

富士川水系の多地点通日測定結果

II 流下に伴う地球化学的水質組成の変化と物質収支について

堤 充 紀 笠井和 平 飛田修 作 小林規 矩夫
 沢登春 成 鷹野茂 夫 清水源 治 長田照 子
 高橋照 美 青柳けい子

前報のデータ¹⁾に基づいて富士川水系(図1)の水質の主要成分組成と流下に伴う水質組成の変化, 物質収支および汚濁負荷量について検討した。

無機溶存物質の重量濃度では, $\text{HCO}_3 > \text{Ca}$, SiO_2 , $\text{SO}_4 > \text{Na} > \text{Cl} > \text{NO}_3$, K , $\text{Mg} > \text{NH}_4$, PO_4 , NO_2 の順となった。

結果と考察

1. 地球化学的な水質組成について

前報に述べた通日調査の平均値から計算して求めた水中に溶存するイオンの当量組成を表1に示した。ただし NH_4 と NO_2 はカチオンやアニオンに占める割合が最高でもそれぞれ 0.59 eq % と 0.16 eq % にすぎなかったため, この表には掲げなかったが合計には含めた。また同表の右欄にはカチオンとアニオンの当量比, EC のイオン導電率からの計算値^{2,3)} と実測値の比を示したが, これらの比が両者とも 1 に近いことからみてこのイオンの分析値は信頼性が高いといえる。

表1の値から本水系のイオンの当量濃度の順位は, カチオンではいずれの地点でも, $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{NH}_4$ でありアニオンでは St. 8 (塩川) で $\text{Cl} > \text{SO}_4$ となっていたほかは, $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{PO}_4$, NO_2 であり, 特に本川については Ca と HCO_3 がともに 50 eq % 以上であった。なお重量濃度¹⁾でみてもカチオンで上記順位が, Mg と K が一部地点で入れかわるのみでアニオンでは全く変わらない。両イオンと SiO_2 をあわせた

2. 流下に伴う水質組成の変化について

地球化学的な主要項目について富士川の流下に伴う水質変化の様子を検討した。ただし St. 6¹⁾については前報で述べたように, 上流での大量取水やその後での山地河川の流入があるため St. 5 から上流とは同列には論じられないので, ここでは St. 1 から St. 5 に限定して, 盆地および都市部を含んだ流域を流下するに伴った水質変化について検討を加えた。

主要イオンの濃度変化を流程を横軸にとりて表わしたものが図2である。カチオンでは Na と Mg が, アニオンでは SO_4 , Cl と NO_3 が流下とともに濃度が増加している。このうち Na と Cl および NO_3 は田園・山林地帯を流下する St. 1, 2 間では濃度の増加は少ないが, 盆地・都市部を流域にもつ 笛吹川 (St. 9) が流入する St. 4, 5 間では濃度の上昇が急激であった。なお Cl と Na の当量比 (Cl/Na) の変化をみると St. 1 (0.44) から St. 5 (0.61) へ徐々に上昇していた。また SO_4 はそ

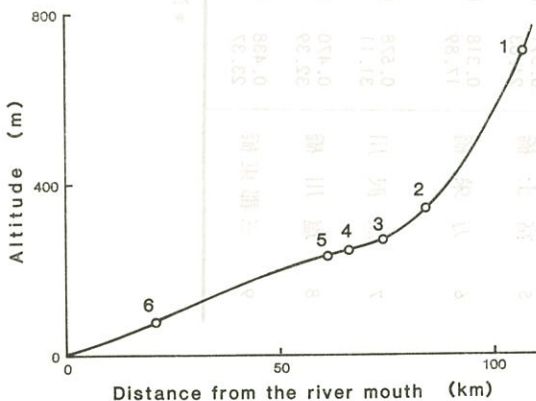


図1 富士川の縦断面図と St. No.

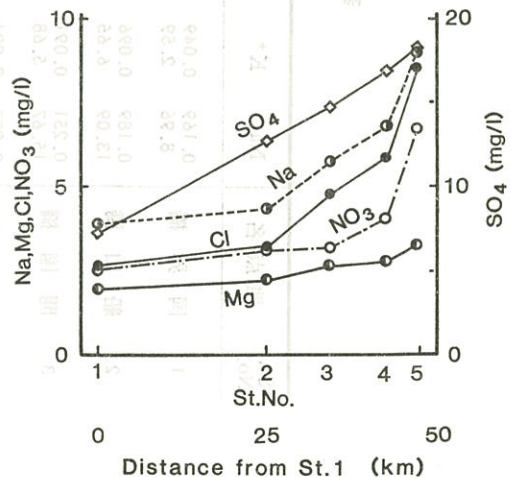
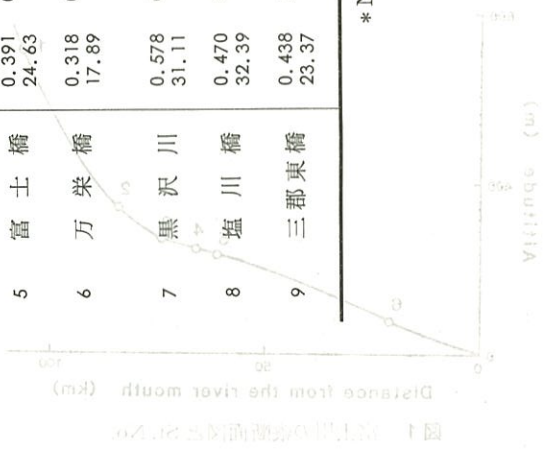
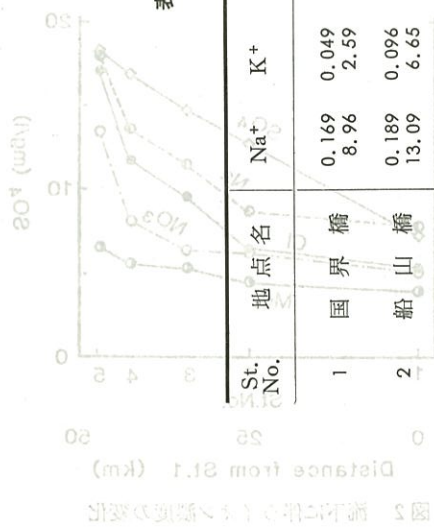


図2 流下に伴うイオン濃度の変化

表1 富士川水系のイオン当量組成
(上段: meq/l, 下段: eq %)

St. No.	地点名	* Na ⁺			K ⁺	Ca ²⁺		Mg ²⁺		* 全カチオン			* HCO ₃ ⁻			Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		PO ₄ ³⁻		* 全アニオン		* 全カチオン/ 全アニオン		EC calc./obs.
		0.169	0.049	1.502		0.162	1.886	84.17	0.074	0.150	0.041	0.001	1.687	1.11	1.10													
1	国界橋	8.96	2.59	79.65	8.59	100.00	4.39	8.89	2.43	0.06	100.00	1.03	1.01															
2	船山橋	0.189	0.096	0.975	0.183	1.444	71.08	0.091	0.264	0.051	1.407	1.02	1.04															
		13.09	6.65	67.52	12.67	100.00	6.47	18.76	3.62	0.07	100.00	0.97	0.97															
3	開国橋	0.251	0.091	1.044	0.216	1.602	1.072	0.135	0.305	0.051	1.565	1.02	1.04															
		15.67	5.68	65.17	13.48	100.00	68.50	8.63	19.49	3.26	100.00	0.97	0.97															
4	三郡西橋	0.297	0.094	0.975	0.228	1.595	1.061	0.166	0.352	0.065	1.647	0.97	0.97															
		18.62	5.89	61.14	14.29	100.00	64.42	10.08	21.37	3.95	100.00	0.97	0.97															
5	富士橋	0.391	0.086	0.832	0.271	1.587	0.907	0.240	0.378	0.109	1.640	0.97	1.02															
		24.63	5.42	52.43	17.08	100.00	55.31	14.63	23.05	6.65	100.00	0.95	1.07															
6	万栄橋	0.318	0.089	1.077	0.293	1.777	1.136	0.177	0.473	0.078	1.868	0.95	1.07															
		17.89	5.01	60.61	16.49	100.00	60.81	9.48	25.32	4.18	100.00	1.06	1.04															
7	黒沢川	0.578	0.098	0.829	0.351	1.858	1.003	0.288	0.361	0.094	1.753	1.06	1.04															
		31.11	5.27	44.62	18.89	100.00	57.22	16.43	20.59	5.36	100.00	1.11	1.06															
8	塩川橋	0.470	0.073	0.673	0.235	1.451	0.772	0.262	0.229	0.046	1.310	1.11	1.06															
		32.39	5.03	46.38	16.20	100.00	58.93	20.00	17.48	3.51	100.00	1.01	1.02															
9	三郡東橋	0.438	0.089	1.033	0.303	1.874	1.109	0.257	0.401	0.083	1.858	1.01	1.02															
		23.37	4.75	55.12	16.17	100.00	59.69	13.83	21.58	4.47	100.00																	

* NH₄⁺, NO₂⁻は共に他のイオンにくらべて少なくないが、それぞれカチオン、アニオンに含めて計算してある。



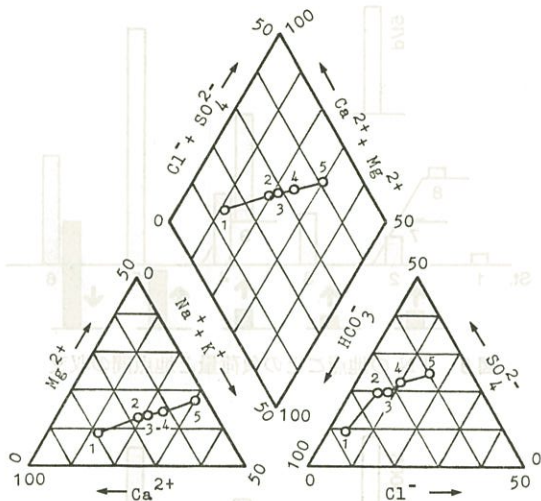


図3 菱形図と三角図表示による流下に伴うイオン組成の変化
(図中の数字はSt. No.を表わす)

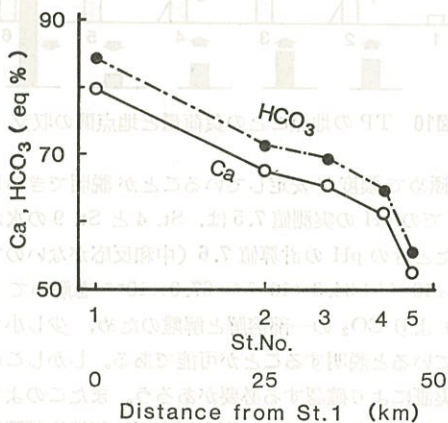


図4 流下に伴うCaとHCO₃の当量組成の低下のようす

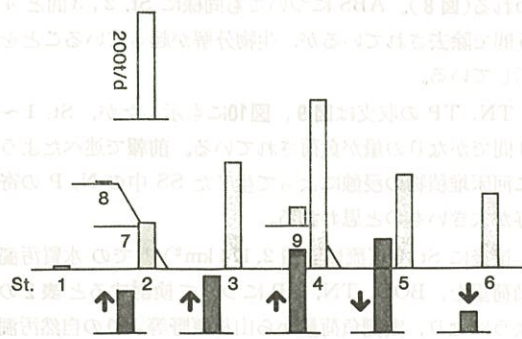


図5 SSの地点ごとの負荷量および地点間の収支

の増加の一様性と、たまたま灌漑期であったことから考えると農耕地からの肥料成分の流出も一因と思われる。

図には示さなかったが、HCO₃、Ca、Kについては上述のイオンのような重量濃度の一律な増加や減少は認められなかった。

次に流下に伴う主要イオンのeq %の変化を菱形図と三角図で表わしたものが図3である。流下に伴ったCa+MgおよびHCO₃の減少と、Na+KおよびCl+SO₄の増加の方向は一様であるが、MgとClおよびSO₄はともに増加し、Caは減少することが明瞭に表わされている。すなわち富士川本川は、カチオンまたはアニオンのそれぞれ80eq %以上の組成を占めるCaとHCO₃の豊富な上流の水が、流下の過程でNa、Cl、SO₄、NO₃などのイオンの増加に伴って、CaとHCO₃の比率を50%台まで減少しながら流れ下っているといえることができる(図4)。

3. 流下に伴う物質収支について

流量と物質濃度の平均値を使って負荷量と物質収支を計算した。なお流量の収支については、最も流量の多い支川(笛吹川)の合流する地点で収支がよく合っていたことは前報で述べた。

まずSSについては図5に示したようにSt. 1~4間での多量の負荷とSt. 4, 5間での大量の除去が目される。この負荷は清水らが報告しているように濃度的には砂利採取などの影響とは考えられない⁴⁾、未測定 of 支川からの流入とも考えられない。またSt. 4, 5間での除去量はSt. 4とSt. 9の合計負荷量の45%, 174 t/dにもおよぶものであり、河床勾配がSt. 3, 4間とあまり変らない(図1)ことから考えて普通の沈澱とも考えられない。しかし、1982年8月初旬と9月中旬の2回の大雨(韭崎でいずれも3日間に232 mmと260 mm⁵⁾)によりSt. 1の下流約500 m付近から長さ1.3 km、幅30 m、深さ13 mにもわたる古い砂礫層の大浸蝕があり⁶⁾それが1983年8月の豪雨(韭崎で3日間に334 mm⁵⁾)によって再び浸蝕されたこと、1982年の大雨以来富士川の濁りがつづいていること^{4,7)}などから考えると、その浸蝕によって流出した土砂の一部が遠くまで運ばれることなく河床に堆積し、水流とともに順送りに負荷、沈澱を繰り返す、たまたまその沈澱の場所がSt. 4, 5間になったと考えればうまく説明できる。そしてその負荷・沈澱のサイクルは河床勾配からみて、より下流へ続いて行くものと思われる。

なおSt. 5, 6間では発電用取水のためすべての物資がマイナス負荷となっている。

次にNaの収支については図6に示したが、流量の収支とよく似たものになり、このイオンの易溶性と保存性

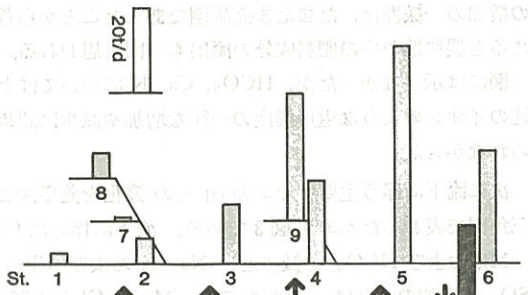


図6 Naの地点ごとの負荷量と地点間の収支

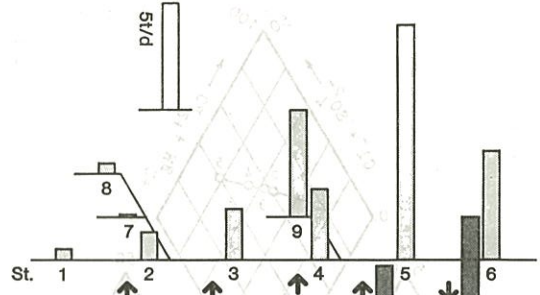


図9 TNの地点ごとの負荷量と地点間の収支

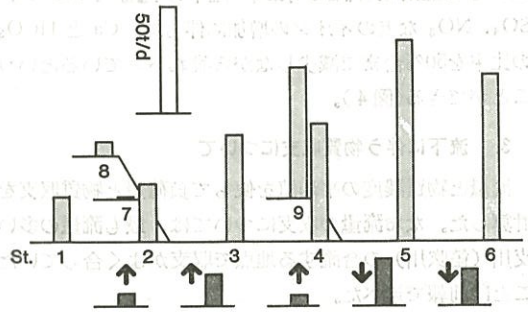


図7 Caの地点ごとの負荷量と地点間の収支

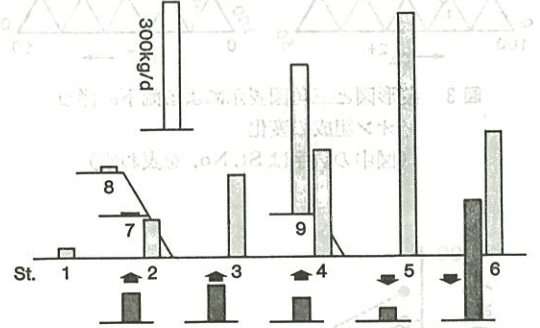


図10 TPの地点ごとの負荷量と地点間の収支

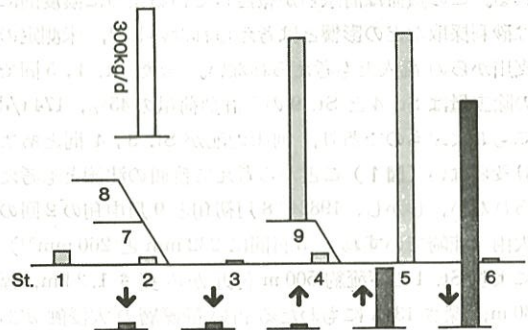


図8 NH₃-Nの地点ごとの負荷量と地点間の収支

を示していた。

またCaは図7に示したようにSt. 4, 5間で22 t/d除去されているし、HCO₃もSt. 4, 5間で72 t/d除去されている。CaとHCO₃の除去量の当量比は1.07:1となっているので、CaCO₃の形で1日約90トン沈澱していることになる。この原因としてはpHの異なるSt. 4とSt. 9の水(pH 8.1と7.4)が混合して、St. 4からみればpHが下がったため、Ca²⁺+2HCO₃⁻→CaCO₃+H₂O+CO₂↑の反応が進行したものと考えられる。このように考えると前報で述べたSt. 4と9で濃度変動の大きいCaが、合流したのち過飽和となって沈澱し、St. 5

では極めて濃度が安定していることが説明できるし、St. 5でのpHの実測値7.5は、St. 4とSt. 9の水が混合したときのpHの計算値7.6(中和反応がないので、 $32.7 \times 10^{-8.1} + 34.3 \times 10^{-7.4} = 67.0 \times 10^{-x}$ を解いて $x = 7.62$)よりCO₂の一部溶解と解離のため、少し小さくなっていると説明することが可能である。しかしこの推論は実証により確認する必要がある。またこのような沈澱の現象があるためか、富士川本川の無機塩類濃度は流下によっても顕著には増加していない¹⁾。

NH₃-NはSt. 1, 2間とSt. 2, 3間で実測負荷量の約50%が除去されているが硝化や揮散によるものと思われる(図8)。ABSについても同様にSt. 2, 3間と4, 5間で除去されているが、生物分解が起っていることを示している。

TN, TPの収支は図9, 図10にも示したが、St. 1~4間でかなりの量が負荷されている。前報で述べたように河床堆積物の浸蝕によって生じたSS中のN, Pの寄与が大きいものと思われる。

最後にSt. 5(流域面積2,174 km²)⁹⁾での水質汚濁負荷量を、BOD, TN, TPについて検討すると表2のようになり、実測負荷量から山林原野等よりの自然汚濁負荷量(流達率は100%とした)を減じた人為汚濁負荷量は、BOD 7.4 t/d, TN 6.9 t/d, TP 0.46 t/dとな

表2 富士橋地点 (St.5) での汚濁負荷量 (流域面積 2,174 km², 人口 520×10³人)

No.	項目	単位	BOD	TN	TP	備考
1	実測汚濁負荷流出量	t/d	9.0	11.0	0.57	本調査
2	自然汚濁負荷量原単位	kg/d, km ²	0.75 ¹⁰⁾	1.9 ⁹⁾	0.05 ⁹⁾	
3	自然汚濁負荷量	t/d	1.6	4.1	0.11	No.2×流域面積
4	人為汚濁負荷量	t/d	7.4	6.9	0.46	No.1-No.3
5	〃	g/d, 人	14	13	0.88	No.4/人口
6	家庭汚水発生負荷量原単位	g/d, 人	50	12	1.8	文献10)
7	人為汚濁負荷除去率*	%	72	-8.3	51	1-No.5/No.6

*すべての産業による負荷量を0, 人為汚濁負荷は家庭汚水のみとし, かつその処理も全くしないと仮定したときの値

る。流域内での農業を含めたすべての産業による負荷量はゼロで, 人為負荷は家庭汚水のみでしかもその処理は全く行われていないと仮定した場合の St. 5 までの除去率を算出すると, BOD は72%, TP は51%除去されていることになる。それゆえ, 全発生負荷量の St. 5 までの除去率はそれ以上となるはずである。しかし, TN はかえって負荷されている計算になり農耕地等からのNの流亡による負荷が大きいことを示唆している。

筆者らはさらにひきつづいて流域内での農業, 産業活動による負荷, 家庭汚水の処理形態と流出負荷および自然負荷量の調査により, さらに精度の高い人為負荷量の実態の解明に努め富士川の環境維持ないし美化の対策に役立てたいと考えている。

む す び

富士川水系9地点の同時通日調査結果の解析により次のような結果を得た。

1. 無機溶存物質の重量濃度は $\text{HCO}_3 > \text{Ca}, \text{SiO}_2, \text{SO}_4 > \text{Na} > \text{Cl} > \text{NO}_3, \text{K}, \text{Mg} > \text{NH}_4, \text{PO}_4, \text{NO}_2$ の順であり, 本川では Ca と HCO_3 がそれぞれカチオン, アニオンの50 eq%以上を占めていた。

2. 上流の Ca と HCO_3 の豊富な水は流下するに従って Na, Cl, SO_4, NO_3 などの比率が増してきて, 一部は CaCO_3 として沈澱しているものと思われる。そのためか下流でも塩類濃度はそれほど増加しない。

3. SS は St.1~4 間で多量に負荷されるが, St.4~5 間ではかなり沈澱する。その SS は河床の浸蝕作用によるものと推定された。

4. 富士橋 (St.5) までの流域では BOD は発生負

荷量の72%以上が除去されていると概算された。さらに負荷量を下げるためには処理実態や発生量¹⁰⁾ から考えて, 家庭雑排水の有効な処理が望まれる。

5. Nの除去率は低く農耕地からのN肥料の流亡等の大きいことが示唆された。

前報を含め本調査を行うにあたり当研究所の田中正二郎, 田中久両研究員ならびに山梨県環境公害課, 韮崎, 小笠原, 身延各保健所の多数の職員の御協力を得た, ここに厚く感謝する。

文 献

- 1) 堤充紀ら: 山梨県衛公研年報 27, 25~32 (1983)
- 2) APHA-AWWA-WPCF: Standard Methods, p.32 (1980)
- 3) 日本水道協会: 上水試験方法, p.296 (1978)
- 4) 清水源治, 笠井和平: 山梨衛公研年報 27, 38~43 (1983)
- 5) 甲府地方気象台編: 山梨県気象月報 (1982, 3年各月)
- 6) 口野道男: ミニグランドキャニオン, 山梨日日新聞社 (1983)
- 7) 山梨県: 公共用水域水質測定結果 (各年度)
- 8) 国土庁土地局: 山梨地域主要水系調査書 (富士川) (1983)
- 9) 土木学会: 琵琶湖の将来水質に関する報告書, p.56 (1970)
- 10) 日本下水道協会: 流域別下水道整備総合計画調査, 指針と解説 (1983)