調査結果から以下のことが分かった。

- ・越流開始後、約1時間半以内に濃度のピークが出現するため、状況を的確に把握するためには、それまでの期間は、10分程度の間隔での調査が必要である。
- ・降雨時には、SS、BODの負荷量増加が特に著しい。
- ・降雨による栄養塩の負荷量増加は、NH₄-Nが20～35倍、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pは、2～7倍である。
- ・大腸菌群数は、越流開始直後に増加して、その後は菌数がほとんど減少しない。

以上の調査結果は、降雨時に流入する懸濁物質が、魚類のエラ詰まりなどを引き起こすとともに、それが堆積することにより底質が悪化し、貧酸素化やスカム発生の原因になり得ることを示唆している。また、流入量の多いアンモニア性窒素も、水温・pHの条件によっては非解離アンモニアへ変化して水生生物への毒性を示すことや、河川・海域内での硝化の過程で溶存酸素を消費するため貧酸素化の原因になることが考えられる。

したがって、雨天時の流入汚濁については、引き続き早急な対策が必要な状況にあると言える。

謝 辞

本調査は、東京都環境局自然環境部が実施したものであることを記すとともに、関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 安藤晴夫, 川井利雄, 牧秀明, 木幡邦男, 越川海: 洪水時の流入汚濁による東京湾水質への影響について, 東京都環境科学研究所年報2005, 252-256.