

細粒土砂動態観測により明らかになった涸沼川流域の 細粒土砂供給特性

THE CHARACTERISTICS OF SUPPLIED MICRO-FINE SAND IN THE HINUMA RIVER
BASIN THROUGH THE OBSERVATION OF SEDIMENT DISCHARGE

二村貴幸¹・諏訪義雄²・谷口丞³・末次忠司⁴・平舘治⁵

Takayuki FUTAMURA, Yoshio SUWA, Susumu TANIGUCHI, Tadashi SUETSUGI and Osamu HIRATATE

¹正会員 国土技術政策総合研究所 河川研究室 研究官 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

²正会員 国土技術政策総合研究所 河川研究室 主任研究官 (同上)

³正会員 工修 国土技術政策総合研究所 河川研究室 交流研究員 (同上) (日本建設コンサルタント株式会社)

⁴正会員 工博 国土技術政策総合研究所 河川研究室 室長 (同上)

⁵正会員 独立行政法人 土木研究所 研究企画課 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

In this study, we measured the amount of micro-fine sand at many gauging stations in the Hinuma River Basin. As the result, we found that 1) we grasped the amount of micro-fine sand in river basin through simultaneous measurement at many gauging stations that located corresponding to the sub-river basin appropriate for sand supply, 2) the amount of micro-fine sand supplied from sub-river basin that has barren lands is too much since it differs among sub-river basins in the Hinuma River Basin, 3) the amount of sand supplied depends on flood characteristics in sub-river basins that supply much sand, 4) micro-fine sand are supplied from barren lands. Moreover, we will estimate the sediment discharge / catchment area / yearly sediment yield corresponding to land use / that is available for the prediction of the sediment yield by making the data base of flood flow and relation of Q-Q_s clear using many observed data in near future.

Key Words: characteristics of supplied micro-fine sand, observation of sediment discharge
of micro-fine sand, sub-river basin, the Hinuma River

1. はじめに

近年、流域土砂管理に対する期待が高まっており、流域の土地利用の誘導を含む流域土砂管理を検討する場合、流域内での土砂供給および移動を定量的に知る必要性が強くなっている。土砂の発生源として、芦田ら¹⁾は裸地斜面のガリ侵食が支配的と考え、裸地の分布、形状、大きさ、代表的裸地におけるガリの数や長さ等からモデル化を行うことにより土砂流出量を求める方法を提案している。また、河川の上流域では流入河川とダムの貯水池で流砂観測を行うことにより、ダムでの土砂収支を推定している²⁾。さらに河口付近では、清水ら³⁾が過去20年間の濁度データと流量観測データから石狩川の年間総土砂輸送量を算出している。一方、河川上流域から河口付近までの土砂輸送量を研究した洪水時の流砂観測も行われているが⁴⁾、裸地斜面・ダム・河口等の特定の地域内の土砂動態を対象としていたり、支川の土砂発生源や

支川からの流入土砂量についての検討が不十分である。流域の土砂管理をより精度よく検討するためには、本川だけでなく支川の土砂発生源まで明らかにし、そこから本川下流部までの土砂の動態を把握する必要がある。

以上の考えの下に、本研究では支川における細粒土砂の発生源を明らかにし、本川下流までの土砂動態を把握した。対象とした細粒土砂の粒径は約0.1mm以下である。研究方法は、従来の観測地点(支川合流点と涸沼川洪水観測施設)に加えて、土砂の発生源と考えられるほぼ単一の土地利用流域を対象とし、出水の開始時期から終了までの間に流量と細粒土砂量を連続的に観測した。

2. 涸沼川の概要とサブ流域の分割

国土技術政策総合研究所河川研究室では、涸沼川28.1kmにある洪水観測施設を中心に様々な流砂観測を実施している⁵⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。涸沼川は、茨城県中央部を流下する那

珂川の右支川で、流域面積459km²、流路延長約60kmの中規模河川であり、下流部に涸沼を介して那珂川に合流している。涸沼川は、図-1に示す支川ブロックに分割でき、流域面積を大きい順に整理すると涸沼前川が80km²と最も大きく、ついで本川上流部48.6km²、稲田川39.4km²、桜川27.6km²、寛政川20.5km²、片庭川8.2km²の順になっている。各支川ブロックの土地利用状況は図-2のとおりで、山間部に囲まれている本川上流部・片庭川・稲田川・桜川は森林が約60%を占め、台地で構成される涸沼前川・寛政川は農地が約50%を占めている。また、涸沼前川・枝折川は友部町市街地、桜川は岩間町市街地を流下し、片庭川・稲田川は笠間市街地でそれぞれ涸沼川と合流する。このほか土砂供給に影響すると考えられる特徴として、稲田川・片庭川・桜川には山間部に大規模な裸地の荒地が存在している。以下では、土砂動態を把握するための支川をサブ流域と名付け、この単位で土砂観測を行った。涸沼川では、本川上流部、片庭川、稲田川、桜川、涸沼前川、寛政川の6つのサブ流域に分けている。

3. 流域スケールの細粒土砂動態観測

(1) 概要および観測方法

上記で分割したサブ流域出口で、洪水時の細粒土砂の流砂量および栄養塩移動量の観測を行った。観測は、洪水時に採水と流量観測を行い、採水した水について後日、SS濃度（土砂濃度）、粒度分析、栄養塩（N、P）濃度の分析を行う。採水試料の分析から得られた土砂濃度および栄養塩濃度に流量をかけて流砂量（実質体積表示）および栄養塩移動量を算出する。

表-1に1997年からの実施状況を示しており、1997/6/20洪水では本川上流部・片庭川・稲田川の3つのサブ流

域で、1998/9/16洪水ではこれに桜川・涸沼前川・寛政川を加えて6つのサブ流域で、1999/10/27洪水以降は寛政川を外して5つのサブ流域で観測した。また、いずれの観測でもサブ流域からの流出後の動態把握のため、また観測データの妥当性をチェックする意味も兼ねて洪水観測施設で細粒土砂流砂量観測を行っている。

採水方法は、1999/10/27洪水までは人力によるバケツあるいは柄杓を用いた採水を実施していたが、2000年以

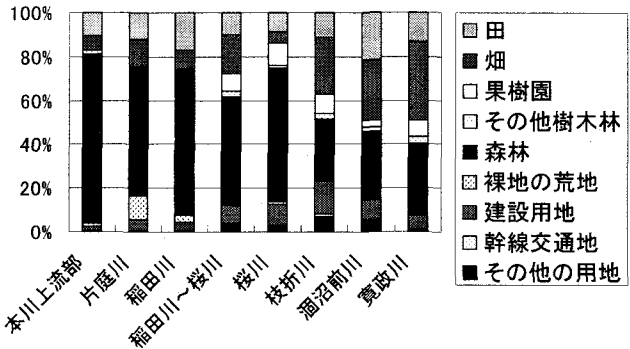


図-2 サブ流域における土地利用状況

表-1 過去の洪水観測一覧表

	1997.6.20 洪水	1998.9.16 洪水	1999.10.27 洪水	2000.7.25 洪水	2000.9.5 洪水	2001.6.14 洪水	2001.8.22 洪水
本川上流部	○	○	◎	◎	—	△	◎
片庭川	○	○	◎	×	—	△	◎
稲田川	○	○	◎	◎	—	△	◎
桜川	—	○	◎	×	◎	△	◎
涸沼前川	—	○	◎	◎	—	×	◎
寛政川	—	○	—	—	—	—	—
観測施設	—	○	◎	◎	—	△	◎
備考	バケツ・柄杓 採水	同左 本川下流も 実施	同左 片庭川・稲 田川のみ自 動採水器	自動採水器	同左	同左	同左

×:失敗
△:不完全な観測（ヘイドロが取れていない）
○:細粒土砂流砂観測
◎:細粒土砂流砂観測+栄養塩観測

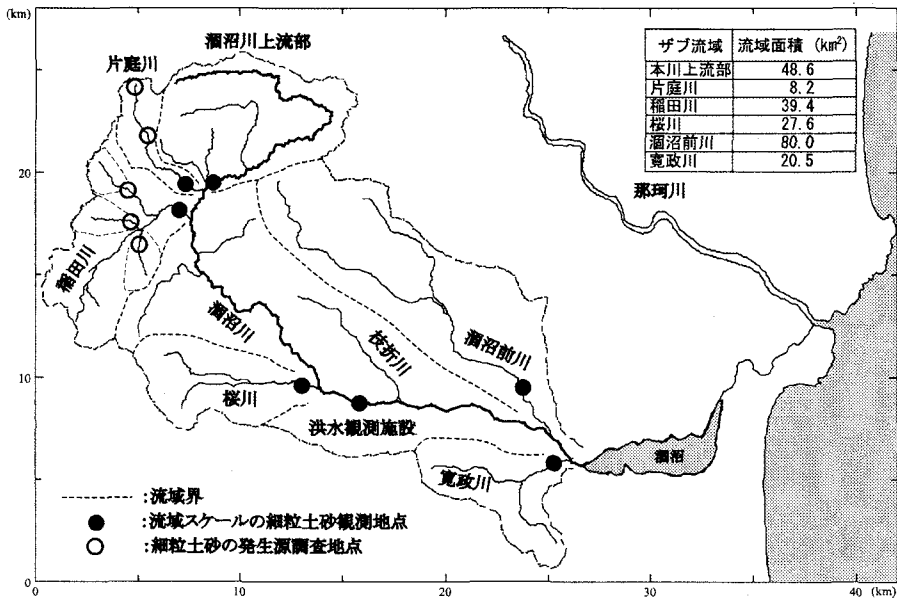


図-1 涸沼川の流域図

降は、自動採水機と水位計を用いた無人観測に切り換えている。自動採水機を用いた無人観測では流量観測ができないことから、それまでの観測で整備したH-Q式から流量を算出している。

観測内容については、1998年までは細粒土砂の流砂観測のみであったが、1999年以降は栄養塩移動量の観測も合わせて行っている（1999/10/27洪水はPのみ）。なお、2000/7/25、2000/9/5、2001/6/14の各洪水時には一部サブ流域が抜けている、ハイドログラフ（以下ハイドロと略す）の一部しか捉えられていないなど不完全な部分はあるが観測データは得られている。

(2) 観測結果および考察

a) 観測手法の妥当性

本論では、細粒土砂の流砂観測結果についてのみ記述する。図-3は、2001/8/22洪水時の洪水観測施設地点における流量及びSSフラックスの時間変化を示したものである。その結果と比較するため、洪水観測施設上流の各サブ流域における流量およびSSフラックスの時間変化を洪水観測施設までの流下時間分（本川上流部・稲田川・片庭川：16.4km／1.5m/s＝約3時間、桜川：3km／1.5m/s＝約30分）スライドさせて足し合わせた結果も表記している。なお、この比較では流下における拡散や不定流効果によるハイドロの減衰は考慮していない。

図-3より、サブ流域を足し合わせたものと洪水観測施設における観測結果は、流量・SSフラックスともに概ね一致している。また、表-2に示すとおり、洪水流出量、SS流出量も概ね一致している。なお、1998/9/16洪水、1999/10/27洪水についても同じような結果が得られている。以上より、サブ流域における細粒土砂観測による土砂動態の把握は妥当なものと判断できる。

b) サブ流域からの流出特性

表-2および図-4は、これまでに各サブ流域で細粒土砂観測を行った洪水について、各サブ流域からの流出土砂量が総流出土砂量（観測施設、涸沼前川、寛政川にお

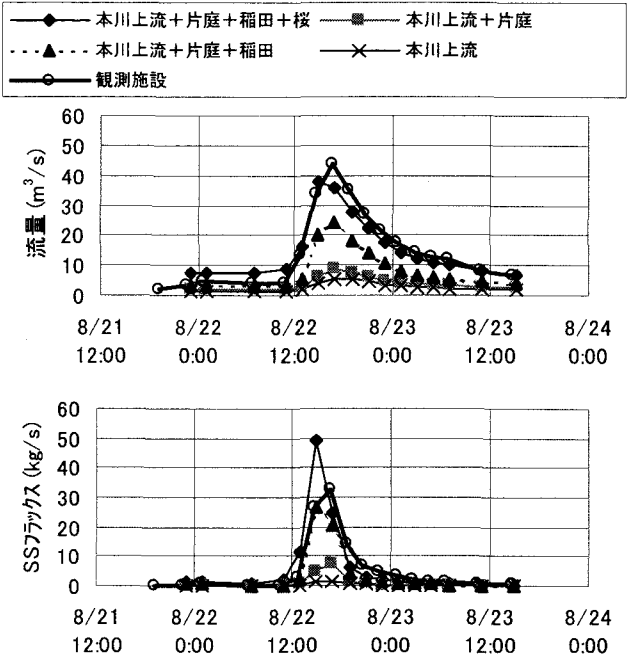


図-3 2001.8.22洪水の流量とSSフラックスの時間変化

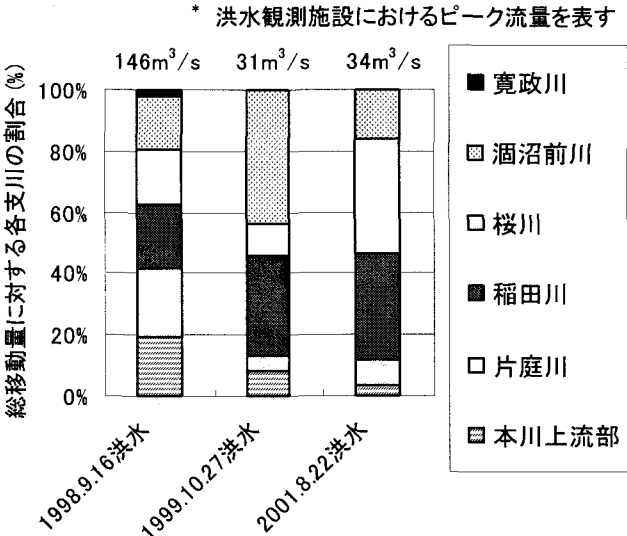


図-4 総流出土砂量に対する各支川の割合

表-2 過去の洪水観測結果

サブ流域	流域面積 (km ²)	1洪水当たりの土砂移動量 (m ³)															
		1997.6.20洪水 (ピーク流量144m ³ /s)*				1998.9.16洪水 (ピーク流量146m ³ /s)*				1999.10.27洪水 (ピーク流量31m ³ /s)*				2001.8.22洪水 (ピーク流量34m ³ /s)*			
		洪水流出量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	比流出土砂量 (m ³ /km ²)	総流出土砂量に占める割合 (%)	洪水流出量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	比流出土砂量 (m ³ /km ²)	総流出土砂量に占める割合 (%)	洪水流出量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	比流出土砂量 (m ³ /km ²)	総流出土砂量に占める割合 (%)	洪水流出量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	比流出土砂量 (m ³ /km ²)	総流出土砂量に占める割合 (%)
本川上流部	49	4,196,826	297	6.1	27	2,677,099	326	6.7	22	383,592	16	0.3	8	383,940	11	0.2	4
片庭川	8	592,546	493	60.1	45	615,353	369	45.0	25	44,886	9	1.1	5	194,181	25	3.1	9
稲田川	39	1,550,383	359	9.1	33	2,216,322	343	8.7	23	393,190	62	1.6	31	613,214	107	2.7	38
桜川	28	—	—	—	—	1,225,744	301	10.9	20	216,267	19	0.7	10	945,167	117	4.2	42
上記支川の合計		6,339,755	1,149		106	6,734,519	1,340		89	1,037,935	106		53	2,136,502	260		93
観測施設	124	7,065,638	1,084	8.8	100	6,915,953	1,175	9.5	78	985,359	117	0.9	58	1,988,506	232	1.9	83
涸沼前川	80	—	—	—	—	5,840,198	292	3.7	20	878,998	83	1.0	42	1,118,541	49	0.6	17
寛政川	21	—	—	—	—	1,157,111	32	1.6	2	—	—	—	—	—	—	—	—
総流出土砂量 (m ³)	224	7,065,638	1,084			13,913,262	1,500			985,359	200			3,107,047	281		

* 括弧内は、洪水観測施設におけるピーク流量を表す

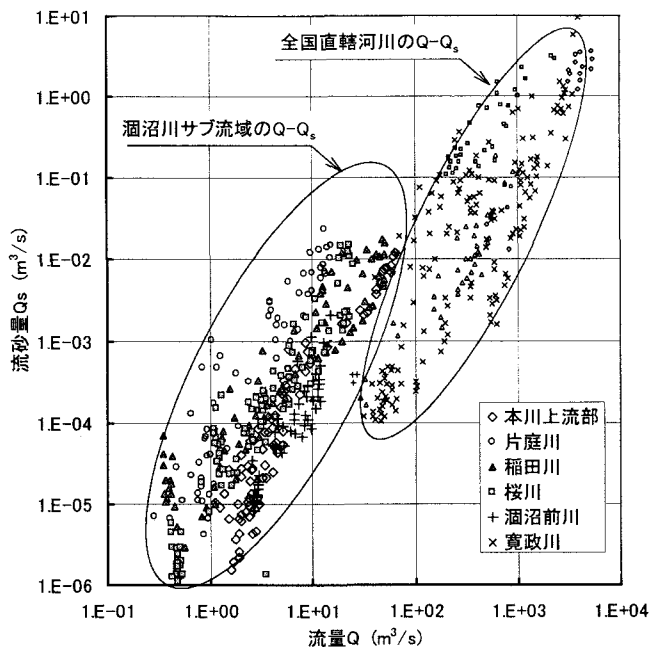


図-5 全国河川とサブ流域のQ-Qs関係

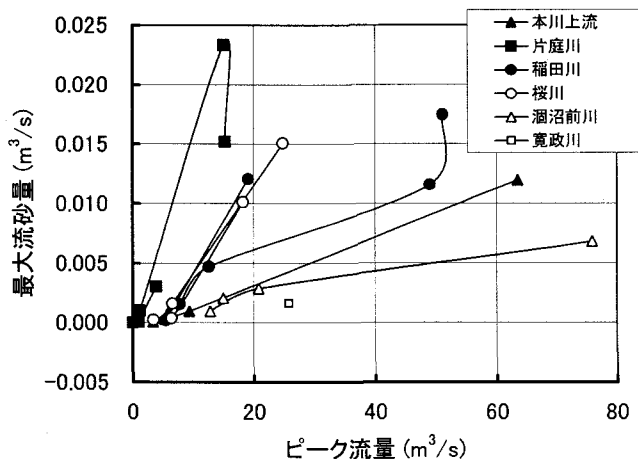


図-6 サブ流域ごとのピーク流量と最大流砂量の関係

ける流出土砂量の和)に占める割合を示したものである。表および図から、洪水によって流出土砂量のサブ流域別の割合が異なることがわかる。特に片庭川、桜川、瀬沼前川は洪水によって流出土砂量が極端に異なる。これらのことから、瀬沼川の土砂流出におけるサブ流域の特性を1回の観測のみで判断するのは危険であり、その把握のためには洪水データの蓄積が必要であることがわかる。

次に、これまで得られた観測結果をすべて用いて、各サブ流域のQ-Q_s関係を整理した結果を図-5に示す。同図には、過去に得られている全国直轄河川のQ-Q_s関係¹⁰⁾もプロットし、その両者を比較をすると、瀬沼川サブ流域のQ-Q_sは全般的に濃度が高めであること、特に片庭川・稲田川・桜川の3つのサブ流域の土砂濃度が高いことがわかる。

さらに、サブ流域毎の土砂供給特性を調べるため、洪水別のピーク流量と最大流砂量を整理したものが図-6である。この図から、サブ流域毎に傾きが異なること、片庭川・桜川・稲田川の傾きが大きく本川上流部・瀬沼前

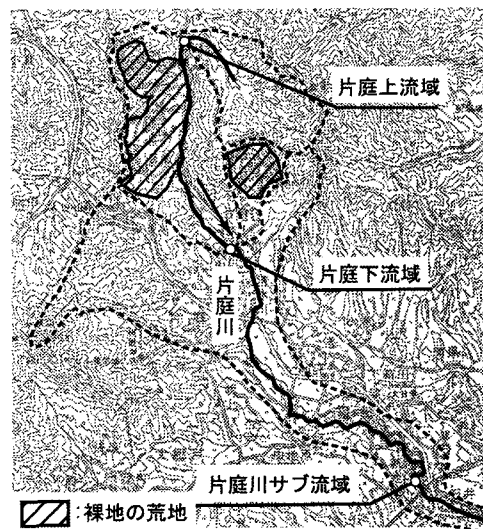


図-7 片庭川で選定された小流域

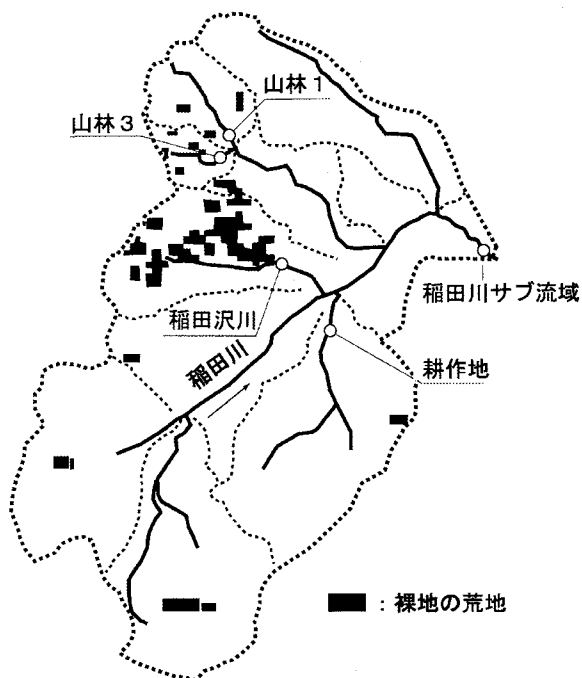


図-8 稲田川で選定された小流域

川の傾きが小さいことがわかる。また、全サブ流域のQ_p-Q_{sp}は比例関係にあるが、片庭川・稲田川のQ_p-Q_{sp}の関係は他のサブ流域よりもずれが大きいことがわかる。この結果は、両者の細粒土砂供給特性が異なることを示唆していると考えられる。

4. 細粒土砂の発生源調査

(1) 概要

前章までの整理結果から明らかとなっており、瀬沼川サブ流域では片庭川、稲田川、桜川の土砂濃度が高く、しかも流出土砂量が洪水毎に変動する。その原因を明らかにするため、ここでは、特に片庭川と稲田川サブ流域に着目し、流砂観測による土砂動態調査を上流の小流域においても実施し、細粒土砂の発生源とその量を明らかにす

表-3 各小流域の土地利用状況

土地利用	小流域								サブ流域		小流域								サブ流域	
	山林1		山林3		耕作地		稲田沢川		稲田川	片庭川	片庭川下流		片庭川上流		片庭川		稲田川	片庭川	稲田川	片庭川
	面積 (km ²)	比率 (%)	面積 (km ²)	比率 (%)	面積 (km ²)	比率 (%)	面積 (km ²)	比率 (%)			面積 (km ²)	比率 (%)	面積 (km ²)	比率 (%)	面積 (km ²)	比率 (%)				
山林	1.7	94.7	0.8	87.1	4.1	48.9	3.2	70.8	26.2	66.4	2.5	73.5	1.1	100.0	4.9	59.1				
田	0.1	3.0	0.0	1.9	2.7	32.4	0.1	2.3	6.8	17.2	0.0	0.6	0.0	0.0	1.0	11.8				
畑	0.0	0.1	0.0	0.5	0.9	11.1	0.0	0.6	3.4	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	12.7				
果樹園	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1				
民家	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4	4.7	0.1	2.3	1.6	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	5.2				
裸地の荒地	0.0	1.8	0.1	10.5	0.1	0.8	1.1	24.1	1.3	3.3	0.9	26.5	0.0	0.0	0.9	11.0				
計	1.8		1.0		8.4		4.5		39.4		3.4		1.1		8.2					

注) 表中の面積は流域面積を示している

ることを試みた。

片庭川と稲田川には、土砂の供給源と考えられる裸地の荒地が存在する。そこで両サブ流域内に、図-7、8のような裸地の荒地を含む小流域(稲田沢川、片庭川下流)とその比較のための小流域(耕作地、山林1、山林3、片庭川上流)を選定し、流砂観測を行った。各小流域の土地利用状況は表-3のとおりで、稲田沢川・片庭川下流小流域では、流域面積に占める裸地の荒れ地の割合は約25%である。比較のための小流域は、水田を主体とするものが1つ(耕作地)、山林を主体とするものが3つ(山林1、山林3、片庭川上流)である。観測は、2000年から試みているが、ハイドロ全体を網羅できる観測機会に恵まれなかったため、考察に足るデータが得られたのは2001/8/22洪水のみである。

(2) 観測結果および考察

図-9は片庭川下流小流域の流量およびSSフラックスの時間変化を表している。図には近傍の雨量観測所である笠間観測所の時間雨量も入れてある。この洪水の最大雨量強度は25mm/hであった。表-4は全小流域の観測結果から得られた流出土砂量を、サブ流域の観測結果から得られた流出土砂量と比較したものである。ただし、サブ流域の観測期間よりも小流域の観測期間の方が短いため、サブ流域の洪水流出量と流出土砂量は小流域の観測期間に合わせて算出した結果を載せている。

稲田川では、サブ流域の流出土砂量の87%が稲田沢川小流域からであり、片庭川下流小流域では95%が片庭川上流小流域を除く片庭川下流小流域の残留域からである。また、各小流域の比流出土砂量を比較すると、裸地の荒地を含む小流域が大きい。ただし、稲田沢川小流域が19.0m³/km²と大きいものに対して、片庭川下流小流域は3.9m³/km²と大きな差がある。一方、サブ流域の観測では1997/6/20洪水、1998/9/16洪水で片庭川の流出土砂量が大きかったことから、片庭川下流小流域の比流出土砂量の方が大きいケースもあると考えられる。なお、山林小流域、耕作地小流域の比流出土砂量は概ね1m³/km²前後であった。これらのことから、涸沼川流域における主な細粒土砂の供給源は、裸地の荒地小流域と考えられる。

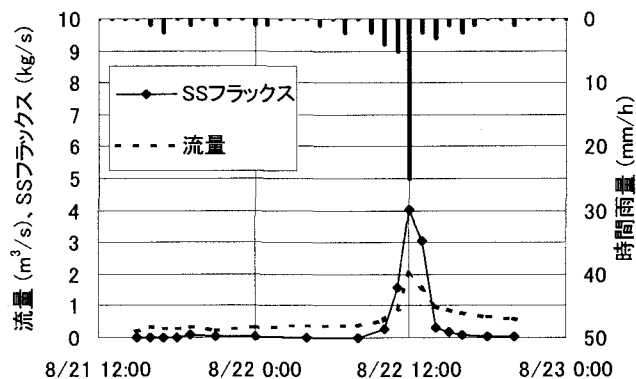


図-9 片庭川下流小流域での流量とSSフラックスの時間変化

表-4 小流域における観測結果

		2001.8.22洪水(洪水観測施設におけるピーク流量34m ³ /s)				
		流域面積 (km ²)	洪水流出量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	比流出土砂量 (m ³ /km ²)	サブ流域の土砂量 に占める割合(%)
小流域	稲田沢川	4.5	100,256	86.0	19.0	87
	耕作地	8.4	68,847	7.2	0.9	7
	山林1	1.8	16,766	2.2	1.3	2
	山林3	1.0	9,831	1.2	1.2	1
	合計	15.6	195,700	96.6	—	98
サブ	稲田川	39.4	415,173	98.3	2.5	—
小流域	片庭川上流	1.1	19,539	0.9	0.8	4
	片庭川下流	3.4	48,355	13.2	3.9	54
サブ	片庭川	8.2	114,188	24.4	3.0	—

(3) 土砂動態マップの作成

これらの洪水観測結果(2001/8/22)をもとに、藤田・平館⁷⁹⁾らが提案する土砂動態マップを稲田川、片庭川のサブ流域内について描くと図-10、11のようになる。土砂動態マップでは、実測した土砂輸送量を黒線の太さで示し、推定した土砂輸送量については黒線を破線表示としている。また、サブ流域の流域面積を四角形およびその大きさで示している。この図より、裸地の荒地が細粒土砂の供給源になっている様子が定量的にわかりやすく表現されている。なお、表-4において、片庭川サブ流域の

流出土砂量と片庭川下流小流域の流出土砂量に 11.2m^3 の差があるが、これは以下の理由によるものと考えられる。片庭川サブ流域の残留域左岸側には 0.3km^2 の裸地の荒地があるが(図-7参照)、今回の観測ではここから流出する土砂を捕らえることができなかった。 11.2m^3 の多くは、この裸地の荒地から供給されたものである可能性が高い。

5. まとめと今後の課題

本研究成果をまとめると以下のとおりである。

- (1)細粒土砂(SS)については、サブ流域に分割して複数の地点で採水による流砂観測を同時に行うことにより、土砂の動態(流入量及び移動量など)を明らかにすることができる。
- (2)サブ流域からの細粒土砂の供給割合(特に流域内に裸地の荒地を含む場合)は、洪水によって異なる。したがって、1洪水の観測結果のみでは流域の土砂動態の特徴をつかむことはできない。いくつかの洪水で観測データを積み上げる必要がある。
- (3)いくつかの洪水観測結果で $Q-Q_s$ 関係が作成でき、年間流況データが整備されれば、流域における年間の土砂動態が整理できる。その結果は、流域土砂管理の有益な検討資料になる。
- (4)複数地点の同時流砂観測を特徴ある小流域に適用することにより、細粒土砂の供給源とその量を明らかにすることができる。
- (5)涸沼川流域では、裸地の荒地が細粒土砂の主たる供給源となっている。

今後の課題を整理すると次のとおりである。

- (1)サブ流域における流況データの蓄積、小流域における $Q-Q_s$ 関係の整備および流況データの蓄積を図り、サブ流域別の年間発生土砂量、小流域の年間発生土砂量を明らかにする。
- (2)上記年間発生土砂量を土地利用毎の原単位の形に整理し、他の河川の参考データになるようにする。
- (3)栄養塩の分析結果をとりまとめて、流域内の発生動態を整理する。
- (4)細粒土砂だけでなく、下流河床材料や海岸材料を構成する粒径の土砂についても、流砂観測手法を開発し、土砂動態の整理ができるようにする。

参考文献

- 1) 芦田和男・江頭進治・金屋敷忠儀：斜面侵食による濁物物質の生産・流出機構に関する研究、第24回水理講演会論文集、pp1351-141, 1980。
- 2) 横山勝英・石川忠晴：七ヶ宿ダム流域における濁質の流出・過程に関する粒径別考察、水工学論文集第392巻、pp249-254, 1995。
- 3) 清水康行・嵯峨浩・早川博・品川守：石狩川の土砂流出に

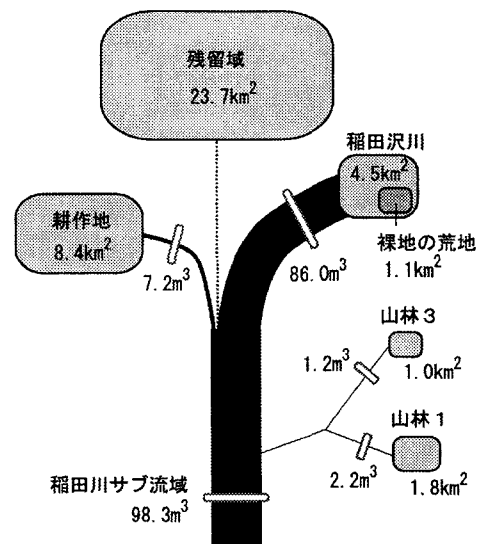


図-10 稲田川流域における土砂動態マップ

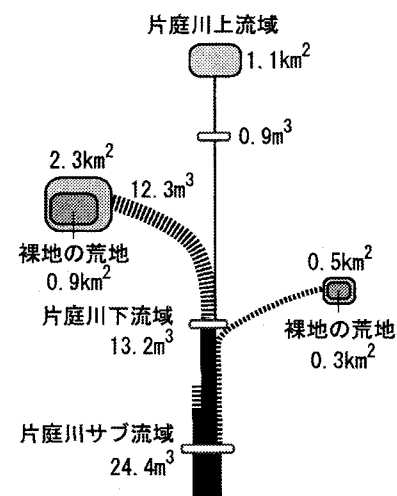


図-11 片庭川流域における土砂動態マップ

関する研究、水工学論文集、第42巻、pp1039-1044, 1998。

- 4) 坊野聡子・清水康行・齋藤大作・吉田義一・黒木幹男：出水時のダム貯水池における濁質観測、水工学論文集、第42巻、pp715-719, 1998。
- 5) 杉本基泰、真野明：阿武隈川における細粒土砂の観測と空間分布、水工学論文集、第41巻、pp783-788, 1997。
- 6) 平林桂ほか：洪水時広域採水による涸沼川水系の土砂動態観測、水工学論文集第42巻、pp1045-1050, 1998。
- 7) 平館治ほか：細粒土砂に関する涸沼川の水系土砂動態マップ、第54回年次学術講演会概要集第2部、pp328-329, 1999。
- 8) 望月達也ほか：新しい観点からの浮遊砂・ウォッシュロード観測の提案、土木技術資料38-10、pp50-55, 1996. 10。
- 9) 藤田光一ほか：水系土砂動態マップの作成と利用-涸沼川と江合川の事例から-、土木技術資料41-7、pp42-47, 1999。
- 10) 河川砂防技術基準(案)同解説、調査編、pp282, 1997。

(2002. 4. 15 受付)