

桂川（相模川）水系の多地点通日測定結果

I 流量・水質の日間変化と窒素・りん組成

飛田修作 笠井和平
 沢登春成 鷹野茂夫
 高橋照美

堤 充紀 小林規矩夫
 清水源治 長田照子
 青柳けい子

流路の長い河川を上流から下流まで俯瞰し、流下に伴う流量と水質の変化の要因を解析しようとする一般的な調査手法は、方法論としてもいまだ確立されていないように思われる。データが河川上のいくつかの地点について蓄積されている場合は、地点ごとの平均値を上流から下流へと並べて平均流量、平均水質として一応概観もできようが、個々の調査時の特殊条件が捨象されるため細部の解析にあたって一定の限界が生じる。また、以上のようなデータの蓄積のみでは、水系の流量・水質の日間変化の把握とその要因の解析はもとより不可能である。

我々が先に富士川水系を調査した際に採用した多地点通日測定と呼ぶ調査手法は、文字通り多地点にわたって流量と水質を同時通日測定し、丸一日という極めて限定された時間ではあるが、水系の上流から下流までその一日の様子を切り取って俯瞰することを目的とした手法で

ある^{1,2)}。今回は引き続き同じ手法を用いて桂川（相模川）水系について実施した調査の結果を2報に分けて報告する。

山中湖に源を発する相模川は、相模湾に注ぐまでの幹線流路延長 109 km、流域面積 1,680 km² ³⁾、山梨県内においては桂川と呼びならわされ、主に水力発電、農業用水に利用されているが、相模湖（ダム）に至って神奈川県の上水道の水源地となるため、上流における水質汚濁の問題が表面化している⁴⁾。

調査方法

基本的に前回の富士川水系についての調査方法¹⁾を踏襲した。すなわち、1983年11月24日(木)午前12時から翌日の午前9時まで3時間おきに8回、現場測定と採水を

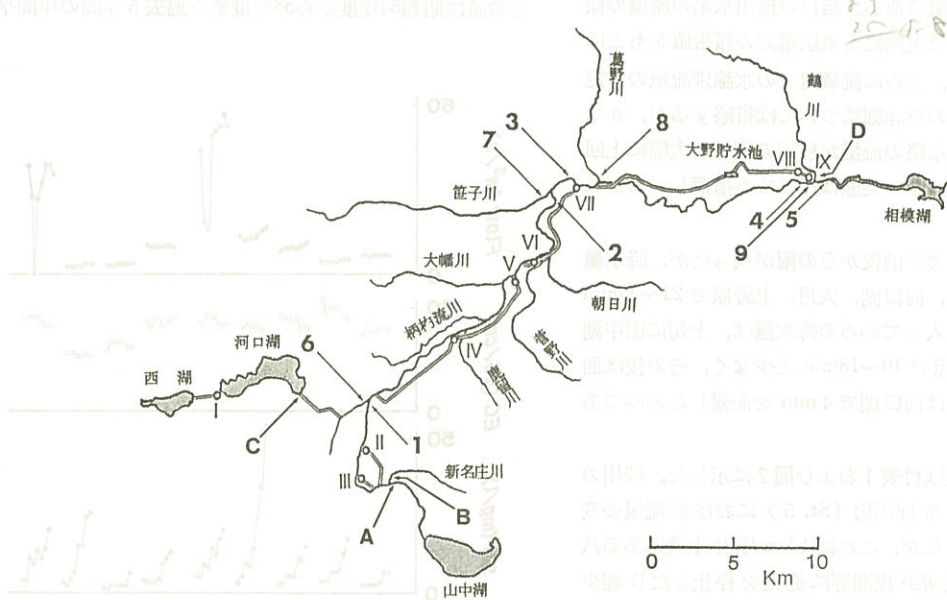


図1 桂川水系調査地点および東京電力取水放水経路
 1~9, A~D: 調査地点, ○ I~IX: 東京電力発電所
 — : 発電用水路

して調査を行った。調査地点は図1に示した桂川の5地点(St. 1~5)のほかにも4支川の各流末(St. 6~9)、合計9地点である。このほかにもA~Dの4地点において同じ調査期間内に2回採水して通日調査を補足した。支川は水量または水質が本川に与える影響が大きいと思われるものを選んだ。なお、St. 9は大野貯水池経由の発電用水の最終放水口である。採水は流心とし、分析は汚濁負荷に関する項目および地球化学的な主要項目をほとんど網羅して行った。流量測定は昭和測量(株)に委託したが、採水時の水位標の読みとりは筆者らが行った。通日調査にあたって現地にも3つの基地を設け、採水等に合計3台の乗用車と延べ16人を動員し、別に基地と当研究所とを結ぶサンプル収集車1台を使用した。

分析手法

試料の保存、前処理、分析方法は前報¹⁾に準じた。窒素、りん、有機炭素の形態別分類も前報に準じたが、N, P, OCの前につけた略号D, T, P, O, Iはそれぞれ溶存態、全、粒状態、有機態を意味する。なお、今回は縮合りん酸態りんを分析項目から除外し、一方、新たに大腸菌群数(デスオキシコレート培地法⁵⁾)を加えた。

測定結果と考察

1. 流量について

桂川水系の利水状況⁶⁾をみると、発電用水と農業用水が主なもので、桂川の流量に最も大きな影響を与えるのは発電用水の使用量である。当日の桂川水系の流量の様子は、堤が別報⁷⁾で実測値と東京電力の報告値をもとに明らかにしており、さらに流域内での水源別流量の推定値も報告しているので詳細については省略するが、かなりの区間で発電用水路の流量が桂川の流量を大幅に上回っていたという由々しい実態はここでも指摘しておかねばならない。

調査当日の朝方まで前夜からの雨が残ったが、降水量は山中湖で40mm、河口湖、大月、上野原で21~25mmであった。11月に入ってからの降水量は、上旬に山中湖21mm、他の3地点で10~18mmと少なく、その後は通日調査2日前までは河口湖で4mmを記録したのみである⁸⁾。

流量の日間変化は付表1および図2に示した。桂川の上流山梨県流末にあたる桂川橋(St. 5)における流量の変動が最も大きかったが、これは1kmほど上流にある八ツ沢、松留両発電所が夜間等に発電を停止したり縮少し、その間はSt. 9からの放水を中断して発電用水を大野貯水池に貯水するためである。次いで葛野川の流末(St. 8)の流量変動率が大きかったが、もともと流域面

積が小さいので降雨の影響の現れと思われる。しかし以上の3地点(St. 5, 8, 9)を除くと、降雨の直後にもかかわらず本川、支川の流量変化は変動係数で1.4~14%とわずかであった。これは当日朝方までの降水量と考え合わせると、上流部の富士溶岩地帯の透水性の良さとも大いに関係していると推測される。

2. 水質の日間変化について

水質の日間変化の様子を代表的な項目について図示すると、まずEC(電気伝導度)とSSについては図2のようになる。ECはすべての地点と時刻で78から164 μ S/cmの間で、個々の地点における変動はわずかであった。またSSはいずれの地点においても降雨のあとの影響で調査開始時に最も濃度が高く、その後は減少の方向にあった。

次にDO, BOD, COD, TOCの日間変化について図3に示した。DOは概ね水温の変化と逆方向を示し、季節が初冬でpH変化がほとんどなかったことから、光合成はDO変化の主因とはなっていない。BODの日間変化には平常時の人間活動に加えて堆積物の流出など降雨の影響が予想された。St. 4では12時から15時までの間のBODの急激な変化がSSの変化と類似しており、降雨の影響をかなり受けたと考えられる。一方、富士吉田市(54,000人)の市街地を貫流する宮川の流末(St. 6)では18時から翌朝9時までの間、深夜3時に極小を示し、人間活動のリズムの反映と解釈される。県境のSt. 5では変化が最も少なく、日間平均値は2.0mg/lで、この値は昭和54年度から58年度まで過去5年間の年間平

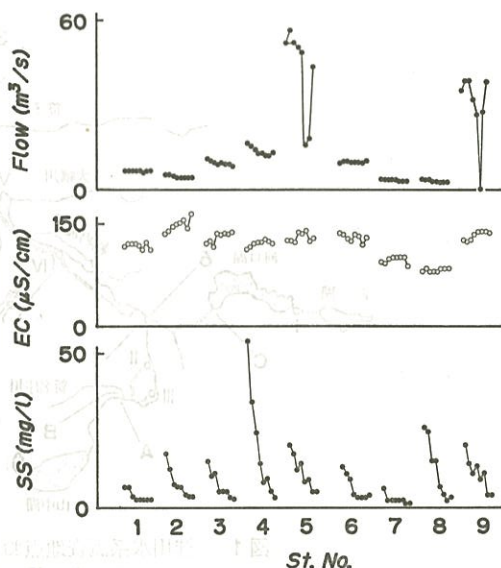


図2 流量、EC、SS濃度の地点ごとの日間変化

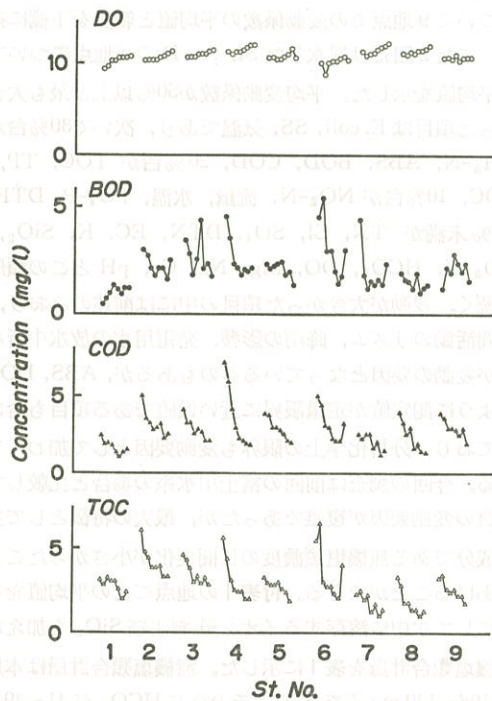


図3 DO, BOD, COD, TOC 濃度の地点ごとの日間変化

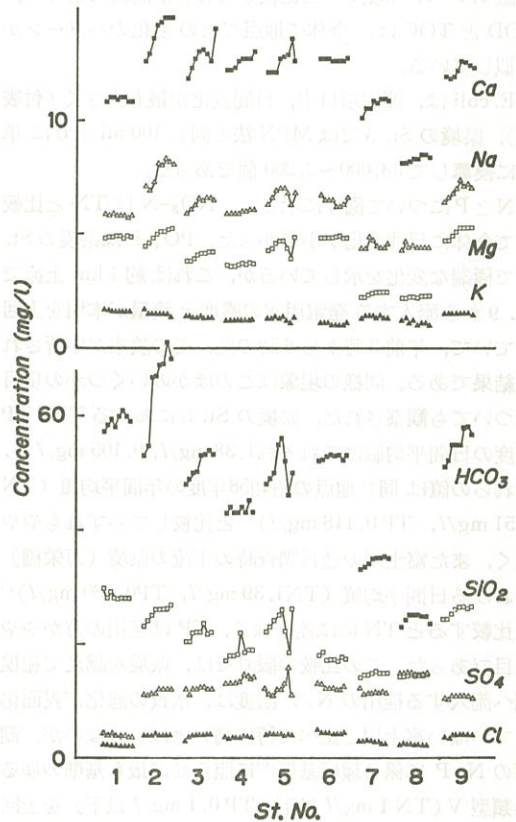


図5 主要カチオン, アニオンと SiO₂ 濃度の地点ごとの日間変化

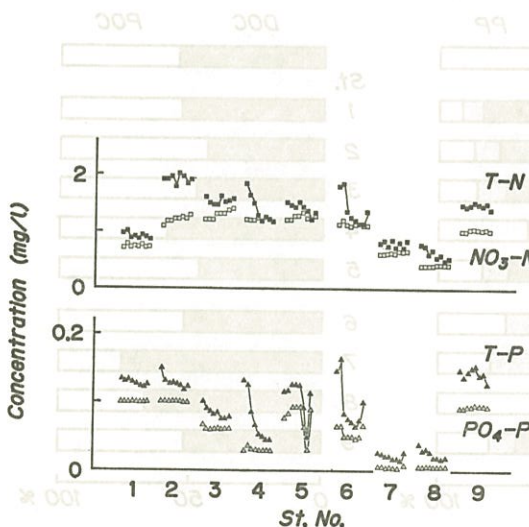


図4 TN, NO₃-N, TP, PO₄-P 濃度の地点ごとの日間変化

表1 桂川水系のイオンと無機塩類濃度

St. No.	(mg/l)			
	カチオン	アニオン	全イオン	無機塩類*
1	23.3	68.9	92.2	120.6
2	27.7	86.8	114.5	140.1
3	24.8	72.2	97.0	118.6
4	23.3	65.5	88.8	107.5
5	25.2	71.8	97.0	120.4
6	25.1	73.6	98.7	116.2
7	18.8	51.7	70.5	85.2
8	16.1	43.2	59.3	73.7
9	25.7	74.7	100.4	126.2

*全イオン+SiO₂

均値 1.1~1.7 mg/l⁹⁾と比較してわずか高目であった。COD と TOC は、全体に地点ごとの変化のパターンが酷似している。

E. coli は、測定項目中、日間変化が最も大きく(付表 1)、県境の St. 5 では MPN 法と同じ 100 ml 当りに単純に換算して 38,000~2,200 個であった。

N と P について図 4 に示した。NO₃-N は TN と比較して全体に日間変化が小さかった。PO₄-P は県境の St. 5 で極端な変化を示しているが、これは約 1 km 上流で St. 9 から流入する発電用水の濃度と流量が本川を上回っていて、午前 3 時から 6 時の間、その放水が中断された結果である。同様の現象はこのほかのいくつかの項目についても観察された。県境の St. 5 における TN, TP 濃度の日間平均値はそれぞれ 1.38 mg/l, 0.105 mg/l で、これらの値は同じ地点の昭和 58 年度の年間平均値 (TN 1.51 mg/l, TP 0.118 mg/l)⁹⁾と比較していずれもやや低く、また富士川の通日調査時の下流の県境(万栄橋)における日間平均値 (TN 1.39 mg/l, TP 0.080 mg/l)¹⁾と比較すると TN には差がなく、TP は桂川の方がやや高目であった。この比較の限りでは、県境を越えて相模湖へ流入する桂川の N, P 濃度は、水質の悪化が表面化していない富士川と比べて特に高いとはいえないが、湖沼の N, P に係る環境基準¹⁰⁾に照らせば最も基準のゆるい類型 V (TN 1 mg/l 以下, TP 0.1 mg/l 以下)を上回っており、相模湖の環境基準のあてはめいかんでは具体的な目標値が設定されることになろう。

次に地球化学的な水質の主成分であるカチオン、アニオンおよび SiO₂ の日間変化を図 5 に示した。これらの成分は総じて日間変化が少ないが、St. 5 では前述のよ

うに St. 9 での放水中断に対応して K, Mg, SO₄, SiO₂ が変化している。

これらの測定結果からこの時の地点ごとの平均値と変動係数を計算した結果が付表 1 である。同表には各項目について 9 地点での変動係数の平均値と範囲を下欄に掲げ、また 2 回だけ採水した St. A~D の 4 地点についても平均値を示した。平均変動係数が 50% 以上と最も大きかった項目は E. coli, SS, 気温であり、次いで 30% 台が NH₃-N, ABS, BOD, COD, 20% 台が TOC, TP, DOC, 10% 台が NO₂-N, 流量, 水温, PO₄-P, DTP, 10% 未満が TN, Cl, SO₄, DTN, EC, K, SiO₂, NO₃-N, HCO₃, DO, Mg, Na, Ca, pH とこの順序で続く。変動が大きかった項目の中には前述のとおり、人間活動のリズム、降雨の影響、発電用水の放水中断などが変動の要因となっているものもあるが、ABS, DOC のように測定値が定量限界に近い低値である項目も含まれており、分析化学上の限界も変動要因として加わっている。今回の調査は前回の富士川水系の場合と比較して水質の変動要因が複雑であったが、最大の特徴として主要成分である無機塩類濃度の日間変化が小さかったことをあげることができる。付表 1 の地点ごとの平均値をもとにして水中に溶存するイオン量および SiO₂ を加えた無機塩類合計量を表 1 に示した。無機塩類合計量は本川で 108~140 mg/l であり、そのうち HCO₃ が 41~49% を占めていた。

3. 窒素, リン, 有機炭素の組成について

付表 1 の平均値をもとに地点ごとの N, P, OC の各態組成を図 6 に示した。TN に対する各態 N の百分率組

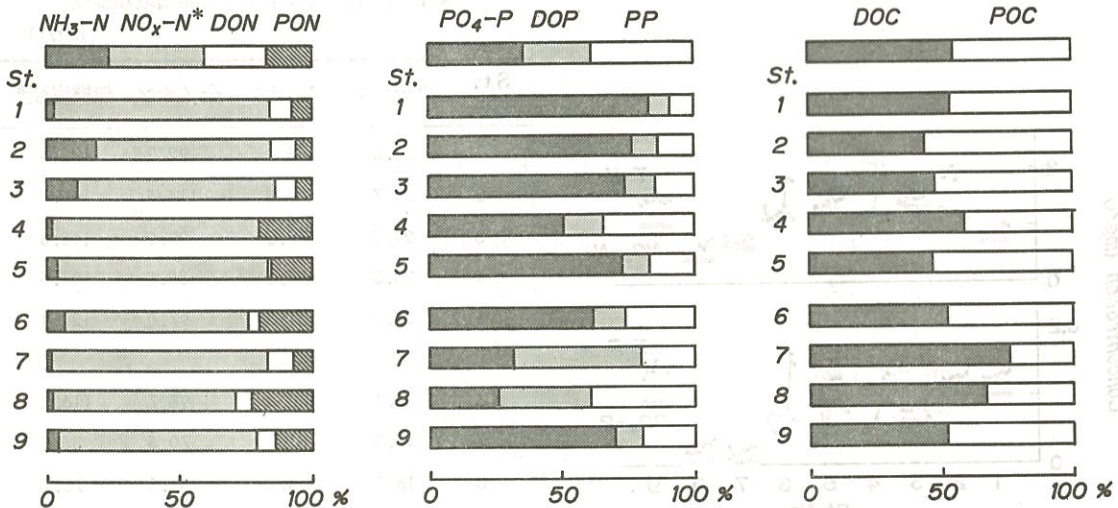


図 6 地点ごとの窒素, リン, 有機炭素の組成

* NO_x-N=(NO₂-N)+(NO₃-N)

成は $\text{NO}_3\text{-N}$ が全体の65~81%を占め、また $\text{NO}_3\text{-N}$ は TIN ($\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}$) の76~97%を占めていた。したがって今回調査した地点ではNは大部分が溶存態であり、しかもほとんどが好氣的に無機化されていたことになる。これらの結果は前回の富士川¹⁾の場合とほとんど変わらない。また TN 濃度は補足調査の4地点を含めて0.6~1.9 mg/l であり、農業用水として望ましいとされる1 mg/l 以下となっていたのは13地点中わずかに5地点にすぎなかった。Pの百分率組成は、DTP ($\text{PO}_4\text{-P} + \text{DOP}$) がTPの61~91%を占め、Pもまた大部分が溶存態であった。また $\text{PO}_4\text{-P}$ のDTPに占める割合は、TP濃度が極端に低い2地点 (St. 7, 8) の例外を除くと78~91%であった。OCについては3地点 (St. 2, 3, 5) を除いてDOCがTOCの50%以上を占めていた。

最後にSS中のOC, N, Pの平均含有量を表2に示した。このうちOC含有量の低いSt. 4, 8のSSはより鉱物性が強く、流量その他の指標からも降雨の影響を強く受けた結果と見ることができる。ここにはデータを示していないがSt. 4におけるSSのOC含有量の時間的変化は、降雨の影響がうすれてSS濃度が下降するにつれ

表2 SSの有機炭素, 窒素, りん組成(%)

St. No.	OC	N	P
1	40	2.33	0.37
2	33	1.74	0.24
3	26	1.24	0.17
4	6.8	1.46	0.15
5	13	2.02	0.16
6	32	4.63	0.46
7	25	3.00	0.20
8	5.8	1.16	0.08
9	11	1.85	0.24

OC含有量は上昇し、SSが10 mg/l 以下になるとOC, N, Pとも下流のSt. 5の平均組成にまで近づくのが観察された。

む す び

桂川水系9地点の同時通日調査により、水質の日間変化を中心に次のような知見を得た。

1. 水質は主に人間活動のリズム、降雨、発電用水の放水中断に影響されて変化した。日間変化の小さいものから並べると、pH, Ca, Na, Mg, DO, HCO_3 , $\text{NO}_3\text{-N}$, SiO_2 , K, EC, DTN, SO_4 , Cl, TN, DTP, $\text{PO}_4\text{-P}$, (水温), (流量), $\text{NO}_2\text{-N}$, DOC, TP, TOC, COD, BOD, ABS, $\text{NH}_3\text{-N}$, (気温), SS, E. coli の順であった。
2. 9地点の無機塩類濃度は108~140 mg/l で、そのうちの33~49%が HCO_3 であった。また EC は81~148 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。
3. N, Pは大部分が溶存態であり、TNの65~81%が $\text{NO}_3\text{-N}$, また濃度が極端に低い2地点を除くとTPの51~83%が $\text{PO}_4\text{-P}$ であった。

文 献

- 1) 堤 充紀ら：山梨衛公研年報 27, 25~32 (1983)
- 2) 堤 充紀ら：山梨衛公研年報 27, 33~37 (1983)
- 3) 東京天文台編：理科年表 p. 643 丸善 (1984)
- 4) 相模川水系事業者水質連絡協議会：相模川水系総合調査報告書 (1979)
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法 (1974)
- 6) 国土庁：静岡県東部・山梨県東部地域主要水系調査書 (1982)
- 7) 堤 充紀：山梨衛公研年報 27, 44~47 (1983)
- 8) 甲府地方気象台：山梨県気象月報, 昭和58年11月
- 9) 山梨県：公共用水域水質測定結果, 昭和54~58年各年度
- 10) 環境庁告示第140号“湖沼の窒素及び隣に係る環境基準” (昭和57年12月25日)

付表 1 桂川水系通日調査測定結果と変動係数

St. No.	地点名	山中湖流出口からの距離 Km	標高 m	気温 °C	水温 °C	流量 m ³ /sec	PH 比色法	PH 電極法	EC μS/cm	SS mg/l	DO mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	DOC mg/l	TOC mg/l	E.coli 個/ml	ABS mg/l
A	忍野*	5	925	-	-	-	7.3	8.0	107	2	8.6	0.8	1.0	1.3	2.1	19	0.01
1	小明見橋	12	745	9.6(56)	10.0(13)	6.55(1.9)	7.5(0.5)	8.2(2.1)	117(3.0)	3(58)	8.8(5.3)	1.0(31)	1.6(28)	1.4(25)	2.7(16)	155(41)	0.08(39)
2	大月橋	33	360	8.4(58)	10.8(11)	4.60(1.1)	7.5(0.7)	8.0(1.8)	148(6.6)	7(88)	10.2(3.6)	2.3(21)	3.1(27)	1.8(18)	4.1(22)	192(62)	0.04(30)
3	埴瀬橋	36	305	8.9(52)	10.1(12)	9.61(7.0)	7.4(0.8)	8.0(0.4)	129(6.0)	7(84)	10.4(2.9)	2.6(34)	2.8(25)	1.6(12)	3.4(20)	137(47)	0.05(15)
4	悉聖寺	52	165	8.9(50)	8.8(16)	13.7(14)	7.4(1.0)	7.8(1.9)	120(4.3)	19(83)	11.0(2.8)	2.6(38)	3.4(59)	1.6(25)	2.9(44)	137(114)	0.03(35)
5	桂川橋	53	164	10.2(57)	10.3(15)	42.2(37)	7.4(0.8)	7.9(1.3)	129(5.1)	11(49)	10.3(3.8)	2.0(18)	2.7(24)	1.2(15)	2.6(16)	162(83)	0.05(26)
B	新名庄川流末	-	925	-	-	-	7.2	7.6	140	6	8.2	1.2	1.9	1.6	2.8	233	0.02
C	河口湖放水路	-	830	-	-	-	7.4	7.9	121	3	9.2	1.1	2.4	1.6	3.1	90	0.02
6	宮川流末	-	730	10.2(55)	10.5(6.4)	10.0(1.4)	7.4(0.0)	7.8(0.7)	129(4.3)	6(88)	8.6(6.0)	3.0(47)	3.0(35)	1.6(14)	3.5(45)	227(59)	0.10(43)
7	榎子川流末	-	380	8.3(63)	8.7(19)	3.12(7.0)	7.3(1.1)	7.7(0.8)	95(4.7)	2(70)	10.9(4.3)	2.0(54)	1.9(28)	1.3(22)	1.7(30)	44(61)	0.03(38)
8	葛野川流末	-	300	8.8(53)	7.8(16)	2.77(22)	7.1(1.1)	7.7(1.8)	81(2.6)	12(80)	10.8(2.7)	1.5(23)	2.2(43)	1.1(29)	1.6(44)	18(78)	0.02(45)
9	松置放水路	-	165	10.1(52)	11.3(14)	29.3(44)	7.4(0.6)	7.9(0.8)	131(4.9)	11(49)	10.1(2.0)	2.0(28)	2.8(21)	1.3(16)	2.5(22)	163(91)	0.04(39)
D	鶴川流末	-	165	-	-	-	7.3	7.8	135	4	11.4	2.3	1.7	1.3	2.9	107	0.08

変動係数	平均値 (%)	最小-最大
55	14	16
50-63	6.4-19	1.4-44
	0.0-1.1	0.4-2.1
	2.6-6.6	4.9-93
	2.0-6.0	18-54
	21-59	32
	18-45	29
	41-114	71
	15-45	34

St. No.	NH ₃ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	DTN mg/l	TN mg/l	PO ₄ -P mg/l	DTP mg/l	TP mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	C ¹⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
A	0.017	0.001	0.54	0.61	0.65	0.100	0.107	0.109	4.95	1.41	8.6	4.77	1.9	2.9	56.3	26.4
1	0.026(17)	0.003(25)	0.73(2.4)	0.84(4.9)	0.91(6.2)	0.105(1.8)	0.115(2.2)	0.126(3.2)	5.82(1.0)	1.84(3.5)	10.9(0.9)	4.88(0.9)	2.3(4.8)	4.1(5.8)	59.0(1.8)	28.4(2.2)
2	0.354(13)	0.022(5.6)	1.22(5.8)	1.77(2.7)	1.89(3.5)	0.097(2.4)	0.109(3.7)	0.126(7.4)	6.94(4.6)	1.47(6.0)	13.9(5.5)	4.95(5.9)	4.2(4.0)	11.6(5.1)	65.3(11)	25.6(5.0)
3	0.183(15)	0.022(4.5)	1.10(5.8)	1.42(5.2)	1.51(3.5)	0.081(4.3)	0.070(6.8)	0.082(11)	6.37(4.0)	1.34(2.5)	12.8(5.0)	4.04(4.2)	3.8(3.8)	12.0(4.3)	51.3(4.5)	21.6(3.8)
4	0.029(35)	0.014(16)	1.05(4.4)	1.09(4.7)	1.37(18)	0.039(14)	0.043(20)	0.073(49)	5.88(1.4)	1.19(2.2)	12.6(2.3)	3.65(1.0)	3.6(3.5)	13.6(5.4)	43.5(1.9)	18.7(6.8)
5	0.058(28)	0.023(25)	1.07(5.0)	1.16(5.4)	1.38(6.8)	0.077(27)	0.087(26)	0.105(26)	6.89(4.1)	1.30(7.4)	12.7(3.8)	4.46(7.0)	3.9(5.0)	12.2(12)	50.7(6.4)	23.4(11)
B	0.047	0.005	1.28	1.36	1.51	0.084	0.089	0.109	6.05	2.29	13.5	7.18	3.2	6.9	66.6	32.4
C	0.055	0.007	0.46	0.54	0.66	0.005	0.011	0.022	4.87	0.80	12.0	4.28	3.5	10.2	51.5	11.6
6	0.093(34)	0.012(26)	0.94(3.5)	1.10(5.4)	1.38(21)	0.054(16)	0.065(21)	0.095(41)	6.42(2.8)	1.07(3.7)	12.7(0.4)	4.81(0.4)	4.3(4.8)	12.2(3.7)	52.6(1.0)	17.5(2.7)
7	0.013(78)	0.003(27)	0.64(3.9)	0.73(5.7)	0.78(6.8)	0.006(36)	0.014(18)	0.018(27)	4.51(2.6)	1.34(4.8)	10.7(2.6)	2.33(3.0)	2.8(7.9)	11.5(3.0)	34.6(2.4)	14.7(3.2)
8	0.015(83)	0.002(38)	0.42(4.7)	0.48(6.7)	0.62(16)	0.005(14)	0.012(8.4)	0.022(35)	4.40(2.5)	1.12(7.7)	8.3(1.6)	2.20(1.9)	2.2(7.7)	14.8(2.2)	24.3(2.8)	14.4(1.5)
9	0.087(9.1)	0.028(5.4)	1.06(2.7)	1.27(3.1)	1.47(3.4)	0.096(2.5)	0.110(4.1)	0.137(5.9)	6.90(4.5)	1.50(2.4)	12.2(2.5)	5.04(5.1)	3.8(4.8)	10.7(3.2)	55.1(4.5)	25.8(3.9)
D	0.055	0.014	0.94	1.02	1.14	0.017	0.027	0.034	6.63	0.80	13.4	3.24	4.6	19.8	37.8	13.9

St. No.	NH ₃ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	DTN mg/l	TN mg/l	PO ₄ -P mg/l	DTP mg/l	TP mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	C ¹⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
35	19	4.2	4.9	4.3	9.4	13	12	23	3.2	4.5	2.7	3.3	5.2	5.0	4.0	4.5
9.1-83	4.5-38	2.4-5.8	2.7-8.7	3.5-21	1.8-36	3.2-49	3.2-26	3.2-49	1.0-4.6	2.2-7.7	0.4-5.5	0.4-7.0	3.5-7.9	2.2-12	1.0-11	1.5-11

() 内は変動係数, St. A~Dの測定回数は2回, *新名庄川合流前