

# 平成23年台風12号土砂災害における 和歌山県那智川支流の流木の発生と流出実態

STUDY ON PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF DRIFTWOOD IN NACHI  
RIVER BASIN, WAKAYAMA PREFECTURE OCCURRED BY TYPOON TALAS IN 2011

黒岩 知恵<sup>1</sup>・藤村 直樹<sup>1</sup>・木下 篤彦<sup>1</sup>・水野 秀明<sup>1</sup>・今森 直紀<sup>2</sup>・福田 和寿<sup>3</sup>

Chie KUROIWA, Naoki FUJIMURA, Atsuhiko KINOSHITA, Hideaki MIZUNO, Naoki IMAMORI  
and Kazutoshi FUKUDA

<sup>1</sup> 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup> 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所 (〒637-0002 奈良県五條市三在町1681)

<sup>3</sup> 和歌山県 (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

*Key Words: driftwood, amount of driftwood, transport rate of driftwood, typhoon Talas in 2011, debris flow*

## 1. はじめに

平成23年台風12号により、紀伊半島では広い範囲で記録的な豪雨をもたらされ、とくに和歌山県東牟婁郡那智勝浦町では、市野々観測所(和歌山県)において連続雨量は872mm,最大時間雨量は123mm(9月4日2~3時)に達した<sup>1)</sup>。この豪雨により、同町を流れる那智川の支川では流木を含む土石流が複数箇所が発生し、これらが那智川本川へと流入し、橋梁の閉塞や河道からの越流・氾濫によって、多くの人的被害や家屋被害、広範囲にわたる浸水被害をもたらされた<sup>2)</sup>。台風12号による那智川災害については、これまでに土砂移動に関し主に土石流や斜面崩壊の特徴や被害の実態について報告されているものの<sup>2)~4)</sup>、それらとともに流出した流木について詳細な報告はほとんどなされていない。

土石流に伴う流木については、これまでに災害実態調査や水路実験を中心とした研究が行われてきた(例えば<sup>5)6)</sup>。これらの研究により、流木の発生・堆積機構、流木の移動・停止条件、流木災害の形態が明らかにされ、これらの知見をふまえて流木対策が行われている。しかしながら、近年では、土石流・流木対策のために砂防施設が整備された溪流において流木が流出し、被害が生じた事例が報告されている(例えば<sup>7)</sup>。また、最近10年間においても、平成23年那智川災害をはじめ、平成25年の伊豆大島土砂災害や秋田・岩手豪雨災害において、流木により被害が拡大した事例が報告されており<sup>8)9)</sup>、より合理的かつ効果

的な流木対策の推進が急務といえる。土石流・流木対策では、現況調査や流木発生事例に基づいて発生流木量と流木流出率(発生流木のうちの対象地点への到達率)を推定し、これらから下流へと被害をもたらし得る流出流木量を設定し、その処理計画の立案や対策施設の設計を行う。豪雨時の発生流木量や流木流出率は、流木対策において重要な情報であり、より適切な流木処理計画の立案や対策施設の設計を行うために、これらの情報を蓄積することが重要である。

そこで、本研究では、平成23年台風21号により那智川流域内の複数の支川から土石流に伴って発生した流木の実態を明らかにすることを目的とする。まず、資料解析と現地調査により、発生流木量、流出流木量および流木流出率を推定した。さらに流域ごとの発生流木量や流木流出率を比較し、それらの特徴を考察した。本報では、その結果を報告する。

## 2. 対象流域の概要

本研究の対象流域は、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町に位置する那智川の左支川である①~④と右支川である⑤~⑧の計8流域である。対象流域の位置と土石流の流下・堆積範囲を図-1に示す。対象とした8流域の流域面積は0.28~0.92km<sup>2</sup>で、標高は60~685.8mである。土石流源頭部から谷出口地点までの溪流勾配は、陰陽川左支溪(①)と内の川(②)、平野川(④)では20°前後と急峻であり、その他5溪

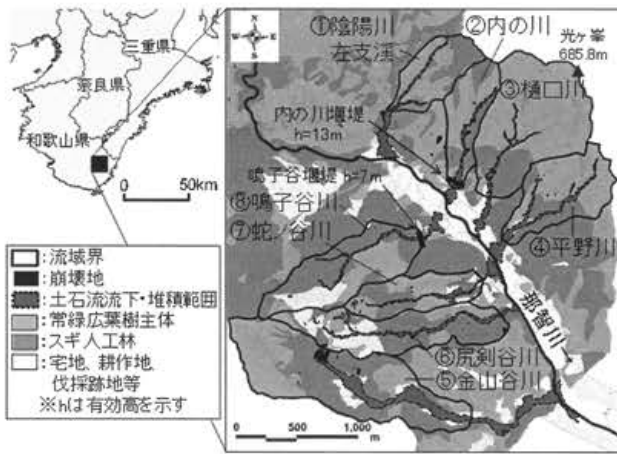


図-1 対象流域の位置

流では12~16°である。地質は8溪流とも概ね同様で、上~中流部は熊野酸性岩類の花崗斑岩、下流部は熊野層群の砂岩・泥岩で構成される。植生は8溪流ともに、中~下流部には樹高10~25m程度のスギ人工林が優占し、上流の高標高部には樹高10m以上のシイ・カシを主体とする常緑広葉樹二次林が見られる。尻剣谷川(⑥)の上流域と鳴子谷川(⑧)の一部は伐採跡地である。谷出口下流に広がる土石流扇状地は、家屋や畑等として土地利用されている。

本地域は多雨地域であり、近隣に位置する新宮観測所(気象庁)では、1976~2010年の年間総雨量、年最大日雨量および年最大時間雨量の平均値はそれぞれ3,126mm/year, 198mm/day, 55mm/hとなっている。台風12号が発生した2011年には台風時の日雨量は418.5mm/day, 時間雨量は132.5mm/hといずれも年最大値を記録し、1976年から災害当時の過去35年間で見ても最大規模で、例年の2倍以上であった。

平成23年の災害では、流木は土砂や礫とともに支流域の谷出口下流の家屋に押し寄せ、倒壊などの被害を拡大させた。内の川(②)と鳴子谷(⑧)には、谷出口付近にそれぞれ有効高13mと7mの不透過型砂防堰堤が整備されていたが、堰堤で捕捉されずに流出した流木が多く見られた。鳴子谷川(⑧)では、流木が鳴子谷橋を閉塞し、氾濫被害を増大させた。

### 3. 流木の発生と流出状況

#### (1) 調査方法

空中写真などの資料解析と代表箇所での現地調査により、発生流木量と形態、谷出口地点の流木流出率を把握した。発生流木量は、災害資料と災害前後の空中写真で確認した流木発生範囲とその近傍の材積調査結果から(1)式で推定し、流域ごとに集計した。

$$V_1 = A_w V_w \quad (1)$$

表-1 発生流木量および流木流出率

溪流名	流域面積 km <sup>2</sup>	溪床勾配 ※1 °	発生流木量 V <sub>1</sub> m <sup>3</sup>	堆積流木量 V <sub>2</sub> ※2 m <sup>3</sup>	流出流木量 V <sub>3</sub> m <sup>3</sup>	流木流出率 α %	比発生流木量 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	比生産土砂量 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>
① 陰陽川左支溪	0.28	20.9	415	48	367	88.4	1,481	—※3
② 内の川	0.29	21.9	704	114	590	83.8	2,426	97,497
③ 樋口川	0.78	13.7	467	232	235	50.4	599	27,844
④ 平野川	0.42	19.8	900	276	624	69.3	2,144	104,471
⑤ 金山谷川	0.92	12.7	4,763	453	4,310	90.5	5,177	191,422
⑥ 尻剣谷川	0.55	13.6	2,210	232	1,977	89.5	4,017	104,767
⑦ 蛇ノ谷川	0.30	15.9	734	106	629	85.6	2,448	58,330
⑧ 鳴子谷川	0.52	15.8	950	165	785	82.6	1,827	87,746

※1: 災害後LPデータをもとに、土石流の源頭部~谷出口の勾配を算出した

※2: 砂防堰堤の堆積流木量は堆砂面上の流木量を計上した

※3: 既往資料から、陰陽川左支溪のみの土砂量を把握することができなかった

ここに、V<sub>1</sub>:発生流木量(m<sup>3</sup>)、A<sub>w</sub>:流木発生範囲の面積(m<sup>2</sup>)、V<sub>w</sub>:流木発生範囲と同様の植生箇所における単位面積あたりの材積量(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)である。流木発生範囲は、流木の発生源となった崩壊地や土石流による侵食・堆積範囲を整理したものであり、その面積はGISで計測した。流木の発生形態は、災害資料の調査および代表箇所の現地調査により推定した。

谷出口地点の流木流出率は、(2)~(3)式で推定した。

$$V_3 = V_1 - V_2 \quad (2)$$

$$\alpha = V_3 / V_1 \cdot 100 \quad (3)$$

ここに、V<sub>3</sub>:流出流木量(m<sup>3</sup>)、V<sub>1</sub>:発生流木量(m<sup>3</sup>)、V<sub>2</sub>:堆積流木量(m<sup>3</sup>)、α:流木流出率(%)である。谷出口地点からの流出流木量は、発生流木量から渓流内の堆積流木量を差し引き求めた。堆積流木量は、堆積流木の本数・平均直径・平均長さを空中写真判読と現地計測で把握し、これらから算出した幹材積である。流木流出率がα=100%の場合は発生流木量の全量が谷出口下流へ流出し(V<sub>1</sub>=V<sub>3</sub>)、α=0%の場合は発生流木量の全量が流域内に堆積し(V<sub>1</sub>=V<sub>2</sub>)、谷出口下流へ流木が流出しなかったことになる。

#### (2) 発生流木量

発生流木量の推定結果を表-1に示す。同表には、次項以降で詳述する流木流出率の推定結果と既往災害資料<sup>10)</sup>に示された比生産土砂量(推定値)も併記した。比発生流木量は599~5,177m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>であり、流域によって大きくばらつきがある。

流域面積と発生流木量との関係を図-2に示す。図中には、流域面積に対する針葉樹(スギ人工林)の占有率、過去の主な流木災害における発生流木量<sup>11)</sup>も記載した。8流域の発生流木量は、過去の災害と同様に、流域面積が大きく、スギ人工林の占有面積が高い流域ほど増大する傾向が見られた。樋口川(③)を除く7流域(針葉樹の占有面積率:30~57%)の発生流木量は、既往実績における針葉樹主体の流域

での発生流木量の上限值を上回った。

生産土砂量と発生流木量との関係を図-3に示す。陰陽川左支溪(①)については既往資料から当該流域(左支溪のみ)の生産土砂量を把握することができなかったため、検討対象外とした。過去の主な流木災害では、発生流木量の上限は生産土砂量の2%程度となることが報告されている<sup>12)</sup>。対象流域の発生流木量はいずれも生産土砂量の2%以上となり、上限値は4.2%を示しており、既往災害と比較しても多くの流木が発生したことがわかる。

### (3) 流木の発生形態

流木の主な発生形態は、既往研究<sup>12)</sup>による分類のうち、斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落、土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出の2つであった。流木の種類は、主にスギや常緑広葉樹であった。また、本地域のスギ人工林の大部分は未間伐であり、流木発生範囲近傍の林況を見ても、現地に存置された材や倒木はほとんど無かったことから、これらを起源とする流木は立木に比べて少なかったと考えられる。発生流木量全体に対する流木発生形態別の発生流木量の割合を図-4に示す。①、③~⑧の7流域では、溪岸・溪床侵食による発生流木量が

全体の70~97%を占める。災害前の空中写真判読より、これらの流域の多くでは、中~下流域にかけての谷底平野部に幹材積の大きい樹高10~20mのスギが密生していた特徴が確認された。これらが溪岸・溪床からの主な流木発生源となり、土石流に伴って多量に流下した。内の川(②)では、崩壊と溪岸侵食による発生流木量の割合は同程度であった。

### (4) 谷出口地点での流木流出率

谷出口地点における流木流出率は、表-1に示したように、①、②、⑤~⑧の6溪流では80~90%であったのに対し、樋口川(③)では50.4%、平野川(④)では69.3%と10~40%低くなっている。比発生流木量と流木流出率の関係を図-5に示す。比発生流木量が $2,000\text{m}^3/\text{km}^2$ と同程度であった①、②、④、⑦、⑧の5流域を見ると、比発生流木量に対して流木流出率にはばらつきがあり、平野川(④)の流木流出率は他の流域に比べて10~20%程度低くなっている。

## 4. 渓流内での流木流出率の変化

### (1) 流木収支の推定方法

渓流内を概ね50m間隔に分割した区間ごとに流木の発生量・堆積量・流出量を算出して流木収支を推定し、渓流内での流木流出率の変化を把握した。砂防堰堤における堆積流木量は、空中写真等から確認できた堆砂面上の流木量を集計した。また、流木の流出や堆積には溪床勾配や河道幅などが影響することをふまえて(例えば6)、流木収支を推定した区間ごとに、災害後の航空レーザ計測データの解析により把握した溪床勾配、河道幅および湾曲状況も併記した。溪床勾配は、当該区間の標高差と距離から算出した。河道幅は、土石流流下幅の区間平均値とした。湾曲状況(屈曲度)は、既往研究<sup>13)</sup>で用いられた算出方法を参考とし、本研究では対象区間の河道中心線の長さを区間の直線距離で除した値とした。

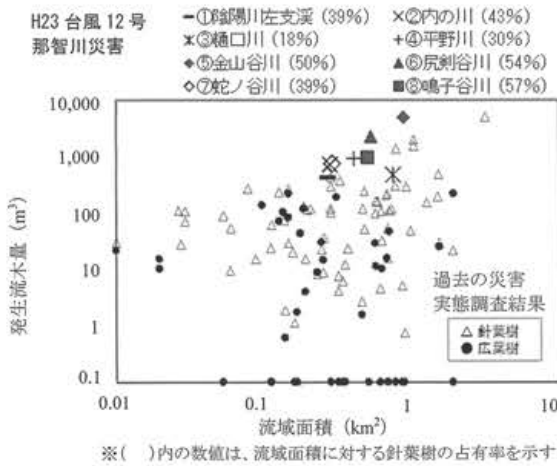


図-2 流域面積と発生流木量(既往調査結果<sup>11)</sup>に加筆)

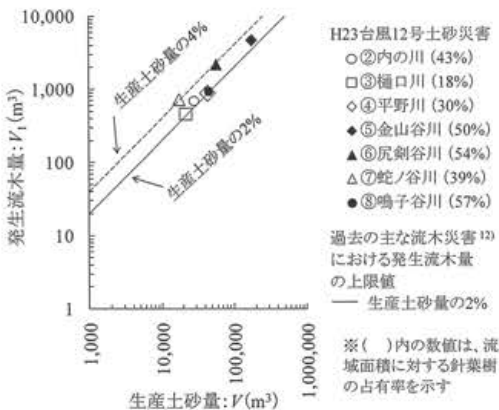


図-3 生産土砂量と発生流木量

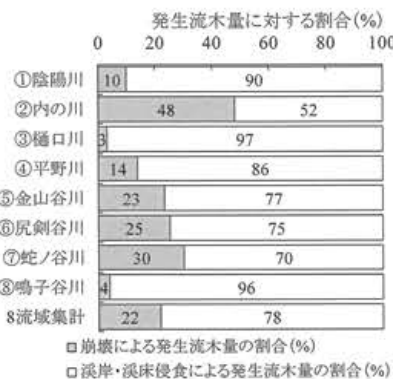


図-4 発生流木の形態と割合

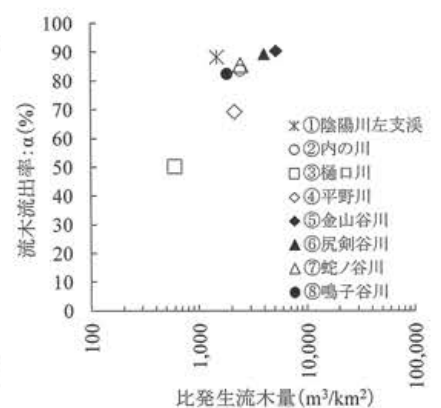
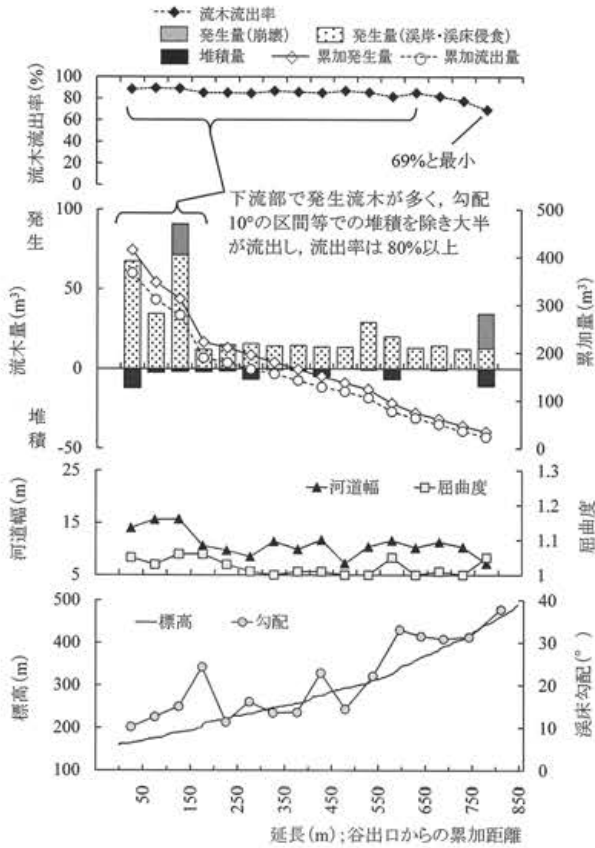


図-5 比発生流木量と流木流出率

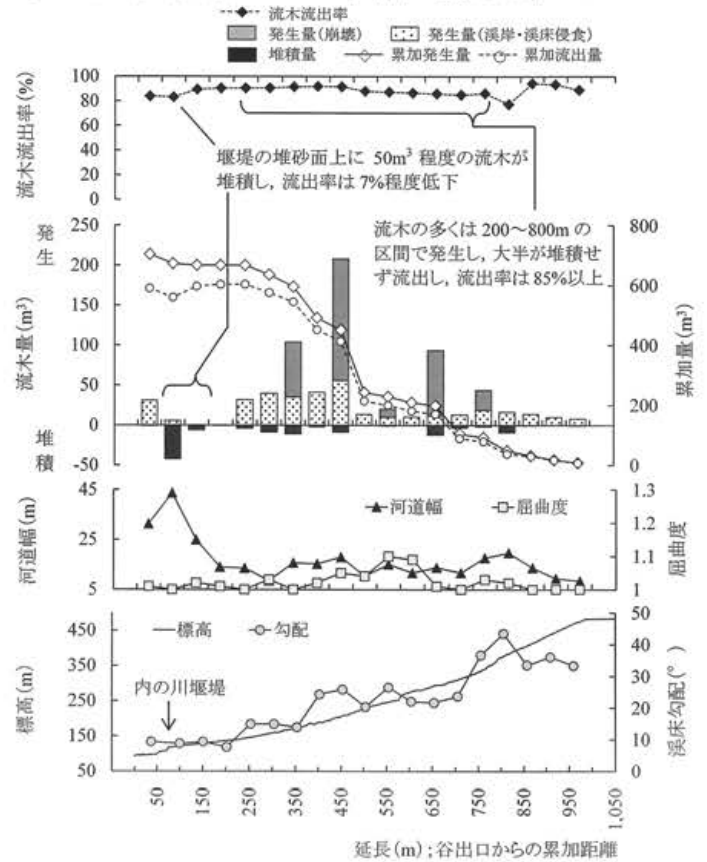
## (2) 流域内での流木流出率の相違

①～⑧流域での流木流出率と河道地形量の変化を

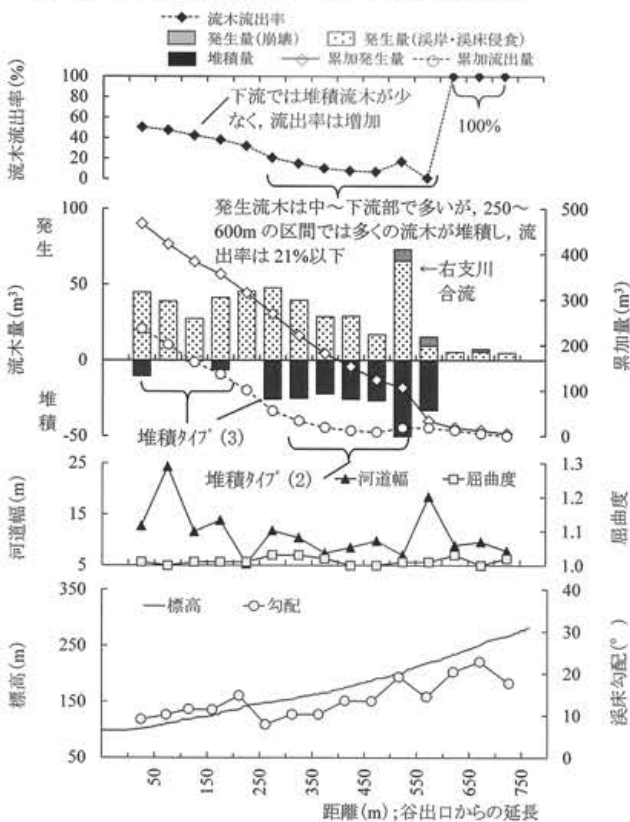
①陰陽川 (流木流出率: 69～89%, 谷出口地点 88.4%)



②内の川 (流木流出率: 77～94%, 谷出口地点 83.8%)



③樋口川 (流木流出率: 1～100%, 谷出口地点 50.4%)



④平野川 (流木流出率: 16～82%, 谷出口地点 69.3%)

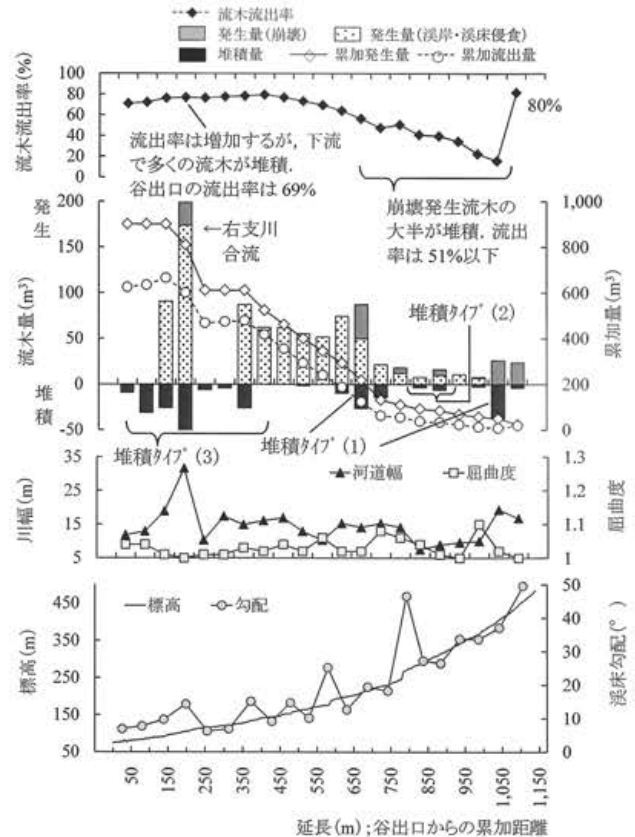
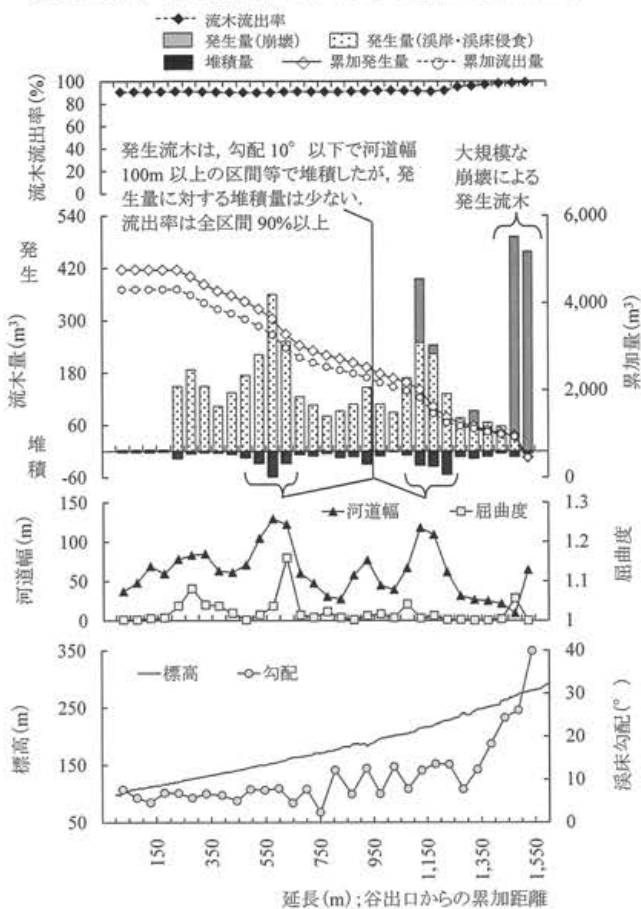
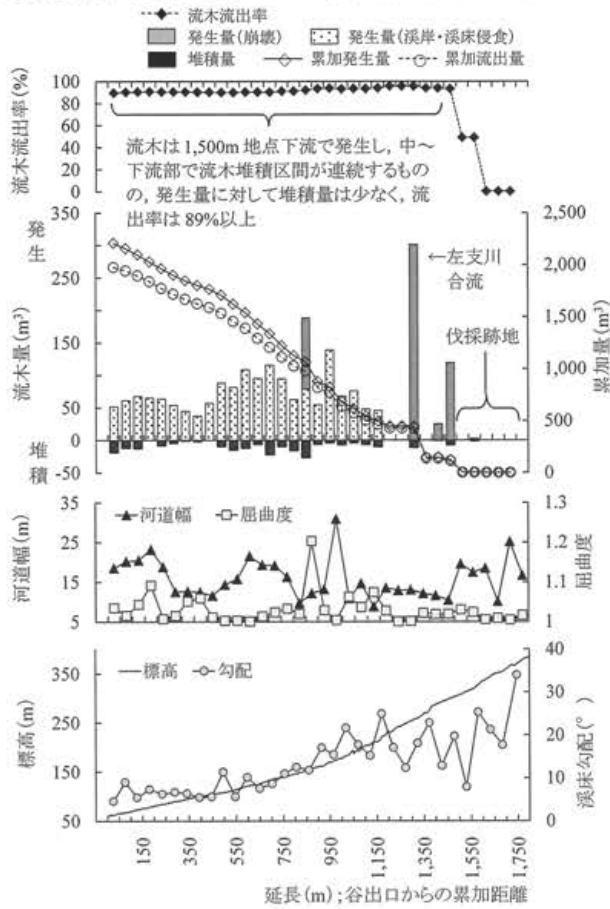


図-6(1) 渓流内での流木流出率と河道地形の変化 (流域: ①～④)

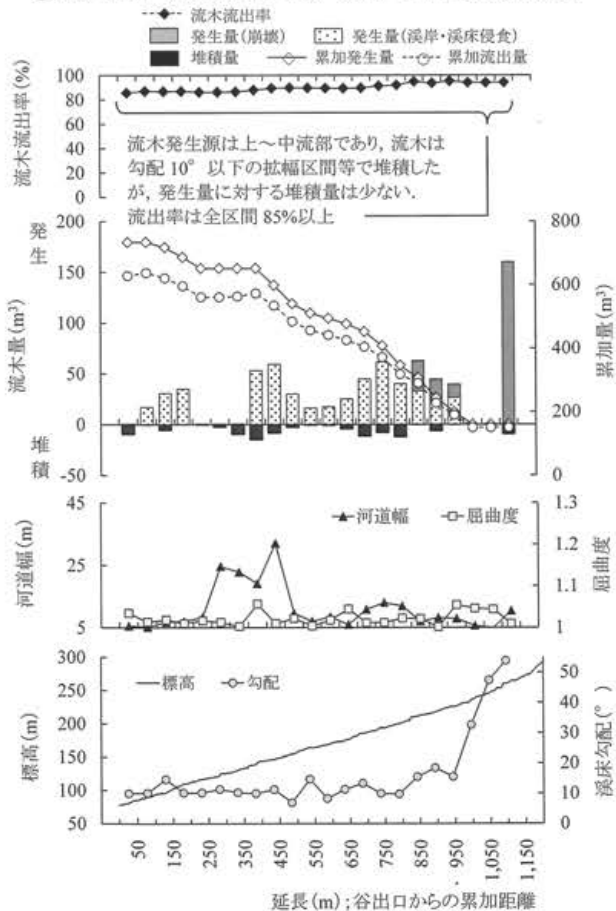
⑤金山谷川 (流木流出率: 90~99%, 谷出口地点 90.5%)



⑥尻剣谷川 (流木流出率: 0~96%, 谷出口地点 89.5%)



⑦蛇ノ谷川 (流木流出率: 85~95%, 谷出口地点 85.6%)



⑧鳴子谷川 (流木流出率: 19~93%, 谷出口地点 82.6%)

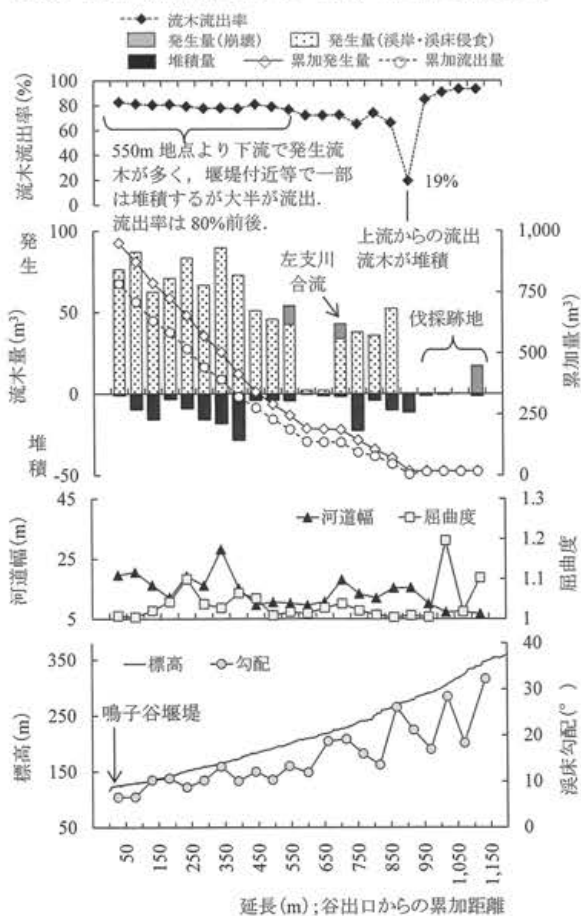


図-6(2) 渓流内の流木流出率と河道地形の変化 (流域: ⑤~⑧)

流木の発生や堆積箇所には相違があるものの、流木流出率に大きな変化は見られず、全区間を通して70%以上であった。尻剣谷川(⑥)では、最上流部は大半が伐採跡地(一部はスギ人工林)であり、わずかながらの発生流木量に対して、その場で大半の流木が堆積し、流木流出率は50%以下を示した。崩壊による発生流木があった谷出口地点から延長1,500m地点より下流では、流木流出率は89~96%となっている。鳴子谷川(⑧)では、谷出口地点より延長900m上流の地点で流木流出率が19%と低く、同地点から600m地点の間では64~76%であったが、最上流部や下流部では80%前後~93%と高い。

これらに対して、樋口川(③)や平野川(④)では、溪流内で流木流出率が大きく変化する。樋口川(③)では、流木流出率は上流域で100%であったのに対し、中流域では20%以下に減少し、再び下流域にかけて増加し、谷出口地点では約50%となった。平野川(④)では上~中流域で流木流出率は20~50%程度と低く、下流にかけて増加したものの、谷出口地点では70%以下に留まった。流木流出率が変化した区間では、崩壊や溪岸・溪床侵食による発生流木がある一方で、20~40m<sup>3</sup>程度と多くの流木が堆積した区間が連続している。これら2溪流の流木堆積箇所は、現地調査と災害後の現地写真資料<sup>10)</sup>の調査により、主に、(1)源頭部付近での堆積、(2)河道幅が流木長よりも狭い区間での堆積、(3)堆砂面での堆積の3つのタイプに分けられた(図-6(1)の③、④)。タイプ(3)は、溪床勾配が15°以下の区間で見られた。タイプ(2)は、河道幅が10m以下であり、流木や倒木の長さよりも河道幅が狭い区間に多く見られた。また堆積タイプによる屈曲度に差異はなく、いずれも1.1以下と概ね直線的な河道区間であった。以上のように、溪流内で流木流出率が低かった区間は、流木堆積箇所の河道地形や植生(流木や倒木)の特徴が見られ、溪流ごとに流木の流出や堆積特性は大きく異なることから、特にその違いをもたらした要因を今後解明していく必要がある。

## 5. おわりに

本研究により、平成23年台風12号による那智川支流の流木の発生と流出実態が明らかになった。

- 1) 発生流木量は599~5,177m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>であり、既往の主な流木災害に比べて多かった。溪岸・溪床侵食による発生流木量が多く、とくに谷底平野部に密生していたスギ人工林が流木発生源となった。
- 2) 谷出口地点での流木流出率は50.4~90.5%と、流域によって大きく異なった。③、④流域では流木

流出率が70%以下と、他流域と比較して低かった。  
3) 谷出口地点での流木流出率が低い2つの流域では、溪流内で流木流出率が大きく変化した。③では中流域、④では上~中流域で流木流出率が20%前後と低かった。流木の堆積形態は主に3つであった。

今後は、流木堆積箇所の河道地形や植生と流木の特徴を詳細に把握し、流木流出率に差異が生じた要因を分析するとともに、それらの結果をもとに任意地点での流出率の予測方法を検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 那智谷大水害遺族会:平成23年9月台風12号紀伊半島大水害, pp.1-6, 2012.
- 2) 松村和樹・藤田正治・山田孝・権田豊・沼本晋也・堤大三・中谷加奈・今泉文寿・島田徹・海堀正博・鈴木浩二・徳永博・柏原佳明・長野英次・横山修・鈴木拓郎・武澤永純・大野亮一・長山孝彦・池島剛・土屋智:2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所:平成23年(2011年)紀伊半島台風12号土砂災害調査報告, 国総研資料第728号, pp.152-162, 2013.
- 4) 西山賢一・若月強:和歌山県那智川流域における土石流の発生頻度, 地形, Vol.35, No.4, pp.351-366, 2014.
- 5) 水山高久・大場章・万膳英彦:土石流発生に伴う流木の生産, 流出事例と対策, 砂防学会誌, Vol.38, No.1, pp.1-6, 1985.
- 6) 石川芳治・水山高久・福澤誠:土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 砂防学会誌, Vol.42, No.3, pp.4-10, 1989.
- 7) 古川浩平・海堀正博・久保田哲也・地頭菌隆・権田豊・杉原成満・林真一郎・池田暁彦・荒木義則・柏原佳明:2009年7月21日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, pp.62-73, 2009.
- 8) 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武徳:2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害, 砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp.61-72, 2014.
- 9) 佐藤翔太・中村傑・坂田貴範・井良沢道也・林一成:2013年8月9日秋田・岩手豪雨災害で発生した土砂生産および流木の流出の特徴, 平成28年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-284-285, 2016.
- 10) 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所:那智川流域土砂災害発生機構等調査業務報告書, 2015.
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所:砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説, 国総研資料第904号, pp.24, 2016.
- 12) 松利光監修, 山本晃一編, 財団法人河川環境管理財団:流木と災害-発生から処理まで-, 3.山地・溪流部における流木の発生・堆積・再移動と災害, pp.27-73, 2009.
- 13) 宮縁育夫・清水晃・小川泰浩:九州北部の山地河川に堆積する倒・流木と土砂, 砂防学会誌, Vol.52, No.1, pp.21-27, 1999.

(2016.5.31受付)