

作業道を通じた間伐林分から溪流への浮流土砂流入

—生田原国有林の事例—

森林総合研究所東北支所 阿部 俊夫
 森林総合研究所北海道支所 佐々木 尚三・相澤 州平・橋本 徹・山野井 克己

はじめに

山地流域における間伐などの森林施業では、渓流水の濁り、すなわち溪流を通じた浮流土砂の流出が上水道や漁業などへの悪影響という観点からしばしば大きな問題となっている(6, 9)。溪流への浮流土砂の流入に関しては、特に集材路や林道などの作業道の影響が大きいと考えられているものの(4, 5, 6, 7), 作業道を通じた浮流土砂流入量について観測した実証的研究は少ない。そこで、本研究では2年前に間伐された生田原国有林内の流域を用いて、作業道が溪流を横断する箇所の上流で浮流土砂濃度を調査した。作業道上を流れる濁水量を直接計測する方法(8)ではないが、作業道上下流での浮流土砂濃度や土砂流下量の比較から、作業道を通じた浮流土砂流入の影響解明を試みた。

方法

調査地として、北海道紋別郡遠軽町生田原にある国有林内(網走西部森林管理署 338 林班)を流れる小溪流を用いた。この地域は地形が比較的緩やかで、調査溪流の

流域内では2011年秋にハーベスタ・フォワーダシステムによる定性間伐がおこなわれている(図-1)。伐区的面積は338り小班が16.0 ha(うち流域内は5.9 ha), 338に小班が7.9 haであり、流域の31%が間伐されている。溪流近傍での施業はないが、流域下流端には作業道が溪流を横断する箇所がある。なお、作業道は土場までの区間は運材のため砂利が敷かれており、幅員は約5 mである(路肩を含む)。流域の地質は、流域下側が新第三紀の堆積岩類(砂岩・泥岩・凝灰角礫岩および熔結凝灰岩)、上側が新第三紀の火山岩(新期流紋岩)である(1)。

調査は、2013年7~10月におこなった。作業道が溪流を横断する箇所、路肩から約10 m上下流に自動採水器(ISCO社 6712および3700 サンプラー)を設置して降雨時の渓流水を1時間間隔で採取した。渓流水試料は水の重量を計測した後、106 μmのフルイを通してガラス繊維ろ紙(Whatman社 GF/F, ポアサイズ 0.7 μm)で吸引ろ過した。ろ紙に残った土砂の絶乾重量(105°Cで3時間乾燥)と強熱減量(500°Cで3時間処理)を測定し、試料水の重量で除した値をここでは浮流土砂濃度および有機

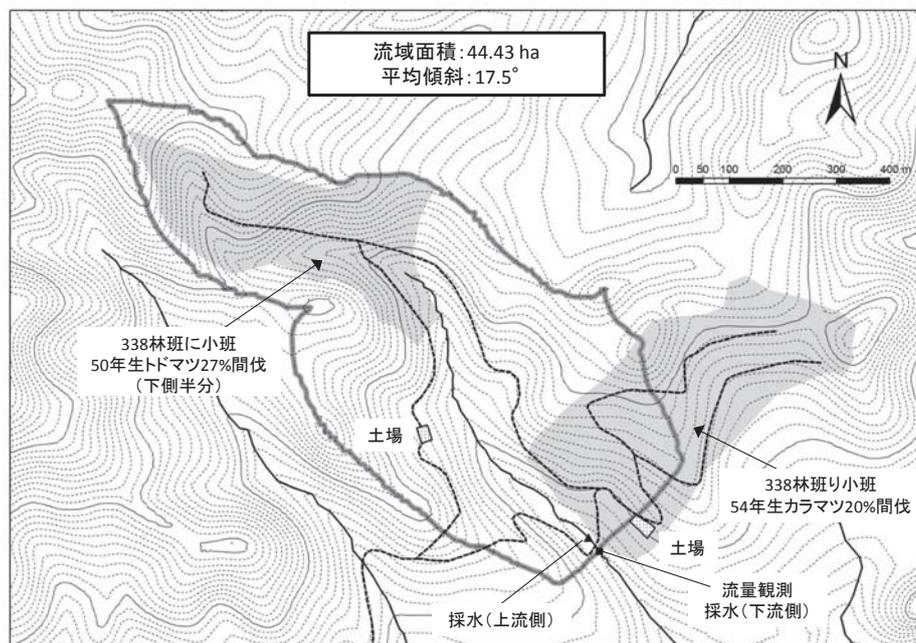


図-1 調査流域の地形と採水位置

太実線は溪流を、太破線は作業道を示す。等高線は5 m間隔である(堰の標高は330 m)。

成分濃度とした（単位 ppm は、渓流水 1 kg が 1 L とすれば mgL^{-1} と同等）。なお、ろ紙は事前に絶乾重量を測定した。また、作業道下流側の採水地点には木造の簡易な量水堰（越流口幅 0.94 m, 落差 0.13 m の四角堰）を設置し、圧力式水位計（STS 社 DL/N V4.28）で観測した水位から事前に作成した水位・流量曲線を用いて流量を求めた。上流側採水地点の流量については、下流側流量に流域面積比（43.39 ha / 44.43 ha）を乗じて推定した。雨量は 338 ㎡ 小班内の土場近くに転倒マス雨量計（Onset 社 RG-3M）を置いて観測した。

出水イベント時の浮流土砂流量は、ある時点の浮流土砂濃度に渓流流量を乗じて単位時間あたりの浮流土砂負荷量を計算し、これを出水開始直前から 24 時間分累積して求めた。この際、採水時以外の浮流土砂濃度は直線補間で推定し、単位 ppm を mgL^{-1} と読み換えた。なお、自動採水器の 1 番目の試料より 1 時間前（どのイベントも出水直前となった）の浮流土砂濃度を 4 ppm と仮定した。この濃度は、以前、平水時に採取した渓流水について分析した値である。上記計算は水位計の記録間隔である 5 分ごとにおこなった。

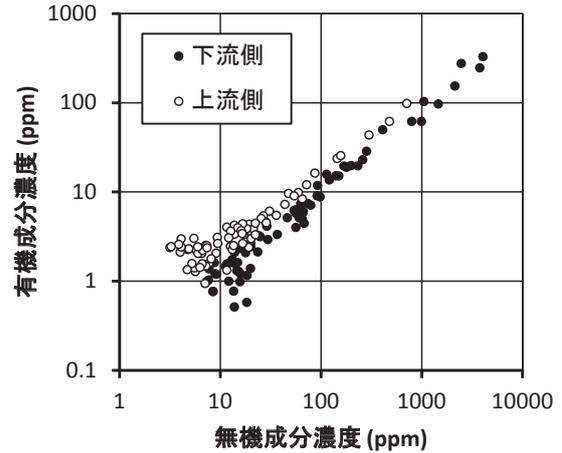


図-3 浮流土砂中の有機成分と無機成分の比較

結果と考察

1) 浮流土砂濃度のオーダーと有機成分の割合

降雨時における渓流水の採水が上下流セットでおこなえたのは短時間にまとまった降雨のあった 3 イベントのみであった（図-2）。各イベントの総雨量はそれぞれ 16.3 mm, 43.8 mm, 25.5 mm であった。浮流土砂濃度はいずれの出水イベントでも作業道上流に比べて下流側で高く、最大値は上流側で 100 ppm オーダーであるのに対して下流側では 1000 ppm オーダーと 1 桁大きかった。また、浮流土砂中の有機成分と無機成分の関係はほぼ一定しており、多くが無機成分からなっていた（図-3）。有機成分の割合は、下流側では平均 9.3%，上流側では平均 20.2% と上流側でやや多かった。

文献(5)によると、未攪乱の森林流域では降雨時の浮流土砂濃度は最大 10^2 mgL^{-1} オーダーで有機成分の割合は 30% を超えるが、伐採直後や畑地流域では最大濃度は 10^3 mgL^{-1} オーダーとなり、有機成分の割合は 10% 前後に低下することが報告されている。本調査渓流では、特に大雨でもないイベントでさえ作業道下流側において 1000 ppm オーダーの濁水が観測されており、施業に起因する浮流土砂が作業道を通じて流入していることは疑いない。しかし、作業道より上流側に関しては、有機成分が若干少ないものの、最大濃度は未攪乱流域と同オーダーであり、明瞭な施業の影響は認められない。この理由としては、上流に流水のある渓流を作業道が横断する箇所がないこと、流域上側の地質が火山岩であり微細な土砂の生産が少ないと思われること、施業から約 2 年経過し林床植生が回復してきたことなどが考えられる。

2) 出水中の浮流土砂濃度の変化

本研究では採水が 1 時間間隔のため詳細な浮流土砂濃度の変化は分からないが、出水イベント中、土砂濃度の最大値は最初の流量ピーク付近かわずかに前で出現しているようにみえる（図-2）。これは文献(2)によるヒステリシスの分類では同時型か先行型に区分される。しかし、浮流土砂濃度と流量の関係をみると、作業道下流側では単純な時計回りや反時計回りのループではなく、複雑な変化を示しており（図-4）、出水開始前のデータもあればおそらく 8 の字状になると考えられる。

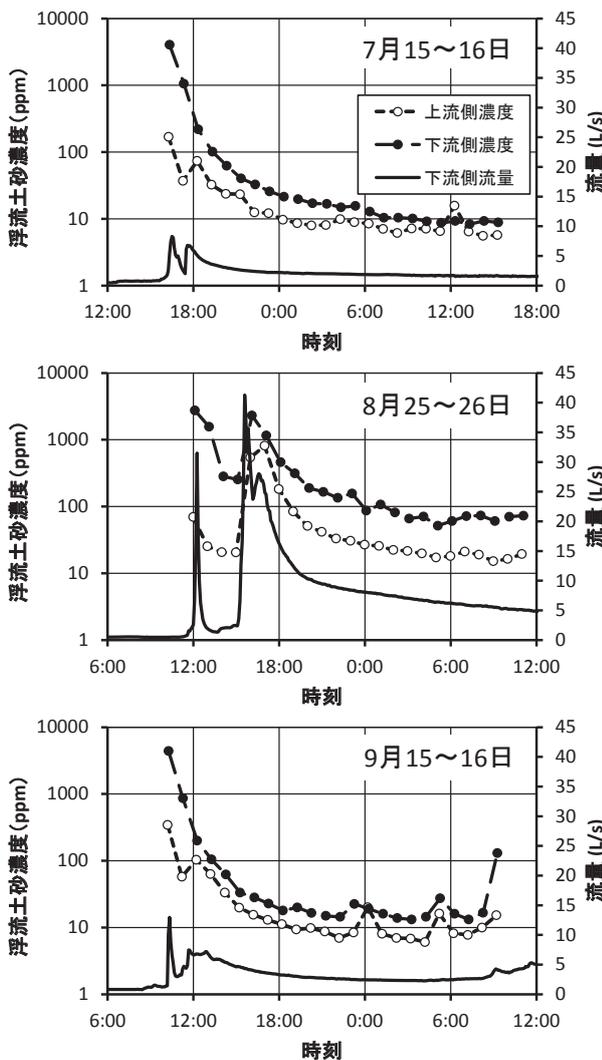


図-2 出水中の浮流土砂濃度と渓流流量の変化

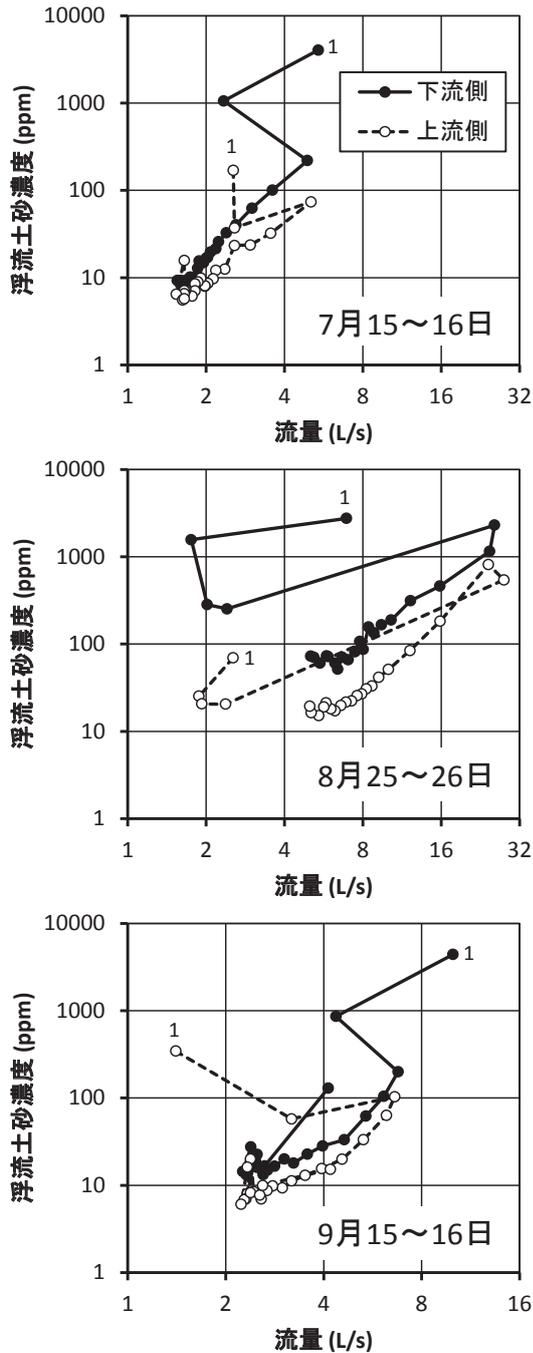


図-4 出水時の浮流土砂濃度と流量との関係

7月15～16日と9月15～16日の2イベントでは、まとまった降雨は1回であったにもかかわらず、流量ピークは2つ現れており(図-2)、一旦流量が減少したときでも下流側の土砂濃度は低下せずに比較的高い値を保っていた(2番目の試料)。そのためヒステリシスループが複雑な形となった(図-4)。作業道が開設された流域では、短時間に強い雨が降ると作業道から多量の土砂が降雨と同時に流入するため顕著な先行型ヒステリシスが現れるという報告があるが(4)、本調査溪流でも、降雨時には間伐林分側から濁水が作業道を流下する様子が観察されている(図-5)。このことから、降雨時に作業道を通じ極めて早く流出する成分と上流から遅れて流出する成分が

合わさった結果、2つの流量ピークが現れたものと考えられる。2つの流量ピーク間では、作業道を通じた高濃度の濁水流入は徐々に減少するものの、上流からの流量が増加する前であれば、流量に対して比較的高濃度の浮流土砂が観測されることもあると推察される。

8月25～26日のイベントではまとまった降雨が2回あったため、浮流土砂濃度のピークが2つ現れ(図-2)、ヒステリシスループもさらに複雑となっている(図-4)。他の2イベントと比べると、上流側の浮流土砂濃度の高さは際だっており、土砂濃度のピークは2番目の流量ピーク後に現れていた(図-2)。遅れ型ヒステリシスは主たる土砂供給源が斜面の場合とされており(3)、おそらく上流の間伐林分の斜面から供給された浮流土砂が水流で運搬されてきたものと思われる。このイベントの2番目の流量ピークは、観測できた3イベント中で最も大きく、土砂運搬の営力も最大であったと考えられる。

3) 作業道からの浮流土砂流入量

浮流土砂流量の推定値や対応する降雨データを表-1に示した。上下流の土砂流量の差は79.0～362.3 kgと見積もられた。2つの採水地点は極めて近く、2地点間の溪床からの浮流土砂供給は少ないと考えられるため、上下流の差は作業道を通じて流入する土砂量と見なすことができる。これは調査流域から流出する浮流土砂の70.9～92.8%に相当し、作業道の寄与は雨量が少ないときほど顕著であった。大きな出水では上流の斜面からも土砂供給が起こるが、小さな出水では作業道経由の土砂と溪床の堆積土砂だけが浮流土砂の供給源となるためと推察される。

本研究では作業道上流側の流量は流域面積の比を用いて下流側の流量から推定しているが、作業道を通じた早

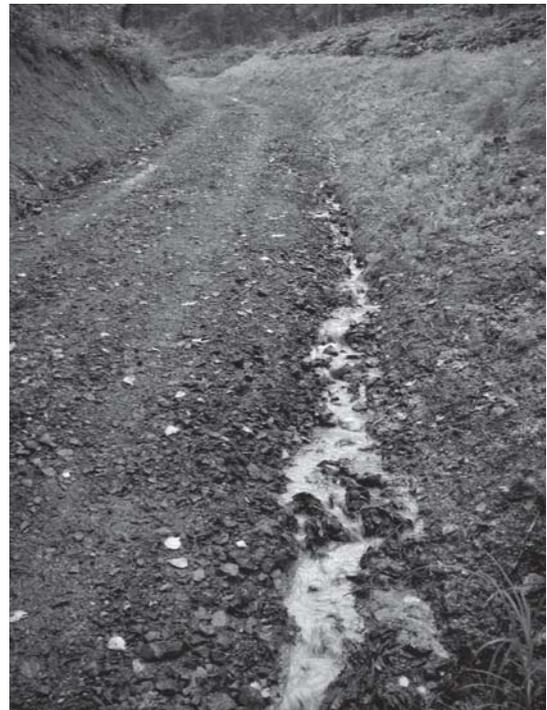


図-5 降雨時に作業道の側溝を流れる濁水
総雨量4.2 mm, 最大10分間雨量2.0 mmの比較的弱い雨でも濁水流下が観察された(2013年8月21日)。

表-1 出水イベントの浮流土砂流出量, 雨量および水流出量

イベント月日	7/15-16	8/25-26	9/15-16
24時間土砂流出量 (kg)			
下流側	85.1	511.3	96.7
上流側	6.1	149.0	12.4
上下流の差	79.0	362.3	84.3
総雨量 (mm)	16.3	43.8	25.5
最大10分間雨量R (mm)	5.1	7.0	5.7
$\Sigma R^2 \times \text{継続時間}t$	44.8	660.9	185.5
24時間水流出量 (mm)	0.5	1.7	0.7

い水流出が1番目の流量ピーク形成に大きく寄与しているとするれば, 上流側の流量変化は下流側とは異なっている可能性が高い。その場合, 上流側では最初の流量ピークがもっと低く, 土砂流出量も少ないと考えられるため, 作業道を通じた土砂流入量は表-1の推定値よりも多いと予想される。

作業道からの土砂流出に関しては, 各降雨の最大10分間雨量の2乗和と降雨継続時間の積に比例することが知られており(10), 表-1にもその値を記載した。イベント数が3と少ないため詳しい検討はできないが, 値の大小関係だけをみれば, 浮流土砂流出量およびその上下流の差はいずれの降雨指標とも一致していた。本調査地では, 作業道を通じて流入する浮流土砂の供給源として作業道(路面および法面)やハーベスタ・フォワードの走行した林地斜面などが想定されるが, どこが重要な供給源であるかは, 今後の検討課題としたい。

おわりに

これまで予想されてきたように, 森林施業のおこなわれた流域からの浮流土砂流出では, 溪流を横断する作業道を通じた土砂供給が極めて大きいことが確かめられた。地形などの条件にもよるが, 本調査地のような緩中傾斜地では溪流への土砂供給経路となるような作業道がない限り, 施業のみで渓流水の浮流土砂濃度が極端に高くなることは希であろうと推察される。したがって, 溪流で

の著しい濁水発生を防ぐためには, 作業道からの浮流土砂流入を防ぐことが最も重要といえる。そのためには, 今後, 特に溪流付近において作業道のルートや勾配, 排水溝などの設計をより一層工夫する必要があると考えられる。

謝辞

本研究の調査地設定に際しては, 北海道森林管理局・網走西部森林管理署のお力添えをいただいた。現地調査では, 北海道森林管理局・特命森林調査隊や森林総研北海道支所の皆様にご助力をいただいた。調査の準備や試料の分析では, 菅田久子氏と川村紀子氏に手伝っていただいた。これらの方々に感謝の意を表する。

引用文献

- (1) 地質調査所 (1970) 20万分の1地質図幅「北見」。
- (2) Kurashige Y. (1994) Mechanism of suspended sediment supply to headwater rivers. Trans. Japan. Geomorph. Union **15A**: 109-129.
- (3) 倉茂好匡 (1996) 河川の浮流土砂研究における最近の動向. 北大地物学研報 **59**: 1-13.
- (4) 呉在萬・井上章二 (1998) 林道開設地における渓流水の浮遊砂濃度の変化. 森林学誌 **13**: 161-168.
- (5) 佐藤弘和 (2005) 浮流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. 北林試研報 **42**: 1-50.
- (6) 佐藤弘和 (2006) 浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法. 日林誌 **88**: 50-59.
- (7) 杉山正典・古川邦明・横井秀一・臼田寿生・松本武 (2009) 山地小流域における作業路開設時の濁水発生について. 中部森林研究 **57**: 169-172.
- (8) 梅田修史・鈴木秀典・山口智・久保田多余子・清水晃 (2005) 林道路面流の流出量について. 日林関東支論 **56**: 75-76.
- (9) 臼田寿生・古川邦明・安達原子・藤下定幸 (2010) 路網開設による濁水流出の実態について. 中部森林研究 **58**: 79-80.
- (10) 山口智・鈴木秀典・梅田修史 (2007) 林道路面由来の堆積土砂を増加させる降雨要因の推定. 関東森林研究 **58**: 217-218.