

3. 厚真川支流東和川流域の胆振東部地震後3年目の土砂流出データ 及び山間河川自然流路観測での精度

A report on third-year river monitoring after the 2018 landslide event in a tributary catchment of the Atsuma River and potential errors in estimating discharge through an actively changing cross-section

古市 剛久¹・水垣 滋²・小山内信智³

Takahisa FURUICHI, Shigeru MIZUGAKI and Nobutomo OSANAI

¹ 森林研究・整備機構森林総合研究所 森林防災研究領域 特別研究員

² 土木研究所寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ水環境保全チーム 主任研究員

³ 政策研究大学院大学 教授

要 旨

2018年9月6日の北海道胆振東部地震で発生した斜面崩壊によって荒廃した厚真川流域における土砂流出の実態を捉えるため2019年4月に開始した東和川流域での観測を2021年も継続した。水位については10月の15日間の欠損期間を除き全期間で良好なデータ得られたが、河川計測・採水などの制約から土砂流出量を濁度データから見積ることが出来ず、浮遊土砂流出量は水位データから計算した暫定値として算出した。2021年の年降水量は1200.5 mmであり、2020年の797.5 mm, 2019年の849 mmより多かったが、2021年の比浮遊土砂流出量(暫定値)は251 t/km²/y であり、2020年の500 t/km²/y, 2019年の382 t/km²/y よりも少なかった可能性が高い。2021年のイベントでは12500 NTU (カオリン濁度25000度) を超える超高濁度流出は総雨量100 mmに近い大雨イベントでも記録されず、流出経路の固定化や地形の安定化が進んだことが示唆された。降雨流出に関しては、降雨量と河川水位(流量)との複雑な関係が、東和川流域内やアメダス厚真観測点まで含む空間スケールでの多様な降雨パターンを示唆することを今年も指摘した。また、河床の埋積・侵食が生じた場合に同一水深で流水断面積がどのように変化するかを調べ、河床変動に伴う流量見積の誤差を検討した。このような検討を基に本研究で得られている土砂流出データの精度(誤差)を議論していくこと、比浮遊土砂流出量の経年減少がどのような流域特性あるいは流出メカニズム変化の影響なのかを説明することを今後の課題とした。

《キーワード：東和川；土砂流出；経年変化；観測誤差》

3. 1. はじめに

2018年9月6日の早朝、北海道胆振地方中東部の地下約35 kmを震源とするM 6.7の内陸直下地震が発生した。その地震の揺れによって、東西約20 km、南北約20 kmの範囲に広がる地域で多数の表層崩壊が発生した。この地震性斜面崩壊イベント（以下、「2018年イベント」）の際立った特徴は、崩壊密度が非常に高いこと、崩壊土砂の主体が降下性火山砕屑物（テフラ）にほぼ限定できること、大量の崩壊土砂で谷底が面的に埋積されたことである。斜面脚部あるいは谷底面に堆積した大量の土砂は降雨イベントや融雪出水によって経年的に流域から流出すると考えられるが、土砂流出の期間や流域地形変化との関係には未解明な部分が多く、また流出し運搬された土砂が下流から沿岸域の環境に影響を与える可能性も指摘されている。筆者らは2019年4月に厚真川支流の東和川流域に水位計及び濁度計を設置し、降雨流出及び土砂流出の観測を行っており、2019年、2020年の観測データは当該年度毎の本助成金報告書で報告した。本報告書では、斜面崩壊イベント後3年目となる2021年1月1日～2022年3月12日の観測で得られたデータとそこから読み取れる流出の特徴、及び河床変動に伴う観測精度の変化についての検討結果を報告する。

3. 2. 東和川流域

東和川流域は厚真川流域の中流部左岸に位置し、東西方向に伸びる北支流と南支流からなる（図3-1）。流域の最高標高は234 m、最低標高は25 m、比高は209 m、面積は4.88 km²、平均傾斜は21.3°（標準偏差11.2°）である。流出観測を行った南支流の流域面積は2.95 km²である。南支流中流部から下流部、及び北支流は新第三系振老層、南支流上流部は新第三系軽舞層を基盤とする（図3-1）。これまでの報告によれば東和川流域での崩壊面積率はイベント地域内の他流域と比べても最も高く、表層崩壊は248箇所に上る。崩壊地の合計面積は1.1 km²、崩壊面積率は0.23である。斜面崩壊に伴って斜面下方へ移動した大量の土砂は東和川谷底面を上流から下流へほぼ連続的に埋積した。

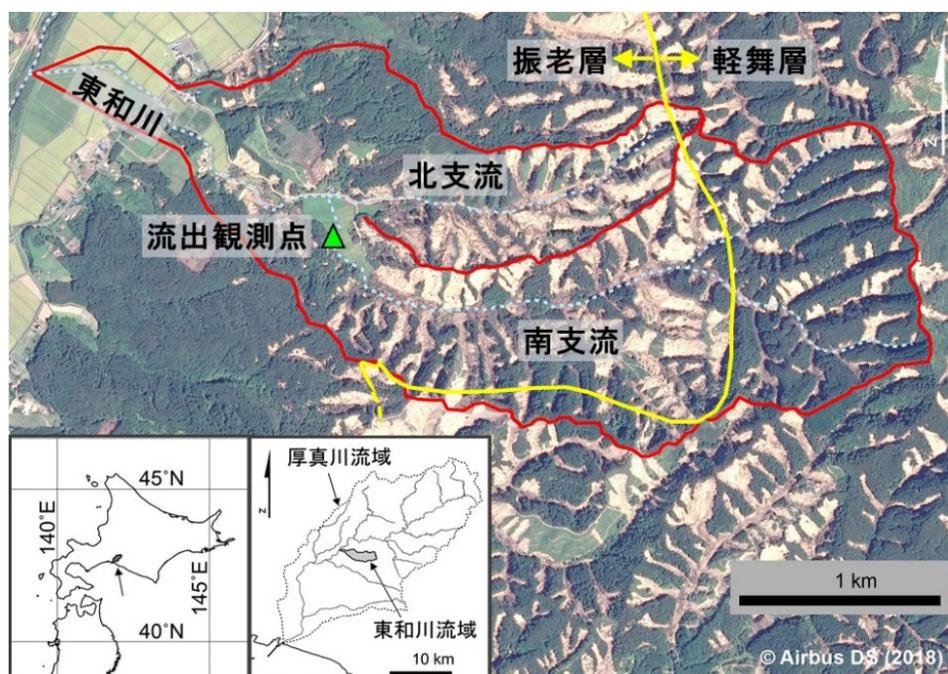


図3-1 東和川流域の流域界（赤線）、地質境界（黄線）、流出観測点の位置（緑三角）

3.3. 観測・計測方法

流出観測点として南支流埋塞部下流端付近（図3-1）に水位計，濁度計，水温計，インターバルカメラを設置した（図3-2）。水位計はこれまで使用してきたセンシズ製HM910及びデータロガーLM-1を本年も使用したが，濁度計と水温計は本年からObserver社製Analite NEP-595を使用した。昨年まで用いた北海道大学所有のJFEアドバンテック製小型メモリー濁度計Infinity-Turbiと同じスペックのInfinity-Turbi（寒地土木研究所所有）も設置し補足的な観測と異なる濁度計間の観測値比較（AnaliteのNTU値とInfinityのppm値）を行った。インターバルカメラはBrinno製タイムラプスカメラTLC200を用いた。

水位計保護用塩ビ管には多数の穴を開けた上で河床（砂礫）を5～10 cm程度掘り込んだ上でその塩ビ管を河床へ差し込み，水位計が河床のレベルに設置されるよう工夫した。水位データはデータ回収時にメジャーで水位を計測して水位計による観測値と対照させ，河床変化に対する補正を行った。

濁度計保護用塩ビ管にも多数の穴を開け，濁度計はその塩ビ管内に吊るし，センサー部が河床から10 cm程度になるよう設置した。濁度計には後方散乱方式センサーが装備されている。濁度データ（Analite）は，濁度の変化パターン，水位との関係，インターバルカメラ画像やデータ回収時に現地で確認したサイト（濁度計）の状況を基に判定を行い，異常値を除外した。2021年の観測では，厳冬季が明けた3月26日にAnaliteを設置して10分間隔での計測を開始し（Infinityの設置は2020年3月4日），厳冬期を迎える2021年12月17日に撤収して観測を終了した。水位観測およびタイムラプスカメラ撮影は厳冬季も含め通年実施した。2020年に引き続き，2021年も新型コロナウイルス感染症拡大防止に伴う現地調査の制約から，採水や流速計測などの現地作業が計画通りには進まず，新規に設置した濁度値（NTU）から浮遊土砂量を換算するための採水試料が特に高水位時に得られなかった。そのため，浮遊土砂濃度，流量，土砂流出量の算出はこれまでと同様に2019年に得られた水位と流量，流量と浮遊土砂量の関係式から土砂流出量を暫定的に見積もった。今後継続する調査で高水位時を含めた採水試料を増やしてデータを整え，追って本年の濁度計データを反映した見積もりを行う予定である。雨量データはアメダス厚真における時間雨量を用いた。流量観測点からアメダス厚真観測所までは直線距離で約4 km離れている。積雪の観測はアメダス厚真では行っていないため，アメダス穂別のデータを用いた。



図3-2 流出観測サイトでの観測機材設置状況

3. 4. 結果と考察

(1) 降雨イベント

2021年の年降水量は1200.5 mmであった（2020年は797.5 mm，2019年は849 mm）。2021年における日最大雨量は77.5 mm（8月10日）、日雨量15 mm以上の降雨イベントは19回あった（うち4回は2日間連続；**図3-3**）。日雨量が50 mm以上のイベントは2回で、6月4日の55.5 mm，8月10日の77.5 mmである。加えて、日雨量が40 mm以上のイベントも3回，日雨量が30 mm以上のイベントも2回あった。2021年の総雨量は2020年の総雨量を約50% 上回ったが，融雪期に降った日雨量10 mm 以上降雨は3月2日の29.5 mm，3月21日の18.5 mm，3月29日の13 mm である（**図3-4 (a)**）。2020年は3月10日に63 mmの大雨が降り，大規模な融雪期土砂流出を引き起こした。

(2) 年間流出の特徴

2-1) 降雨流出

10月11日～25日の15日間の欠損期間を除き，水位についてはほぼ全期間で良好にデータが得られた。2021年の河川横断面における基底流量水位は約10 cm程度と見られ，乾燥が強まった期間及び厳冬期には10 cm以下になる。これまでの観測データ同様に，ハイドログラフによる水位低減は緩やかであり，基盤の堆積岩及びその風化層への雨水の浸透と緩やかな流出が強く示唆される。

2021年は水位が30 cm を上回る流出イベントが11回あり，最大水位は11月10日の74.4 cmであった。水位が30 cm を上回る流出イベントでは，融雪期の3月を除き，日雨量15 mm以上が記録されている。しかし，日雨量15 mmを超えた19回の降雨イベントでも，水位が20 cm を超えたのは15回であり，4/13（日雨量18.5 mm），4/30（同22 mm），5/29（同20 mm），9/30（同40.5 mm）の降雨イベントでの水位は20 cmを下回っているなど，雨量と水位との関係は複雑である（**図3-3**）。このことは東和川南支流域約3 km²のスケール及びアメダス厚真観測点との約4 kmの距離における降雨パターンの多様性を示唆していると考えられる。また，注目されるのは日雨量の年最大値を記録した8月9日～10日の2日間雨量93.0 mmの大雨での水位は43 cmに留まり，年最高水位は11月9日～10日に降った2日間雨量85.5 mmの大雨での水位は73.5 cmに達したことである（**図3-4 (b)**）。日雨量100 mmに近い大雨イベントにおいても，東和川南支流域内で，あるいはアメダス厚真観測地点と東和川流域との間で，降雨パターンが様々に変化している可能性が示唆される。

2-2) 土砂の高濃度流出

新設した濁度計Analiteのデータ（計測単位：NTU）と当初2ヶ年使用したInfinityのデータ（高濃度センサの計測単位：ppm）との比較によれば，Analite NTU 値とInfinity ppm値との比は概ね1：2である。欠測期間の流出を除き，2021年に濁度5000 NTU（カオリン濁度約10000度＝浮遊土砂濃度7.3 kg/m³）を超える高濃度の浮遊土砂流出イベントは8回あり（4月29日，5月17日，5月27日，6月5日，10月11日，10月16日，11月9日，11月22日），最高濁度は11210 NTU（約22420度＝16.4 kg/m³）に達した（**図3-3**）。しかし観測初年度の2019年に記録された25000度（34.8 kg/m³）あるいは40000度（55.9 kg/m³）を超える濁度には至っておらず，1年目に見られた超高濃度土砂流出イベントは2年目同様に3年目にも見られなかった。このことは，2年目に引き続き流出流路の固定化や地形の安定化が進んだことを示唆する結果と言える。また，5000 NTUを超える濁度を記録したイベント雨量は，上記日付順に，26.5 mm，41.5 mm，28 mm，55.5 mm，27.5 mm，30.5 mm，94.5 mm，21.5 mmであり，東和川流域における高濁度流出は日雨量20 mmを超えると発生する傾向があることが2021年のデータからは読み取れる。

2-3) 土砂流出量

水位データから計算された東和川南支流における2021年の年間浮遊土砂流出量（暫定値）は741.7 t/yであり、年間比浮遊土砂流出量（Specific suspended sediment yield）は251 t/km²/yである（表3-1）。年雨量が2020年を約50%上回るにも関わらず、年間浮遊土砂流出量は2020年を下回っている。浮遊土砂流出量は高水位イベントの影響が大きく、2020年は3月の融雪期に年間浮遊土砂流出量の70%に近い流出を記録した非常に大きなイベントがあったことが2020年の年間土砂流出量を年雨量に対して大きくした主要因であったと考えられる。

胆振東部地震後1年目に当たる2019年4月11日～12月4日の約8ヶ月間における観測での比浮遊土砂流出量は382 t/km²、2020年は499 t/km²、2021年は暫定ながら251 t/km²と見積もられ（表3-1）、流域荒廃が起こった後、2年目は融雪期の大出水の影響で増えたが、3年目には1年目（年雨量849 mm）に比して減っている可能性が高い。雨量が増えたにも関わらず土砂流出量が減ったことになり、その要因としての地形変化、植生変化に注目して分析することが課題として残された。

表3-1 東和川南支流における2019年～2021年の浮遊土砂流出量と年雨量

Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution
2021.01	0.2	0.0%	2020.01	4.0	0.3%			
2021.02	1.8	0.2%	2020.02	1.7	0.1%			
2021.03	23.7	3.2%	2020.03	1019.6	69.2%			
2021.04	157.6	21.3%	2020.04	54.1	3.7%	2019.04 (partial)	15.8	1.4%
2021.05	7.0	0.9%	2020.05	27.0	1.8%	2019.05	27.9	2.5%
2021.06	26.4	3.6%	2020.06	15.3	1.0%	2019.06	108.0	9.6%
2021.07	4.3	0.6%	2020.07	41.9	2.8%	2019.07	20.7	1.8%
2021.08	9.3	1.3%	2020.08	29.9	2.0%	2019.08	715.6	63.5%
2021.09	4.7	0.6%	2020.09	127.8	8.7%	2019.09	116.1	10.3%
2021.10	9.5	1.3%	2020.10	32.1	2.2%	2019.10	85.5	7.6%
2021.11	477.1	64.3%	2020.11	102.7	7.0%	2019.11	27.4	2.4%
2021.12	20.0	2.7%	2020.12	18.2	1.2%	2019.12 (partial)	10.6	0.9%
Total	741.7		Total	1474.4			1127.5	
	251.4 t/km ² /y			499.8 t/km ² /y			382.2 t/km ² /y	
Rainfall	1200.5 mm/y			797.5 mm/y			849.0 mm/y	

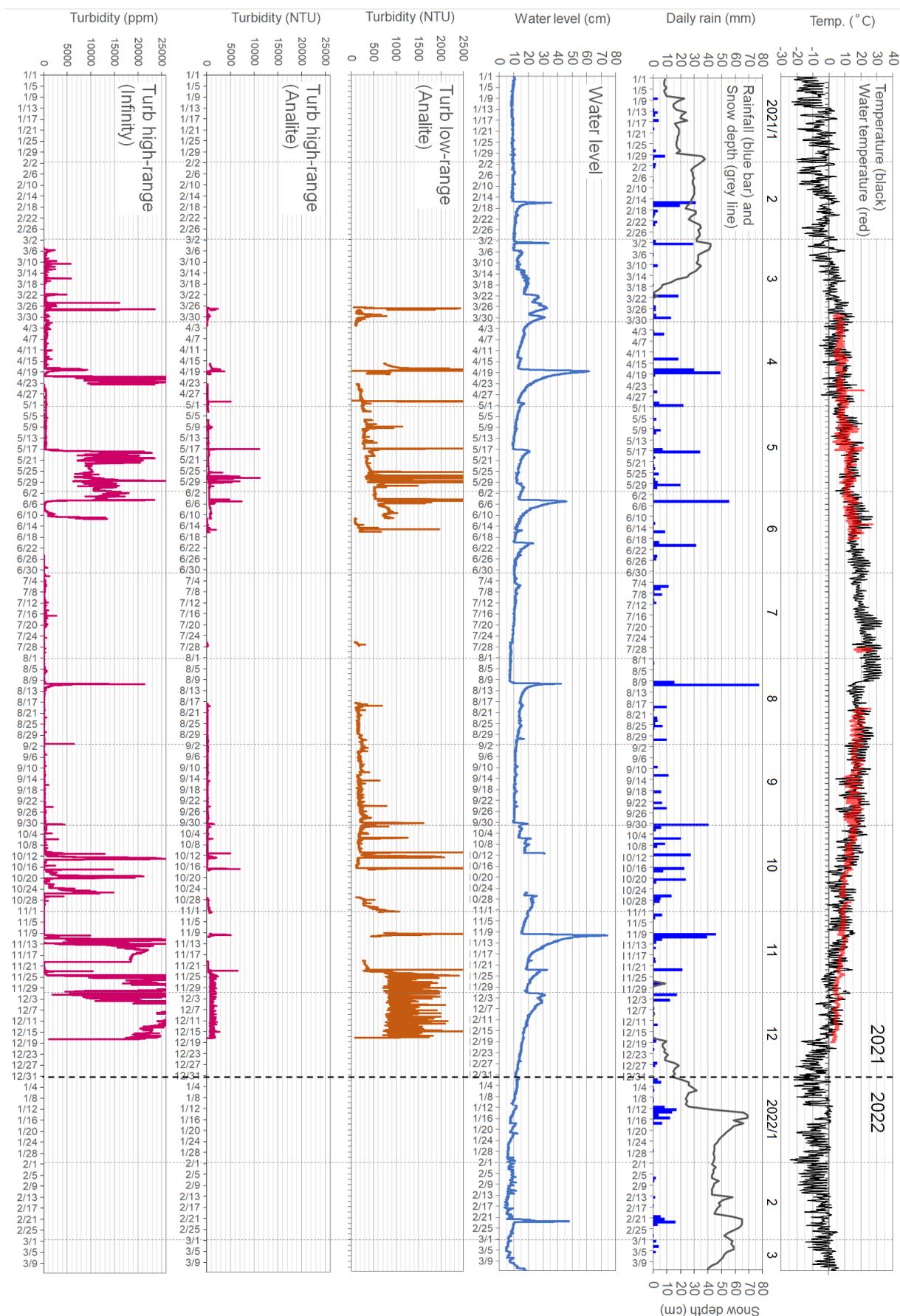


図3-3 東和川観測点での土砂流出に関する2021年1月1日～2022年3月12日の観測データ。気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ。Analiteデータは異常値を除外したもの。Infinityデータは観測値のまま

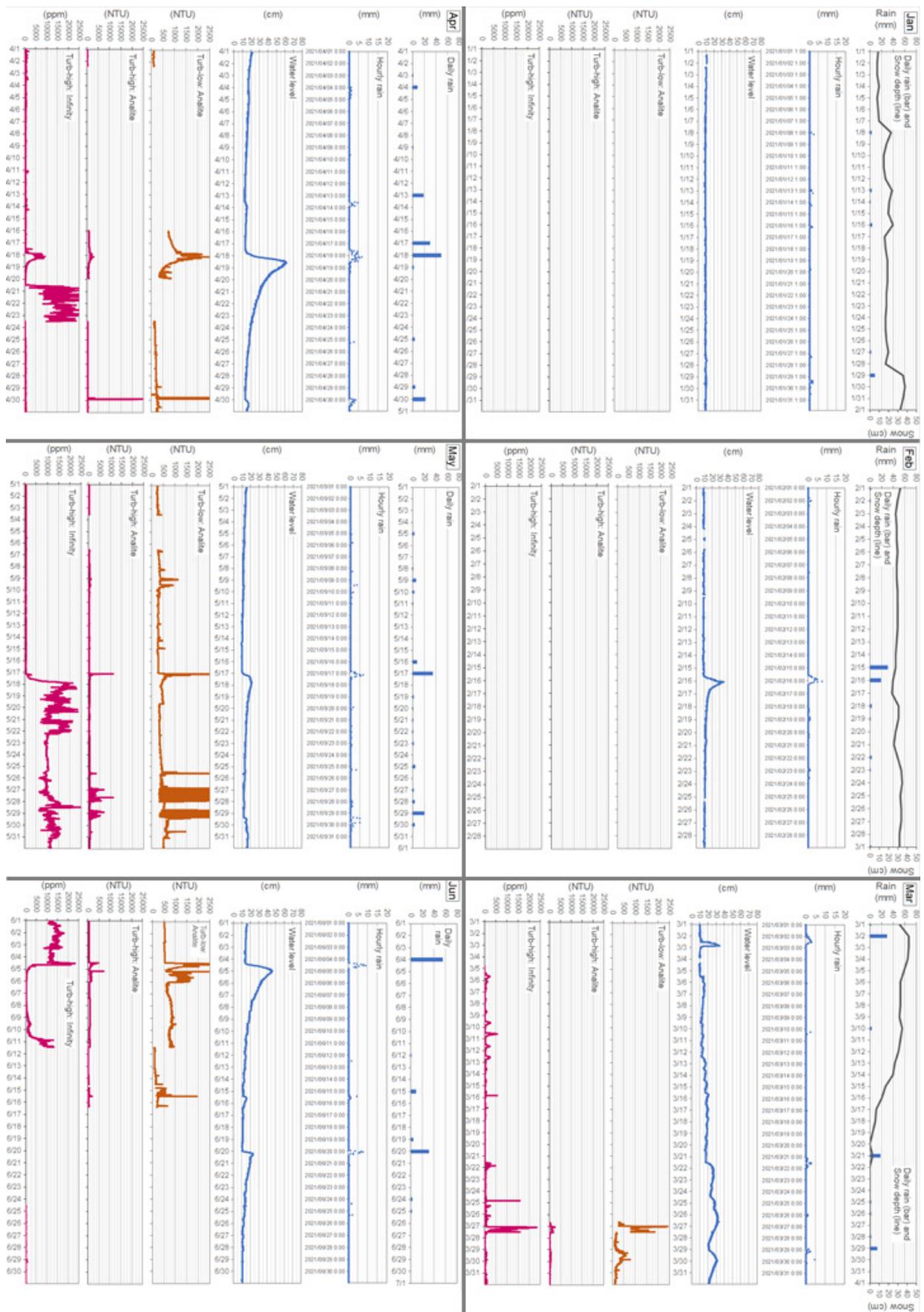


図3-4 (a) 東和川観測点での土砂流出に関する2021年1月～6月の月別観測データ。気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ。Analiteデータは異常値を除外したものの。Infinityデータは観測値のまま。

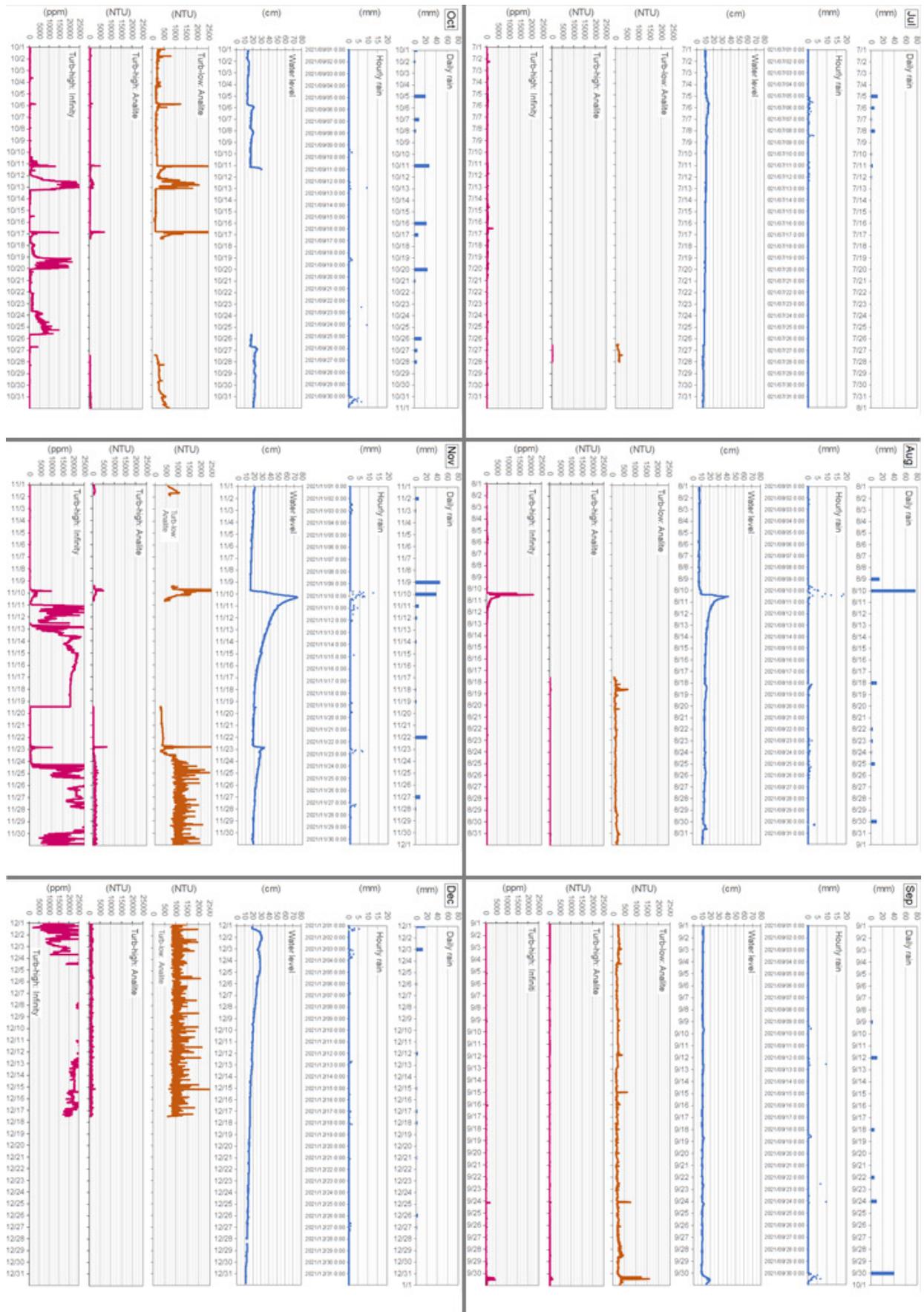


図3-4 (b) 東和川観測点での土砂流出に関する2021年7月～12月の月別観測データ。気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ。Analiteデータは異常値を除外したもの。Infinityデータは観測値のまま。

(3) 山間河川自然流路観測での精度

東和川南支流の流域面積は2.95 km²であり、その流域からの流量は観測点における2021年の最大値で0.98 m³/s、その際の水位は約74 cmであった。この規模の河川において観測用の堰や固定流路を建設するには相応の資源が必要であり、本研究では自然流路での観測を行ってきた。2019年の観測開始以来、この自然流路での観測における最大の課題は河床変動への対応であったと言える。多数の斜面崩壊により荒廃した流域からは大量の土砂が流出し、河床の縦断形・横断形は活発な侵食・堆積プロセスにより変動していたと考えられる。そのような河川での観測では、理論的には、河床形を変化させる出水ごとに河川横断形と流速を計測し、水位・流量曲線、流量・浮遊土砂量曲線を更新して当該期間に適用する必要がある。しかし、遠隔地にある流域で高頻度に、特に高水位を捉えて計測作業を行うことは必ずしも容易ではない。この状況への対応の一つとして、ここでは河床形の変化によって流量にどの程度の違いが生じるかを検討した。

まず、2019年の観測開始以降の河床形変化を見ると（図3-5）、2019年8月の出水イベントで河床面が30 cm程度上昇し、それ以降の河床最下部（滞筋）のレベル変化は一定の範囲にあることが分かる。2019年8月以降の河床変化としては、滞筋付近に設置した水位計の維持管理作業を通じて得たデータから、河床最下部（滞筋）が5~10 cmの範囲で埋まり／掘れる変化が短期的に起こり、その変化を繰り返していることが分かっている。

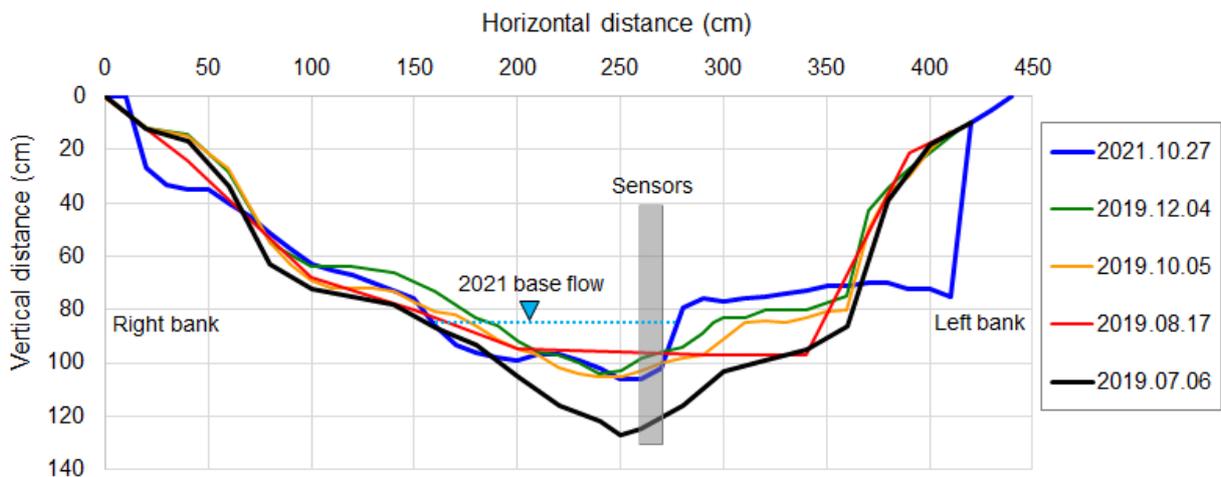


図3-5 東和川観測点での2019年～2021年の河床変化。2019年8月17日の計測では測点間隔が他の4回の計測（20 cm間隔）に比べ大きくとられているが（50 cm間隔）、概形への影響はない

この河床最下部の埋積と洗堀による計測値への影響を検討する目的で、2021年10月の河床横断形を用いて、河床最下部が埋まった際に一定の水深（水面レベルが上がる）で河川横断形面積（流水断面積）がどのように変化するかを調べた。その結果、水深が20 cmあるいは40 cmの場合、河床最下部が10 cm埋まった水流横断面では埋まらない場合に比べ流水断面積が約60%増加し、水深が60 cmの場合は流水断面積が30%増加することが分かった（図3-6、表3-2）。水深が深くなるに従って、変化の割合は基本的に小さくなるが、流量変化の絶対値は大きくなる。逆に、水深10 cmの場合は変化の割合は170%という大きな値であるが、総流量への影響は限定的である。この結果からは、河床堆積が10 cmあった場合、水深が40 cm程度までの出水では河床の状態に応じて60~70%程度の誤差が生じ、水深が40 cmから70 cmにかけては誤差の割合は20%前後まで漸減していく可能性があることが分かった。河床堆積が小さくなるに従ってこの誤差は小さくなる。流量は横断面積に流速を乗じた量であるため誤差評価に当たっては河床レベルに応じた水深毎の流速変化も踏まえる必要があるが、現時点ではその測定データは得ら

れておらず、今後の課題となる。そうした検討を通じて本研究で得られている土砂流出データの精度（誤差）について議論していくことは今後の重要な課題である。

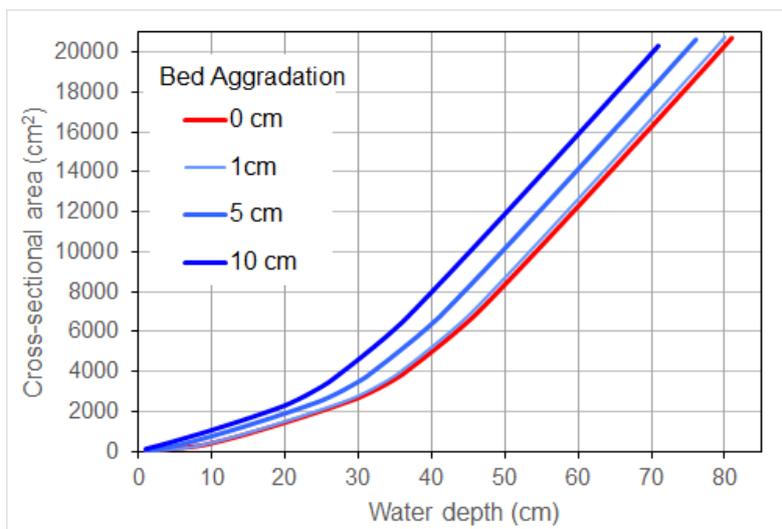


図3-6 2021年10月の河床横断面形を用いて計算した河床埋積に伴う水深と流水断面積の関係。河床最下部が埋積される（河床が上がる）に従って同一水深での横断面積は増加する

表3-2 2021年10月の河床横断面形を用いて計算した河床埋積に伴う水深と流水断面積の関係

Water depth (cm)	Bed aggradation							
	0cm		1 cm		5 cm		10 cm	
	area (cm ²)	area (cm ²)	dif.	area (cm ²)	dif.	area (cm ²)	dif.	
10	378	454	20.1%	750	98.4%	1034	173.5%	
20	1412	1516	7.4%	1893	34.1%	2275	61.1%	
30	2653	2805	5.7%	3483	31.3%	4583	72.7%	
40	4961	5243	5.7%	6383	28.7%	7965	60.6%	
50	8343	8717	4.5%	10178	22.0%	11892	42.5%	
60	12270	12656	3.1%	14153	15.3%	15894	29.5%	
70	16272	16663	2.4%	18180	11.7%	19947	22.6%	

3.5. まとめ

2021年の水位については10月にあった15日間の欠損期間を除き、全期間で良好なデータ得られた一方、2020年同様にコロナ禍の下で観測サイトの維持管理や河川計測・採水などに制約があり、土砂流出量を濁度データから見積もることが出来ず、浮遊土砂流出量は水位データから計算した暫定の見積りとなった。12500 NTU（25000度）を超える超高濁度流出は総雨量100 mmに近い大雨イベントでも起こらなかった。この変化に関する地形変化や植生変化など流域特性変化の影響とメカニズムを検討することが今後の課題となる。河床の埋積・侵食に応じた流水断面積の変化を計算し、河床埋積・侵食に伴う流量見積の誤差を検討した。この検討では河床レベル変化に応じた流速変化データを組み込むことが出来れば更に詳細な誤差評価が可能であり、その点などを含め、本研究で得られている土砂流出データの精度（誤差）について更に議論を進めることが重要である。これら課題を念頭に置き、今後も観測を継続して経年的な視点から流出特性の変化を捉えていく予定である。

謝辞

本研究は北海道河川財団研究助成「北海道胆振東部地震における厚真川流域の土砂災害に関する分野横断型調査研究」(代表：泉典洋)の助成を受けた。また本研究の一部は、(国研)土木研究所の基盤研究課題「地震により発生した崩壊土砂の斜面上および河道内での移動実態の解明に関する研究」で実施されたものである。