

石田川流域における水文化学的観測（その2）

吉 岡 龍 馬・伊 藤 正 明

HYDROCHEMICAL OBSERVATIONS IN THE ISHIDA RIVER BASIN, SHIGA PREFECTURE (PART 2)

By Ryuma YOSHIOKA and Masaaki ITOH

Synopsis

For the investigation of hydrochemical features in the Ishida river basin, the authors determined the chemical composition of the main and tributary river waters collected weekly from July 1982 to June 1984. They showed the difference in chemical compositions between both water samples, and also studied the variations of water quality and discharge along the reach of flow on an ordinary hydrological stage in summer and winter. Few studies of dissolved matters response showed that the simple relationship between the flux of dissolved matters (F : ton/year) and discharge (Q : m^3/year), which takes the form

$$F = aQ^n$$

where a and n are constants, and determined from observation data.

1. は し め に

びわ湖へ流入する河川の定点での水質変動の観測や諸河川の平均水質に関する調査・研究は、最近かなり実施されつつある¹⁾が、びわ湖へ流入する河川の流程にともなう水質や流量の変化に関する調査・研究は皆無に近い状況である。そこで、昨年度²⁾に引き続き、本年度も石田川の上流域（ダム直下）から中・下流域にわたり、河川の流下にもなると、その水質と流量がどのように変化するかを知る目的で、夏期と冬期において観測を実施した。また、定点（5地点）の水質・流量（週1回）の観測も並行して行い水質の季節変動をも調査したので、昨年度の観測結果と比較しながら、以下その概要を述べる。

なお、当流域の地質³⁾はおおむね古生層（粘板岩・チャート）からなり、断層が比較的発達し、本川の上流部および中流部では断層に沿って川が流れている。また、土地利用の実態を「滋賀県の土地利用メッシュ統計」⁴⁾から計算すると、明治・大正期に比較して現在は、広葉樹林の占有面積比率は68.8%から39.9%に低下し、そのかわりに針葉樹林の割合が著しく高くなっている（明治・大正期17.6%→現在48.0%）。これに対して、集落、水域、田畑、果樹園、竹林、荒地などには、大きな変化は認められなかった。したがって、当流域は河川水質に著しい影響をおよぼす人為的活動は比較的少ない流域といえよう。

2. 観測・分析項目、測定法および観測期間

水温・気温・水位・pH（比色管）：1983年7月より1984年6月まで毎週1回測定

流速：8～10測線をもうけた1点法で適宜測定

Na, K：炎光分光分析法⁵⁾

Mg, Ca：原子吸光法⁶⁾

Cl：チオシアン酸水銀比色法⁵⁾

HCO_3^- : BCP を指示薬として 1/100 N-HCl による滴定法⁵⁾

SO_4^{2-} : クロム酸バリウム酸懸濁比色法⁵⁾

Soluble- SiO_2 : モリブデン酸アンモニウム比色法⁵⁾

NO_3^- -N: カドミウム-銅カラムにより亜硝酸に還元後, スルファニールアミド比色法⁶⁾

NO_2^- -N: スルファニールアミド比色法⁶⁾

NH_4^+ -N: フェノール・ニトロプルシッドナトリウム比色法⁶⁾

PO_4^{3-} -P: モリブデン酸アンモニウム比色法⁵⁾

3. 観測地点における水質の季節変化

Fig. 1 に示した B, D, H, Ta, Tb の 5 地点において, 今津中学校の協力を得て, 週 1 回採水・測水および水温, pH の測定を行った。Table 1 にこの 5 地点の水質パターンの出現率を示す。

まず, これら 5 地点における水質の季節変化を 3~5 月, 6~8 月, 9~11 月, 12 月~2 月の 4 時期に, また水質パターンを Na-Cl 型, Ca- HCO_3 型, Na- HCO_3 型, Ca-Cl 型に, それぞれ分けて考察することにする。

Table 1 の 1 は 1982 年 8 月~1983 年 7 月, 同 2 は 1983 年 8 月~1984 年 7 月に採水したものである。ここでは, 便宜上, 以下 1982 年 8 月~1983 年 7 月のを 82 年度, 1983 年 8 月~1984 年 7 月のを 83 年度と略記することにして。82 年度の水質パターンと 83 年度のそれとを比較すると, Na-Cl 型の出現率は, 本川 B, D, H 地点および支流 Tb 地点ではほぼ同じ程度であったが, 支流 Ta 地点では 82 年度に比べて 83 年度は約 15% 低下していた。

Ca- HCO_3 型の出現率は, B と D 地点では 82 年度に比べて 83 年度の方が高くなっている (約 25%~約 45%)。H 地点では, その逆に 83 年度は約 10% 減少している。Ta 地点ではほぼ同じ程度の出現率であったが,

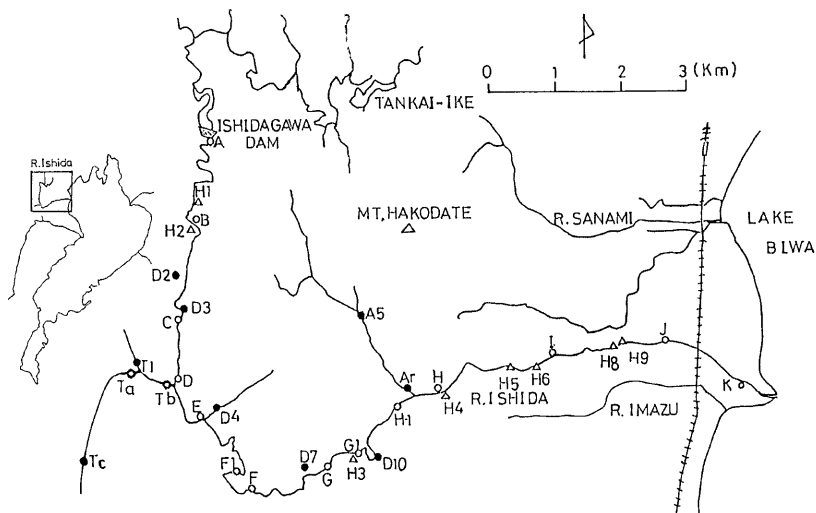


Fig. 1 Location of water sampling points of the Ishida river basin: ○, fixed sampling points; ●, temporary sampling points; △, headwork.

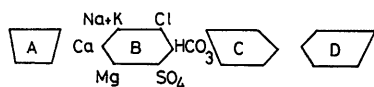
Table 1 Frequency (%) of water quality patterns in the selected sampling points during the period of two water years

1: period August 1982 to July 1983

2: period August 1983 to July 1984

Fixed points			B	D	H	Ta	Tb
Patterns Period							
A	Mar.~May	1	11.5	9.8	15.4	19.6	17.6
		2	9.1	11.9	10.5	23.8	13.9
	Jun~Aug.	1	0	0	0	9.8	2.0
		2	2.3	7.1	5.3	9.5	2.8
	Sep.~Nov.	1	1.9	0	0	21.6	7.8
		2	0	2.4	10.5	11.9	16.7
	Dec.~Feb.	1	0	7.8	9.5	21.6	11.8
		2	0	0	0	11.9	5.6
	Total	1	13.4	17.6	24.9	72.6	39.2
		2	11.4	21.4	26.3	57.1	39.0
B	Mar.~May	1	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
		2	2.3	4.8	2.6	2.4	0
	Jun~Aug.	1	11.5	11.8	11.5	3.9	9.8
		2	18.2	14.2	21.1	0	16.7
	Sep.~Nov.	1	5.8	7.8	25.0	0	0
		2	13.6	11.9	2.6	7.1	11.1
	Dec.~Feb.	1	3.9	2.0	0	2.0	3.9
		2	11.4	11.9	5.3	4.8	5.6
	Total	1	25.1	25.5	40.4	9.8	17.6
		2	45.5	42.8	31.6	14.3	33.4
C	Mar.~May	1	9.6	11.8	5.8	2.0	2.0
		2	11.4	7.1	0	2.4	2.8
	Jun.~Aug.	1	13.5	9.8	13.5	7.7	11.8
		2	4.5	0	0	11.9	0
	Sep.~Nov.	1	17.3	19.5	0	5.9	19.6
		2	15.9	11.9	18.4	9.5	5.6
	Dec.~Feb.	1	19.2	11.8	15.4	0	5.8
		2	4.5	4.8	13.2	0	2.8
	Total	1	59.6	52.9	34.7	15.6	39.2
		2	36.3	23.8	31.6	23.8	11.2
D	Mar.~May	1	0	0	0	0	2.0
		2	2.3	4.8	5.3	0	2.8
	Jun~Aug.	1	0	2.0	0	2.0	0
		2	0	0	0	0	2.8
	Sep.~Nov.	1	0	0	0	0	0
		2	0	4.8	2.6	2.4	2.8
	Dec.~Feb.	1	1.9	2.0	0	0	2.0
		2	4.5	2.4	2.6	2.4	8.0
	Total	1	1.9	4.0	0	2.0	4.0
		2	6.8	12.0	10.5	4.8	16.4

Water quality patterns



1: 1982.8~1983.7 51 Samples

2: 1983.8~1984.7 42 Samples

Tb 地点では83年度の方が約2倍大きくなっている(33%)。

Na-HCO₃ 型の出現率は, B, D, Tb 地点において83年度は約25%減少し, H 地点もその影響を受けて若干の減少がみられたが, Ta 地点では逆に約8%増加していた。

Ca-Cl 型の出現率は, 82年度では0~4%(5地点で)あったのが, 83年度は5~16%とその出現率は大きくなっていた。これは側構工事にコンクリートを使用したために Ca, Na, HCO₃, Cl, SiO₂ の濃度が一時的に高い値を示していたことによる。

82年度の Na-HCO₃ 型の出現率は B, D, H 地点と下流に行くにしたがって減少し(60%→53%→35%), 逆に Ca-HCO₃ 型のそれは増加している(25%→25%→40%)。83年度の Na-HCO₃ 型の出現率は B 地点36%, D 地点24%, H 地点32%となり82年度に比較して B と D 地点では小さくなっている。その出現率の小さくなっている部分は Ca-HCO₃ 型で補っている。H 地点における82年度の Na-HCO₃ 型と Ca-HCO₃ 型の出現率は約75%であったが, 83年度では約63%と減少している。この減少は Ca-Cl 型の出現によるものである。Na-Cl 型の下流にむかっの出現率の変化は両年度ともほぼ同じ傾向を示していた。

次に, 各水質パターンの出現率の高い時期をみてみよう。Na-Cl 型の出現率は本流, 支流とも, また両年度とも3~5月に多かった。Ca-HCO₃ 型のそれは, 82年度では, B, D, H, Tb 地点において, その大部分は6~11月に集中していたが, 83年度では, B, D 地点で6~2月, H 地点で6~8月, Tb 地点で6~11月に多く出現していた。Na-HCO₃ 型の B 地点での出現率は82年度では9~2月に, 83年度では3~5月と9~11月に多く出現し, D 地点では両年度とも9~11月に, H 地点では82年度は6~8月と12~2月, 83年度は9~2月に多く, それぞれ出現していた。支流の Ta 地点では両年度とも6~11月に, Tb 地点では82年度は6~11月に, 83年度は9~11月に多く出現していた。

4. 流程にともなう水質・流量の変化

流程にともなう水質・流量の観測を夏期(1984・6・15—16)と冬期(1984・12・1)の2回にわたり Fig. 1 の各地点で行った。Fig. 2-3 に, 夏期と冬期における流程にともなう PO₄-P, NO₃-N, NH₄-N, Cl の濃度と流量の変化, 平均河川長 1 km 当たりの河川への流入・流出(ΔQ/ΔL)と平均河川長 1 km 当たりの流域面積増分の比(ΔS/ΔL)を示した[ΔQ/ΔL が ΔS/ΔL に依存するかどうかをみるため]。

まず, PO₄-P 濃度の流程にともなう変化は大きく, 夏期(Fig. 2)の場合, 検出不能から 0.036 mg/l の濃度範囲内を大きく変動し, また冬期(Fig. 3)の場合も検出不能から 0.11 mg/l の濃度範囲内を大きく変動し, その濃度の極大値や検出不能地点も, 採水時期によって異なっていた(E, H 地点では両時期とも検出不能であった)。

NO₃-N について, 夏期には上流域 A 地点(0.2 mg/l)から C 地点にむかって 0.1 mg/l 程度増加し, 中流域 G 地点まで, その値を維持し, H 地点から下流域 K 地点に至るまでに, その濃度は大きくなる(約 0.9 mg/l)。冬期には上流域から中流域 G 地点までは 0.3 mg/l 程度の値を示しており, H 地点では 1.05 mg/l と きな値になるが, その後また 0.3 mg/l 程度に, その濃度は減少している。

NH₄-N の夏期の場合には, 中流域 H 地点で 0.147 mg/l という高値を示している以外は, 0.02~0.06 mg/l の間を変動しているが, 冬期の場合には不検出であった。

Cl の夏期の変化の様相は下流に行くにしたがって, その濃度は増加(約 3 mg/l)し, NO₃-N のそれときわめてよく似ている。冬期の場合には, 大きな濃度変化はみられない。

流量は, 夏期には, F 地点(1.77 m³/sec)から K 地点(0.26 m³/sec)にむかって, 1.5 m³/sec の減少がみられた。この区間で支流から本川へ流入する量は 0.29 m³/sec, そして頭首工を通して流出していく量は 1.34 m³/sec であった。したがって, F 地点の流量 1.77 m³/sec に流入量 0.29 m³/sec を加えた量(2.06 m³/sec)から頭首工によって本川から流出して行く量(1.34 m³/sec)を引くと 0.72 m³/sec となる。これと K 地点の流量 0.26 m³/sec の差, 0.46 m³/sec が伏没していったものと考えられる。G-H と I-J 区間で約

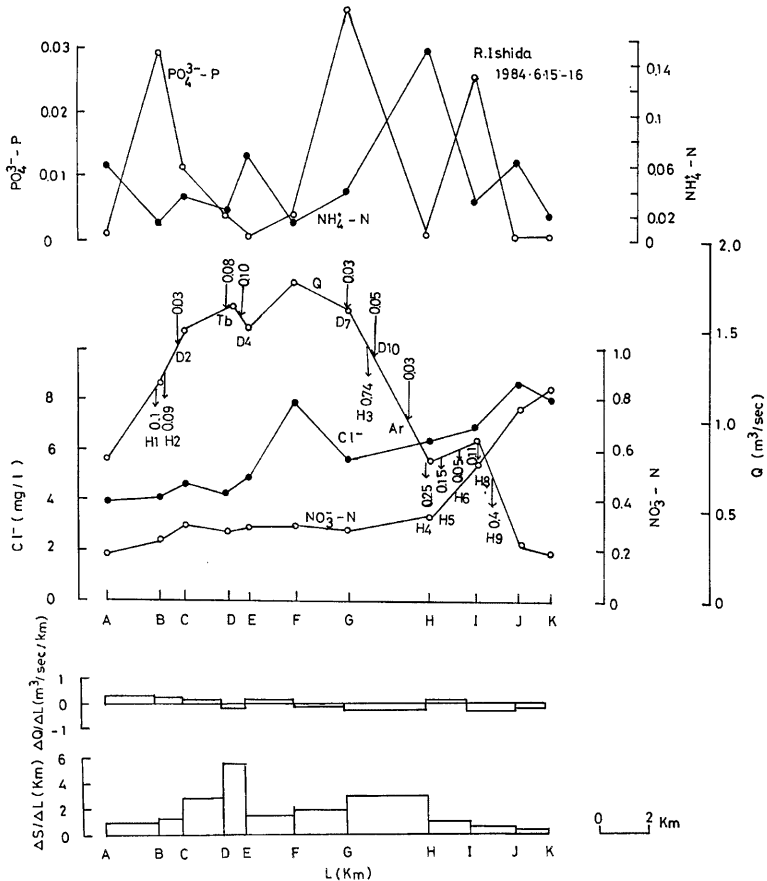


Fig. 2 Variations of water quality, discharge and $\Delta Q/\Delta L$ (inflow and outflow per unit length of reach) along the river flow during on ordinary hydrological stage in summer (June 15-16, 1984), and changes of $\Delta S/\Delta L$ (drainage area increase per unit length of reach).

0.3 m³/sec/km の伏没量がみられる。冬期の場合、I 地点の 1.67 m³/sec を除くと、B 地点 (0.70 m³/sec) から K 地点 (0.06 m³/sec) にむかって流量は一桁小さくなっている。I 地点でこのように急激に流量が増したのは不明である。B-D, E-H, I-K 区間で、0.1~0.7 m³/sec/km の伏没量がみられた。また H-I 区間で 0.7 m³/sec/km の流入量がみられたが、I-J 町間で、その分は伏没していることがわかる。なお、本川の平均河川長 1 km 当たりの流域面積増加の割合 ($\Delta S/\Delta L$) は 0.4~5.5 km の範囲にある。この値と $\Delta Q/\Delta L$ の値との間には相関関係はみられなかった。夏期と冬期いずれも F-G, G-H, I-J および J-K 区間で流量の伏没が観測された。

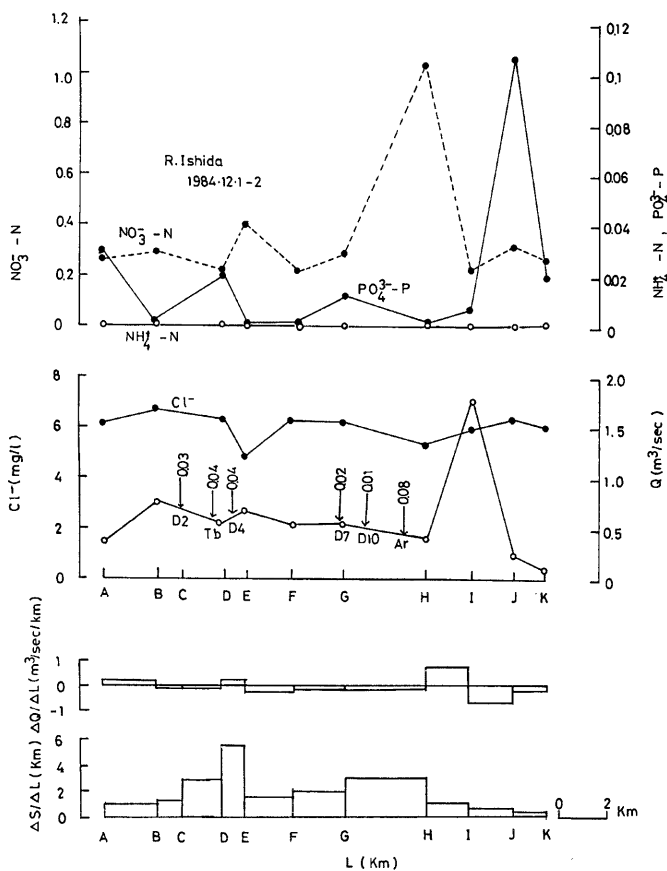


Fig. 3 Variations of water quality, discharge and $\Delta Q/\Delta L$ (inflow and outflow per unit length of reach) along the river flow during on ordinary hydrological stage in winter (December 1, 1984), and changes of $\Delta S/\Delta L$ (drainage area increase per unit length of reach).

5. 水質の経年変化

ここでは、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-N ($=\text{NO}_3\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$) と Cl 濃度および流量、降水の経年変化をみることにする。Fig. 4 に石田川の B 地点と H 地点における水質の経年変化を示す。B 地点では、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は不検出から 0.12 mg/l の範囲内を変化しているが、82年から84年にかけて、その濃度に増加傾向がみられる。なお、B 地点より上流には人家は存在していない。 T-N は 0.05~1.2 mg/l の範囲内で変化し、おおまかな傾向として $\text{PO}_4\text{-P}$ とは逆の様相を呈していることが読みとれる。すなわち、8月から4月にかけて、 T-N の濃度は増減をくりかえしながら増加し、その後、7月までやはり増減をくりかえしながら減少

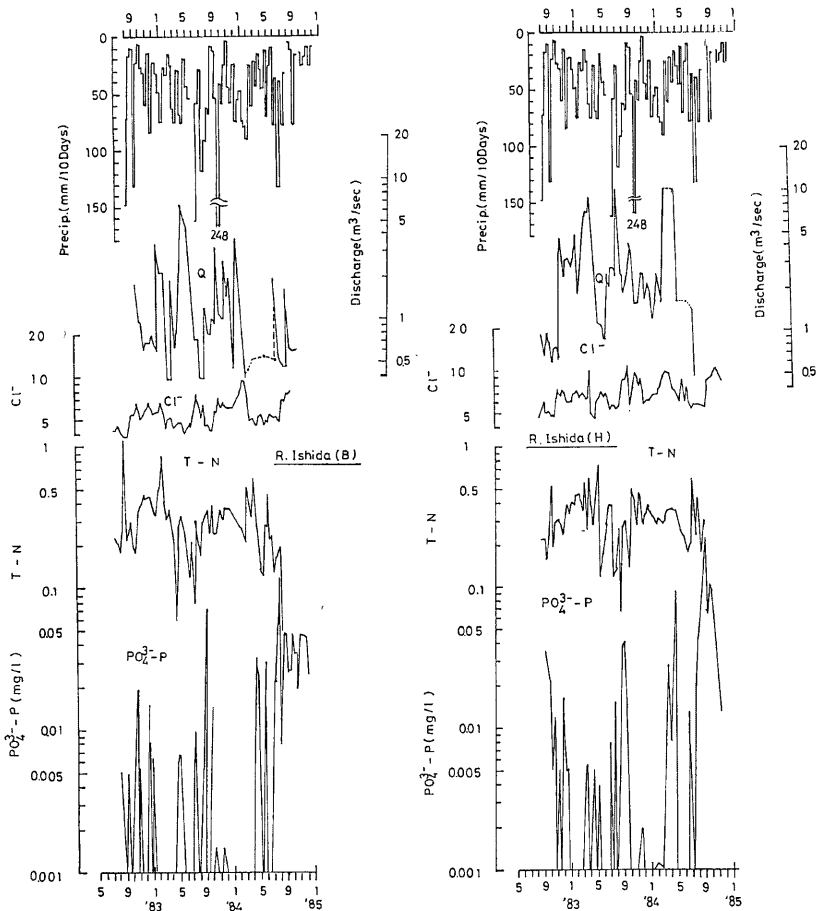


Fig. 4 Secular variations of $\text{PO}_4\text{-P}$, T-N and Cl contents, and of discharge and precipitation

している。

下流地点（H）での $\text{PO}_4\text{-P}$ は不検出から 0.23 mg/l の範囲内で変動しており、その濃度は B 地点より 2 倍程度高くなっている。しかしその変化の様相は B 地点と似ている。なお、H 地点における $\text{PO}_4\text{-P}$ のピークは 9 月頃に出現している。 T-N 濃度は $0.07 \sim 0.75 \text{ mg/l}$ の範囲内で変化し、その変化幅は B 地点よりも小さいが、変化のパターンはよく似ていることがわかる。 Cl は $4 \sim 11 \text{ mg/l}$ の間で変化し、その様相は B 地点と似ているが、83 年 4 月頃から 7 月と同年 10～12 月の Cl 濃度のピークは B 地点では観測されていないものである。なお、降水のデータ⁷⁾は今津での観測結果である。

6. 溶存物質の負荷量

本川からびわ湖へ流入する溶存物質の負荷量(流量×濃度)を調べるために、上記5地点で週1回測水・採水分析を行った。採水時の負荷量とその前後の1週間の代表値を示しているとき、これを積算することにより年間当りの負荷量を算出した。Fig. 5 に流量と T-N($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$)との関係を、また Fig. 6 に流量と $\text{PO}_4\text{-P}$ のそれとの関係を、それぞれ示した。なお、これらのプロットは各地点の1水文年間の平均値(週1回採水)である(Table 2 参照)。T-N および $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷量の対数と流量の対数との間に直線関係の成りたっていることがわかる。これらの栄養塩の負荷量は流量に大きく依存していることが読みとれる。また、流量に対しての T-N の負荷量は $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷量に比較してバラツキが小さいようである。

これらの関係を冪乗則で表わし係数を求めると、Table 3 のようになる。図には示していないが、参考のために、K, Cl の値も併記する。ここに成分の負荷量 F の単位は ton/year, 流量 Q のそれは m^3/year である。回帰式を関数形に書きなすと、

$$F = aQ^n$$

ただし、a と n はともに成分に特有な定数である。 $\text{PO}_4\text{-P}$ の定数 a は 1.22×10^{-9} 、T-N のそれは 5.34×10^{-7} となり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の定数 a は T-N のそれに比べて2桁小さい値になっている。K と Cl の定数 a は、それぞれ 3.31×10^{-5} 、 2.28×10^{-5} となり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の定数 a に比べて4桁大きい。また n の値をみると、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は1.11、T-N は0.976、Cl は0.929、そして K は0.714となっている。このように n の値の大きさが、 $\text{PO}_4\text{-P} > \text{T-N} > \text{Cl} > \text{K}$ の順になっていることは、同一の流量増加率に対して、これらの濃度の減少率の大きさが、 $\text{K} > \text{Cl} > \text{T-N} > \text{PO}_4\text{-P}$ の順になっていることを意味する。すなわち、流量の増加によるこれ

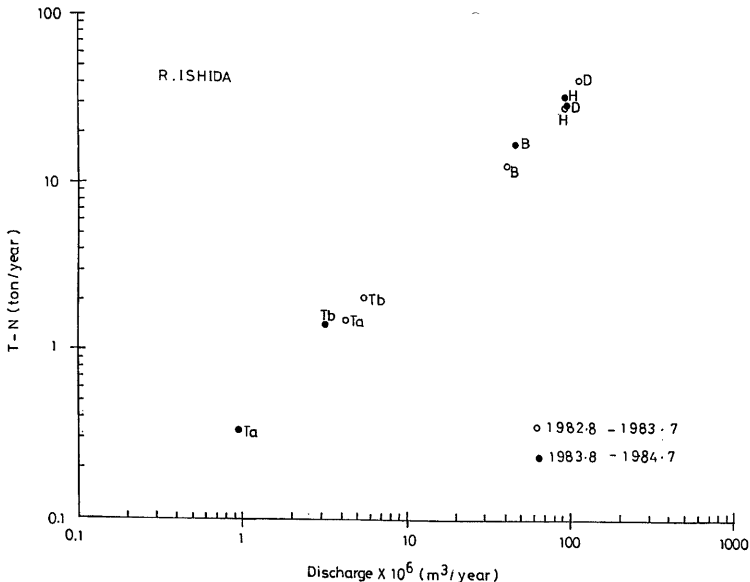


Fig. 5 Annual discharge of T-N load as a function of annual discharge of water. B, D and H are the main stream, and Ta and Tb are its tributary (cf. Fig. 1).

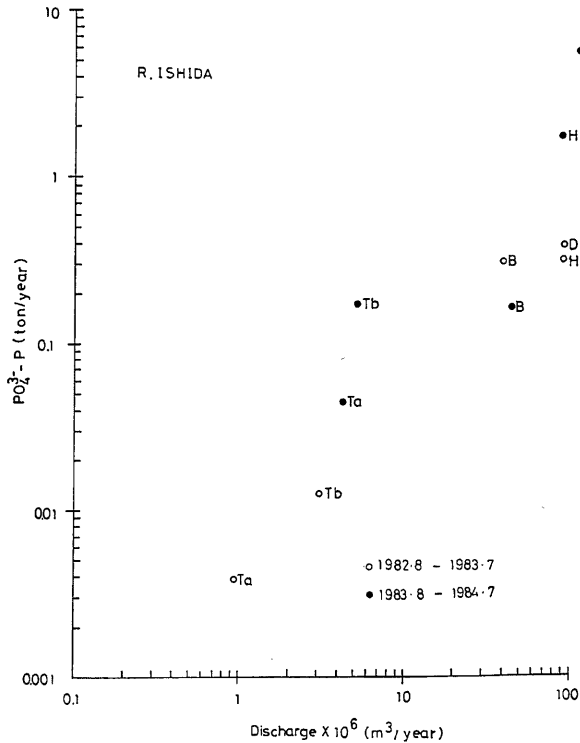


Fig. 6 Annual discharge of PO_4-P load as a function of annual discharge of water. B, D and H are the main stream, and Ta and Tb are its tributary (cf. Fig. 1).

らの成分の希釈のされやすさは、 $K > Cl > T-N > PO_4-P$ の順になる。

Table 4 に無積雪期（4～11月）と積雪期（12～3月）における全溶存物質、Cl, NO_3-N , NH_4-N , PO_4-P および浮遊物質⁸⁾の負荷量と比負荷量とを示した。ただし、溶存物質の観測点は H 地点（51.8 km²）で、浮遊物質のそれは石田川ダムのバックウォータの影響のない地点（23.4 km²）⁸⁾で、それぞれ測定を行ったものである。後者の測定は1982年4月～1983年3月の1水文年間のみである。

H 地点における全溶存物質、Cl および NO_3-N の負荷量は、2水文年間において大きな差が認められないが、 NH_4-N および PO_4-P の負荷量の変化は大きかった。

次に、積雪期と無雪期における負荷量をみてみよう。ただし、その期間の積算値が大きく異なるので、比負荷量で比較するのが妥当であろう。両期で比負荷量に大きな差がみられないのは、83年度の全溶存物質、Cl および NO_3-N である。同年度の NH_4-N , PO_4-P , および82年度の全溶存物質をはじめ、すべての成分について差がみられた。すなわち、82年度の全溶存物質、Cl, NO_3-N および NH_4-N の積雪期の比負荷量は、無雪期のそれらより大きな値を示し、一方、無雪期の比負荷量が大きな値を示すのは83年度の NH_4-N , 両年度の PO_4-P および浮遊物質であった。

Table 2 Annual mean concentration of the Ishida river basin

Sampling points	Na ⁺		K ⁺		Mg ²⁺		Ca ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		SiO ₂		NO ₃ ⁻ -N	
	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ
B Main stream	4.6	0.9	0.3	0.2	1.1	0.1	3.5	0.6	5.1	1.0	11.6	2.5	4.5	0.9	6.6	1.4	0.3	0.2
	3.7	0.7	0.2	0.4	1.0	0.2	3.4	1.1	5.7	1.3	13.4	3.1	4.5	1.2	5.8	1.1	0.3	0.09
D Main stream	5.0	1.6	0.4	0.2	1.3	0.46	4.1	1.5	5.8	2.7	12.7	4.3	4.9	1.1	6.6	1.6	0.3	0.2
	3.8	1.2	0.3	0.7	1.2	0.4	3.9	2.7	6.9	2.6	13.1	5.1	4.6	1.7	5.6	1.7	0.3	0.1
H Main stream	5.1	1.2	0.4	0.2	1.3	0.2	3.9	1.2	6.0	1.0	13.0	5.0	4.7	0.6	6.6	1.3	0.3	0.1
	3.9	1.0	0.2	0.2	1.1	0.2	3.4	0.8	6.9	1.8	12.0	3.4	4.4	1.2	5.7	1.3	0.3	0.09
Ta Tributary	5.9	1.3	0.7	0.4	1.4	0.4	3.8	1.7	7.9	2.3	12.4	5.2	4.8	1.1	7.3	1.7	0.3	0.1
	4.5	1.5	0.4	0.3	1.2	0.4	5.4	10.2	9.1	3.8	13.9	9.9	4.2	1.4	6.1	1.9	0.3	0.1
Tb Tributary	5.7	1.3	0.6	0.28	1.6	0.39	4.9	1.9	7.7	2.4	13.8	4.9	5.8	1.3	6.8	1.6	0.4	0.3
	4.3	1.5	0.3	0.4	1.3	0.4	5.6	9.3	8.6	3.4	13.3	5.3	5.1	1.7	5.9	1.7	0.3	0.1
	NO ₂ ⁻ -N		NH ₄ ⁺ -N		PO ₄ ³⁻ -P		pH		Water-Temp (°C)		Discharge (m ³ /sec)		Number of samples		Period		Catchment area (km ²)	
	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ	av	σ						
B Main stream	0.003	0.005	0.05	0.07	0.003	0.005	6.6	1.0	11.8	6.6	1.5	1.9	52		1982.8.23- 1983.8.14		26.0	
	0.001	0.001	0.02	0.02	0.01	0.03	6.6	0.2	11.3	6.4	1.3	0.9	38		1983.8.21- 1984.7.15			
D Main stream	0.002	0.003	0.03	0.03	0.004	0.005	6.9	1.0	13.1	7.5	3.0	1.8	52		"		31.2	
	0.001	0.001	0.07	0.17	0.05	0.1	7.1	0.1	12.1	6.5	3.6	2.2	38		"			
H Main stream	0.002	0.004	0.05	0.05	0.004	0.006	6.6	0.9	12.4	6.2	3.0	2.8	52		"		51.8	
	0.001	0.001	0.06	0.09	0.01	0.02	6.6	0.2	12.5	6.9	2.9	2.6	38		"			
Ta Tributary	0.002	0.003	0.05	0.07	0.004	0.009	6.9	1.0	12.8	7.7	0.03	0.01	52		"			
	0.002	0.003	0.04	0.04	0.01	0.02	7.1	0.1	12.9	6.3	0.14	0.25	38		"			
Tb Tributary	0.002	0.002	0.04	0.03	0.004	0.005	6.9	1.0	12.9	7.5	0.1	0.1	52		"		3.6	
	0.001	0.001	0.09	0.2	0.02	0.03	7.1	0.1	12.9	6.1	0.17	0.23	38		"			

Unit: mg/l av: average σ : standard deviation

Table 3 Relationships between fluxes of chemical species (F) and discharge (Q)

Chemical species	Regression equation	Functional formula	Coefficient of correlation
T-N	$\log F = \log 5.34 \times 10^{-7} + 0.976 \log Q$	$F = 5.34 \times 10^{-7} Q^{0.976}$	0.998
PO ₄ -P	$\log F = \log 1.22 \times 10^{-9} + 1.11 \log Q$	$F = 1.22 \times 10^{-9} Q^{1.11}$	0.905
K	$\log F = \log 3.31 \times 10^{-5} + 0.714 \log Q$	$F = 3.31 \times 10^{-5} Q^{0.714}$	0.895
Cl	$\log F = \log 2.28 \times 10^{-5} + 0.929 \log Q$	$F = 2.28 \times 10^{-5} Q^{0.929}$	0.997

Units: F (ton/year), Q (m³/year)

Table 4 Fluxes of dissolved matters and suspended solids through the Ishida river basin (H point and Ishidagawa dam)

Dissolved matters and suspended solid	Water year	Snow season Dec.-Mar. (ton)	Snow free season Apr.-Nov. (ton)	Total (ton)	Snow season Dec.-Mar. (ton/km ² /month)	Snow free season (ton/km ² /month)
Total dissolved matters	1982-1983	1530	2220	3750	7.37	3.54
	1983-1984	1120	2400	3520	5.40	5.79
Cl	1982-1983	261	325	586	1.26	0.78
	1983-1984	202	482	684	0.97	1.16
NO ₃ -N	1982-1983	12.7	15.1	27.8	0.061	0.036
	1983-1984	9.6	16.7	26.3	0.046	0.040
NH ₄ -N	1982-1983	2.84	2.79	5.63	0.014	0.0067
	1983-1984	0.20	3.36	3.56	0.001	0.0081
PO ₄ -P	1982-1983	0.05	0.27	0.32	0.0003	0.0006
	1983-1984	0.12	1.64	1.76	0.0006	0.0029
Suspended solid*	1982-1983	458	1754	2212	4.89	9.37

*Okunishi et al.⁽⁸⁾

7. お わ り に

以上、石田川の観測地点における水質の季節変化、流程にともなう水質・流量の変化、水質の経年変化および負荷量について述べた。これらを総括すると次のようになる。

(1) 石田川本流の水質には Na-HCO₃ 型、Ca-HCO₃ 型、Na-Cl 型、Ca-Cl 型の4型がある。82年度のNa-HCO₃ 型の出現率は、B、D、H 地点と下流に行くにしたがって減少（60%→53%→35%）し、逆にCa-HCO₃ 型の出現率は増加している（25%→25%→40%）。H 地点における82年度のNa-HCO₃ 型とCa-HCO₃ 型の出現率は約75%であったが、83年度では約63%と減少している。この減少はCa-Cl 型の出現によるものである。Na-Cl 型の下流にむかっでの出現率の変化は両年度とほぼ同じ傾向を示していた。

(2) 石田川の各水質パターンの出現率の卓越時期をみると、Na-Cl 型の出現率は本流、支流とも、また両年度とも3～5月に多かった。Ca-HCO₃ 型のそれは、82年度ではB、D、H、Tb 地点において、その大部分は6～11月に集中していたが、83年度ではB、D 地点で6～2月、H 地点で6～8月、Tb 地点で6～11月に多く出現していた。Na-HCO₃ 型のB 地点での出現率は82年度では9～2月に、83年度では3～5月と9～11月に多く出現し、D 地点では両年度とも9～11月に、H 地点では82年度は6～8月と12～2月、

83年度は9～2月に多く、それぞれ出現していた。支流の Ta 地点では両年度とも6～11月に、Ta 地点では82年度は6～11月に、83年度は9～11月に多く出現していた。

(3) 石田川の流程にともなう $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の変化は大きく、またその極大値の地点は採水時期によっても大きくことなっていた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は夏期には H 地点から下流にむかって大きくなっているが、冬期には H 地点で極大値を示していた。夏期の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は H 地点で極大値を示すが、冬期には不検出であった。Cl の夏期の変化の様相は下流に行くにしたがって、その濃度は増加(約 3 mg/l)し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のそれときわめてよく似ている。冬期の場合には、大きな濃度変化はみられない。流量は、夏期には、G-H と I-J 区間で約 $0.3 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}$ の伏没量が、冬期には、 $0.1\sim 0.7 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}$ の伏没量がみられた。

(4) 石田川の B 地点と H 地点における $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-N および Cl の経年変化のおおまかな傾向として、B 地点では $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度の変化の様相は T-N のそれとは逆の関係を呈しているが、H 地点での $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-N および Cl の変化の様相は B 地点のそれとよく似ていた。

(5) T-N および $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷量と流量との間に冪乗則関係が成りたち、これらの栄養塩の負荷量は流量に大きく依存している。流量に対しての T-N の負荷量は $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷量に比較してパラツキが小さい。また流量の増加による成分の希釈されやすさは、 $\text{K} > \text{Cl} > \text{T-N} > \text{PO}_4\text{-P}$ の順になっていた。

(6) H 地点における全溶存物質、Cl および $\text{NO}_3\text{-N}$ の負荷量は、2 水文年間において大きな差異はないが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷量の変化は大きかった。

(7) 積雪期と無雪期における比負荷量を比べると、83年度の全溶存物質、Cl および $\text{NO}_3\text{-N}$ には、大きな差はみられない。82年度の全溶存物質、Cl、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{NH}_4\text{-N}$ の積雪期の比負荷量は、無雪期のそれらより大きな値を示す。一方、83年度の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、82・83年度の $\text{PO}_4\text{-P}$ と82年度の浮遊物質の比負荷量の値は無雪期の方が大きかった。

8. 謝 辞

本研究は日本生命財団の研究助成金によって実施されている「水資源の保全に関する研究」(研究代表者・滋賀県琵琶湖研究所所長吉良竜夫)の一環として行ったものであり、関係各位に感謝の意を表します。

観測定点での採水・測水に便宜をはかっていただいた今津町立今津中学校校長多胡 生氏、同校中村友美氏および直接採水・測水作業を行なっていただいた同校学生諸氏に厚くお礼を申し上げます。また現地の観測に積極的な協力をおしななかった本学理学部院生岩崎功志、元本学理学部学生吉田 透(現日本経済新聞社)の両氏、さらにこの研究を推進するにあたり議論していただいた地形土壌学災害部門の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉岡龍馬：びわ湖流入河川の水質に関する地球化学的研究，京大防災研水資源研究センター研究報告，第5号，1985，pp. 33-61.
- 2) 吉岡龍馬・伊藤正明・大石郁夫：石田川流域における水文化学的観測(その1)，京大防災研年報，第27号 B-1，1984，pp. 445-454.
- 3) 滋賀県地図：滋賀県自然保護財団，1979.
- 4) 滋賀大学教育学部地理学研究室：滋賀県の土地利用メッシュ統計，1980，91 pp.
- 5) 三宅泰雄・北野 康：新水質化学分析法，地人書館，1976，265 pp.
- 6) 日本分析化学会北海道支部編：水の分析(第3版)，化学同人，1981，504 pp.
- 7) 滋賀県気象月報：彦根地方気象台，1982～1984.
- 8) 奥西一夫・斉藤隆志・吉岡龍馬・奥田節夫：石田川上流部の水文地形学的特性(その1)，京大防災研年報，第27号 B-1，1984，pp. 425-444.