

山地流域における出水と土砂流出 (2)

——穂高砂防観測所の観測結果——

芦田和男・高橋 保・奥村武信・沢田豊明

RUNOFF PROCESS, SEDIMENT YIELD AND TRANSPORT IN A MOUNTAIN WATERSHED

——Some Observations by Hodaka Sediment Observatory——

By Kazuo ASHIDA, Tamotsu TAKAHASHI, Takenobu OKUMURA and Toyoaki SAWDA

Synopsis

The authors carried out some observations on the runoff, sediment yield and transport in a small mountain watershed, called Hirudani Experimental Watershed, which is a tributary of the Jintsu River in Gifu Prefecture, Japan. This paper presents some results of the observations on runoff characteristics, rate of sediment yield and transport on each classification of rocks in the sediment and transport, and changes in water qualities during floods. By using these results, the authors consider as follows:—

- 1) The conductance of flood water is an indicator of the component of runoff.
- 2) The quantity of sediment yields and transport discharge are limited during the period of the observed runoff.
- 3) The characteristics of transport materials reflect the runoff processes over the sediment source areas.

1. 緒 言

山地流域からの土砂れきの生産と流出の現象は、流域内における砂れきの賦存特性と降雨の流出特性との関連のもとで様々な形態を取り、その実態の解明には現地における詳細な観測研究が必要である。

穂高砂防観測所では、こうした土砂れきの流出機構の解明を目的として、昭和41年度より山地流域における出水と土砂れきの流出に関する観測研究を続けており、その成果^{1)~3)}を発表してきた。

本論は前報³⁾にひきつづき、昭和47年にヒル谷試験流域で行なわれた出水と土砂れきの流出に関する調査および観測の結果について述べる。本論では、特に試験流域の下流端における流出砂れきの岩種分布および粒径分布と流域内に賦存する砂れきのそれらとの関係を検討し、それにもとづいて土砂れきの流出機構を考察している。

2. 試験流域および観測内容の概要

ヒル谷試験流域は、岐阜県の北東部・吉城郡上宝村にあり、神通川の水源となる蒲田川の左支川足洗谷(7.5km²)の小支溪である。流域面積は約0.85km²、海拔高度は谷出口で1200m、最高部で2100mとなっている。この流域は地形、地質および土砂流出の特性から3つの流域に分けることができる。Fig. 1に示すように、A流域は砂れきの9割程度が安山岩からなっている堆積層が広く分布し、斜面の勾配もゆるく、20~30mの厚さの堆積層を約10mの深さで切り込んだ谷を水が流れているという地域である。B流域は古生層が分布し、堆積層は薄く、斜面は急勾配で、河床勾配もA流域に比較して急である。しかし、現在のとこ

ろ土砂の流出はなく河床の変動もほとんど認められない。C流域はその全体が花崗斑岩の分布域で、土砂流出の盛んな崩壊を有する流域である。したがって、ヒル谷の出口から流出していく土砂れきの大半はC流域に由来するもので、この観測の主体はC流域からの土砂れきの挙動を明らかにしようとするものである。

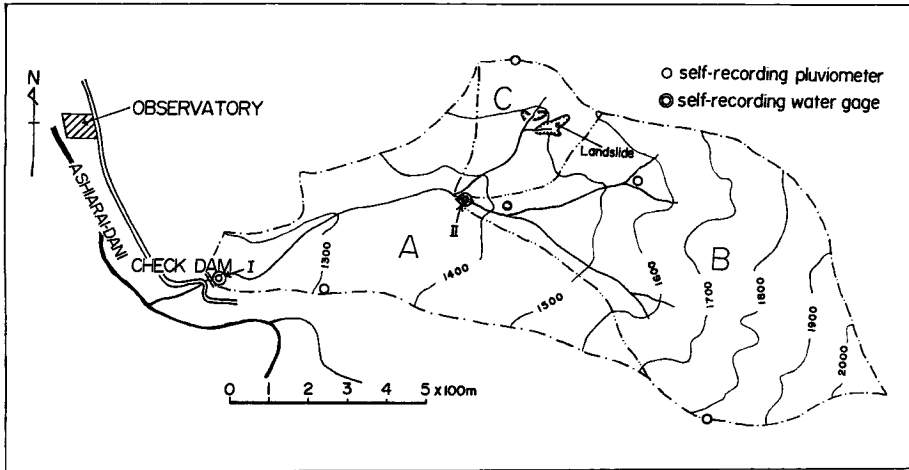


Fig. 1 Plan of watershed and equipments for observations in the Hirudani experimental watershed.

現在、この試験流域における観測内容は次のとおりである。(Fig. 1)

1. 流域内 5 カ所に設置された有線テレメーター雨量計による降雨量の測定。
2. 谷口の観測用堰堤および B 流域出口の貯水池に浮子型水位計を設置して流量の測定。
3. 谷口の観測用堰堤における推砂量から、一洪水あるいは一定期間内における流出土砂量の測定。
4. 流れこみ式の流砂観測装置を設置して、洪水時の流砂量、流出砂れきの粒径分布および岩種分布の測定。(Photo. 1, 2, Fig. 2)
5. 谷口を流出する水の性質 (pH および電導度) の測定。

以上は、年間にわたって継続的に行なう調査項目であるが、その他に、溪床および崩壊地の粒度・岩種分布、溪流における洪水痕跡および崩壊地からの土砂れきの流出の測定などを随時行なっている。なお、調査項目のうち、1, 2および5は谷口に設置した観測室の記録計に同時に記録される。

流れこみ式の流砂観測装置は洪水の発生と同時に作動させる。その作動はほとんど手動で、その装置の特徴はつぎのとおりである。(Photo. 1, 2, Fig. 2)

1. コンクリート製水路床 (勾配 15°) に、10cm 以下の径のれきが入るようになった取り入れ口 (一辺が 20cm 平方の取り入れ口に幅 10cm の格子が入っている。) が設置してあり、砂れきは水とともにパイプ

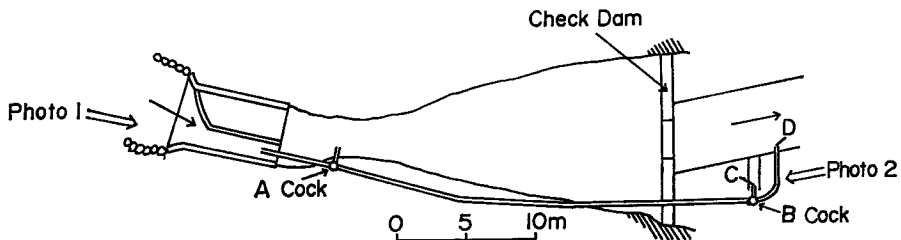


Fig. 2 Measuring system of sediment yield and transport in the Hirudani experimental watershed.

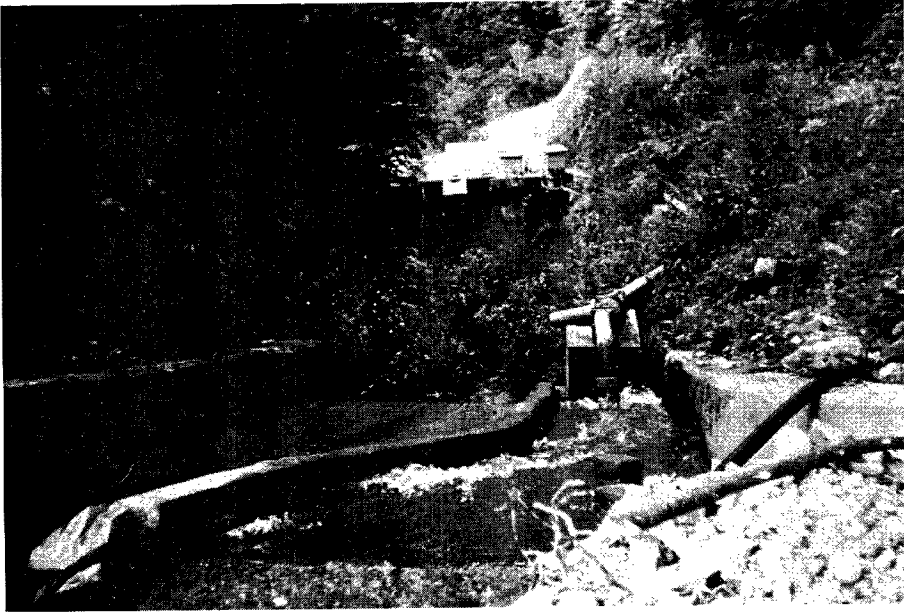


Photo. 1 View of sampling system.

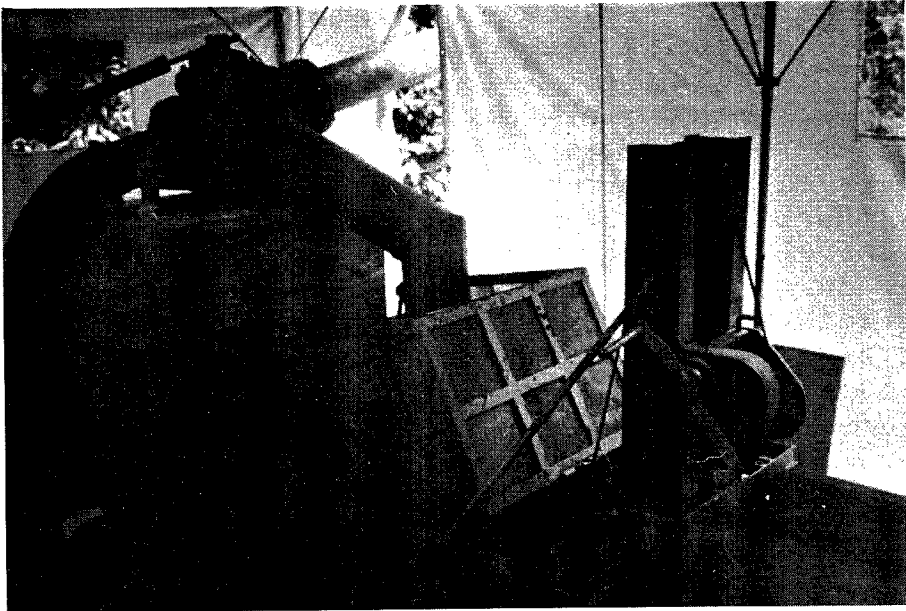


Photo. 2 View of measuring system.

で下流の測定装置へ送られる。取り入口がれきや木片などでつまることがあるが、そのような場合、流量や流砂量が急に減少することから、それを容易に察知でき、簡単に取り除くことができる。

2. 流砂の採集および測定はAのコックを開くことによって開始され、流出土砂れきの量によって測定方法を3段階に変えることができる。土砂が少ない時はBのコックを常に開いておいて、Cのパイプ口で直接

ポリピンにて土砂と水を採集する。土砂が多いときは、Bのコックを閉じて、一時水と土砂をDのパイプ口から流出させておいて、Cのパイプ口に採集袋(幅 30cm, 長さ 70cm, 布製)を取り付けた後、Bのコックを開き土砂を袋に採集し、下の水槽に入った水の量を量水標によって読みとる。同時に、ストップウォッチによって採集時間を測定する。さらに土砂れきの量が多い場合は、Bのコックを常に開いてCのパイプ口から水と土砂れきを流出させておき、採集用網バットをパイプ口に移動させて土砂れきを採集する。なお、その採集の前後に、Cのパイプ口から流出する水の量を水槽で測定する。

3. いづれの方法でも、流出土砂れきの測定および採集は5分間隔で可能である。

4. この装置を作動させるためには3名の人員が必要である。

著者らが行っている河川における土砂れきの挙動に関する研究は、実際の河川における流出土砂れきの量を正確に測定することを必要としている。しかし、このような河川で流砂量を実測する手段はほとんど開発されていない。それは流砂現象の複雑さとともに、その現象が研究室および実験室では想像もつかないような作用を測定装置に与えることにも原因している。したがって、このような観測を自動化することは非常に困難ではあるが、精度のよい資料を安全・確実に収集できるように、当観測所においても、種々の試作装置をこの流域に設置して研究を行なっている。なお、上記の流砂測定装置も自動化するよう検討している。

3. 試験流域における出水の特性

1972年7月に観測された洪水におけるこの流域の出水の特性を検討する。Fig. 3 は7月9日から18日までの降雨によって生じた洪水の観測結果を示したものである。洪水を発生させた降雨は7月10日のものと、7月11日からの一連のものとの2つに分けることができる。7月10日の洪水は、降雨強度は大きい継続時間が短かく、洪水は単一のピークを持っている。しかし、最大降雨強度の時刻の経過後、降雨強度は比較的急激に減少しているにもかかわらず、流量は急激には減少しない。このことは降雨強度がかなり大きいのに、流出量が小さいこと、および降雨と流出の遅れが30分程度と短いという事実とあわせて、この流域では浸透能がかなり大きく、しかも浸透水のうちで流出速度の非常に速い成分が多いことを示していると考えられる。また、この洪水では谷口にある第I水位観測点のハイドログラフとB流域の出口にある第II水位観測点でのハイドログラフがよく似た形状を示している。

一方、7月11日の午後から発生した洪水は10日のものより大きく、最大流量において約2.5倍の流量ピークをもっている。また、降雨の規模も継続時間において11日の洪水の方が大きくなっている。11日のものは降雨規模がその継続時間の長いこともあって、その最大流量の生起時刻は、降雨強度が大きい11日の夜に対して、約1日半も遅れて13日の午前中になっている。このような現象は、上記の非常に速い地下流出成分に降雨強度によく対応する地表流出成分が加わったことによって生じたものと考えられる。さらに、この洪水の特徴として注目すべきことは、Fig. 3 においても明らかのように、第I水位観測点のハイドログラフと第II水位観測点のハイドログラフの形状が相違していることである。双方のハイドログラフの相違する時間は12日の正午から16日頃まで継続している。つまり、両ハイドログラフの頭の部分と尾の部分は類似している。さらに、10日の洪水のハイドログラフと第II水位観測点のそれが類似している。このような小流域において、上記のようなハイドログラフの形状の差が生ずることが大きな特徴であり、特異性でもある。以下、その原因について検討する。流域内の5カ所の雨量計の値から降雨量の違いが原因とは考えられない。流域の広さについてみると、7月9日から23日までの総降雨量に対する流出高を流域の規模で求めてみると、全流域では253mm, B流域では201mmとなる。この流出高の違いは、B流域からの流出のうちで第II水位観測点を通り越さず、堆積層中をもぐって流れ第I水位観測点上流の流路に滲出する成分がかなりあることを示している。

さらに、この流域からの出水の現象は、流量だけではなく、流出水の化学的成分の変化をもともなっている。Fig. 3 に示されるように、水の電導度は流出量の変化にもなって変化している。10日の洪水ではほぼ流出量の増加とともに電導度の値が減少している。11日からの洪水で、流出量と電導度はその前半におい

てよく対応しているが、その後半では対応が悪くなっている。このような両洪水の水質変化の差は、10日の洪水を生起させた降雨が単一のピークをもった単純な降雨パターンを示しているのに対し、11日からのそれは複雑な降雨パターンを示していることに原因していると考えられる。つまり、11日からの洪水において最大流出より後半は地下流出成分の増加が顕著となり電導度が増大し、14日の午後からはそれが減少して電導度が低下したことを意味するのではないかと考える。このことは電導度を測定することによって流出成分の分離を行なうことの可能性を暗示させるものであろう。しかし、そのためには今後の十分な検討が必要である。

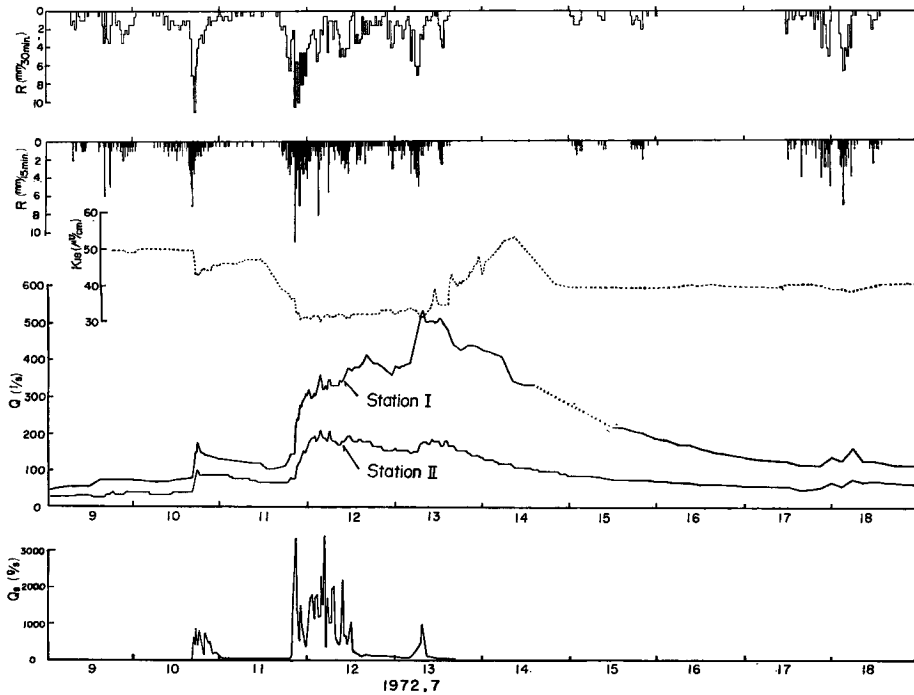


Fig. 3 Variations in discharge, sediment discharge, rainfall, and conductivity of river water during flood.

4. 試験流域における土砂流出の特性

4-1 洪水時における土砂流出

7月10日からの洪水時における土砂流出、降雨および出水の関係は Fig. 3 に示すとおりである。図の上から、30分間降雨量、電導度、第I水位観測点の流量、第II水位観測点の流量およびヒル谷出口の流砂量である。

この図において明らかなように、土砂流出は必ず降雨のあるとき生ずるが、その逆は必ずしもあてはまらない。すなわち、降雨があっても土砂流出を見ないことがある。さらに、このような関係は土砂流出と流量の多少との間にもあてはまる。つまり、土砂流出があるときは流量の増加がみとめられるが、逆に流量の増加があるからといっても必ずしも土砂流出の増加はみとめられない。このことが土砂流出に関して最も注目すべき問題点であろう。

この問題に関しては後述するので、まず、7月10日から13日にかけての洪水と土砂流出の実態について述べてみよう。10日の流出土砂れきは降雨量および流量にほぼ対応している。この洪水において、流出土砂の

粒径は2mm以上のものは少なく、中央粒径が約1.2mmであった。流出物の大半は土壌および草木片である。このことは、この降雨が前年の豪雨以来の豪雨であったことにも原因していると考えられる。

11日からの土砂れきの流出と流量および降雨量との対応は Fig. 3 において良くない。したがって、この土砂れきの流出については、砂れきの粒径から流出量と流量の関係を検討してみる。その関係を示したのが Fig. 4 である。この図において、洪水初期の流量の立上りとともに粒径が大きくなり、流出土砂量も急激に増加するが、その後は流量とそれらの対応はみとめられない。流出土砂量と粒径の間には、土砂量の増加と粒径の増大の傾向に対応がみとめられる。

以上のことを考慮したうえで、土砂流出現象に関して、流域内で具体的にどのようなことが起っているかを検討してみよう。

降雨の第1回目のピークは11日の20時30分から21時にかけて発生しており、それとほとんど同時に洪水が発生し、流出土砂量が急増している。この時点における流出物は土壌および草木片が大半で、21時には約240l/sの流量に対し3300g/sの流出量に達している。このような状態は、降雨強度が大きいために多量の地表水が一時に発生し、土壌や草木片を流出させたことによるものと考えられる。その後の流量は約300l/sまで増加するが、このような状態は11日の23時半頃にはなくなり、流砂量も約300g/sに減少し、流水の色も黒かっ色から赤かっ色に変化してくる。この頃から細粒径のものが少なくなり、2mm以上の粒径の砂れきの流出が多くなり河床砂れきなどの流出が始まったものと考えられる。流出砂れきは花崗斑岩と安山岩が大半をしめている。しかし、12日0時頃を過ぎてからは花崗斑岩の砂れきの流出量が急増し、逆に安山岩のそれは減少する傾向にある。降雨量は第1回目のピークより徐々に減少しているが、流砂量は12日の1時頃に流砂量約1700g/sのピークを示している。その後、3時に第2回目の降雨量のピークがあり、これに対応して流砂量約3400g/sのピークが発生している。この時点において花崗斑岩の砂れきが最も多く流出している。これは上流の花崗斑岩の崩壊地から砂れきが新たに供給されたことを示しているものであろう。この点についても、あとで検討している。その後、6時、9時および11時に流砂量2100g/s、2400g/sおよび1050g/sの3つのピークが発生している。しかし、いずれも降雨量および流量との直接的な対応を示していない。12時を過ぎると流砂量が約250g/sに減少するが、砂れきの粒径は小さくならず、流量も増加を続けている。その後、断続的に降雨が継続し流量は350~400l/sを保っているが、流砂量は少なく約100g/sでほぼ一定している。

以上のことは、1つの洪水に対して与えられる土砂れきの量が有限であること、土砂れきの流出は降雨の特性と出水の機構および土砂れきの特性とその量によって種々の流出形態を示すことを意味するものであろう。この点に関して、さらに検討を加えるために、次項では土砂れきの流出に関して、流出土砂れきを粒径と岩種によって分離してみる。

4-2 流出砂れきの岩種および粒径による土砂流出機構の考察

流出砂れきの量を岩種と粒径によって分離し、その量と降雨量および流量との関係から砂れきの流出機構を考察する。それらの関係は Fig. 5 に示すとおりである。この図において、まず粒径ごとに岩種による流出量をみてみよう。

粒径2~5mmにおいては、花崗斑岩の砂れきの流出量が常に多く、ついで、安山岩の砂れきが多い。石英斑岩の砂れきはそれらの数パーセントにすぎない。各岩種による流出量の時間的変化は、花崗斑岩の場合、7月12日2時半頃に流砂量の最大値を示し次第にその量を減少し、12日17時頃からは20g/sの値が継続している。安山岩の場合は12日0時に流砂量の最大値を示し、その後、徐々に減少し6時頃までに、5~6g/sの流砂量となっている。石英斑岩は12日3時頃にその最大値10g/sを示しているが、その時刻以外はほとんど流砂量がないといえる。

粒径5~10mmについても、岩種ごとの流砂量の変化の状態は上記のものに類似している。相違する点をあげれば安山岩の流出量は11日22時から5時頃までの間変化が少なく約30g/sの値であること、石英斑岩の流砂量が若干増加していることである。なお、安山岩の砂れきの流砂量の変化が少ないことは、この間にお

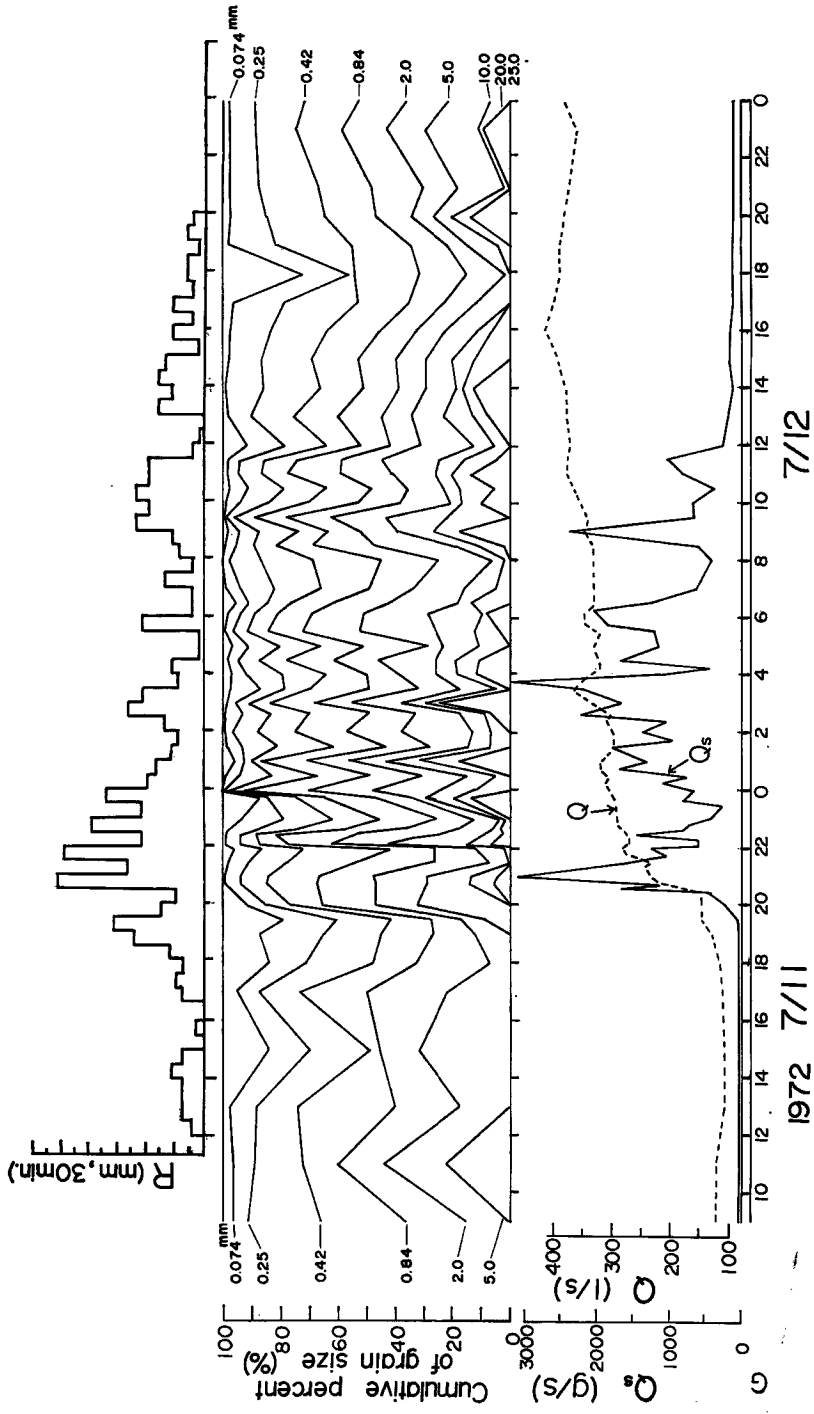


Fig. 4 Variations in rainfall, discharge, sediment discharge, and grain-size distribution of the sediment during flood.

いて流量も300~350l/sで一応安定していることに原因していると考えられるが、このように考えると、流砂量の多い花崗斑岩の流砂量の変化に対して安山岩のその変化が相違することは、砂れきの供給源などを検討するうえで非常に注目すべきことであろう。

粒径10~20mmになると、各岩種による流出量のパターンは上記の場合と非常に異ってきている。花崗

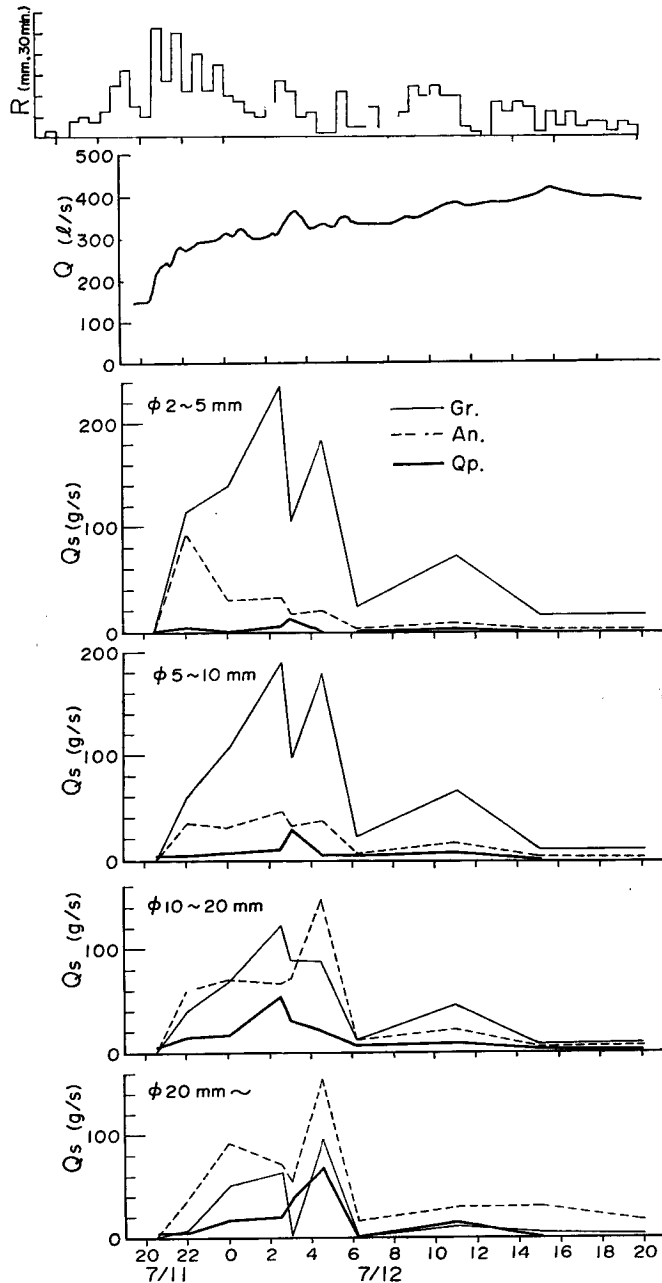


Fig. 5 Variations in rainfall, discharge, and kind of gravel of the sediment on each grain-size of the sediment during flood.

斑岩の流砂量は半減し、安山岩のそれはほぼ倍増し、12日4時には150g/sの最大値が発生している。また、安山岩は11日22時から3時の間において、約70g/sの一定流砂量を示している。このことは、この期間の流量も300~350l/sでほぼ一定しており、河床を構成している安山岩の砂れきを一定の割合で流出させていることを意味するものであろう。石英斑岩の流砂量は約2倍に増加し、その最大値は50g/sとなっている。ここで、注目すべき点は、上記のとおり、安山岩の流砂量の変化であろう。

粒径20mm以上になると、安山岩の流砂量が洪水期間全体にわたって多くなる。また、12日6時以後、流砂量は20~30g/sでほぼ一定である。花崗斑岩の流砂量は粒径2~5mmの場合の約1/4に減少している。しかし、その流出の傾向には類似性がみとめられる。この粒径については、各岩種とも流出量の変化のパターンが類似していることが特徴である。

さらに、上記の種々の点について、岩種ごとに粒径による流出量の変化について検討してみよう。花崗斑岩は粒径によって流砂量の変化のパターンの違いはみとめられない。安山岩について、粒径2~5mmのものは総流出量の大半は洪水の初期に一度に流出してしまっている。それに対し、粒径5~10mmのものは総流出量の大半は洪水の初期に流出しているが、ほぼ平均して流出している。さらに、粒径10mm以上の2つのグループでは、総流出量の大半は洪水の前半に流出しているが、流砂量のピークはその後半になっている。つまり、安山岩の場合は流砂量のピークが粒径が大きくなるにつれ遅れる傾向がみとめられる。

以上のように、花崗斑岩の砂れきの流出量の変化は粒径によって異なることはないが、安山岩のその流出量の変化は粒径によって異なることが認められた。このことは岩種によって粒径分布が相違すること、砂れきの分布が異なること、同一岩種でも場所によって粒径分布が異なることに加えて、それらを流出させる流量の特性が場所および期間によって異った現われ方をするに原因するものであろう。

5. 結 語

上記のように、著者らは穂高砂防観測所において観測調査された流砂に関する諸資料にもとづいて、山地流域の出水の特性と土砂れきの生産・流出の機構について考察を行ない、注目すべきいくつかの事実を明らかにした。それらを要約すれば、次のとおりである。

1. 流域内における土砂れきの挙動を把握する1つの手段として、砂れきの岩種をトレーサーとすることが可能である。
2. 流域内における出水の各流出成分の挙動を把握する1つの方法として、水の電導度の測定が有効な方法である。
3. 土砂れきの流出機構は、出水の流出成分の各流出機構と密接な関係をもっていて、1つの洪水に対して流砂量が有限である。

以上の成果をさらに、具体的な流砂現象の解明に発展させるために、特に今回観測された洪水において流出土砂れきの量が有限であったことに注目し、次の出水の前に土砂れきの供給源を流域全体について調査し、次の洪水における土砂れきの流出の実態をより明らかなものにしていきたいと考える。

最後に、本研究に御協力をいただいた志田正雄技官および滝沢梅雄氏に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正・土屋義人・奥村武信：山岳小流域における土砂流出に関する2, 3の観測結果について，京都大学防災研究所年報第10号B, 昭42, 3, pp. 81-96.
- 2) 矢野勝正・奥村武信：山地流域における土砂流出——土砂濃度と粒径特性——，京都大学防災研究所年報第12号B, 昭44, 3, pp. 333~343.
- 3) 芦田和男・高橋 保・奥村武信・道上正規・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出——穂高砂防観測所の観測結果——，京都大学防災研究所年報第15号B, 昭47, 4, pp. 349-361.