

豪雨により斜面崩壊が多発した山地溪流の土砂再移動と基盤岩の風化特性について

村上 泰啓¹・赤岩 孝志¹・菊池 渉²

¹独) 土木研究所寒地土木研究所寒地水圏研究G水環境保全T (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1-3)

²独) 土木研究所寒地土木研究所寒地技術推進室道央支所 (〒062-0052 札幌市豊平区月寒東2条8丁目3-1)

2003年8月、観測史上最大の豪雨に見舞われた1級河川沙流川流域では、1万箇所近い斜面崩壊が発生した。筆者らは豪雨後の人為的改変の少なかった山地溪流（総主別川）において河床土砂の再移動量や斜面崩壊形態を調査した結果、付加体堆積物領域では表層崩壊が主で、河床土砂の再移動が比較的少ない一方、正常堆積物（白亜紀）の領域では地滑り状の斜面崩壊が主で、崩壊した基盤岩は短期間に風化しやすく、河床土砂の再移動量が多いといった特徴を有する事を明らかにした。また航空レーザー計測結果の判読により、同じ地質領域での斜面崩壊傾向が概ね共通していることや、屋外暴露試験により基盤岩の風化が数日で開始することなどを把握した。

キーワード 付加体堆積物，正常堆積物，スレーキング，土砂生産，航空レーザー計測

1. はじめに

豪雨や地震により発生した斜面崩壊により、河道に膨大な土砂が流入・堆積する事例が全国で発生している。総合的な土砂管理¹⁾を推進するための調査が全国で進められているが、河川の流砂系は豪雨などのインパクトにより少なからず影響を受けていると考えられる。しかしながら、山地溪流の斜面や河床で何が起きているかについては不明な点が多く、例えば高解像度な航空写真を用いてさえ、斜面崩壊の形態や基盤岩の風化の状況といったことまでは分からないのが実態である。そこで筆者らは、2003年8月豪雨（図-1）により斜面崩壊地が多発し、その後、河道周辺の人為的改変が少なかった1級河川沙流川の支川総主別川（図-1下段）に着目した。現地調査や2006年度に全道で実施された航空レーザー計測資料を用いた微地形判読、基盤岩のスレーキング試験を行い、豪雨インパクト後の山地溪流の土砂生産特性について整理を試みた結果をここで紹介する。

2. 総主別川概要

(1) 地形・地質：総主別川流域の地質は付加体堆積物と正常堆積物（白亜紀）の2つに大別（図-2）される。日本地質学会が2000年2月に公表した地質基準²⁾によれば、日本列島を構成する地質は、①正常堆積物、②沖積層、③付加体堆積物、④火山と火成岩、⑤深成岩、⑥変成岩の6つに大別される。付加体堆積物とは、海洋底の堆積物と陸域から供給された海溝充填堆積物が海溝の陸側斜

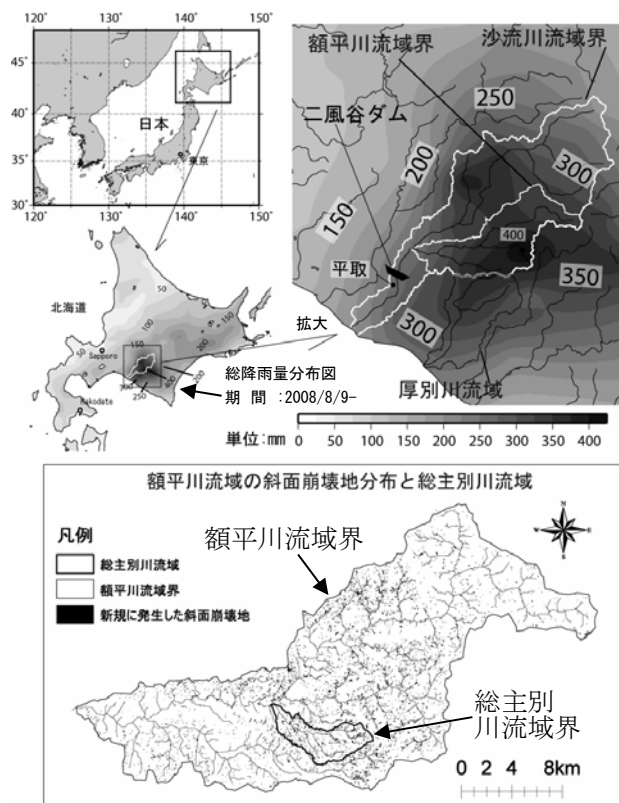


図-1 2003.8 豪雨時の等雨量線図（上段），額平川流域の斜面崩壊地分布・総主別川位置（下段）

面にくさび形の地質体として蓄積された堆積物²⁾とされる。総主別川流域の付加体堆積物に分類される領域では、急峻な山腹斜面で構成された勾配の急な溪流が形成され、

河床は直径2m程度のチャートや緑色岩などの硬質な礫から構成されている。一方、正常堆積物に分類される白亜紀の泥岩・砂岩の領域では、比較的緩やかな山地地形が形成され、河床には数ミリ以下の細かい泥岩が多く見られる。

3. 山地溪流の土砂生産

(1) 河道踏査

総主別川本川（延長約10km）、総主別川上流右支川（延長約1km）、三の沢（延長約2km）について、溪流の概要を把握することを目的として、図-2の区間で河道調査を実施した。調査は、簡易横断測量（本川20断面、右支川6断面、三の沢8断面）を実施し、踏査中のスケッチを元に簡易横断図（図-3）を作成した。簡易横断図は基本的に水準測量で作成し、その上に樹木や露岩などの記録をスケッチで加えてある。この記録は、例えば樹木の枝から何センチ下に河床があったかなど、厳密な標高の計測が困難な山地溪流での土砂移動量を把握する際の目印とできる。それ以外にも洪水による影響を受けないよう左右岸に1箇所ずつ控え杭または岩盤にタグを設置し、調査側線における目印とした。

図-4に右支川のルートマップを示す。右支川は付加体堆積物の領域に属し、溪流周辺の崩壊地は表層崩壊が多く、崩壊箇所の多くは基盤岩が露出している。また、河床にも露岩箇所が見られる。現地踏査で見た限りでは表土は厚くても数十cm程度であるが、斜面崩壊時に表層土砂と共に樹木などの植生も溪流に流入しており、SP400付近では流木が土砂と共に堆積するいわゆる流木ダムも形成されている。

また、右支川上流部では基盤岩の崩落箇所もみられており、表土だけではなく、崩壊した基盤岩も溪流に供給される可能性を示している。

図-5に三の沢のルートマップを示す。三の沢は白亜紀

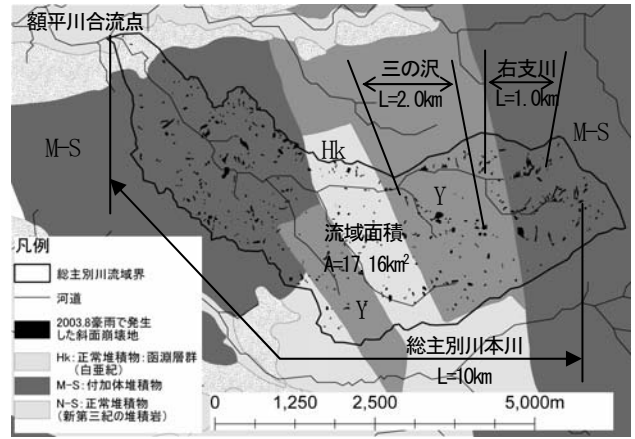


図-2 総主別川の地質分布と現地調査区間

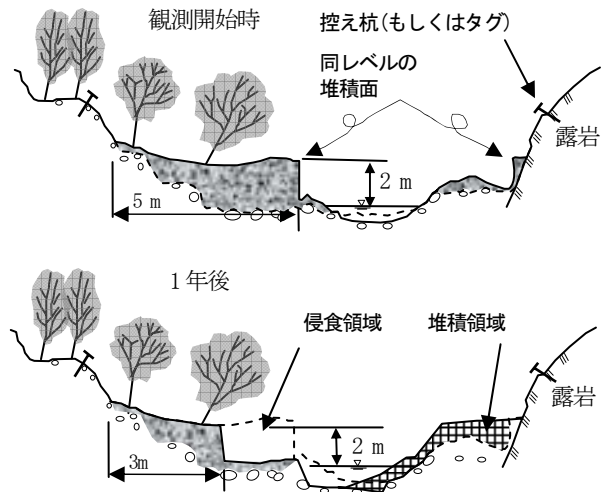


図-3 簡易横断図による出水前後の河床形状比較例

の比較的浅い海で堆積した蝦夷累層群（正常堆積物に分類）の地質領域に属する。図によれば、溪流周辺の斜面崩壊地は大半が地すべり状のものであり、河床付近には数ミリ以下に細粒化した泥岩が広範囲に見られたが、流水により湿潤環境下にある基盤岩は未風化の状態にあると

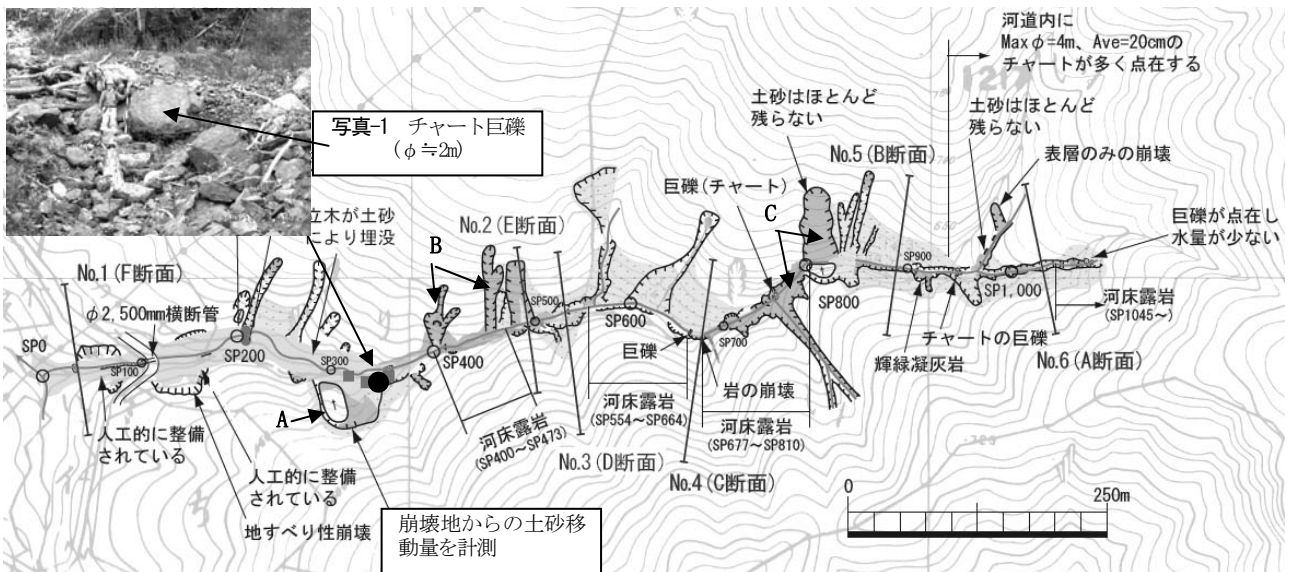


図-4 右支川ルートマップ（右支川調査区間は図-2に図示）

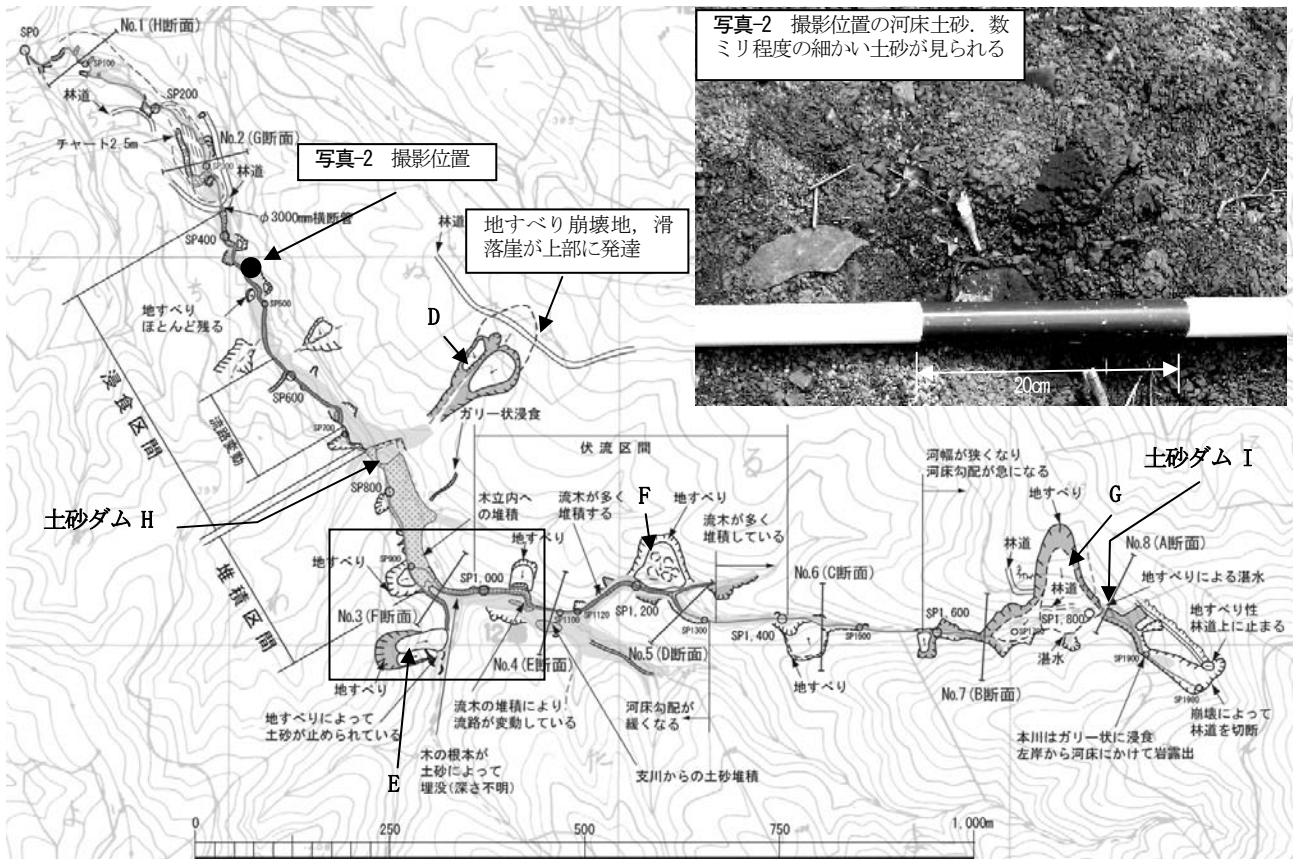


図-5 三の沢ルートマップ (調査区間概略位置は図-2 に図示)

見受けられるものもあった。また大規模地すべり箇所においては崩壊土砂が溪流を塞ぎ、土砂ダムが形成されたところもあった。

以上のように、近接する2つの溪流において、斜面崩壊の形態や河床材料の状況は大きく異なることが判明した。次に、2時期の簡易横断測量結果の比較(図-3)により、堆積・侵食領域の断面積を求め、踏査により作成したルートマップ(図-4、図-5)も参考に距離を乗じて侵食・堆積土砂量を求め縦断面図として整理し、図-6、図-7に示した。図は左側が下流で、右側が上流である。図の上部には河道勾配(度)を付記してある。図は調査溪流の土砂再移動量を平成17年11月～平成18年10月までの約一年間で求めた結果を示してある。淡灰色のバーは堆積量を示し、濃灰色のバーは侵食量を示す。折れ線は図右端の調査区間上流端から下流に向けて、侵食量を負値、堆積量を正値として累計したもので、調査区間における土砂の移動量を示す。右支川、三の沢とも堆積傾向にあるが、右支川は約300m³の堆積傾向、三の沢は約4,000m³の堆積傾向であったことが判明した。右支川は三の沢よりも河床が急勾配なのに土砂移動量が少ないのは、全般的に大きな粒径の土砂が多く、融雪や小規模出水では土砂が再移動しにくいものと考えられる。一方、三の沢は比較的緩い勾配であるが、河床に細かい土砂が多く、小規模な出水でも土砂が再移動しやすいものと考えられる。また、2溪流とも堆積傾向であるということ

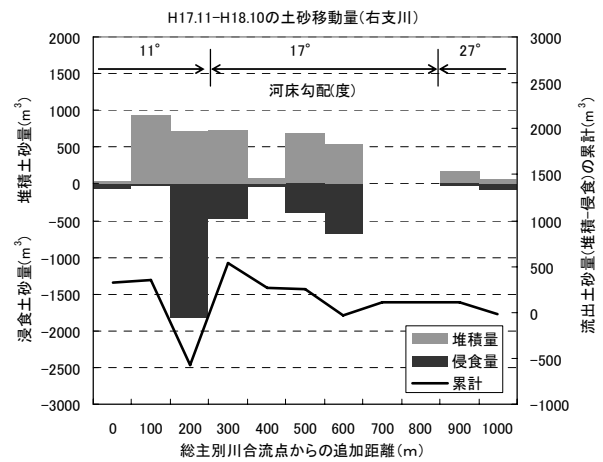


図-6 右支川の土砂移動量縦断面図

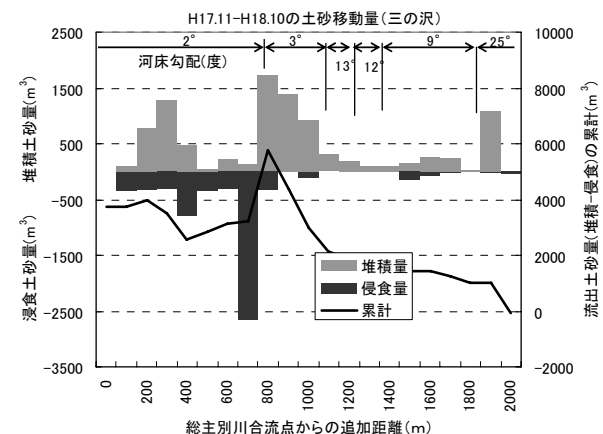


図-7 三の沢の土砂移動量縦断面図

は、さらに上流の溪流河床もしくは斜面から土砂が供給されていることを示唆するものと考えられる。

また、ここで行った現地調査では溪流沿いの情報しか得られていない。流域からの土砂生産を考える上で、例えば三の沢と同じ地質領域で地すべり状の微地形が判読できれば、同様な土砂生産特性である可能性は高い。北海道開発局では2005年、2006年にかけて北海道内の一級河川において航空レーザー計測（図-8）を行った。筆者らはこれらのデータと別途不足部分も入手し、総主別川流域全体の三次元データを作成し、調査流域の微地形判読を試みた。

4. 航空レーザー計測資料を用いた微地形判読

現地踏査を行った総主別川流域（流域面積約17km²）を対象に、赤色立体地図⁴⁾（以下レリーフ図）を作成した（図-9）。レリーフ図は急斜面ほどより赤くなるように調整した斜度図に、尾根ほど明るく、谷ほど暗くなるよう調整した尾根谷度図を重ねたもので、光源を単一方向で与えた陰影図に比べ、地形の変化が強調される特徴を持つ。図-9を概観すると、図の右側には比較的大きな谷から形成される地形、図の左側には比較的高低差のある谷が密集した地形、図の中央には、比較的緩やかな地形があることが読み取れる。図-9に示した地質のライン（点線）を見ると、付加体堆積物の領域が比較的急峻な地形から形成され、正常堆積物の領域が比較的緩やかな地形から形成されていることがわかる。レリーフ図を詳しく見ていくと、現地踏査で確認された表層崩壊の痕跡

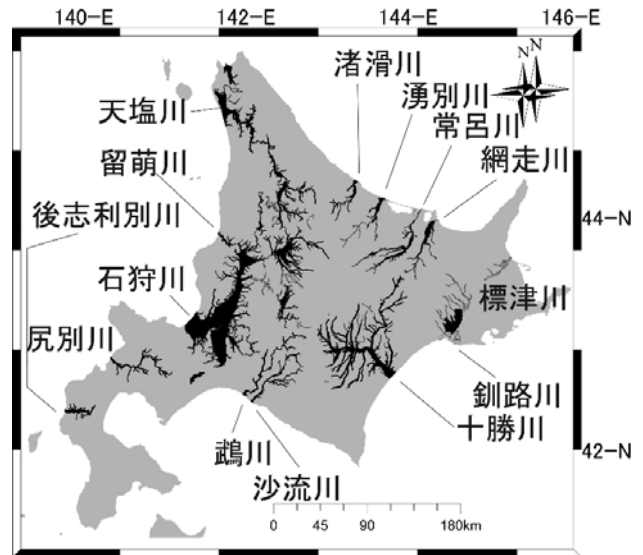


図-8 航空レーザー計測範囲（北海道開発局が2005年、2006年度に実施した範囲を黒色で図示。アジア航測株式会社、朝日航洋株式会社より入手したCAD資料より）

（図-9右上）が図上でも地表面が薄くはがれたような形で判読可能であることが判明した。また、地すべり崩壊地はルートマップ（図-5）で確認された溪流沿いの地すべり崩壊地がレリーフ図上でも再確認できた。参考まで、図-9中に示した白桦A、Bの領域を拡大し、図-10に示す。図-10 Aは総主別川上流域のレリーフ図であり、地質領域は付加体堆積物に属する。レリーフ図Aの真下に一部を拡大し、航空写真を並べてある。拡大されたレリーフAにも表層崩壊の痕跡が読み取れる。また、図-10 Bは

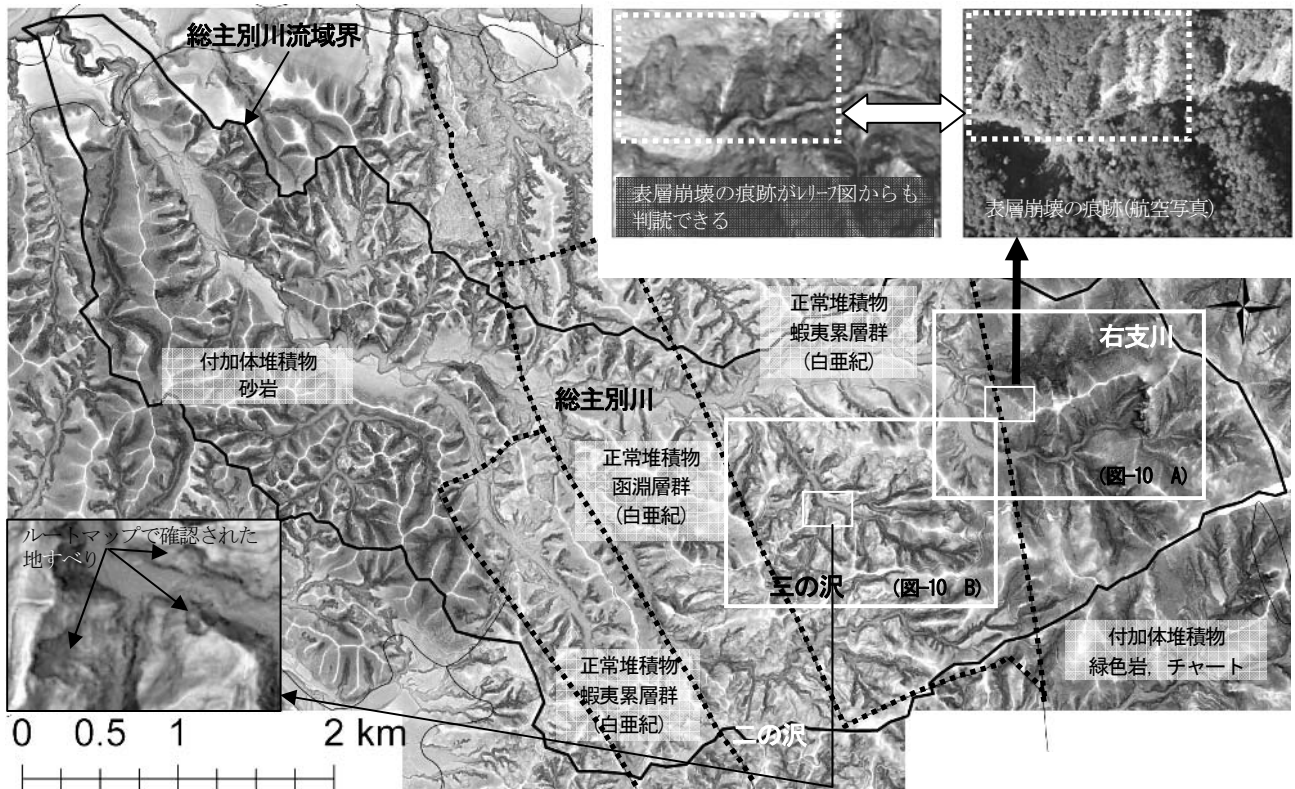


図-9 総主別川流域の地形及び地質分布（2006年度に北海道開発局が実施した航空レーザー計測結果を一部利用して作成した赤色立体地図²⁾をグレースケールで描画。峰や平地などが白っぽく、急斜面が黒っぽく表現されている）

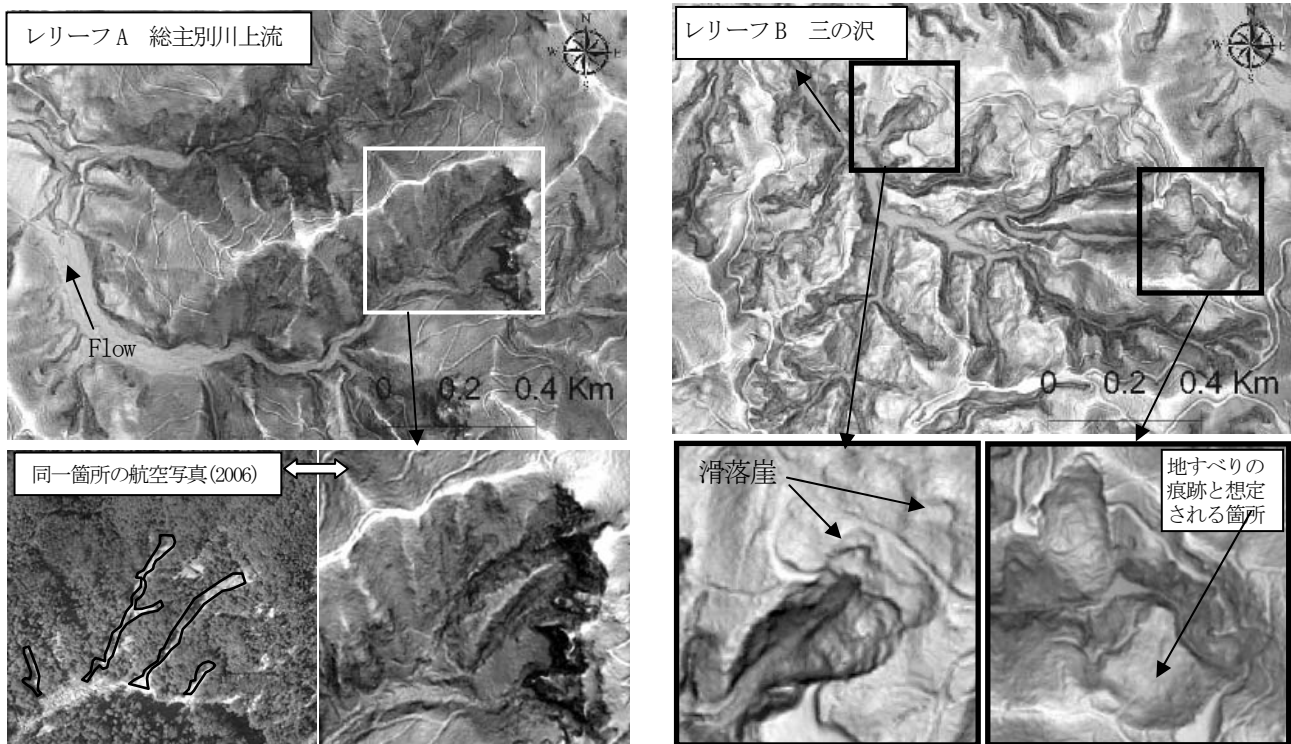


図-10 右支川及び三の沢における斜面崩壊状況の比較

三の沢周辺のリーフ図であり、地質領域は正常堆積物（白亜紀の泥岩）に属する。三の沢で行った踏査では、河道周辺で見られた斜面崩壊地は大半が地すべりを呈していた。リーフ図Bの部分をもさらに拡大すると、地すべり特有の滑落崖や、過去に発生したと思われる地すべりの痕跡などが読み取れる。前述の滑落涯は現地踏査で目視により林道付近では確認されていたが、リーフ図により詳細に滑落涯の広がり確認できた。

以上、航空レーザー計測結果をリーフ図にして判読してみると、谷の構造や斜面崩壊の形態は同じ地質領域内で概ね共通する傾向があるといえる。

次に、三の沢の現地踏査で把握された河床の細かい土砂はどのように生産されたのであろうか。現地調査中、崩壊した基盤岩の表面が細かく風化するいわゆるスレーキングを起こした泥岩（写真-3）を頻繁に見かけた。次章で、未風化の基盤岩を採取し、強制的に乾湿繰り返しを行う試験、露天下での暴露スレーキング試験を行い、現地の基盤岩の風化特性を調べてみた。

5. スレーキング試験による基盤岩の風化

ここでは、額平川流域を代表する地質に着目し、未風化の基盤岩を採取し、スレーキング率試験を実施した。スレーキング率試験は110℃で24時間乾燥し、常温に戻した後、常温の水に24時間浸漬するなど、強制的な乾湿繰り返しを5回行うもので、旧日本道路公団規格（JHS109）に準拠して行い、試験後に粒度分布試験を実施した。

対象とした地質は、正常堆積物（蝦夷層群（上部及び中部）、新第三紀の堆積岩類（N-S：フラヌイ層）、函淵層群類（Hk））、付加体堆積物（古第三紀～白亜紀の



写真-3 自然状態でスレーキングした泥岩

堆積岩類（M-S）の5地質とし、泥岩質を対象に未風化の基盤岩からサンプリングした。スレーキング試験後の粒度分布を測定した結果を図-11に示す。結果、正常堆積物のうち、新第三紀のものが最もスレーキングが進み、細粒化していること分かる。白亜紀の函淵層群、蝦夷層群がそれに続き、付加体堆積物の試料が最もスレーキングしにくいという結果になった。最も新しい地質であるN-S（新第三紀：フラヌイ層）は、試験後、ほとんど原型を留めないほど細粒化した結果となった。

次に、未風化の基盤岩が自然状態でどの程度の期間で風化が進行するのか、簡単な試験装置を作成し、大気下で暴露スレーキング試験を行ってみた。時期的に気温がマイナスになる場合もあり、単純に乾湿の影響以外に凍結融解による作用も加わった可能性があるが、未風化の基盤岩を大気下に暴露した場合、早いものは一週間程度

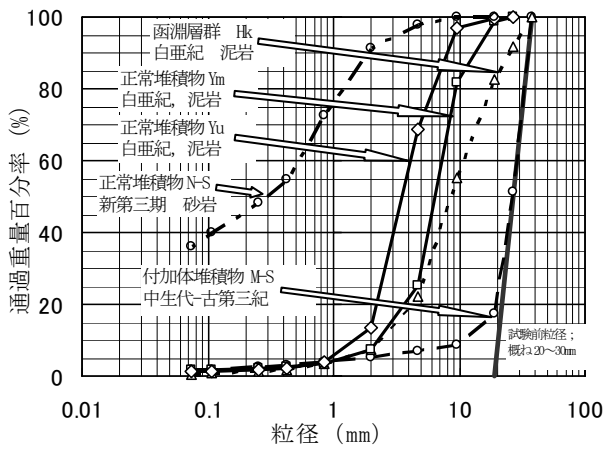


図-11 スレーキング試験結果

で風化を開始し、3週間経過後には数mm以下にスレーキングしてしまう(図-12)ものもあった。

5. 結論

現地踏査、航空レーザー計測から作成したレリーフ図の判読、基盤岩のスレーキング試験結果より、調査溪流で把握された土砂生産特性を以下に整理する。

(1) 正常堆積物(蝦夷累層群, 函淵層群) : 比較的緩い山地を形成し、地すべり地形が多く見られる。斜面崩壊した土砂には表土のほか崩壊した基盤岩も含み、大気下に暴露されて乾湿の影響を受けた基盤岩は容易に細粒化する。河床にはこうした細かくスレーキングした土砂が多く含まれるため、小規模な降雨イベントでも容易に再移動すると考えられる。レリーフ図によれば、地すべり地形の上方には滑落崖とみられる地形も見られ、今後の降雨イベントによっては地すべりが更に拡大する可能性が高いものもある。

(2) 付加体堆積物(緑色岩系) : 急峻な山地を形成し、基盤岩は玄武岩質溶岩由来の緑色岩や深海で堆積固化したチャートなど硬質なものが多く、スレーキングはほとんどしない。また、直径が1-2mに及ぶ大粒径の岩塊が河床に多く含まれるため、多少の降雨イベントでは土砂が再移動しにくいと考えられる。斜面崩壊は表層崩壊を呈すものが大半で、崩壊した土砂は表層の植生樹木の大半が河道に供給されると考えられる。

航空レーザー計測により作成したレリーフ図は、地質による微地形の違いを比較的明瞭に表現可能であるという点で、河川流域の地形特性を知る上で有効な表現のひとつであるといえる。しかしながら、地質毎の微地形の特徴と基盤岩の風化(スレーキング)特性の関連性や豪雨インパクトと斜面崩壊の関連性などについては、未知な部分も多く、また、流木ダムの形成(写真-4)により土砂移動が影響を受けている場合があるなど、山地溪流の土砂移動については今後も調査・解明の必要がある。

国土交通省が全国の一級河川流域で実施した航空レ

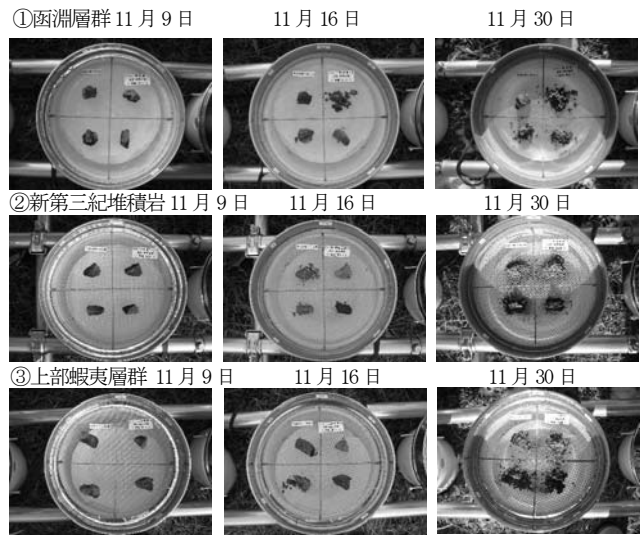


図-12 基盤岩の暴露スレーキング試験



写真-4 流木ダム (右支川 SP400 付近)

ーザー計測は、河川流域の治水安全度評価のために実施されたものであるが、河川流域からの土砂生産の特性を明らかにしていく上で、こうした資料や合成開口レーダー(SAR)により植生の影響を除いた地表面のDEMを得る手法⁴⁾なども有効活用していきたい。

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局の受託研究費による補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 流砂系の総合的な土砂管理に向けて、河川審議会総合土砂管理小委員会報告, Oct, 1998.
- 2) 地質基準：地質基準委員会編著, 共立出版, 2001.
- 3) 千葉達朗, 鈴木雄介, 平松孝晋: 地形表現手法の諸問題と赤色立体地図, 地図, vol. 45, No. 1, pp27-36, 2007
- 4) 「災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究」総合報告書, 国土交通省総合技術開発プロジェクト, 第IV編, pp16-21, 2003. 1.