

# 琉球大学学術リポジトリ

[論文]

沖縄島北部与那川の山地小流域における水と土砂の  
流出特性

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄地理学会 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 加來, 友花, 廣瀬, 孝 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017705">http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017705</a>

## 沖縄島北部与那川の山地小流域における水と土砂の流出特性

加 來 友 花\*・廣 瀬 孝\*\*

(\*ヒューマンアカデミー日本語教師養成講座・学生, \*\*琉球大学法文学部)

### I はじめに

亜熱帯島嶼地域に属する沖縄では、日本本土では見られない特有な自然環境が見られる。沖縄島の河川も本土との違いが見られ、本土の河川と比較して、河川の長さが短く、勾配が急で、流域面積が小さいという特徴を持ち、通常時と降雨時における流量の変動が大きい。このような規模の小さな河川が、沖縄島における水資源において重要になっている。また、赤土流出と呼ばれる土砂流出の問題も起こっている。したがって、沖縄において河川の水や土砂の流出特性を把握することは非常に重要である。

沖縄島の河川における水および土砂の流出に関しては、赤土流出を念頭においた土砂流出に関する研究が多い(たとえば、翁長, 1986; 前門, 1990)。また、藤枝ほか(1995)は、沖縄島中部の南明治山と北部の辺土名に試験流域を設定し、水源地帯における水文環境・流出特性を検討・考察している。

日本各地においては、水や土砂の流出についての研究は多く行われている(たとえば、日原・鈴木, 1988; 朴, 1991; 金ほか, 2003)。金ほか(2003)は、長野県伊那山地の天竜川支流棚沢川の源流域で、流域面積の異なる流域において、浮遊砂および掃流砂流出量の降雨量および流量に対する応答特性を明らかにすることを目的とした研究を行った。しかし、流域面積が小さく、流出に関して基本的な山地小流域において、水と土砂の両方を扱った研究はまだまだ少

ない。

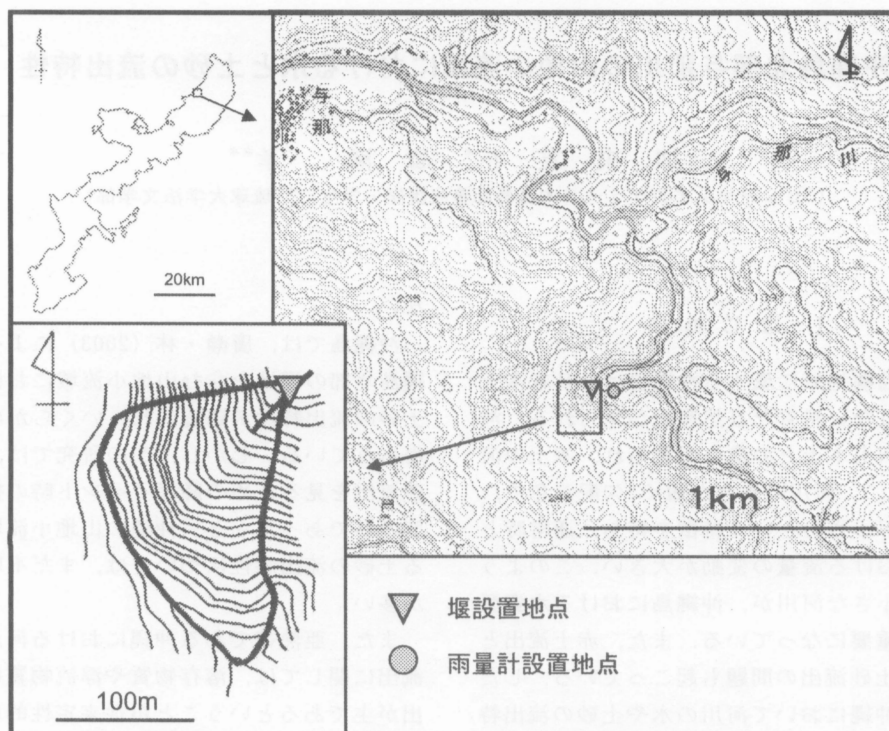
沖縄島では、廣瀬・林(2003)によって、沖縄島北部の裸地を含む山地小流域における水と土砂の流出特性が調査され、いくらかの知見が得られている。しかし、この研究では、浮流土砂流出を見るための降雨イベント時の採水が1度のみであったなど、沖縄の山地小流域における土砂の流出特性については、まだ不明瞭な点が多い。

また、亜熱帯である沖縄における河川の土砂流出に関しては、溶存物質や浮流物質による流出が主であるということが従来定性的に言われている(たとえば、目崎, 1986)。しかし、それを裏付ける実証的データはまだ十分とは言えない。そこで本研究では、より多くの水と土砂に関する定量的なデータを用いて、沖縄島北部の山地流域における水と土砂の流出特性を明らかにすることを目的とし、2.22haの山地小流域を選定し、様々な水文観測を行った。

### II 研究対象地域

研究対象流域は、沖縄島北部の国頭村与那にある琉球大学亜熱帯フィールド科学教育研究センター与那フィールド内の流域で、与那川の一支流である(第1図)。降雨に対する流量・土砂の反応を細かく考察するために、流出の規模の小さな山地小流域を対象として選定した。

調査流域の流域面積は、2.22haで、標高は70mから195mである。植生は、スギを主体とした針葉樹と、クスノキ・イジュなどの広葉樹で構



第 1 図 研究対象地域

成されている。調査流域の地質は古第三紀の嘉陽層で、砂岩と粘板岩の互層からなっている(たとえば、国土庁, 1977)。また、流域内の斜面で行った貫入試験および透水試験によれば、流域の土層の厚さは 50cm~3m, 表層土層の透水係数は、 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ cm/s のオーダーで、斜面下方の谷に近い方の透水性が低い傾向が見られた。

### Ⅲ 研究方法

#### 1. 水文観測

調査流域において、流域の出口に V-ノッチ堰を設置し(第 2 図)、水位、電気伝導度、水温の測定を行った。水位、電気伝導度、水温の測定は堰内で行い、10 分間隔でデータロガーに記録した。降雨量は、堰設置場所より約 50m 離れ

た開けた場所(第 1 図参照)に転倒ます型雨量計を設置し、データロガーで記録し、10 分ごと



第 2 図 流域出口に設置した堰の様子

の降雨量データを求めた。観測は、2005年9月16日から行った。

## 2. 流出土砂

流出土砂は、掃流土砂、浮流土砂、溶存物質の3つに分けて観測を行った。掃流土砂は、堰の中の堆砂量を計測する事で求めた。堰に堆積した土砂を持ち帰り、110℃に設定した乾燥炉で24時間以上乾燥させ、重量を測定して土砂量を求めた。

浮流土砂の観測のために、堰の所にオートサンプラー（ISCO社製）を設置し、降雨イベント時の流出水を採水した。オートサンプラーは、水位センサーを堰の側面に取り付け、降雨時に水位が上昇するとセンサーが感知し、採水を開始するようにした。本研究では、20分の採水間隔で約10ずつ24本採水するよう設定した。また、平常時の浮流土砂濃度を求めるために、堰へ流れ込む水を10のポリびんで手採水して持ち帰った。この採水は、計6回行った。採水し

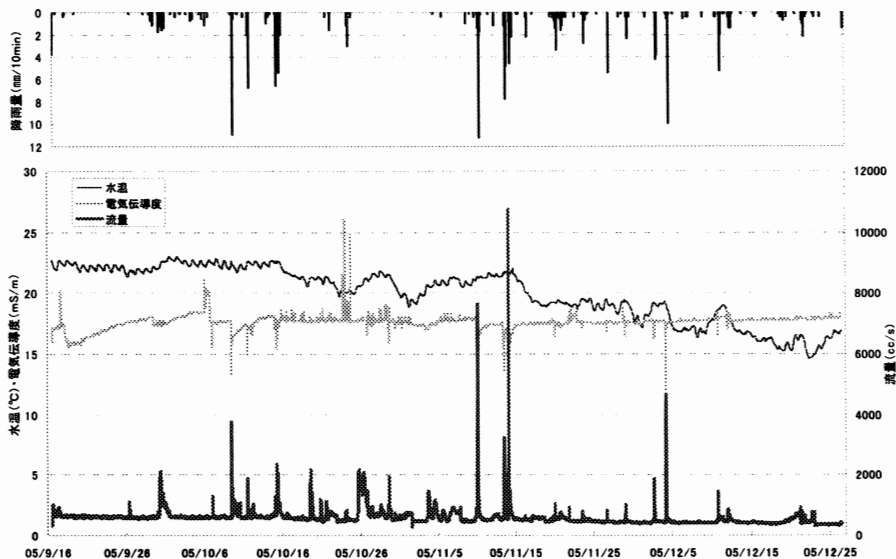
た水は実験室で、倉茂（1996）の方法にしたがって、0.45μmのメンブランフィルターを使用して吸引濾過を行い、浮流土砂濃度を求めた。

溶存物質については、堰で観測している電気伝導度をその指標とし、廣瀬・林（2003）の近似式（蒸発残留物の量と電気伝導度の関係式）を用いて、10分間隔で計測している電気伝導度の値を溶存物質質量（濃度）に読み換えた。

## IV 結果と考察

### 1. 水の流出

観測期間（2005年9月16日～12月26日）における降雨量、流量、電気伝導度、水温の変化を第3図に示す。この期間の総降雨量は480.4mmで、最大日雨量は11月10日の54mmであった。この図を見ると、降雨があると、流量は増加し、電気伝導度は減少している。流量・電気伝導度とも、降雨に対する反応は非常に速やかである。また、期間全体における流出率は48.7%であった。



第3図 堰における流量・電気伝導度・水温の変化

ここで、降雨に対する流量変化のレスポンスを詳細に見るため、単純なハイドログラフを持つ降雨イベント（流量ピークが1回および2回のイベント）を取りあげる。2005年10月9日～10月10日、10月11日～10月12日、12月4日、12月10日～12月11日の4回の降雨イベントでは、イベント時の流量ピークが1回であった。また、11月29日～11月30日、12月2日～12月3日の2回は、降雨イベント時の流量ピークが2回であった。それらのイベントにおける降雨量や流出率を第1表にまとめた。流出率などの計算は、降雨開始前の定時(30分きざみ)から、1日(24時間)をその降雨イベントの期間とみなして求めた。また、1回の例として10月9日～10月10日、2回の例として11月29日～11月30日の降雨イベントにおけるハイドログラフと電気伝導度の変化を第4図に示した。

10月9日～10月10日にかけての降雨イベント(第4図a)は、期間の総降雨量が38mm、最大降雨強度は11mm/10min、流出率9.5%であった。雨の降り始めから40分後の11時20分に最大降雨強度の11mm/10minの雨が降り、同時に流量も最大ピークとなる約3800cc/sを記録している。20分後に雨は止み、流量も基底流量(約600cc/s)まで速やかに減少している。15時頃から、降雨はないが流量が緩やかに増加している、いわゆる2次ピークが見られる。電気伝導度も降雨に対して速やかに減少し、降雨のピークと電気伝導度の減少ピークは同時である。

11月29日から11月30日の降雨イベント(第4図b)は、期間の総降雨量が10mm、最大降雨強度は2.4mm/10min、流出率は18.4%であった。この降雨イベントでは、流量のピークが2回現われている。最大降雨強度2.4mm/10minの降雨ピークとほぼ同時(10分遅れ)に、流量の最大ピーク約1030cc/sが現われ、その後の1時間の無降雨期間には速やかに減少している。2回目の1mm/10minの降雨と同時に約790cc/sのピークが現われている。電気伝導度も2回の降雨に対応して、それぞれ減少している。流量・電気伝導度ともに、降雨に対して応答がよい。

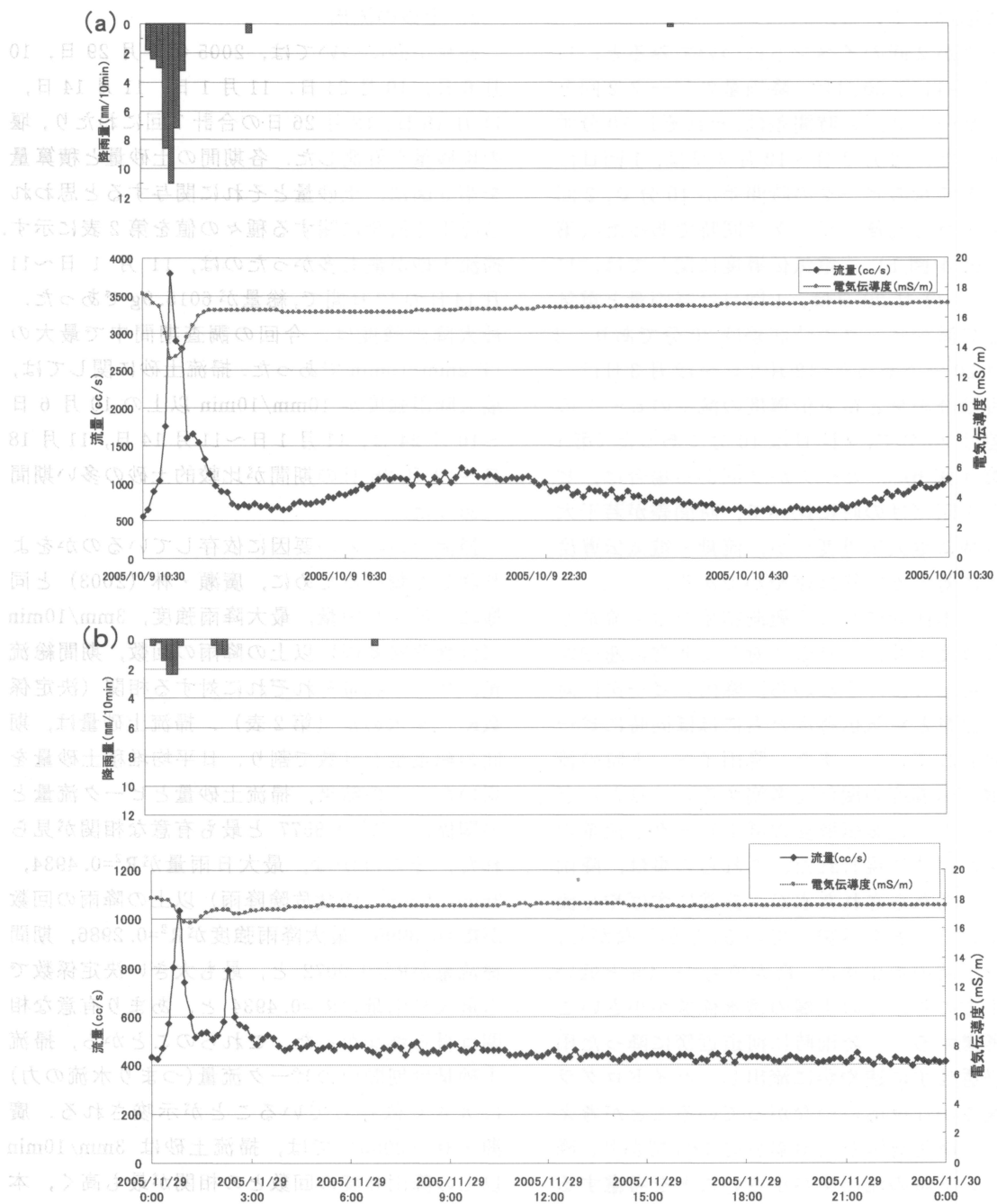
次に、第1表よりハイドログラフを示していないほかのイベントも含めて、降雨と流量および電気伝導度の時間差について見ていく。まず、ピークが1回のイベントについてみると、10月11日～10月12日以外の降雨イベントでは、降雨量と流量のピークは同時であった。10月11日～10月12日は、降雨量のピークと流量のピークの時間差がわずかに10分であった。10分の時間差は、測定間隔が10分であることと、機材間の時計の誤差を考慮するとあまり有意な差とはいえない。電気伝導度に関しては、10月9日～10月10日、12月4日は、降雨量と電気伝導度の減少ピークは同時で、10月11日～10月12日、12月10日～12月11日は、降雨量と電気伝導度の減少ピークの時間差がわずかに10分であった。流量、電気伝導度ともに、多少の時間差はあるが、降雨に対して非常に速やか(ほぼ同

第1表 期間中の6回の降雨イベントにおける流出特性のまとめ

イベント期間	期間雨量 mm	最大降雨強度 mm/10min	ピーク回数	流出率 %	流出ピークのズレ	電導度ピークのズレ	溶存物質質量 ×10 <sup>3</sup> g
2005.10.9~10.10	38.0	11.0	1回	9.5	同時	同時	7.6
2005.10.11~10.12	24.8	6.8	1回	11.0	降雨より10分遅れ	降雨より10分遅れ	6.0
2005.11.29~11.30	10.0	2.4	2回	18.4	①:10分遅れ, ②:10分遅れ	①:30分遅れ, ②:20分遅れ	4.1
2005.12.2~12.3	14.6	4.2	2回	13.7	①:10分遅れ, ②:同時	①:20分遅れ, ②:10分遅れ	4.5
2005.12.4	19.4	10.0	1回	11.8	同時	同時	4.9
2005.12.10~12.11	14.8	5.2	1回	14.8	同時	降雨より10分遅れ	5.1

①は2回のピークの内の1回目, ②は2回目を指す。

沖縄島北部与那川の山地小流域における水と土砂の流出特性



第4図 降雨イベントにおけるハイドログラフと電気伝導度の変化

(a: ピークが1回の事例, b: ピークが2回の事例)

時)に応答している。

ピークが2回のイベントについてみると、11月29日～11月30日は、降雨量のピーク2回と流量のピーク2回の時間差は、それぞれ10分ずつであった。12月2日～12月3日は、1回目は降雨量と流量のピークの時間差が10分で、2回目は降雨量と流量のピークは同時であった(第1表、第4図b)。電気伝導度に関しては、11月29日～11月30日は、1回目は降雨量と電気伝導度の減少ピークの時間差は30分であり、2回目は20分であった。12月2日～12月3日は、1回目は降雨量と電気伝導度の減少のピークの時間差は20分で、2回目は10分であった(第1表、第4図b)。ピークが2回ある場合は、ピークが1回だけの時に比べて、時間差が若干大きい(特に電気伝導度)が、流量・電気伝導度の降雨に対する応答は速やかである。

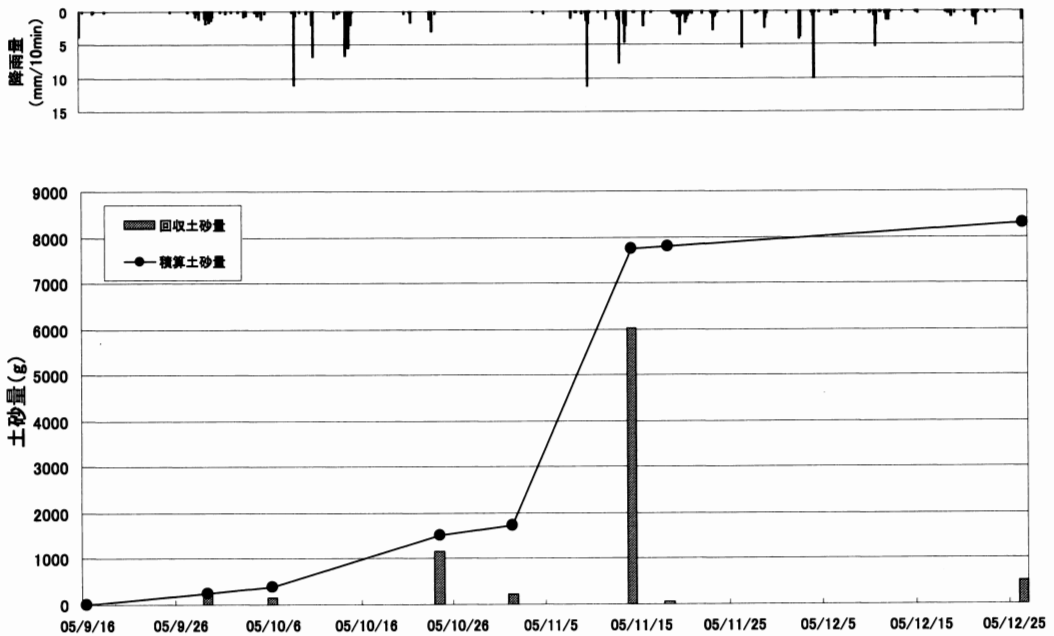
以上、本研究における観測結果では、流量と電気伝導度が共に、降雨に対して非常に速やかな反応を示した。すなわち、降雨のピークに対して、流量と電気伝導度ともにほぼ同時にピークが現われていた。また、降雨イベント時の流量と電気伝導度の関係を考察すると、ほとんどのイベントで電気伝導度の減少ピークと流量のピークが同時に現われた。これらの事は、降雨によってもたらされた水が、非常にすばやく流出していることを示唆している。しかしながら、イベント時の流出率は、最大でも18.4%と低い。斜面下方の谷近くの土層の透水係数が小さいことを考慮すると、降雨時に河道近傍に降った雨が、浸透せずに速やかに流出し、ハイドログラフの速やかな反応につながっていることが考えられる。期間全体の流出率が約49%であり、降雨イベント時の流出率が小さいことを考慮すると、基盤などのより深部への水の浸透と平常時にそれが流出していることが示唆される。廣瀬・林(2003)でも、降雨イベント時の流出率は低いという同様な結果が得られている。

## 2. 土砂の流出

掃流土砂については、2005年9月29日、10月6日、10月24日、11月1日、11月14日、11月18日、12月26日の合計7回にわたり、堰の堆砂量を計測した。各期間の土砂量と積算量を第5図に、土砂量とそれに関与すると思われる降雨や流量に関する種々の値を第2表に示す。掃流土砂が最も多かったのは、11月1日～11月14日の13日間で、総量が6015.9gであった。最大降雨強度は、今回の調査期間中で最大の11.2mm/10minであった。掃流土砂に関しては、最大降雨強度が10mm/10min以上の10月6日～10月24日、11月1日～11月14日、11月18日～12月26日の期間が比較的土砂の多い期間であった。

掃流土砂がどの要因に依存しているのかをより詳しく調べるために、廣瀬・林(2003)と同様に、最大日雨量、最大降雨強度、3mm/10min(侵食危険降雨)以上の降雨の回数、期間総流量、ピーク流量それぞれに対する相関(決定係数 $R^2$ )を求めた(第2表)。掃流土砂量は、期間の総重量を日数で割り、日平均堆積土砂量を用いた。その結果、掃流土砂量とピーク流量との関係に、 $R^2=0.8577$ と最も有意な相関が見られた。そのほかは、最大日雨量が $R^2=0.4934$ 、3mm/10min(侵食危険降雨)以上の降雨の回数が $R^2=0.3999$ 、最大降雨強度が $R^2=0.2986$ 、期間総流量が $R^2=0.0072$ と、最も大きい決定係数でも最大日雨量の $R^2=0.4934$ と、あまり有意な相関は得られなかった。これらのことから、掃流土砂量は期間中のピーク流量(つまり水流の力)に大きく依存していることが示唆される。廣瀬・林(2003)では、掃流土砂は3mm/10min以上の降雨強度の回数との相関が最も高く、本研究の結果とは整合していない。これは、本研究では流域全体に樹木が生育しており、降雨が直接地面にあたることによって地表を侵食するような効果は薄く、土砂の供給源が主として河

沖縄島北部与那川の山地小流域における水と土砂の流出特性



第5図 堰に堆積した土砂量の変化

第2表 堰の堆積土砂量と様々な降雨、流量パラメーターとその相関

計測期間 (計測日数)	土砂量	1日当たりの土砂量	期間降雨量	最大日雨量	最大降雨強度	3mm/10min以上の降雨回数	総流量	ピーク流量	
	g	g/day	mm	mm/day	mm/10min	回			
2005. 9. 16~9. 29 (13日間)	240.2	18.5	11.4	7.2	3.8	1	31.2	1023	
2005. 9. 29~10. 6 (7日間)	135.2	19.3	22.8	16.2	1.8	0	19.4	2142	
2005. 10. 6~10. 24 (18日間)	1146.9	63.7	136.4	46.8	11.0	16	45.1	3788	
2005. 10. 24~11. 1 (8日間)	209.8	26.2	0.0	0.0	0.0	0	24.6	2191	
2005. 11. 1~11. 14 (13日間)	6015.9	462.8	130.8	54.0	11.2	15	35.7	10771	
2005. 11. 14~11. 18 (4日間)	44.3	11.1	5.0	4.6	2.2	0	8.5	629	
2005. 11. 18~12. 26 (38日間)	500.0	13.2	174.0	30.0	10.0	8	67.3	4673	
決定係数 R <sup>2</sup>	-	-	-	0.4896	0.2974	0.3969	0.0071	0.8536	

床であるためと考えられる。

浮流土砂に関しては、平常時の6回の採水における浮流土砂濃度の値は、2.6~4.8 mg/l (平均約 3.6 mg/l) であった。また、観測期間中にオートサンプラーによって、2005年10月6日~10月7日、11月9日~11月10日、11月15日~11月16日、11月19日~11月20日、11月26日の計5回のイベントの採水が行われた。5回の内、10月6日~10月7日のイベントは、

調査地に設置した雨量計の観測雨量は 0mm であったが、流量は増加しており、サンプラーが作動して採水が行われた。与那フィールドの管理施設側に設置された雨量計(調査流域からは、約 1km 離れている)では、この期間に 2.4mm の降雨が観測されている。したがって、本研究で設置した雨量計の不具合によるもの(特に不具合の現象は認められなかった)、上流域で局部的に雨が降り流量が増加した、など、いくつ

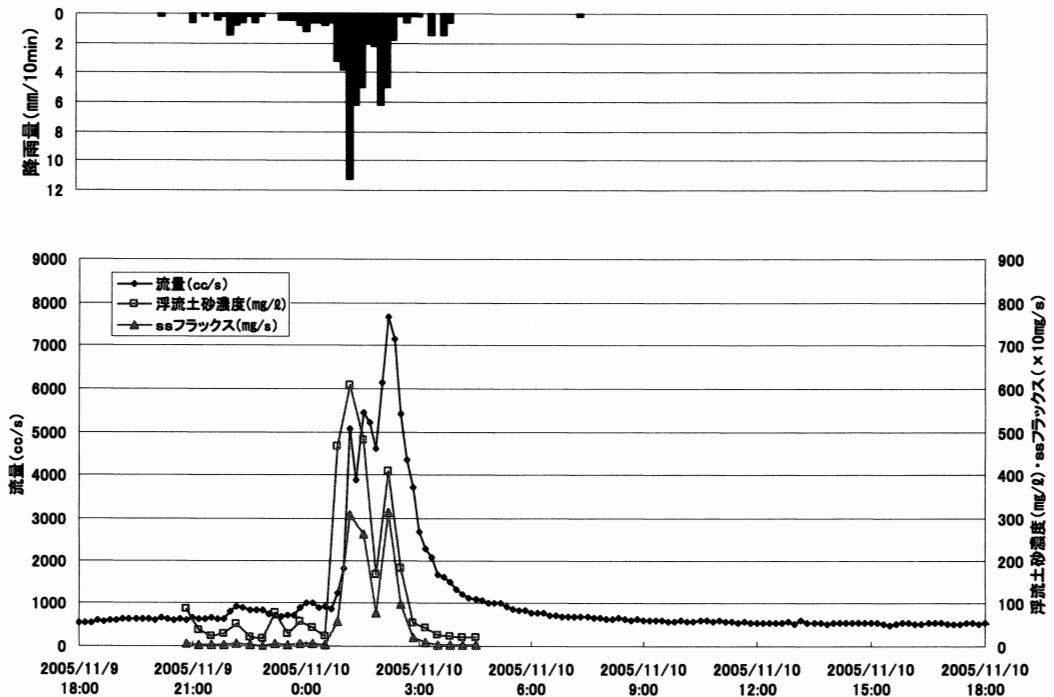


かの要因が考えられるが、今回の結果からは詳しく言及できないので、このイベントに関しては雨量に関するデータは考えないこととした。第6図に、11月9日～11月10日の降雨イベントにおけるハイドログラフと浮流土砂濃度 (mg/l) の変化、および土砂濃度に流量を乗じて求めた浮流土砂のフラックス (ss フラックス; mg/s) を示し、第3表に5回のイベントの結果をまとめた。

採水されたイベントにおける浮流土砂濃度のピークは、42.2～609.3mg/l となっており、平常の10倍～200倍になっている(第3表)。5回のデータでは、詳細な相関をとることはできないが、浮流土砂濃度ピークの大きさは、イベントの規模に依存していると思われる。また、流量ピークと浮流土砂濃度ピークの時間差(ズレ)をみると、流量ピークに対して浮流土砂濃

度のピークは先行するか同時に出現している。したがって、降雨イベントの初期段階において、細粒の流されやすいものが流出していることが示唆される。

第6図の11月9日～11月10日の降雨イベントは、期間総降雨量が62.4mm、最大降雨強度は11.2mm/10min、流出率は4.9%であった。これを見ると、比較的大きな降雨のピークが2回見られ、それに伴って、流量や浮流土砂濃度も2回のピークが見られる。流量ピークは、2回目の方が大きい(約7,700cc/s)のに対して、浮流土砂濃度ピークは、1回目の方が大きく(約600mg/l)、浮流土砂濃度ピークが流量ピークより先行している。しかし、ssフラックスで見ると、1日目も2回目のピークもほぼ同等であり、流されやすいものの量の制限(sediment availability)の存在が示唆される。



第6図 降雨イベントにおけるハイドログラフと浮流土砂濃度・ssフラックスの変化

第3表 浮流土砂に関するまとめ

イベント期間	期間雨量 mm	最大降雨強度 mm/10min	流出率 %	ピーク流量 cc/s	浮流土砂流出ピーク mg/l	流量ピークと浮流 土砂濃度ピークのズレ
2005.10.6~10.7	0?	—	—	1310	160.5	先行
2005.11.9~11.10	62.4	11.2	4.9	7680	609.3	先行
2005.11.15~11.16	4.4	2.2	24.6	640	42.2	先行
2005.11.19~11.20	17.4	3.4	6.6	1060	52.2	同時
2005.11.26	6.8	5.4	13.6	840	112.7	先行

溶存物質については、廣瀬・林(2003)が求めた電気伝導度(EC)と水1ℓ中の溶存物質質量(DI)との関係式( $DI=5.8357EC$ )を用い、これに流量を乗じることによって、降雨イベント時における溶存物質質量を求めた(値は第1表)。第1表の6回のイベントでは、1日の溶存物質流出量は、2005年10月9日~10月10日が約7600gと最大で、11月29日~11月30日が約4100gと最小であった。1日あたり約4100gというのは、降雨のない日の量と同等である。溶存物質は平常時でもある程度の量(換算濃度で約100mg/l)が流出しており、イベント時の量は流量の増加量と希釈効果の程度によって左右される。

### 3. 土砂流出のタイプとその割合

土砂流出の特性について考察するため、3つのタイプの土砂流出(掃流土砂・浮流土砂・溶存物質)に関して、どのような割合になっているのかを、降雨イベント時と期間全体の両方について求めた。まず、降雨イベント時に関しては、前述のサンプラーが作動して採水された5回のイベントについて求めた。ここまでは、降雨イベントを1日(24時間)で捉えてきたが、1回のイベントで採水されたサンプルは8時間分(20分間隔で24本)であることなどを考慮し、ここでは半日(12時間)で捉えるものとする。掃流土砂量は、イベント期間を含む計測期間における1日当たりの土砂量(第2表参照)

を2分の1した値とした。浮流土砂量は、浮流土砂濃度の観測できなかった期間(採水のない期間)については、平常時の浮流土砂濃度の値を用い、流量を乗じて求めた。溶存物質量は、前述の関係式と流量から求めた。その結果を示した第4表を見ると、掃流土砂の割合は最大でも1%程度と非常に割合が低い。また、11月9日~11月10日の期間では、浮流物質が70.5%ともっとも割合が高いが、それ以外では、溶存物質が90%以上と高い割合を示している。

次に、調査期間全体の土砂流出についてみていく。期間全体では、掃流土砂量は堰の堆砂量の合計、溶存物質量は電気伝導度と流量から求めることで、比較的精度の高い値が得られる。浮流土砂量に関しては、イベント時には通常の数100倍以上にもなるため、採水のないときの降雨イベント時を推定する必要がある。そのため、採水されたイベントに関して、流量と浮流土砂濃度の関係を求めた(第7図)。これを見ると、流量が増加すると浮流土砂濃度も高くなるという関係が見られるが、ばらつきが非常に大きく、決定係数も $R^2=0.5587$ と大きくはない。

第4表 採水を行ったイベントにおける半日あたりの流出土砂量

イベント期間	掃流土砂量 g (%)	浮流土砂量 g (%)	溶存物質量 g (%)	合計 g (%)
2005.10.6~10.7	32 (1.0)	329 (10.3)	2835 (88.7)	3196 (100.0)
2005.11.9~11.10	230 (1.1)	14440 (70.5)	5817 (28.4)	20487 (100.0)
2005.11.15~11.16	6 (0.2)	118 (4.7)	2380 (95.1)	2504 (100.0)
2005.11.19~11.20	7 (0.2)	192 (7.0)	2557 (92.8)	2756 (100.0)
2005.11.26	7 (0.3)	230 (9.9)	2078 (89.8)	2315 (100.0)

V おわりに

本研究において明らかになった事をまとめる  
と、以下ようになる。

1. 降雨イベント時に、流量と電気伝導度は降雨に対して速やかに応答している。しかし、降雨イベントにおける流出率は高くない。これらのことには、特に河道近傍の土層の透水性が関わっている可能性がある。

2. 調査期間全体の流出率は約 49%であった。降雨イベント時の流出率が小さいことを考慮すると、基盤などより深部へ浸透した水が平常時に流出していることが示唆される。

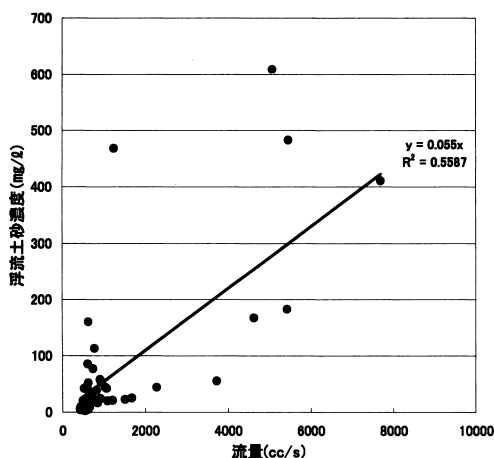
3. 掃流土砂の流出には、期間中のピーク流量が大きく関係している。このことから、土砂の主な供給源は、河道内であることが示唆される。流域全体が植生で覆われているため、降雨時に斜面土層表層から直接流出する土砂は少ないものと思われる。

4. 浮流土砂濃度の流出ピークは、流量のピークより先行もしくは同時に現われていた。このことは、降雨イベントの初期段階に、細粒の流されやすいものが流出していることを示唆している。

5. 比較的明瞭な 2 回の降雨・流量のピークが見られたイベントにおいて、浮流土砂濃度は 1 回目の流量の小さなピーク時が最も高くなり、2 回目の流量の最大ピーク時には、1 回目より濃度が低かった。この時の ss フラックスを見ると、1 日目も 2 回目のピークもほぼ同等であり、流されやすいものの量の制限 (sediment availability) の存在が示唆された。

6. 土砂は溶存物質や浮流物質として流出する割合が高い。

本研究では、土砂流出を 3 つのタイプに分け、降雨イベント時と比較的長期の両方で、それぞれの流出土砂量を推定し割合を求めた。しかし、降雨イベント時と比較的長期の両方の推定に間



第 7 図 流量と浮流土砂濃度の関係

第 5 表 調査期間全体の流出土砂量

	掃流土砂量	浮流土砂量	溶存物質量	合計
土砂流出量 (kg)	$8.3 \times 10^0$	$4.7 \times 10^2$	$5.3 \times 10^2$	$1.3 \times 10^3$
比率 (%)	0.8	46.6	52.6	100.0

ここでは、値を得ることを重視し、第 7 図の関係式を用いて、流量から浮流土砂濃度を求め、さらに流量を乗じることによって浮流土砂流出量を求めた。浮流土砂濃度と流量には、ピークの時間的ずれの問題があるため、流量のみから浮流土砂を推定することは、誤差が生じてくるが、そのことに関しては今後の課題としたい。以上のように求めた、期間全体の土砂流出量と流出タイプ別の割合は第 5 表のようになり、掃流土砂が 8.3kg (0.8%)、浮流土砂が 470kg (46.6%)、溶存物質が 530kg (52.6%) となり、溶存物質や浮流物質として流出する割合が高い。このことは、亜熱帯地域である沖縄における河川の土砂流出特性として、溶存物質や浮流物質による流出が主であるという、従来定性的に言われてきたこと (たとえば、目崎, 1986) を裏付ける結果となった。

題点が残されている。降雨イベント時の推定では、掃流土砂を降雨イベントごとに回収しておらず、また掃流土砂の測定間隔に大きなばらつきがあり、測定間隔が長い時には何回ものイベントを含んでしまっているという、特に掃流土砂の推定の問題が大きい。長期の推定ではピークの時間的ずれを認めているにもかかわらず、浮流物質の流出量の推定に流量と浮流物質濃度の関係を用いるなど、特に浮流土砂の推定の問題が大きい。採水できる降雨イベントには、限りがあるので、濁度計を用いた自動測定などの工夫が必要であろう。

本研究を進めるにあたり、琉球大学法文学部地理学教室の前門 晃教授には、非常に有意義な助言をいただき、また、現地にも足を運んでいただきました。琉球大学理工学研究科 COE 研究員(現：筑波大学陸域環境研究センター)の青木 久博士、琉球大学法文学部地理学教室の先生方にも貴重なアドバイスをいただきました。また、琉球大学亜熱帯フィールド科学教育研究センター与那フィールド(現：九州大学農学研究員)の榎木 勉博士には観測流域の設定に関することをはじめとして大変お世話になりました。地理学教室学部生の糸嶺三春さん、荒巻孝平さん、宮良ゆりかさん、銘苺 枝里奈さん、智原健太さんには現地調査に協力していただきました。以上の方々に心から感謝いたします。本研究は著者の一人の加来が行った卒業研究を骨子に加筆・修正したものである。なお、本研究の一部には平成 18 年度受託研究(沖縄

県)研究推進事業補助金再委託事業「山地小流域における水及び物質収支の解明」(研究代表者：廣瀬 孝)を使用した。

## 文 献

- 翁長謙良(1986)：沖縄北部地方における土壌侵食の実証的研究。琉球大学農学部学術報告, 33, 111-209.
- 金 勲・丸谷知己・宮崎敏孝(2003)：山地流域における浮遊砂と掃流砂の流出量変化。砂防学会誌, 55, 21-32.
- 倉茂好匡(1996)：浮流土砂の測定および解析方法。恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編『水文地形学 —— 山地の水循環と地形変化の相互作用 ——』古今書院, 132-142.
- 国土庁(1977)：『土地分類図——沖縄県——』国土庁土地局。
- 朴 鐘瑄(1991)：浮流砂濃度の変動パターンから見た山地河川における土砂流出特性。地形, 12, 51-67.
- 日原高志・鈴木啓助(1988)：丘陵地源流域における降雨による流量のふたつのピークについて。地理学評論, 61, 804-815.
- 廣瀬 孝・林 賢太郎(2003)：裸地を含む山地小流域における水および土砂の流出特性 —— 沖縄島北部大保大川一支流の源流域における水文調査 ——。沖縄地理, 6, 15-31.
- 藤枝基久・志水俊夫・金城 勝・寺園隆一(1995)：沖縄島の水源地帯における水文環境。日林誌, 77, 145-152.