琉球大学学術リポジトリ

[研究ノート] 沖縄島北部与那川における浮遊土砂と有機物の流出に関する研究

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): 浮遊土砂, 有機物, 森林流域, 沖縄島, 亜熱帯森林, suspended sediment
	キーワード (En): organic matter, forested catchment, Okinawa Island, subtropical forest
	作成者: 廣瀬, 孝, 古堅, 大喜
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017699

沖縄地理　第 10 号
29-34 頁　（2010）

Okinawa Journal of Geographical Studies
No.10, p.29-34　（2010）

沖縄島北部与那川における浮遊土砂と有機物の流出に関する研究

廣 瀬　孝[*]・古 堅 大 喜[**]
（[*] 琉球大学法文学部・[**] 琉球大学法文学部学生）

Study on Suspended Sediment and Organic Matter Discharge at Yona River, Northern Part of Okinawa Island.

Takashi HIROSE[*]　and　Daiki FURUGEN[**]
（[*]Faculty of Law and Letters, University of the Ryukyus,
[**]Under Graduate School, Faculty of Law and Letters, University of the Ryukyus）

摘　要

本研究では，沖縄島北部の亜熱帯森林流域における浮遊土砂（TSS）の流出と浮遊土砂中の有機物（OSS）の流出を定量的に把握するため，沖縄島北部与那川の本流および支流で調査を行った．その結果，本流における平水時の TSS 濃度は 0.7 mg/L ～ 1.0 mg/L, OSS 濃度は 0.1 mg/L ～ 0.6 mg/L, 浮遊土砂中に占める有機物の割合（OSS 比率）は 14.3% ～ 75.0% であった．支流における平水時の TSS 濃度は 2.0 mg/L ～ 3.6 mg/L，OSS 濃度は 0.9 mg/L~1.7 mg/L，OSS 比率は 45.0% ～ 52.0% であり，TSS 濃度および OSS 濃度ともに本流に比べて高かった．降雨イベント時の変化では，流量増加にほぼ対応して TSS 濃度や OSS 濃度の増加がみられ，また，流出されやすい細粒物質の消耗が示唆される浮遊土砂の流出特性がみられた．TSS 濃度がピークから減少するにしたがって OSS 比率が大きくなることが観察され，浮遊物質の中でも有機物の方が流出しやすいことが示唆された．

キーワード：浮遊土砂・有機物・森林流域・沖縄島・亜熱帯森林
Key words: suspended sediment, organic matter, forested catchment, Okinawa Island, subtropical forest

Ⅰ　はじめに

亜熱帯島嶼地域である沖縄島の河川は，日本本土に比べ河川長が短く，急勾配で流域面積が小さいといった特徴を持っている．沖縄島では，このような小規模河川の水が，非常に重要な水資源になっており，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．そのため，河川の水や土砂の流出特性を定量的に把握することは非常に重要である．こうした視点から，これまで筆者らは，亜熱帯島嶼沖縄の山地流域における水および土砂の流出特性を明らかにすることを最終目標として，いくつかの研究を行ってきた（廣瀬・林　2003，加來・廣瀬　2006）．廣瀬・林（2003）では，沖縄島北部の裸地を含む山地小流域を対象に，加來・廣瀬（2006）では森林流域を対象に，水や土砂の流出特性が調査された．その結果，沖縄における河川の土砂流出に関して溶存物質や浮遊物質による流出を，定量的データに示すなど，いくらかの知見が得られているが，流出土砂を無機物と有機物に区別しておらず，一緒に取り扱っている．そこで本研究では，流出土砂の中でも浮遊物質に占める有機物に着目し，沖縄島北部の亜熱帯森林流域において，浮遊土砂中の有機物の流出に関しての定量的把握を目的に観測・分析を行い，若干のデータが得られたので報告する．

森林流域からの浮遊土砂中の有機物の海域への流出は，自然界の物質循環において重要な役割を担っており，河川における有機物の流出特性を把握することは，森林から海域への炭素供給や物質循環を知る上で非常に重要である．また，浮遊土砂中の有機物は，海に住む生物の餌源としてプラスの作用があると考えられているため，水産業や林業の分野から強い関心を持たれている．そのため，浮遊土砂中の有機物流出量や流出特性についての研究は，水産資源の保全，森林管理や流域管理の方法を探ることを目的に，林業や水産業の盛んな北海道などの寒冷地域で行われた研究が多い．例えば，佐藤（2005）は，北海道において土地利用別に浮遊土砂と有機物の観測・測定を行い，土地利用による浮遊土砂および有機物の流出特性の差異を報告し

ている．また，柳井・寺沢（1995a）は森林が河川および海域に及ぼす影響を明らかにするために，北海道南部沿岸山地流域から津軽海峡に流出する浮遊土砂と有機物の測定・分析を行い，流出する浮遊土砂中の有機物量を定量的に明らかにしている．本研究では，この柳井・寺沢（1995a）で得られた値との比較も行った．

Ⅱ　研究対象地域と研究方法

1．研究対象地域と調査流域

研究対象地域は，亜熱帯島嶼特有の亜熱帯性森林が広がり，山地・河川の発達する沖縄島北部国頭村の与那川とした．本研究では，森林流域が生産する浮遊土砂中の有機物量とその流出特性を把握するために，降雨に対する流量・土砂の反応を詳細に考察するための小流域での観測と，海域への流出を考察するための本流河口付近での調査を行った．小流域の観測は，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センター与那フィールド内に設定された加來・廣瀬（2006）の観測流域と同じ小流域で行った（図1）．流域面積は2.22 ha，標高は70 mから195 mで，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る．本流での調査は，海水の侵入を考慮して，河口から約800 m上流で行った（図1）．本流の流域面積は約11 km^2である．

2．研究方法

小流域における水の流出を観測するため，流域出口に設置されたV-ノッチ堰で，水位測定用のデータロガー（ホボ・ウォーターレベルロガー）を用いて，水圧と水温の観測を行った．ロガーには5分間隔でデータを記録し，得られたデータは，堰の近くに別に設置した気圧用ロガーのデータを用いて大気圧補正を行い水位に換算した．水位データは，廣瀬・林（2003）のH-Qの関係式を用いて流量に換算した．また，堰から約50 m離れた比較的開けた林道脇で，転倒マス型雨量計（Davis社製）とデータロガー（ホボイベント）を用いて雨量の観測を行った．雨量データは10分ごとに積算し，10分間隔のデータとして求めた．

また，浮遊土砂およびその中の有機物を調べるための採水を行った．採水は，平水時には，本流と支流（小流域の観測流域を以下支流と呼ぶ）の両方で行った．平水時の採水は，2009年10月18日（支流のみ），10月30日，11月19日，12月19日の4回行い，手採水によって約3 L（1 Lのポリ瓶に3本）の水を採取した．

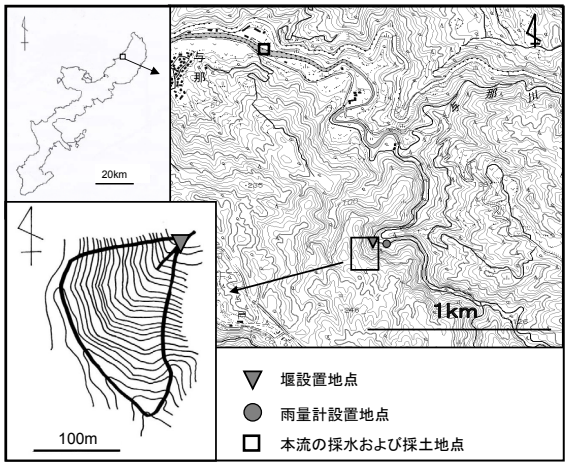

図1　研究対象地域

また，降雨に対する対応をみるため，支流においては出水時（降雨イベント時）の採水を行った．降雨イベント時における採水は堰に設置したオートサンプラー（ISCO3700）を用いて行った．オートサンプラーは，堰内に設置した水位センサーが降雨による水位の上昇を感知すると採水を開始するようにし，20分間隔で1 Lのボトル24本の採水（1つの降雨イベントで）を行った．本報告では，2009年10月16日から17日にかけてと11月10日の2回の降雨イベントにおける採水を対象とした．

採水された水は実験室に持ち帰り，倉茂（1996）の方法に従い吸引ろ過を行った．吸引ろ過には，0.45 μmのメンブランフィルターを用いた．ろ紙は，吸引前に乾燥器に入れ110 ℃で3時間乾燥させ，その後デシケーター内で1時間放熱した後，電子天秤で0.1 mg単位まで計量してあらかじめ重量を求めた．吸引ろ過後のろ紙も同様に，乾燥器で乾燥（110 ℃で3時間）した後，デシケーターで1時間放熱させた後に重量を計測した．吸引ろ過後の重量からろ過前のろ紙の重量を引き，また，ろ紙の重量変化を補正して，流出水中の浮遊土砂量を求めた．浮遊土砂量を吸引ろ過した水量で除して，浮遊土砂濃度（mg/L）を求めた．

浮遊土砂中の有機物量は，地盤工学会（1991）と柳井・寺沢（1995a）を参考に強熱減量によって次のように測定した．吸引ろ過後のろ紙をあらかじめ重量計測済みのるつぼに入れ，マッフル炉にいれ，800 ℃で40分焼却した．その後デシケーター内で放熱し，室温に戻したのち計量した．この焼却によって浮遊土砂中の有機成分は除去されるとみなされるので，焼却前と焼却後における浮遊土砂の重量差を有機物量とした．また，降雨イベント時のサンプルの分析は，浮遊土砂濃度のピークを中心として濃度の高いサンプルを優先的に行った．24本の採水の内，10月17日のイベントで

表 1　河床および河道近傍地表面における土壌中の有機物含有率（%）

採土場所	本流		支流	
	2mm以下	0.25mm以下	2mm以下	0.25mm以下
河床	0.9	0.1	1.5	1.3
河道近傍地表面	1.3	0.5	3.8	2.6

は 19 サンプル，11 月 10 日のイベントでは 17 サンプルの分析を行った. 本稿では, 浮遊土砂全体を TSS（total suspended sediment），有機物を OSS（organic suspended sediment）と呼び，それぞれ濃度（TSS 濃度，OSS 濃度）で表し，また，浮遊土砂全体に占める有機物の割合（OSS/TSS : OSS 比率と呼ぶ）も求めた.

河川水中に含まれる浮遊土砂や有機物の供給としては，河床に堆積した土砂が河川水によって運ばれる場合，水流によって川岸が削られて供給される場合，また，河道近傍で発生した地表流によって河道近傍の地表面から河道中に流入する場合などが考えられる．そこで，浮遊土砂および有機物の流出を考えるには供給源となりうる場所にある土砂の状態を把握する必要があると考え，本流と支流の採水地点近傍で土砂を採取し，土砂中に含まれる有機物の含有率を測定した．土砂試料の採取は，本流，支流それぞれで，河床の表面付近および河道近傍の地表面の 2 地点で行った．採取した土砂試料は，乾燥器に入れ，110 ℃で 24 時間乾燥させた後，2 mm のふるいでふるい分けを行い，さらに一部は 0.25 mm でふるい分けを行った．こうしてふるい分けられた土砂中の粒径 2 mm 以下の成分と，粒径 0.25 mm の成分について，強熱減量を行い，その減少率をそれぞれの有機物含有量とみなした.

Ⅲ　結果と考察

1．河床および河道近傍地表面の土砂中の有機物含有量

強熱減量によって求めた，土砂中の有機物含有率の計測結果を表 1 に示す．これによると，有機物含有率は数%以下で，いずれの場合も河床よりも河道近傍の地表面の方が率が高く，本流に比べて支流のほうが率が高くなっている．また，0.25mm 以下よりも 2mm 以下全体で測定した場合の方が有機物含有率は高い.

2．平水時の浮遊土砂と有機物濃度

平水時に採水した河川水中の TSS 濃度，OSS 濃度および OSS 比率の測定結果を表 2 に示す．本流における平水時の TSS 濃度は 0.7 mg/L ～ 1.0 mg/L であり，OSS 濃度は 0.1 mg/L ～ 0.6 mg/L で，浮遊土砂中に占める有機物の割合は 14.3% ～ 75.0% とばらつきが大きい．支流における平水時の TSS 濃度は 2.0mg/L ～ 3.6 mg/L で，OSS 濃度は 0.9 mg/L ～ 1.7 mg/L であり，有機物の割合は 45.0% ～ 52.0% と，4 回の採水とも約 50 %とばらつきが少ない.

いずれの採水日においても，平水時の TSS 濃度および OSS 濃度は，本流よりも支流の方が高い．このことは支流から本流への土砂流出過程において，流出水中の土砂濃度が減少していること（無機物および有機物とも）を意味し，本流の採水地点までの間で細粒物質がどこかでトラップされている可能性が示唆される．しかし，本流には，調査支流以外にも様々な支流が流れ込んでおり，それらの影響も考えられるため，より多くの支流でのデータを得る必要がある.

本流と支流の両方とも，河川水の OSS 比率は，河床や河道近傍の土砂の有機物含有率（表 1）に比べて，非常に大きな値である．このことは，供給源から浮遊物質として流出する際に，無機物よりも有機物が相対的に多く流出している（つまり，有機物が無機物に比べて流出しやすい）ことを示唆している .

つづいて，本研究で得られた平水時の TSS 濃度，OSS 濃度および OSS 比率を北海道南部渡島半島の原木川（流域面積 13 km^2）で調査された，柳井・寺沢（1995a）の値と比較してみる．柳井・寺沢（1995a）で得られた 4 月～ 11 月までの平水時の TSS 濃度は，月ごとの平均でみると 1.5 mg/L ～ 5.6 mg/L，OSS 濃度は，0.9 mg/L から 1.9 mg/L で，OSS 比率は 34.3 %～ 58.5 %である．これと本研究で得られた値（表 2）を比較すると，本流の値は TSS 濃度，OSS 濃度ともに低く，支流の値は両濃度および OSS 比率ともに同程度とみることが出来る．同規模の流域面積である与那川本流との比較でみると，浮遊土砂中の有機物濃度は北海道の原木川より沖縄の与那川の方が低いという結果になった.

一流域ずつの比較から，単純に北海道と沖縄というように一般化することは出来ないが，両地域の有機物の生産環境について若干考察する．流水中に含まれる有機物の細片は地上の樹木による落葉を起源としており，河川に堆積した葉が昆虫や微生物の摂食をうけることで分解・生成されること，また，昆虫や微生物の活動は低温になると不活発になること，季節による落葉の有無が河川中の有機物量に影響を与えることが示

表 2　平水時における TSS 濃度，OSS 濃度と OSS 比率

採水日	本流			支流		
	TSS濃度 mg/L	OSS濃度 mg/L	OSS比率 %	TSS濃度 mg/L	OSS濃度 mg/L	OSS比率 %
2009年10月18日				2.0	0.9	45.0
2009年10月30日	1.0	0.2	20.0	3.6	1.7	47.2
2009年11月19日	0.8	0.6	75.0	3.2	1.6	50.0
2009年12月19日	0.7	0.1	14.3	2.5	1.3	52.0

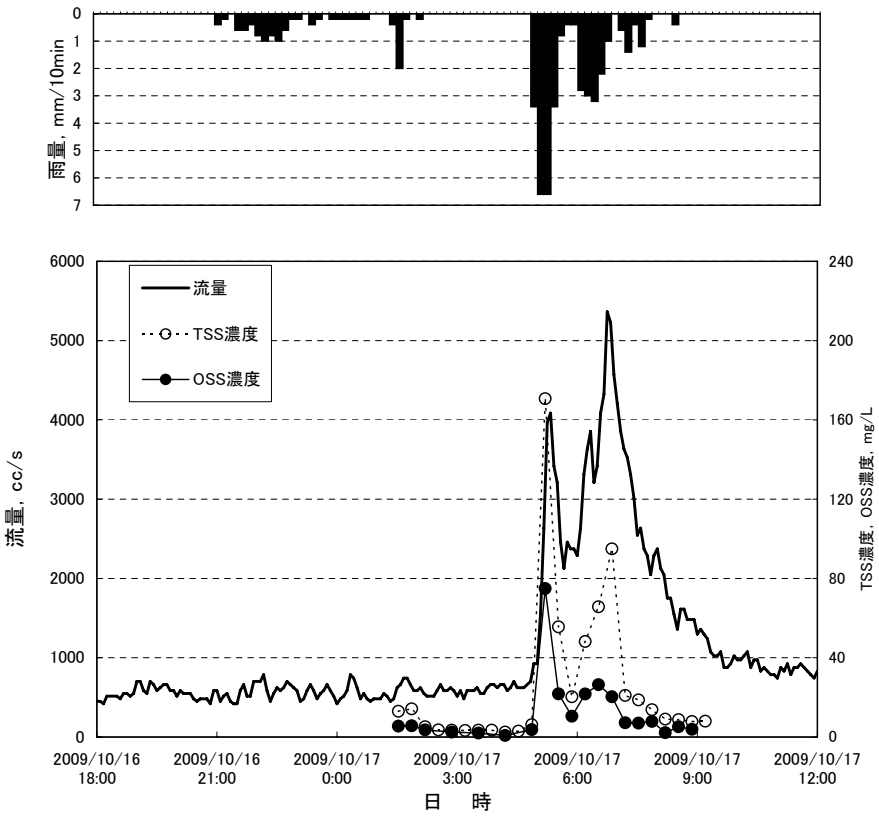

図 2　降雨イベント時における流量，TSS 濃度および OSS 濃度の変化（2009 年 10 月 17 日）

唆されている（柳井・寺沢　1995a，1995b）．したがって，気温が河川中の有機物量に与える影響は大きいと考えられる．原木川流域は, 12 月～ 3 月は雪に覆われ, 平均気温も非常に低い（12 月～ 2 月は平年値で氷点下）．それに対して，沖縄では冬でも平均気温 15 ℃程度であり, ある程度活発な微生物の活動が考えられる．また，年降水量も原木川流域では 1500 mm と沖縄の 2000 mm と比較して少なく，そのため，河川の流量やその年間の変動も異なると考えられる．したがって，今回の調査結果で与那川の OSS 濃度が低いからといって，森林からの有機物生産量が北海道の原木川より小さいということにはならず，より詳細な長期的な調査を行ったうえで再検討する必要がある．

3．降雨イベント時の浮遊土砂と有機物濃度

1）2009 年 10 月 17 日の降雨イベント

2009 年 10 月 17 日の降雨イベント時におけるハイドログラフと，流量変化に伴う TSS 濃度および OSS 濃度の変化を図 2 に示す．10 月 16 日の 21:00 頃から降雨があり，10 月 17 日 1:30 に水位センサーが降雨による堰内の水位上昇を感知してオートサンプラーが作動して 20 分間隔での採水が開始された．イベント期間中の総降雨量は 49.4 mm，最大降雨強度は 17 日 5:00 から 5:20 までの 6.6 mm/10 min であった．

このイベントでは，比較的大きな降雨ピークが 2 回みられる．1 回目は，17 日 5:00 ～ 5:20 で，このイベントでの最大値 6.6mm/10min を記録し，2 回目は 6：20～6:30 の 3.2 mm/10 min である. この, 2 回の降雨ピークに対応して, 流量, TSS 濃度, OSS 濃度も 2 回のピークがみられている．まず, 流量では, 1 回目の降雨ピークとほぼ同時に約 4000 cc/s のピークがあり, 2 回目も, ほぼ同時に約 5400 cc/s のピークを記録している．2 回目の方が降雨強度が小さいにもかかわらず，流量ピークは大きくなっている．

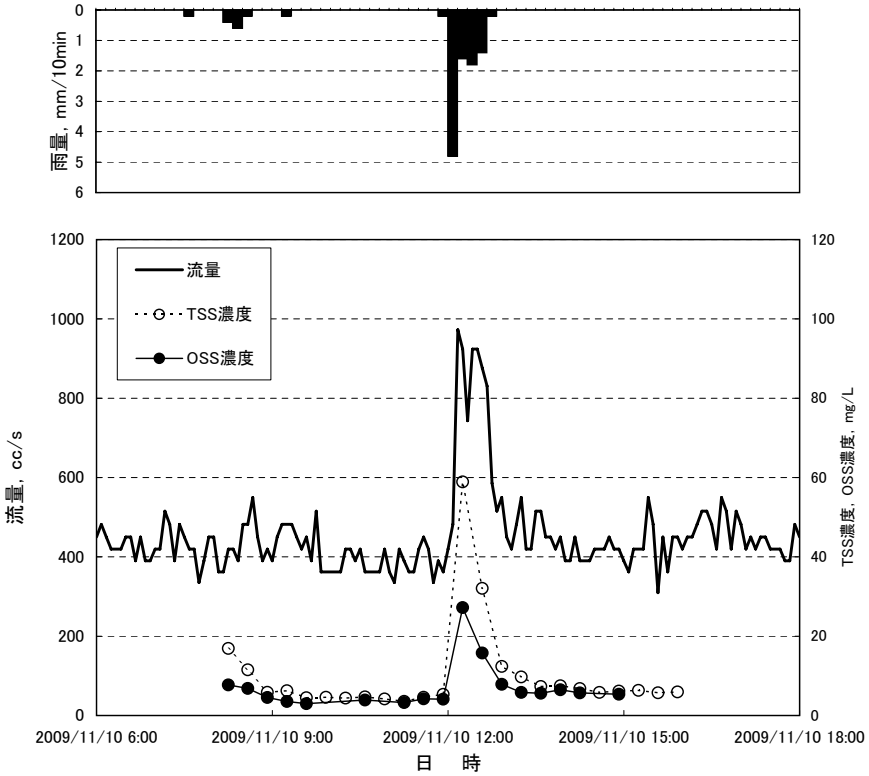

図 3　降雨イベント時における流量，TSS 濃度および OSS 濃度の変化（2009 年 11 月 10 日）

また，TSS 濃度の 2 回のピークは流量ピークにほぼ対応している（流量の計測間隔と採水間隔が異なるため時間のズレに関しての細かい議論はしない）．TSS 濃度の 1 回目のピークは約 170mg/L で，2 回目は約 95 mg/L であり，流量ピークの小さい 1 回目の方が値が大きい．同様な現象は，廣瀬・林（2003）や加來・廣瀬（2006）でも報告されており，1 回目の流量ピーク時に，浮流土砂として流出しやすい土砂が流出し，2 回目には減少してしまっている細粒物質の消耗が関係していると思われる．

OSS 濃度のピークは，1 回目は TSS 濃度のピークと同時に起こっている（約 75 mg/L）が，2 回目は TSS 濃度のピークに先行して起こっている（約 26 mg/L）．TSS 濃度の変化と同様に 2 回目の方が値が小さい．OSS 比率の変化をみると，1 回目の OSS 濃度ピーク時には 43.9％で，2 回目は 40.2％であり，その 20 分後の TSS 濃度のピーク時には 21.4％と割合が低くなり，その後 TSS 濃度が下がるにつれて割合は高くなっている．つまり，TSS 濃度が速やかに減少するのに対して，OSS 濃度の減少は遅く平常時の濃度に戻るまでの時間が長い．このことや 2 回目の OSS 濃度ピークが TSS 濃度ピークに先行していることから，浮遊物質の中でも有機物の方が無機物に比べて相対的に流出しやすいことが示唆される．

2）2009 年 11 月 10 日の降雨イベント

2009 年 11 月 10 日の降雨イベント時におけるハイドログラフと，流量変化に伴う TSS 濃度および OSS 濃度の変化を図 3 に示す．11 月 11 日の 7:30 頃から降雨があり，8:15 にオートサンプラーが作動して採水が開始された．イベント期間中の総降雨量は 11.6mm，最大降雨強度は 11 日 12:00 から 12:10 までの 4.8mm/10min であった．このイベントの降雨ピークは最大降雨強度時の 1 回である．

流量については，降雨ピークとほぼ同時に，約 970 cc/s のピークがあり，その後 20 分後に約 920 cc/s の 2 回目のピークがある．降雨ピークの値は 4.8 mm/10 min と 10 月 17 日のイベントと比較しそれほど小さくないが，流量ピークは 1000 cc/s 以下と 10 月 17 日のイベントに比べると小さく，イベントの総降雨量などが関係していると思われる．

また，TSS 濃度に関してみると採水開始時（サンプラーの水位センサーが水位上昇を感知した時）に，約 17 mg/L と高い値をとり，その後値は減少している．その後に大きなピークが，降雨ピーク時（流量も最大）に見られている．ピーク時の TSS 濃度は，約 32 mg/L と平水時の 10 倍程度にしかなっておらず，流量の増加が小さいことに対応している．OSS 濃度の変化は TSS 濃度の変化と対応しており，採水開始時に若干高く，TSS 濃度のピーク時に約 16 mg/L となっている．

OSS 比率についてみると，採水開始時は 45.6%であり，その後 TSS 濃度の減少に伴って高くなり，11:00 頃は 90%以上と非常に高い割合になっている．TSS 濃度と OSS 濃度のピーク時には 46.2%で，その後 TSS 濃度の減少に伴って割合が高くなり 87%にまでなっている．より小規模な（流量増加が小さい）今回のイベントで，ピーク後に OSS 比率が非常に高くなることからも，有機物の流出のしやすさが伺える．これは，岩石・鉱物が主たる起源である無機物に比べて，枝葉などの生物が主たる起源である有機物の方が密度が小さいと考えられ，それが流出のしやすさに関係していると示唆される．

V　おわりに

沖縄島北部亜熱帯森林流域からの浮遊土砂中の有機物に着目して，国頭村与那川において行った本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる．

1．河床および河道近傍地表面の土砂を採取して有機物含有率を測定した結果，本流よりも支流のほうが有機物含有率が高かった．

2．与那川本流における平水時の TSS 濃度は 0.7 mg/L ～ 1.0 mg/L，OSS 濃度は 0.1 mg/L ～ 0.6 mg/L，OSS 比率は 14.3% ～ 75.0% であった．また，支流における平水時の TSS 濃度は 2.0mg/L ～ 3.6mg/L，OSS 濃度は 0.9 mg/L~1.7 mg/L, OSS 比率は 45.0% ～ 52.0% であり，TSS 濃度および OSS 濃度ともに本流に比べて高かった．また，TSS 濃度・OSS 濃度の値を北海道南部の原木川で行われた先行研究と比較すると，同程度の流域規模である本流の値は小さく，流域規模の小さい支流での値が同程度であった．

3．降雨イベント時の変化では，流量増加にほぼ対応して TSS 濃度や OSS 濃度の増加がみられた．また，2 回のピークが観察されたイベントでは，流量ピークの小さな 1 回目の TSS 濃度や OSS 濃度のピークの方が，流量ピークの大きな 2 回目のピークよりも大きいという，流出されやすい細粒物質の消耗が示唆される浮遊土砂の流出特性がみられた．

4．降雨イベント時における OSS 比率の変動をみると，TSS 濃度がピークから減少するにしたがって OSS 比率が大きくなることが観察された．この現象は流量増加の小さい小規模なイベントの時により明瞭に観察され，その時の OSS 比率は平水時に比べてはるかに大きな値であった．このことから，浮遊物質の中でも有機物の方が流出しやすいことが示唆された．

本研究では，与那川という 1 河川での平水時の 4 回の採水と 2 回の降雨イベント時の採水から浮遊土砂とその中の有機物量についての考察を行っている．したがって，現象の一般化には，同一河川でのデータを増やすほか，他の河川での調査を行うなどより多くの調査が必要である．また，季節的変動なども考えられるため，長期的観測が必要となってくる．さらに，海域への影響を考えるためには，森林流域から海域への浮遊物質および有機物の流出量の推定が必要で，そのためには観測による実態把握とともに，データの信頼性の向上など残された課題も多い．

本研究を進めるにあたり，琉球大学亜熱帯フィールド科学教育センター与那フィールドの方々には，観測流域の利用を初めとして調査に関して多くの便宜をはかっていただきました．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した．また，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．地理学教室の 3 年次，4 年次の学生の皆様には現地調査に協力して頂きました．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古堅が行った卒業論文を骨子に加筆・修正したものである．

（受付　2010 年 5 月 12 日）
（受理　2010 年 6 月 24 日）

文　献

加來友花・廣瀬　孝（2006）：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．沖縄地理，7, 135-145.

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.

地盤工学会（1991）：『土の試験実習書　第二回改訂版』地盤工学会.

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.

佐藤弘和（2005）：浮遊土砂の流出機構と微細土成分比率の解析に基づく流域評価方法の構築．北海道林業試験場研究報告，42，1-50.

柳井清治・寺沢和彦（1995a）：北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響（Ⅰ）— 山地流域から津軽海峡に流出する浮遊土砂と有機物 —．日林誌，77，408-415.

柳井清治・寺沢和彦（1995b）：北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響（Ⅱ）— 山地渓流における広葉樹 9 種落葉の分解過程 —．日林誌，77，563-572.