

# 河川の浮遊物質の流出特性について

羽 田 守 夫

Study on the Runoff Characteristics of Suspended Solids in Stream.

Morio HANEDA

(昭和54年10月31日受理)

It is generally known that suspended solids in stream differ from the dissolved on the relationship between their concentration and streamflow. The relation between them is generally expressed by the next equation,  $Q_s = \alpha \cdot Q^n \cdot (1 - Q'/Q)^m$ . We made clear that the concentration of suspended solids fairly fitted to this equation especially in the falling stage of streamflow by the analysis of runoff characteristics of suspended solids in the Omono River on several rain events for five years from 1974 to 1979.

The values of coefficients  $n$  and  $m$  of this equation were same on the whole in the case of summer and winter. But in the case of the periods of snowmelt, water shortage and the rising stage of streamflow, these coefficients were not always same with each rain event. It is considered that the variations of diameter, specific weight and organic matter ratio of suspended particles strongly effect this phenomenon.

In this paper, the effect of organic matter ratio on runoff characteristics of suspended solids was carefully observed and considered with each rain event.

## 1 はじめに

河川の水質は、汚濁物質の流量への拡散の度合を表わし、流量によって変動する性質を持っている。

特に河川の増水期や減水期の水質は、流域の地形や地質、植生などの諸特性や降雨までの期間や降雨量、降雨強度などに大きく影響され、変動の中も大きい。一般に、増水期には、濁度や浮遊物質(SS)及びCODなどの表面流出に関する成分の濃度は増大し、無機イオンなどの主として地下水流出に関係する成分の濃度は逆に希釈されて減少する。濃度の変動は、無機イオン等よりもSS等の方が大きく、降雨によってはオーダーの異なる程の変動を示すこともまれではない。また、減水期には、無機イオン等の濃度は徐々に増大するが、SS等は急激に減衰する性質を持っている。このように、河川の増水期や減水期の水質変動特性やその流出機構を知ることは、水質保全や防災上から特に重要と思われる。

河川における土砂の流出については、防災上から古くから研究されている。本稿では、雄物川につい

て数年間行ってきた季節毎の1ヶ月程度の水質調査の中から、主にSSと浮遊性COD(P-COD)を取り上げ、Wash loadの流出機構と比較することにより雄物川におけるSSの変動特性や流出機構について検討を行った<sup>1)</sup>

## 2 水質調査の概要

雄物川流域の概要を、採水地点、雨量観測点と共に図-1に示した。水質調査の採水地点は、主に仁井田浄水場である。期間は、昭和49年10月から昭和54年4月までの5年間に各季節毎に計8回、約250日である。内訳は、融雪期が3回、夏期が2回および秋期が3回である。この中から比較的降雨の影響の大きい時期を選んで、流量とSSおよびSS中の有機成分の割合(P-COD/SS) $r$ との関係を検討した。

SSは、孔径 $0.45\mu$ のミリポアフィルターを用いて測定した。P-CODは、全CODから溶解性CODを差引いたものとした。流量は、樺川地点のH-Q曲線から求め、降雨量は、流域内9カ所の観測点の同日

河川の浮遊物質の流出特性について

平均値を求め、これを用いた。

3 SSとWash load

河川の流送土砂の中には、掃流砂、浮遊砂およびWash loadが含まれている。これまでの研究から、洪水時や出水時の流送土砂の中には、多量のWash loadが含まれていることが知られており<sup>(2)</sup>、河川の濁度やSSを推定する上で、Wash loadの流出機構を知ることは重要と思われる。

SSとは、粒径1μ~2mmの浮遊物質を表わしWash loadとは、粒径0.2mm以下の河床に存在しない微細な粒径の物質を意味する。従って、両者の間には定義上の違いがあるが、雄物川のような低汚濁河川では実質的にほぼ等しい内容を持っているもの<sup>(3),(4),(5)</sup>とここでは考えた。村本等<sup>(3),(4),(5)</sup>は、Wash loadの測定に蒸発残留物(TS)を用いているが、TS=SS+DSの関係より、SSの方がよりWash loadに近い内容を持っていると思われる。

我国の多くの河川で行われた浮流砂観測の結果、浮流砂量Qと流量Qとの間には次の関係があることが報告されている<sup>(6)</sup>。

$$Q_s = (4 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-6}) Q^2 \quad (1)$$

この浮流砂は、大部分がWash loadであったと言われる。一般に、河川の浮遊物質の流出負荷量Qは限界掃流量的な考えを取入れることにより、次の式で表わすことができる。

$$Q_s = \alpha \cdot Q^n (1 - Q'/Q)^m \quad (2)$$

ここに、α：係数

n, m：指数

Q'：限界掃流量又は中間流出量

村本等<sup>(3),(4),(5)</sup>は、出水時のWash loadについて理論的に検討し、実際の観測結果との比較から、(2)式の係数と指数についてそれぞれ次のように与えた。

$$\alpha = \frac{10g^2 e^5 n'^2 (\sin \phi)^2 P_s L^{-2} (A_b/A)}{(\sigma/\rho - 1)^2 d_m} \quad (3)$$

$$n = m = 3/2 \quad (4)$$

ここに、g：重力加速度、e：マサツ速度比、n'：斜面の粗度係数、sin φ：斜面勾配、P<sub>s</sub>：Wash loadの粒度構成比率、L：河道長、A<sub>b</sub>/A：裸地面積率、σ/ρ：砂と水の密度比、d<sub>m</sub>：山腹土砂の平均粒径。

そして、裸地面積の小さい流域の特に減水期におけるWash loadに当てはまることを報告している。

山口<sup>(7)</sup>は、n=m=1として、下水管渠のBODの流出負荷量を検討しており、αの中に貯留量的な意味を持たせている。流出負荷量を考える上で、貯留量

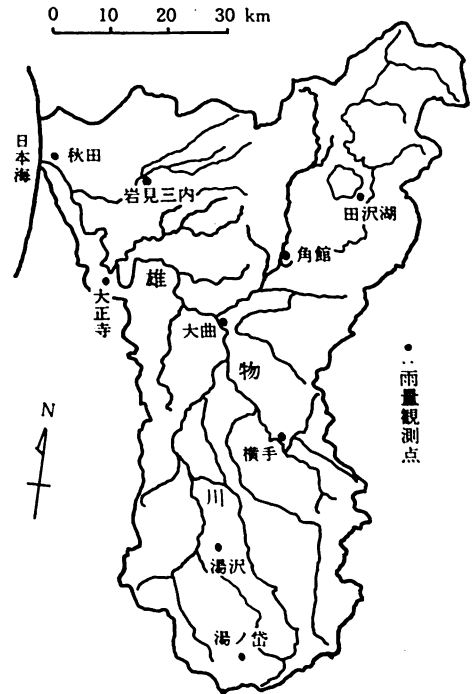


図-1 雄物川流域の概要

が大きな意味を持つことについては、海老瀬<sup>(8)</sup>も、市街地河川についての検討で報告している。海老瀬は、(2)式のm=0としてnの値が降雨毎にどのように変化するかについても詳細に検討している。

図-2に、雄物川におけるSSと流量との関係を示した。SSは、増水期と減水期では流出特性が異なり、一般にループを描く性質を持っている。従って図では、これを区別して示した。また、融雪期などの水文因子が異なる時期についても他の時期と区別して示した。

図-2によると、第一に、増水期の濃度は減水期よりもかなり大きくかつ変動の中も大きいことが認められる。これは、流域の状態や降雨の強度および河床の貯留物質等の影響と思われる。減水期とは違った流出機構を考える必要のあることを示している。第二に、減水期の濃度は、流量の減少と共に急激に減衰し、流量に対する勾配nの値が一定でない傾向を示すことである。これは、(2)式において減衰項(1-Q'/Q)<sup>m</sup>を導入していることの妥当性を示している。第三に、融雪期や渇水期、くり返し降雨のあった時期などの水文因子の特異な時期の濃度変動は、かなり異った増減を示すことである。図-2の中で、74年秋はくり返し降雨のあった時期であり、78年夏は渇水期で流量が極端に少なかった。相方共にSS変動のバラつきが大きいことが認められる。図-2には、(2)式に基づく村本の数値による平均的な濃度曲線を

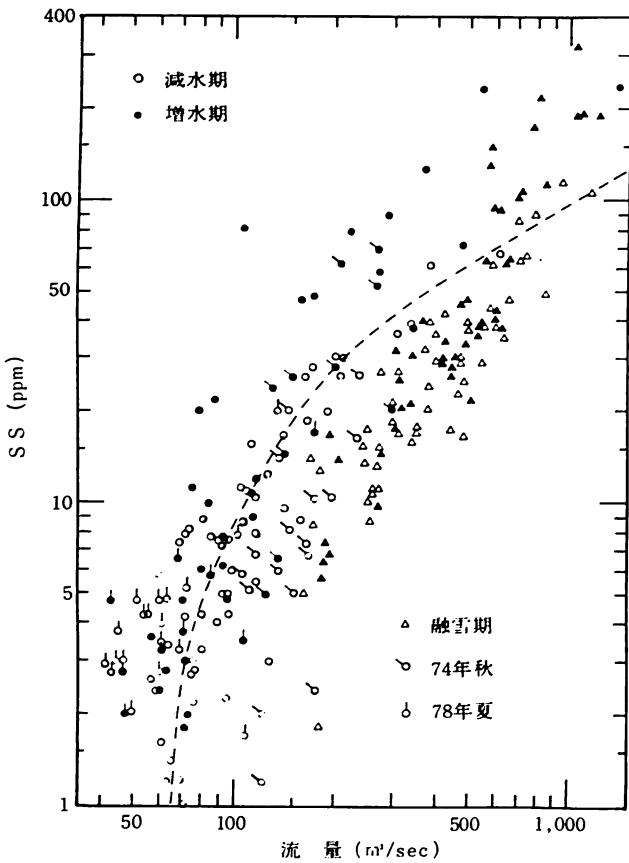


図-2 流量とSSとの関係

示したが、減水期の濃度変動には平均的に合致しているが、上述の融雪期等については、曲線からのずれが目立っている。これには、 $Q'$ の大きさの評価、粒子の粒径や比重の変化等が影響していると思われる。

ここでは、まず第一段階としてSSの変動とSS中の有機成分との関係を、各時期に分けて検討してみることとする。

#### 4 季節毎のSSの濃度変動

##### 4・1 洪水と渇水期 (75年夏)

図-3に、75年7月7日～8月3日までの28日間の流量とSSとの関係を、増水期と減水期に分けて示した。また、図-4には同時期の降雨量、流量および有機成分率 $r$ の変化をした。これによると、この期間には大小合わせて4回の流量のピークがあり、第2のピーク約1,400 $m^3/sec$ が最大で、この時は流域の中流部で浸水する程の洪水であった。この後流量は急激に減衰し、後半には夏期特有の渇水状況を呈し、流量変動の大きい期間であった。

SSのピークは、流量ピークの1日前に最大1,440

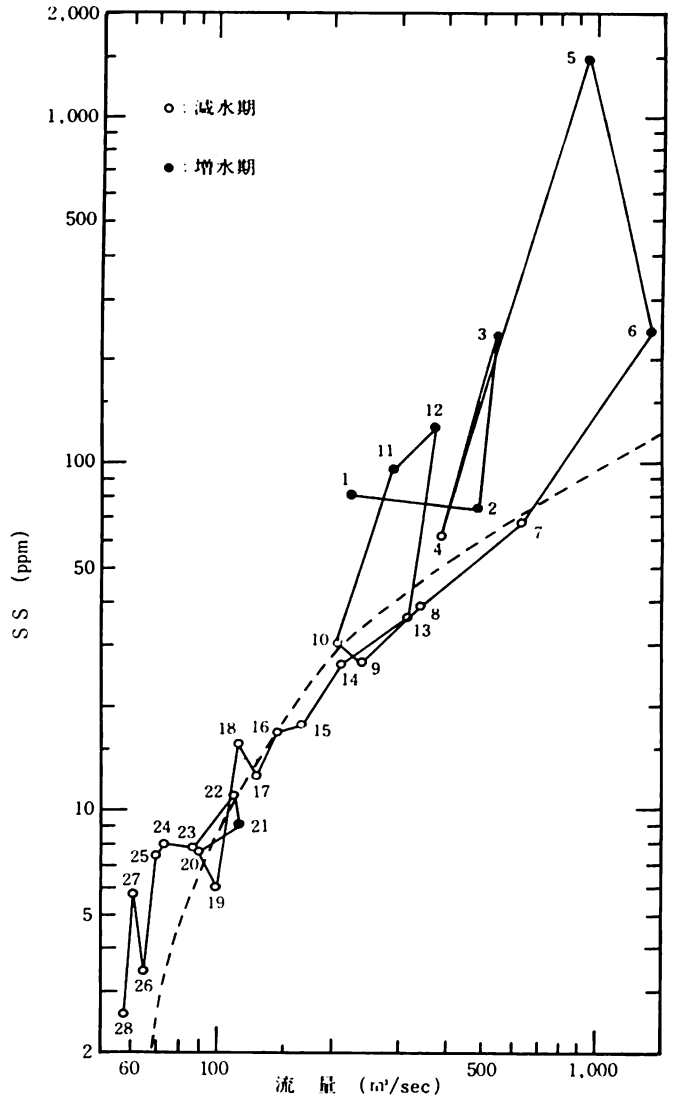


図-3 75年夏の流量とSSとの関係

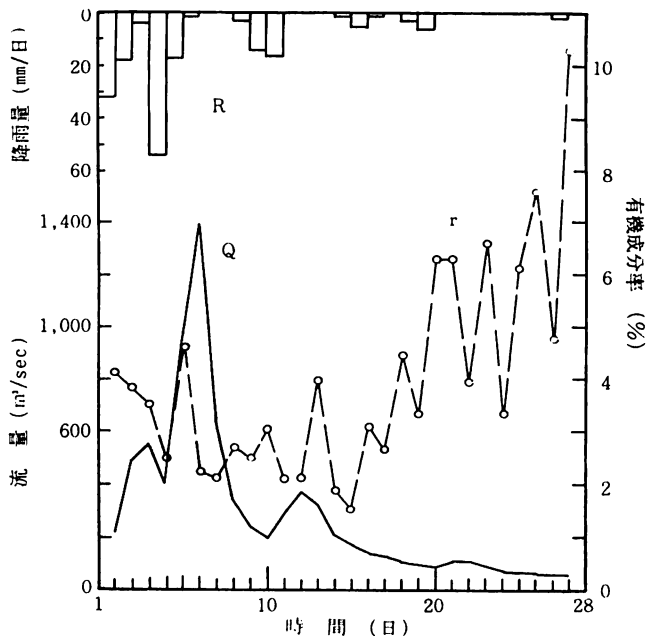


図-4 75年夏の流量、降雨量と有機成分率

河川の浮遊物質の流出特性について

ppmを記録した。その後の減水期は、ほぼ(2)式の平均的曲線 ((3)式の係数,  $e=0.5$ ,  $n'=0.3$ ,  $d_m=0.2$  cm,  $\sigma/\rho=2.65$ ,  $P_s=0.15$ ,  $\sin\phi=0.163$ ,  $A_b/A=0.05$   $L=133 \times 10^3$ ) に沿って減少し、流量の減少と共に勾配がやや大きくなる傾向が認められる。

また、SSは、増水期と減水期で時計方向のループを描く傾向が見られる。流量の第3のピーク後のSSも、それ以前とほぼ同様の減衰を示しているが流量が100m<sup>3</sup>/secを割った第4の小ピーク後は(2)式の曲線からのずれが認められるようになっている。

これには、Q'が変化していることおよびSSの粒径や比重の変化等が影響していることが考えられるが、ここではSSの有機成分率rに注目して検討を行った。rについては、図-4に破線で示した。

これによると、rは、流量がピークになる前には減少傾向を見せ、流量が増大するにつれて徐々に上昇して流量のピークと同時に若干ずれて一つのピークを示した後急激に減衰し、以降流量が減少するにつれて再び徐々に大きくなっていくという傾向が認められる。特に、流量の第4の小ピーク後は、rがそれまでの約2~3倍に増えており、この時期のSS中

にやや多めの有機成分が含まれていることがわかる。また、流量ピーク時のrのピークも、明瞭に認められる場合と出現しない場合とがあり、有機成分の流出は、流出によって異なることを示している。

従って、(2)式は、SSの平均的な変動には合致するが、実際のSSには粒径や比重の異なる様々な物質が様々な割合で含まれており、それだけ複雑な挙動を示すと思われ、(2)式の個々の変動への適用に当ってはこの点の注意を要すると考えられる。

4・2 くり返し降雨のあった時期 (74年秋)

74年10月14日~11月9日までの27日間の流量とSSとの関係を図-5に示した。また、図-6には同時期の降雨量、流量およびr' (全COD/SS) について示した。

この時期は、4~5日毎に10~30mm/日の秋期特有の時雨がくり返し4回程あり、流量もそれに応じて増減をくり返したのが大きな特徴である。図-5によると、SSのピーク値は50~70ppmとほぼ一定値を示しているが、ピーク後の減衰は降雨がくり返される度に大きくなる傾向があり、元の(2)式の曲線からのずれが大きくなっている。即ち、2~4回目のSSのピーク後の減衰を、 $C=a \cdot Q^n$  式の指数nで比較すると、11日目の第2回目のピーク後の $n=1.53$ 、15日目の第3回目の $n=1.91$ および20日目の第4回目の $n=5.53$ と徐々に大きくなり、後の流出程減水時のSSの減衰が激しくなっている。河川のSSは、流域から流集してくる物質の他に河床に貯留されて

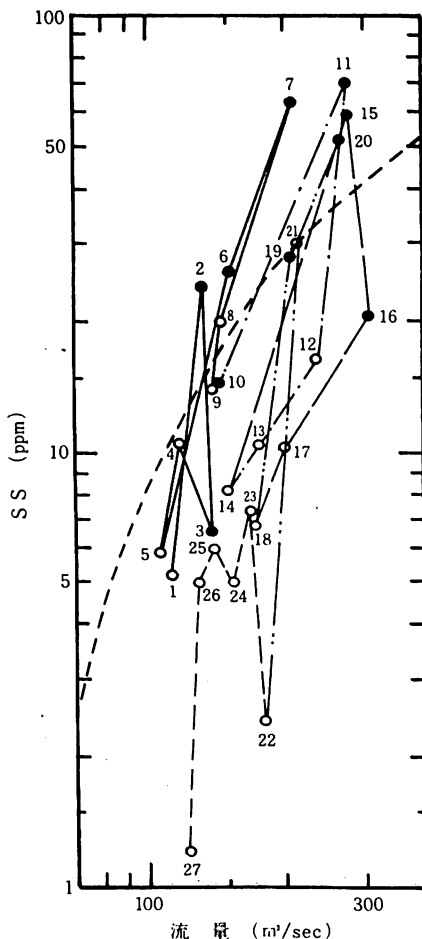


図-5 74年秋の流量とSSとの関係

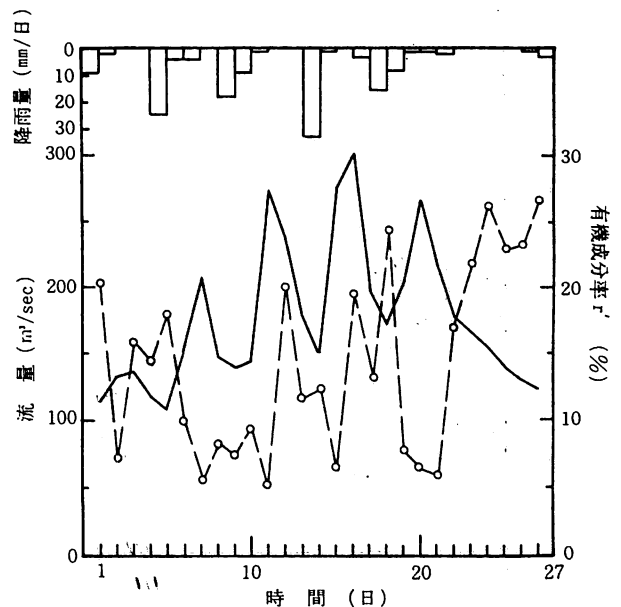


図-6 74年秋の降雨量、流量と有機成分率

いる物質が、降雨に伴う流量の増大によって流出してくることも増えてくるが、この現象は、特に初期の流出に顕著で、後の流出程小さい傾向を持つと予想される。山口や海老瀬も、流出負荷量の堆定に当って、貯留物質を導入する必要性を指適しており、この定量化は今後の重要な課題と思われる。

有機成分率 $r'$ についても、4・1の場合と同様に、ピーク後の減衰が大きく、流量低下時の $r'$ の上昇もほぼ同様の傾向である。

#### 4・3 プレピークが見られた時期 (78年秋)

78年10月24日～11月11日までの19日間の流量とSSとの関係を図-7に示した。また、この時期の降雨量、流量および有機成分率 $r$ については、図-8に示した。

この期間の特徴は、ピーク流量前に比較的流量の安定した時期が続き、その後の降雨によりまず小ピーク（プレピーク）を迎え、その後大きなピークに到ったことである。図-7は、プレピーク時に、SS濃度が驚く程上昇して最大値を示し、その後の流量のピーク時には著るしい程のSSの増大が認められないことを示している。このことは、4・2で述べた貯留物質が、滞積すると少量の降雨による流出でたやすく流出してしまう傾向のあることと、 $500\text{m}^3$ /

secの流量ピークが比較的ゆるやかに到達していることに関係していると思われる。前者については、プレピークおよびピーク時共に有機成分率 $r$ もピークを示しており、SS中に比較的ゆめの有機物質が含まれていたことも注目される。また後者については、河川のSSの流出には降雨量の絶対値だけでなく強度も大きく関係していることを示していると思われる。従って、SSの評価に当っては、流出前および流出時の水文因子をどのように評価するかも重要な課題と言えよう。

また、図-7によると、SSの変動はプレピーク時およびピーク時に、(2)式の平均的曲線から大きく外れているが、流量が安定する後半になってループを描きながら再び(2)式の曲線に戻っており、SSの流出機構を考える上で興味深い事実であり、今後更に検討を進めたい。

#### 4・4 融雪期 (75年春)

融雪期の一例として、75年3月20日～4月14日までの26日間の流量とSSとの関係を図-9に、降雨流、流量および有機成分率 $r$ については、図-10に示した。

図によると融雪期は、SSが増水期と減水期でループを描く点などは他の時期と同様であるが、SSの変動の中がやや小さいことや流量減少と共に減衰する勾配が大きいことなどが異なり、融雪期の特徴と言える。従って(2)式の曲線からは大きくずれており、特に(2)式の減衰項  $(1 - Q'/Q)^m$  を導入する必要性が

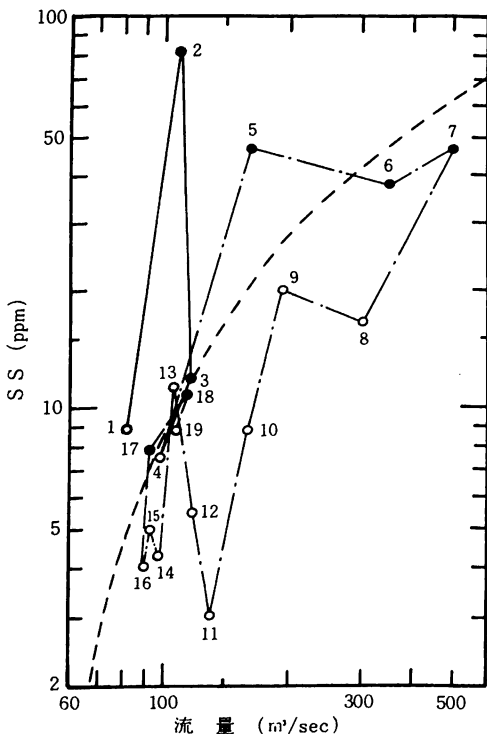


図-7 78年秋の流量とSSとの関係

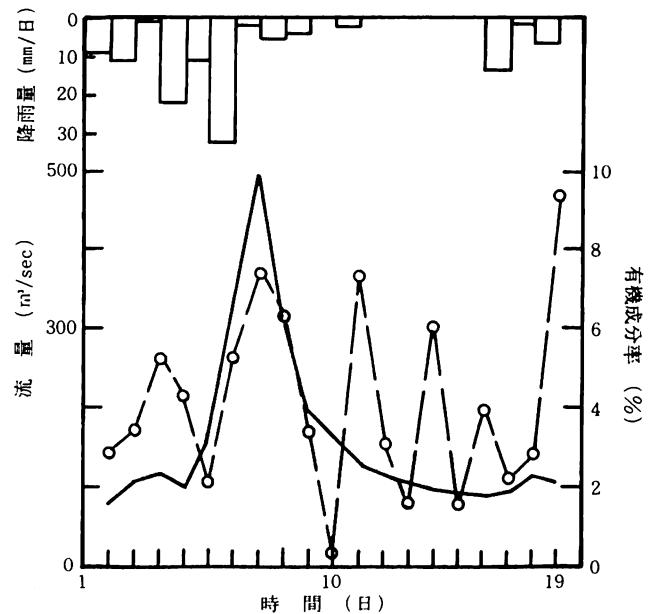


図-8 78年秋の降雨量、流量と有機成分率

河川の浮遊物質の流出特性について

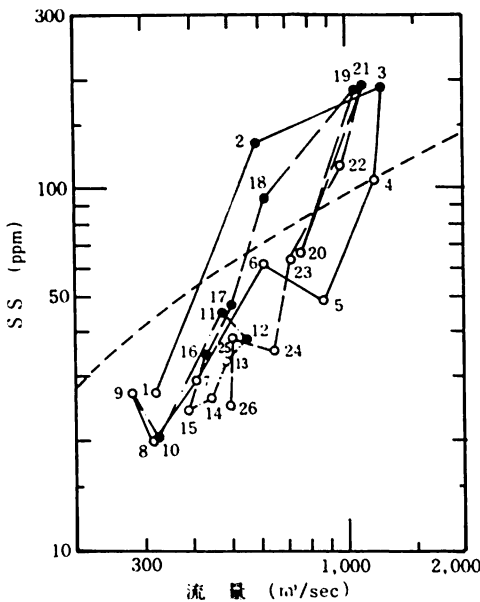


図-9 融雪期の流量とSSとの関係

少なくなっているように思われる。このことは、減水期のSSが、中間流出量 $Q'$ によって希釈されていないことを意味し、表面流出や中間流出および地下水流出におけるSS濃度が、他の時期とはそれぞれ異なることを示していると言えよう。また、有機成分率 $r$ も、流出に対する変動の傾向は同様であるが、大きさは全体として5%以下と比較的小さく、変動の中も小さい傾向が認められる。

5 ま と め

河川の浮遊物質(SS)の流出機構に、浮流砂の観点から研究されているWash loadとの対比から、流量比例項と減衰項を含めた(2)式を当てはめて検討を行った。その結果、あくまで定性的にはあるが次のことが認められた。

- (1) SSとWash loadの流出には、粒径や比重の問題はあるがかなりの類似性が認められる。
- (2) SSは、ループを描いて変動する傾向があり、特に減水期の平均的な濃度変動から見れば、(2)式はSSの変動に合致すると言える。
- (3) 各時期のSSの変動には、降雨量、強度、先行晴天日数等の水文因子が関係し、これをどう評価するかが重要である。
- (4) SSの有機成分率は、季節や増水、減水等により変動し、それだけSSの流出機構を複雑にしていると思われる。

昭和55年 2月

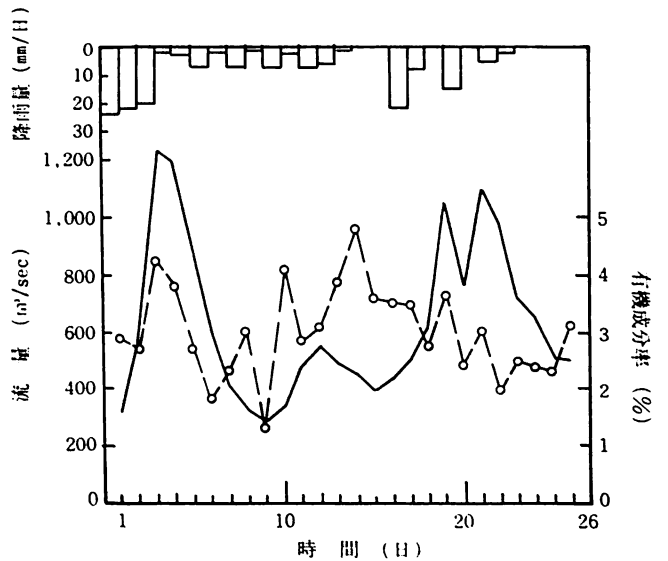


図-10 75年春の流量、降雨量と有機成分率

謝 辞

本研究については、赤川伸男、田中道、田原剛美および中川陽の諸君の援助を得た。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 羽田守夫, 雄物川の浮遊物質の流出機構, 第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp. 205~208, 1979.
- 2) 伊勢屋ふじこ, 茨城県桜川における浮遊土砂と河畔堆積現象, 第23回水理講演会論文集, pp. 145~150, 1979.
- 3) 村本嘉雄他, 大戸川における微細砂の流送過程について, 京大防災研究所年報第16号B, pp. 433~447, 1973.
- 4) 村本嘉雄他, ウォッシュ・ロードに関する研究, 京大防災研究所年報第18号B, pp. 541~549, 1975.
- 5) 村本嘉雄他, 大戸川におけるウォッシュ・ロードの年間変化, 京大防災研究所年報第20号B-2, pp. 233~241, 1977.
- 6) 土木学会編, 水理公式集, pp. 213~215.
- 7) 山口高志, 都市河川の動態, 1978年度(第14回)水工学に関する夏期研修会講義集, pp. A-5-1~A-5-17, 1978.
- 8) 海老瀬潜一他, 市街地河川における降雨時流出負荷量の変化特性, 水質汚濁研究, Vol. 2, No. 1, pp. 33~44, 1979.