

航空レーザー計測を用いた山地溪流の微地形判読と 基盤岩の風化傾向

STUDIES ON THE MICRO-TOPOGRAPHY OF THE MOUNTAINOUS WATERSHED USING AIRBORNE LASER ALTIMETRY AND BASE-ROCK SLAKING TENDENCY

村上泰啓¹・布田哲朗²・池島剛³

Yasuhiro MURAKAMI, Tetsuro FUTA and Tsuyoshi IKESHIMA

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 札幌市豊平区平岸 1-3)

E-mail:ymura@ceri.go.jp

²株式会社シン技術コンサル溪流保全部 (〒003-0021 札幌市白石区栄通 2 丁目 8-30)

E-mail:futa@shin-eng.co.jp

³日本工営株式会社国土保全事業部 (〒102-8539 東京都千代田区麴町 5-4)

E-mail:ikeshima-ts@n-koei.jp

Key Words: Airborne laser altimetry, Micro-topography, slaking, sediment yield

1. はじめに

豪雨により斜面崩壊が多発すると、山腹斜面から膨大な土砂が河道に流入・堆積する。流砂系の総合的な土砂管理¹⁾を進める上で、洪水時の土砂移動の量と質(粒径分布)のモニタリングが進められている。しかしながら、豪雨イベントによって斜面崩壊が多発し、山腹斜面の細粒分の多い土砂が溪流に流入した場合、多少の降雨でも土砂移動が容易になることが想定されるため、同規模の出水であっても移動する土砂量は豪雨イベントの前後で大きく変化すると考えられる。一級河川沙流川の支川額平川流域では、2003年8月豪雨により、4千箇所を超える斜面崩壊地が発生²⁾した。

筆者らの調査している沙流川流域は図-1に示す様に、プレート運動に由来した付加体堆積物、深成岩(蛇紋岩)、正常堆積物(白亜紀の蝦夷累層群、新第三紀の堆積岩など)などが混在している。一部溪流の現地踏査の結果、斜面崩壊の形態(地すべりや表層崩壊など)や基盤岩の風化特性などが地質別に異なる可能性が示唆された。調査流域において同様の傾向を示すか否かについては、これまでの現地踏査的な手法では極めて困難であった。筆者らは、付加体堆積物と白亜紀堆積物が交互に混在した総主別川流域について航空レーザー計測結果から詳細なレリーフ図を作成し、部分的な現地踏査で把握された微地形の特徴

がより広域な地質領域でも共通かどうかを明らかにし、さらに河川上流域から濁水が出やすくなったことに鑑み、基盤岩の風化特性について把握した結果をここで紹介する。

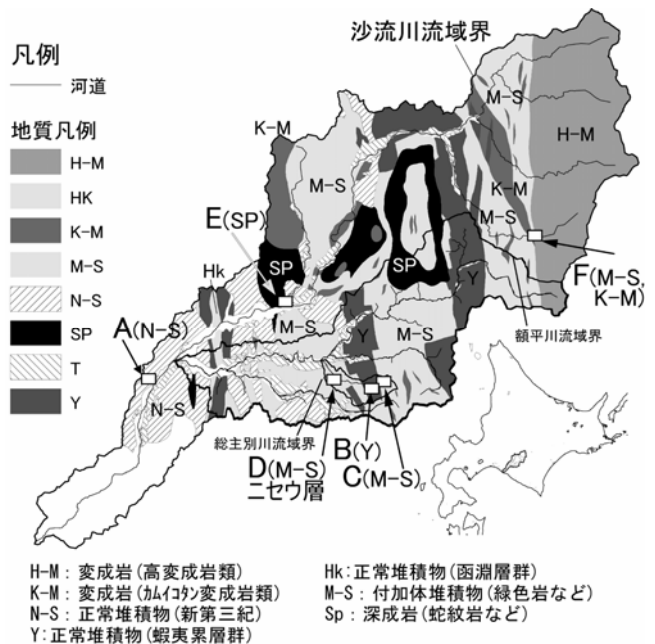


図-1 沙流川流域の位置及び概略地質分布。A-Fの記号(括弧は地質記号)で示された四角はレリーフ図(図-4)の図郭を示す。

2. 調査流域の地質分布と斜面崩壊の特徴

(1) 沙流川流域の地質の特徴

沙流川は、北海道の南部、日高山脈の西側に位置する流域面積約1350km²の一級河川である。沙流川流域の地質は、①正常堆積物、②付加体堆積物、③深成岩(蛇紋岩)、④変成岩(日高変成岩類)の4つに大別される。付加体とは、海洋プレートの沈み込みに伴い、海洋プレート上の堆積物が海溝の陸側にくさび型の地質体として蓄積されたものとされる³⁾。例えば、沙流川流域の付加体堆積物の領域では、海底火山の噴火により形成されたと考えられる枕状溶岩や、陸地から遠く離れた深海で堆積・固化したチャートといった硬質な岩石の分布がみられ、比較的急峻な地形を形成している。

2003年8月豪雨時、一級河川沙流川の二風谷ダム集水域(A=1,250km²)全体では31万箇所を超える斜面崩壊地が発生し、支川額平川流域(A=384km²)でも約4,000箇所の斜面崩壊地が新規に発生した。

(2) 地質別の斜面崩壊形態の違い

2003年8月豪雨後、額平川の支川、総主別川(図-1)は河道周辺の人為的な変化が少なく、最上流部までの林道復旧も早かったため、筆者らは河道沿いの現地踏査を行って地質によりどのような斜面崩壊の違いがあるかを調べてみた。この結果、付加体堆積物領域の溪流沿いでは表層崩壊が多くみられ、崩壊斜面や溪流の一部には基盤岩が露出している場合が多かった。一方、正常堆積物のうち、白亜紀の堆積岩である蝦夷累層群の溪流沿いの現地踏査の結果、地すべり状の斜面崩壊が大半で、崩壊した基盤岩の大半は風化(スレーキング)により数mm以下に細粒化している事例が広汎に見られた。

現地踏査結果から、斜面崩壊地の様相が地質により大きく異なることが明らかとなったが、同じ地質領域の他の溪流でも共通した現象(あるいは痕跡)が確認されれば、微地形の特性もほぼ同様であると推定することができる。近年の航空レーザー計測技術の進展により、地表面の解像度が例えば2mといった詳細な資料が得られるようになってきた。これにより、新規に発生した斜面崩壊の形状(地すべり、表層崩壊など)や、以前に発生していた地すべり地形なども把握できる可能性がある。

3. 北海道における航空レーザー計測

2005, 2006 年度に北海道開発局で実施した航空レーザー計測の範囲は、北海道全域の一級河川流域(石狩川、後志利別川、尻別川、天塩川、鶴川、沙流川、釧路川、標津川、十勝川、網走川、常呂川、湧別川、渚滑川、留萌川、声間川)の想定氾濫域や支川河道部分、胆振海岸、樽前山(火山)をカバーする(図-2)。北海道開発局が保有する資料には簡易オルソ画像、植生や建物上部からのレーザー反射パルスから生成された DSM(Digital

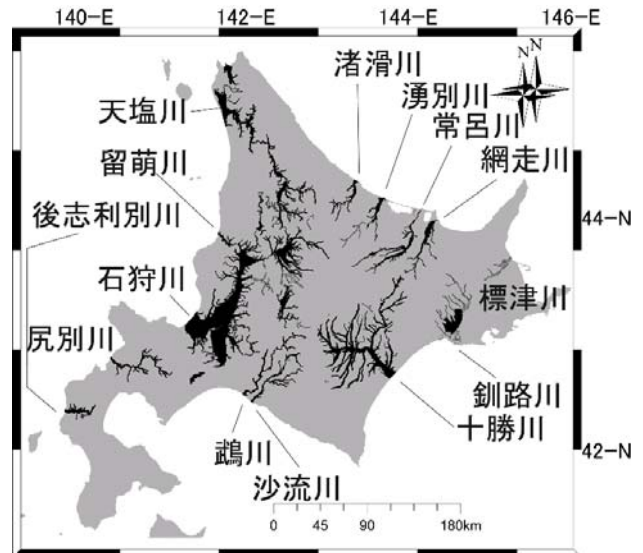


図-2 航空レーザー計測範囲(北海道開発局が2005年、2006年度に実施した範囲を黒色で図示。アジア航測株式会社、朝日航洋株式会社より入手したCAD資料より)

Surface Model)、植生や建物を除去したDEM(Digital Elevation Model)が含まれる。2007年度、寒地土木研究所では、これらデータの著作権を保有するアジア航測株式会社、朝日航洋株式会社とデータ利用(非商用目的に限定)に関する協定を結んだ。

4. 航空レーザー計測結果から作成したレリーフ図

北海道開発局の実施した航空レーザー計測結果を一部用い、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⁾(RRIM:Red Relief Image Map)を作成し、地質分布と併せて図-3に示す。赤色立体地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、地形がデフォルメされ、地形の微細な構造が容易に判読できる。図-3の総主別川上流域に分布する付加体堆積物の領域では、表層崩壊の痕跡(図-3右上)や、比較的急峻な谷が形成されている様子が伺えるなど、現地踏査結果を裏付ける傾向が判読された。一方、総主別川中流部の正常堆積物の領域では比較的穏やかな山地が形成され、地すべり地形(図-3左下)や地すべりが発生した証拠となる滑落崖が広範に判読され、これらも現地踏査結果と符合した。総主別川におけるレリーフ図により、地質により例えば溪流の密度が大きく異なることが示唆されたため、参考まで、沙流川流域における代表的な地質領域を6箇所選定し、同様のレリーフ図を作成し、図-4に示す。なお、図中A~Fの縮尺は全て統一しており、図郭は図-1に示した箇所である。次に、地質別のレリーフ図について、判読結果を現地踏査結果とともに述べる。

A: 正常堆積物(新第三紀堆積岩類)の領域: 基盤岩は砂岩・泥岩質で、比較的高低差のある入り組んだ谷地形を形成し

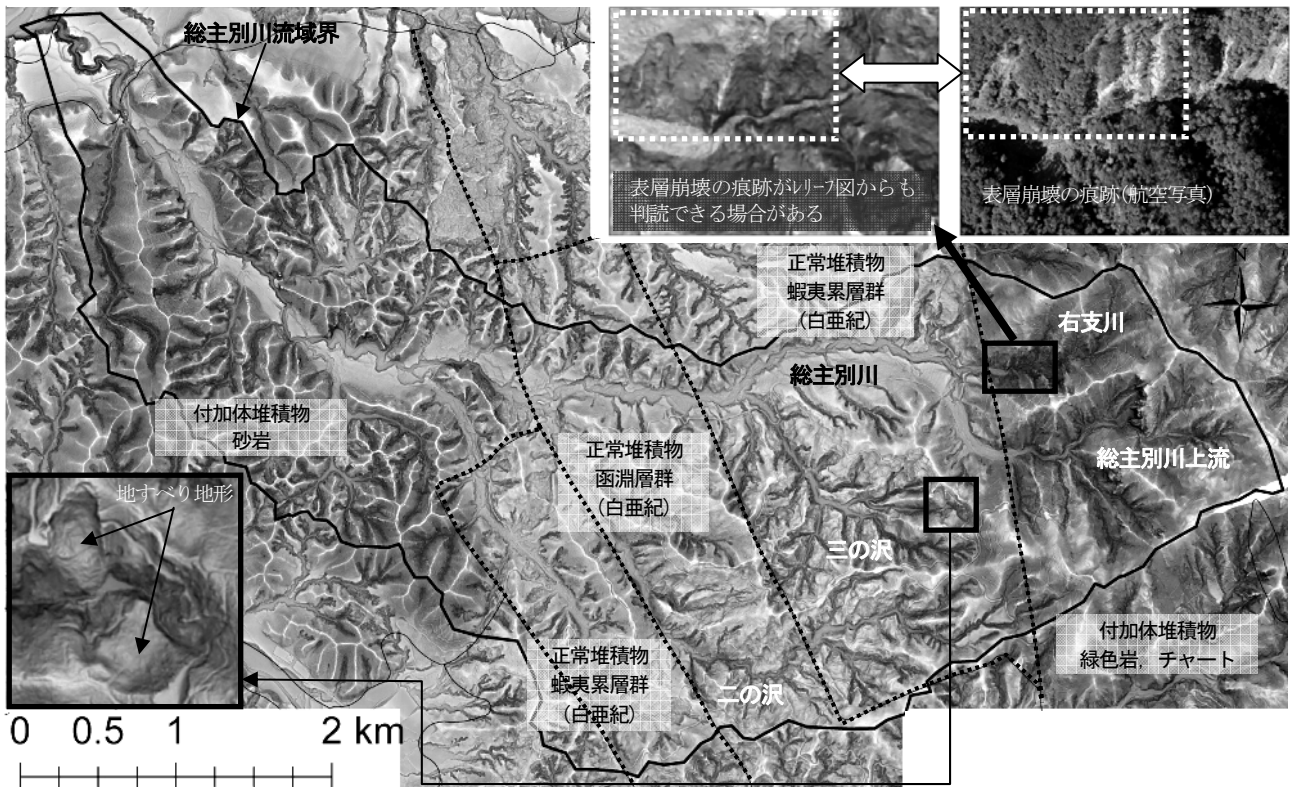


図-3 総主別川流域の地形及び地質分布 (2006年度に北海道開発局が実施した航空レーザー計測結果を一部利用して作成した赤色立体地図²⁾をグレースケールで描画。峰や平地などが白っぽく、急斜面が黒っぽく表現されている)

ている。現地踏査による2003年8月、2006年8月豪雨時の斜面崩壊の多くは表層崩壊によるものであった。

B: 正常堆積物(蝦夷果層群)の領域：基盤岩は砂岩・泥岩質で、比較的緩い山地を形成し、地すべり状の地形が多く見られる。地すべり地形の上方には滑落崖(例えば図-4B)とみられる地形も見られる。

C: 付加体堆積物(緑色岩系)の領域：海底火山から供給されたとされる緑色岩、凝灰岩、深海で堆積固化したチャートなどが含まれ、河床にはこうした基盤岩由来の河床材料が大半を占める。表層崩壊が大半であり、現地調査でもその傾向が確認されるが、レリーフ図にも痕跡(図-3右上)が認められる。ここで、山腹斜面の基盤岩上の表層土(概ね1m程度)が崩落し、基盤岩が露出して見られる個所を「表層崩壊」と分類している。

D: 付加体堆積物(ニセウ層)：基盤岩(砂岩、泥岩)は付加体由来と考えられており、現地踏査や航空写真判読の結果、表層崩壊が比較的多い。Cに示した付加体領域の地形よりも比較的侵食が進みやすい傾向を示していると考えられる。

E: 深成岩(蛇紋岩等)の領域：豪雨イベントで斜面崩壊した個所ではないが、蛇紋岩の露頭が沙流川本川右岸に露出しており、定点観測によれば、粘土状の流動的な蛇紋岩が緩慢に沙流川に流出している箇所である。レリーフ図によれば、地すべりでも表層崩壊でもない緩んだ地表面を呈している。

F: 付加体堆積物(イドンナップ帯)：白亜紀前期の付加体³⁾とされ、地質図によれば、砂岩・泥岩質の頁岩、チャート、

緑色岩などが含まれる。C, Dに示した付加体領域の地形と異なり、比較的大きく開いた谷が形成されている印象がある。Fの個所では現地踏査や航空写真判読を行っていないため、崩壊斜面の形状、基盤岩の風化傾向などは今後調査していく必要がある。

特に上記A, B, Cの図郭では、現地踏査で把握された地質別の微地形や斜面崩壊形態が、航空レーザー計測結果を用いて作成されたレリーフ図でも、概ね同様の特徴として把握可能であることが示唆されたといえる。斜面崩壊が多発した河川流域では、崩壊土砂の再移動が懸念される場所であるが、沙流川流域では特に白亜紀より新しい時代の正常堆積物(堆積岩)において、著しい風化(スレーキング)が認められ、細粒化した土砂が多少の出水でも再移動しやすく、発生した濁水が生態系に与える影響が懸念される。このため、次章では崩壊した基盤岩がどの程度スレーキングにより細粒化するかを室内・屋外スレーキング試験で確認してみた。

5. スレーキング試験による基盤岩の風化の程度

現地踏査を行った沙流川流域では、崩壊した斜面から供給された基盤岩の岩塊が短期間に風化(スレーキング)する現象がみられている。ここでは基盤岩にどのようなスレーキング特性があるか調べてみた。現地における観察では、スレーキングは主に正常堆積物(白亜紀、新第三紀)の地質領域において露岩した状態がみられ、地下水もしくは河川水により湿潤している個所ではスレーキングが進行しづら

い傾向がみられている。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たのち、スレーキング率試験を実施してみた。スレーキング率試験は110°Cで24時間乾燥し、常温に戻した後、常温の水に24時間浸漬するなどして、強制的な乾湿繰り返しを数回行うもので、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。スレーキング試験により元の粒径分布からどれだけ細粒化したかを図-5に示す。結果、正常堆積

物のうち、新第三紀のものが最も細粒化が進みやすく、白亜紀の函淵層群、蝦夷累層群がそれに続き、付加体堆積物の試料が最も風化しにくいという結果になった。言い換えると、地質が若い順（若い←新第三紀、上部蝦夷、中部蝦夷、函淵、中生代-古第三紀→古い）にスレーキング率が高くなっているともいえる。最も若い地質であるN-S（新第三紀：フラヌイ層）は、見かけ上ほとんど原型を留めない結果となった。

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（図-6）を作成し、大気中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（図-7）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

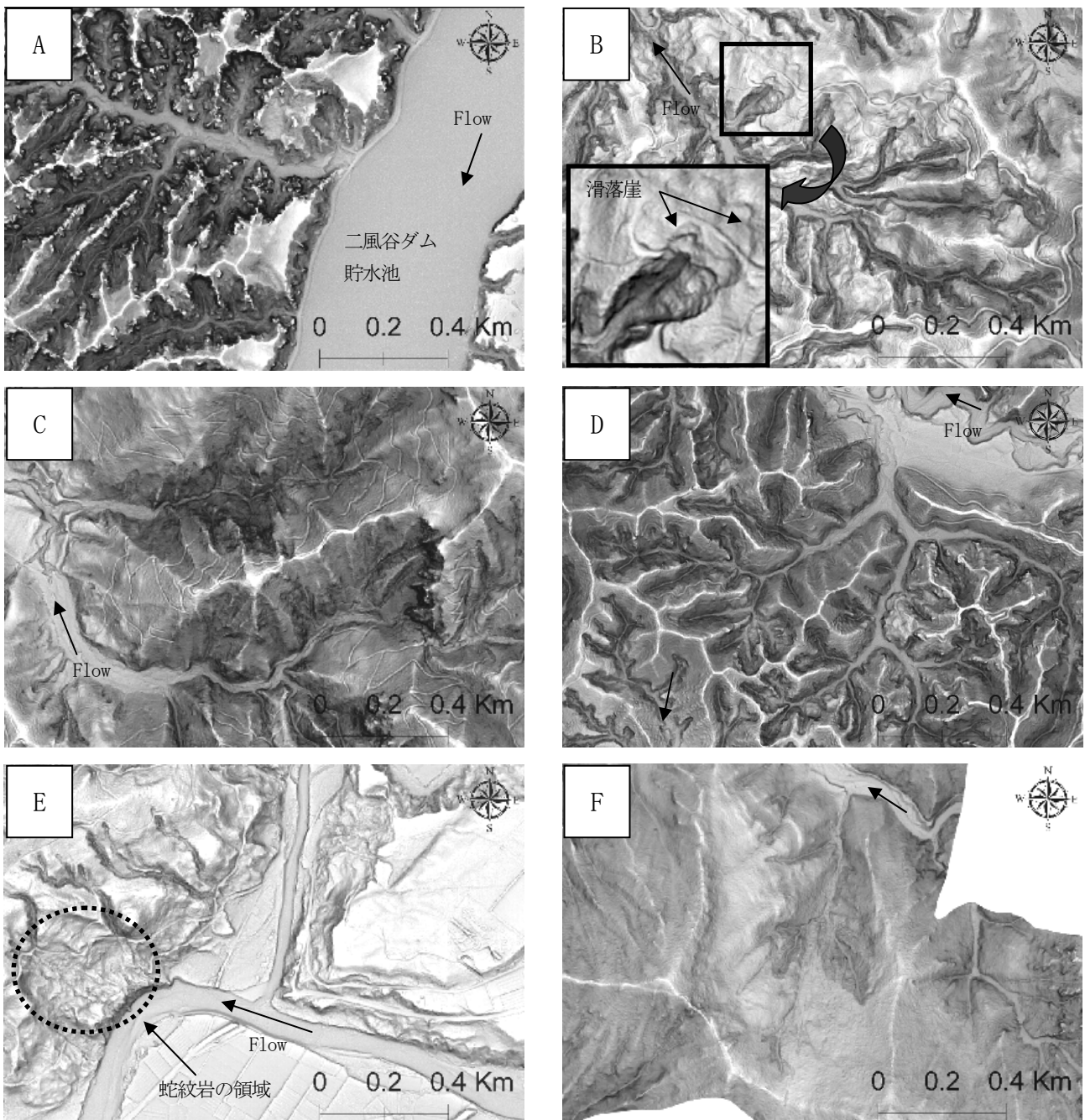


図-4 地質別にプロットしたレリーフ図。（急傾斜部分は暗く、峰や平坦な領域は白っぽく表現されている。）

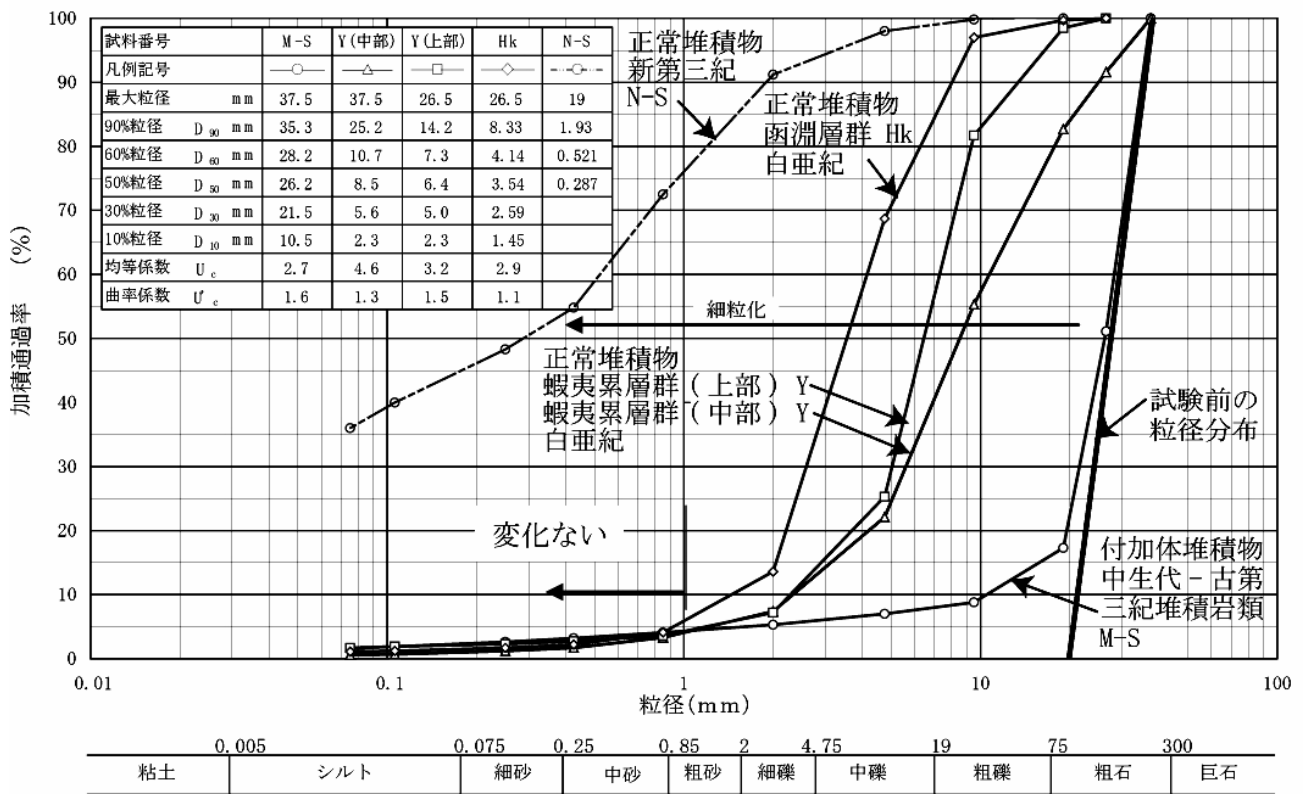


図-5 スレーキング試験結果

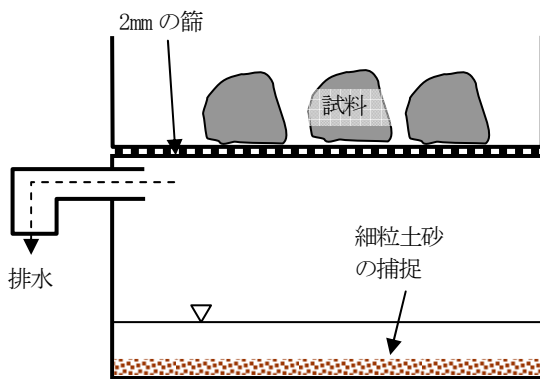


図-6 暴露スレーキング試験装置概要

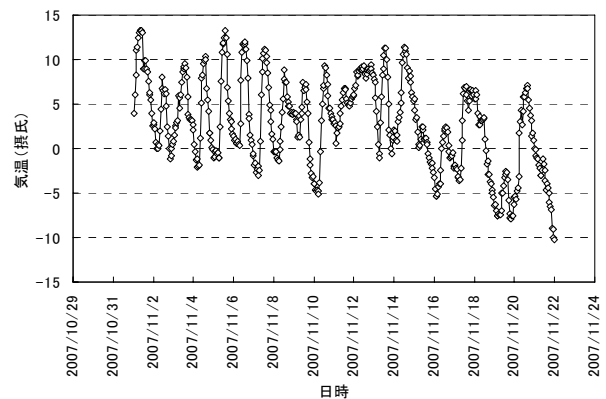


図-7 現地暴露試験時期を含む芽生観測所の気温変化

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-8)ものもあった。1ヶ月程度の試験期間中にスレーキングを起こさなかった基盤岩の種類もあったが、継続して観察していく必要があるといえる。

6. 結論

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、沙流川流域の調査個所における主な基盤岩の風化特性を以下に整理する。

(1) 正常堆積物(新第三紀堆積岩類)：基盤岩は砂岩・泥岩質で、比較的高低差のある入り組んだ谷地形を形成しており、斜面崩壊は表層崩壊が多い。試料中、最も風化が進みやすい。

(2) 正常堆積物(蝦夷累層群)：比較的緩い山地を形成し、地すべり状の地形が多く見られる。大気下に暴露されて乾湿の影響を受けたものは容易に細粒化するため、降雨により容易に溪流に流入し、流水により運搬されやすい。スレーキング特性と地すべりの関連性については今のところ不明であるが、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散見され、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と考えられる。

(3) 付加体堆積物(緑色岩系)：急峻な山地を形成し、基盤岩は玄武岩質の溶岩を主体とした緑色岩や枕状溶岩、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

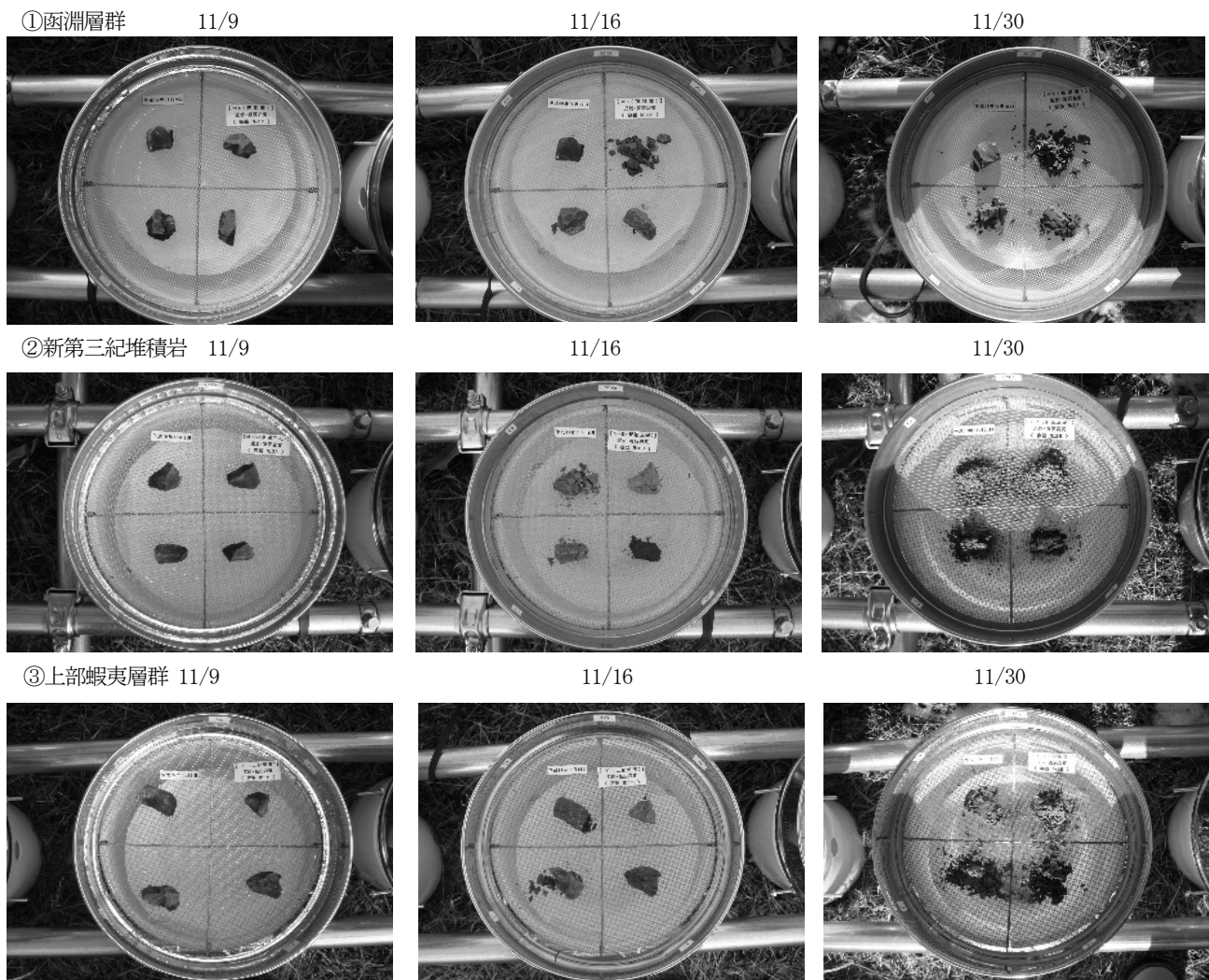


図-8 基盤岩の暴露スレーキング試験 (図-6 に示した試験装置を真上から見た状況)

呈し、基盤岩上の土砂・樹木の大半が河道に供給されると考えられる。

(4) 深成岩 (蛇紋岩等) の領域：図-4E のレリーフ図によれば、調査地点周辺では地すべりでも表層崩壊でもない緩んだ地表面 (クリープ斜面) がみられ、筆者らが実施中の定点観測によれば、蛇紋岩露頭部からは断続的に土砂が河川に流入している。

2003年8月豪雨災害では、沙流川流域の様々な地質領域で斜面崩壊が発生した。ここでは航空レーザー計測の結果から斜面崩壊の形態や微地形の特徴を明らかにすることを主眼に整理を行った。沙流川流域では豪雨の回数が増加傾向にあり、今後も斜面崩壊の機会が増えるものと推定される。

豪雨によりどれだけ土砂や流木が発生し、下流域にどれだけ到達し、その後の降雨イベントでどれだけ再移動するのか、といった予測は濁水の生態系への影響を知る上で貴重な情報となりうる。したがって、地質により斜面崩壊土砂の溪流への寄与度が異なる点や、河床材料の粒径分布が時間的に変化するという点を整理しておく必要があり、こうした意味で航空レーザー計測を用いた微地形判読が意味を持つものと考えられる。

国土交通省が全国規模で実施している航空レーザー計測は一級河川の河道周辺や平野部のデータが主に整備されている。しかしながら、未処理のデータも多くあるため、河川流域の微地形や斜面崩壊形状などの特性を明らかにしていく上で、今後、こうした資料の有効活用が期待される。

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) 河川審議会総合土砂管理小委員会報告：流砂系の総合的な土砂管理に向けて、0ct, 1998.
- 2) 土木学会水工学委員会：平成 15 年台風 10 号北海道豪雨災害調査団報告書，第 3 章，p45-65, 2004
- 3) 日本地質学会地質基準委員会編著：地質基準，共立出版，pp57, 2001.
- 4) 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
- 5) 植田雄人，宮下純夫：北海道イドンナップ帯付加体中のオフィオライトからみた残存島弧の地殻構成と層序 - フィリピン海残存島弧との比較 -，地学雑誌，112(5)，pp769-780, 2003.

(2008. 5. 16 受付)