

航空レーザ測量による平成23年台風12号以降の 熊野川支川神納川流域での土砂移動状況の把握

Sediment transport monitoring using LiDAR in kanno river basin
after typhoon 12 in 2011

田中健貴¹・吉村元吾¹・菅原寛明¹・木下篤彦¹
船越和也²・岡野和行²・吉野弘祐²・井之本信²

Yasutaka TANAKA, Gengo YOSHIMURA, Hiroaki SUGAWARA, Atsuhiko KINOSHITA,
Kazuya FUNAKOSHI, Kazuyuki OKANO, Kousuke YOSHINO, Makoto INOMOTO

¹国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6)

E-mail: tanaka-y86vp@mlit.go.jp

²アジア航測株式会社 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2)

Key Words: LiDAR survey, DEM differences, sediment dynamics,

1. はじめに

平成23年台風12号により、熊野川流域では大規模な斜面崩壊や土石流が発生し、甚大な被害が生じた。平成23年台風12号によって生産された大量な土砂は、河道内に堆積し、今後の降雨によって再移動することが考えられる。この時、再移動した土砂の堆積箇所によっては、河床の上昇をもたらすおそれがある。河床上昇は洪水氾濫の危険性を高めるおそれもあることから、堆積土砂の分布や移動状況をモニタリングすることは、流域内の安全を確保する上でも、重要である。

一般に山地河川の土砂供給は溪岸もしくは斜面の崩壊による土砂供給、あるいは支川からの土砂供給が主たるものである。また、下流河川では流水の運搬能力に依存するのに対し、山地など上流河川では、土砂生産源からの供給量に依存する¹⁾。さらに、これら斜面崩壊や支川からの土砂流入といった側方流入によって供給された土砂は一度の出水では流域外に流出せず、流域内に長期間滞留し、その後の出水によって徐々に流出することが知られている。滞留した土砂がその後の降雨でどの程度再移動するかに

ついてSDR (sediment delivery ratio) と呼ばれる指標を基に検討した事例がある²⁾。

一方で、近年航空レーザ測量を活用した河床変動調査が多く実施されてきている^{3), 4)}。紀伊山地においては平成23年台風12号以降、経年的に航空レーザ測量が実施されてきている。航空レーザ測量では水部は測量できないが、土砂堆積状況を把握することは可能であり、土砂堆積箇所の特徴をある程度把握することも可能と考えられる。

以上のことから、取得された航空レーザ測量(以後、LP)データを基に、熊野川流域のうち特に土砂堆積の著しい支川の1つである神納川について、土砂移動状況を経年的に整理し、平成23年台風12号以降の土砂堆積、侵食状況について報告する。

2. 調査流域と調査方法

調査対象流域は熊野川流域神納川である(図-1)。神納川は奈良県吉野郡十津川村に位置する流域面積89km²、流路長32kmの熊野川の支川であり、風屋ダムに流入する。平成23年紀伊半島大水害では神納川流域で斜面崩壊が多発した。

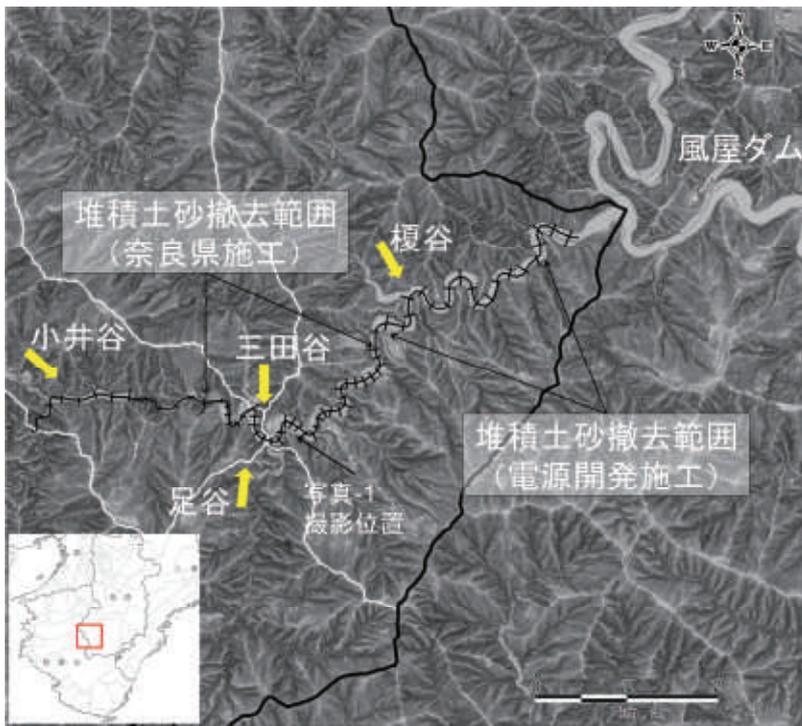


図-1 調査対象流域 黒線は横断測量実施位置



写真-1 土砂堆積状況

表-1 LP データ諸元

取得年月	計測方法	使用機体	点密度	主な出水イベント
平成21年 4月～12月	LP計測	回転翼	1点/m ²	平成23年台風12号(9月) 平成24年台風4号(6月) 平成24年16・17号(ともに9月) 平成26年台風11号(7月) 平成27年台風11号(7月) 平成29年台風21号(10月)
		固定翼	以上	
平成25年 1月～2月	LP計測	回転翼	1点/m ² 以上	
平成29年 11月～12月	LP計測	固定翼	平均 10点/m ²	

主な支川として小井谷，三田谷，足谷，榎谷がある。神納川流域では現在も出水のたびに土砂移動が見られ，土砂撤去が実施されたが，再度土砂が河床に堆積する様子が見られた(写真-1)。ここで土砂撤去は奈良県により，内野地区から杉清地区に実施されており，平成25年から平成26年にかけて14万m³，平成26年から平成27年にかけて17万m³，平成27年から平成28年にかけて10万m³撤去された。また電源開発株式会社により，内野地区から風屋ダムにかけて，平成24年から平成29年に合計82万m³撤去された⁵⁾。

調査は神納川流域を測量対象に含む平成21年，平成25年，平成29年に取得された3時期のLPデータを使用した。LPデータの諸元を表-1に示す。こ

れらのLPデータを基に，河床の横断形を200mごとに測量し，各時期の断面形変化を調査した(図-1)。その上で，平均断面法によって土砂の侵食量，堆積量を算出した。さらに侵食土砂量と堆積土砂量の差から区間毎の変動土砂量を算出した。また山地溪流において川幅の拡幅および狭窄が土砂堆積に影響を与えることが指摘されている⁶⁾。そこでLPデータを基に川幅を計測し，区間ごとに整理した。

降雨の整理は，神納川流域近傍の風屋観測所のデータをLPデータ計測期間と合わせて，平成21年12月から平成29年12月まで収集し，イベント毎の最大時間雨量，累加雨量を求めた。また同期間の最大累加雨量を算出した。

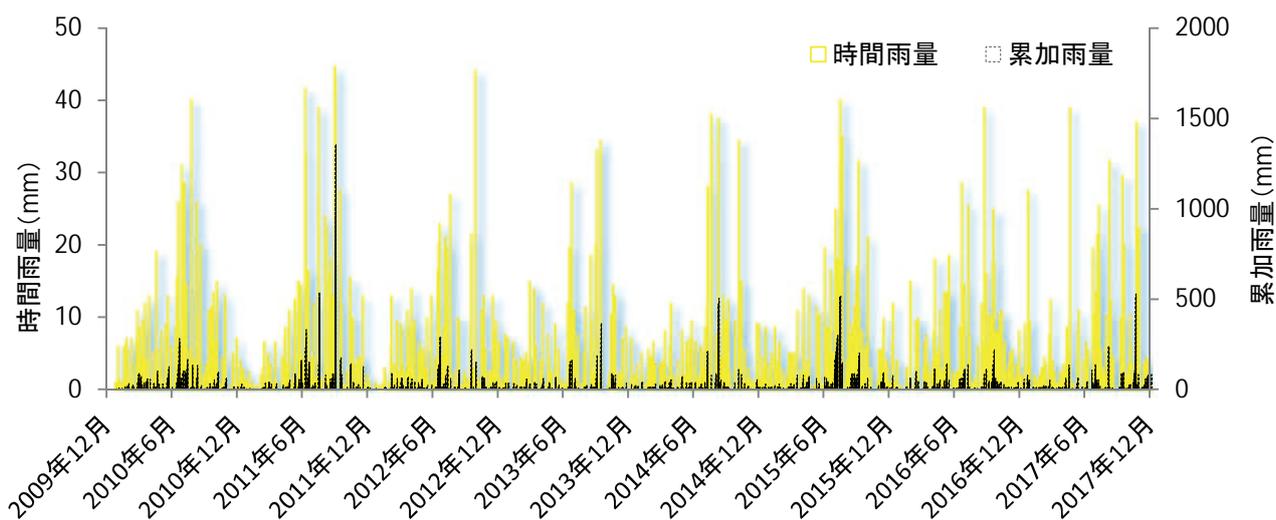


図-3 風屋観測所 降雨状況

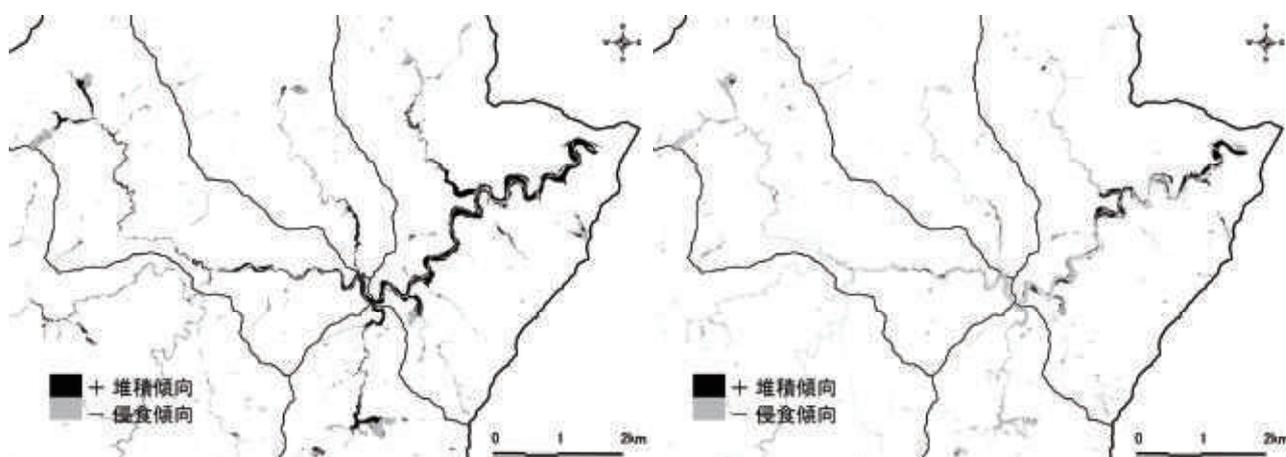


図-4 神納川流域の標高データ差分 左：平成21年から平成25年 右：平成25年から平成29年

3. 降雨状況および川幅と土砂移動状況の関係

(1) 降雨状況の整理

平成21年LPデータ計測後から平成29年LPデータ計測までの雨量データを図-3および表-2に示す。時間雨量は平成23年台風12号時が最大で45.5mm/hであり、時間雨量が40～45mm/hを記録する年は複数ある。また累加雨量は、平成23年台風12号時が最大で1358.5mmと極めて多い降雨量を記録している。LPデータ計測年に着目すると、平成21年から平成25年の間では、平成23年台風12号による降雨が時間雨量、累加雨量ともに最大である。平成25年から平成29年にかけては、最大時間雨量は平成27年台風11号、累加雨量については平成29年台風21号で最も大きな値が記録されている。なお各期間の総雨量は平成21～25年が9340mm、平成25～29年が12303mmであった。

表-2 各期間の最大時間雨量、最大累加雨量

■H21LP計測～H25LP計測		
最大時間雨量	44.5mm	平成23年台風12号
最大累加雨量	1358.5mm	平成23年台風12号
■H25LP計測～H29LP計測		
最大時間雨量	40mm	平成27年台風11号
最大累加雨量	528.5mm	平成29年台風21号

(2) 平成21年から平成25年にかけての土砂移動

神納川流域の土砂移動状況を図-4左および図-5上に示す。平成23年台風12号による土砂生産を反映して、流域ほぼ全体で土砂が堆積する傾向にある。また下流ほど、より土砂が堆積している傾向を示し、特に1000～1200mにかけて堆積傾向が顕著であり、最大で33000m³堆積している。

(3) 平成25年から平成29年にかけての土砂移動

平成25年以降から平成29年にかけての土砂堆積

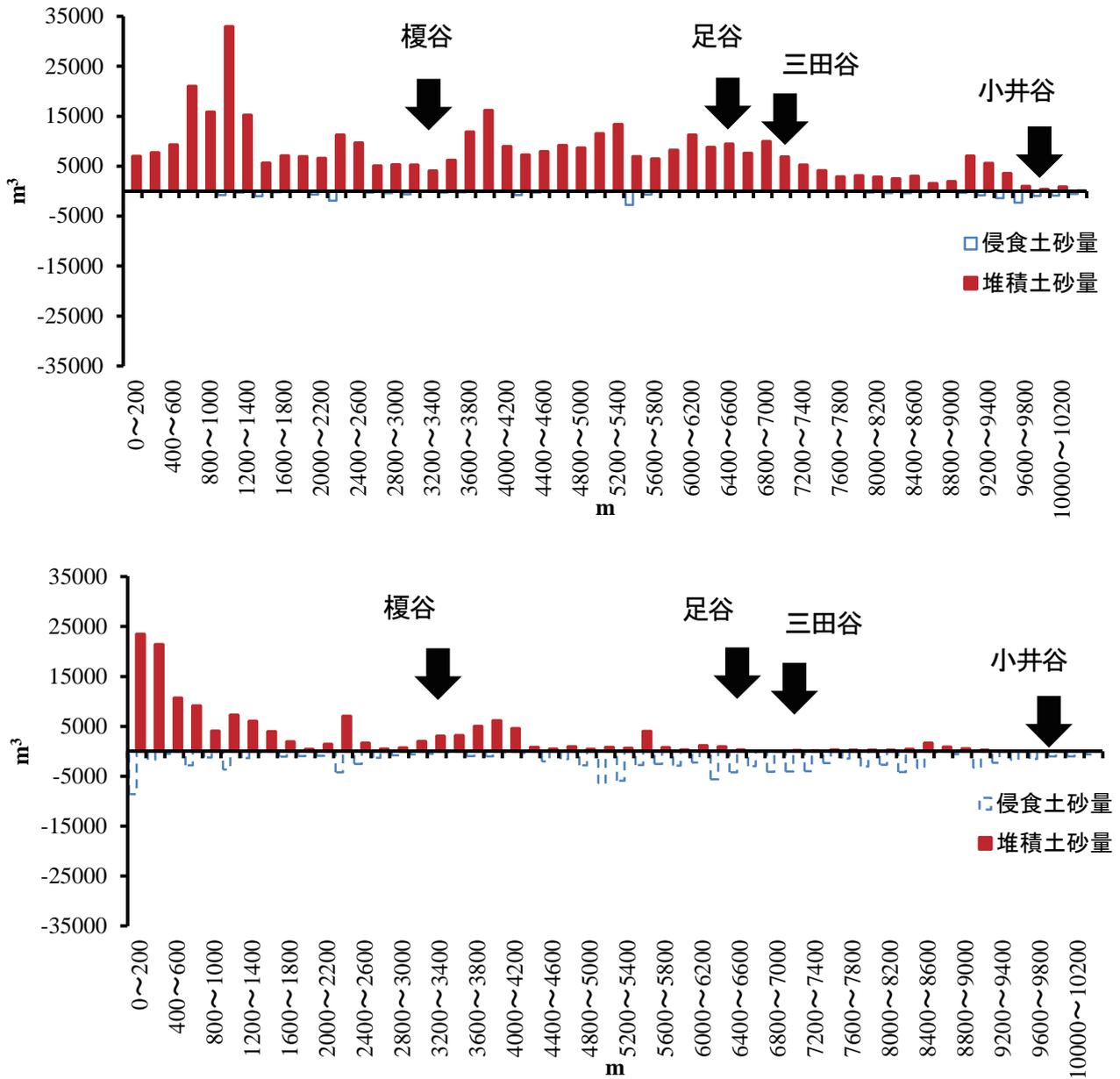


図-5 各時期における侵食量および堆積量 上：平成21年～平成25年 下：平成25年～平成29年
 縦軸：侵食土砂量，堆積土砂量 横軸：下流端からの距離

状況を図-4 右および図-5 下に示す。4200m よりも上流では侵食傾向である。このことは、平成23年台風12号で生産され、河床に堆積していた土砂が徐々に侵食されているとともに、平成24年以降実施された土砂撤去の影響を表していると考えられる。一方で、最大23000m³と平成21年から平成25年よりも堆積土砂量は少ないものの、0～4400mの区間は平成21年から平成25年と同じく堆積傾向が見られる。

(4) 土砂堆積箇所の川幅

神納川本川は拡幅、狭窄を繰り返し、また上流から下流にかけて徐々に川幅が大きくなっている（図

-6）。小井谷から三田谷にかけて川幅は最小16m、最大106mであり、他区間と比較すると川幅は小さい。三田谷から足谷にかけて川幅は最小56m、最大112m、足谷から榎谷にかけては最小56m、最大180mであった。榎谷から下流については最小73m、最大190mであり、他区間と比較し川幅は大きい。

次に川幅と変動土砂量の関係を図-7に示す。ここで変動土砂量は先に述べた通り、各期間における堆積土砂量と侵食土砂量を差し引いた数値である。平成21年から平成25年、および平成25年から平成29年ともに、川幅が大きくなることもない変動土砂量が大きくなる傾向を示している。

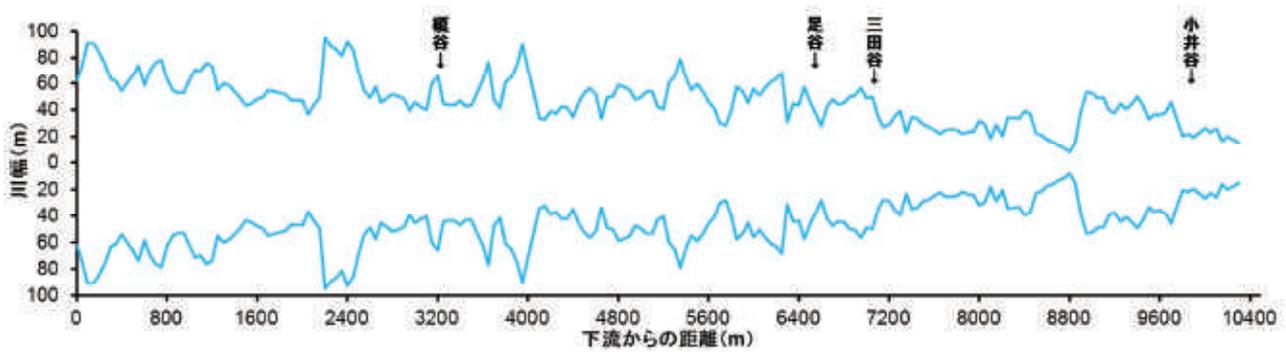


図-6 川幅の縦断変化

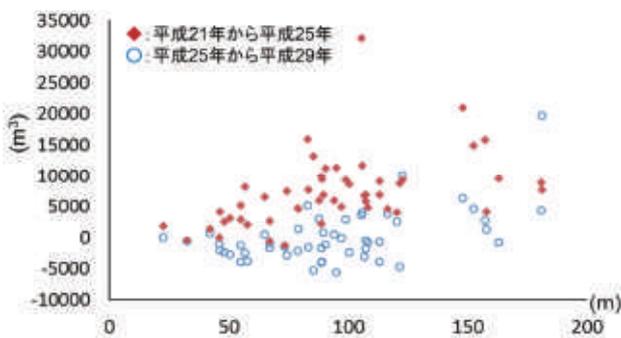


図-7 川幅と変動土砂量の関係

4. 考察

平成 21 年および平成 25 年に取得した LP データの分析から、神納川流域においては平成 23 年台風 12 号の後、生産された大量な土砂が流域内に広く堆積したことが今回の調査で改めて分かった。また平成 25 年および平成 29 年に取得した LP データの分析では、下流から 4200m よりも上流では平成 25 年以降、おおむね侵食傾向が見られる一方、4200m よりも下流では堆積傾向が継続している様子が見られた (図-5 下)。ここで、侵食傾向については流水による運搬や土砂撤去の影響が考えられる。下流での堆積傾向については、平成 23 年台風 12 号によって生産された土砂が、その後の降雨によって下流側へ運搬されたことを反映していると考えられる。また平成 25 年および平成 29 年に取得された LP データを基にした分析から侵食傾向にある区間 (下流から 7.1km)、ならびに堆積傾向にある区間 (下流から 4.0km) について横断面の例を図-8 に示す。ここから分かるように、侵食傾向にある区間であっても、河床が平成 23 年台風 12 号以前の高さに戻ったので

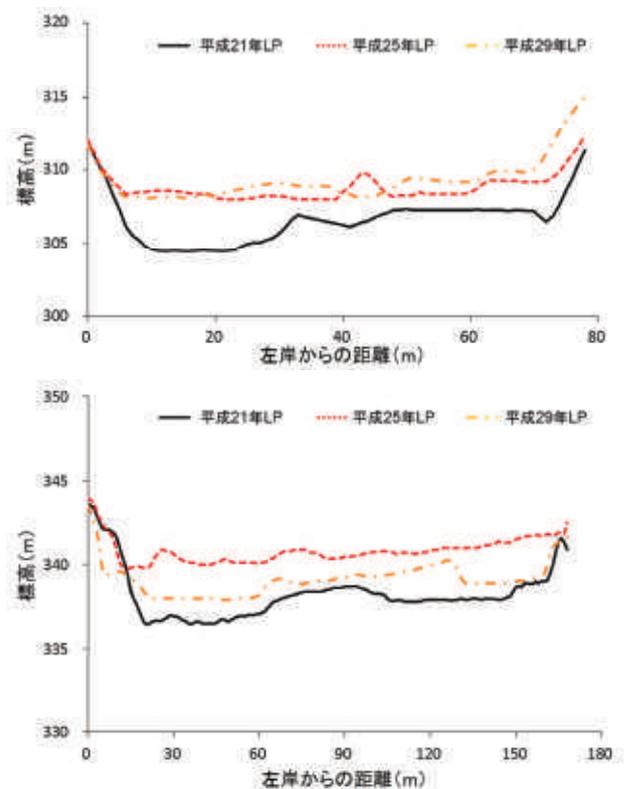


図-8 横断面の経年変化

上：下流から 4.0km 下：下流から 7.1km

はなく、平成 23 年台風 12 号によって生産された堆積土砂が侵食されていることを示唆する。

支川の 1 つである榎谷の合流点より 200m 上流付近、下流から 3400~4200m では、全期間を通して土砂が堆積する傾向が見られた (図-5)。このことは、榎谷からの土砂流入が本川の土砂堆積傾向に影響を与えている可能性を示唆する⁷⁾が、本川上流からの土砂移動による影響も考えられるため、詳細には今後の検討が必要である。

また川幅が大きくなるにつれて、変動土砂量が大き

きくなる傾向が見られた。これまで数十年程度の比較的長期間にわたる変動土砂量について川幅との関係が議論されてきた⁶⁾が、数年程度の比較的短い期間においても川幅の大きくなる区間において変動土砂量が大きくなることが示唆された。このことから大量な土砂が生産された後、土砂が堆積しやすい箇所を抽出するための指標として川幅が有効である可能性が示唆される。

5. おわりに

本報告では、神納川流域における平成 23 年台風 12 号後の土砂移動状況を LP データから整理分析した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 平成 23 年台風 12 号によって神納川流域では、流域全体にわたり大量の土砂が生産され、その土砂が神納川本川に堆積した
- 2) 本川では、人為的な撤去やその後の降雨により土砂堆積状況が変化している。特に、上流および中流では土砂堆積量は減少傾向にある
- 3) 上流および中流では 2) のような傾向が見られる一方で、下流では土砂堆積量は平成 25 年以降も多い傾向が見られる
- 4) 特に、榎谷合流点付近や本川最下流部の土砂堆積には、本川上流からの土砂移動ならびに榎谷からの土砂流入が影響している可能性がある
- 5) 川幅が大きくなることもない、変動土砂量が大きくなる傾向が見られた。

一般に、土砂は粒径別に選択的に運搬されることが知られている。今回、粒径調査を行えていないため、今後土砂運搬の実態を正確に把握するためには、粒径調査を実施する必要がある。また、降雨量やそれに伴う水位、流量などの水文条件についても調査を行い、対象とする 1 出水での土砂堆積、侵食状況の変化を把握する必要がある。このことによって、一度堆積した土砂が再移動するタイミングを検討する可能性が得られると考えられる。さらに、各支川における土砂移動状況についても把握し、支川からの土砂流入が本川に与える影響についても検討する必要があると考えられる。

以上の課題を踏まえ、大量な土砂が生産された後の土砂移動状況について、今後検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) Pitlick J.C. and Thorne C.R. : Sediment supply, movement and storage in an unstable gravel-bed river, In “Sediment Transport in Gravel-bed Rivers” edited by C.R. Thorne, J.G. Bathurst and R.G. Hey, Wiley, pp.151-186, 1996.
- 2) Mio Kasai, Tomomi Marutani, Leslie M. Reid, Noel A. Trustrum : 崩壊地を含む小面積流域における流出土砂量 Estimation of temporally averaged sediment delivery ratio using aggradational terraces in the headwater catchments of the Waipaoa river, north island, New Zealand, Earth Surface Processes and landforms, 26, 1-16, 2001.
- 3) 中村良光, 椎葉秀作, 柏原佳明, 小川紀一郎 : 航空レーザ計測を用いた土砂生産・流送域における河床変動状況, 砂防学会誌, 59 巻, 4 号, pp.54-57, 2006.
- 4) 松岡暁, 山越隆雄, 田村圭司, 長井義樹, 丸山準, 小竹利明, 小川紀一郎, 田方智 : LiDAR データの差分処理による流域土砂動態把握の試み, 砂防学会誌, 62 巻, 1 号, pp.60-65, 2009.
- 5) 熊野川の総合的な治水対策協議会 : 第 15 回熊野川の総合的な治水対策協議会 (平成 30 年 6 月 6 日), https://www.kkr.mlit.go.jp/river/iinkaikatsudou/kyougikai_15.html (参照日平成 30 年 8 月 3 日)
- 6) 中村太士 : 河床堆積地の時間的・空間的分布に関する考察, 日本林学会誌, 72 巻, 2 号, pp.99-108, 1990.
- 7) 木下篤彦, 田中健貴, 桜井亘, 内田太郎, 臼杵伸浩, 岡野和行, 井之本信 : 2011 年深層崩壊発生後の赤谷川流域からの土砂流出と川原樋川との合流点での河床上昇について, 河川技術論文集, 24 巻, 2018.

(2018.5.18 受付)