

石田川流域における水文化学的観測（その1）

吉岡 龍馬・伊藤 正明・大石 郁朗

HYDROCHEMICAL OBSERVATIONS IN THE ISHIDA BASIN, SHIGA PREFECTURE (PART 1)

By Ryuma YOSHIOKA, Masaaki ITOH and Ikuo ŌISHI

Synopsis

For the investigation of hydrochemical features in the Ishida basin, the authors determined the chemical composition of the main and tributary river waters collected weekly from July 1982 to June 1983. They showed the difference in chemical compositions between the both water samples, and also studied the variation of water quality and discharge along the distance of flow on an ordinary and flood stages in summer, and on a flood stage in winter. They suggest the possibility that the Dokenyama fault is one of factors controlling the chemical composition and discharge in the Ishida basin.

1. はじめに

石田川流域は琵琶湖周辺の流入河川のなかでは、人為的影響の比較の少ない流域であり、自然の地質・地形・水文の諸条件の組合せのもとでの河川水質の形成過程の研究に適しているところといえる。

本観測の目的の1つは人為的影響の比較の少ない本流域の河川水の平均水質、流域内の地域の変化または季節の変化（平水時・大雨洪水時・融雪洪水時の水質の相互比較）、上流域から下流域への流程にともなう水質の変化などを調べ、各種化学成分の輸送量を算定し、地球化学的観点から河川水の様々な流出過程および山地の侵食・風化過程を考察することにある。さらに本流域の河川水と山間部から平野部・湖岸部に近い地下水を一つの系としてとらえ、河川水の埋没量・浸出量の実測や地下水の水位・水質観測から本流域内の地下水の流動形態・流向・水質形成機構などを追求することを第2の目的とするものである。ここでは特に観測地点における季節変化と流程にともなう水質と流量の変化について述べる。

2. 観測項目および採水

水温、気温、水位、pH（比色管）：1982年7月より1983年6月まで毎週1回測定。

流速：水位と流量との関係を得るため適宜測定。

採水：毎週1回。N、P 測定用試水はろ紙（No. 5）でろ過後、直ちに HgCl_2 を 4 ppm になるように加え、分析するまで冷蔵庫に保存。

3. 分析項目および分析法

Na^+ , K^+ : 炎光分光分析法¹⁾。

Mg^{2+} , Ca^{2+} : EBT および NN 粉末を指示薬として 1/100M-EDTA による滴定法¹⁾、または原子吸光法²⁾。

Cl^- : チオシアン水銀による比色法¹⁾。

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

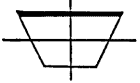
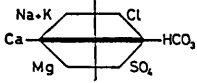
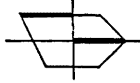
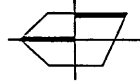
- SO_4^{2-} : クロム酸バリウム酸懸濁による比色法¹⁾。
 Soulbe SiO_2 : モリブデン酸アンモニウムによる比色法¹⁾。
 $\text{NO}_3^- - \text{N}$: カドミウム—銅カラムにより亜硝酸に還元後、スルファニールアミドによる比色法²⁾。
 $\text{NO}_2^- - \text{N}$: スルファニールアミドによる比色法。
 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: フェノール・ニトロプルシッドナトリウムによる比色法²⁾。
 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$: モリブデン酸アンモニウムによる比色法¹⁾。

4. 観測地点における水質の季節変化

Fig. 1 に観測地点 (●印) を示す。これらの定点においては滋賀県今津町立今津中学校の協力を得て、週 1 回採水・測水および水温、pH の測定を行なった。

Table 1 にこれらの定点における水質パターンを示す。これによると、おおむね、3 種類に分類される。すなわち Na-Cl 型、Na-HCO₃ 型、Ca-HCO₃ 型である。石田川本流では、Na-Cl 型は融雪時に多く出現し、かつ B, D, H 点と下流に移るに仕掛けてその出現率は高くなる傾向を示している (13~25%)。これは各支流における融雪の時期的差異の影響を受けているものと解釈される。Ca-HCO₃ 型の出現は 5 月末頃から 7 月末頃に集中している。これ以外の時期には Na-HCO₃ 型が卓越しているが、B, D, H 点と下流に移るに仕掛けてこの型の出現率は減少の傾向を示している。

Table 1 Frequency of water quality patterns in the fixed sampling points (52 samples in each point, respectively).

	B	D	H	Ta	Tb
	13.5 (%)	17.7	25.0	72.5	33.3
	17.3	19.6	19.2	9.8	15.7
	67.3	58.8	55.8	15.7	47.1
	1.9	3.9	0	2.0	3.9

一方、支流 Ta 点では 1 月から 6 月と、9 月から 12 月にかけて Na-Cl 型が卓越し、その出現率は 73% と高い値を示しているのが特徴的である。この原因は今後の調査に期待したい。同 Tb 点は Ta 点の影響を強く受けており Na-Cl 型の出現率は 33% と本流に比較して高い値を示し、それは 12 月から 4 月にかけて集中している。また 7 月から 12 月にかけては Na-HCO₃ 型が卓越していた (47%)。

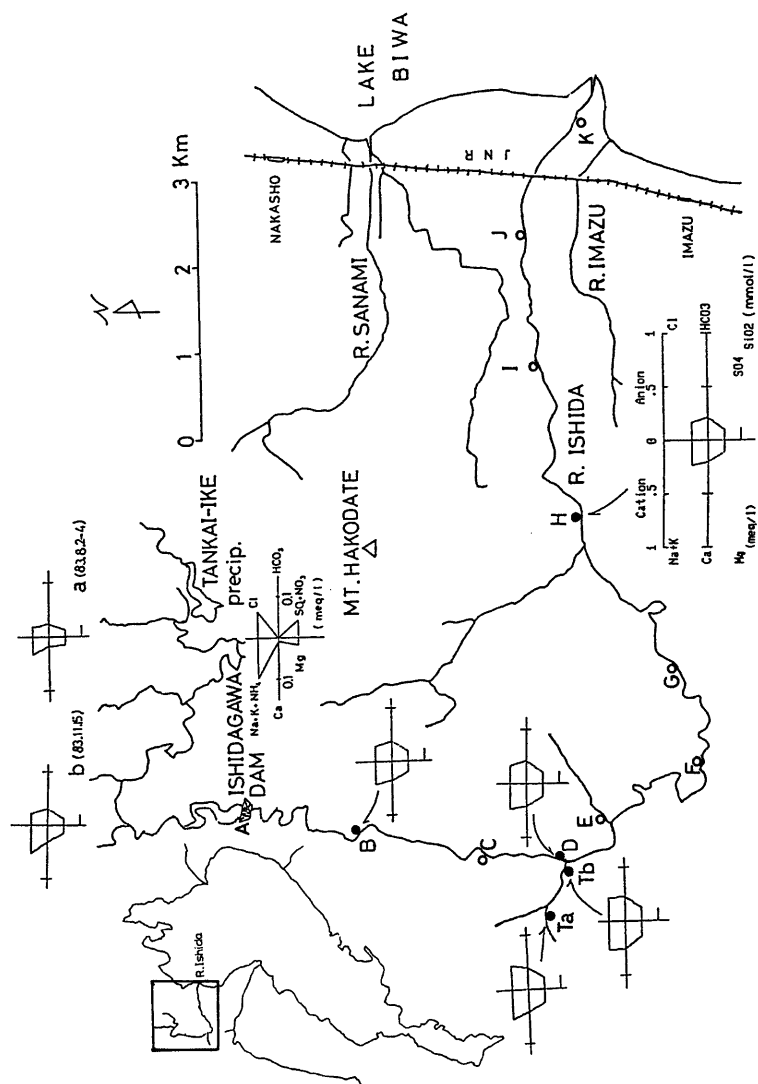


Fig. 1 Location of water sampling points and the average quality of the Ishida basin (●: fixed sampling points and ○: temporary sampling points).

Fig. 1 の観測地点 B, D, H 点および Ta, Tb 点には一年間の平均水質をヘキサダイアグラムで表示している。これから石田川本流の平均水質は Na-HCO_3 型が卓越していることが読みとれる。また石田川ダム上流の 8 月と 11 月の水質もいずれも Na-HCO_3 型が卓越している。

一方、支流の Ta 点は Na-Cl 型, Tb 点は $\text{Na}\cdot\text{Ca-Cl}\cdot\text{HCO}_3$ 型となっている。石田川ダムで採取した降雨の平均化学組成 ('82.8.16~'83.5.18, 6 試料) は Na-Cl 型を示している。

5. 流程にともなう水質と流量の変化

石田川の流程にともなう水質と流量の変化の観測は、夏期の平水時 ('83.7.27) と増水時 ('83.6.21) および冬期の増水時 ('83.11.27~28) に実施した。Fig. 2 に石田川の 流程にともなう水質パターンと流量の変化を示す。流量の変化については後述するので、ここでは省略する。

まず平水時の図からみると、水質パターンは上流域 (B~E 地点) では Na-HCO_3 型と Ca-HCO_3 型とがあるが、中流域 (E~H 地点) では Na-HCO_3 型となり、下流域 (I~K 地点) では $\text{Ca}\cdot\text{Na-HCO}_3$ 型とかわっている。

夏期の増水時 ('83.6.21) の水質パターンは上流から下流の J 地点まで Na-HCO_3 型を示しているが、K 地点で Na-Cl 型に変化している。

冬期の増水時 ('83.11.27~28) には観測が 2 日間にわたっておりその間の時間的流量の変化があるので他の時期と同一に論ずるには問題があるが、ここではそれを無視することにする。上流域 (A~E 地点) の水質パターンは Na-Cl 型 (A・B 地点), Na-HCO_3 型 (C・E 地点), $\text{Ca}\cdot\text{Na-HCO}_3$ 型 (D 地点) の 3 種類になるが、中流域 (F・G・H 地点) では Na-HCO_3 型 (F 地点), $\text{Na}\cdot\text{Ca-Cl}\cdot\text{HCO}_3$ 型 (G 地点), $\text{Na-Cl}\cdot\text{HCO}_3$ 型 (H 地点) となり、下流域 (I・J・K 地点) では Na-HCO_3 型 (I 地点), $\text{Na-Cl}\cdot\text{HCO}_3$ 型 (J・K 地点) となり、夏期の平水時および増水時に比較して水質のパターンはきわめて複雑な様相を呈している。

Fig. 3, 4, 5 に石田川の夏期の平水時、増水時および冬期の増水時における流程にともなう Cl , HCO_3 , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, 流量の変化と平均河川長 1 km 当たりの浸出量 (河川への流入量) と伏没量 (河川からの流出量) をそれぞれ示す。

まず $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度の極大値の出現地点は観測時によってことになっていた。すなわち、平水時には中流域の G 地点で、夏期の増水時には上流域の A 地点に、冬期の増水時には下流域の H 地点に、それぞれ $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の極大値が出現していた。

$\text{NO}_3\text{-N}$ の平水時における濃度は、中流域の H 地点までほとんど変化を示さない (0.05mg/l 以下) が、下流域の I 地点からその濃度の増加が認められる (0.3mg/l 程度まで)。夏期の増水時には、平水時に比べて $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度は A 地点 (約 0.2mg/l) から C 地点にかけ若干の濃度減少は見受けられるが、その後 I 地点まで増加し (0.35mg/l まで), K 地点にむかって 0.2mg/l 程度まで減少している。冬期の増水時には A 地点 (約 0.3mg/l) から下流域の I 地点までその濃度に若干の増減はあるが、ほぼ一定の値を示し、J・K 地点と下流にむかってその濃度は増加している (約 0.1mg/l)。

$\text{NH}_4\text{-N}$ の平水時における濃度は上流域の A・B 地点 (0.03mg/l) から D 地点 (検出不能) にむかって、その濃度は大幅に減少し、その後、中流域の H 地点 (0.02mg/l) まで増加し、また J 地点 (検出不能) にむかって減少し、K 地点では 0.01mg/l とその濃度は増加している。夏期の増水時には、平水時に比べて $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度は一桁大きい値を示しており、中流域の G 地点で 0.3mg/l と高い値を示しているが、その他の地点では上流域、下流域とほぼ一定の値 (約 0.1mg/l) を示す。冬期の増水時の $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度は夏期の増水時に比べて一桁小さい値を示し、上流域の D 地点 (0.05mg/l) で極大値を、中流域の F 地点 (0.016mg/l) で最小値を示し、その後下流域にむかってその濃度は増加している (J 地点で 0.03mg/l と一時減少)。

Cl 濃度については、夏期の平水時も増水時もあまり大きな濃度の差はみられなかったが、しいていえば、平水時には下流域からその濃度は若干増加し、増水時には上流域から下流域に行くにしたがってその濃度は

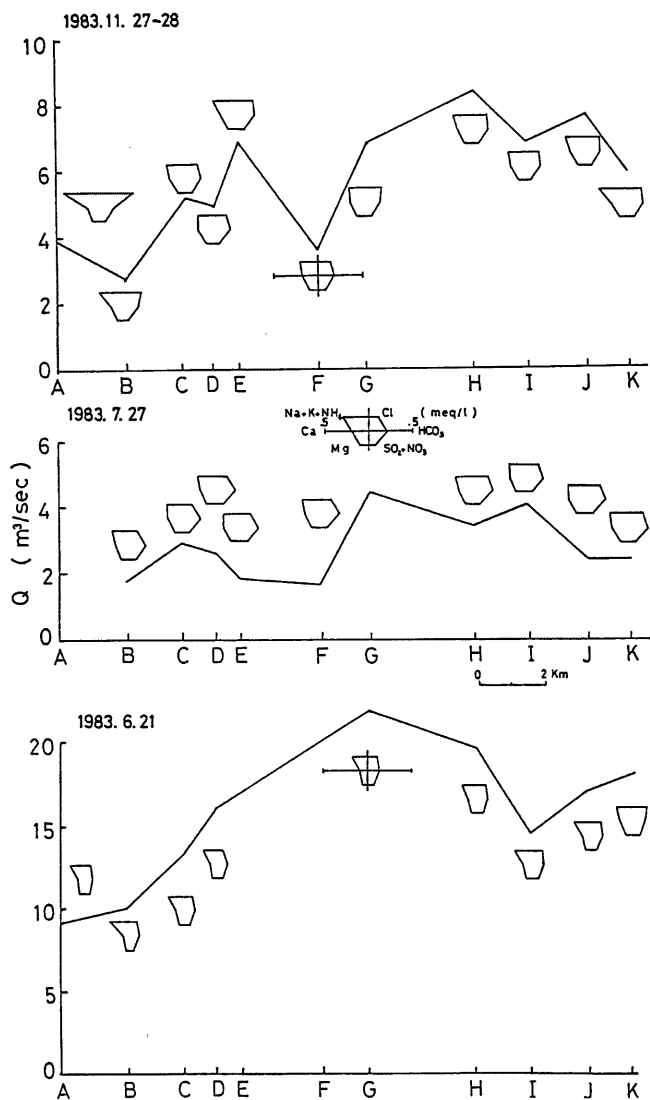


Fig. 2 Variation of water quality and discharge along the distance of flow in the Ishida basin.

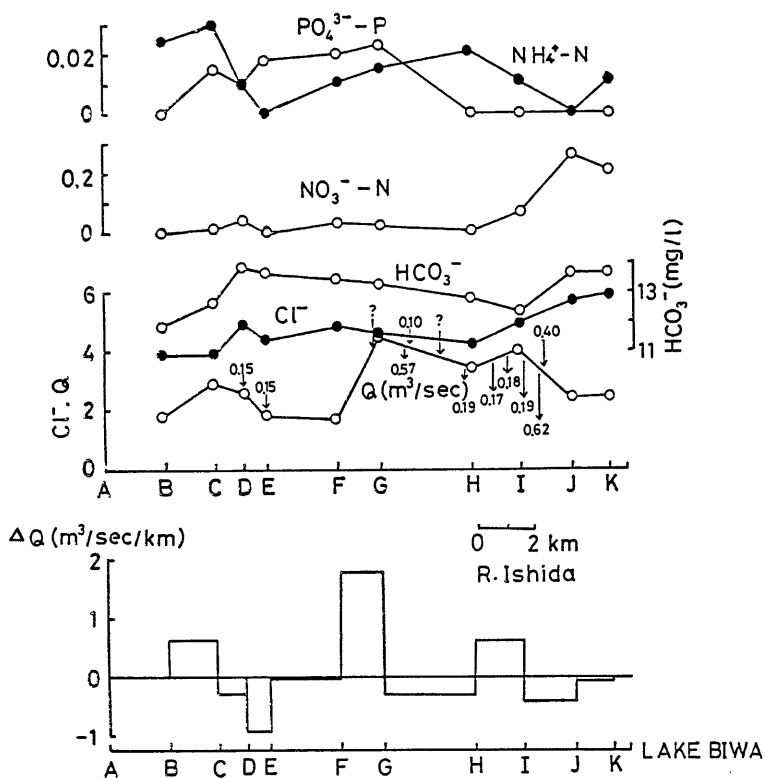


Fig. 3 Variation of water quality and discharge along the distance of flow on an ordinary stage in summer (July 27, 1983).

増加する傾向が認められる。冬期の増水時には上流域の A 地点で 13.6 mg/l ときわめて高い値を示すが、C・D 地点 (5.4 mg/l) にむかってその濃度は大幅に減少し、その後 E 地点 (6.8 mg/l) では 1.4 mg/l の濃度の増加があり、中流域の F 地点 (5.4 mg/l) では 1.4 mg/l 減少し、同 G 地点では、E 地点程度の値に回復して、その後は 6 mg/l 程度の値を維持しながら下流域の K 地点に到達する。

HCO_3^- の濃度は平水時には上流域の B 地点 (11.8 mg/l) から D 地点にかけ増加 (約 2 mg/l) し、その後下流域の I 地点 (12.3 mg/l) まで漸減し、それから再び、増加しはじめる。下流域地点での HCO_3^- 濃度の増加傾向は、 Cl^- , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ と類似した様相を呈している。夏期の増水時における HCO_3^- 濃度の変化は、A 地点 (7.0 mg/l) から D 地点にむかって 2.0 mg/l 程度増加し、その後下流域までほとんど変化を示さなかった。冬期の増水時には A・B 地点 (10 mg/l) から E 地点にむかって 2.0 mg/l 程度増加し、その後は、夏期の増水時と同様に、下流域までほとんどその濃度の変化はみられなかった。

次に、本川の流下にもなう流量の変化の様子をみてみよう。なお Figs. 3, 5 の流量の変化図に上からの ↓印は支流から本川への流入量を、その変化図の下からの ↓印はその本川から頭首工を通しての取水量を表わしている。

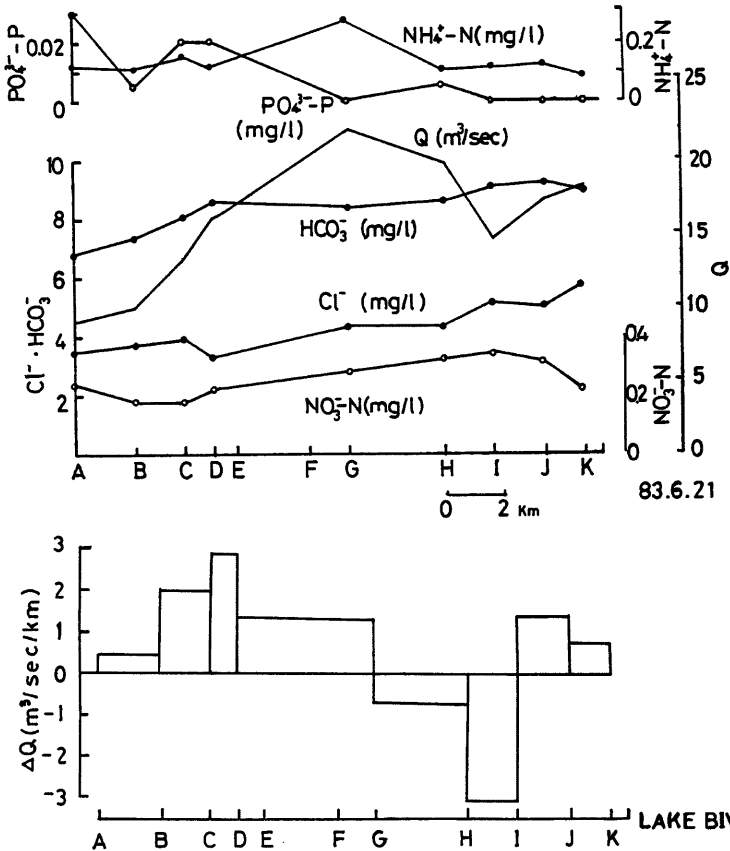


Fig. 4 Variation of water quality and discharge along the distance of flow on a flood stage in summer (June 21, 1983).

平水時における B~C 地点区間で流量が増加し ($0.63 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の河川への流入量), さらに F~G 地点区間では大幅な増加 ($1.8 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$) が観測された。その後は減少の傾向を示すが, H~I 地点区間においては, 流量の増加がみられた ($0.61 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$)。一方, 流量の減少区間として D~E 地点および I~J 地点区間などにあり, それぞれ $0.96 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, $0.45 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏没量 (河川からの流出量) が観測された (Fig. 3 の下段の図参照)。

夏の増水時における本川への流入量は, B~C 地点区間で $2.0 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, C~D 地点区間で $2.8 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, D~G 地点区間で $1.3 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, I~J 区間で $1.4 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ であり, 流量の減少区間としては G~H 地点区間で $0.7 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, H~I 地点区間で $3.1 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏没があった (Fig. 4 の下段の図参照)。

冬の増水時における本川への流入量は, B~C 地点区間で $2.4 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, と F~G 地点区間で $3.3 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, D~E 地点区間で $1.5 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, G~H 地点区間で $1.6 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, H~I 地点区間で 1.4

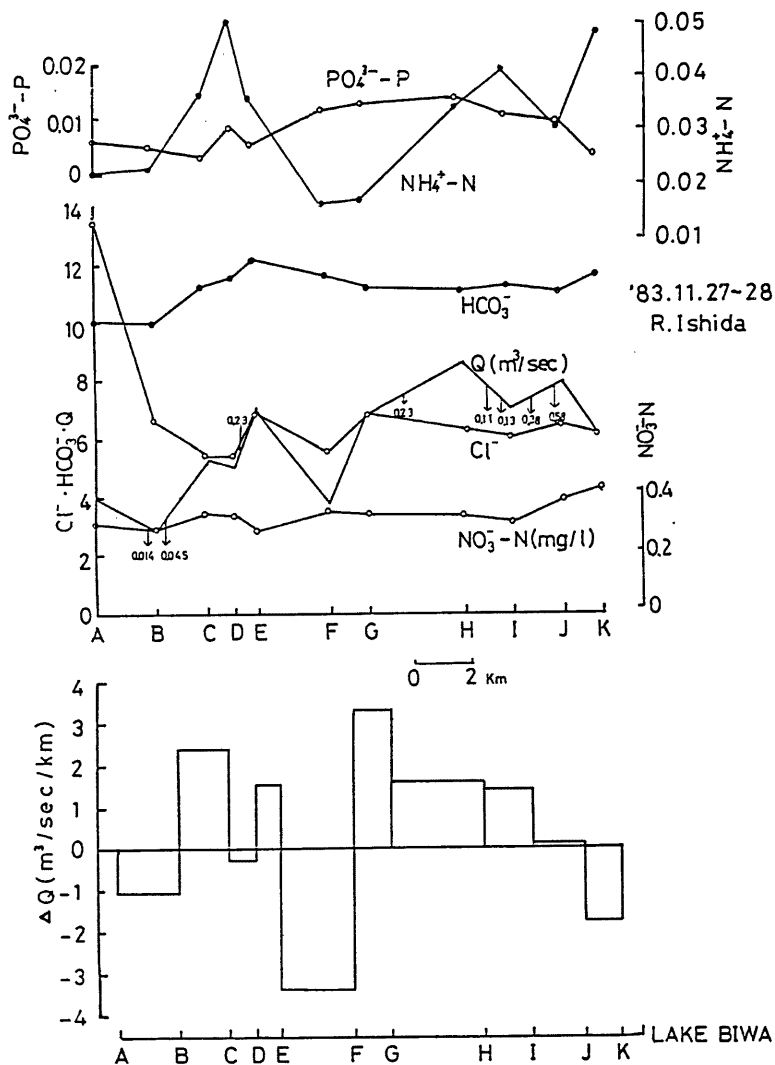


Fig. 5 Variation of water quality and discharge along the distance of flow on a flood stage in winter (November 27 to 28, 1983).

$\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ であった。一方、流量の減少区間として A~B 地点区間で $1.1\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, E~F 地点区間で $3.4\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$, J~K 地点区間で $1.7\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏没があった (Fig. 5 の下段の図参照)。

以上 3 回の流程にともなう水質と流量の観測の結果、共通的にいえることは、水質では上流域から下流域まで Na-HCO_3 が卓越し (時に Cl が卓越していることもある), また流量の変化では B~C と F~G 地

点区間で石田川への流入量が観測されたということである。

なお、「日本の活断層」³⁾によると Fig. 1 の H 地点から F~G 地点の中間に堂建山断層(走向NE, 傾斜N, 長さ6km)が存在している。この断層の存在と水質の変化(平水時の G 地点で流量が急に増加しているにもかかわらず $\text{Na}\cdot\text{HCO}_3$ の濃度が増加する)および流量の増加(平水時, 増水時のいずれにも関係なく石田川への流入量が観測された)などから, 本川の中流域からの水質, 流量の変化にこの断層がなんらかの影響をおよぼしている可能性がある。この関係は今後のより詳しい調査に期待したい。

6. 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と流程にともなう水質と流量の変化の観測結果について述べたが, 要約すると次のようになる。

- 1) 石田川本川の定点における水質パターンは時期によって $\text{Na}\cdot\text{Cl}$ 型(融雪時), $\text{Ca}\cdot\text{HCO}_3$ 型(5月末~7月末), $\text{Na}\cdot\text{HCO}_3$ 型(融雪時および5月末~7月末を除く期間)の3種類にわけられる。一方, 支流は $\text{Na}\cdot\text{Cl}$ 型が卓越している。
- 2) 年間の平均水質は本川では $\text{Na}\cdot\text{HCO}_3$ 型, 支流では $\text{Na}\cdot\text{Cl}$ 型と $\text{Na}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3$ 型の2種類がある。
- 3) 流程にともなう水質パターンは, 冬期の増水時と, 夏期の平水時および増水時とを比べると, 前者の方がきわめて複雑な様相を呈している。
- 4) 流程にともなう $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の極大値の出現地点は観測時によってことなる。
- 5) $\text{NO}_3\text{-N}$ の夏期の平水時における流程にともなう濃度は上流から中流にかけほとんど変化はみられないが, 下流からその増加がみられる。夏期の増水時には下流において減少がみられ, また冬期の増水時には上流から下流にいたるまで濃度の大きな変化はみられない。
- 6) 夏期の増水時における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は, 平水時および冬期の増水時に比べて, 一桁大きな値を示す。
- 7) Cl 濃度は夏期の場合には, 平水時も増水時も上流から下流にむかって大きな濃度差はみられない。冬期の増水時には最上流地点で高濃度の値を示していたがその後大きな濃度変化はみられない。
- 8) 夏期の平水時における HCO_3 濃度は上流の一部区間で増加がみられたが, その後下流の途中まで減少し, その末端区間でふたたび濃度の増加がみられる。夏期と冬期のいずれの増水時にも平水時同様, 上流の一部区間で濃度は増加し, その後下流まで, その値を維持している。
- 9) 流程にともなう流量の変化は, 夏期の平水時で $0.60\sim 1.8\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の浸出量(河川への流入量)と $0.45\sim 0.96\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏設量(河川からの流出量)が, また夏期の増水時には $1.3\sim 2.8\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の浸出量と $0.7\sim 3.1\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏設量が, そして冬期の増水時には $1.4\sim 3.3\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の浸出量と $1.1\sim 3.4\text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}$ の伏設量が, それぞれ観測されている。

7. 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)の一環として行なっているものであり, 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 正氏, 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同校学生諸氏に厚くお礼を申し上げます。また石田川ダムで降水採取の便宜をはかっていただいた滋賀県石田川ダム管理事務所大村 紘氏および現地の観測に積極的な協力をおしもらった元本学理学部学生岩崎功志(現本学院生), 岡本俊策(現防災研究所研修員)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・災害部門の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 三宅泰雄・北野 康：新水質化学分析法，1976，265 pp., 地人書館，東京。
- 2) 日本分析化学会北海道支部編：水の分析（第 3 版），1981，504 pp., 化学同人，京都。
- 3) 活断層研究会編：日本の活断層，1980，363 pp., 東京大学出版会，東京。