

堰の開放による下流への影響について

— 綾瀬川・大橋堰 —

Affecting to Downstream by Breaking a Dam

—Ohashi's dam in Ayase River—

杉崎 三男

要 旨

堰の開放が下流域に与える影響をみるために、綾瀬川上流域にある大橋堰について、堰下流 2 kmの妙見橋で調査を行った。堰開放（昭和60年9月5日8時）後、流量は約70分で最大に達し、水質汚濁濃度は流量が最大のときに最初のピークを示し、その後約3時間で最大に達し、減少後底層水の流出によって再び増加した。このときの大橋堰上流の貯留水量は約220,000 tでBOD、COD、SSの堰の開放による流出負荷量はそれぞれ45、76、147 tであった。一方、堰下流の水質を堰橋でみると、灌漑期の6月から10月までは良好であるが、落水のなくなる11月から5月の間は悪化する。堰橋の水質データの主成分分析の結果、第一主成分は人為的汚染、第二主成分は濁り等の要因によるものと思われ、また8～9月間のスコア値の急激な変動には堰の開放が影響していることが推定された。

1 はじめに

埼玉県東部を流れる綾瀬川は全長39.18 km、流域面積（埼玉県内）147.26 km²であり、湧水等特定の水源がなく灌漑用水の“落水”や生活排水、産業系排水によって構成されている。この川の感潮域である下流部では、昭和30年代から都市化、工業化の進展による著しい水質汚濁が問題となっている。

綾瀬川中流域では、これまでにたびたび魚の浮上事故についての報告があるが¹⁾²⁾、これらの水質事故は、水田で用水が不要となる秋に、河川流量の減少による水質の急激な悪化と、潮の干満による中・下流域の無酸素状態の河川水の逆流によって魚の浮上が起こるものと推定されている。

本研究は、綾瀬川・大橋堰の開放による下流域への影響について調査したものであり、また、併せて埼玉県水質測定計画の環境基準点である堰橋の過去13年間（昭和47年から59年）の水質データを基に、綾瀬川上流域の水質の特徴について考察したものである。

2 調査方法

綾瀬川上流の概略図を図1に示した。



図1 綾瀬川上流の概略図

()の数字は綾瀬川・中川合流点からの距離・km

綾瀬川大橋堰は、綾瀬川中川合流点から31.9kmの大宮市と岩槻市境にあり、この堰は上流の見沼代用水で導水され水田で利用された落とし水を集水し、¹⁾ 堰付近の水田で灌漑用水として利用されている。堰による水位の影響がある地点は堰上流約5kmの上尾市瓦葺までである。

調査はその下流2kmの妙見橋で、昭和60年9月5日午前6時から翌6日午前6時まで18回採水、流量観測を行った。堰の開放時刻は昭和60年9月5日午前8時であった。

流量は、あらかじめ横断面を求めておき、流心の水位(水深)と流速から推定した。

分析項目はpH、EC、DO、BOD、COD、SS、強熱減量(Ig・loss)、NH₄-N、PO₄-P、T-N、T-P、Clである。

分析法として、Ig・lossはSSで用いたガラス繊維口紙(whatman GF/B)を550℃で2時間強熱後の

重量から求めた。NH₄-Nはイオン電極法、T-NとT-Pはペルオキシ二硫酸カリウムによるオートクレーブ分解後、T-Pはアスコルビン酸還元-モリブデン酸吸光度法、T-Nは紫外部220nmの吸光度法によって分析した。その他の項目はJIS K-0102工場排水試験法に準拠して行った。

3 結果と考察

3・1 綾瀬川上流域の水質の特徴

綾瀬川大橋堰及び妙見橋には既存の水質データがないので、埼玉県水質測定計画の環境基準点である堰橋(C類型：中川合流点から23.6km、大橋堰下流8.3km)の水質データを用いて解析を行った。図2に埼玉県環境水質情報システム³⁾のデータ(昭和59年度)を用いて、流域面積、夜間人口などの流域別の構成を示した。

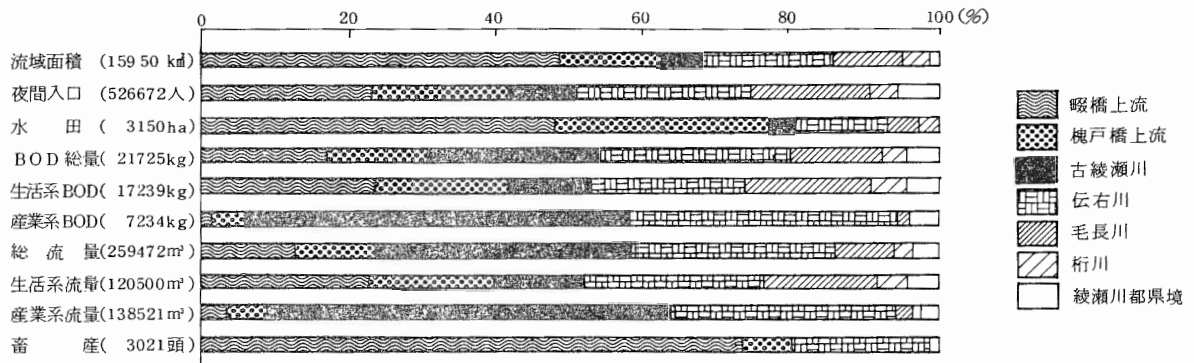


図2 綾瀬川流域の汚濁負荷割合
() 全流域の合計・単位

堰橋上流域を綾瀬川全流域と比較すると、流域面積が全流域の約48%を占めるのに対して人口と生活系排水量、BOD負荷量は約23%で、産業系排水量とBOD総量はそれぞれ約4、2%に過ぎない。また水田面積は約47%を占める田園地帯であるが、東京への通勤圏として宅地等の開発により人口は増加しているところから今後は水質の悪化が懸念されている。これに対して、綾瀬川下流部には、古綾瀬川、伝右川、毛長川及び桁川の汚濁の著しい支川が流入し、その流域は人口が密集し、工場・事業所排水や生活雑排水による汚濁

負荷量の大きいことがわかる。

また堰橋(環境基準：C類型)の13年間のデータ⁴⁾を基に、BODの年平均値と75%非超過確率値の経年変化(昭和47年-59年)の推移を図3に示した。年平均値、75%非超過確率値とも同じ傾向を示し、年ごとに大きく変動をしており、BODの環境基準を少し超過し、悪化の傾向がみられる。また、BODの季節変動をみるために月平均値を最大、最小値と共に図4に示した。それによると、6月から10月の期間は、BOD濃度が低く、最大と最小値の差があまりない時期であり、

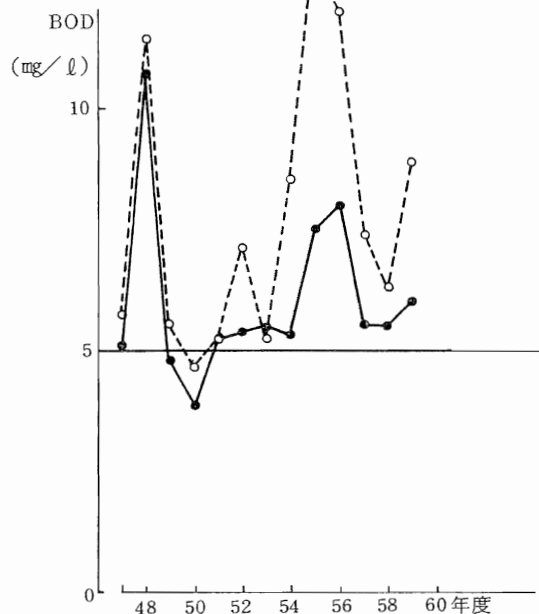


図3 堰橋のBODの経年変化

---○--- 75%超過確率値
 —●— 年平均値
 — 環境基準(C類型)

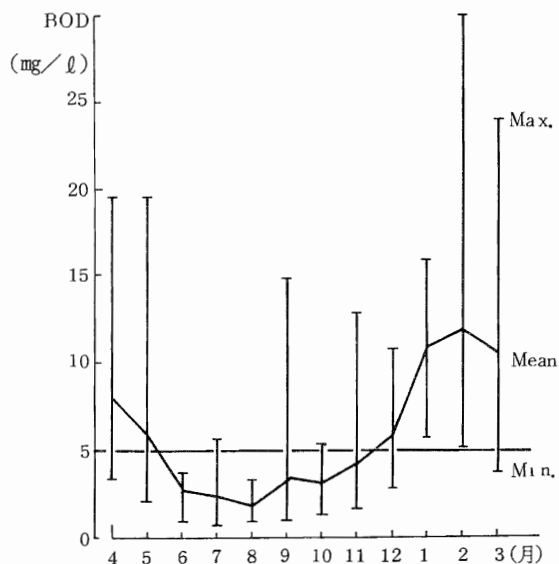


図4 堰橋のBOD平均値の経月変化

11月から翌年5月はBOD濃度が高く、差が大きい。この変動は、堰橋上流の水田の“落とし水”の影響によるものと思われ、それがある時期は水質は良好で、秋か

ら冬にかけて流域の生活雑排水がほとんどになる時期には、悪化するものと考えられる。

表1 相関マトリックス

	水温	DO(%)	BOD*	COD*	SS*	EC*	T-N	T-P*	降雨量
水温	1.000	0.359	-0.887 ^{††}	-0.703	-0.120	-0.934 ^{††}	-0.909 ^{††}	-0.177	0.725 ^{††}
DO(%)		1.000	-0.176	-0.020	0.208	-0.300	-0.284	0.606 ⁺	-0.183
BOD			1.000	0.907 ^{††}	0.050	0.768 ^{††}	0.832 ^{††}	0.448	-0.618 ⁺
COD				1.000	0.634 ⁺	0.548	0.750 ^{††}	0.562 ⁺	-0.501
SS					1.000	-0.099	0.124	0.438	0.042
EC						1.000	0.913 ^{††}	0.123	-0.712 ⁺
T-N							1.000	0.164	-0.650 ⁺
T-P								1.000	-0.465
降雨量									1.000

* 対数変換したもの
 †† 有意水準1%で相関あるもの
 + 有意水準5%で相関あるもの

堰橋の水質データ（昭和47-59年度）の月別平均値を代表値として、主成分分析⁵⁾を行った。過去13年間のデータについて項目ごとの確率プロットによる正規性の検定を行った結果、BOD、COD、SS、T-Pは対数正規分布に、他の項目は正規分布に属することが分かり、BOD、COD、SS、T-Pは原データを対数変換を行い、月別の平均値を求めた。各項目間の相関は、表1のとおりであり、表中に有意水準1%で相関のあるものに++を、有意水準5%で相関のあるもの

に+を付した。それによると、水温(WT)はBOD、COD、EC、T-Nと負の相関があり、降水量と正の相関があることがわかる。BODはCOD、EC、T-Nと正の相関、降水量と負の相関があった。SSはCODと、DO(%)はT-Pだけにそれぞれ相関が認められた。DO(%)は水温の影響を除いたために他の項目と相関が認められなかったものと思われる。BOD、COD、EC、T-Nは水温と負の相関があることから、水質は冬に悪化し、夏に好転することが分かる。

表2 各主成分の固有ベクトル・因子負荷量・寄与率

	固有ベクトル			因子負荷量			寄与率	
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	ν ₁	ν ₂
水温	-0.4186	0.2016	0.0257	-0.9432	0.2932	0.0275	0.8896	0.9755
DO(%)	-0.0625	0.5576	-0.4468	0.1408	0.8110	-0.4786	0.0198	0.6775
BOD*	0.4269	0.0696	0.1975	0.9619	0.1012	0.2115	0.9252	0.9354
COD*	0.3860	0.2101	0.2830	0.8697	0.3055	0.3031	0.7563	0.8497
SS*	0.1496	0.4469	0.5828	0.3371	0.6500	0.6243	0.1136	0.5361
EC	0.3857	-0.2671	-0.2143	0.8691	-0.3884	-0.2295	0.7553	0.9061
T-N	0.4085	-0.1791	0.0110	0.9204	-0.2605	0.0117	0.8471	0.9149
T-P*	0.1920	0.5428	-0.2191	0.4326	0.7895	-0.2347	0.1871	0.8104
降雨量	-0.3396	0.0552	0.4967	0.7652	0.0802	0.5321	0.5855	0.5919
固有値	5.0776	2.1156	1.1478					
寄与率	0.5641	0.2350	0.1275					
累積寄与率	0.5641	0.7991	0.9266					

* 対数変換したもの

次に相関行列を用いて固有値、因子負荷量、寄与率を求め、その結果を表2に示した。それによると第一、第二主成分で全データの約80%を集約することができ、第一主成分で因子負荷量の大きい項目はBOD、COD、EC、T-N、降雨量で正の値を示し、また水温は負の値を示した。第二主成分ではDO(%)、SS、T-Pが大きな正値を示した。第一主成分に大きな寄与率を持つ項目は人為的な汚染と気象因子の項目であり、第二主成分のそれらは濁り等に関連する項目であるものと思われる。第一、第二主成分についての各月別の得点(スコア)を計算し、図5にスコア散布図を示した。横軸は第一主成分で、右にいくに従って人為的な汚濁が大きくなり、縦軸は第二主成分で、上にいくに従って濁り等が増加することを意味している。2月が人為的な汚濁等の最も大きい月であり、月の経過と共に水質は好転する。また、9月に水質の急激な水質の変化がみられる。第二主成分のスコア値が減少した

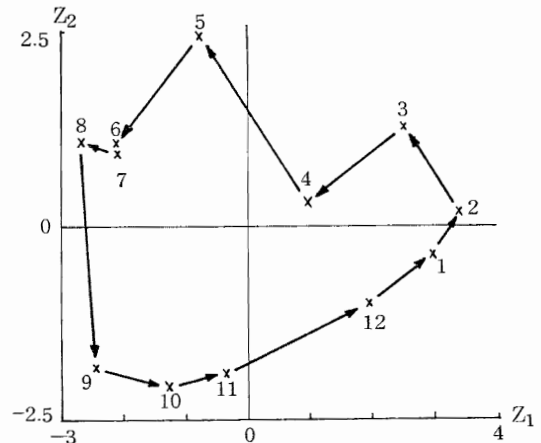


図5 主成分分析によるZ₁, Z₂スコア散布図
図中の数字は月を表す

ためである。これは、灌漑用水が不要となる時期と一致する。灌漑用水の落水がなくなると、湧水など特定の水源を持たない綾瀬川上流域の流量は減少し、流速が遅くなりSS分も沈殿しやすくなることによるものと思われる。10月以降、水質は悪化する方向に向かう。以上の要因によって、スコアー散布図は月の経過

とともに左回りする特徴的なパターンとなった。

3・2 堰の開放時の水質・流量変化

3・2・1 堰下流の妙見橋での観測

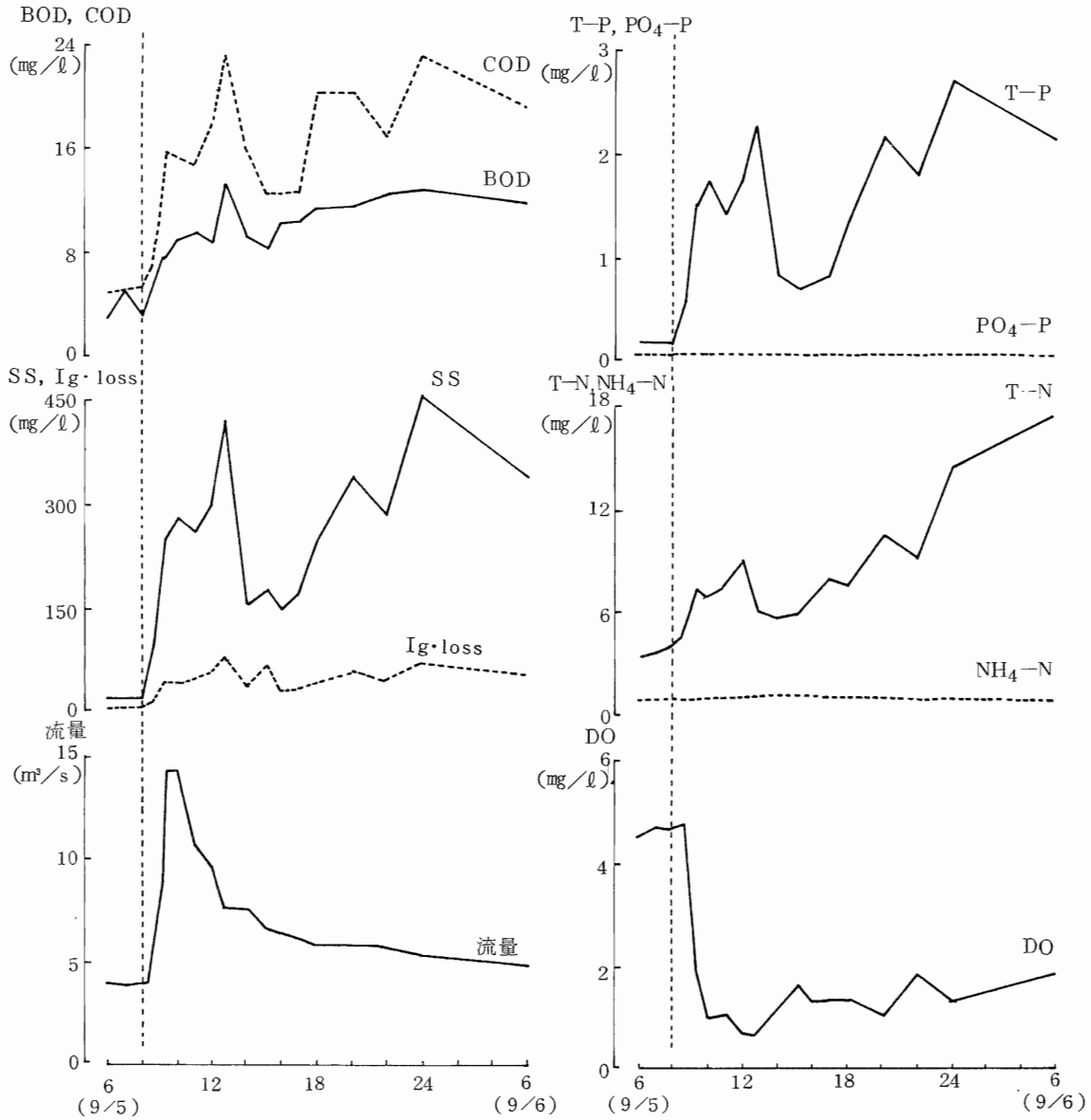


図6 綾瀬川妙見橋での流量・水質変化

大橋堰が開放された9月5日の、妙見橋での流量、水質の時間変動について図6に示した。堰開放前の流量は3.7-3.9m³/secであり、開放後の流量は20分後の8時20分に増加が認められ、10時頃（流量の増加が認められてから約70分後）に最大に達し、14.2m³/secであった。その後指数関数的に減少し9月6日午前6時には4.7m³/secまで減少した。

水質についてみると、DOは開放前で平均4.6mg/lであったが、開放後急激に1mg/l前後に減少した。12時45分に最小値の0.6mg/lになり、魚の鼻上げ状態がみられた。その後1.8mg/lまでゆっくりと回復した。

BODとCODは開放前でそれぞれ平均34、5.0mg/lであり、開放後は流量の増加と共に増加し、流量が最大になる10時に第一のピークに達した後、12時45分に最大となった（BOD 13.5mg/l、COD 22.9mg/l）。一旦減少し再び増加傾向を示した。SS、T-PはBOD、CODと同様の挙動を示し、12時45分に最大に達した（SS 423mg/l、T-P 2.3mg/l）。T-Nは開放後に段階的に増加したが、PO₄-PとNH₄-Nは堰の開放前後であまり大きな変化がなかったことから、T-PやT-NはSS起源によるもので、沈澱しやすい状態であることがうかがわれる。図には示さなかったが、pH、EC、Clは堰が開放されてもほとんど一定であった。

これらのことから、水質汚濁濃度は流量が最大となる10時頃に第一のピークを生じたが、12時45分に最大を示す項目が多い。これは堰の開放により貯留していた表面水が堰から妙見橋までの区間の底質を巻き上げによって、水質濃度が第一のピークとなった。その後貯留水が流下することによって、堰に溜っていた沈澱物が流下したために第一のピークから約3時間後の12時45分に最大となり、一旦減少の後に、堰上流域の底層水の流下で濃度は増加したものと思われる。

3・2・2 妙見橋に流下した総流量と汚濁負荷量

9月5日6時から6日6時までの24時間の妙見橋に流下した総流量と汚濁負荷量を推定した。総流量は測定時間間隔の中間の流量を計算し、経過時間を乗じて、それを総和した。水質項目の流下負荷量は、同様に流量とその濃度及び経過時間を乗じて総和した。その結果を表3に示した。表中の“堰開放日”がそれに当たる。

また、堰開放前（9月5日6時～8時）の水質濃度の平均値にその時の平均流量と86,400秒（1日）を乗じて求めたものを表中の“堰開放前”として示す。堰開放前の流量と水質が比較的一定なので、それら変動しないと仮定して、堰開放日の流出負荷量から堰開放前のそれを差し引いたものを堰の開放によって流出した負荷量と考えた。

表3 綾瀬川妙見橋における流下負荷量
(単位: kg/day, 流量m³/day)

	DO	BOD	COD	SS	Ig. loss	T-N	T-P	流量
堰開放日*	885	5629	9340	152691	26583	5101	900	549300
堰開放前**	1535	1133	1668	5619	1970	1177	56	331000
差***	-650	4496	7672	147072	24613	3924	844	218300

* 9月5日6時から6日6時までの総流量と水質項目の汚濁負荷量

** 9月5日6時から8時までの平均流量と水質項目の平均値から求めた汚濁負荷量

*** “堰開放日”から“堰開放前”を差し引いたもの

その結果、9月5日6時から6日6時までの24時間に妙見橋を通過した総流量は約550,000m³であり、堰開放前の330,000m³の総流量を差し引いた約220,000m³が堰の上流に貯留していた水量であると考えられる。また、1日で流下した汚濁負荷量は、BOD、COD、SSについてそれぞれ5.6、9.34、152tであった。また

妙見橋上流と堰に貯留されていた量はそれぞれ4.5、7.6、147tで、堰開放前のそれぞれ4.0、4.5、26日分に相当する。またDO不足量は0.65tである。大橋堰の開放は、下流域に多量の水質汚濁物質を供給し、堰開放後は灌漑用水の落水の枯渇による流量の減少により水質が悪化するものと考えられる。

1 まとめ

1 綾瀬川上流の堰橋の過去13年のデータを基に統計解析した結果、次のことが分かった。

- (1) BODの経年変化は大きく変動しているがやや悪化の傾向がみられる。経月変化では、6月から10月までの灌漑用水の豊富なきは良好であるが非灌漑期の11月から5月までの期間は悪化する。
- (2) 水質データの月別の平均値を用いて主成分分析を行った結果、第一主成分は人為的汚染、第二主成分は濁り等の要因と考えられる。
- (3) 第一主成分（縦軸）と第二主成分（横軸）のスコア散布図をみると月の経過と共に明白に左に回転する。
- (4) 8月から9月の間のスコア値の急激な変化は堰の開放と灌漑用水の枯渇によって水質変化を及ぼすものと思われる。

2 綾瀬川大橋の堰の開放による妙見橋の水質と流量変動から次のことが分かった。

- (1) 9月6日8時に堰を開放した影響として下流2kmの妙見橋では約20分後に水位の上昇が認められた。
- (2) 流量は9時50分から10時に最大に達し、その流量は142 m³/secであった。
- (3) pH、Cl、EC、PO₄-P、NH₄-Nは堰の開放によって、大きな変動がみられなかった。
- (4) BOD、COD、SS、T-N、T-Pは、流量が最大の時に濃度はピークを示し、12時45分に最大となり、その後減少し再度徐々に増加した。これは堰上流の底層水が遅れて流下したと思われる。
- (5) DOは堰の開放によって、4 mg/lから1 mg/lに減少し、その後ゆっくりと回復した。
- (6) 大橋堰の上流に貯留していた水量は約220,000 m³であった。
- (7) 堰の開放によって流出したBOD、COD、SSの汚濁負荷量はそれぞれ4.5、7.6、147 tであり、堰開放前の流下量の40、4.5、26日分に当たる。

3) 埼玉県環境部：埼玉県水質環境情報システム（1982）

4) 埼玉県環境部：埼玉県公共水域水質測定結果（資料編）（1972 - 1984）

5) 脇本・垂水・田中：パソコン統計解析ハンドブック①基礎統計編，②多変量解析（1984）（共立出版）

文 献

- 1) 渋谷・吉原・植野・石山：埼玉県公害センター年報，〔6〕，37 - 42（1979）
- 2) 江戸川工事事務所：綾瀬川水質状況調査報告書（1979）