

シラス地帯河川の水質と流出

河原田礼次郎・長 勝史

(農業水文学研究室)

昭和59年8月10日 受理

Water Quality and Runoff of the River Flowing through Shirasu Region.

Reijiro KAWAHARADA and Katsushi CHO

(Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering)

緒 言

近年, 都市人口の増大や諸産業の進展に伴い, 河川, 湖沼, 海域などの公共用水域の水質汚濁が深刻な問題となっている. とくに河川水の水質悪化は, 農業や工業をはじめとして, 市民生活にもその影響を及ぼすに至っている. この河川の水質汚濁を農業サイドからみたととき, 農業用水として利用するさいのいわゆる被害者の立場と, 農地排水や畜産排水などによる汚濁の発生負荷源と成りうるという加害者の立場の両面性を持っている.

一般に河川の水質は, このような人為的な要素のほか, 自然的要素, なかでもその流域を構成している地層や地質に左右される部分も多いといわれている. さらには流域内の汚濁物質を連行してくる雨水の河川への流出形態も水質に大きく影響するものと思われる.

そこでここでは南九州地域に広く分布するシラス地帯を流下する河川の水質を, 流域の流出特性を考慮しながら検討し, 水質予測の基礎資料を得るための調査・研究を行った. 水質調査流域としては, シラスが流域の大半を占める甲突川を選んだ. 採水地点は, 連続的な流量測定が可能な岩崎橋地点に定めた (Fig. 1 参照). なお同地点までの流域面積は約 93.9 km² であり, 土地利用区分は, おおよそ山地が71%, 水田6%, 畑3%および市街地20%である.

水質を表示する指標としては, 目的に応じて, COD, BOD, SS, T-N, T-P, 電導度などが用いられるが, 今回は計測が比較的容易な COD および電導度を測定した. COD (化学的酸素要求量) は水溶液中の有機物含量の目安となり, 水質測定の大まかな解釈には手頃な測定項目であるとされている. また電導度は水中に溶けているイオン量と各イオンの電気を運ぶ速さに支配されるので, 電導度によって溶存イオン量を比較することができる.

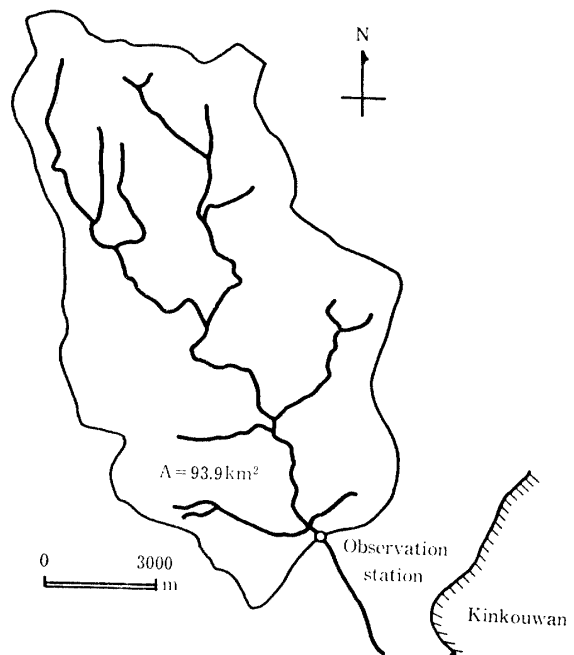


Fig. 1. Location of the investigated basin and the station where water quality was observed.

河川流量と水質との関係

一般の河川の水質の成分濃度は流量と密接な関係にあるといわれている. Fig. 2 は調査流域の採水地点における昭和58年8月27日から28日にかけての一連降雨時における河川の流量変化と, これに伴う COD 濃度と電導度の変動を示したものである. 図から明らかなように, COD の値は流量の増減に酷似して変化している. これに反して電導度は, 河川の流量変化とは負の相関にあるように変動している.

成分濃度 C と河川流量 Q との関係を次式

$$C = kQ^m \dots\dots\dots (1)$$

で近似すれば¹⁾,

1) $m = 0$: 流量に無関係に成分濃度は一定.

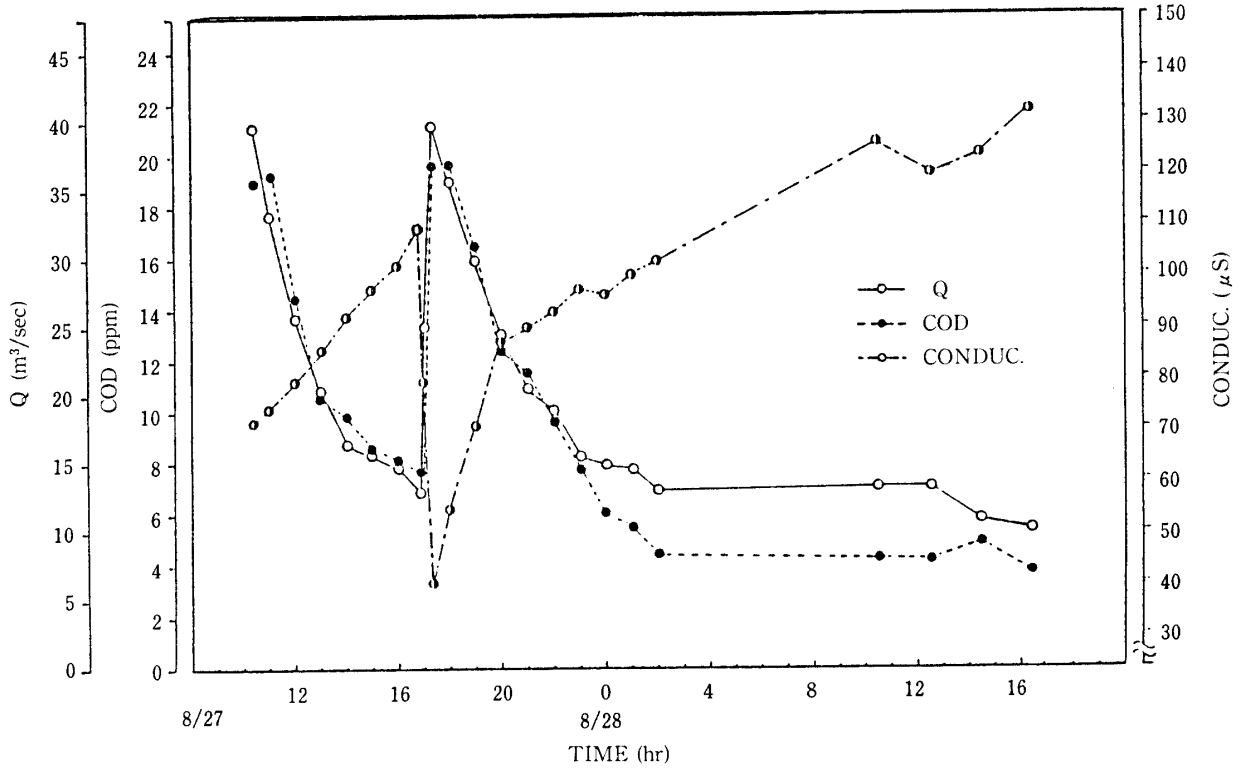


Fig. 2. Changes of discharge, COD values and electrical conductivity with the lapse of time.

- 2) $m > 0$: 流量が増加すると濃度も増加する.
- 3) $m < 0$: 流量が増加すると濃度が減少する.
- 4) $1 > m > 0$ } 流量の変動の方が濃度の変動
- $-1 < m < 0$ } より大きい.
- 5) $m < 1$ } 流量の変動より濃度の変動の方が
- $m < -1$ } 大きい.

となる.

今回の河川流量と COD 濃度との関係の測定結果を Fig. 3 に示している. 図中で丸印の違いは測定時期の

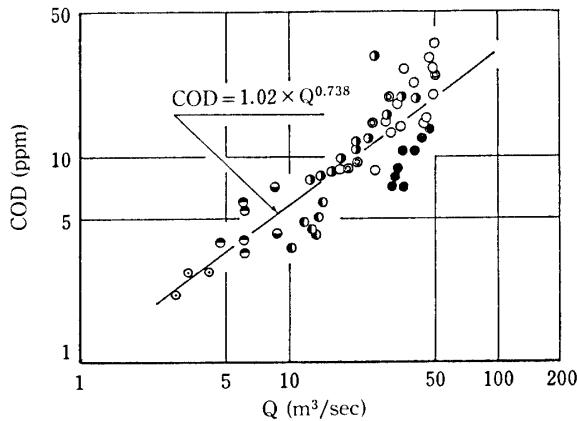


Fig. 3. Relation between discharge and COD values.

相違である. 同一流量でも測定日時により COD の濃度にかかなりの差異がみられるが, これは測定時以前の晴天日数や降雨強度, さらには COD 発生負荷源そのものの変動によるなど, 様々な因子の絡み合いによるためと思われる. 両者の関係を (1) 式で表示できるとして最小 2 乗法で定式化すれば,

$$\text{COD} = 1.02 Q^{0.738} \dots\dots\dots (2)$$

とる. この時の相関係数は $r = 0.803$ とまずまずの値である. このように COD の濃度が河川流量の増加に伴って増大するのは, COD 発生負荷源が流域の土層

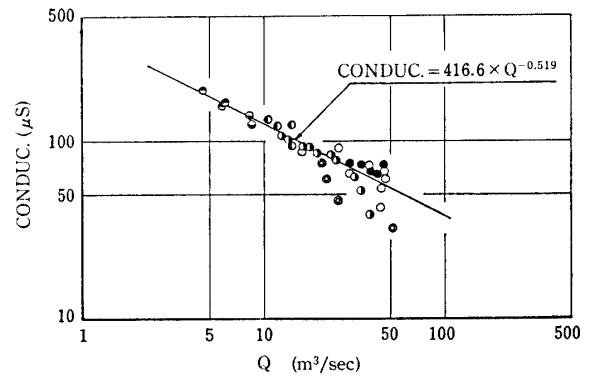


Fig. 4. Relation between discharge and electrical conductivity.

Table 1. Water qualities of main rivers in Kagoshima

Name of river	Water temp. (°C)	Turbidity (°)	pH	Total hardness CaCO ₃ (ma/l)	Ca hardness CaCO ₃ (mg/l)	Mg hardness CaCO ₃ (mg/l)	Total solids (mg/l)	KnMnO ₄ consumption (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Fe ³⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Komenotsu	18.5	8	7.2	29.3	20.8	8.6	74	1.2	18.8	5.4	4.8	0.06	1.4	6.3	8.3	2.1	16.5
Sendai	16.1	9	6.9	32.0	20.1	11.9	105	—	18.1	6.2	8.0	0.18	3.3	7.5	8.0	2.9	36.1
Wakita	21.0	18	7.3	29.3	19.9	9.4	156	1.3	19.7	10.3	7.6	0.28	4.4	10.8	8.0	2.3	55.5
Koutsuki	19.3	11	7.1	25.9	17.4	8.5	135	0.9	22.6	8.1	7.8	0.16	4.0	8.9	7.0	2.1	55.0
Amori	20.5	11	7.1	54.3	33.3	21.0	176	0.8	19.4	7.8	22.8	0.10	4.9	12.3	13.3	5.1	56.3
Kanoya	16.8	27	6.9	28.2	16.5	11.6	156	1.4	28.8	9.2	5.7	0.25	4.7	9.5	6.6	2.8	55.2
Anraku	24.2	21	7.0	21.3	10.2	11.3	161	1.5	19.5	5.4	8.7	0.16	3.8	6.1	4.1	2.7	35.3

Table 2. Groundwater qualities of some districts

Name of district	Depth of well (limit 30m)	Water temp. (°C)	pH	Alkalinity (pH 4.3) (meq/l)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	CaCO ₃ (ppm)	Fe (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	KMnO ₄ consumption (ppm)
Kagoshima Taniyama	Shallow	17.0-22.0	—	0.61-2.14	—	—	7.5-31.2	1.1-7.0	28.6-107.2	tr-0.07	13.1-33.8	1.1-37.4	37.9-89.9	0.1-3.1
	Deep	17.0-23.5	—	0.49-3.97	—	—	3.4-57.1	1.1-14.4	19.7-191.0	tr-7.19	8.0-101.9	5.1-62.3	42.4-96.3	0.4-4.1
Aira Kajiki	Shallow	20.7-21.5	6.8-7.2	0.72-1.54	12.4-32.0	3.7-27.2	2.4-30.6	3.8-8.3	51.8-121.0	tr-0.22	10.3-47.2	10.4-100.0	46.0-76.0	0.3-2.4
	Deep	19.0-20.5	7.1-8.3	0.65-1.89	9.0-70.3	2.0-5.7	0.4-40.2	1.0-10.4	5.1-162.1	tr-0.9	9.5-66.8	14.4-68.0	50.0-78.0	0.3-12.0
Izumi	Shallow	17.2-19.8	5.95-6.6	0.17-0.97	7.0-8.6	1.1-2.3	6.6-17.5	1.3-2.7	21.8-51.5	tr-0.07	6.9-13.8	4.8-15.0	11.6-32.0	tr-3.5
	Deep	19.5	7.3	1.13	12.2	3.0	13.3	1.5	39.6	tr	5.7	7.8	57.0	3.3
Sendai	Shallow	—	6.0-7.4	—	—	—	6-35	3-13	—	0-10-3	13-63	11-61	45-83	1-4
	Deep	—	4.8-7.4	—	—	—	4-11	3-10	—	tr-0.1	10-60	3-17	56-84	1-9
Kanoya Shibushi	Shallow	16.6-21.8	6.28-7.3	0.08-2.92	8.4-41.8	2.6-24.6	5.7-45.8	0.73-15.9	17.5-136.0	tr-1.2	4.3-52.8	3.6-69.3	26.0-86.0	0.5-11.1
	Deep	19.0-23.4	6.2-7.0	0.46-1.14	7.8-14.4	3.4-9.8	4.6-9.6	0.24-2.64	14.0-32.6	tr-0.2	4.3-7.2	2.7-11.6	45.0-86.7	tr-3.8

Note. Doubtful values of salt water intrusion are excluded from this table.

の表面付近、あるいはごく浅い部分に蓄積していることが多いことから、降雨時の雨水に溶解し、連行されて表面流出あるいは中間流出の形態で河川に流出するためと考えられる。

一方、河川流量とその時の電導度との関係を Fig. 4 に示しているが、逆相関ながらやはり (1) 式で近似できるようである。その回帰式は

$$\text{CONDUCT.} = 416.6 Q^{-0.519} \dots \dots \dots (3)$$

となり相関係数も $\gamma = 0.925$ とかなり高い。

COD 濃度の場合と異なり、流量増加に伴って電導度が減少するのは、各種の電解物質が地層の比較的深い所の地質に関与する部分が多いため、降雨直後の増水時の河川水には希釈された形で流出して電導度が低くなり、基底流量近くになると希釈される割合も少なくて、電導度は高くなるものと考えられる。

なお新田氏の測定によると多摩川の場合、(1) 式の m の値は、COD 濃度は $m = 1.5$ 、電導度で $m = -0.20$ と今回の結果とはやや差異がみられる。これら m の値がその流域の特性を示す指標となろうが、これに関与する因子は非常に複雑かつ多岐にわたるため、単純に結論を下すには問題があろう。また測定によって得られた (2) 式あるいは (3) 式は、本来その範囲内で有意であって、これらの関係をむやみに外挿することは避ける必要がおろう。

参考までに鹿児島県内の主要河川の水質を Table 1 に²⁾、地区別地下水の水質を Table 2 に²⁾示しているが、本邦河川の水質の平均値と比べてケイ酸 (SiO_2) の含量が 2~3 倍、それに伴う蒸発残渣量が 1.5~2 倍多いのが目立っている。なお SiO_2 は電荷を持たないので電導度には影響を与えない。

河川への負荷流出量

流域からの負荷流出は、雨水に溶解あるいは掃流され河川水と共に流下してくるわけであるから、その負荷量は河川流量に左右される。そこでその量が流量と一義的な関係にあるとして

$$L = \alpha Q^{\beta} \dots \dots \dots (4)$$

で表現される流送モデルを考える。前出の河川流量と COD 濃度との関係の測定結果から、(4) 式の係数を算定すると Fig. 5 に示すように

$$L_{\text{COD}} = 84.91 Q^{1.66} \dots \dots \dots (5)$$

となる。この時の相関係数は $\gamma = 0.831$ であった。したがってかなりの精度で河川流量より COD の流出負荷量を推量することが可能であると思われる。

また電導度と河川流量との関係の測定値から電解物

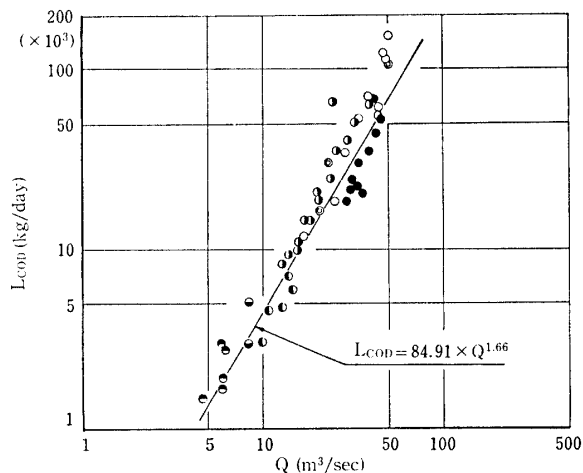


Fig. 5. Relation between discharge and load of COD.

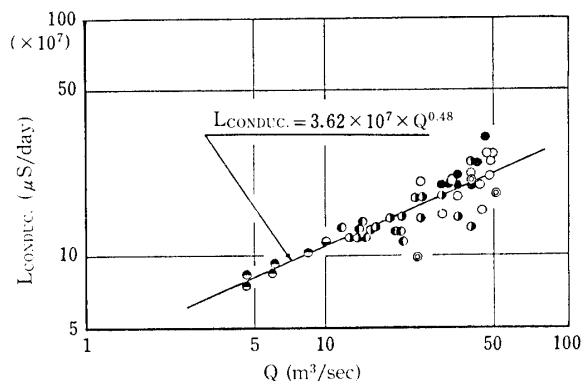


Fig. 6. Relation between discharge and load of electrolytic materials.

質の流出負荷量を同様な方法で試算すれば Fig. 6 のように

$$L_{\text{CONDUCT.}} = 3.62 \times 10^7 Q^{0.48} \dots \dots \dots (6)$$

となり、相関係数も $\gamma = 0.951$ とかなり高い結果となった。ただしあくまでも (6) 式は電導度が水溶液中の電解物質の量と一義的な関係にあると仮定した場合であり、電解物質の量的なものとは直接的には結び付くものではない。

調査流域の流出特性

前記のように水質の成分濃度は河川流量と密接な関係にあることから、長期間の水質の流出負荷量を予測するさいには、河川の流出特性をも充分考慮に入れる必要があろう。

Fig. 7 は調査河川である甲突川の採水地点における昭和 55 年度の流況図を示しているが、一般の流況図とはやや異なり、流量の低い部分に集中する分布状態

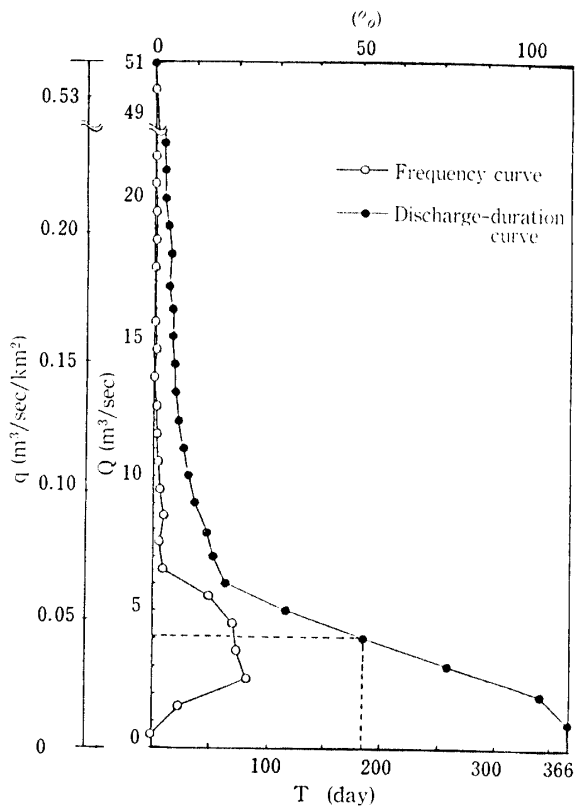


Fig. 7. Discharge-duration curve at Kōtsuki river (1980).

をなしており、低水量付近の比流量は本邦河川に比べかなり大きな値を示している。また Fig. 8 は図中に並記しているような3段のタンクモデルで同流域の短期の流出解析を行った一例である。河川への直接流出量を左右する流出孔係数の C_1 および C_3 の値は通常の河川の流出モデルの時よりかなり小さく、浸透孔係数の K_1, K_2 は極端に大きな値となっており、地下水流出量の多いことを示している。さらに調査河川の長期的な流出機構を把握するため、4段のタンクモデルで昭和57年の流出解析した結果を Fig. 9 に示しているが、やはりまったく同様な結果が得られた。このように直接流出が比較的小さく、地下水流出量が多いという調査河川の流出特性は、シラス地帯の地層が台地状で透水性の厚い火山灰層から成っているため、雨水が地中に浸入して地下水流出の形態をたどりやすいためと推察される。同じような傾向は南九州地域の他河川にもみられることが確認されている³⁾。

これらのことからシラス地帯の河川において水質の流出負荷量を算定するさいには、基底流量程度の時の水質の成分濃度に大きく影響されることに注意を払う必要がある。

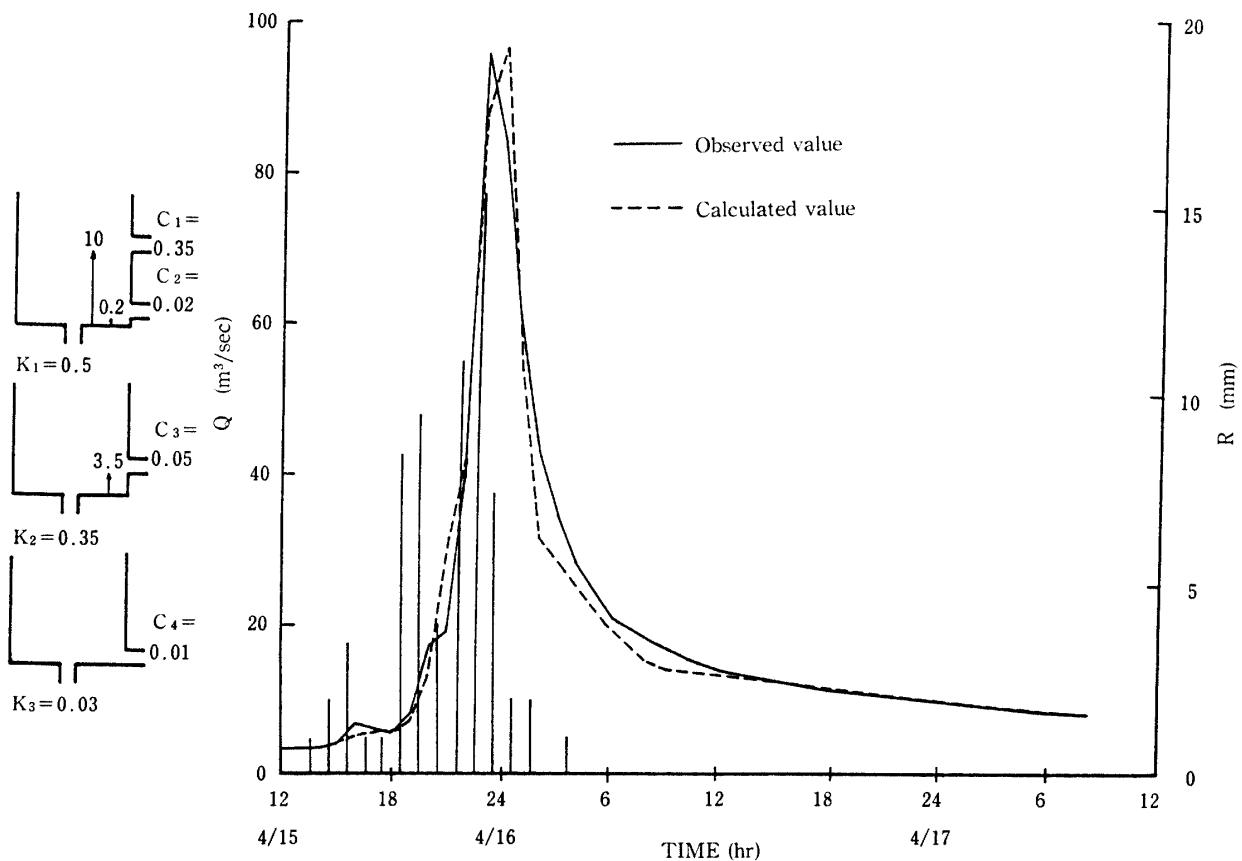


Fig. 8. Runoff analysis of a short term by tank model method.

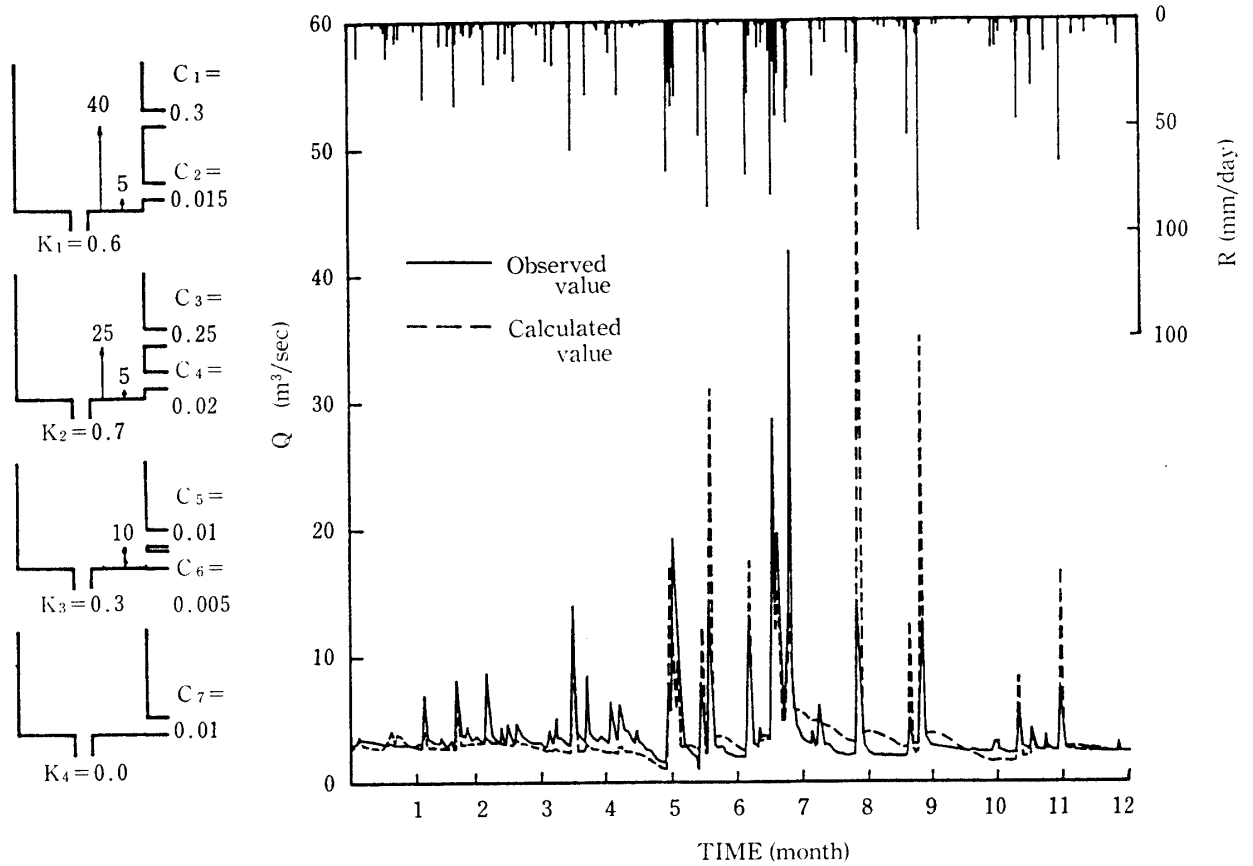


Fig. 9. Runoff analysis of a long term by tank model method.

シラスの電解物質に対する溶脱および吸着

一般に耕作土となる各種の表土に対する肥料などの溶脱や吸着についての実験的な研究は数多くなされているが、地質構造を形成する深層土壌に対する検討は少ないようである。そこでここでは、シラスの電解物質に対する溶脱および吸着についての定性的な動向を知るためモデル実験を行った。実験では内径 5 cm の円筒にシラスを厚さ 45 cm 封入し、上部より試水を湛水状態で連続的に供給し、下部よりシラス土中を浸透してきた水を集め、その電導度の時間的な経緯を測定した。

Fig. 10 は試水として蒸留水を使用した時の電導度の経時変化を示している。雨水の電導度は、降雨時期や継続時間などによって多少の差があるが、数回の降雨時の測定結果ではおおむね 6~8 μS と、今回使用した蒸留水の電導度の 7.3 μS とほぼ等しいと考えてよい。土層の厚さや圧密状態など実験条件に大きな制約があるので一概には言えないが、シラスに付着している電解物質は数十分間の雨水の通過で大半が溶脱さ

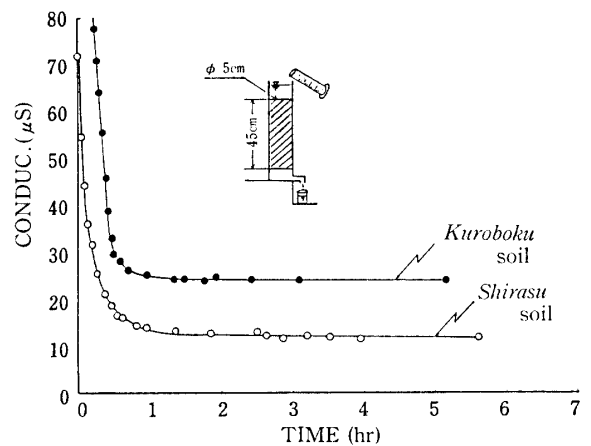


Fig. 10. Change of solution for electrolytic materials from Shirasu soil with the lapse of time.

れるものと思われる。

同様の実験方法で電解物質を比較的多く含み、電導度が約 350 μS の水道水を試水として使用した時の結果を Fig. 11 に示している。通水開始直後は、シラスに電解物質が速やかに吸着されるためか電導度が急減

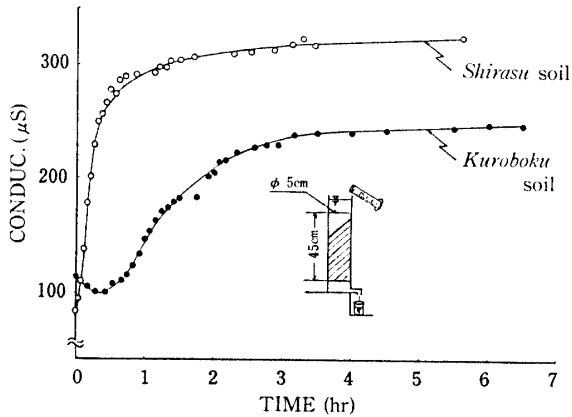


Fig. 11. Change of adsorption for electrolytic materials from Shirasu soil with the lapse of time.

するが、本実験条件ではおよそ1時間程度で吸着は飽和状態に達し、以後は試水である水道水の電導度に漸近している。これは負荷源としての電解物質を含有する浸透水が、シラス土中を浸入した時の吸着状況を示していると考えられる。なお Fig. 10, 11 には比較のために黒ボクに対する実験結果を並記しているが、長時間経過してもなかなか試水の電導度に戻らないなど、シラスとはやや異なった傾向が見られる。これは両者の土粒子構造、比表面積、間ゲキ比などの相違に起因しているであろう。

要 約

シラス地帯を流下する河川の水質およびそれに関与

する流出特性を調査・研究するために調査河川を選定し、流量変化に伴う COD 濃度および電導度を測定した。そして同河川における流量と成分濃度との関係を定式化し、その結果をもとに流域からの流出負荷量を推測する式を誘導した。また水質の流送に密接に関係する流域の流出特性を明確にするためにタンクモデル法によって流出解析を行い、シラス地帯では一般の河川に比べ、地下水流出が非常に卓越していることなどを明らかにした。さらに定性的実験により、電解物質に対するシラスの溶解および吸着は比較的短時間でほぼ終息することがわかった。なお現時点では、調査河川の水質は高水時以外はそれほど問題はないと思われる。

謝辞 この研究は昭和57～58年度文部省科学研究費(試験研究(I))「農業用排水の水質モデルの開発に関する研究」(代表者九州大学 田中宏平教授)の補助を受けた。また本研究を遂行するに当り、ご協力を頂いた当研究室事務官宮崎逸男氏ならびに本学部学生上村一夫君(現 鹿児島市役所)、山崎一磨君(現 東興建設)に謝意を表す。

文 献

- 1) 半谷高久: 水質調査法. p. 58-59, 丸善, 東京 (1965)
- 2) 鹿児島県企画部開発課: 鹿児島県水理地質図. 鹿児島 (1966)
- 3) 四ヶ所四男美他: 南九州地域の河川の流出特性. 九大農学芸誌, 28-4, 185-190 (1974)

Summary

In order to make investigations on water quality and runoff features of the river flowing through *Shirasu* region, a certain river was selected, and COD value and electrical conductivity were observed at the time of various river discharges. Using the data, some equations concerning the relationship between the river discharge and the concentration of compositions were formed. Making use of those results, the equations were led which presumed the presence of a quantity of loads from the river basin. Moreover, to clarify the characteristics of the river basin having relation with the runoff of the water, runoff analyses were carried out by means of the tank model method, and it was found that groundwater-runoff from the basin was fairly more abundant in comparison with that of the usual rivers flowing through non-*Shirasu* regions. And by qualitative experiments it was ascertained that the termination of the solution and adsorption in *Shirasu* soil for electrolytic materials would occur in a comparatively short time.

At present, the water quality of the river put under investigations seems to be reasonably put out of the consideration, excepting at the time when high-water discharge is under way.