

## 5. 厚真川支流東和川流域での胆振東部地震後2年目の流出観測： 融雪季の降雨による大量の土砂流出

Second-year river monitoring after the 2018 landslide event in a tributary catchment of the Aduma River: Large discharge of suspended sediment in the snow-melting season

古市 剛久<sup>1</sup>・水垣 滋<sup>2</sup>・小山内信智<sup>3</sup>

Takahisa FURUICHI, Shigeru MIZUGAKI and Nobutomo OSANAI

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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2020年も継続した結果、2020年にはカオリン濁度10,000度（浮遊土砂濃度7.3 kg/m<sup>3</sup>）を超える高濃度での浮遊土砂流出イベントが4回あったが、最高濁度は18,000度（13.0 kg/m<sup>3</sup>）程度であり、2019年にみられた25,000度（34.8 kg/m<sup>3</sup>）あるいは40,000度（55.9 kg/m<sup>3</sup>）を超える更に高濃度の土砂流出は起こらなかった。2020年の年間土砂流出量は1,105 t/y、年間比浮遊土砂流出量は375 t/km<sup>2</sup>/yと見積もられた。2019年4月中旬～12月中旬の8ヶ月間の土砂流出量は1,127 t（比浮遊土砂流出量382 t/km<sup>2</sup>）であったことを踏まえると、2019年の8ヶ月間の観測値には融雪季の流出量が含まれていないため、2020年の年間流出量は2019年の年間流出量に比べ有意に少なかったと考えられる。この変化については、降雨パターンの違いと流域変化の面から検討する必要がある。また、降雨イベントのうち総雨量が50 mm以上を記録した融雪季（3月）と夏季（8月）の2回の降雨流出イベントのデータからは次のことが分かった。（1）融雪季には水流出と土砂流出が気温の変動に平行して日周期変動を見せ、総雨量80 mm、最大時間雨量9.5 mmの降雨で濁度が10,000度を超える高濁度土砂流出となった。（2）夏季のイベントでは1.5日の間に3回あった降雨ピークのそれぞれに応答して濁度ピークが現れ、300度、1,900度、8,500度と次第に濁度が上昇した。また、強雨時（水位上昇時）に一時的に水温が上昇することは地中水よりも直達雨や表面流（夏季なら地中水より高温）の寄与が高くなった。

《キーワード：東和川；土砂流出；高濁度；融雪出水》

## 5. 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の内陸直下型地震が発生した。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年の観測データは昨年度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2年目となる2019年12月4日～2021年3月5日に実施した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を報告する。

## 5. 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 km<sup>2</sup>、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 km<sup>2</sup>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 km<sup>2</sup>、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。

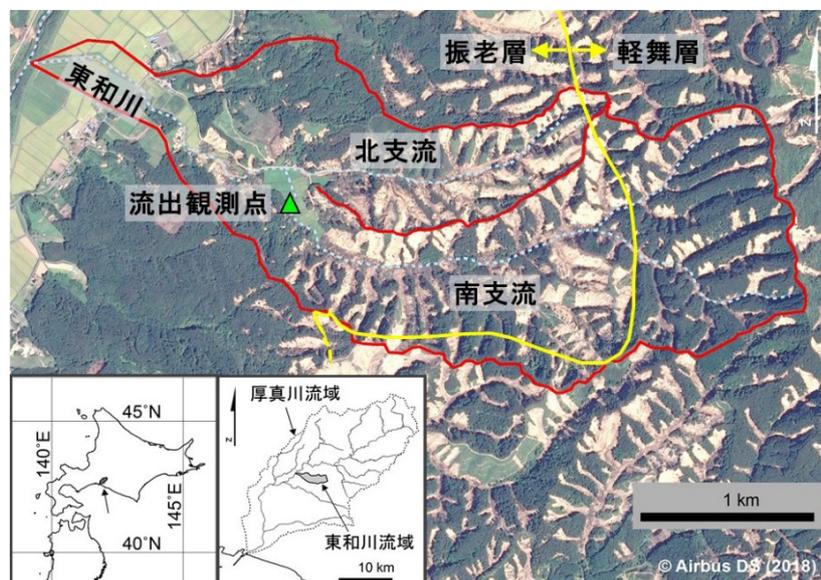


図1 東和川流域の流域界（赤線）、地質境界（黄線）、流出観測点の位置（緑三角）

## 5. 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1）に水位計、濁度計、水温計、土砂サンプラー、インターバルカメラを設置した（図2）。水位計はセンシズ製HM910及びデータロガーLM-1、濁度計と水温計はJFEアドバンテック製小型メモリー濁度計INFINITY-Turbi（ATU75W2-USB）、土砂サンプラーはフィリップス型サンプラー、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親水性不織布を巻き付け、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。濁度計には中濁度用(0-1200 FTU; ホルマジン濁度)と高濁度用(0-100,000 ppm; カオリン濁度)の後方散乱方式センサーが装備されている。濁度計を用いた観測データにはスパイクやノイズが生じることがあり、異常値として取り除く必要がある。その作業として、濁度の測定では1測定につき1秒間隔で10回計測し、計測した濁度を値でソートして最大から3つ、最小から3つを取り除いた中央の4つ値の平均値を濁度値とした。その上で、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。土砂運搬量の計算では基本的に1200 FTUまでは中濃度用センサーの値、それ以上の濃度では高濃度用センサーの値を用いることとした。また、濁度データが得られなかった期間は、昨年と同様に、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見積もった。

2020年の観測では、昨年度2019年12月4日に撤収した濁度計を厳冬季が明けた2020年3月4日に再設置して10分間隔での計測を再開し、厳冬期を迎える2020年12月5日まで観測した（同日撤収）。水位は厳冬季も継続して計測を行った。

2020年は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、出水時を含む採水試料の分析及び流速値に基づく流量算出には対応できず、濁度－浮遊土砂濃度換算式、水位－流量曲線、流量－浮遊土砂量曲線は更新されなかった。そのため、浮遊土砂濃度、流量、土砂流出量の算出は2019年のデータを用いて行った。

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2 流出観測サイトでの観測機材設置状況

## 5. 4. 結果と考察

### (1) 降雨イベント

2020年の年降水量は797.5 mmであった（2019年は849 mm）。2019年12月4日～2021年3月5日の期間における日最大雨量は63 mm、日雨量15 mm以上の降雨イベントは15回あった（図3の(1)～(15)；うち1回は2日間連続）。日雨量が50 mm以上のイベントは2回で、3月10日の63 mm、8月30日の52.5 mmである。

8月29日～9月18日の21日間には3～4日毎に降雨イベントが続き、総雨量は153 mmにのぼった。

## (2) 年間流出の特徴

### 【土砂の高濃度流出】

2020年にはカオリン濁度10,000度（浮遊土砂濃度7.3 kg/m<sup>3</sup>）を超える高濃度の浮遊土砂流出イベントが4回あり（図3の (a)～(d)；3月10日，9月6日，11月13日，11月20～21日），最高濁度は18,000度（13.0 kg/m<sup>3</sup>）に達した。しかし昨年2019年に記録された25,000度（34.8 kg/m<sup>3</sup>）あるいは40,000度（55.9 kg/m<sup>3</sup>）を超える濁度には至っておらず，高濃度土砂流出イベントでの土砂濃度の相対的な低下は流域荒廃後1年目から2年目で流域の状況が変化したことの影響である可能性も指摘できる。

注目されるのは夏から秋の台風に伴う大雨が少なく（8月30日の52.5 mm/dの雨は秋雨前線），年間最大の流出イベントは低気圧から伸びる前線による3月10日の雨が融雪を促した降雨性融雪流出イベントであったことである（このイベントについては（3）で考察する）。また，10,000度を超える高濁度の流出イベントのうち，2回のイベントの降水量は際立った大雨ではなく，11月13日は7.5 mm/d，11月20～21日はそれぞれ14 mm/dと11.5 mm/dという本州であれば珍しくない降雨に伴う流出イベントであった。昨年の報告書で指摘した通り，アメダス厚真観測点と東和川観測点では降雨パターンが異なる可能性があるが，そのことと共に，東和川流域は10 mm/d程度の降雨でも土砂が高濁度で流出する状況にあることを示している可能性がある。

今後は土砂の高濃度流出の実態と変化に注目し，流域の地形や植生の変化を捉える試みを検討していく。

### 【土砂流出量】

東和川南支流における2020年の年間浮遊土砂流出量は1,105 t/yであり，年間比浮遊土砂流出量(Specific suspended sediment yield) は375 t/km<sup>2</sup>/y である（表1）。春の融雪季に当たる3月に降雨性融雪流出イベント（3月10日に降った63 mm/dは年間最大の日雨量イベント）で非常に大きな流出があり（（3）参照），3月の月土砂流出量は684 tにのぼった。この流出量は年間流出量の62% を占めた。その一方，夏から秋の流出は台風の大雨ではなく前線性の降雨による流出であり，連続する3ヶ月で最大雨量となった9～11月の土砂流出量（263 t）は年間土砂流出量の24% に過ぎなかった。

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は，この間の浮遊土砂流出量は1,127 t，比浮遊土砂流出量は382 t/km<sup>2</sup>と見積もられ，8～10月の3ヶ月間に観測期間（8ヶ月間）の81%（917 t）の流出が起こった。8ヶ月間の観測値には融雪季の流出量が含まれていないため，2020年の年間流量は2019年の年間流出量に比べ有意に少なかったと推察される。流域荒廃が起こった後1年目から2年目にかけて土砂流出量が減ったことになるが，その要因として，降雨パターンだけでなく，流域の地形や植生に変化があったかどうかを検討していくことを今後の課題の一つとしたい。

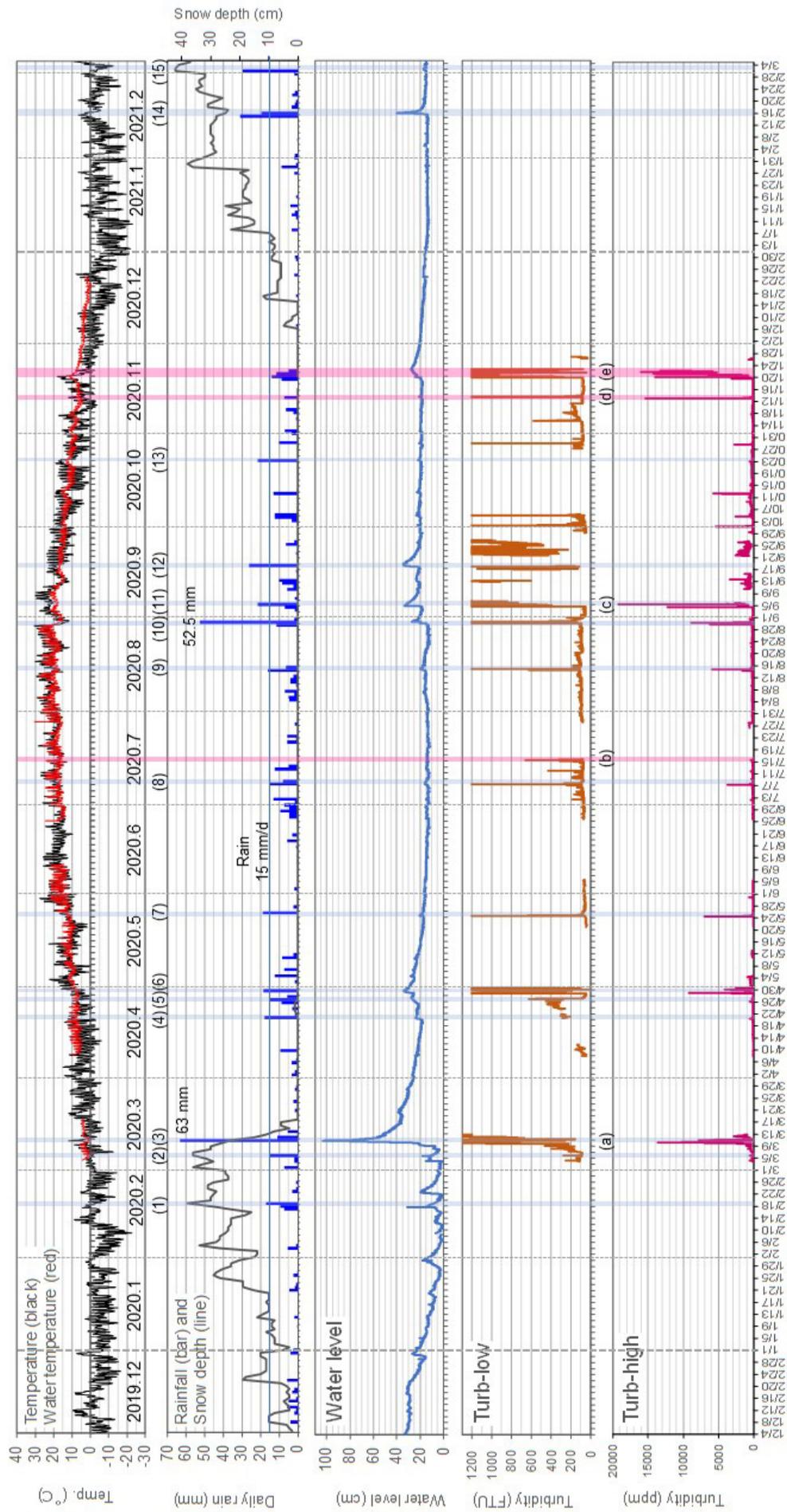


図3 東和川観測点での土砂流出に関する2019年12月4日～2021年3月5日の観測データ。気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ。水色帯は日降水量15mm以上のイベント（15イベント；日が連続するケースは全体で1イベント）、赤帯は日雨量15mm未満でカオリン濁度10,000 ppm以上のイベント（3イベント；連続する日で10,000ppmを超えるケースは全体で1イベント）。

表1 東和川南支流における2020年と2019年の浮遊土砂流出量

Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution
2020.01	4.0	0.4%			
2020.02	1.7	0.1%			
2020.03	684.2	61.9%			
2020.04	54.1	4.9%	2019.04 (partial)	15.8	1.4%
2020.05	27.0	2.4%	2019.05	27.9	2.5%
2020.06	7.4	0.7%	2019.06	108.0	9.6%
2020.07	15.9	1.4%	2019.07	20.7	1.8%
2020.08	29.9	2.7%	2019.08	715.6	63.5%
2020.09	127.8	11.6%	2019.09	116.1	10.3%
2020.10	32.1	2.9%	2019.10	85.5	7.6%
2019.11	102.7	9.3%	2019.11	27.4	2.4%
2020.12	18.2	1.7%	2019.12 (partial)	10.6	0.9%
Total	1105.0			1127.5	

### (3) 融雪季の降雨流出イベント

総雨量50 mm以上降った3月10日～3月13日（主体は3月10日午後）のイベントは積雪期間末のイベントであり、融雪季における降雨流出イベントの特徴が明らかになった<sup>1)</sup>。

降雨イベント前の3月5日には雪が降り積雪深が増したが、3月6日～10日午前は無降雨期間であり、気温は日ごとに上昇し、夜間の最低気温は3月7日のマイナス12°Cから3月10日にはプラスに転じ、日中の最高気温もプラスで推移し、積雪深は減少した（図4）。東和川の水位・濁度は気温の変動と平行して日周期の変動が認められ、この間は積雪深が減少しており、斜面では日中に融雪が進みその水が河川へ流入したことで、融雪流出に伴って斜面で表面侵食が起こったことが示唆される。この期間の夜間と日中の気温変化はマイナスとプラスを行き来しており、融雪時の侵食には霜柱による表土の攪乱も影響したことが窺われる。

3月10日午後からの降雨イベントでは、降雨と気温上昇による著しい積雪深の減少がみられ（図4）、崩壊地斜面でも融雪が進んだ。東和川の水位は降雨直後から急激に上昇し、濁度は水位上昇中（10日19時）に10,000度を超えるピークが現れている。東和川の水温は気温の上昇とは逆に降雨直後から低下し0°C付近を推移していることから、顕著な水位上昇に融雪水の流入が大きく寄与していることが示唆される。水位ピーク（11日9時：図5）に先行して濁度ピークが観測されたことから、河床堆積土砂の巻き上げ、河岸・溪岸侵食等が高濁度の主要因として考えられる。なお、水位ピーク時の濁度減少には融雪水による希釈が考えられるほか、河道外へのはん濫堆積が流水中の濁度減少に影響した可能性もある。

まとまった降雨が終了した3月12日～13日は、日中・夜間の気温がプラスで推移し（図4）、崩壊地斜面での融雪もさらに進んだとみられる。12日以降の東和川の水位はゆるやかに低減するが、降雨前の低水時に比べて高い状態で推移している。これは昨年の報告書で報告した2019年の夏季観測データでも認められた特徴であり、また今回は水温が気温よりも高い状態で推移していることから、基盤へ浸透した水が流出しているものとみられる。但し、土砂堆積による河床上昇が影響している可能性もあることには留意が必要である。なお、濁度は1,000度以上で推移しているものの、センサーが土砂に埋没して異常値を示している可能性もあり、その確認が課題として残る。

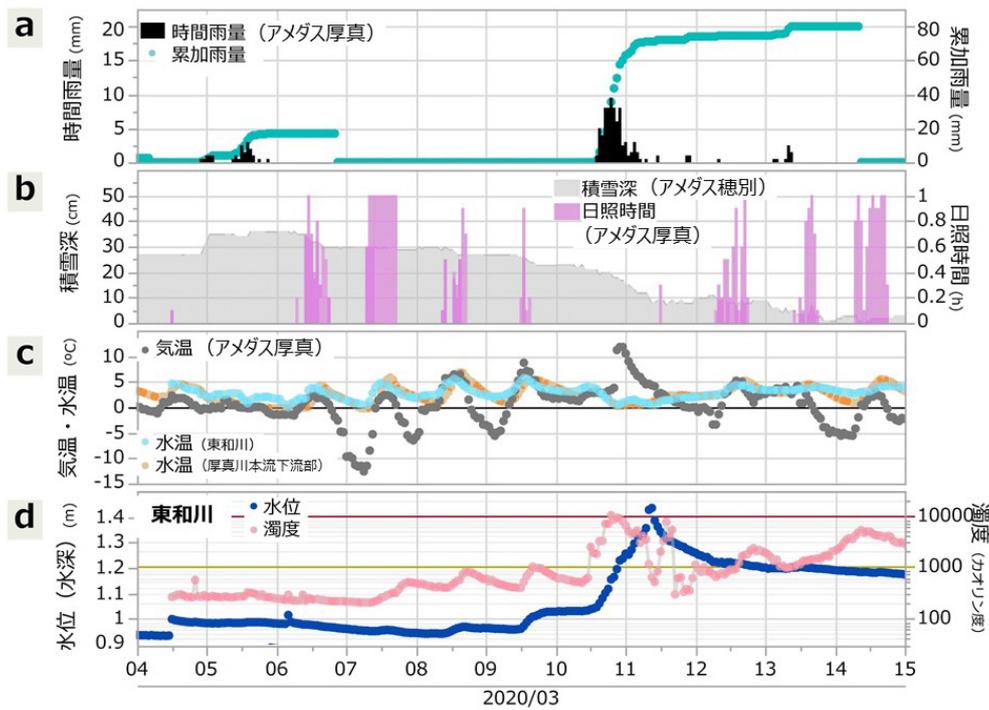


図4 2020年3月10日～11日の降雨流出イベントとその前後における降水量・積雪深・日照時間・気温・水温・水位・濁度の変動（水垣ほか 2021を編集）



図5 2020年3月11日09:00の東和川観測サイトの状況

#### (4) 夏季の降雨流出イベント

8月29日の降雨イベントでは、東和川の濁度ピークが3回の降雨ピークに応答して出現しており、それぞれ300度、1,900度及び8,500度と急激に濁度が上昇している<sup>り</sup>（図6, 7）。その後、濁度は急激に低下し150度前後で推移するが、水位は降雨前より高い状態を維持している。そのため、9月5日の時間16 mmの強雨に伴い水位は1時間で6 cm上昇し、その後、緩やかな2次ピークが見られる。濁度も急激な水位上昇とともに最大8,800度の高濁度による鋭敏なピークを形成するが、その後の水位の2次ピークと連動した緩やかな増減が見て取れる。東和川の河川水温に着目すると、強雨に伴う一時的な上昇が認められることから、相対的に低温な地中水よりも気温を反映する直達雨や表面流の寄与が高くなったことが示唆される。すなわち、斜面で発生した表面流による高濃度の濁水が河川に流入した可能性が考えられる。

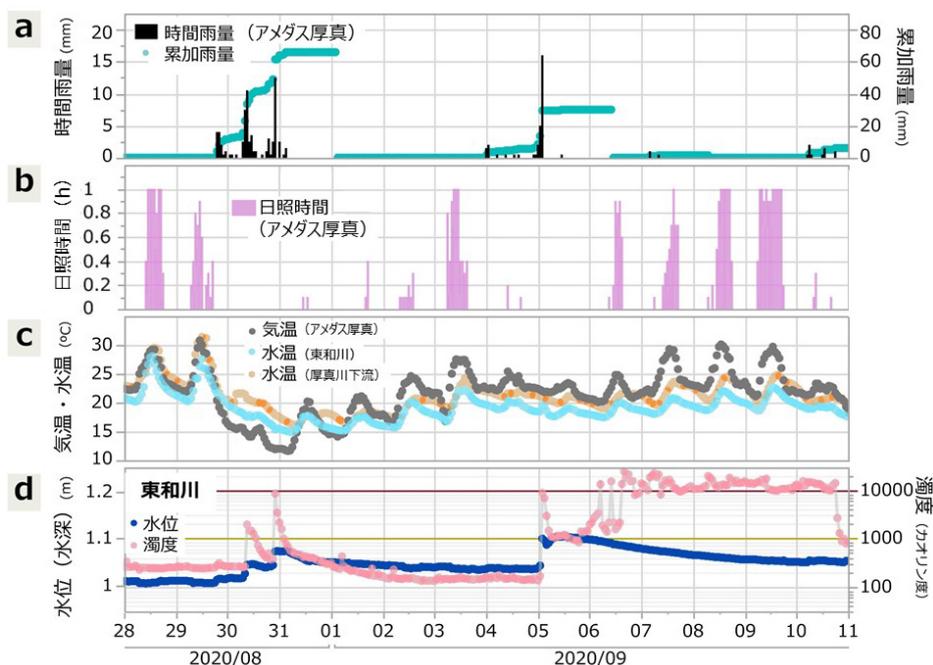


図6 2020年8月下旬から9月上旬の断続的な降雨流出イベントにおける降水量・日照時間・気温・水温・水位・濁度の変動（水垣ほか 2021を編集）



図7 2020年8月31日06:00の東和川観測サイトの状況

### 5.5. まとめ

2020年については河床変化に基づいて補正した水位データが全観測期間で得られた一方、コロナ禍の下で観測サイトの維持管理に制約があり、濁度データが得られなかった流出イベントもあった。しかし、顕著な水位変化を伴う流出イベントの多くでは濁度データは得られており、流出量換算では2019年の観測・計測データも活用することで、東和川流域でのイベント後2年目の土砂流出現象を捉え、融雪季の流出特性や1年目から2年目への流出量変化などの重要な新知見を得ることが出来たことは、報告に値するものと思われる。今後も観測を継続し、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

現地調査において寒地土木研究所の藤浪武史氏、村上泰啓博士、伊波友生氏、山田嵩氏にご協力頂いた。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）及びJSPS科研費 JP18H03819の助成を受けた。

## 引用文献

- 1) 水垣滋・村上泰啓・藤波武史 (2021). 厚真川流域における北海道胆振東部地震後の濁度計観測. 第64回 (2020年度) 北海道開発技術研究発表会論文, 6pp.