

## 第四章 白川上流域から供給される土砂量

河口域の土砂動態のうち、インプットとなるのは河川上流域からの土砂供給であり、さらに年間の土砂供給量のうち大半を洪水が受け持つと考えられる。本章では、熊本県白川の上流域から供給される土砂量を、通年の濁度モニタリングと洪水時の採水観測から明らかにする。

### 4-1 観測方法

#### 4-1-1 濁度モニタリング

第二章で明らかにしたように、河川における土砂通過量を把握するには濁度計を用いる方法が有効である。ただし、事前に濁水を採取して濁度とSSの相関を調べておく必要がある。

そこで、ワイパー機能を有する自記式濁度計（アレック電子，ATU5-8M）を河道16km地点の河岸に設置し、1年間を通じて連続的に濁度をモニタリングした。測定間隔は20分で、計測は2000年7月から開始している。設置後は、月一回程度の頻度でセンサー周辺に付着したゴミを除去し、2～3ヶ月に1回の頻度でデータ回収と電池交換を行っている。

なお、流量は熊本工事事務所により河道13km地点で計測されている。

#### 4-1-2 濁水採取

出水時に濁水の採取を2001年6月6日、13日、21日、28日に河道12km地点において実施した。濁水は橋上からバケツを下ろして採取した。採取地点が濁度計設置地点と異なるのは、濁度計を設置できる構造物が存在し、かつ橋梁からバケツ採水を実施できるという2つの条件を兼ね備えた地点が無かったためである。洪水時には流速が2m/s以上になるので、濁水は上流地点から下流地点に30分程度で到達すると考えられる。

そのため、同時刻の採水と濁度計測値を比較することが出来ないため、採水時にポータブル濁度計（アレック電子，ATU2-D）により直接濁度を測定した。サンプリングは洪水流況の変化が著しい時間帯には30分間隔で行い、変化が緩やかになるにつれて時間間隔を1時間ないし2時間間隔へと変更した。得られたサンプルは実験室に持ち帰り、SSと強熱減量、粒度分布を測定した。SSはフィルター濾過法により計測し、粒度分布の分析にはレーザー回折式の粒度分布測定装置（島津製作所，SALD3000S）を用いた。

なお、今回の濁水採取方法（バケツ採水）は、河川の表層水を採取しているため、浮遊土砂は捕捉できるが、掃流砂は観測できない。従って、本章で明らかにする上流部からの土砂供給量はすべて懸濁成分となる。

## 4-2 観測結果

### 4-2-1 年間流況

図-4-1に2001年4月から2002年3月の流量と濁度を示す。これより、梅雨時期の6月中旬から7月中旬にかけて洪水が頻繁に発生していることが分かる。白川では通常、梅雨前線による洪水が主体であり台風による洪水は少ない。この年もそのような結果となっており、6月中旬から7月中旬の期間を本年度の出水期と定義した。

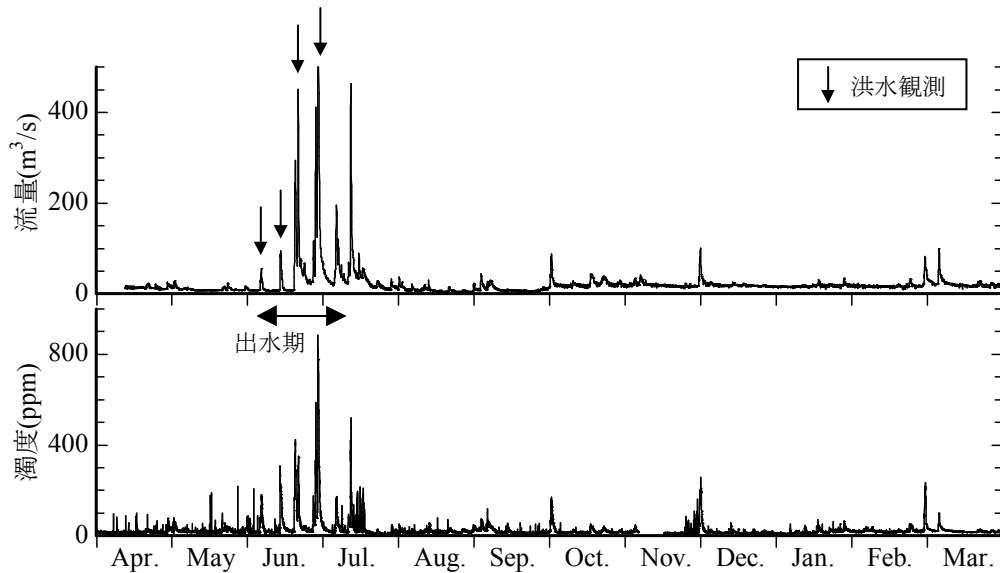


図-4-1 年間の流量と濁度 (2001年4月～2002年3月)

#### 4-2-2 洪水流況

表-4-1 に観測を行った各出水のピーク流量と日平均流量を、表-4-2 に 1986~1995 年の年最大日流量を示す。表-4-2 から過去 10 年間の平均年最大流量（日平均）は  $480 \text{ m}^3/\text{s}$  であり、これから今回観測した洪水の規模を判断する。また、図-4-2~5 に洪水観測の結果として、流域平均雨量と流量、濁度、SS の時系列をそれぞれ示す。図-4-5 には流域の各地点雨量も示す。

図-4-2 より、6 月 6 日の洪水は、ピーク流量  $56 \text{ m}^3/\text{s}$ 、日平均流量が  $36 \text{ m}^3/\text{s}$  であった。濁度はピーク時で  $156 \text{ ppm}$  と小規模の洪水であった。濁度は流量とともに増減していることが分かる。また、SS は濁度と同様の波形を示した。

図-4-3 より、6 月 14 日の洪水は、ピーク流量  $95 \text{ m}^3/\text{s}$ 、日平均流量が  $66 \text{ m}^3/\text{s}$  であった。濁度はピーク時で  $300 \text{ ppm}$  に達し、これも小規模の洪水であった。流量のピークが、14 日の午前零時から正午付近まで推移していたのに対し、濁度は流量の上昇と共に急激に上昇し、ピークが 1~2 時間継続した後に急激に下がり、その後、徐々に低くなった。

図-4-4 より、6 月 21 日の洪水はピーク流量  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ 、日平均流量が  $186 \text{ m}^3/\text{s}$  の中規模の洪水であった。流量のピークは 2 度見られ、後のピークの方が高かった。濁度も流量と同様に 2 度ピークが発生したが、1 度目のピークの方が高く、流量とは逆の傾向を示した。この原因は、洪水の初期に移動しやすい溪流堆積物が流出してしまったため、2 度目の洪水では流出土砂量が低くなったと推測される。

図-4-5 より、6 月 29 日の洪水は、ピーク流量が  $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、日平均流量が  $515 \text{ m}^3/\text{s}$  で、これは 3~4 年に 1 回発生する規模の出水であった。前日にもピーク流量が  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  の中規模洪水が発生している。流量のピークの後に SS が 2 回突出しており、最大で  $8,000 \text{ mg/l}$  を上回る高濃度となった。このときの降雨は局地的に時間雨量が  $90 \text{ mm}$  を越える豪雨となっており、一部の地域では図-4-4 に示したような通常の土砂流出ではなく、山腹斜面が崩壊した可能性がある。梅雨で地盤の水分量が飽和しているところに降雨強度が非常に強い豪雨が降り、その結果、高濃度の濁水が発生したという状況は昭和 28 年災害の様子に似ている。

なお、6 月 29 日の洪水では SS と濁度の波形が高濃度域でずれている。この原因については後に示す。

以上より、出水期に大、中、小規模の洪水を観測する事が出来た。その内、6 月 29 日の洪水は 3~4 年に一度発生する比較的大きな規模の洪水であった。

表-4-1 各出水のピーク流量と日平均流量

生起日	ピーク流量(m <sup>3</sup> /s)	日平均流量(m <sup>3</sup> /s)
6/6	56	36
6/14	95	66
6/21	450	186
6/29	1105	515

表-4-2 1986~1995年の年最大日流量

生起年	1986	1987	1988	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997
年最大流量	260	553	416	881	460	667	91	501	254	744

10年分平均 482.7

単位：m<sup>3</sup>

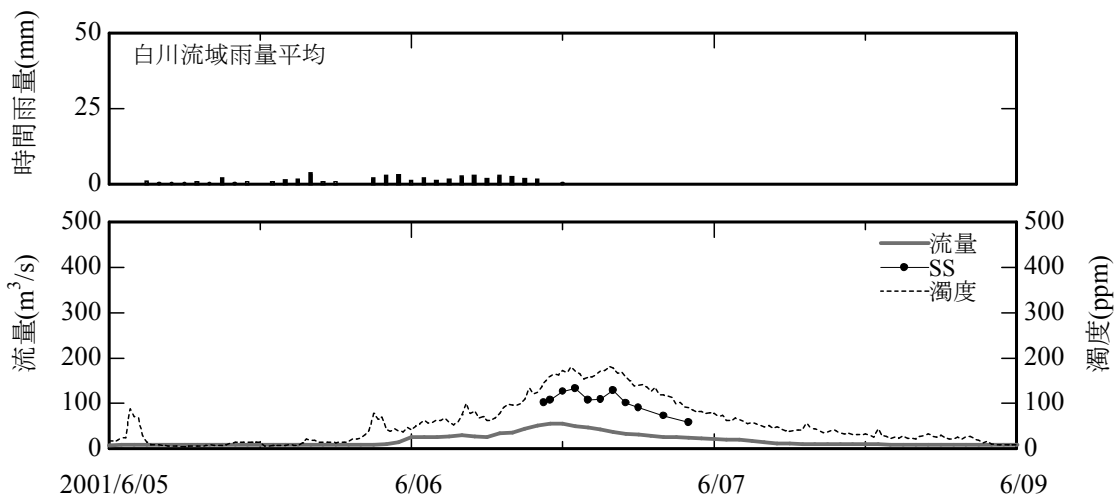


図-4-2 流域平均雨量・流量・濁度・SSの時系列(6月6日洪水)

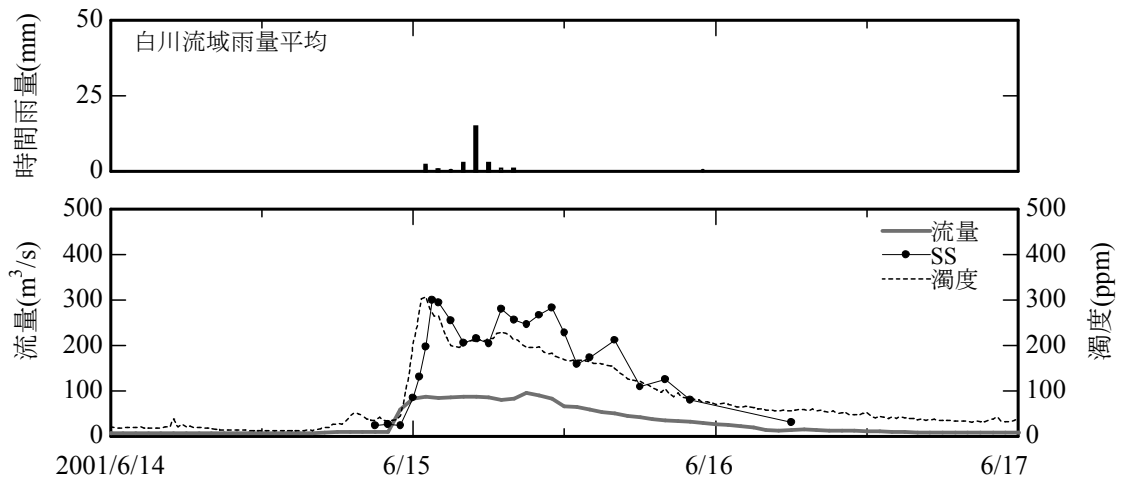


図-4-3 流域平均雨量・流量・濁度・SSの時系列(6月15日洪水)

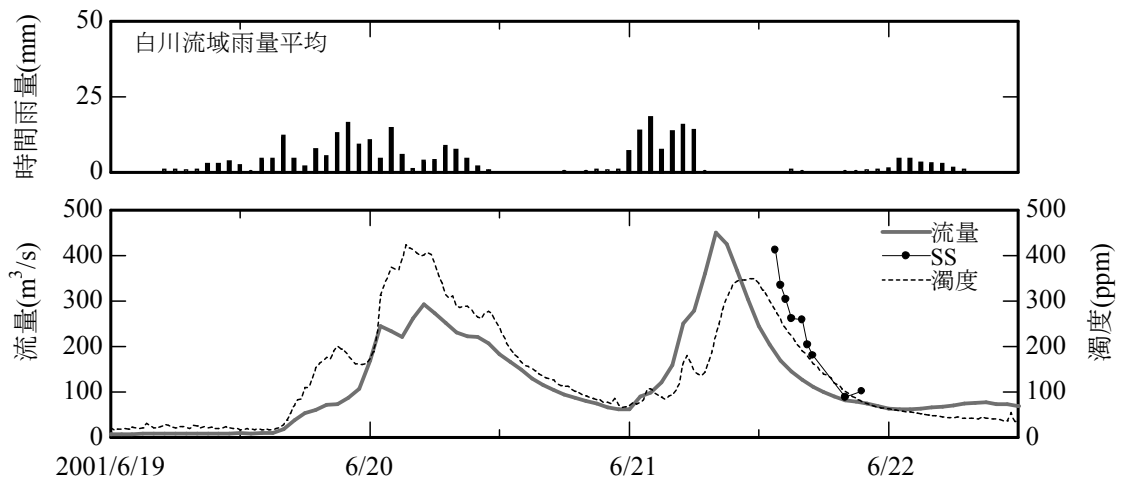
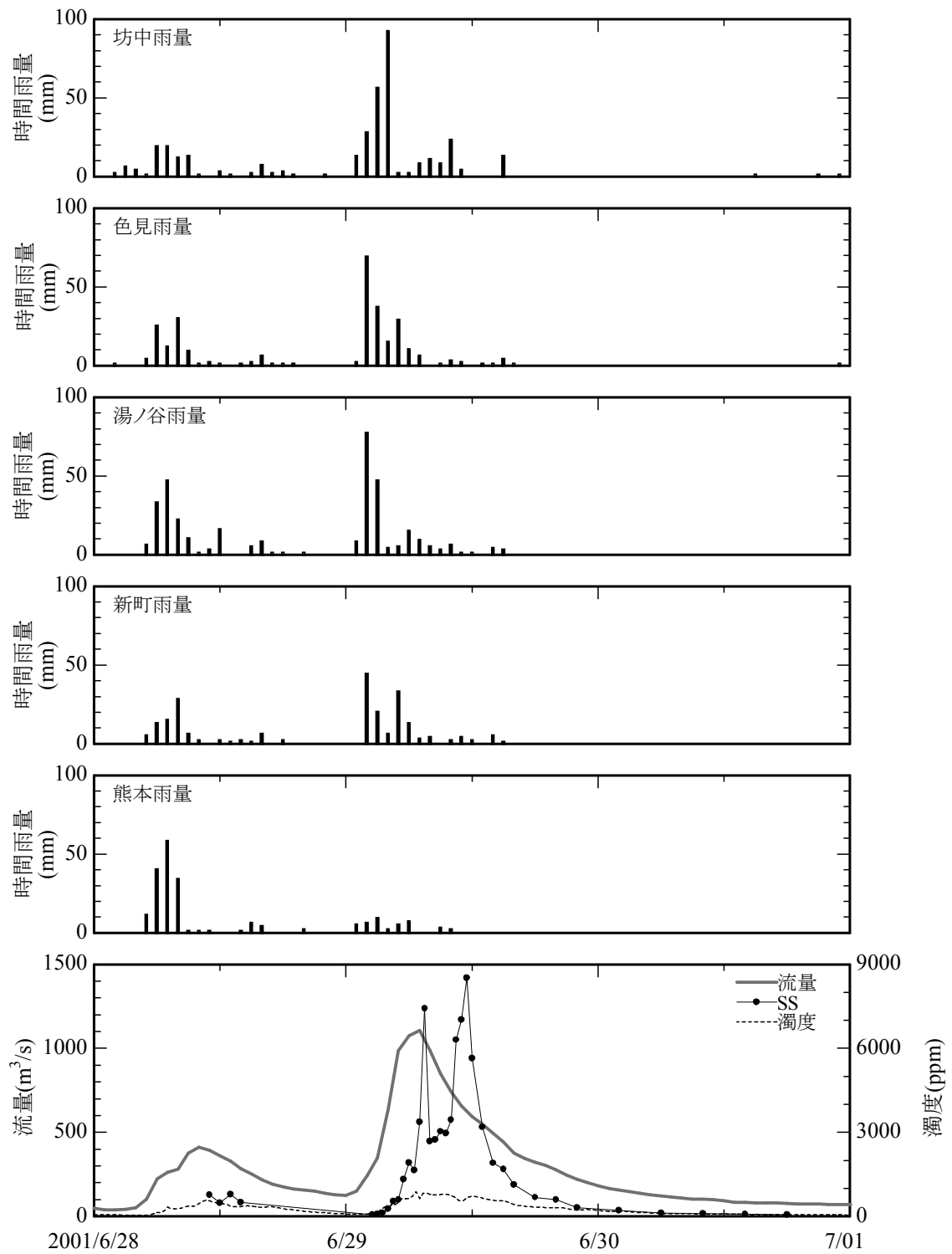


図-4-4 流域平均雨量・流量・濁度・SSの時系列(6月21日洪水)



図一 4 - 5 地点雨量・流量・濁度・SS の時系列 (6 月 29 日洪水)

#### 4-2-3 洪水時の土砂粒径

図-4-6 に各出水の D10, D50, D90 粒径と SS の時系列を示す。これより、いずれの洪水でも洪水期間中に粒度組成の変化は少なく、安定していることが分かる。そこで、各洪水のピーク時の粒度分布を代表値として取り出し、重ね書きした結果、図-4-7 及び表-4-3 が得られた。

これより、6月6日、14日、21日の粒度分布はほとんど同じであり、D50は0.011～0.014であった。さらに29日は、D50が0.0147であって他の洪水に比べてわずかに粒径が大きくなっているものの、シルト成分が主体であることに変わりはない。したがって、洪水の規模によらず粒径はほぼ一定で、シルト成分が約8割、粘土成分が約2割であった。

ここで興味深いのは、6月6日、14日、21日の洪水はSSが100～400mg/lであったが、29日の洪水は8,000mg/lを越え、規模が全く異なる洪水であったにもかかわらず、浮遊土砂の粒度分布にほとんど変化が見られない点である。昭和28年の災害ではSSが83,000mg/lに達したが、このとき熊本市街には「泥土が堆積した」と記録されている（松本，1979）。つまり浮遊土砂はシルト・粘土が主体であったと考えられ、白川では洪水の規模を問わずに同じ性状の土砂が流出している可能性がある。

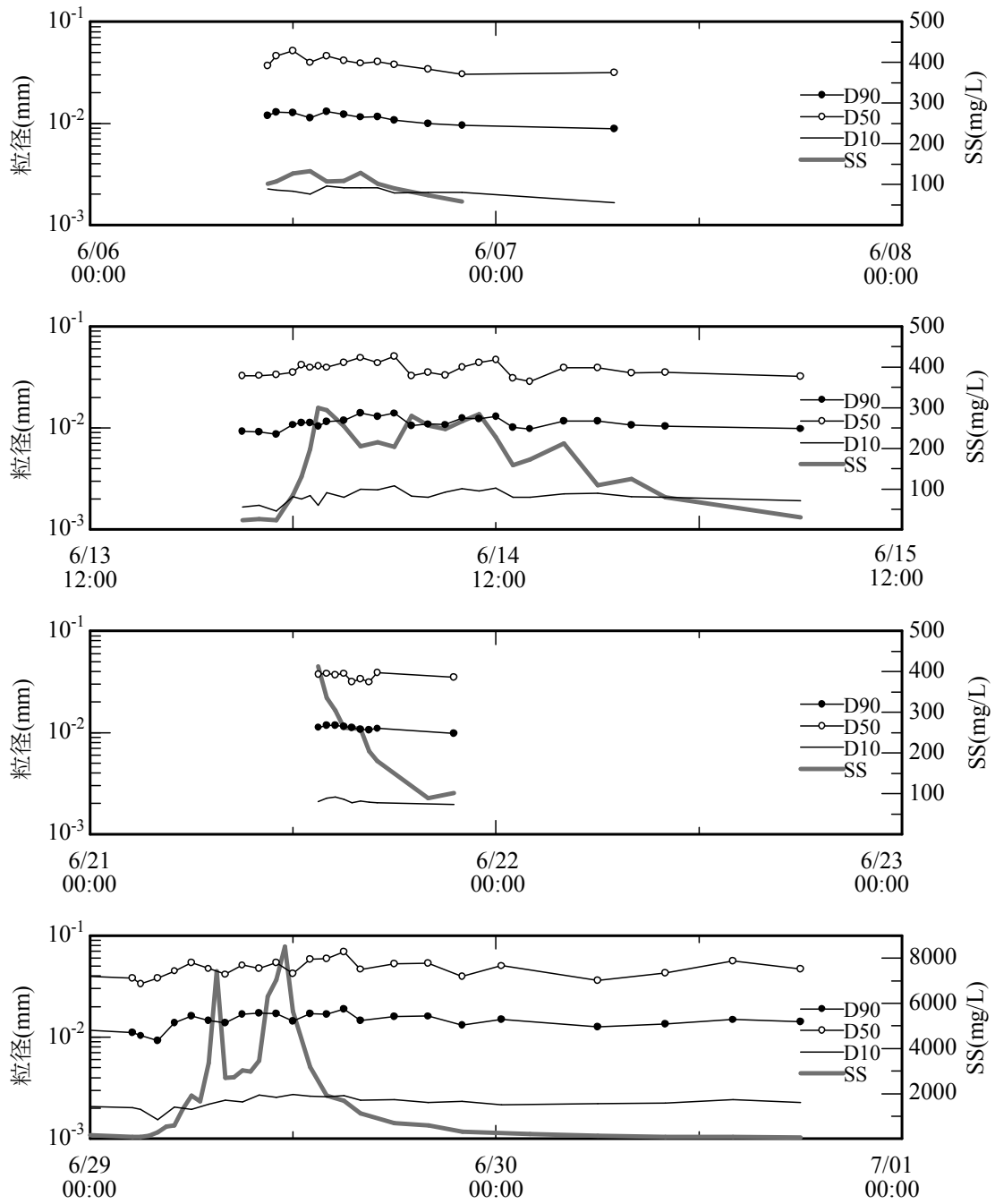


図-4-6 各出水の D10, D50, D90 粒径と SS の時系列



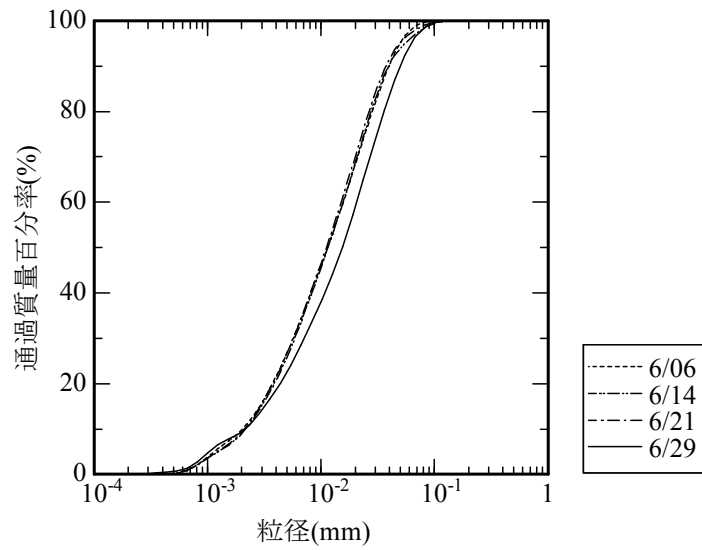


図-4-7 各出水のピーク時の粒度分布

表-4-3 各出水のピーク時の代表粒径

生起日	D10(mm)	D50(mm)	D90(mm)
6/06	0.0022	0.0114	0.0396
6/14	0.0021	0.0112	0.0382
6/21	0.0021	0.0110	0.0357
6/29	0.0023	0.0147	0.0481

#### 4-3 土砂流出量の経年変化

ここで、阿蘇カルデラから流出する土砂量の経年変化について考察する。図-4-8に過去の観測から得られた浮遊土砂量と流量の関係と、今回の観測結果をプロットする。過去のデータとしては昭和28年災害での流出土砂量の推定値と、それ以降に観測された実測値を用いた（熊本工事事務所，2000）。

これより、昭和28年から平成2年のデータに対しては実線に示すような相関が見られるが、平成9年と平成11年のデータは破線に示すような相関が見られ、浮砂土砂量が少なくなっている。また、今回の観測から得られたデータは、平成9年と平成11年のデータと近い傾向にある。つまり、平成2年以前は平成9年以降に比べて土砂の流出量が10倍程度あったと推測される。この要因の一つに、阿蘇山の降灰が考えられる。阿蘇山では平成5年以降に降灰が観測されていないため、上流部からの流出土砂量が安定している可能性がある。

あるいは、第三章で述べたとおり、流出土砂の大半は溪流堆積物である可能性が高いため、昭和28年以降に植生の回復や砂防ダムの整備などによって、土砂流出が徐々に抑制されてきていると考えることも出来る。昭和28年は推定値が1点のみであり、しかもこれは氾濫時間帯の平均値である。おそらくピーク時にはより濃度が高かったと考えられ（解析した著者本人の記述；藤芳，1956）、図中ではより高い位置にプロットされるであろう。また、平成2年と平成9年のデータは点数が少ない。こうした点を考慮すると、昭和28年以降、徐々に土砂流出量が低減して現在に至っているとの考察も妥当であろう。

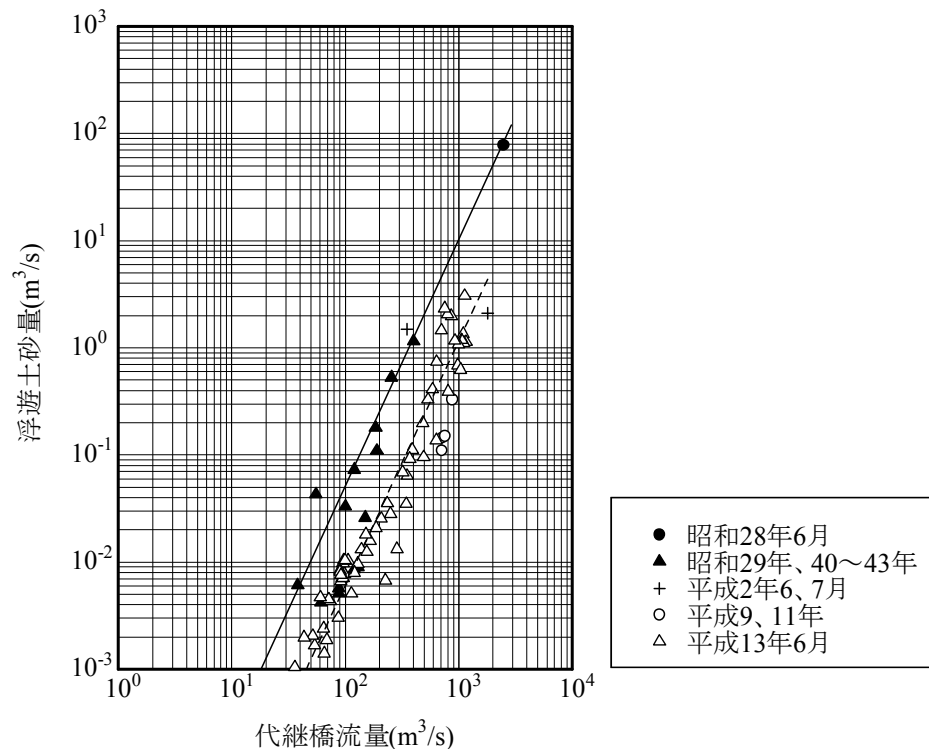
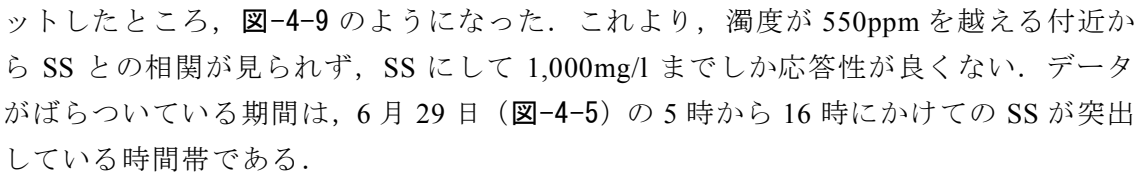
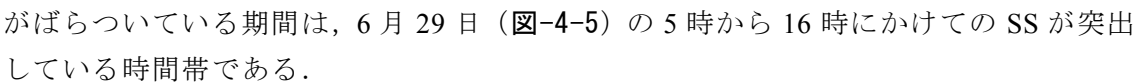


図-4-8 各時代の流量と流砂量の関係

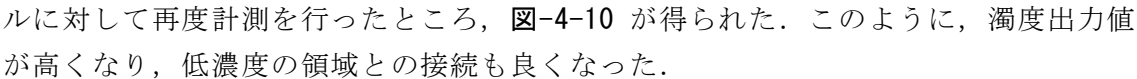
## 4-4 粒径別土砂供給量

### 4-4-1 濁度とSSの相関

これまでの結果を用いて出水期の供給土砂量の算出を行う。土砂量は流量にSSをかけて求めるが、SSデータとしては2つの選択肢がある。1つは洪水観測によって得た生データであり、1つは濁度モニタリング結果を相関式によって換算したデータである。基本的には採水観測を実施した期間についてはSSの生データを用いる。しかし、全ての洪水観測において洪水開始から終了時まで連続的に採水が実施できたわけではないので、観測の空白時間帯は濁度モニタリングによる換算データを用いる。

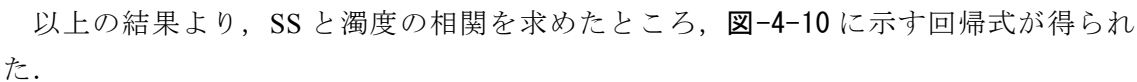
計4回の採水観測により得られた濁水のSSと同時に観測した濁度との関係をプロットしたところ、のようになった。これより、濁度が550ppmを越える付近からSSとの相関が見られず、SSにして1,000mg/lまでしか応答性が良くない。データがばらついている期間は、6月29日()の5時から16時にかけてのSSが突出している時間帯である。

今回使用した濁度計は、メーカー公称ではカオリン換算で2,000mg/lまでの範囲において直線的な出力が得られる、つまりカオリン粘土の濃度2,000mg/lについて濁度が2,000ppmと表示されるとなっているが、かなり様子が異なる。この原因として、阿蘇カルデラで生産される「ヨナ」及びその変化生成物の土砂特性が考えられる。濁度計は光の透過率や散乱強度から水中の土砂濃度を推定しているが、第三章で検討したとおり、計測対象とする土砂の粒径や形状によって出力値が大きく変化する。

念のために、実験室において同じメーカーの20,000ppmまで測定可能な濁度計（アレック電子、ATU5-8Mを改良）を用いて、濁度の反応が悪かった時間帯の濁水サンプルに対して再度計測を行ったところ、が得られた。このように、濁度出力値が高くなり、低濃度の領域との接続も良くなった。

したがって、今回使用した濁度計は白川の洪水に含まれる土砂に対しては反応限界がかなり低く、SS濃度で1,000mg/l程度が上限であると考えられる。

いずれにせよ、今回の計測期間では1,000mg/lを越えるような洪水では、実測のSSが得られているため、解析に支障はない。

以上の結果より、SSと濁度の相関を求めたところ、に示す回帰式が得られた。

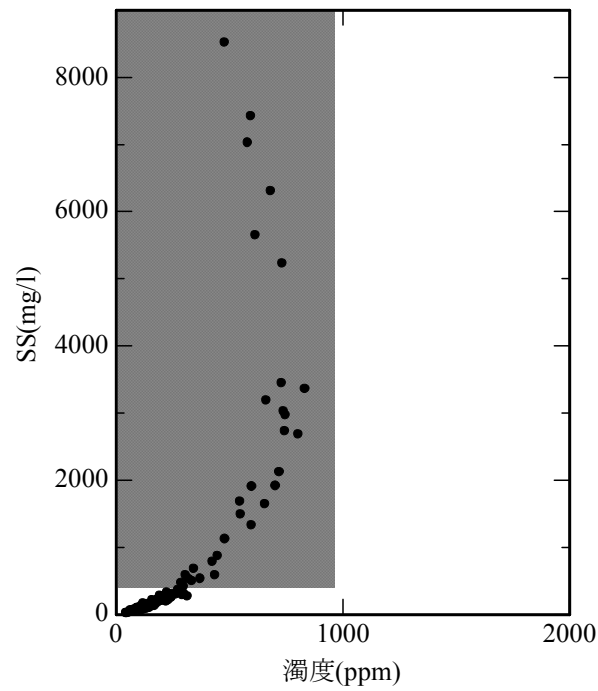


図-4-9 濁度とSSの相関

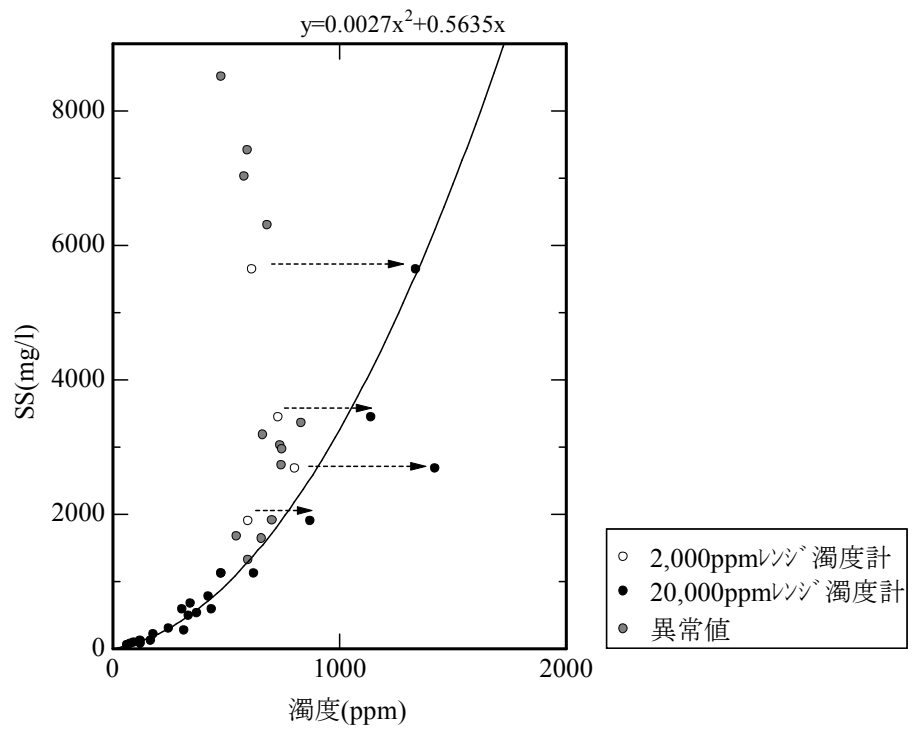


図-4-10 濁度とSSの相関（修正後）

#### 4-4-2 通過土砂量の計算

図-4-11 に洪水期間の流量，SS，通過土砂量の期間累積を示す．SS 時系列データは基本的には採水観測データを用い，採水を実施していない期間について図-4-10 の相関式により濁度計測値を SS に換算して，両者を合わせて作成した．さらに SS 時系列データに流量を掛け合わせて断面通過土砂量を算出した．

これより，洪水ごとに通過土砂量が累積されてゆく様子が分かるが，特に 6 月 29 日の洪水は流量，土砂濃度ともに他を圧倒する規模であったため，本年の洪水期間では土砂ほとんどが 6 月 29 日に供給された．

次に，洪水ごとの総土砂量と体積をまとめたものを表-4-4 に示す．土砂体積の算出は次のように行った．体積を算出する目的は，河口干潟の土砂移動量と比較するためであるから，干潟上に堆積している同じ粒径の底質密度を用いればよい．前述の通り，洪水土砂の粒径は 0.1mm 以下のシルトが 8 割，粘土が 2 割であり，砂質土は含まれていなかった．そのため，出水後に干潟部に堆積したシルト・粘土質の底質密度を計測し（調査の詳細は次章にて述べる），平均的値として 1.3 を得た．

表から，出水期に上流域から供給された土砂量は 13.3 万 ton，土砂体積にして 10.2 万 m<sup>3</sup> と計算され，これらは全てシルト・粘土質であった．

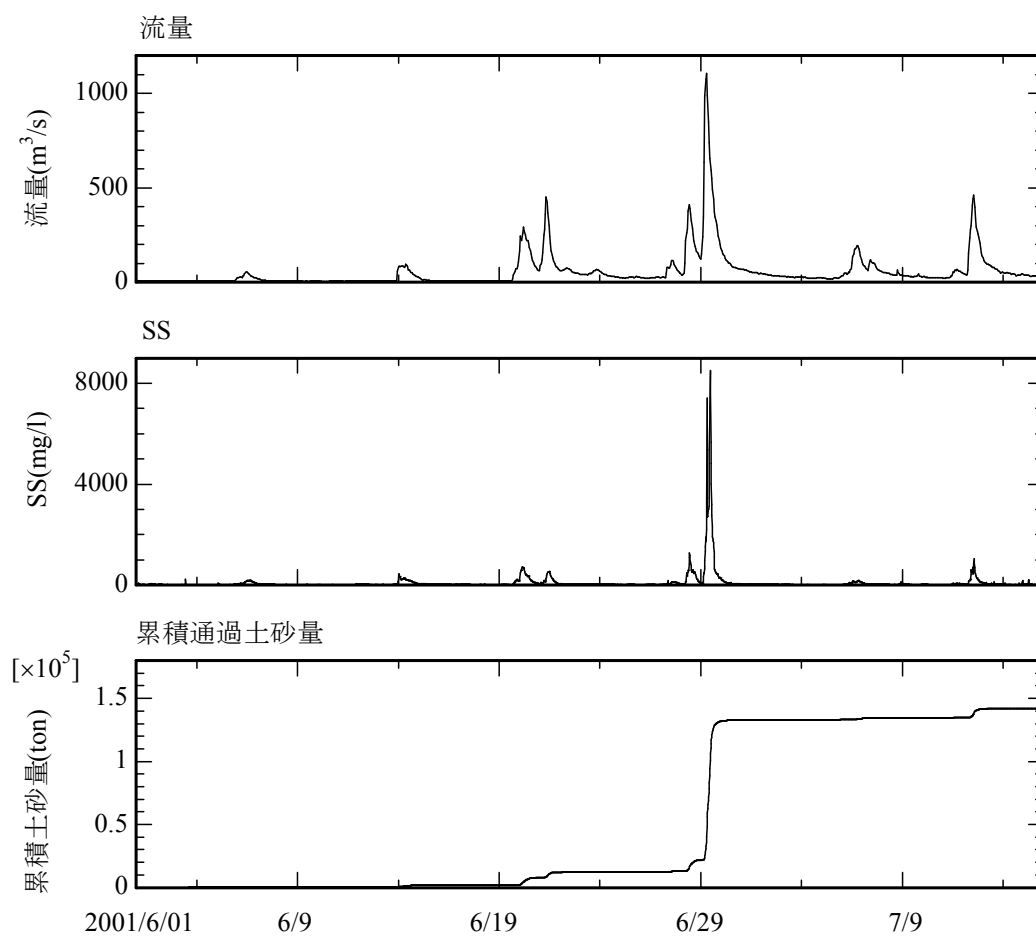


図-4-11 洪水期間の流量, SS, 累積通過土砂量

表-4-4 洪水ごとの供給土砂量

生起日	土砂量(ton)	土砂体積(m <sup>3</sup> )
6/06	371	286
6/14	1,224	941
6/21	10,595	8,150
6/29	119,844	92,188
総量	132,034	101,565

## 参考文献

熊本工事事務所（2000）：平成 11 年度白川浮遊土砂調査業務報告書

藤芳義男（1956）：白川調査書，第一編，白川洪水の解析（昭和 28 年 6 月出水）

松本唯一（1979）：昭和廿八年熊本泥水害冠水堆砂詳密地図（白川筋浸水堆砂状況図）