

4. 厚真川支流域（上流域）からの流出観測

Monitoring of sediment and water discharge from an upstream tributary catchment of the Aduma River

古市 剛久^{1,2}・水垣 滋³・小山内信智⁴・村上 泰啓³・山田 孝⁵・厚井 高志⁶

Takahisa FURUICHI, Shigeru MIZUGAKI, Nobutomo OSANAI,
Yasutaka MURAKAMI, Takashi YAMADA and Takashi KOI

¹宮城教育大学 環境教育・情報システム研究領域 協力研究員

²サンシャインコースト大学サステナビリティ研究センター 客員上級研究員

³土木研究所寒地土木研究所 主任研究員

⁴政策研究大学院大学 教授

⁵北海道大学 大学院農学研究院 教授

⁶北海道大学 広域複合災害研究センター 准教授

要 旨

2018年9月6日の北海道胆振東部地震によって引き起こされた数多くの斜面崩壊によって斜面脚部あるいは谷底面には大量の土砂が堆積した。この土砂はその後の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い。本調査研究では、厚真川流域の中流部左岸に位置する東和川流域に観測機器を設置し、流域からの降雨流出及び土砂流出に関する観測データを得てそれぞれの流出特性を把握することを目的として実施した。その結果、観測期間の2019年4月～12月には18回の流出イベントがあり、総量1127t (382t/km²)の浮遊土砂が流出したと見積もられた。6月初めから下旬の渇水期中及び直後のイベントでは40000度（カオリン濁度）を超える極めて高濃度の濁水流出が記録されたこと、8月及び10月には25000度を超える高濁度の土砂流出が記録されたこと、12月にも総雨量16.5mmの降雨で5000度を超える濁水流出が記録されたこと、降雨のピークから1時間以内に濁度のピークが見られることが多いこと、総雨量50mmを超えるような大雨があると1200FTU（ホルマジン濁度）を超える濁度の土砂運搬が数時間以上続くイベントになること、降雨流出イベントの後に水位がイベント前のレベルに戻るまでには小さなイベントでも数日、大きなイベントでは1週間以上を要すること、などの特徴も明らかになった。

《キーワード：降雨流出；土砂流出；上流域；高濁度》

4. 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^{1),2)}。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。本報告書では2018年イベントの特徴が典型的にみられる厚真川支流の東和川流域において実施した土砂流出観測から得られたデータを報告する。

4. 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4-1）。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4-1）。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³⁾、表層崩壊は248箇所¹⁾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。

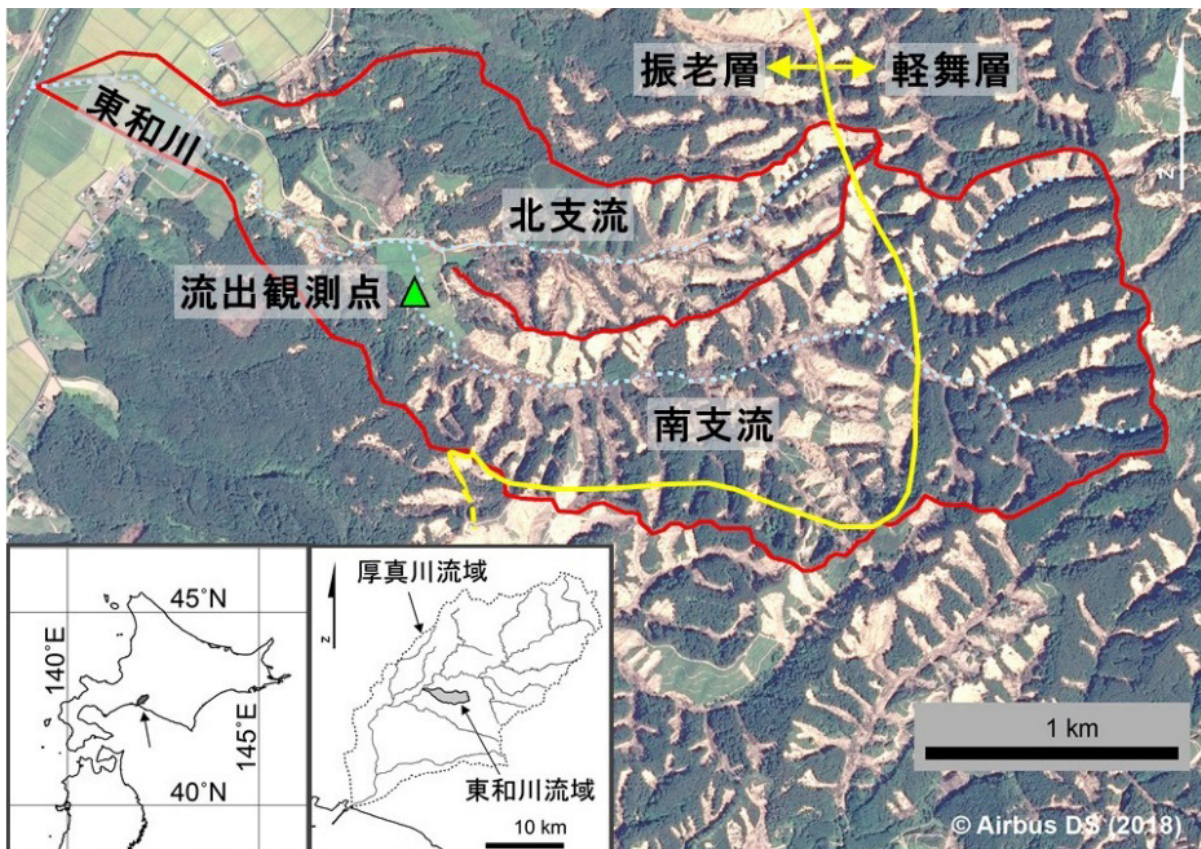


図4-1 東和川流域の流域界（赤線）、地質境界（黄線）、流出観測点の位置（緑三角）

4.3. 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4-1）に水位計，濁度計，土砂サンプラー，インターバルカメラを設置した（図4-2，図4-3）。水位計はセンシズ製HM910及びデータロガーLM-1，濁度計は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⁴⁾，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。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おり，土砂運搬量の計算では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た。水位計及び濁度計は2019年4月11日に設置し，10分間隔で計測した。濁度計は同年12月4日に撤収したが，水位計は越冬して計測を継続している。

採水試料は設置後毎月実施したメンテナンス時に加え降雨時にも収集し，合計10試料を分析した。採水試料は250 mLをアドバンテック東洋製孔径0.2 μm メンブレンフィルターフィルターでろ過し，乾燥後に計量し，土砂濃度を計算した。

降雨時及びメンテナンス作業時に河川横断面と流速を計測し，流量を求めた。流速はアレック電子製電磁流速計AEM1-Dを用い，水深5 cmで横断方向に3か所で計測し，計測地点間は平均し，おおよそ6種の流速を該当する水流横断面の面積に乗じて流量を計算した。流速計が利用できなかった調査では浮子を用いて計測した流速を中央流速とし，流速計計測で把握した流速分布に沿って調整した。

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。



図4-2 流出観測点での観測機材設置状況（左図）と出水時の状況（右図）

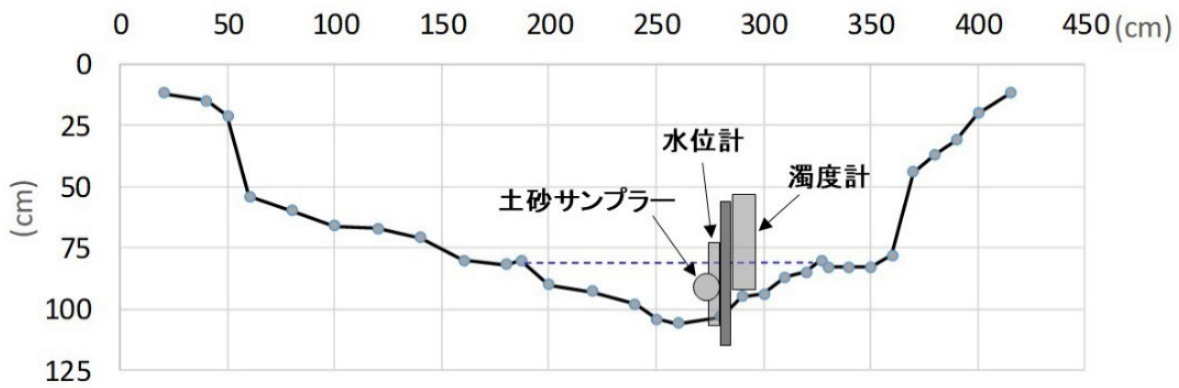


図4-3 流出観測点での河川横断面と観測機材設置位置

4. 4. 結果と考察

4. 4. 1. 流出イベントの概要

水位及び濁度の観測データが得られた2019年4月11日～12月4日の期間には、一定の降雨（日雨量15 mm以上）あるいは濁度上昇（中濃度センサー濁度1000 FTU以上、あるいは高濃度センサー濁度5000度以上）が認められた流出イベントが18回記録された（図4-4）。降雨による水位上昇はほぼ全ての降雨イベントで認められる一方、水位上昇に伴う濁度上昇が認められないイベントや、水位上昇（降雨）がなくとも濁度上昇が認められるイベントもみられた。濁度の単独上昇は、埋積土砂が河谷に形成した無数の凹地に溜った濁水が一気に流出したことが原因かもしれない。

カオリン濁度25000度を超えるハイパー高濁度イベント、あるいは5000度を超える高濁度イベントが複数回認められたことが一つの大きな特徴である。6月初めから下旬にかけて渇水期があり、その間の3回の降雨流出イベントでは30分以内の短時間ながら40000度を超える超高濃度の濁水流出が記録された（6月5日（図4-5(A)）、16日、22日）。8月には25000度を超える高濁度が2回記録され（8月8日、8月17～18日）（図4-5(B)、(C)）、中でも8月17～18日は年間最高水位と最大土砂流出を記録したイベントであった。10月29日にも25000度を超える高濁度イベントが記録されているが、その際のアメダス厚真での総雨量は僅か6 mmである（図4-5(D)）。水垣ほか⁹⁾は全国合成レーダーGPVを用いて1 kmメッシュの10分降水強度を解析し、この時間帯に厚真川流域では南北に延びる線状降水帯が発生し、短時間ながら局地的に80 mm/h以上の豪雨があったことを指摘している（図4-6）。このように東和川流域ではアメダス厚真の雨量データでは正確に捉えられない小スケールの降雨現象に伴う流出が起こっている可能性がある。そのため、降雨が認められない濁度上昇イベントでも濁度データに基づいて浮遊土砂量を見積もった。また、濁度の単独上昇についても（例えば、6月25日、29～30日）前記の理由から濁度データに基づいて浮遊土砂量を見積もった。12月2日にも総雨量16.5 mmの降雨で5000度を超える高濁度の濁水流出が記録された。

流出特性としては、降雨のピークから1時間以内に濁度のピークが見られることが多い。総雨量50 mmを超えるような大雨があると、1200 FTU（ホルマジン濁度）を超える濁度の土砂運搬が数時間以上続くイベントになる。降雨流出イベントの後、水位がイベント前のレベルに戻るまでには小さなイベントでも数日、大きなイベントでは1週間以上を要する。

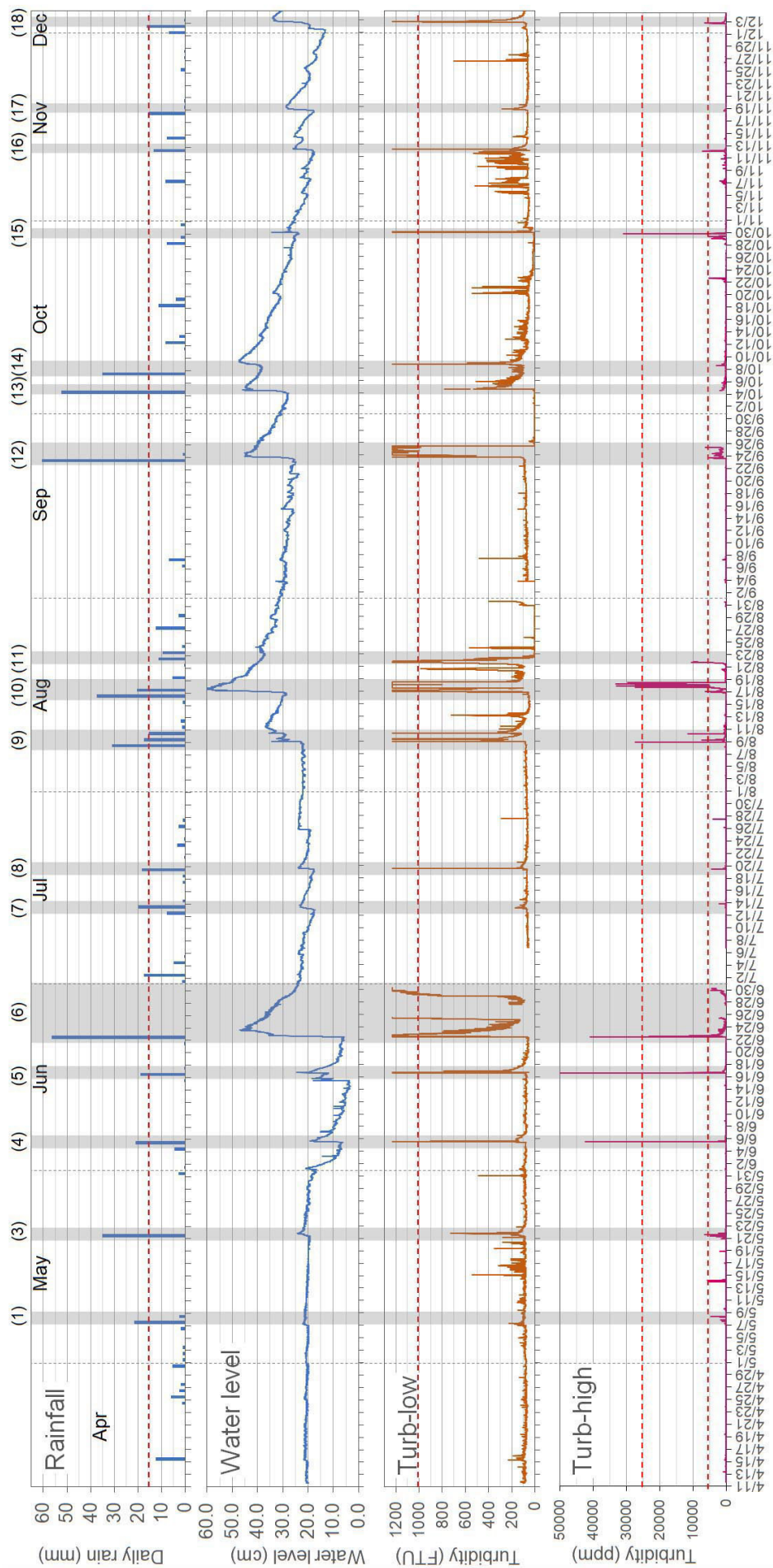


図4-4 東和川の流出観測点及びアマダス厚真で得られた2019年4月11日～12月4日の水位、濁度、及び雨量のデータ。雨量は時間雨量データ。雨量は時間雨量データを編集、赤の破線は日雨量15 mm、中濃度センサー濁度1000 FTU、高濃度センサー濁度5000度及び25000度を示す。

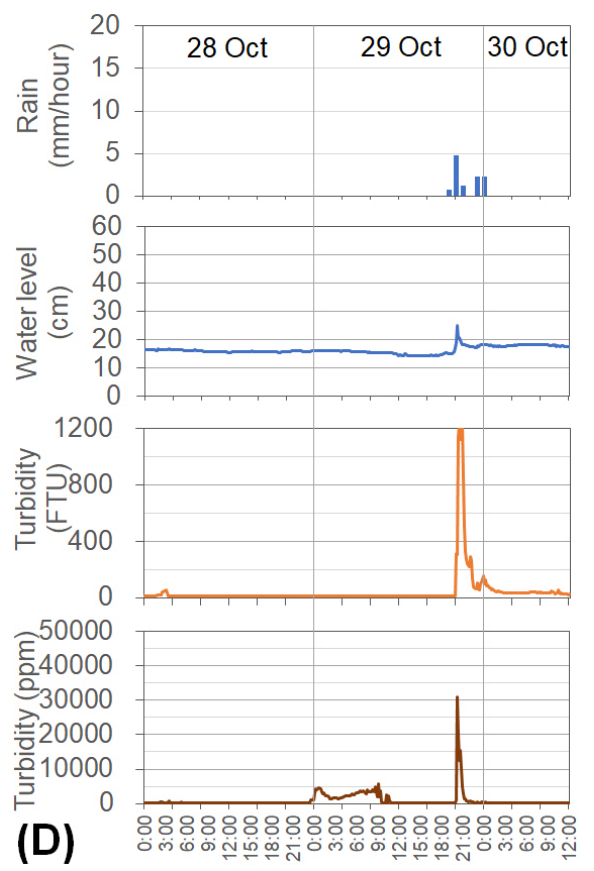
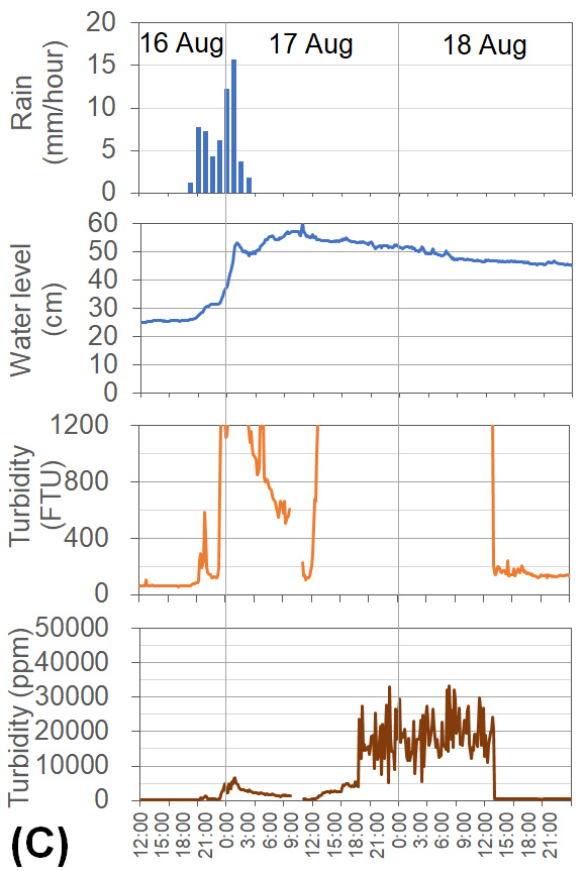
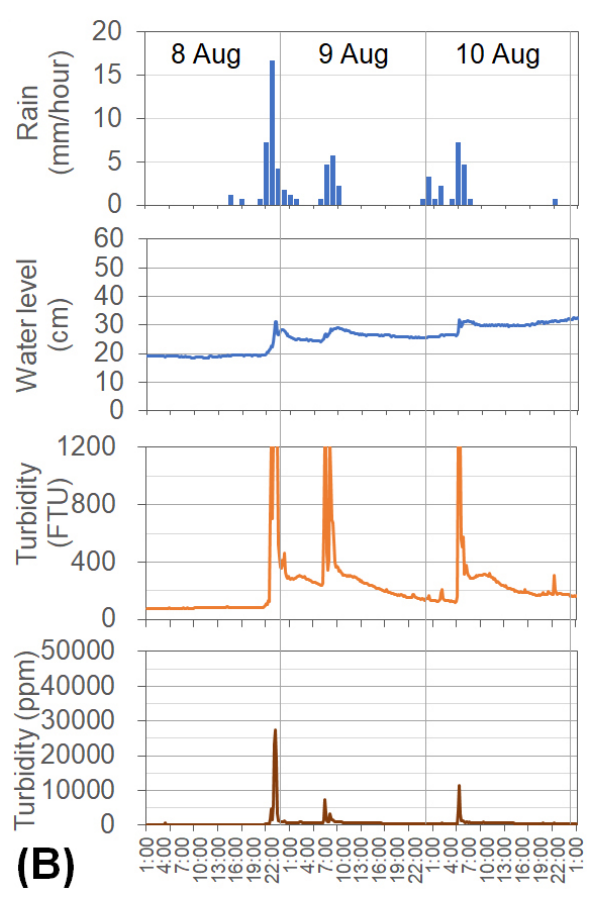
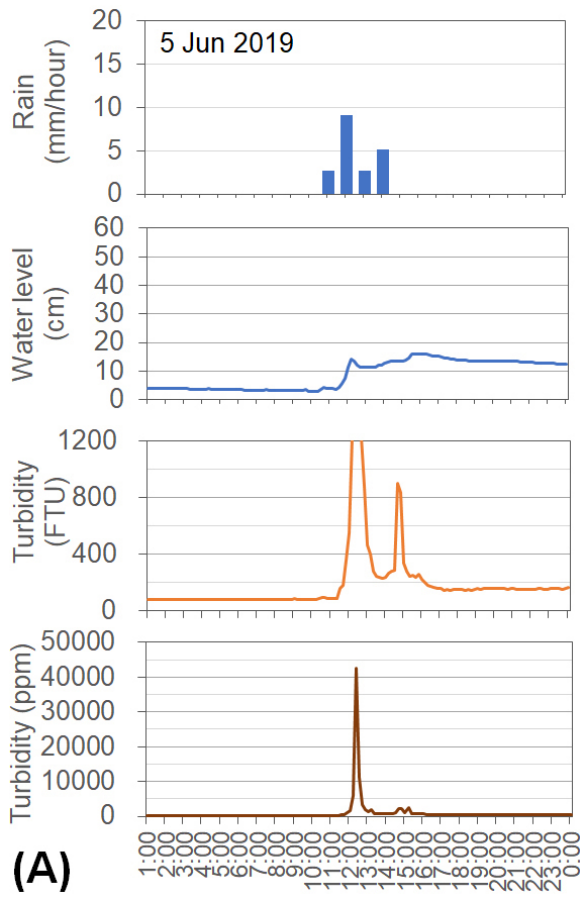


図4-5 流出観測点での河川横断面と観測機材設置位置。
 FTUは中濁度センサーで、ppmは高濁度センサーで観測された値。

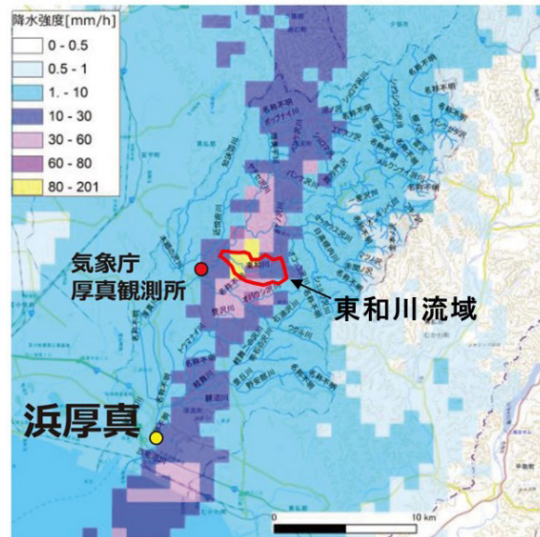


図4-6 東和川周辺における2019年10月29日19:50の降雨強度分布。
水垣ほか⁵⁾ 図11に加筆

4. 4. 2. 濁度と浮遊土砂濃度との関係

中濁度センサー濁度 (FTU) と高濁度センサー濁度 (ppm) の関係, 及びセンサーで観測された濁度 (FTU) 及び ppm) と採水試料分析に基づいた浮遊土砂濃度 (Total suspended solid: TSS) との関係は, それぞれ良い相関を示した (図4-7). 決定係数はどれも線形回帰で高い値を示すことから, 濁度から浮遊土砂量の換算では線形回帰式を用いた.

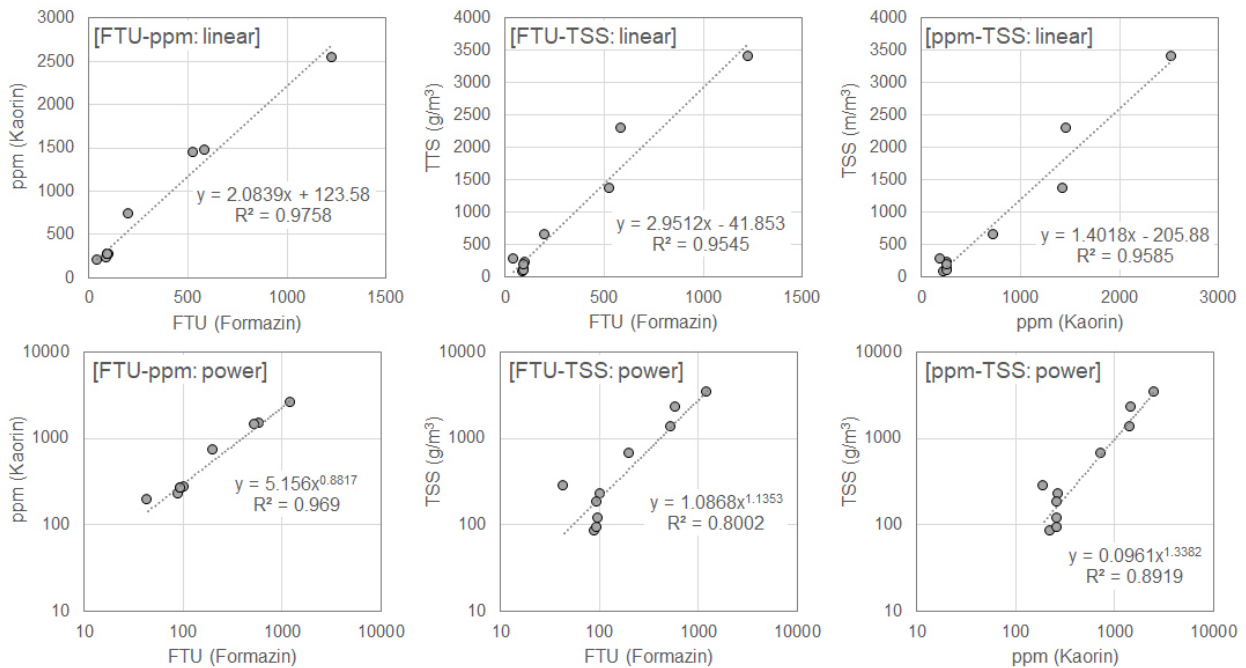


図4-7 中濁度センサーの観測値と高濁度センサーの観測値との関係 (左の上下), 中濁度センサーの観測値と浮遊土砂濃度との関係 (中央の上下), 高濁度センサーの観測値と浮遊土砂濃度との関係 (右の上下). 上段は線形回帰, 下段はべき乗回帰.

4.4.3. 水位と流量との関係

現地計測値（流速，横断面積）から計算した8つ流量データと水位計で観測した水位データとの関係を示す回帰式を求めたところ，自然指数関数によるものが最も高い決定係数（0.9696）を示した（図4-8）。

$$Q = 0.014e^{5.7063H} \quad (1)$$

ここで， H は水位（m）， Q は流量（ m^3/s ）．本調査ではこの水位・流量曲線を用いて観測水位データから流量を見積った．

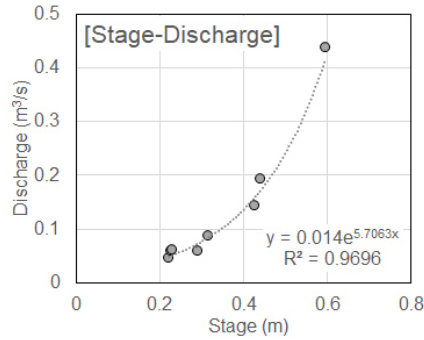


図4-8 流出観測点における水位と流量との関係（水位・流量曲線）

4.4.4. 浮遊土砂流出量

浮遊土砂量を流量の関数とみて（ $L = pQ^j$ ； L は浮遊土砂量， Q は流量， p, j は係数），この関係式を使って流量（水位・流量曲線）から浮遊土砂量を見積もることができる（流量・浮遊土砂量曲線⁶）．本調査では濁度計による観測データが得られなかった期間（図4-4）については，流量・浮遊土砂量曲線から土砂流出量を求め，その他の期間は濁度計データから得られる浮遊土砂濃度に流量を乗じて浮遊土砂量を見積もった．流量・浮遊土砂量曲線は，浮遊土砂濃度を採水試料によって計測した際のデータに基づき（図4-9），次式で与えられる．

$$L = 12892Q^{2.5862} \quad (2)$$

ここで， Q は流量（ m^3/s ）， L は浮遊土砂量（g/s）．

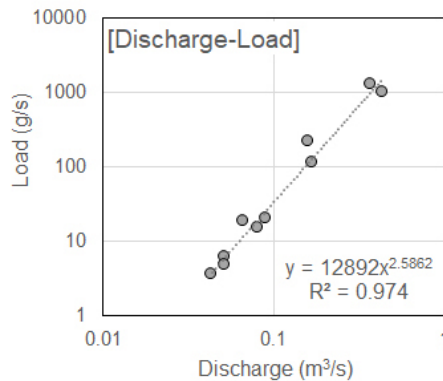


図4-9 流出観測点における流量と浮遊土砂量との関係（流量・浮遊土砂量曲線）

表4-1 東和川南支流域からの浮遊土砂流出量（速報値）（2019年4月11日～12月4日）

Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Remark
2019.04 (partial)	15.784	1.4%	11-30 Apr.
2019.05	27.878	2.5%	
2019.06	108.048	9.6%	
2019.07	20.668	1.8%	
2019.08	715.600	63.5%	
2019.09	116.117	10.3%	
2019.10	85.455	7.6%	
2019.11	27.399	2.4%	
2019.12 (partial)	10.552	0.9%	1-4 Dec.
Total	1127.501		

以上から見積もられた浮遊土砂量（速報値）は、2019年4月11日～12月4日の約8ヶ月間で、1127 tである（表4-1）。従って、この期間における東和川南支流域からの比浮遊土砂流出量（Specific suspended sediment yield）は382 t/km²である。この値は速報値（暫定値）であるが、斜面崩壊で荒廃した丘陵性山地小流域からの土砂流出がどのように変化するかを定量的に追跡する際のベースライン・データとなるなど、多方面に参照される意義がある研究成果だと思われる。

4.5. 結論

調査対象とした厚真川支流の東和川南支流域では、観測期間の2019年4月～12月は18回の流出イベントがあり、総量1127 t（382 t/km²）の浮遊土砂が流出した。6月初めから下旬の渇水期中及び直後のイベントでは40000度（カオリン濁度）を超える極めて高濃度の濁水流出があり、8月及び10月には25000度を超える高濁度の土砂流出もあったが、そのうち10月のイベントでは有意な雨量が記録されておらず、アメダス観測雨量では捉えきれない小気象スケールの降雨現象に伴う土砂流出が強く示唆された。12月にも総雨量16.5 mmの降雨で5000度を超える濁水流出が記録されている。降雨のピークから1時間以内に濁度のピークが見られることが多いこと、総雨量50 mmを超えるような大雨があると1200 FTU（ホルマジン濁度）を超える濁度の土砂運搬が数時間以上続くイベントになること、降雨流出イベントの後に水位がイベント前のレベルに戻るまでには小さなイベントでも数日、大きなイベントでは1週間以上を要することなど、調査対象地域における降雨流出の特徴も明らかになった。

謝辞

寒地土木研究所の藤浪武史氏、布川雅典博士、伊波友生氏、秋田寛己博士には現地観測に協力頂いた。日本工営札幌支店の早川智也氏、永野統宏氏、濱原能成氏には流速計の貸与と水位観測への助言を頂いた。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：今日出人）及びJSPS科研費 JP18H03819の助成を受けた。

参考文献：

- 1) 古市剛久・柳井清治・奥野充・五味高志・鳥井真之・小山内信智・檜垣大助・早川智也・水垣滋・村上泰啓・林真一郎：東和川流域における表層崩壊と土砂流出。北海道地すべり学会編：地震による斜面災害—2018年北海道胆振東部地震，印刷中（原稿受理）。
- 2) 小山内信智・海堀正博・山田孝・笠井美青・林真一郎・桂真也・古市剛久・柳井清治・竹林洋史・藤浪武史・村上泰啓・伊波友生・佐藤創・中田康隆・阿部友幸・大野宏之・武士俊也・田中利昌・小野田敏・本間宏樹・柳井一希・宮崎知与・上野順也・早川智也・須貝昂平：平成30年北海道胆振

東部地震による土砂災害. 砂防学会誌 71 (5), 54-65, 2019.

- 3) 村上泰啓・水垣滋・西原照雄・布川雅典・藤浪武史・伊波友生：厚真川流域の現地調査経過報告. 第2回厚真川土砂流出勉強会配布資料, 2019.
- 4) Phillips, J.M., Russell, M.A., Walling, D.E.: Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes* 14, 2589-2602, 2000.
- 5) 水垣 滋・村上 泰啓・藤浪 武史：北海道胆振東部地震後の厚真川からの浮遊土砂流出. 第63回(2019年度)北海道開発技術研究発表会論文, 6pp., 2019.
- 6) Leopold, L.B., Maddock, T.: *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. U.S. Geological Survey Professional Paper 252, Washington D.C., 57pp, 1953.