

論文

下水処理水導水による善福寺川水質の変化について

津久井 公昭 山崎 正夫 渡辺 正子

要 旨

下水処理水を活用した清流の復活事業として、1989年から千川上水の通水が始まった。千川上水の水は、末端で善福寺川に導水されているが、本来が下水処理水なので、この導水によって善福寺川の水質がかなり変化することが予想された。そこで、導水前及び導水後の水質を調査してどのように変化したかを検討した。その結果は下流域では、次のとおりである。①DO (昼間15~16mg/l), BOD (1~2 mg/l) 及びSS (1~2 mg/l) については、導水による変化が認められない。②COD (導水後3~4 mg/l), 電気伝導率 (導水後310 μS/cm) については、導水による上昇が見られる。全窒素 (導水後9 mg/l 前後) は、増加の度合が少ない。③藻類生産潜在能力 (AGP) は、4 mg/l から150 mg/l へと著しく上昇した。これはりんの濃度が導水後増大 (りん酸性りんで0.21~0.24 mg/l) したためである。⑤附着珪藻から導水後の水質を判定するとβ-中腐水性である。

1 はじめに

善福寺川は、善福寺池に源を発し、市街地を流れ、神田川に合流する延長10.5kmの典型的な都市河川である。善福寺川の流域の下水道は、ほぼ全域で整備されているため、平常時には家庭排水の流入がほとんどなく、水質は、生物化学的酸素要求量 (以下、「BOD」と記する。) が1 mg/l 前後、溶存酸素量 (以下、「DO」) が昼間10~19 mg/l と良好である (63年度<sup>1)</sup>)。なお、環境基準の水域類型は、Dに指定されている。善福寺川の最上流部では、善福寺池からの流出水もほとんど無く、流れも停滞気味であるため、河川内でわき出る湧水を人工的に還流させたりしているが、<sup>1)</sup> 流下するにつれ豊富な湧水等により水量も豊かになる。1989年3月から、下水処理水を活用した清流の復活事業として野火止用水、玉川上水に引き続いて、玉川上水より分水した千川上水の通水 (10,000 m<sup>3</sup>/d) が始まった。千川上水の水は、下流端から管渠で善福寺池池尻まで引き、そこで善福寺川に流されるが、本来が下水処理水なので、善福寺川の水質がかなり変化することが予想された。そこで、導水前及び導水後の水質を調査してどのように変化したかを検討した。

2 調査方法及び分析方法

千川上水の水は、善福寺川の最上流部より流入するため、導水が始まると善福寺川の全域がその影響を受けることになる。調査時期は、千川上水の通水直前 (2回調査) と1年後の同時期 (1回調査) を選んだ。調査地点は、善福寺川では最上流部及び下流域2地点 (尾崎橋、宮下橋) とし、千川上水では管渠流入地点とした。調査項目は、DO, BOD等の一般水質項目、AGP 及び附着珪藻とした。

(1) 調査地点 (図1参照)

- St. 1 善福寺川 最上流部 (善福寺池池尻より約100m下の川幅の広がる場所)
- St. 2 同上 尾崎橋 (6km 下流\*)
- St. 3 同上 宮下橋 (7.5km 下流\*)
- \* 地図上で計測
- St. 4 千川上水 管渠流入前 (本文中では千川上水とする)

(2) 調査日

- 導水前 (2回) 1988年12月14日
- 1989年1月18日
- 導水後 (1回) 1990年1月22日

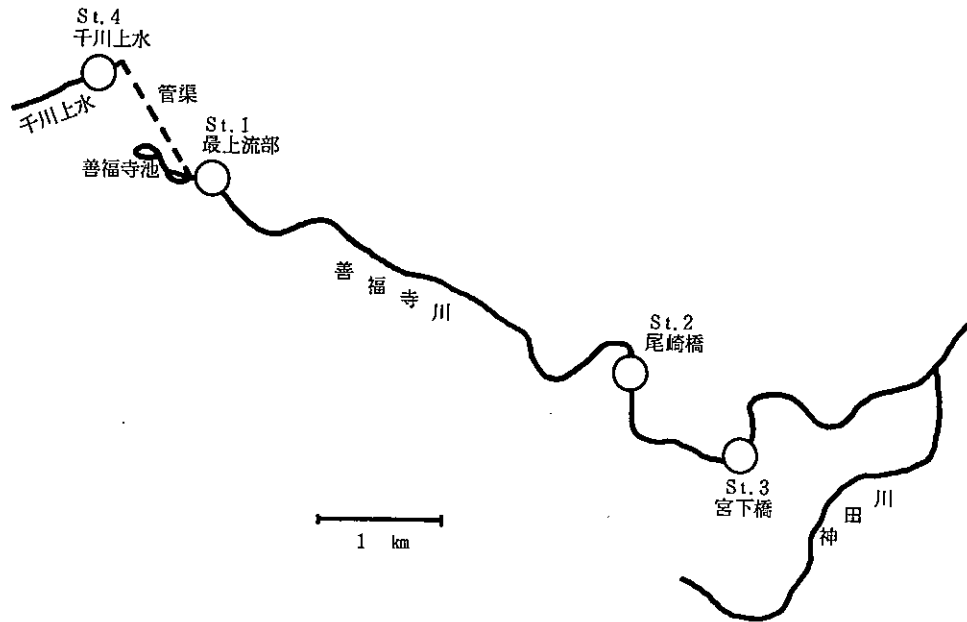


図1 善福寺川調査地点

(3) 分析方法

- ア 水素イオン濃度 (以下, 「pH」), DO, BOD, 化学的酸素要求量 (以下, 「COD」) 浮遊物質質量 (以下, 「SS」): JIS K 0102 工場排水試験方法
- イ 窒素, リン: オートアナライザーによる自動分析法
- ウ 電気伝導率: 電気伝導率計
- エ AGP: ①藻種 *Selenastrum capricornutum* (国公研微生物系統保存施設より入手) ②試料前処理 ミリポア メンブラン・フィルター孔径  $0.22\ \mu\text{m}$  でろ過した。③培養温度  $25^\circ\text{C}$  ④照明 4000ルクス (12時間毎明暗) ⑤振盪 90rpm ⑥培養期間 約2週間
- オ 珪藻同定: 試料は, St. 1 は河川中央にあるコンクリート製円筒の壁から, St. 2 及びSt. 3 は護岸のコンクリート壁 (1試料のみ鉄パイプ壁) から採取した。ホルマリンで固定して保存し, 後日同定した。

3 調査結果及び考察

調査結果を表1に示す。善福寺川流域では下水道が完

備しており, 最上流部では水源がほとんど無いことを反映して, St. 1 では, 流入した千川上水の水質がそのまま表われる。流下につれて湧水等により希釈・増量され本来の善福寺川の水質に近づく。上流部では千川上水の影響が強く出るが, ここでは, 下流域のSt. 2 及びSt. 3 を中心に各分析項目について述べる。

(1) pH

導水前は, St. 2 及びSt. 3 では, pHが8~9と高いが, これは多量に繁茂する水草や附着藻類による光合成が原因である。導水後は7.5~7.7と幾分低めになるが, これは, 次項DOから見て光合成の低下でなく, 調査地点による変化が少ないことから, 千川上水の水質に起因する可能性が考えられる。

(2) DO

導水前後ともSt. 2 及びSt. 3 では, DOが昼間は15~16mg/l程度あり, 水温 $9^\circ\text{C}$ の時の飽和溶存酸素量は11.2mg/lであることから, 過飽和状態であると言える。この原因は, pHと同様, 光合成によると考えられる。河川内での変化が大きいため導水の直接影響は無視し得る。

(3) BOD

BODは, 導水前後とも全地点で, 1~2mg/lであり

表1 善福寺川水質調査結果

	St. 1 最上流部			St. 2 尾崎橋			St. 3 宮下橋			St. 4 千川上水 (導水後) 1990.1.22
	導水前		導水後	導水前		導水後	導水前		導水後	
	1988.12.14	1989.1.18	1990.1.22	1988.12.14	1989.1.18	1990.1.22	1988.12.14	1989.1.18	1990.1.22	
pH	6.5	6.5	7.5	9.2	8.2	7.5	8.7	7.5	7.7	7.7
DO $\text{mg}/\ell$	8.7	10.4	12.2	16.9	15.9	15.4	14.6	14.6	15.8	12.1
BOD $\text{mg}/\ell$	1.2	0.4	1.9	0.7	1.4	1.2	1.0	2.1	0.9	1.9
COD $\text{mg}/\ell$	1.0	1.2	10.3	1.6	1.5	3.9	1.4	2.8	3.6	11.7
SS $\text{mg}/\ell$	0.5	5.0	14.3	1.8	1.1	1.9	1.2	1.9	1.3	17.2
電気伝導率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	248	193	486	239	242	313	240	237	307	522
T-N $\text{mg}/\ell$	7.81	8.48	10.3	8.02	7.97	9.33	7.56	8.17	8.79	10.8
NH <sub>4</sub> -N $\text{mg}/\ell$	0.00	0.03	0.03	0.01	0.02	0.08	0.01	0.22	0.03	0.08
NO <sub>2</sub> -N $\text{mg}/\ell$	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.08	0.03	0.02
NO <sub>3</sub> -N $\text{mg}/\ell$	7.58	8.05	9.36	7.58	7.43	8.76	7.10	7.00	8.30	9.58
T-P $\text{mg}/\ell$	0.01	0.00	1.41	0.01	0.02	0.28	0.02	0.07	0.23	1.54
PO <sub>4</sub> -P $\text{mg}/\ell$	0.01	0.02	1.28	0.00	0.01	0.24	0.01	0.04	0.21	1.40
AGP $\text{mg}/\ell$	4	-	284	3	-	146	3	-	148	296
水温 $^{\circ}\text{C}$	12.8	10.3	8.2	12.4	7.5	9.0	11.8	7.4	8.7	7.5
透視度 $\text{cm}$	>50	>50	40	>50	>50	>50	>50	>50	>50	40
色	なし	なし	薄茶褐色	なし	なし	なし	なし	なし	なし	薄茶褐色
濁り	なし	なし	少	なし	なし	なし	なし	なし	なし	少

良好な水質であると言える。下水処理水の場合、アンモニア性窒素（以下「NH<sub>4</sub>-N」）濃度が高ければ、N-BODのためBODがかなり高くなることがあるが、千川上水のNH<sub>4</sub>-N濃度は0.08mg/ℓと低いため、その心配がない。

(4) COD

CODは、導水前では1~3mg/ℓであるが、導水後にはSt. 2及びSt. 3では3~4mg/ℓに上昇している。千川上水及びSt. 1では、10~12mg/ℓであり、BODに比較してCODが高いことが下水処理水の特徴である。

(5) 電気伝導率

導水前の電気伝導率は、240μS/cm程度であるが、導水後は、千川上水が522μS/cmと高いため、St. 2及びSt. 3では310μS/cmに上昇する。この電気伝導率の変化から計算すると、下流域のSt. 2~St. 3では千川上水の水が25%に希釈されていることになる。

(6) SS, 透視度, 濁り及び色

導水後の千川上水及びSt. 1のSSは、それぞれ17及び14mg/ℓで、透視度も40cmで多少濁りが見られるが、これは玉川上水に由来する土による濁りと考えられる。St. 2及びSt. 3では通水前後ともSSは、1~2mg/ℓを保持しているため、St. 1の濁りは流下中に沈降して除去されていると考えられる。

色については、千川上水とSt. 1では、下水処理由来の薄い茶褐色を帯びているが、St. 2及びSt. 3では無色になる。

(7) 窒素

全窒素（以下、「T-N」）で見ると、導水前で7~8mg/ℓと既に高めであるが、導入後は9mg/ℓ前後で多少の増加が認められた。その内容を見るとNH<sub>4</sub>-Nと亜硝酸性窒素（以下、「NO<sub>2</sub>-N」）が少なく、ほとんど硝酸性窒素（以下、「NO<sub>3</sub>-N」）であり、硝化の進んだ安定した状態と言える。

## (8) りん

全りん(以下、「T-P」)の内容はほとんどりん酸性りん(以下「 $PO_4-P$ 」)である。St. 2及びSt. 3で、 $PO_4-P$ で見ると、導水前の $0.01\sim 0.04\text{mg}/\ell$ から導水後の $0.21\sim 0.24\text{mg}/\ell$ とかなりの増加が認められる。

## (9) AGP

AGPについては、導水前は $4\text{mg}/\ell$ 以下であるが、千川上水のAGPが $296\text{mg}/\ell$ と高く、St. 2及びSt. 3では $146\sim 148\text{mg}/\ell$ に大きく上昇する。須藤<sup>2)</sup>によれば、AGPは、貧栄養水域では $1\text{mg}/\ell$ 以下、中栄養水域では $1\sim 10\text{mg}/\ell$ 、極端に富栄養化が進むと $20\sim 30\text{mg}/\ell$ あるいはそれ以上とされているので、導水後の善福寺川は極度に富栄養化された状態となったと言える。この原因としては、導水前後の窒素の変化は少なく、一方りんが大きく増加していることから見て、りんの増加がAGPの増大をもたらしたと考えられる。

## (10) 附着珪藻

導水前と導水後の附着珪藻の同定結果及びこの結果から計算した汚濁指数を表2-①、②に示す。St. 1とSt. 2～St. 3とでは出現する種類が多少異なる傾向が見られる。*Melosira varians*は、全地点で導水前後とも出現し、常に第1優占種か第2優占種となっている。*M. varians*は貧腐水性ないし $\beta$ -中腐水性の出現種とされている。*Cyclotella meneghiniana*は導水前後ともSt. 2～St. 3に出現しているが、St. 1にはほとんど出現しない。その他の優先種の出現については導水前後で変化が見られる。附着珪藻を利用した水質判定法としては幾つかあるが、汚濁指数法を利用して判定すると、導水前は、St. 1は汚濁指数が1.2で貧腐水性、St. 2は1.5～1.6で貧腐水性と $\beta$ -中腐水性の端境、St. 3は2.0で $\beta$ -中腐水性であるが、導水後は、St. 1は汚濁指数が1.4と1.6で貧腐水性と $\beta$ -中腐水性の端境、St. 2及びSt. 3は2.0～2.2で $\beta$ -中腐水性である。導水後にわずかに悪化傾向が見られる。なお、導水が悪化の原因であれば、St. 1が最も汚濁の進行した状態で、下流側St. 2～St. 3では改善傾向が見られるはずであるが、前述した結果では逆であり、悪化傾向が見られるとしても、それは導水の直接的な影響ではないと言える。

## 4 まとめ

千川上水の水を導水したことによる、善福寺川の水質の変化について調査した。下流域のSt. 2及びSt. 3での結果をまとめると以下ようになる。

## (1) 導水前後で、変化の少ない項目。

DO(昼間 $15\sim 16\text{mg}/\ell$ )、BOD( $1\sim 2\text{mg}/\ell$ )及びSS( $1\sim 2\text{mg}/\ell$ )については、変化が少ない。その理由は、DOについては河川内での変化が大きいため、流入時のDOに影響されないこと、BODについては、同程度の濃度の流入、SSについては、流下中に沈降し除去されるためと考えられる。

## (2) 導水により増加が認められる項目。

CODについては $1\sim 3\text{mg}/\ell$ から $3\sim 4\text{mg}/\ell$ へ、電気伝導率については $240\mu\text{S}/\text{cm}$ から $310\mu\text{S}/\text{cm}$ へと、導水に対応して上昇が見られた。T-Nについては増加はあるが、その度合は $7\sim 8\text{mg}/\ell$ から $9\text{mg}/\ell$ 前後へと少ない。

## (3) 導水により著しく増大したもの。

りんの濃度が $PO_4-P$ で $0.01\sim 0.04\text{mg}/\ell$ から $0.21\sim 0.24\text{mg}/\ell$ へと導水後増大し、このため、AGPが $4\text{mg}/\ell$ から $150\text{mg}/\ell$ へとかなり上昇した。導水後、極度に富栄養化した水質となったと言える。

## (4) 附着珪藻

附着珪藻から汚濁指数法で判定した導入後の善福寺川下流域の水質は $\beta$ -中腐水性である。わずかに悪化傾向が見られる。種としては*Melosira varians*が導水前後とも、全地点で常に第1優占種か第2優占種となっている。

## 参考文献

- 1) 杉並区都市環境部環境保全課：杉並区の環境保全63, p.95 (1990).
- 2) 須藤隆一編：環境微生物実験法，講談社，p.99 (1988).
- 3) 上山 敏，小林 弘：高校生物のためのケイソウによる水質判定についてのドライラボ，東京学芸大学紀要第4部門，38, p.55～64 (1986).

表 2-① 附着珪藻の同定結果 (導水前)

番号	種 名	汚濁階 級指数	St. 1 最上流部		St. 2 尾 崎 橋			St. 3 宮下橋
			左岸側	右岸側	左 岸	左岸(*)	右 岸	右 岸
1	<i>Achnanthes convergens</i>	1				1		4
2	<i>A. lanceolata</i>	1	2			1		
3	<i>A. minutissima v. minutissima</i>	1	128	178				1
4	<i>A. subhudsonis</i>	1				1		2
5	<i>Caloneis bacillum</i>			1				1
6	<i>Cocconeis placentula</i>	1	1			1		1
7	<i>Cymbella tumida</i>		1					
8	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2.5			30	29	28	70
9	<i>Eunotia curvata</i>				1			
10	<i>E. flexuosa</i>		3					1
11	<i>E. pectinalis v. minor</i>			1				
12	<i>E. sp.</i>		2	14			2	1
13	<i>Fragilaria capucina v. capucina</i>		3	1	1		1	4
14	<i>F. capucina v. vaucheriae</i>	2.5	2		5	2	3	5
15	<i>F. construens</i>							
16	<i>Frustulia vulgaris</i>		7	5				
17	<i>Gomphonema acuminatum</i>		1					
18	<i>G. clevei</i>		1					
19	<i>G. constrictum</i>					1		
20	<i>G. parvulum</i>	4	2	2	11	14	20	16
21	<i>G. pseudaugur</i>	2.5	13	22	4	11	11	5
22	<i>Gyrosigma acuminatum</i>						1	
23	<i>Hantzschia amphioxys</i>						1	
24	<i>Melosira ambigua</i>		7	5				
25	<i>M. granulata</i>							2
26	<i>M. varians</i>	1	107	66	188	216	196	121
27	<i>Navicula cryptocephala</i>	1			2	4	1	3
28	<i>N. cryptotenella</i>			1			1	1
29	<i>N. cuspidata</i>		1					
30	<i>N. goeppertiana</i>	3.25	2	1	4	3	5	16
31	<i>N. gregaria</i>	2.5		1		1	1	3
32	<i>N. minima</i>	4				1		1
33	<i>N. mobiliensis v. minor</i>		9					
34	<i>N. pupula</i>	2.5			1	1	1	
35	<i>N. radiosa v. nipponica</i>	1	1					
36	<i>N. seminulum</i>	4			3	1		3
37	<i>N. viridula v. rostellata</i>	1		1				
38	<i>Nitzschia amphibia</i>	2.5	6		6	2	15	1
39	<i>N. linearis</i>	1.75		1				
40	<i>N. palea</i>	4			2	1	1	3
41	<i>Pinnularia braunii v. amphicephala</i>	4			2			2
42	<i>P. gibba v. gibba</i>				1	1	1	
43	<i>P. gibba v. sancta</i>				1			4
44	<i>Synedra acus</i>		1					
45	<i>S. lanceolata</i>				28	12	15	21
46	<i>S. ulna</i>	2.5	3	3	19	8	4	16
合 計 種 類 数			22	16	18	21	19	26
合 計 殻 数			303	303	309	312	308	308
汚 濁 指 数			1.2	1.2	1.6	1.5	1.6	2.0

(\*) 鉄パイプ面から採取

表2-② 附着珪藻の同定結果 (導水後)

番号	種名		汚濁階級指数	St. 1 最上流部		St. 2 尾崎橋		St. 3 宮下橋	
				左岸側	右岸側	左岸	右岸	左岸	右岸
1	<i>Achnanthes</i>	<i>krasskei</i>	1	47	24				
2	<i>A.</i>	<i>lanceolata</i>	1	21	9	2	8	1	
3	<i>A.</i>	<i>minutissima v. minutissima</i>	1	5	3				1
4	<i>A.</i>	<i>subhudsonis</i>	1			12		21	24
5	<i>Amphora</i>	<i>pediculus</i>	1						
6	<i>Bacillaria</i>	<i>paradoxa</i>		8	2				
7	<i>Cocconeis</i>	<i>pediculus</i>	1	14	11				
8	<i>C.</i>	<i>placentula</i>	1	6	12				3
9	<i>Cyclotella</i>	<i>meneghiniana</i>	2.5	1		22	67	68	67
10	<i>Cymbella</i>	<i>minuta</i>	1	5	1				
11	<i>C.</i>	<i>prostrata</i>							
12	<i>Eunotia</i>	<i>curvata</i>				2	3		
13	<i>E.</i>	<i>pectinalis v. minor</i>				3			
14	<i>E.</i>	<i>sp.</i>							12
15	<i>Fragilaria</i>	<i>capucina v. capucina</i>					1		1
16	<i>F.</i>	<i>capucina v. vaucheriae</i>	2.5	9	21			1	4
17	<i>Frustulia</i>	<i>vulgaris</i>		15	14				1
18	<i>Gomphonema</i>	<i>gracile</i>		2					
19	<i>G.</i>	<i>parvulum</i>	4	2			4		7
20	<i>G.</i>	<i>pseudaugur</i>	2.5	5	3				1
21	<i>G.</i>	<i>sp.</i>			5	48	22	60	57
22	<i>Melosira</i>	<i>ambigua</i>		11	6				
23	<i>M.</i>	<i>varians</i>	1	71	140	62	94	69	61
24	<i>Navicula</i>	<i>cryptocephala</i>	1			3	4	3	
25	<i>N.</i>	<i>goepertiana</i>	3.25	33	8		6		1
26	<i>N.</i>	<i>gregaria</i>	2.5	11	17		1		1
27	<i>N.</i>	<i>minima</i>	4			16	36	18	4
28	<i>N.</i>	<i>seminulum</i>	4			8	1		1
29	<i>N.</i>	<i>symmetrica</i>		2	2				
30	<i>N.</i>	<i>viridula v. rostellata</i>	1	2					
31	<i>Nitzschia</i>	<i>amphibia</i>	2.5	6	9	121	19	56	19
32	<i>N.</i>	<i>brevissima</i>		2	2				
33	<i>N.</i>	<i>filiiformis</i>	2.5	2	2				
34	<i>N.</i>	<i>hantzschiana</i>	2.5	3					
35	<i>N.</i>	<i>linearis</i>	1.75	5	5			1	
36	<i>Pinnularia</i>	<i>gibba v. sancta</i>					1		
37	<i>Rhoicosphenia</i>	<i>abbreviata</i>	1		2				
38	<i>Stauroneis</i>	<i>japonica</i>							
39	<i>Stephanodiscus</i>	<i>invisitatus</i>	2.5	8	1			1	3
40	<i>Synedra</i>	<i>acus</i>		2					1
41	<i>S.</i>	<i>pulchella</i>							3
42	<i>S.</i>	<i>rumpens</i>					1		1
43	<i>S.</i>	<i>ulna</i>	2.5	5	6	1	29	6	21
合計種類数				27	23	12	16	12	22
合計殻数				303	305	300	297	305	294
汚濁指数				1.6	1.4	2.2	2.2	2.0	2.0