

北海道胆振東部地震で荒廃した厚真川支流東和川流域での  
土砂流出メカニズムに関する研究

森林研究・整備機構森林総合研究所 森林防災研究領域  
政策研究大学院大学  
石川県立大学 生物資源環境学部

古市 剛久  
小山内 信智  
柳井 清治



# 北海道胆振東部地震で荒廃した厚真川支流東和川流域での 土砂流出メカニズムに関する研究

A study on the mechanism of sediment discharge in a tributary catchment of  
the Atsuma River, disturbed by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake

古市 剛久<sup>1</sup>・小山内信智<sup>2</sup>・柳井 清治<sup>3</sup>

Takahisa FURUICHI, Nobutomo OSANAI, Seiji YANAI

<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> 政策研究大学院大学 教授

<sup>3</sup> 石川県立大学 生物資源環境学部 特任教授

## 要 旨

2018年9月の北海道胆振東部地震で生じた斜面崩壊土砂の流出実態を捉える  
目的で、2019年以来厚真川支流の東和川で土砂流出観測を継続している。2022  
年の観測では水位データが欠測なく得られ、主要な流出イベントを記録した濁  
度データも得られた。これには河川形の変化を原因とした観測上の問題を解消  
するための簡易改修工事が効果的だったと考えられる。2020年と2021年には少  
なかったカオリン濁度20000度を超える高濁度流出が2022年には5回記録され、  
その最大値は47000度を超えた。この高濁度流出イベントには水位変化を伴わ  
ないこともあることから、2022年から谷沿いで実施されている倒木除去作業に  
よる地表面の再攪乱が関係している可能性が高い。濁度データ及び水位データ  
から算出した2022年の比浮遊土砂流出量は365 t/km<sup>2</sup>/yであった。一般に、流  
域に運搬される土砂が十分存在し、流域特性に有意な変化がない場合、年雨量  
(すなわち、年流量)が増加すれば比浮遊土砂流出量も増加する。しかし、  
2019年以降4年間のデータでは年雨量が多いほど比土砂流出量は減少しており、  
地震後時間が経過した3年目及び4年目の多雨年で比浮遊土砂流出量がより小さ  
い。この変化は、先に述べた倒木除去による攪乱の影響はあるものの、流域に  
おける降雨流出に伴う侵食量の経年的な低下を示すものと考えられる。本年実  
施した植生調査からは崩壊裸地斜面において植生回復が始まっていることが確  
認され、斜面における侵食プロセスが低減していることを裏付けている。崩壊  
斜面では依然として裸地が広く残り、無数のガリーがその地表面を削り、活発  
な侵食プロセスが継続していると見られる。しかし比浮遊土砂流出量の経年的  
な減少からは、流域スケールで見れば裸地斜面を土砂流出源とする侵食プロセ  
スの極大期は過ぎた可能性が予測され、こうした地形プロセスと土砂流出の関  
係を検証する調査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，植生変化》

## 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、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く崩壊総面積（裸地化した斜面）も広いこと、崩壊土砂は降下性火山砕屑物（テフラ）が主体であること、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、及び裸地斜面に残存する土砂や土層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、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、2021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4年目となる2022年1月1日～2023年3月9日の観測で得られたデータとそこから読み取れる土砂流出の経年変化の実態、その変化に関する流域変化、特に植生変化についての調査結果を報告する。

## 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<sup>1)</sup>、表層崩壊は248箇所に上る<sup>2)</sup>。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。

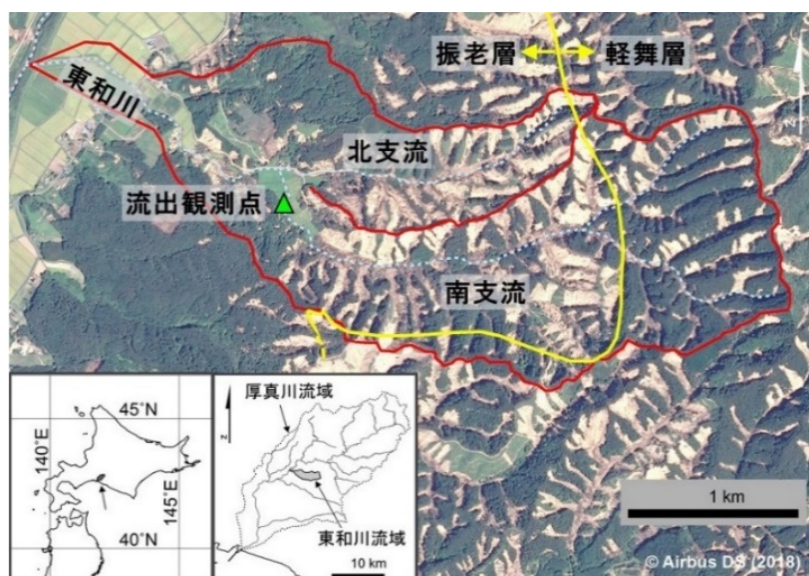


図1 東和川流域の流域界（赤線），地質境界（黄線），流出観測点の位置（緑三角）

## 3. 調査方法

### (1) 流出観測

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，インターバルカメラを設置した（図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、濁度計と水温計は本年からObserver社製Analite NEP-595を使用した。本年8月16日の出水時に計器内に漏水し測定不能となった。本観測サイトでの観測は2019年の観測開始以来寒地土木研究所と共同で実施しており、寒地土木研究所のJFEアドバンテック製小型メモリー濁度計Infinity-Turbiも併設していた。本年の調査ではこのInfinity-Turbiで測定した濁度データを使用した。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、河床（砂礫）を10 cm程度掘り込んで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、濁度計を塩ビ管内に吊るし、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（Infinity-Turbi）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。2022年の観測では、厳冬季明けの3月16日に濁度計を設置して10分間隔での計測を開始し、厳冬季を迎える2022年12月13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。2022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などがあり特に高水位時における採水や流速計測などのデータ収集は効率的に進まなかったが、水位データは全期間欠測なく得られ、濁度データも主要な出水イベントでの土砂流出状況を記録している。これには出水イベントで起こる河川形の変化を原因とした観測上の不具合（河床上昇による濁度計センサー面の埋積）を解消するために実施した簡易改修工事（自然石と土のうを用いた護岸による水流の直線化）も効果を発揮したと考えられる（図3）。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。

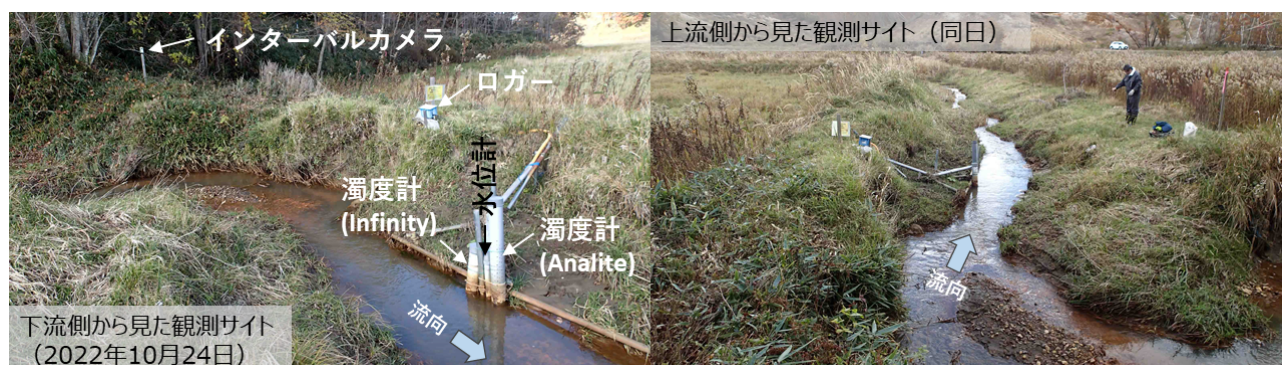


図2 流出観測サイトでの観測機材設置状況



図3 流出観測サイトでの簡易改修工事（自然石と土のうを用いた護岸による水流の直線化）前後の状況

## (2) 植生調査

東和川流域を対象に衛星画像を用いて植生回復の時系列分析を行った。2017年から2022年まで各年の画像（3.7 m 解像度，4バンド）をPlanet Labs社の画像アーカイブから入手した。画像はバンド演算と共に，オルソ画像化して崩壊地分布図（ポリゴン）の作成にも用いた。

現地調査では北向き斜面，南向き斜面それぞれ3ヶ所ずつ選らび，各斜面の上部，中部，下部に1-m x 1-mのコードラートをに設け，植生被覆度，木本本数を調べた。

ドローンで撮影した写真をESRI Drone2Mapを用いて加工し高精度オルソ画像を作成した。その画像を用いてカラマツの稚樹の分布状況を調べた。

## 4. 結果と考察

### (1) 降雨

2022年の年降水量は1118.0 mmであった（2019年は849.0 mm，2020年は797.5 mm，2021年は1200.5 mm）。イベント総雨量（前後の無降雨継続時間24時間で定義）の最大値は93 mmで，最高濁度を記録した8月8日に始まる降雨のイベント総雨量は92 mmであった（表1）。時間雨量の最大値は23 mmで，最高水位を記録した8月15日に始まる降雨の最大時間雨量は20.0 mmであった（表1）。日雨量の最大値は86.0 mm（8月16日），日雨量50 mm以上と15 mm以上の降雨イベントはそれぞれ3回と21回であった（図8）。

表1 イベント総雨量上位の降水イベント

	Event-total rainfall (mm)	Maximum hourly rainfall (mm)	Beginning of the event	Ending of the event	Duration (hour)
1	93.0	20.0	8/15 18:00	8/16 23:00	29
2	92.0	23.0	8/8 10:00	8/12 6:00	92
3	74.0	12.5	9/23 6:00	9/24 12:00	30
4	60.0	12.5	6/23 15:00	6/24 20:00	29
5	56.0	3.0	1/11 17:00	1/15 7:00	86
6	50.5	15.0	7/19 22:00	7/20 18:00	20
7	48.0	7.5	9/18 14:00	9/20 6:00	40
8	46.0	7.5	7/16 21:00	7/18 1:00	28
9	45.5	9.0	5/27 11:00	5/29 4:00	41
10	41.0	6.0	8/31 3:00	9/1 2:00	23

## (2) 流出

### a) 降雨流出

水位については全期間で良好にデータが得られた。これまでの観測データと同様に、観測点の河川横断面における基底流量水位は約10 cm程度であり、厳冬期には10 cmより低くなる (図7)。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。

2022年は水位が30 cm を上回る流出イベントが18回あり、最大水位は8月16日の88.6 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月を除く殆どのイベントで日雨量15 mm以上が記録されている。雨量と水位の関係を見るため、各降雨流出イベントでの最大時間雨量 (厚真アメダス) と最高水位 (東和川) との関係を最大時間雨量6.5 mm 以上の12イベント (図8 (a), (b)) で見たところ、バラツキは大きい弱い正の相関が見られ ( $r^2=0.37$ ; 図4), 弱い相関ながら2022年は雨量 (厚真) と水位 (東和川) との対応関係が認められた。

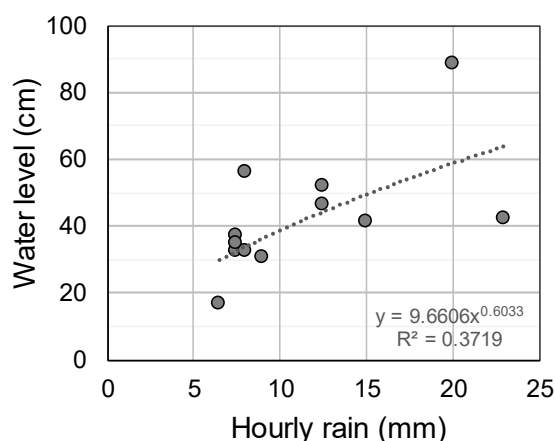


図4 各降雨流出イベントでの最大時間雨量と最高水位の関係 (最大時間雨量6.5 mm 以上の12イベント)

### b) 土砂の高濃度流出

2022年にはカオリン濁度20000度を超える高濃度の浮遊土砂流出イベントが5回あり (5月22日, 5月27日, 6月24日, 8月9日, 11月21日), 最高濁度は47,000度を超えた (図7)。この高濁度イベントの頻発は観測初年度 (2019年) に記録された複数回の25000度あるいは40000度を超える高濁度イベントの発生と

類似する。一方、観測2年目（2020年）は雨量が少なく、観測3年目（2021年）は大雨時の濁度データが一部欠損していたが、その両年には少なくとも40000度を超える高濁度流出イベントは見られなかった。また、2022年5月22日に記録された21,000度を超える高濁度流出イベントでは水位変化がなかった（図8(a)）。これらのことから、2022年における高濁度イベントは同年から実施されている東和川南支流谷底での倒木除去作業による流域の再攪乱が影響している可能性がある（図5）。



図5 倒木除去前後での東和川南支流谷底の状況（倒木除去は2022年から実施）

### c) 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2022年の年間浮遊土砂流出量（暫定値）は1076.1 t/yであり、年間比浮遊土砂流出量（Specific suspended sediment yield）は365 t/km<sup>2</sup>/yである（表2）。2019年から2022年の4年間の年雨量と比浮遊土砂流出量を見ると、年雨量が多いほど比土砂流出量は減少している（図6）、一般に、流域に運搬される土砂が十分存在し、流域特性に有意な変化がない場合、年雨量（すなわち、年流量）が増加すれば比土砂流出量も増加するが、このデータその傾向に矛盾する。特に地震後時間が経過した3年目及び4年目の多雨年で比浮遊土砂流出量が減少している。この変化は、先に述べた倒木除去による攪乱（土砂流出量の一時的な増大）はあるものの、流域における降雨流出に伴う侵食量の経年的な低下を示すものと考えられる。



表2 東和川南支流における2019年～2022年の浮遊土砂流出量とその変化

Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution	Month	Suspended sediment yield (tonnes)	Monthly contribution
2019.04*	15.8	1.4%	2020.01	4.0	0.3%	2021.01	0.2	0.0%	2022.01	4.9	0.7%
2019.05	27.9	2.5%	2020.02	1.7	0.1%	2021.02	1.8	0.2%	2022.02	5.4	0.7%
2019.06	108.0	9.6%	2020.03	1019.6	69.2%	2021.03	23.7	3.2%	2022.03	59.0	8.0%
2019.07	20.7	1.8%	2020.04	54.1	3.7%	2021.04	157.6	21.3%	2022.04	18.1	2.4%
2019.08	715.6	63.5%	2020.05	27.0	1.8%	2021.05	7.0	0.9%	2022.05	42.8	5.8%
2019.09	116.1	10.3%	2020.06	15.3	1.0%	2021.06	26.4	3.6%	2022.06	91.1	12.3%
2019.10	85.5	7.6%	2020.07	41.9	2.8%	2021.07	4.3	0.6%	2022.07	38.3	5.2%
2019.11	27.4	2.4%	2020.08	29.9	2.0%	2021.08	9.3	1.3%	2022.08	577.2	77.8%
2019.12*	10.6	0.9%	2020.09	127.8	8.7%	2021.09	4.7	0.6%	2022.09	120.7	16.3%
			2020.10	32.1	2.2%	2021.10	9.5	1.3%	2022.10	90.3	12.2%
			2020.11	102.7	7.0%	2021.11	477.1	64.3%	2022.11	20.4	2.7%
			2020.12	18.2	1.2%	2021.12	20.0	2.7%	2022.12	8.1	1.1%
Total	1127.5		Total	1474.4		Total	741.7		Total	1076.1	
Specific sediment yield	382.2 t/km <sup>2</sup> /y			499.8 t/km <sup>2</sup> /y			251.4 t/km <sup>2</sup> /y			364.8 t/km <sup>2</sup> /y	
Rainfall	849.0 mm/y			797.5 mm/y			1200.5 mm/y			1118.0 mm/y	
Yield per rain	0.450 t/km <sup>2</sup> /mm			0.627 t/km <sup>2</sup> /mm			0.209 t/km <sup>2</sup> /mm			0.326 t/km <sup>2</sup> /mm	

(Note. \*: Not whole month)

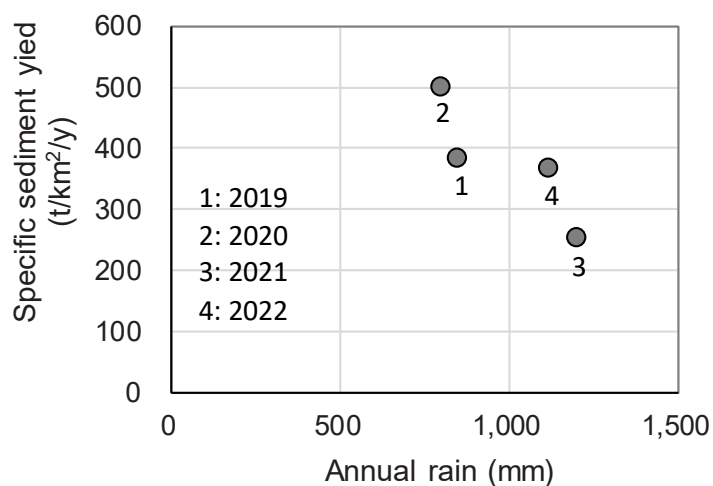


図6 東和川南支流における2019年～2022年の年降水量と比浮遊土砂流出量

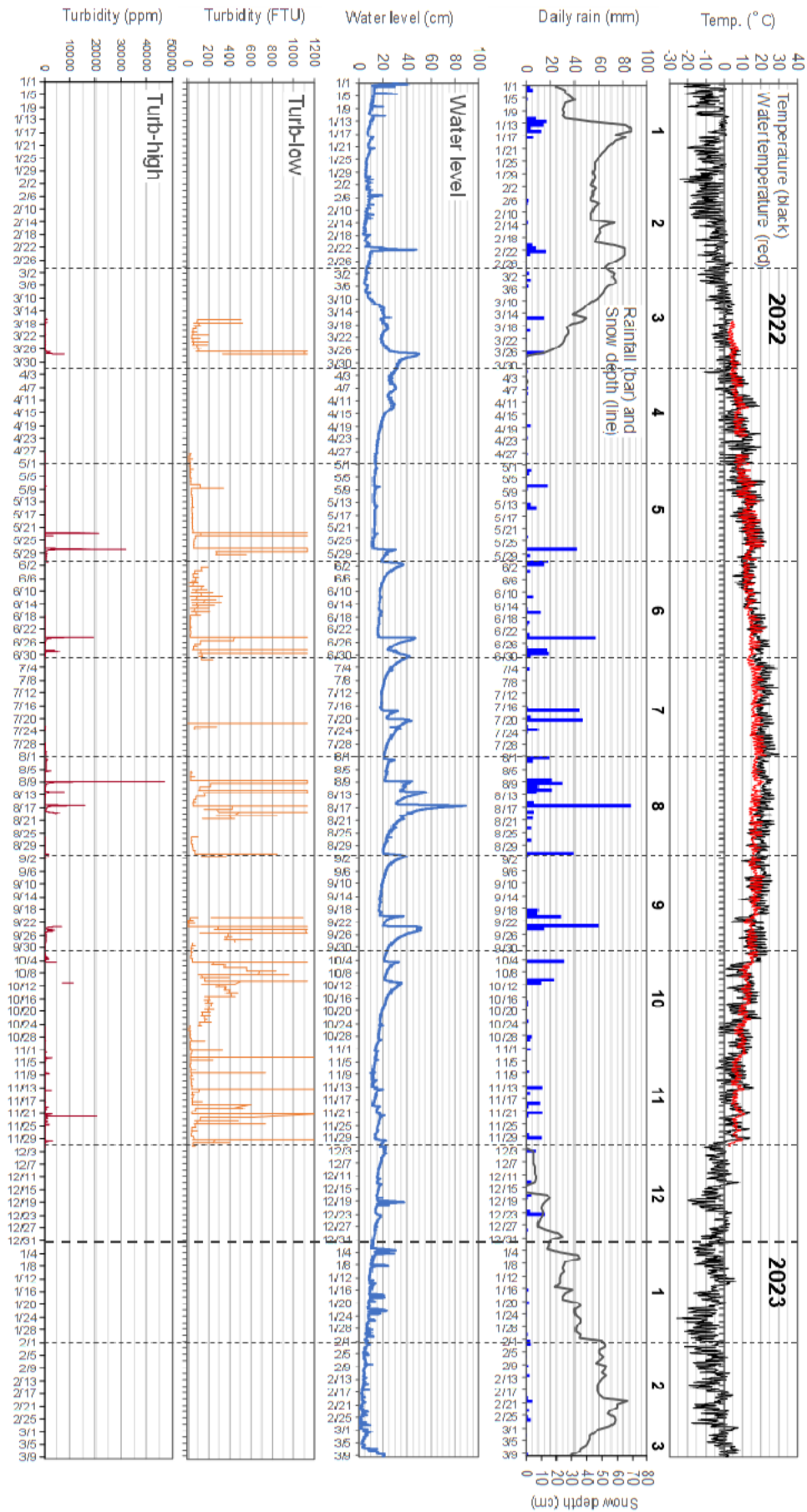


図7 東和川観測点での土砂流出に関する2022年1月1日～2023年3月9日の観測データ。(気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ、濁度データは異常値を除外したもの。)

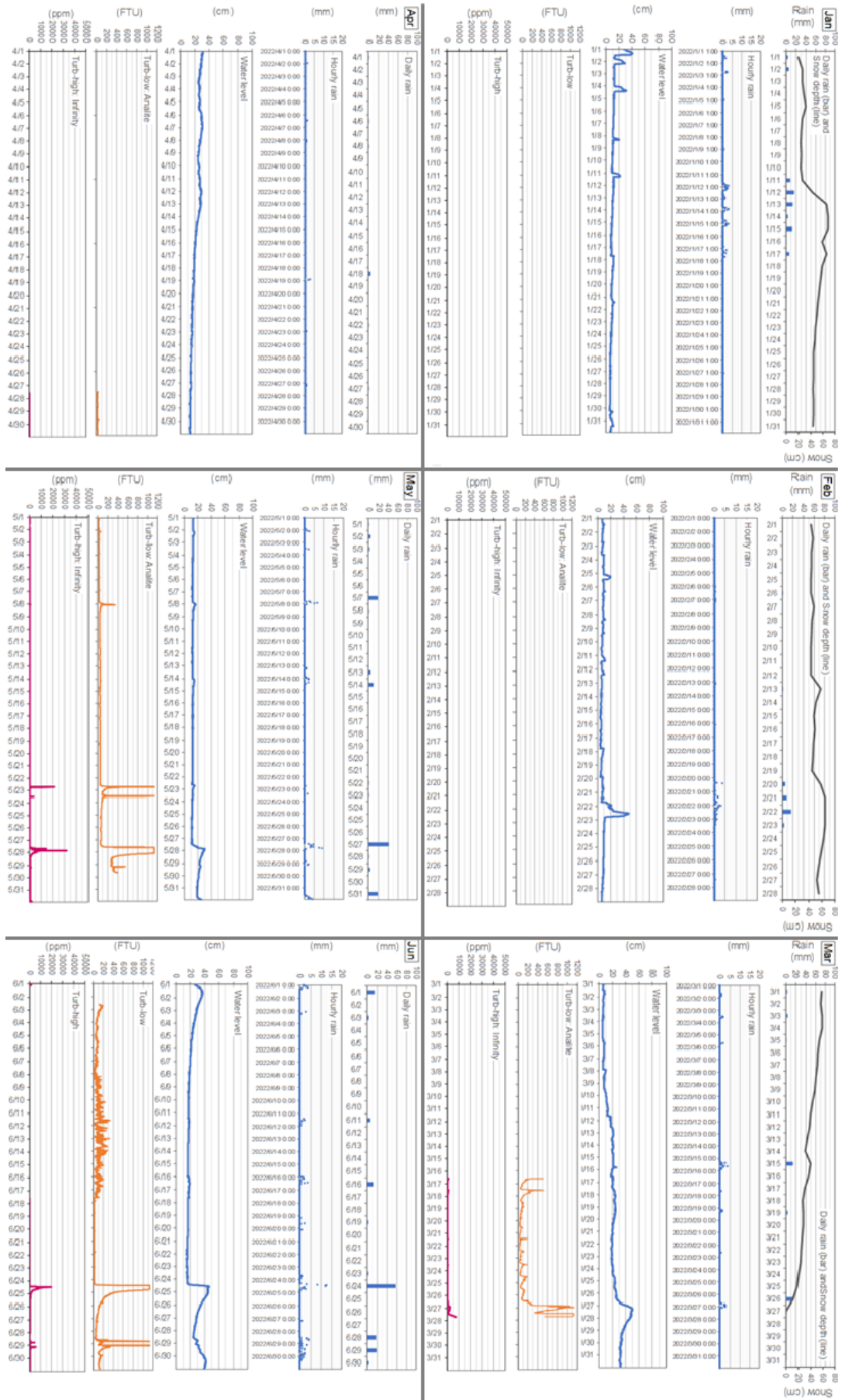


図8(a) 東和川観測点での土砂流出に関する2022年1月～6月の月別観測データ。(気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ。濁度データは異常値を除外したもの。)

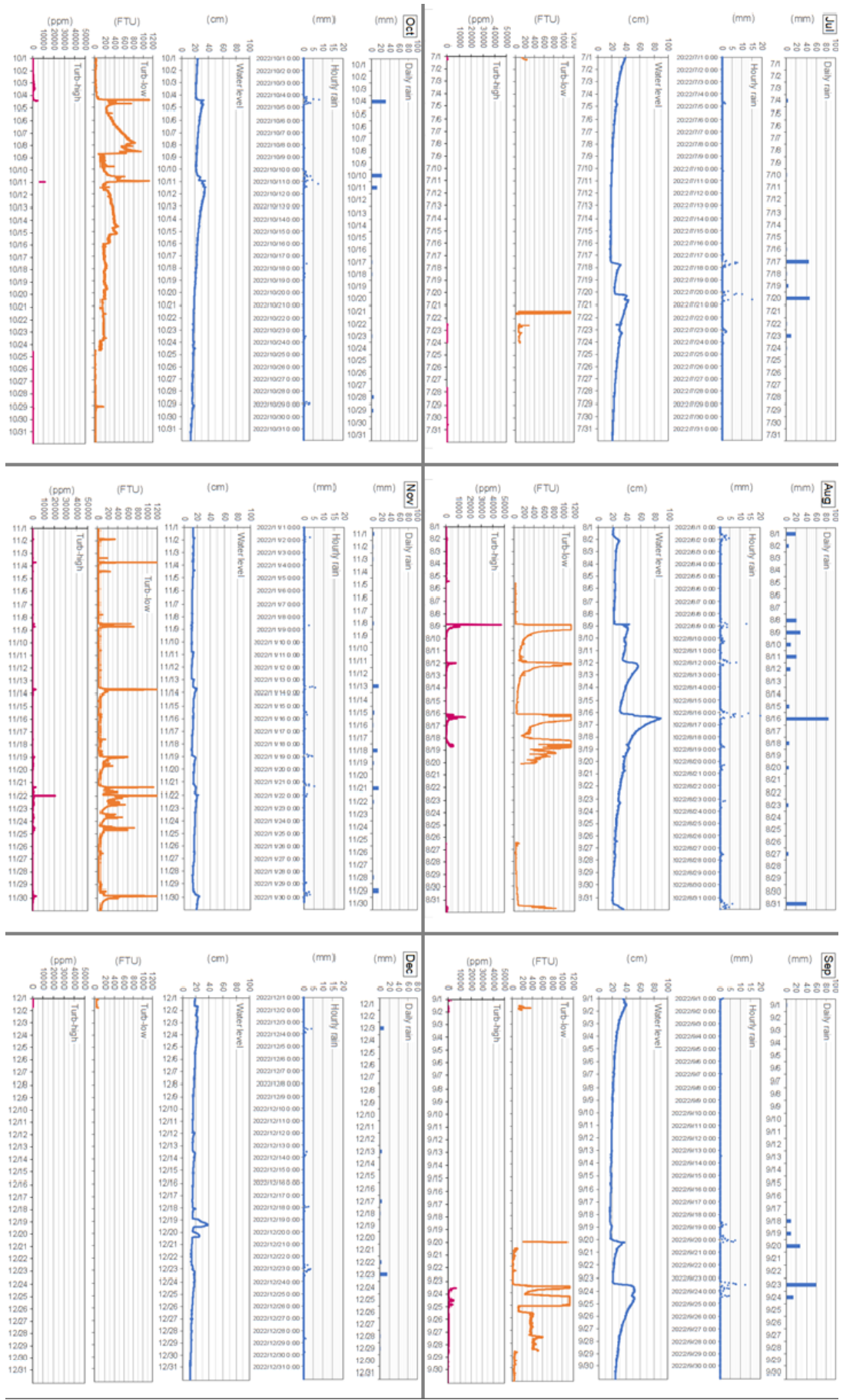


図8(b) 東和川観測点での土砂流出に関する2022年7月～12月の月別観測データ。(気温、降水量はアメダス厚真のデータ、積雪深はアメダス穂別のデータ、濁度データは異常値を除外したもの.)

### (3) 植生

#### a) 流域スケールでの植生回復

時系列のPlanet Labs衛星画像を用いて正規化植生指数（NDVI）を計算し、2017年～2022年の経年変化を見たところ、2017年（崩壊イベント前年のコントロールデータ）から2019年まで減少し、それ以降は2022年まで増加していることが分かった（図9）。崩壊イベントの翌年2019年に最小値となったのは、斜面崩壊で生息地から移動した植物が翌年までに枯死したためと考えられる。2021年から2022年の小幅な減少は、先にも指摘した2022年に主として谷沿いの氾濫原で進められた倒木除去作業のためと考えられる。従って、2019年以降は流域スケールで見れば植生が経年的に回復していることが分かった。

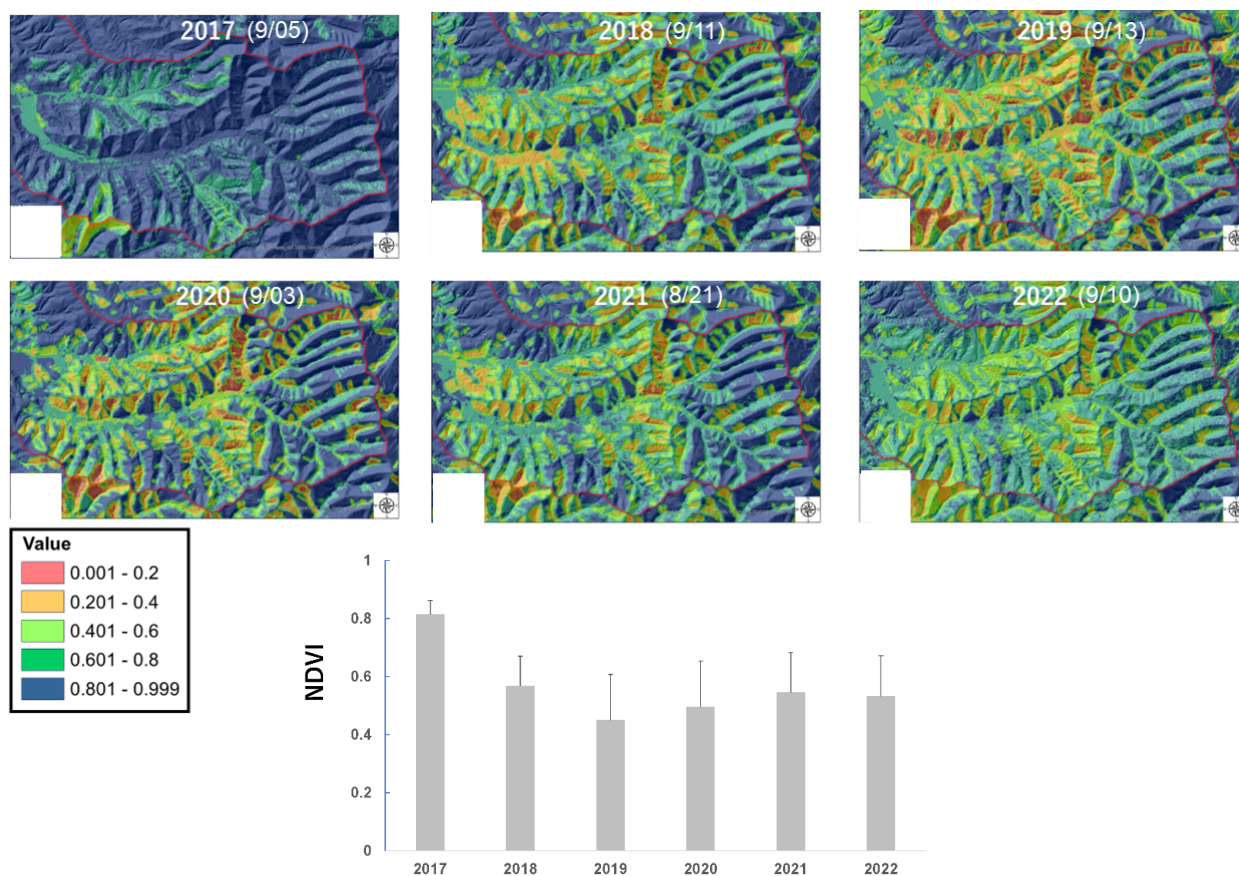


図9 東和川流域における正規化植生指数（NDVI）の経年変化。  
（上）各年におけるNDVIの分布。（下）NDVI統計値の経年変化

#### b) 斜面スケールでの植生回復

斜面に設けたコードラート調査の結果、多くの斜面でカラマツが優先的に出現していることが分かった（図10）。

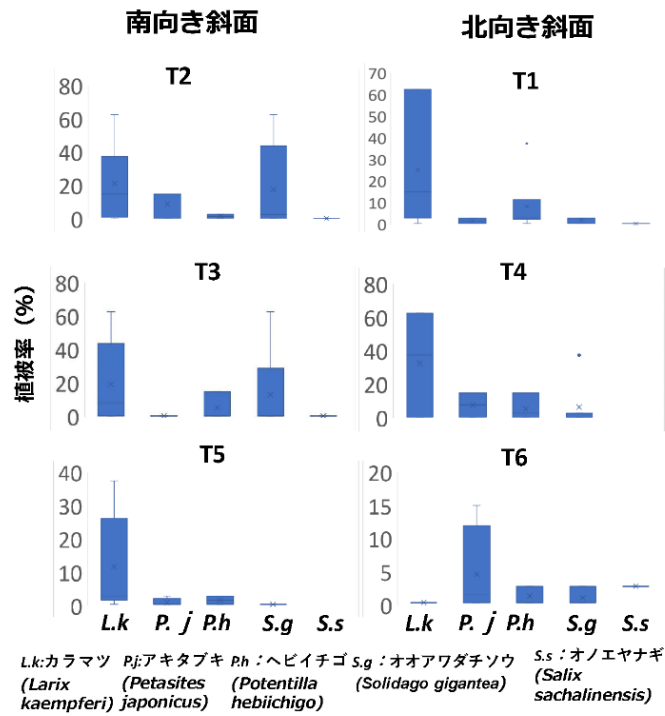


図10 斜面におけるコードラード調査結果

c) カラマツ稚樹の分布と微環境の関係

ドローン画像から作成した高精度オルソ画像を用いて斜面上に出現したカラマツの稚樹の分布を調べたところ、カラマツの稚樹は崩壊斜面上にパッチ状に分布する植生盤（斜面上部から流れ落ちて斜面上に留まった植生土層ブロック）や倒木の周囲に多く分布することが分かった（図11, 図12）

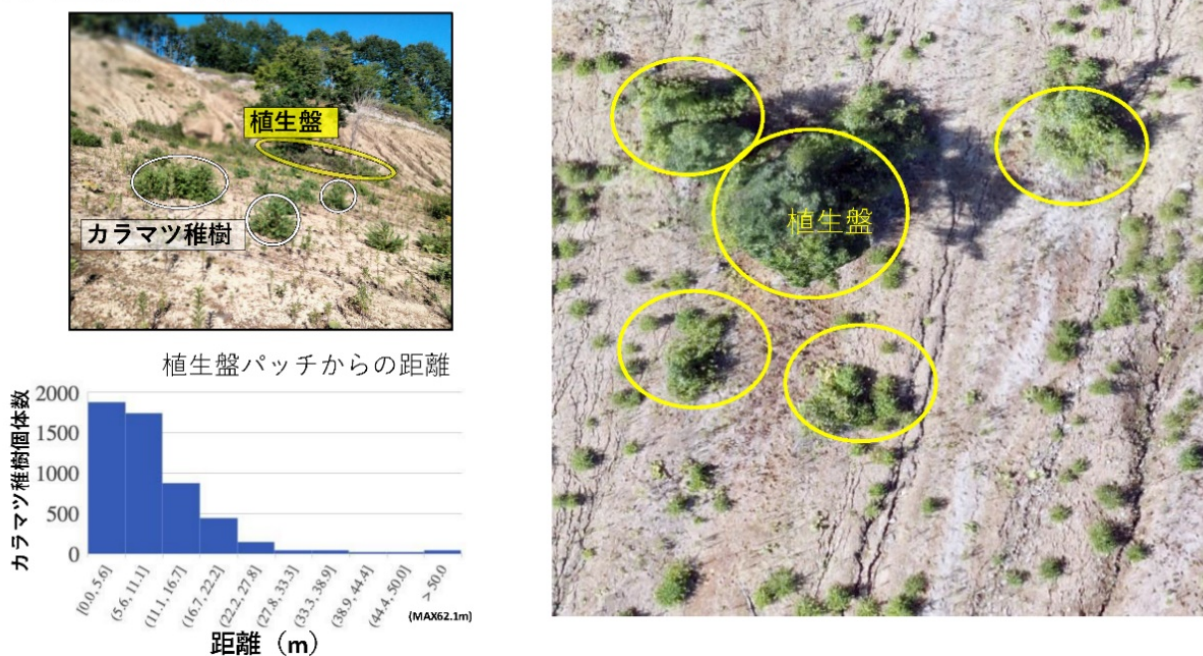


図11 植生盤からの距離ごとのカラマツ稚樹の個体数。植生盤の近くに数多く分布する。

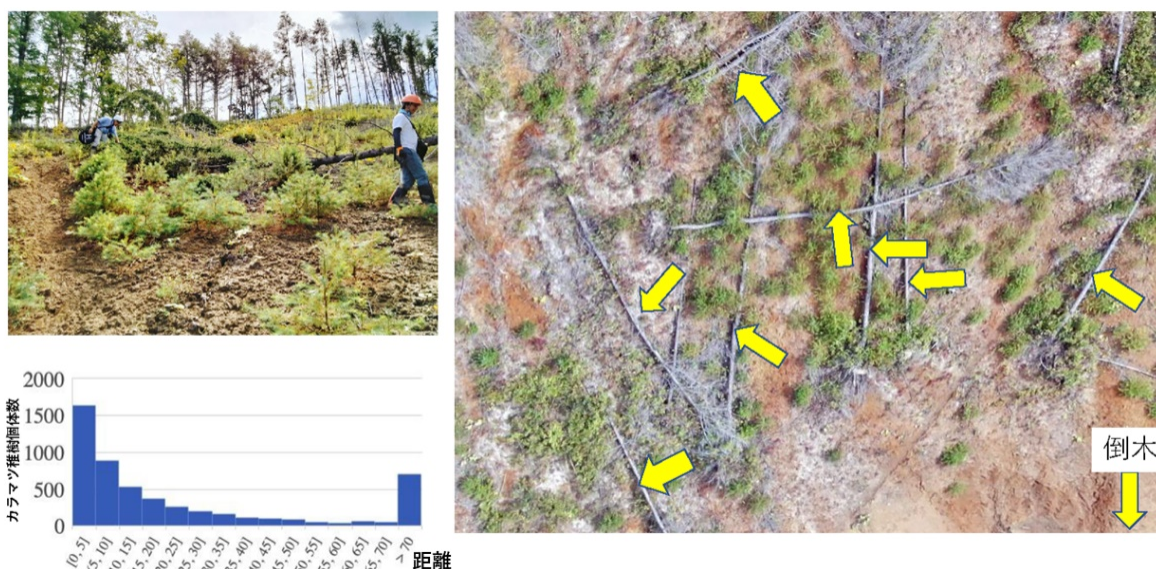


図12 倒木からの距離ごとのカラマツ稚樹の個体数. 倒木の近くに数多く分布する

## 5. まとめ

2018年の崩壊イベント後の浮遊土砂流出量は、流域状況の変化に伴って変化しているが、基本的な傾向として年々減少していることが本年の調査データを含めたこれまで4年間のデータから見えてきた。本研究を開始した意図は、この減少がいつまで続き、定常状態に至るまでにどの程度の時間がかかるのかという点に対して一つのデータを提示することである。今後も流出観測を継続してデータを蓄積していきたい。また、植生調査からは崩壊裸地斜面において植生回復が始まっていることが確認され、斜面における侵食速度の低下を裏付けた。その一方で、崩壊斜面では依然として裸地が広く残り、無数のガリーがその地表面を削り、活発な侵食プロセスが継続していると見られる（図13）。比浮遊土砂流出量の経年的な減少から推測されることは、斜面での侵食プロセスは継続しているものの、流域スケールで見れば裸地斜面を土砂流出源とする侵食プロセスの極大期は過ぎたという可能性である。こうした地形プロセスと土砂流出の関係を検証することも今後の課題としたい。



図13 降雨イベントでの裸地斜面からの土砂流出（2023年3月10日）

## 謝辞

寒地土木研究所寒地水圏研究グループの水垣滋主任研究員には同所の濁度計で測定したデータの提供を受け、観測データに関して貴重な議論を頂いた。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。

## 参考文献

- 1) 村上泰啓・水垣滋・西原照雅・伊波友生・藤浪武史 (2019). 平成30年北海道胆振東部地震において発生した斜面崩壊の特徴. 河川技術論文集, 25, 645-650.
- 2) 古市剛久・柳井誠二・奥野充・五味高志・鳥居真之・小山内信智・檜垣大助・早川智也・水垣滋・村上泰啓・林真一郎 (2020). 東和川流域における表層崩壊と土砂流出. 「地震による地すべり災害: 2018年北海道胆振東部地震」北海道大学出版会, 136-141.