

大戸川における濁りの季節変化

村本 嘉雄・藤田裕一郎・中村 行雄

SEASONAL CHANGE OF WATER TURBIDITY IN DAIDO RIVER

By *Yoshio MURAMOTO, Yuichiro FUJITA and Yukio NAKAMURA*

Synopsis

In order to clarify the seasonal change of water turbidity, the sediment concentration of wash load and the water discharge have been observed once or twice a day in the River Daido since April of 1975. On the basis of the results of the observation in seven years, we discuss relations between water discharge and wash load, the statistical properties of concentration distribution for each water stage and effects of seasonal change and flow stage on wash load.

From the percentage of $C > \bar{C} + \sigma$ and $C < \bar{C} - \sigma$ for each month, in which $\bar{C}$ and σ are mean value and standard deviation of the concentration C , respectively, it appears that the water turbidity is low in October and November, and high in February, March, June and August. As one of the reasons, the seasonal changes of grain-size distribution of bare soil places in the river basin were observed, and the surface material at the hill side was shown to be coarser from spring to autumn. Furthermore, it was pointed out that the concentration of wash load is higher at rising and peak flow stages, and for a flood after longer duration of low flow stage.

1. は し が き

河川水の濁りについては、近年、貯水池における濁水の長期化現象に関連して、貯水池上流域における微細土砂の生産・流出の調査・観測と水理・水文学的方法による降水およびウォッシュ・ロードの流出解析が行われるようになってきた^{1)~3)}。しかし、雨量、河川水位、流量などの水文量に比して河川水の濁度、濁質、粒度分布などの計測と分析の自動化が困難なために、河水の濁りに関する精度の高い観測資料の蓄積は限られており、ウォッシュ・ロードの予測法あるいは河川水の濁りに関する実証的な研究は十分になされていない。豪雨による崩壊、宅地開発・ダム建設などの自然的、人為的な流域の大規模な変化の影響を明らかにするには、長期にわたる資料の収集が必要である。

河川災害研究部門では、1975年4月から Fig. 1 に示す淀川水系大戸川下流部の黒津地点において、毎日1~2回の定時刻の採水と水温・水位の観測ならびに出水時における1~2時間間隔の観測を継続し、ウォッシュ・ロードあるいは河川水の濁りの年次変化、季節変化および出水特性との対応に関する検討を行ってきた^{4)~5)}。本文では、1975年4月~1981年12月の約7年間の毎日(定時)観測資料を用いて、河川水の濁りの年間変化および流量との対応関係を統計的に検討し、季節変化および出水特性の影響を

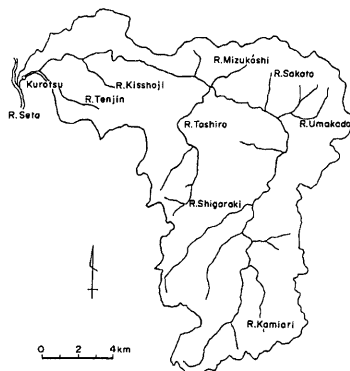
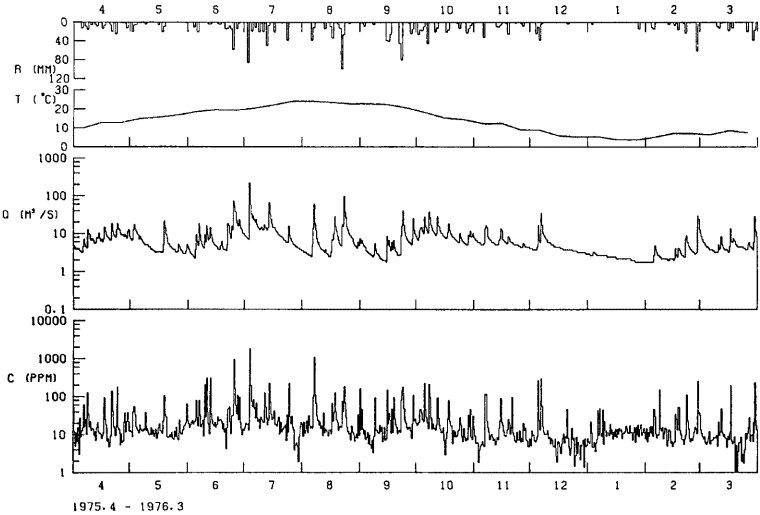


Fig. 1 Map of the River Daido.

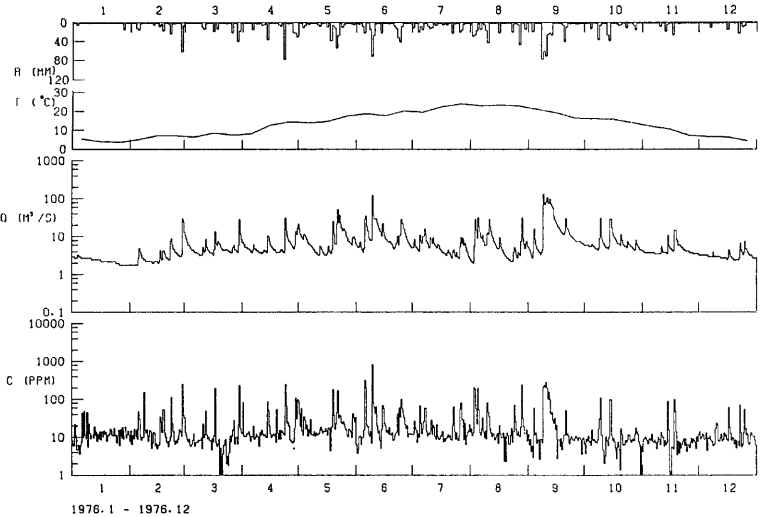
明らかにする。

2. 河川水の濁りの年間変化

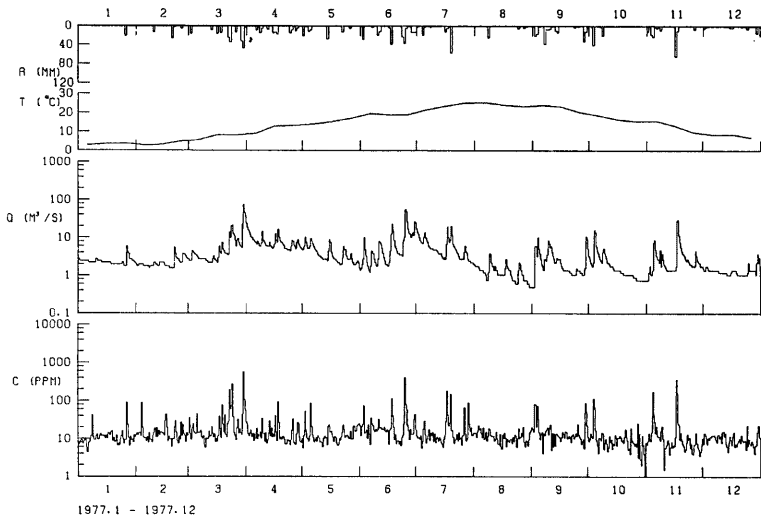
まず、日雨量 R （黒津，建設省），水温 T （10日平均），流量 Q および微細土砂の重量濃度 C について，



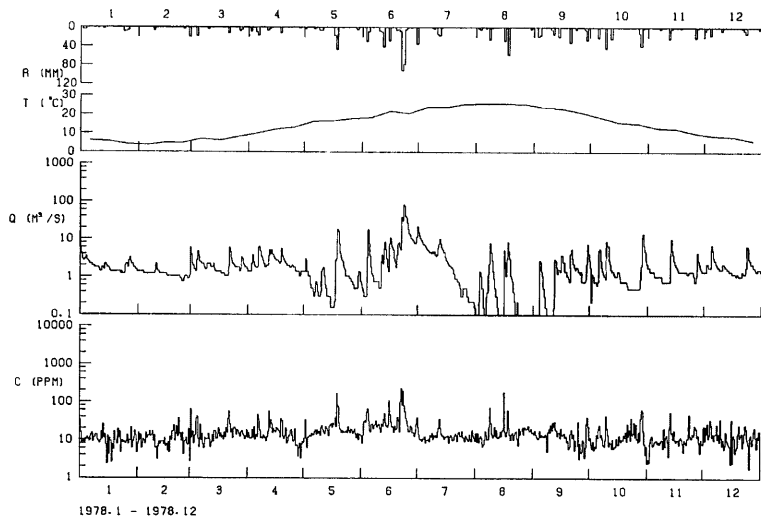
(a)



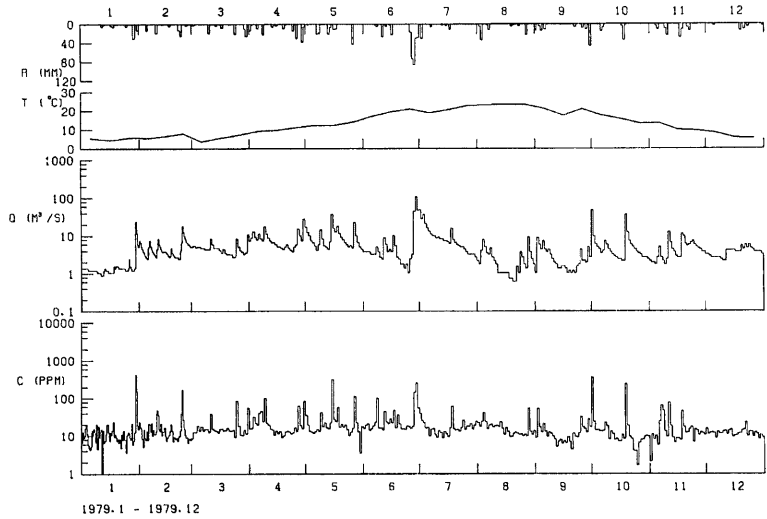
(b)



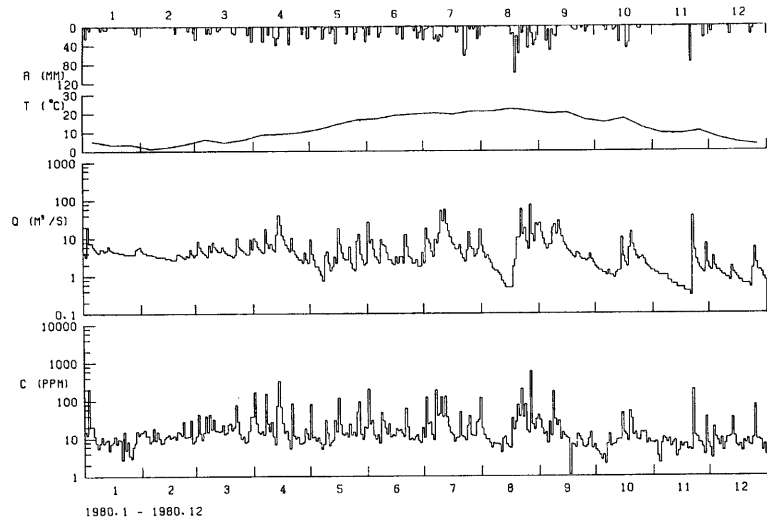
(c)



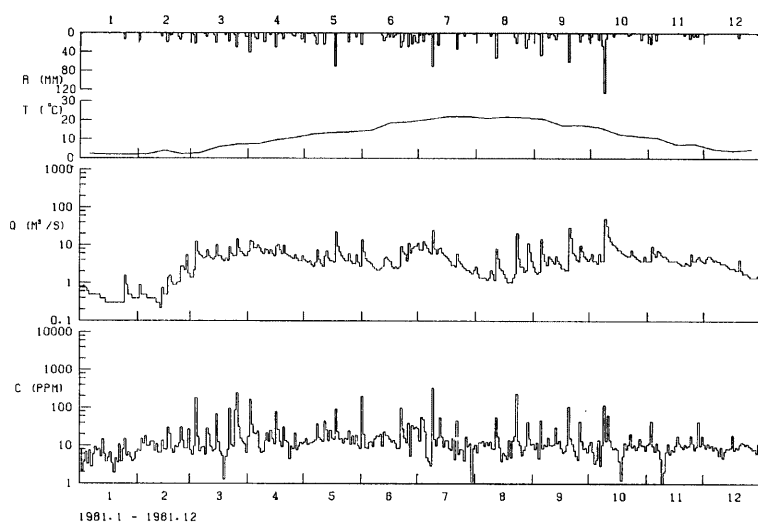
(d)



(e)



(f)



(g)

Fig. 2 (a)~(g) Variation of daily precipitation (R), water temperature (T), water discharge (Q) and sediment concentration of wash load (C) at Kurotsu from 1975 to 1981.

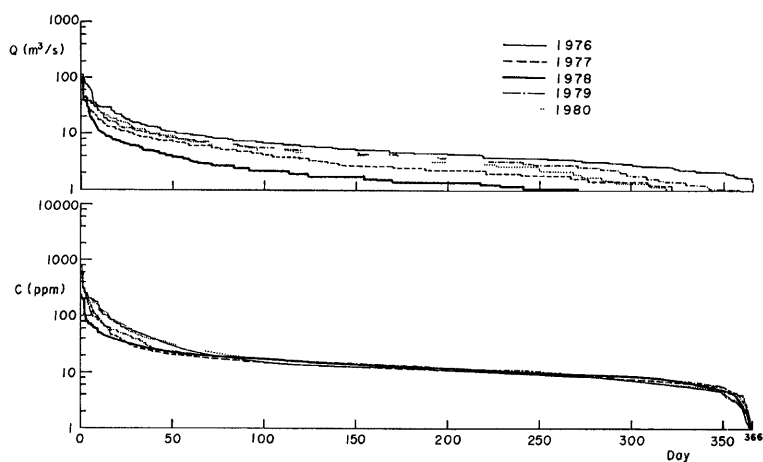


Fig. 3 Frequency distribution of daily water discharge and concentration of wash load in each year.

1975～1981年の各年の観測値を示すと Fig. 2 (a)～(g) のようになる。採水の時刻は1975年4月～1979年2月では6時と18時の2回、1973年3月以降では午前6時の1回である。土砂濃度の測定は既報¹⁾と同じく $d < 0.2 \text{ mm}$ のウォッシュ・ロードについて乾燥重量法で行っている。

約7年の観測期間内で、豊水年は1976年、渇水年は1978年であって、1976年の基底流量 $Q_b = 2 \sim 4 \text{ m}^3/\text{sec}$ に対して、1978年では5月～11月で $Q_b < 1 \text{ m}^3/\text{sec}$ に低下する日が多く現われており兩年では流量はかなり異なるが、基底濃度 C はいずれの年も約 10 ppm であって明確な差がみられない。このことは Fig. 3 に示す流量と濃度の流況曲線からもよくわかる。流量流況曲線は各年次の差が大きく、豊水量・低水量がともに大きく変化しているのに対して、濃度流況曲線は $C > 20 \text{ ppm}$ の範囲 (54日～84日) で年次変化が現われており、100～365日濃度 (1年の約70%) の濁度流況は各年ともほぼ一致している。

Fig. 2 (a)～(g) では濃度と流量の立ち上りはよく対応しており、濃度の通減は基底濃度へもどる日数が

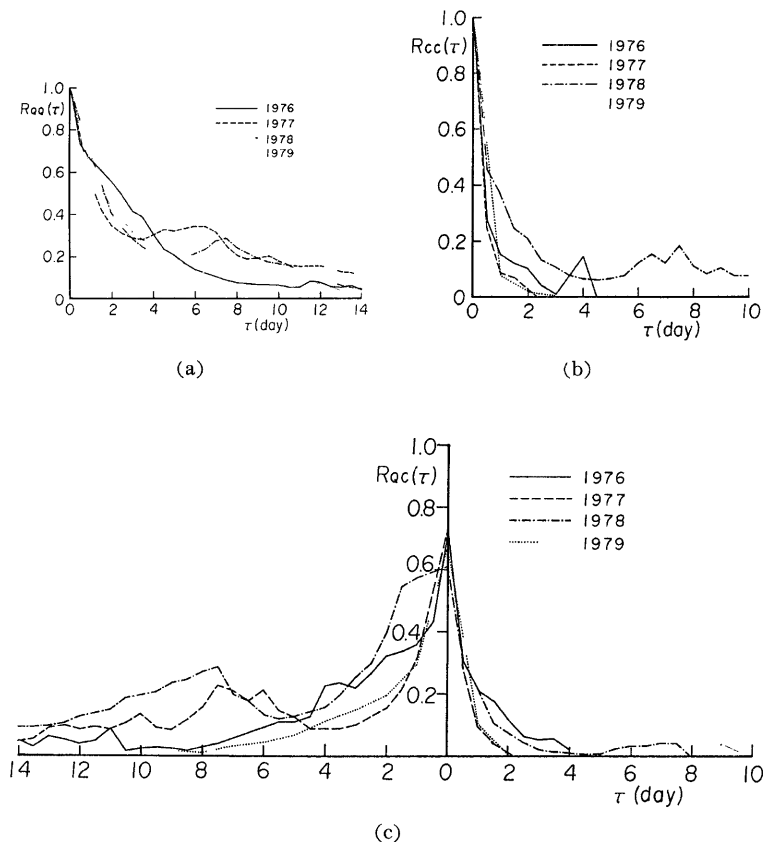


Fig. 4 (a)～(c) Distribution of auto-correlation coefficient R_{QQ} on water discharge and R_{Cc} on concentration of wash load, and cross-correlation R_{QC} between the discharge and the concentration.

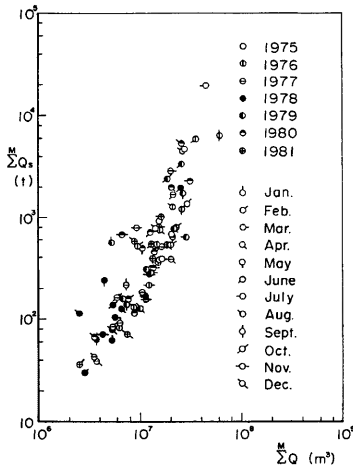


Fig. 5 Relation between monthly amount of water discharge and wash load.

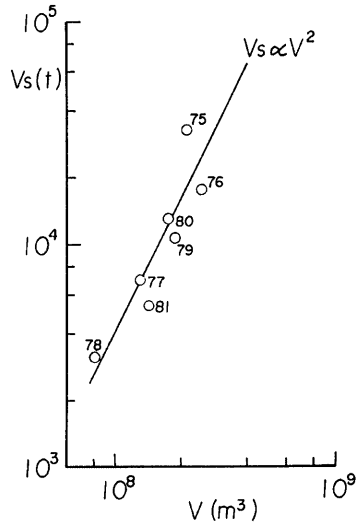


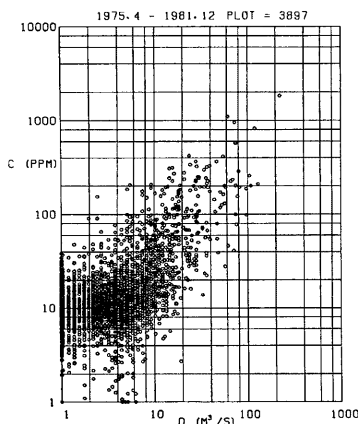
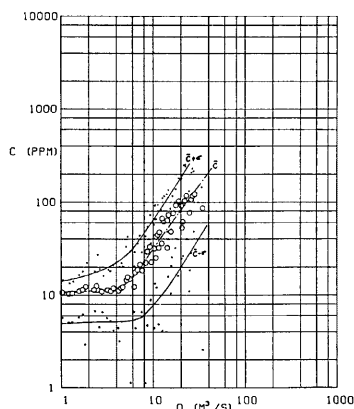
Fig. 6 Relation between annual amount of water discharge and wash load.

最大10日程度であって、流量の増減に比してはるかに急速なために濃度はパルス状の時間変化を示している。こうした流量および濃度の継続性と両者の相関を調べるために、各々の自己相関係数 $R_{qq}(\tau)$, $R_{cc}(\tau)$ と相互相関係数 $R_{qc}(\tau)$ を1976～1979年の各年次について計算すると Fig. 4 (a)～(c) のようになる。流量と濃度の間の位相差はなく、 $R_{qc}(0)=0.6\sim 0.7$ の高い値を示しており、 $\tau=2\sim 4$ 日で $R_{qc}=0$ となっている。また、濃度がパルス状の時間変化を示すことから R_{qc} の $\tau>0$ の分布は R_{cc} と $\tau<0$ の分布は R_{qq} とほぼ対応している。

つぎに、流量と微細土砂量（濃度と流量の積）の月別総量 ΣQ と ΣQ_s の関係ならびに年総量 V と V_s の関係を図示するとそれぞれ Fig. 5 および Fig. 6 のようであって、 $\Sigma Q_s \propto (\Sigma Q)^2$ および $V_s \propto V^2$ の関係がみられる。微細土砂の年間総量は $V_s=3.14\times 10^3\sim 3.36\times 10^4$ t/year, 平均 $\bar{V}_s=1.29\times 10^4$ t/year となり、山腹土砂に対するウォシュ・ロードの含有率15%, 空隙率0.4, 砂の密度2.65として年間の生産量を求めると 5.4×10^4 m³/year となる。この値は大峯および天ヶ瀬ダム堆砂量から換算されている⁶⁾ 大戸川流域の平均流出土砂量 6.6×10^4 m³/year に近い。

3. 河川水の濁りと流量との関係

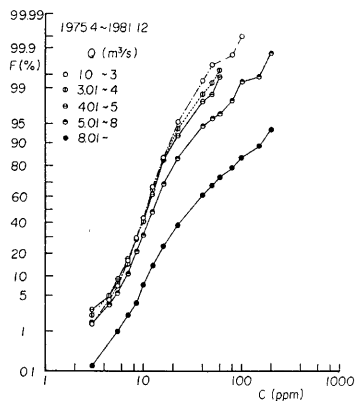
1975年4月～1981年12月の定時観測の全資料を用いて、微細土砂の濃度と流量との関係 ($Q-C$ 関係) を調べると Fig. 7 のようになる。濃度は流量の増加とほぼ比例して増加し、Fig. 5 および Fig. 6 の関係に対応しているが、同一流量に対する濃度の変化幅が非常に大きく、例えば、 $Q=10$ m³/sec に対して、 $C=5\sim 200$ ppm と40倍も濃度が増加している。そこで、 C と Q との平均的な関係とその変動幅を求めるために、データ数を考慮して $Q<40$ m³/sec の範囲で、各流量段階毎に平均濃度 $\bar{C}$ と標準偏差 σ を計算し、 $\bar{C}$ および $\bar{C}\pm\sigma$ と Q との平均的な関係を求めると Fig. 8 のようになる。 $\bar{C}$ 曲線は、 $Q<5$ m³/sec で $\bar{C}=11\sim 13$ ppm とほぼ一定しており、 $Q>5$ m³/sec で $\bar{C}\propto Q$ に近い関係を示している。また、各流量段階毎の C の

Fig. 7 Relation between C and Q .Fig. 8 Mean value ($\bar{C}$) and standard deviation (σ) of concentration of wash load for each stage of water discharge.

生起頻度分布 $F(C)$ を対数正規確率紙上にプロットすると Fig. 9 のようになる。 $F(C)$ の分布形は、いずれの流量段階についても、若干の歪みをもっているが対数正規分布に近く、 $Q < 5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ではいずれの流量でもほぼ同一の分布形をもっており、 $Q > 8 \text{ m}^3/\text{sec}$ で差が現われている。

つぎに、 Q - C 関係に対する季節変化の影響を検討するために各月別の Q - C 図を作製し、Fig. 8 の $\bar{C} \pm \sigma$ 曲線と重ねて $C > \bar{C} + \sigma$ あるいは $C < \bar{C} - \sigma$ となるデータの個数比率を各月毎に求めた。Fig. 10 (a), (b) はそれぞれ6月と10月における Q - C 図であって、実測値の記号は出水の上昇期 (UP), ピーク時 (PEAK) および通減期 (DOWN)・低水期 ($Q < 6 \text{ m}^3/\text{sec}$, FLAT) に区分されている。図から明らかなように6月では10月より $C > \bar{C} + \sigma$ となるデータが多く、 $C < \bar{C} - \sigma$ のデータ数が少ない。なお、 $Q > 40 \text{ m}^3/\text{sec}$ については、 $Q < 40 \text{ m}^3/\text{sec}$ の $\bar{C} \pm \sigma$ の関係を外挿して上述の検討を行っている。以上の検討を各月の $Q > 1 \text{ m}^3/\text{sec}$ の観測値について行い、各濃度範囲の個数比率 $P(C < \bar{C} - \sigma)$ と $P(C > \bar{C} + \sigma)$ を求めると Fig. 11 のようになる。図中の鎖線は P の平均値であって、この平均値を基準として各月における河水の濁りの相対的評価を行うと、10月と11月は他の月より同一流量に対して河水が清澄であり、2月、3月、6月および8月では相対的に濁りが高いことがわかる。

一方、Fig. 10 (a), (b) に示された出水の stage の区別から、出水の上昇期とピーク時には通減期・低水期より同一流量に対して高濃度となる傾向がみられる。このことをさらに明確にするために、Fig. 7 から上昇期とピーク時の観測値だけを抽出すると Fig. 12 のようになる。観測値はほとんど全て $C > \bar{C} - \sigma$ の範囲に入っており、上昇期とピーク時の差はみられない。また、Fig. 13 は出水時における1

Fig. 9 Probability distribution of C for each stage of Q in log-normal diagram.

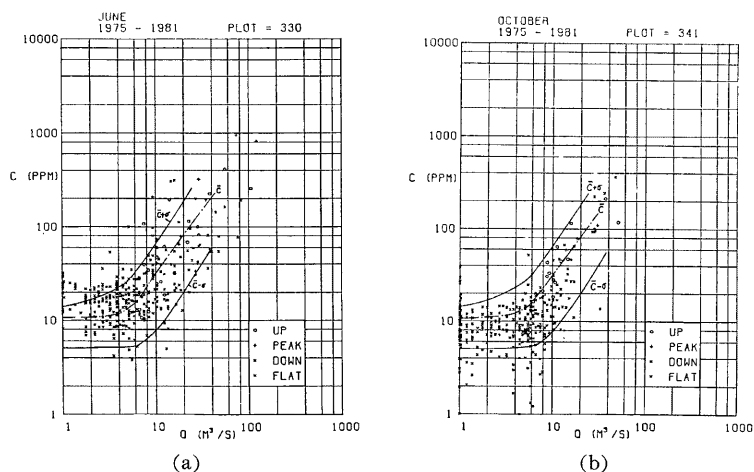


Fig. 10 (a), (b) Comparison of $\bar{C} \pm \sigma$ curves with observed values of C and Q in June & October.

～2時間毎の観測値と $\bar{C} \pm \sigma$ の曲線を比較したものであるが、出水上昇期の実測値（実線）は通減期のそれ（点線）より明らかに上側に位置している。なお、Fig. 13 で、 $Q > 28 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲の太い破線は、既報⁷⁾の Q - C 関係に対する簡易推算式を示しており、 $Q > 40 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲で $\bar{C} + \sigma$ の曲線の外挿線と一致している。さらに、Fig. 12 に示した濃度の実測値を低水流量 ($Q < 8.2 \text{ m}^3/\text{sec}$) の継続日数 D で区分し、前期出水の影響を検討した結果が Fig. 14 である。 $Q < 40 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲で、 $D > 0$ の実測値は $\bar{C} + \sigma$ 曲線、 $D = 0$ の実測値は $\bar{C}$ 曲線を平均値として分布しており、継続出水における上昇期やピーク時の濃度実測値は、前期出水のない場合に比して低濃度になることがわかる。

最後に、流量の通減期における河水の濁りに関連して、Fig. 7 で各流量に対する濃度の下限値に注目すると、 Q の減少に伴い C の下限値も減少し、 $Q = 4 \sim 6 \text{ m}^3/\text{sec}$ で極小値 $C \approx 1 \text{ ppm}$ となり、 $Q < 4 \text{ m}^3/\text{sec}$ で再び C が増加している。ただし、渇水年の1978年は $Q = 1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{sec}$ で C が極小となり、極小値は $C \approx 2 \text{ ppm}$ であった。このように濃度の下限界の曲線に極小値が見われるのは、出水の通減期に河水の濁度が単調に減少しないことによっており、観測期間中で最も通減期が長かった1975年12月～1976年1月における Q , C の時系列と Q - C 関係を示すとそれぞれ Fig. 15 および Fig. 16 のようになる。この例では、通減期に大きな降雨がなく、流量が単調に減少するの

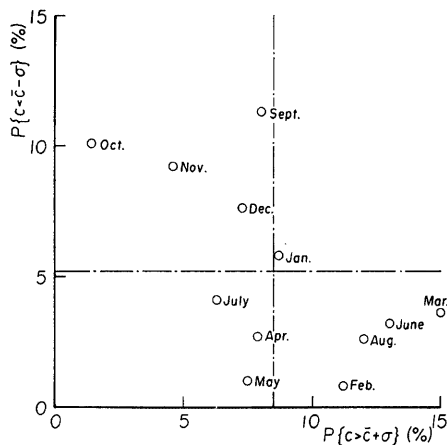


Fig. 11 Percentages of $C > \bar{C} + \sigma$ and $C < \bar{C} - \sigma$ in each month.

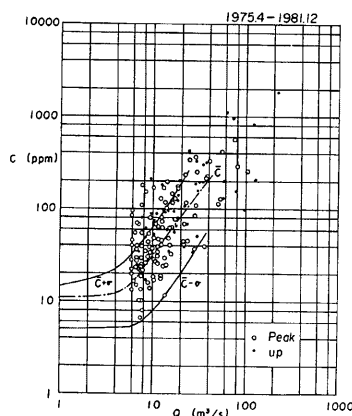


Fig. 12 Comparison of $\bar{C} \pm \sigma$ curves with observed values of C and Q in rising (UP) and peak (PEAK) stage of floods.

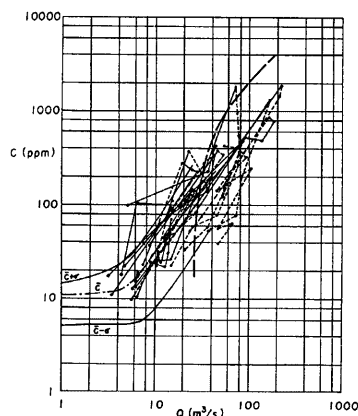


Fig. 13 Comparison of $\bar{C} \pm \sigma$ curves and the previously estimated relation⁷⁾ (broken line) with observed values of C and Q in rising (full lines) and falling (dotted lines) stage of floods.

に対して、濃度は出水後10日程度で $C \approx 2$ ppm まで減少するが、その後増加し、1ヶ月後には $C \approx 10$ ppm 前後ではば一定となっている。こうした特徴は、Fig. 2 (a)~(g) の時系列で各出水の通減期にみられる一般的傾向であるが、 C が極小値や基底濃度 ($C \approx 10$ ppm) に達するまでの期間は一定していない。

以上のように定時観測データの蓄積によって、河水の濁りの季節変化や出水特性の影響が明らかになってきており、次の段階としてはその要因を抽出して検討する必要がある。濁りの季節変化の要因としては、ウォッシュ・ロードの発生源(植生や表層材料)と雨水流出成分(遅い中間流や地下水)の比率の変化が考えられるが、前者について若干の調査結果を示すところのようである。

Fig. 17 (a)~(d) は、それぞれ大戸川流域で急斜面(崖)、緩斜面(山腹)、崩落土(崖錐)および道路面を対象として、1980年の冬季(1月28日)、梅雨期(6月7日)および秋季(10月24日)の3時季に、表層材料の粒度分布を調べた結果の各2例を示している。また、Photo 1 (a)~(d) に Fig. 17 (a)~(d) に対応した土砂採取個所の各1例を示す。これらの図より、緩斜面では春季から秋季にかけて微細土砂が流出して表層の土砂が粗粒化しており、他の個所は変化が小さいことがわかる。また、Fig. 17 (a)~(d) から平均粒径 d_m および $d \leq 0.2$ mm のウォッシュ・ロードの粒径比率 $F(0.2)$ を求め、それらの時季的变化を示すと Fig. 18 のようになる。 d_m の変化は緩斜面で若干粗粒化する以外は顕著でないが、

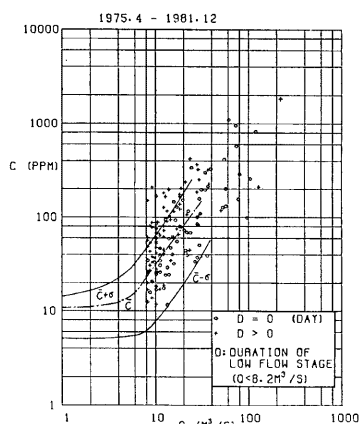


Fig. 14 Comparison of $\bar{C} \pm \sigma$ curves with observed values of C and Q in different duration of low flow stage.

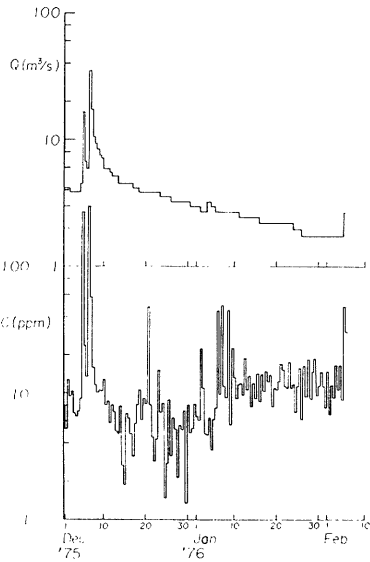


Fig. 15 Change of sediment concentration during a falling stage of water discharge.

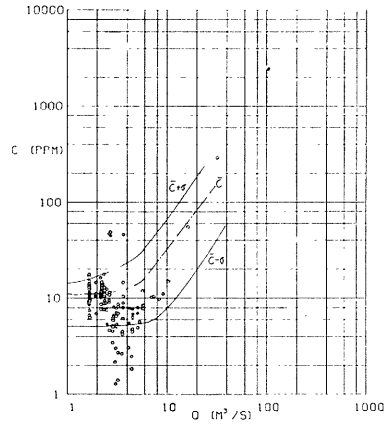


Fig. 16 Relation between C and Q for the falling flow stage shown in Fig. 15.



(a)



(b)



(c)



(d)

Photo 1 (a)~(d) Four different kinds of bare soil places observed; (a) steep slope, (b) hill side, (c) collapse deposit and (d) road.

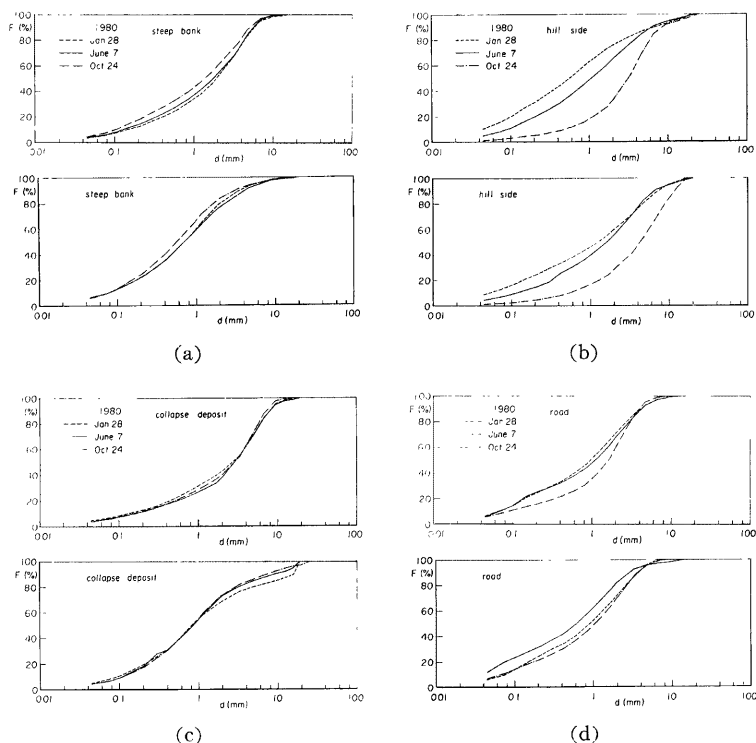


Fig. 17 (a)~(d) Seasonal change of grain-size distribution curve in four different kinds of bare soil places.

$F(0.2)$ は緩斜面で27%から5%へはほぼ一様に減少し、微細土砂の含有率が約1/5になっている。この傾向は上述の Fig. 11 にみられた秋季における河水の清澄化と対応しているが、濃度変化と関係づけるには、さらに緩斜面の空間分布を明らかにする必要がある。秋季における河水の清澄化については、こうした裸地の表層材料の変化以外に落葉層などによる濁質の吸着・滞留効果が考えられ、植生および雨水流出成分の季節変化の究明とともに今後の課題である。

4. む す び

以上、大戸川における7年間の定時観測資料を用いて、河水の濁りの年間変化ならびに流量との対応に関する季節変化と出水特性の影響について統計的な方法で検討を行った。その結果、流量と濃度の平均的な関係ならびに変動の分布と幅が明らかになり、それらの統計的関係を基準として既報に指摘したウォシュ・ロードに対する出水の上昇期と通減期の相連、季節変化および低水流量の継続日数の影響がより明確になった。しかし、それらの3要素に分離して、 $C-Q$ 関係を統計的に検討するにはさらに資料の蓄積が必要である。

また、本文では、従来、堆砂や濁水の長期化に関連して、洪水時の「高濃度」の濁りが対象とされているのに対して、低水時の「低濃度」の流況にも着目して、秋季における河水の清澄化や出水の通減部で濁りが

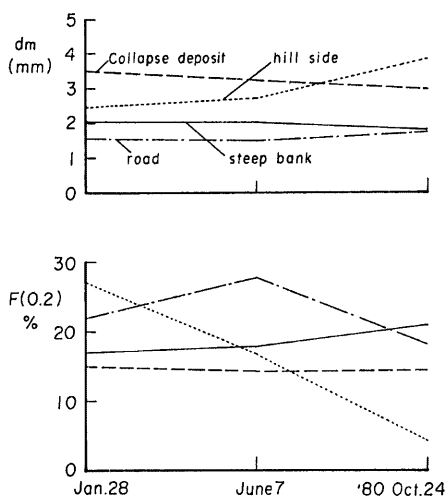


Fig. 18 Seasonal change of mean diameter of grain-size d_m and percentage of finer grain less than 0.2mm, $F(0.2)$.

単調に減少せず極小値が現れることなどを指摘した。こうした低水時の濁りについては、生活用水・塵埃・砂塵などの人間活動による負荷も影響すると思われるので、人為的な影響割合について、他河川の資料を比較検討したいと考えている。

最後に、観測ならびに水文資料の入手に御協力頂いた建設省琵琶湖工事事務所の方々と黒津町在住の片岡美江氏に感謝いたします。また、観測資料の計算・図化には防災科学資料センターの計算機 FACOM M-140 を用い、同センターの野田均技官に御協力頂いたことを記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 足立昭平・中村俊六：横山ダム貯水池における濁度現象の長期的変動特性，土木学会論文報告集，第261号，1977，pp. 47-58.
- 2) 安芸周一・宮永洋一・秋元保・斉藤茂：貯水池流入河川における水温・濁度の現地観測および予測，第23回水理講演会論文集，1979，pp. 107-112.
- 3) 江頭進治・芦田和男・金屋敷忠儀：微細土砂の流出解析法とその適用に関する研究，第25回水理講演会論文集，1981，pp. 481-487.
- 4) 村本嘉雄・道上正規・藤田裕一郎・中村行雄：大戸川におけるウォッシュ・ロードの年間変化，京都大学防災研究所年報，第20号，B-2，1977，pp. 233-241.
- 5) 村本嘉雄・藤田裕一郎・中村行雄：大戸川のウォッシュ・ロードに関する研究，水資源研究センター研究報告，第2号，1982，pp. 31-45.
- 6) 防災研究協会：大戸川ダムによる河川の土砂環境変化予測(1)，大総調78-6001，1979，pp. 6-9.
- 7) 村本嘉雄・道上正規・下島栄一：ウォッシュ・ロードの流下過程に関する数値解析，第18回水理講演会講演集，1974，pp. 91-96.