

阿武隈山地小流域における土砂流出について

Characteristics of Sediment Yield in Four Small Catchments Underlain by Different Bedrocks

金野 博*・廣瀬 孝**・恩田 裕一***・松倉 公憲****

Hiroshi KONNO, Takashi HIROSE, Yuichi ONDA,
and Yukinori MATSUKURA

I はじめに

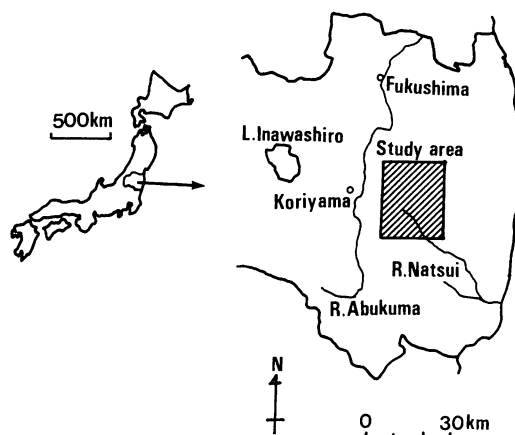
著者らは前報(廣瀬ほか, 1993)において, 阿武隈山地の異なる基盤岩石からなる4つの小流域における水の流出特性の差異について論じた. その調査過程において, 流量の計測に用いた堰に堆砂が見られ, その量は流域ごとによりかなりの差があることが観察された. 従来, このような土砂流出に与える地質条件の差異に関する研究はほとんど見られず, 未解決の問題として残されている. 従って, 我々はこの問題を明らかにするために, 約1年間にわたり, 土砂流出量と流量の観測を継続して行った. 本報では, その観測結果を示し, それに関する若干の考察を行うことにする.

II 調査地域及び調査方法

調査地域(第1図)は, 阿武隈山地中部の福島県田村郡小野町から船引町にかけての地域で, 中生代ジュラ紀までの花崗閃緑岩・超塩基性~塩基性岩類, ジュラ紀~白亜紀の花崗岩, 年代不詳の中・古生層や石灰岩(白亜紀花崗岩類の接触変成作用を受けている)が分布している(渡辺ほか, 1955; 渡辺ほか, 1968など)(第2図). この地域は, 標高500m程のなだらかな丘陵面と, そこから突出した幾つかの孤

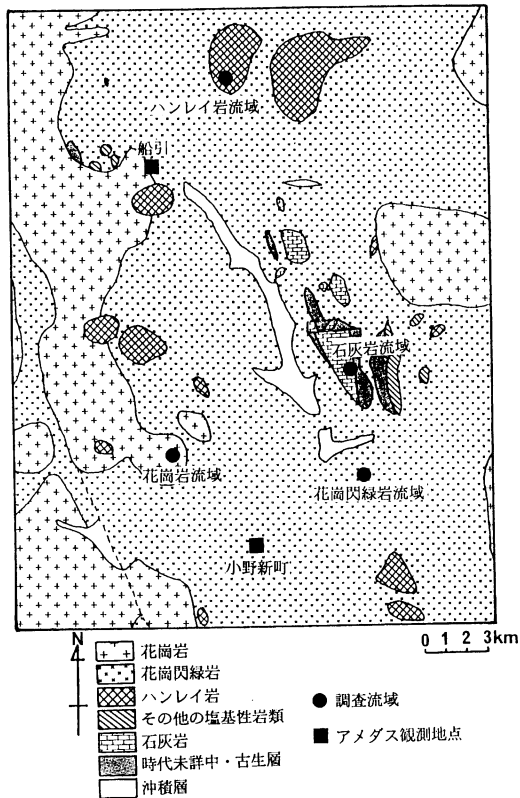
立峰からなっている(小池, 1968など). 調査対象とした4流域は, 廣瀬ほか(1993)が調査対象としたのと同じ流域であり, それぞれハンレイ岩・花崗岩・花崗閃緑岩・石灰岩を主体とする山体の, 中腹~山麓に位置する. 気候的には, ほぼ同じ条件下にあると考えられる.

各流域とも(第3図), 流域の出口に90° Vノッチ堰を設置し, そこでの流量(池田計器製作所製, 自記水位計ADR100WPによる)と, 堆砂量を測定した. さらに流域内の上流部の湧水点付近にも堰



第1図 調査地域の位置

*筑波大学自然学類(現 大学院環境科学研究科) **筑波大学大学院地球科学研究科 ***名古屋大学農学部
****筑波大学地球科学系



第2図 調査地域周辺の地質

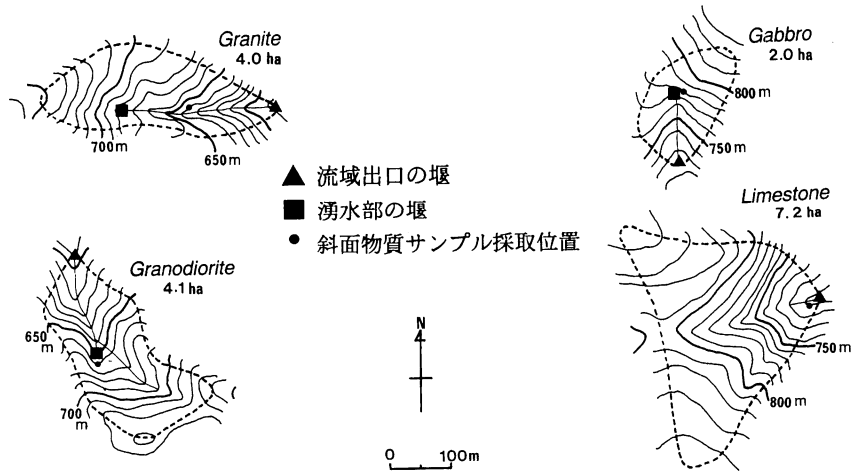
を設け、堆砂量を測定した。石灰岩流域では、湧水部が流域出口から50m程度上流の至近距離にあり、湧水部と流域出口の標高がほぼ同じであったので、堰は流域出口のみに設置した。これらの堰の位置は第3図中に示した。

堰に堆積した土砂は、回収して200mlのスチロール瓶に詰めて持ち帰り、その乾燥重量を計測して堆砂量とした。堆砂が多量の場合は、まず全体の体積を計り、その内の200mlだけをサンプリングしてそのかさ密度を求め、比例計算によって全体の重量を求めた。

III 測定結果

流域出口における堆砂量については、1992年3月25日～1993年3月29日の1年間にわたって、ほぼ1か月ごとに、そのデータを採取した。上流の湧水部では1992年5月2・3日（ハンレイ岩流域では7月8日）～1992年12月28日の期間のみ測定を行った。また、特に梅雨期中の7月11～22日には、流域出口・湧水部とも、ほぼ1日ごとに測定を行った。流量は、ほぼ全期間にわたって測定された。

まず、1年間のデータを4流域間で比較する。流量は流出高 (mm) で表すと、ハンレイ岩流域 (1,350 mm) > 花崗岩流域 (400mm) > 花崗閃緑岩流域 (370mm) > 石灰岩流域 (280mm) の順であった。それに対し



第3図 調査流域の地形

第1表 計測結果一覧

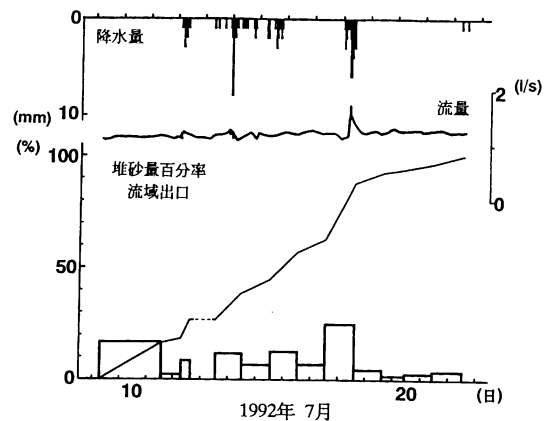
流域 (流域面積, ha)	堆 砂 量				表層土の粒度組成*(%)			備 考
	流域 出口		湧 水 部		シルト 粘 土	砂	礫	
	1992年4月 1993年3月	1992年7月 11日~22日	1992年7月 1992年12月	1992年7月 11日~22日				
ハンレイ岩流域 (2.0)	122 (61)	0.71 (0.36)	0 (0)	0 (0)	27.0	72.1	0.9	河床には基盤露出；水流は 河岸の土壌をを浸食；斜面 からの土砂供給量が多い
花崗岩流域 (4.0)	439 (110)	16.4 (4.1)	21 (5.3)	2 (0.50)	7.2	84.6	8.2	谷頭に巨礫散在；流域は土 壤中をパイプ状に伏流；中 流斜面に崩壊跡地あり
花崗閃緑岩流域 (4.1)	64 (16)	0.15 (0.037)	1 (0.24)	0.34 (0.083)	6.5	81.7	11.8	谷頭・谷底に巨礫散在（崩 壊跡か？）
石灰岩流域 (7.2)	5 (0.69)	0 (0)	— —	— —	18.0	72.6	9.4	斜面上にドリーネらしき凹 地；谷底は湿地化

* 表層土の粒度組成を測定したサンプルの採取地点は第3図中に示してある。

て堆砂量は第1表のように、流域出口においては、花崗岩流域 (439kg) > ハンレイ岩流域 (122kg) > 花崗閃緑岩流域 (64kg) > 石灰岩流域 (5kg) の順に、湧水部においては、花崗岩流域 (21kg) > 花崗閃緑岩流域 (1kg) > ハンレイ岩流域 (0kg) の順となった。このように、各流域における流量や堆砂量には顕著な差異が認められる。

梅雨期における1日毎のデータについては、降雨量・流量・堆砂量の変化とそれぞれの対応をみるため、第4図～第6図を作成した。なお、石灰岩流域では期間中全く堆砂がなかったため、図は作成しなかった。ここでは堆砂量の時間的な変化の差違を比較するため、期間中の総量を100%として、毎回の測定量の百分率を棒グラフで示した。折れ線はその積算値である。

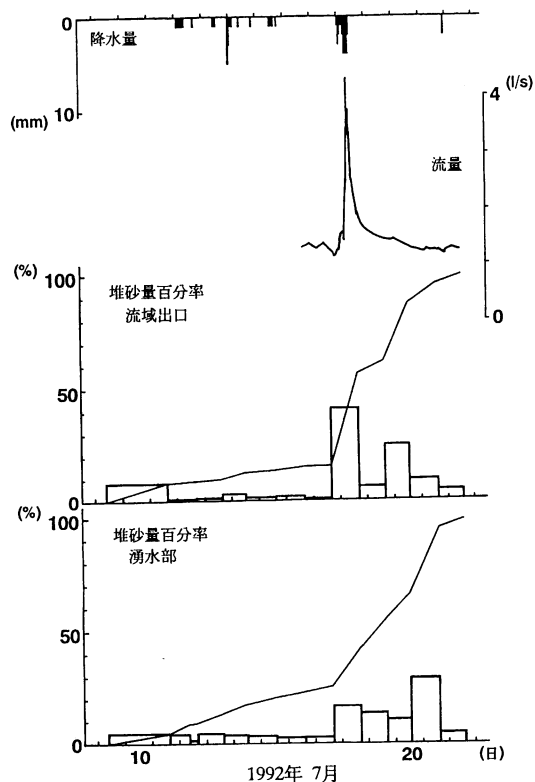
まず、この期間中の流域出口における総堆砂量 (第1表) は、花崗岩流域 (16.4kg) > ハンレイ岩流域 (0.71kg) > 花崗閃緑岩流域 (0.15kg) > 石灰岩流域 (0kg) の順である。また、湧水部においては、花崗岩流域 (2kg) > 花崗閃緑岩流域 (0.34kg) > ハンレイ岩流域 (0kg) である。流域出口での7月の堆砂量と年間の堆砂量の順位は同じであり、湧水部での7月の堆砂量と年間の堆砂量の順位も同じであった。そして、この時期においても、堆砂量の流域間



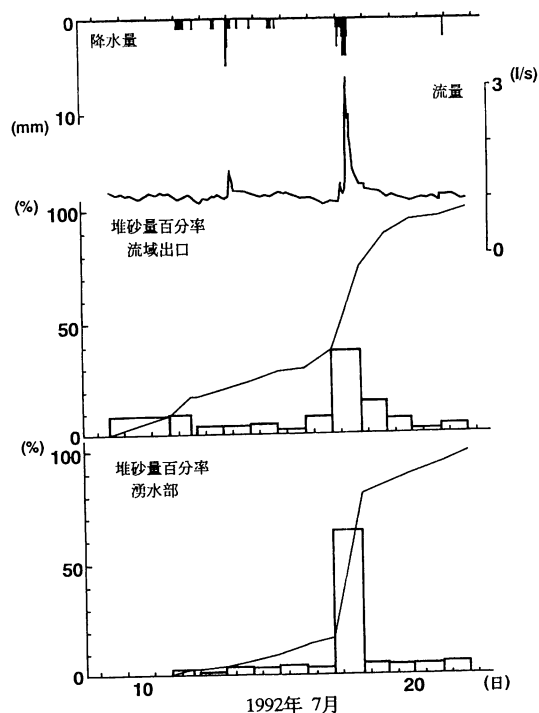
第4図 1992年7月11～22日の降雨量・流量・堆砂量百分率の変化：ハンレイ岩流域 (13日の堆砂量については、サンプル紛失のため、推定値 (= 0%) である)

の差異が大きかった。

次に7月の梅雨期における堆砂量について述べる。ハンレイ岩流域では湧水部での堆砂は見られなかったため、流域出口のグラフのみを示してある (第4図)。7月12日午前、13日～14日、18日午前の降雨に対応する流量のピークが認められる。12日、18日には堆砂量の増加も大きいですが、それらの翌日にはそれ以前よりも小さな値となっている。全体としては、積



第5図 1992年7月11～22日の降雨量・流量・堆砂量百分率の変化：花崗岩流域



第6図 1992年7月11～22日の降雨量・流量・堆砂量百分率の変化：花崗閃緑岩流域

算値は直線的に増加しており、流量の1次ピークが出ていた日と、それ以外の日の堆砂量の差は比較的小さい。

花崗岩流域における流出土砂量の変化（第5図）は、上述のハンレイ岩流域の場合とはやや異なっている。18日の降雨に対応して堆砂量が急増するのは湧水部・流域出口とも同様であるが、18日以前の堆砂はそれほど多くない。ハンレイ岩流域で17日までの堆砂量が60%を越えているのに対し、この流域では、流域出口では15%、湧水部では25%ほどにとどまっている。さらに、18日以降の数日間は、18日以前より堆砂の多い状態が続く。12日の降雨（ハンレイ岩流域より多少降水量が小さい）に対応する堆砂量のピークが流域出口でわずかに認められるが、18日と比較すると極めて小さく、その割合は1/15程である。データの欠損により9～16日の流量は不明であるが、花崗岩流域においては、ある一定の流量の増

加がなければ、堆砂が起こらないことが予想される。

花崗閃緑岩流域における堆砂量の変化（第6図）は、上記2流域の中間的な性質を示している。堆砂量・流量ともに7月18日のピークが顕著であるが、流域出口では、花崗岩流域ほど増大期が続かず、2日後にはピーク以前のレベルに落ちている。湧水部では18日のピークが突出しており、それ以外では堆砂は低調である。18日以降の堆砂はやや多い。また17日までの堆砂は、出口では約38%であり、花崗岩流域とハンレイ岩流域の中間の値をとっている。

IV 考察——土砂流出のプロセス

ここでは、1年間のデータ及び7月のデータを基に、現地の観察事項を交えて、それぞれの流域における土砂流出プロセスについて考察する。

1) ハンレイ岩流域

ハンレイ岩の流域の谷頭においては、地表に露出

した岩盤の亀裂からの湧水が5~6ヶ所ほど見られた。そのうちの一つに堰を設置したが、年間を通して堆砂は見られなかった。

谷壁の斜面は比較的急で、その斜面の下部では土壌の露出した部分が谷底にせりだして、水流によって侵食を受けている区間が多い。河床の多くの部分では基盤が露出している。河道沿いにはこのように斜面下部の土壌侵食が随所で起きており、主要な土砂の供給源になっていると考えられる。流域出口における堆砂中の腐植分の割合も他流域より多い。斜面の表層は軟弱であるため、クリープ（土壌匍行）などによる谷底への土砂の供給は大きいと考えられる。また、降雨に対する流量の変化は他流域より小さく、水流は比較的安定している。この流域では以上のような要素が相まって、第4図に表れているような直線的な堆砂の増加が続いていると考えられる。流量のピークに対応して堆砂量もピークをもつが、その増加率は他流域ほど大きくない。これは流量のピークがそれほど大きくならないことに加え、斜面の表層に粘土・シルト分が多く含まれる（第1表）ことから、降雨によって湿潤状態になるとそれらの粒子間の結合力が強くなるので、逆に斜面物質が侵食に対して抵抗力を持つ（Rieger *et al.*, 1988）ことなどが原因として考えられる。ピークが減衰した後は、水流の侵食力の減少や、流量の増大時における土砂の流出・流亡と、上記のような粘土鉱物の性質などによって土砂供給が一時的に減少し、時間当たりの堆砂量はピーク以前よりも減少する。

2) 花崗岩流域

この流域の谷頭には巨礫が散在して地表に露出している。堰を設置した湧水部は、上下に重なった径1~2 m程の巨礫間の空隙である。湧水は地表に出る前に風化層を通過してきたものと思われ、堰には比較的多くの堆砂が見られた。河道は、流域出口まで大部分が伏流している。河道を覆う土層は軟弱で、所々で数10cm~数mにわたって、河道が地表に現れている。河道の現れる部分を見ると、土層中にパイプ状の流路ができていて、中流部の谷壁では、急な斜面の上方に高さ数10cm~1 m程度の急崖が続き、崩壊跡地のような形態を示している。また倒木が多

く見られ、土層の緩いことが想像される。谷底では、両岸が中央の河道に迫る格好になっている。この流域の河道への主な土砂の供給源は、谷頭や伏流部付近の土層と推定される。もともと運搬されやすいマサ状の物質の間隙を縫って河道が存在しているので、土層からの土砂の供給と、河道の流水による侵食との間には、ある程度の平衡が成立していると考えられる。この平衡を崩す程の流量の増加があると、侵食の及ぶ範囲が広がり、多量の土砂が流出するのであろう。また、堆砂のピークが長引くのは、流量の減衰時間が長いことに起因するものと思われる。そして、流量が減少すると過剰な侵食が行われなくなり、ピーク以前のレベルに戻るものと推定される。

3) 花崗閃緑岩流域

谷頭では、花崗岩流域と同様、巨礫の下部から湧水しており、堰に堆砂が見られることから、湧水は土層中を通過してきたものと考えられる。中流部以下流域出口までの谷底は巨礫で覆われている。河道には腐植分の少ない風化物が堆積しており、河道周辺の土壌と明確に区別されるので、多くは湧水によって土層の下部から運ばれてくるものと考えられるが、ここではそれ以上の考察を進める材料がない。

4) 石灰岩流域

水流は、比較的平坦な谷底内でしみ出しており、谷底では地下水位が高いものと推定される。堆砂が見られたのは流量のピークが大きい7月以前で、その時の水流が谷底周辺を侵食したことによるものと考えられる。それ以降は、流量が減少したことに加えて、湿生植物が繁茂し、枯死した後も根が地中に残るために、堆砂が見られなくなったのであろう。さらに、谷底の表層部は粘土・シルト分を多く含み（第1表）水分も多いので、表層物質がハンレイ岩流域の考察で述べたような侵食に対する抵抗性を持つことや、侵食されたとしても浮遊砂として運び去られていく可能性があることなども、原因として考えられる。

V おわりに

今回の調査から以下のことが明らかになった。流域出口における堆砂量は、花崗岩流域で最も多

く、ハンレイ岩流域、花崗閃緑岩流域、石灰岩流域の順に少なくなる。一方、上流域の湧水部における堆砂量は、花崗岩流域、花崗閃緑岩流域、ハンレイ岩流域の順に少なくなる（石灰岩流域では測定していない）。

しかし、本報ではこのような各流域毎の流出土砂量の差異をもたらすプロセスを、流路や斜面の観察から推定したにとどまっている。斜面から流路への土砂の供給のプロセスを定量的に把握することが今後の課題である。

謝 辞

野外調査などにおいて、地球科学研究科の小口千明さん、環境科学研究科の河村俊一郎氏、学群生の杉浦友宣君、中谷明彦君、藤田直二郎君、国方亮君、鈴木睦仁君など、多くの方々にご協力頂きました。深く感謝いたします。

文 献

- 小池一之（1968）：北阿武隈山地の地形発達。駒沢地理，4 & 5, 109-126.
- 廣瀬孝・恩田裕一・松倉公憲（1993）：異なる基盤岩石からなる小流域の流出特性について。筑波大学水理実験センター報告，17, 57-64.
- 渡辺岩井・牛来正夫・黒田吉益・大野勝次・砥川隆次（1955）：阿武隈高原の火成活動－阿武隈高原の地質学的岩石学的研究（その9）。地球科学，24, 1-11.
- 渡辺万次郎，他11人（1968）：20万分の1福島県地質図。福島県。
- Rieger, W. A., Olive, L. J. and Gippel, C. J. (1988): Channel sediment behaviour as a basis for modelling delivery processes. *Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, December (1988))*, IAHS Publ, 174, 541-548.