

森林流域から浮遊土砂はどのように出てくるか

坂本知己・寺嶋智巳・中井裕一郎・北村兼三・白井知樹

はじめに

川の中では土砂が水に運ばれ移動している。川底を転がるように移動している土砂や、飛び跳ねるように移動する土砂、流れと一体となって水中を浮いた状態で移動する土砂もある。今回紹介するのは、浮いた状態で運ばれている浮遊土砂の流出であるが、中でもとくに粒径がおおよそ $100\mu\text{m}$ 以下と小さく、一度浮遊すると水の流れにのってどこまでも移動し、貯水池のように水が停滞しない限りなかなか堆積しないウォッシュロードと呼ばれるものである。

定山溪流域試験地

調査対象地は、森林総合研究所北海道支所の定山溪流域試験地（石狩森林管理署（旧札幌営林署）2441林班）の時雨1の沢（流域面積：2.0ha）である（図-1、写真-1）。量水堰から103m上流の湧水点までの溪床勾配は17～18度、湧水点から158m上流の流域界

までの平均勾配は32度である。基岩は石英斑岩、土層厚は湧水点上部の谷頭堆積地が最大350cm、山腹が60～180cm、河道沿いが60cm以下である。

流域の植生は、イタヤカエデ、ミズナラ、シナノキなどの落葉広葉樹にトドマツが混じる針広混交林で、上層木の樹高は20～24m、蓄積は $181\text{m}^3/\text{ha}$ であ

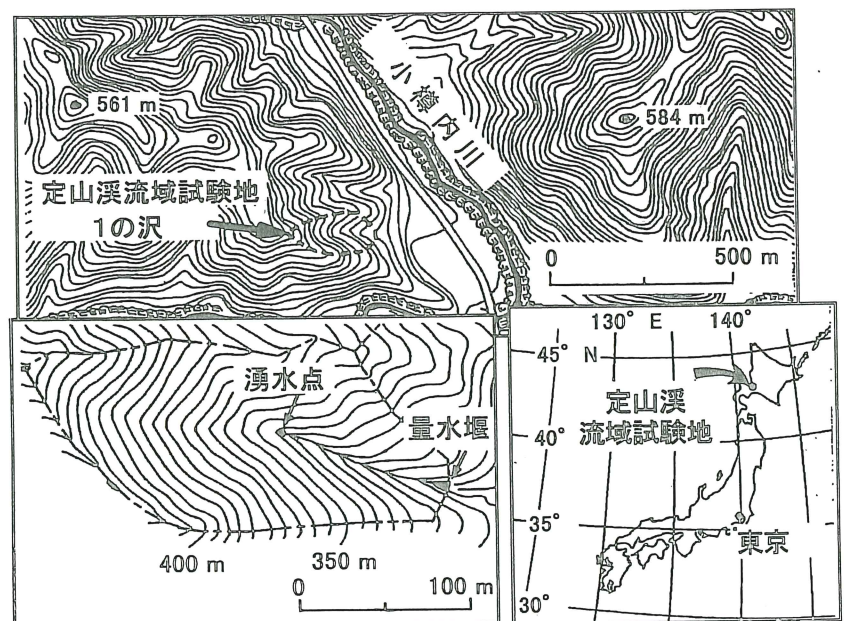


図-1 定山溪流域試験地の位置

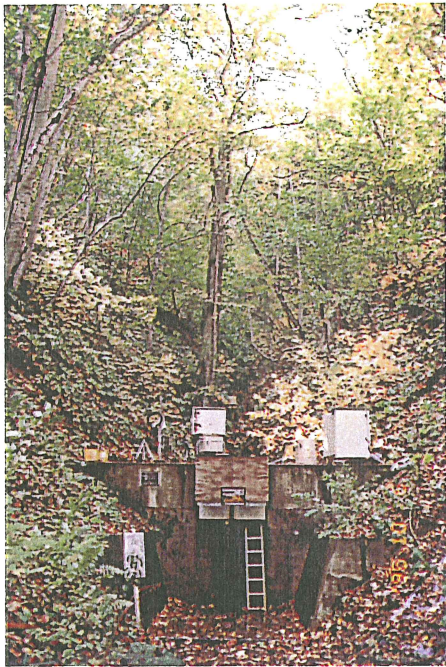


写真-1 定山溪流域試験地1の沢



写真-2 採水状況

採水器（左）から採水チューブが流水中に伸びている

る。林床にササは少なく、草本に覆われている。なお、流域内に崩壊地はない。

自動採水システム

川の水が常に同じように濁っているわけではないことからわかるように、浮遊土砂濃度は一定ではない。浮遊土砂濃度は流量によって変わることが予想され、浮遊土砂の流出実態を正しくとらえるためには、降雨時などの出水時における流量の変動にあわせた採水が必要になる。出水の度に増水の初期から減水まで現場にいて採水することは難しいので、自動採水システムを考案した。

このシステムは、水位センサー、変換器、制御器（ノート型パソコン）、採水器（ISCO製自動採水器MODEL2700）から構成される（図-2、写真-2）。パソコンは設定した時間間隔（今回は5分）で水位を測定し、水位があらかじめ設定した条件を満たした場合には採水器に採水命

令を送る。採水条件は、流量と流量に応じた時間間隔との二通り設けた。採水ボトルは1セット24本で、1本の容量は1Lであるが、実際の採水量は流量によって増減した。なお、流水を直接容器で受けて採取する方法も併用した。この場合の採水量は、1.5～1.9Lである。

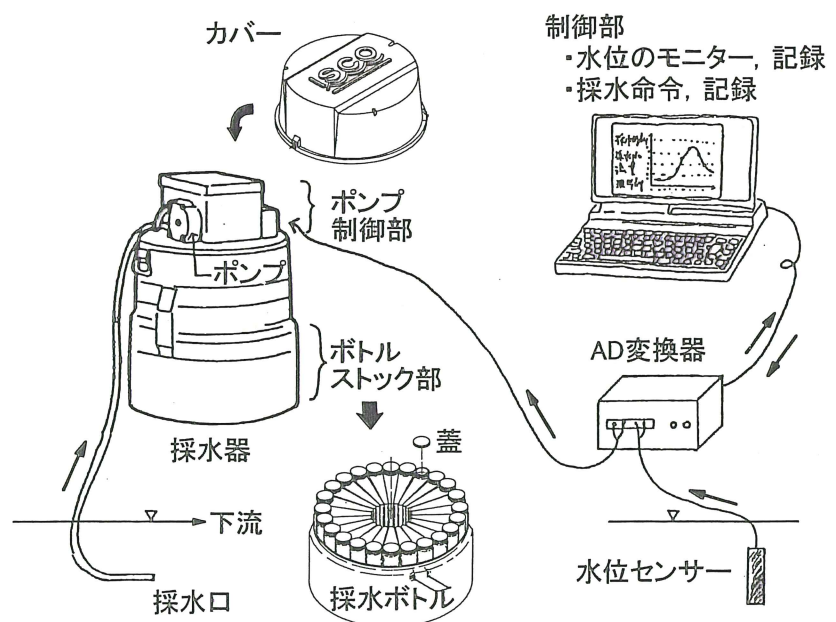
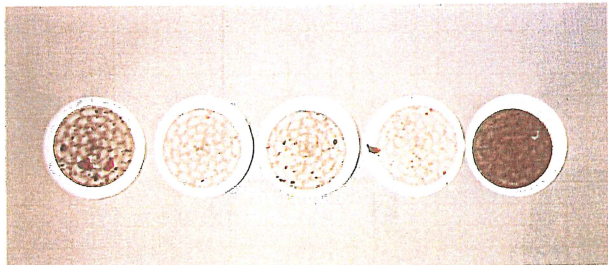


図-2 自動採水システム

採取した水の処理

採取した水は、106 μ mの篩に通した後、ガラス繊維フィルター（Whatman GF/B, 1 μ m相当）を使って吸引濾過し、濾紙上の残留物（写真－3）を浮遊

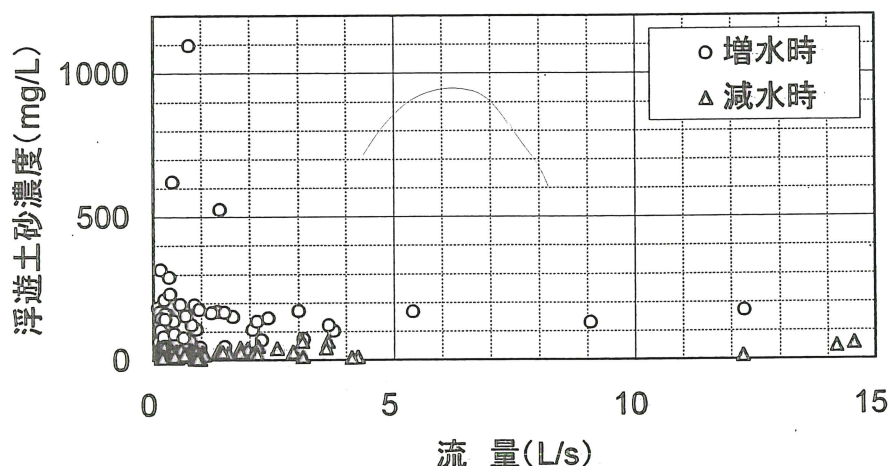


写真－3 吸引濾過後の濾紙

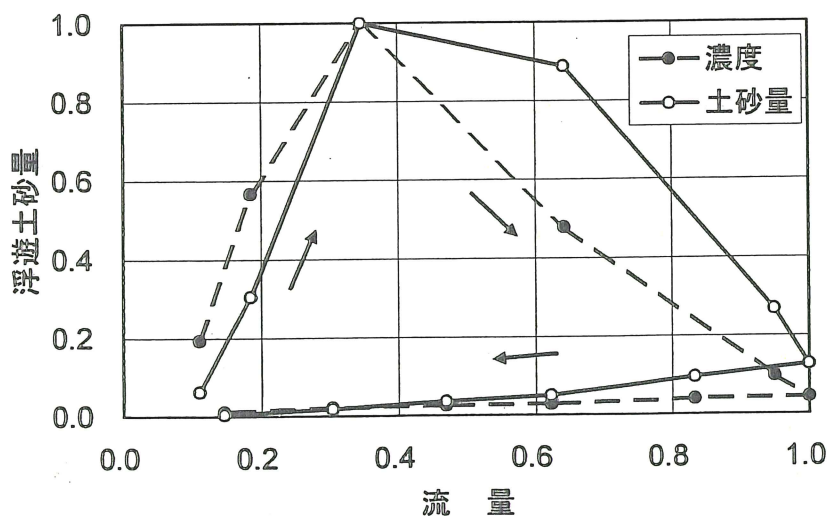
土砂とした。したがって、この浮遊土砂には有機物も含まれている。この残留物を80℃で24時間乾燥した後の値を採取された水に含まれていた浮遊土砂量とした。

浮遊土砂濃度は流量では決まらない

浮遊土砂流出の特徴の一つは、増水過程と減水過程とで、浮遊土砂濃度に明らかな差があり、増水過程に比べて減水過程の濃度は明らかに低いことである（図－3）。また、増水過程では、流量が多いほど土砂濃度が高いとは限らない。すなわち、浮遊土砂濃度は、流量のピークの前に最大となり、増水が続いても浮遊土砂濃度は減少する（図－4）。浮遊土砂



図－3 流量と浮遊土砂濃度の関係（92年8月～9月）



図－4 流量変化に伴う浮遊土砂濃度・量の変化（1の沢：92年8月7日）

それぞれの最大値で基準化して示している。流量については、採水時点の流量のうちの最大値で基準化している。右端の時点は減水過程にあった。

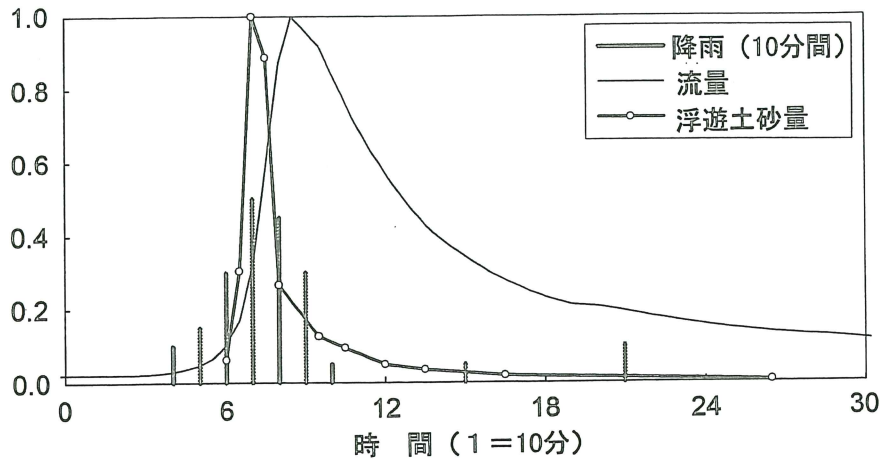


図-5 降雨量・流量変化と浮遊土砂量の変化（1の沢：92年8月7日）

降雨量（10分間）、流量、浮遊土砂量はそれぞれの最大値で基準化してある。但し、降雨量のみ最大値を0.5とした。

量は、浮遊土砂濃度と流量の積であるから、濃度が減少しても浮遊土砂量は増加することがあるが、浮遊土砂量も多くの場合流量のピークの前に減少した。

流量が増加して流水の土砂運搬力が増加しても浮遊土砂量が増加しないことは、土砂供給が減少していることを意味している。この原因の一つとして、細かい土砂が流され溪床の表面が大きめの砂礫で覆われて、その下の土砂が動きにくくなること（アーミング効果）が考えられる。しかしながら、減水後再び増水すると、流量が先の減水過程より少なくても浮遊土砂濃度は急増するので、アーミング効果だけでは説明がつかない。

ここで考えられるのが、雨の影響である。図-5は、図-4と同じ降雨を例に、降雨量、流量、浮遊土砂量の時間変化を示したものである。浮遊土砂量は、流量よりも降雨変化に対応している。このことは、浮遊土砂の供給プロセスとして流水による溪床、溪岸の浸食の他に、流路近傍の雨滴浸食を考慮する必要があることを示している。

降雨出水と融雪出水の違い

降雨が浮遊土砂流出に及ぼす直接的な影響を確かめるためには、流量が降雨出水と比べて充分にあって降雨の影響がないようにして浮遊土砂濃度を測れば

よい。実地の溪流で人為的にそのような条件を整えるのは容易ではないが、融雪出水はその条件を満たしている。

融雪出水中の浮遊土砂流出濃度は、同等の流量の降雨出水中のものに比較して明らかに少なく、浮遊土砂濃度が流量だけでは決まらず、雨滴浸食の影響の大きいことを支持した（図-6）。

融雪期の浮遊土砂流出にはもう一つの特徴がある。それは、先行する出水の影響を大きく受けることである。93年の融雪期と92年の降雨期を例に、流量と浮遊土砂量の関係について増水過程で比較してみよう。図-7、図-9は、そのときの降水状況と流量である。

融雪期の連続する出水で流量と浮遊土砂量の関係

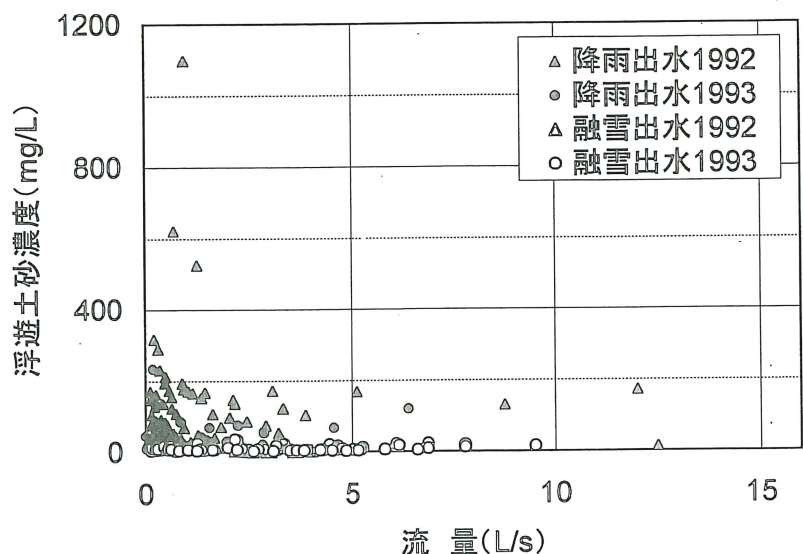


図-6 流量と浮遊土砂濃度に関する降雨期と融雪期の比較

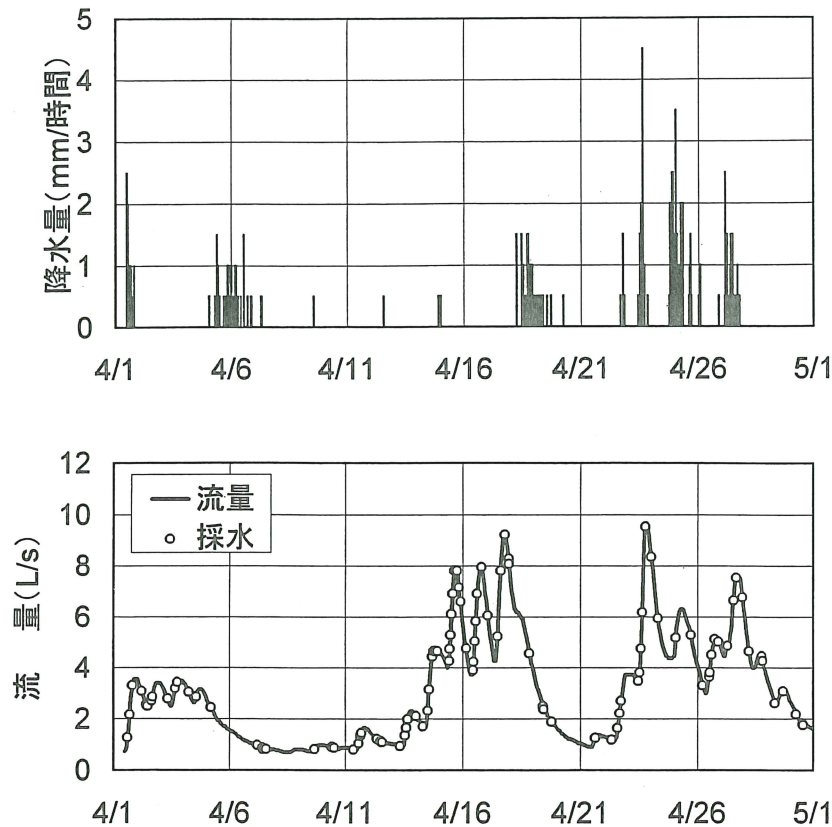


図-7 融雪期の降水状況と流量変化 (93年4月)

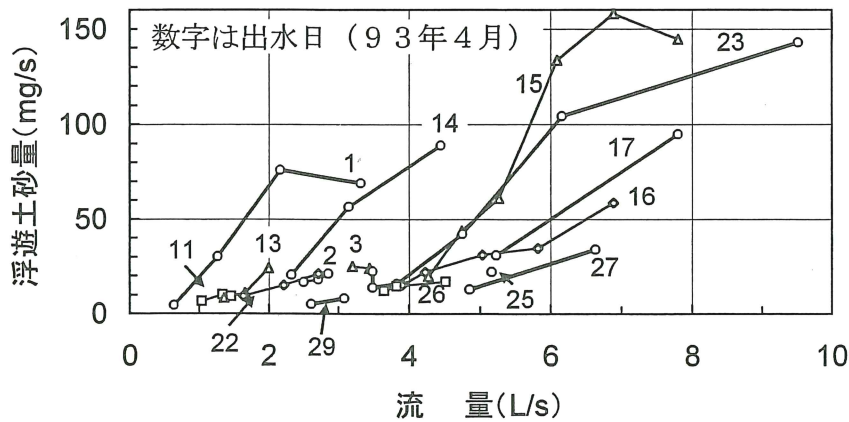


図-8 出水ごとの流量と浮遊土砂量 (融雪期)

をみると、両者の関係を示す線が後の出水ほど右にずれている (図-8)。これは、後の出水時ほど同等の流量に対する浮遊土砂量が減少することを示している。これに対して、降雨出水期には、先行する出水の影響は認められない (図-10)。両者の違いの説明として、融雪出水の場合は、先行する出水によって溪床の浮遊土砂の材料が運ばれてしまうのに対して、降雨出水の場合は、降雨ごとに新たな浮遊土砂の材料が供給されたことが考えられる。

4月23日の出水はこの傾向に反しているが、これには降雨の影響が考えられる。というのは、この時、

増水過程の最後の採水までの5時間に10.5mmの降雨 (最大時間雨量、4.5mm) があったからである。27日にも同じく11.0mmの降雨 (最大時間雨量、2.5mm) があったが、23日ほど浮遊土砂量は多くない。この理由としては、降雨時間が9時間30分と長く降雨強度が低かったことが考えられる。なお、4月1日にも、同じく5時間20分で7.5mm、最大時間雨量2.5mmの降雨があったが、浮遊土砂が少なかった理由は、この時点では流域全体が積雪で覆われていたために雨滴の影響を受けなかったことにあると考えられる。

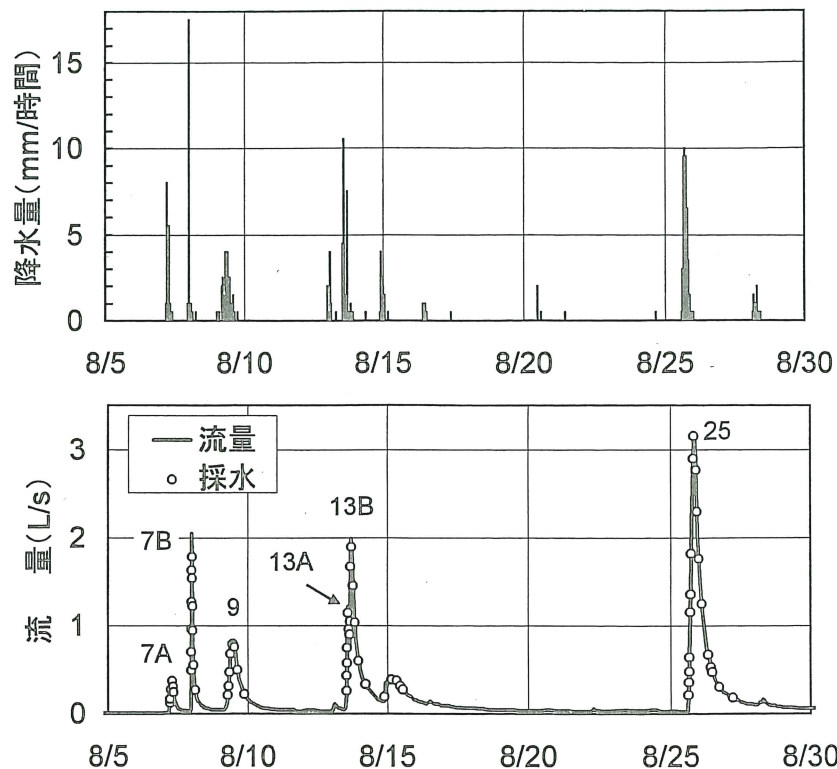


図-9 降雨期の降水状況と流量変化 (92年 8月)

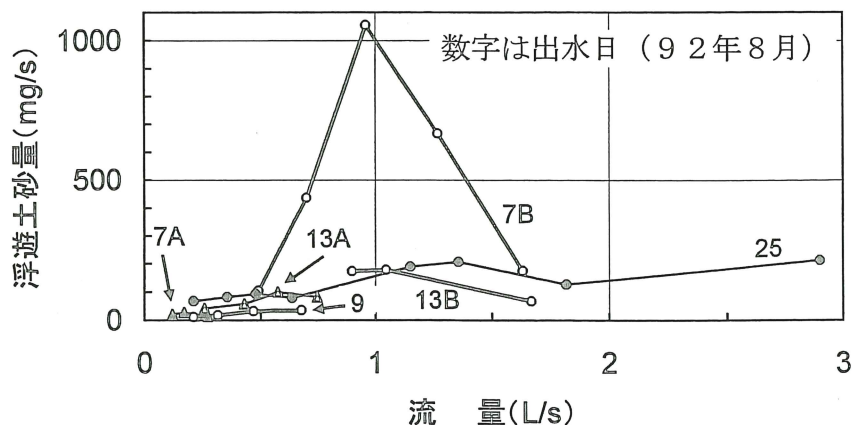


図-10 出水ごとの流量と浮遊土砂量 (降雨期)

おわりに

定山渓流域試験地では適度に下草もあり森林土壌の浸透性も高いので、平年並みの降雨であれば表面流が生じることはない。それでも降雨があれば渓流水に含まれる浮遊土砂濃度は格段に高くなる。この原因の一つとして、流路近傍の雨滴浸食の可能性を指摘した。これは、森林流域の取り扱いにおいて、表面流を生じさせないことに加えて、水系の近傍の扱いがきわめて重要なことを意味している。なお、融雪出水はその流量に比べて浮遊土砂濃度がきわめて低いが、年間に占める融雪期の流出水量の割合は

大きいので、流出する浮遊土砂量が多い。これは、地球温暖化の影響で冬に雪ではなく雨が降るようになったとき、流出する浮遊土砂量が大きく増加する可能性を意味するものである。

一連の研究を進めるにあたっていろいろとお世話になった石狩森林管理署(旧札幌営林署)ならびに同定山溪営林事務所の方々に厚くお礼申し上げる。

研究レポート No.48
平成11年 3月31日
編集 森林総合研究所北海道支所
〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7
電話(011)851-4131