

## 九州北部の山地河川に堆積する倒・流木と土砂

Storage of Woody Debris and Sediment in a Mountain Stream, Northern Kyushu, Southwestern Japan

宮 縁 育 夫\* 清 水 晃\* 小 川 泰 浩\*  
Yasuo MIYABUCHI Akira SHIMIZU Yasuhiro OGAWA

## Abstract

Distribution of woody debris and sediment was examined in a mountain stream, northern Kyushu, southwestern Japan. A densely-welded pyroclastic flow deposit dominates the study basin, and forms steep sideslopes and a flat valley floor. The watershed was disturbed by a powerful typhoon in 1991, which leveled many trees on the hillslopes. Subsequent storm-triggered shallow slope failures deposited timber along streambeds. Channel morphology (gradient, channel width and sinuosity), location and volume of woody debris, and streambed sediment characteristics were investigated three and half years after the typhoon. Log jams of various sizes occurred in the channel; the largest log jam was 100 m long, had a volume of 3,100 m<sup>3</sup>, and was located along the middle reach of the research section. Principal component analysis of channel morphology and volume of woody debris and sediment suggests that sediment deposition is controlled by tractive force decrease owing to broad channel width and gentle gradient. The analysis demonstrates that there is no conspicuous relationship between volume of woody debris and geomorphic factors such as gradient and sinuosity. Field observations reveal that most log jams occur behind large boulders in the research section. Our results indicate that accumulation of woody debris is influenced more by topographic barriers such as large boulders than by channel morphology. We believe that the supply of boulders from sideslopes greatly influences the storage of woody debris in the investigated stream.

**Key Words:** woody debris, sediment, storage, channel morphology, principal component analysis

## 1. はじめに

1991年9月に九州北部を襲った台風19号によって山地斜面に多量の風倒木が発生した(諫本・高宮, 1992; 野田, 1993)。また風倒に至らないまでも、樹木が強風によって揺動されたため、土層はかなり不安定な状態で斜面に残存していた(竹下・金, 1994)。さらに台風19号以降の豪雨によって、これらの斜面では崩壊が発生し、多くの倒木が土砂とともに山地河川へ流入し、堆積している。このような倒・流木および土砂に対して、今後の豪雨時に土石流などによる下流域での甚大な土砂災害発生の可能性が懸念されている。将来的に予想される土砂災害を抑止、軽減するために、風倒木が発生した山地流域における流木と土砂の動態を早急に把握し、今後の対策への基礎的解析をはかる必要がある。

わが国では台風来襲の頻度が高く、風害や豪雨災害が多発しているという背景から、流木の運動形態(水原ほ

か, 1979)、発生・流下機構(石川ほか, 1989 a)や砂防ダムによる流木捕捉効果(石川ほか, 1989 b; 水山ほか, 1989)などについての実験的研究が行われてきた。しかしながら、実際の山地河川における倒・流木の分布や河川地形への影響については、米国西海岸での報告(Nakamura and Swanson, 1993; 1994)があるが、わが国における研究例は少ない。そこで筆者らは、九州北部の山地河川における倒・流木と土砂の分布と堆積状況について調査を実施し、それらの堆積に関わる河道地形要素について検討を行ったので報告する。

## 2. 調査河川の概要

調査河川は大分県<sup>くす</sup>玖珠郡玖珠町の深耶馬溪・<sup>うつくしだに</sup>麗谷に位置する(図-1)。この地域の地形は耶馬溪火砕流堆積物(古賀, 1981)からなる台地状の平坦面とそれを刻んだ開析谷からなる。耶馬溪火砕流堆積物は、中部九州における大規模火砕流堆積物の一つで(星住ほか, 1988)、

\* 農林水産省森林総合研究所九州支所

\* Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

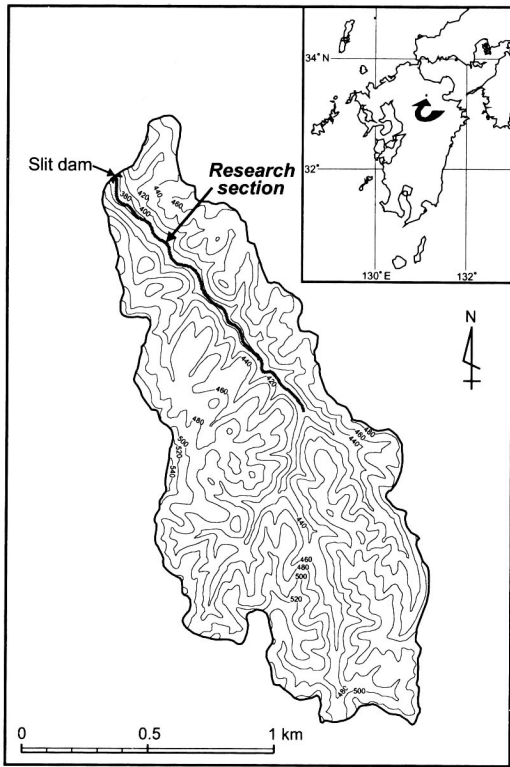


図-1 調査河川の位置と地形

Fig.1 Topographic map of study site in the Utsukushidani Creek basin. Contour interval is 20 m.

給源は九重火山北方の猪牟田カルデラとされており (Kamata, 1989), 噴出年代は K-Ar 法により約 100 万年前と報告されている (宇都・須藤, 1985)。本火砕流堆積物は、調査流域全体に厚く分布し (尾崎ほか, 1994), 層厚は 100 m 以上で谷底部では強溶結しており、溪流はその溶結部が露出した布目とよばれる平滑な河床で構成されている (写真-1)。また流域内の斜面には、溶結した火砕流堆積物上に数 10 cm の土層が形成されているが、1991 年 9 月の台風 19 号による風倒木、その後の豪雨によって多くの崩壊が発生しており、河道への倒木と土砂の供給が活発に起こっている (写真-2)。なお、本流域には 1992 年に熊本営林局玖珠営林署 (現 大分西部営林署) によって施工された流木対策のスリットダム (写真-3; 直径 20 cm, 高さ 130 cm のスリット 7 本で構成) が下流端に存在するのみで、それ以外に治山施設はない。

### 3. 調査方法

試験流域内の河川に調査区間を設け、河道の地形、倒・流木と土砂の堆積状況を明らかにした。まず河道地形については、1993 年 10 月にコンパスを用いて勾配、河道幅、屈曲状況などの測量を行い、詳細な平面図を作成した。

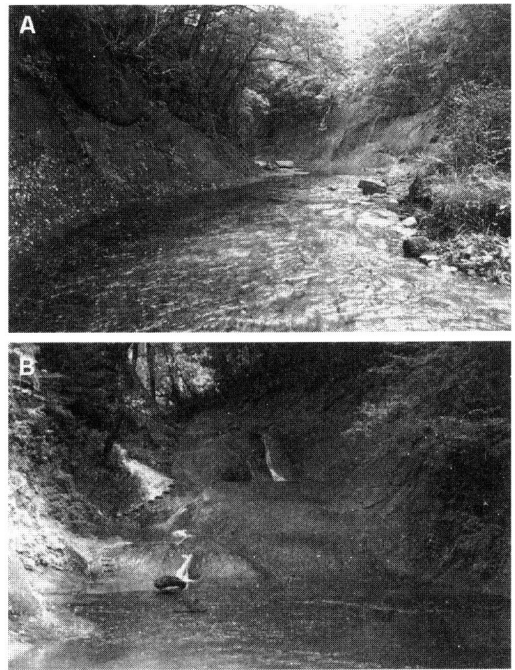


写真-1 典型的な流路形態

(A) 緩勾配区間. (B) 急勾配区間

Photo 1 Typical channel forms composed of a densely-welded pyroclastic flow deposit in the Utsukushidani Creek. (A) Low-gradient section. (B) High-gradient section.

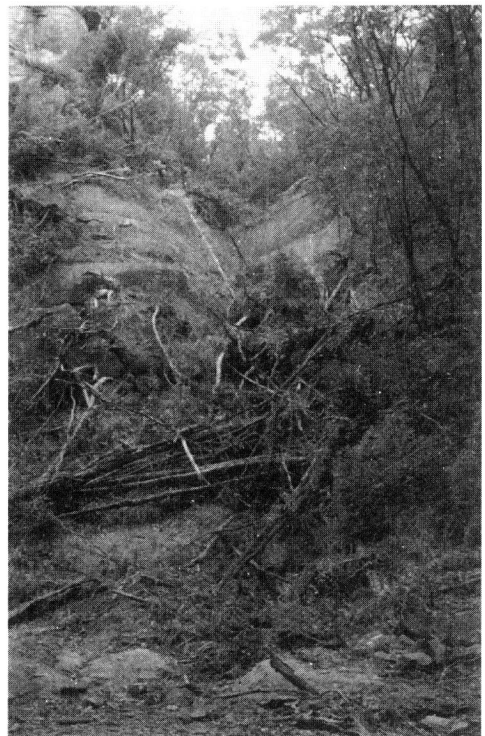


写真-2 溪岸崩壊と倒木の供給状況

Photo 2 Typical shallow slope failure that introduced woody debris to streambeds.



写真-3 調査区間下流端に位置するスリットダム  
(A) 1993年3月。(B) 1995年3月

Photo 3 Upstream views of a slit dam at the downstream end of the research section. (A) March 1993. (B) March 1995.

1995年3月には、作成した河道の地形図(縮尺1:1,000)をもとに、倒・流木と土砂の分布と堆積量に関する現地調査を行った。倒・流木と土砂は、斜面から供給されたのみで河道に残存しているもの(untransported)と下流へと運搬されて再堆積したもの(transported)とに区分して記録した。堆積量については堆積物の長さ・幅・高さから算出したが、倒・流木に関しては単木ではなく、隙間を含んだ倒・流木群全体の量を示している。

これらの調査結果から、河道を10mごとの区間に分割して、作成した地形図から勾配・河道幅・屈曲度を読みとり、さらに倒・流木と土砂の堆積量を算出した。また、屈曲度はNakamura and Swanson (1994)によって定義された sinuosity を使用した。この屈曲度は、対象区間(10m)とその前後区間を含めた計30m区間の河道中心線の長さを始点と終点との直線距離(最大30m)で除した値で、河道が完全に直線の場合には1となり、その値が大きいくほど屈曲は大きくなる。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 調査区間の河道地形

調査区間における河床縦断面図を図-2に、勾配・河道幅・屈曲度の頻度分布を図-3に示した。対象区間は、流木対策のスリットダム(標高350m)を下流端とし、区

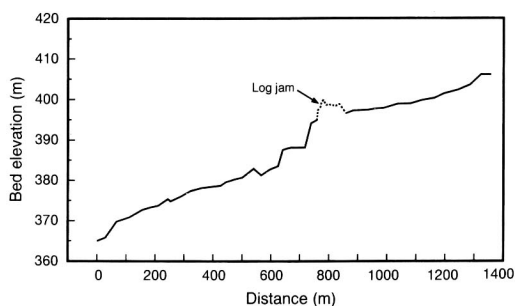


図-2 河床縦断面図  
Fig. 2 Longitudinal profile of the research section.

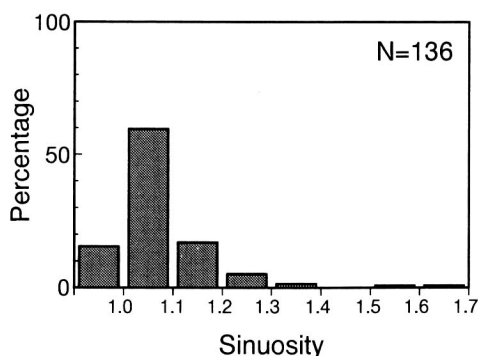
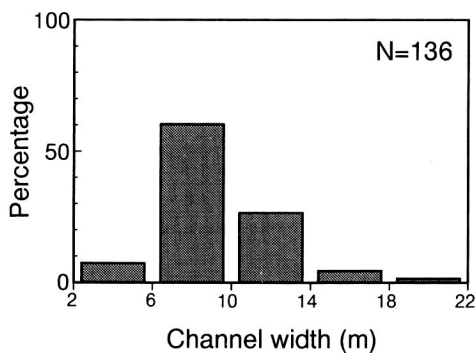
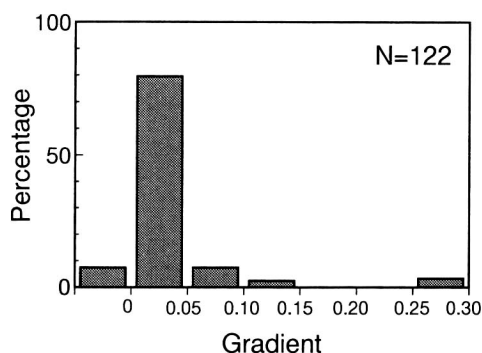


図-3 勾配、河道幅、屈曲度の頻度分布  
Fig. 3 Histograms of gradient, channel width and sinuosity in the research section.

間長1,357 m, 平均勾配0.03 (1.7°), 平均河道幅10.7 mであり, 全体的には北西方向に流下している(図-1)。この調査河川には最大傾斜が0.30(約16°)にも達する急勾配区間が存在している(写真-1(B))が, 大部分(86.9%)は勾配0.05(2.8°)以下の河床で構成されている。河道幅は最大22 m, 最小4.2 mであり, 非常に変化しているが, 幅6~10 mの区間が60.3%を占めている。屈曲度の変化も激しく, 直線部と屈曲部が交互に存在しているが, ほぼ直線河道に近い屈曲度1.2以下の区間の割合は91.9%である。また, 大部分の区間は河床, 河岸とも強溶結した火砕流堆積物からなる平滑な矩形断面であり(写真-1(A)), 現地での水深と流速の測定結果から Manningの粗度係数を求めると, 0.019~0.024の値となった。

4.2 倒・流木と土砂の分布

1995年3月における倒・流木と土砂の分布状況を図-4に示した。河道には, 大小さまざまな倒・流木と土砂が堆積しており, 調査区間における全堆積量は倒・流木が3,549 m<sup>3</sup>, 土砂が3,483 m<sup>3</sup>であった。堆積形態は河道全面に分布していたり, 河岸に存在するものなど多様であったが, 流木・土砂とも勾配が0.2を越えるような急勾配区間には存在しておらず, 流木は0.06以下, 土砂は0.07以下の区間に堆積していた。

堆積している流木群の中で小規模なものは, 体積が数m<sup>3</sup>から数10 m<sup>3</sup>であった(写真-4)。図-4には直径約1 m以上の巨礫の位置も示したが, 小規模な流木群は巨礫に引っかかって堆積しているものが多かった。倒・流木全体に占める運搬されていない倒木の割合は約0.5%と小さく, 倒木は一旦河道へ供給された場合, 容易に流下するものと考えられる。最大規模である流木群は, 調査河川のほぼ中央部である759~859 m区間に存在し(図-2, 図-4), 長さ約100 m, 幅約15 m, 厚さ約2.5 mであり, 体積は3,100 m<sup>3</sup>程度であった(写真-5)。



写真-4 小規模な流木群

Photo 4 Downstream view of a small log jam, 7 m wide, 6 m long and 0.5 m high, in March 1995.

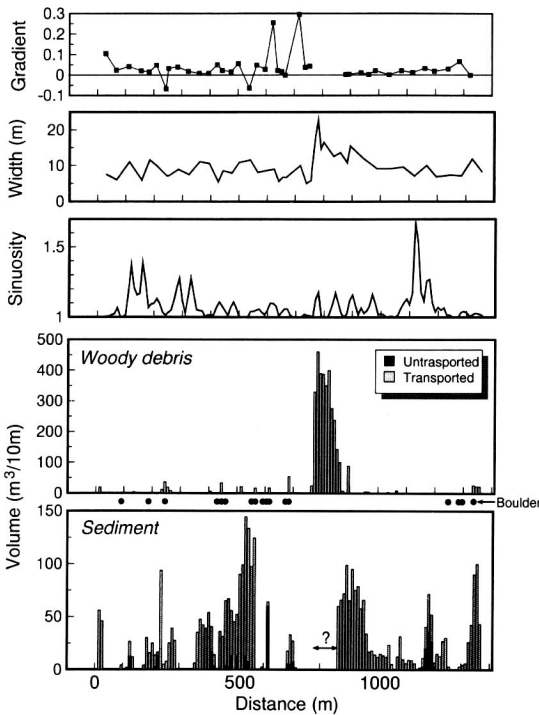


図-4 勾配, 河道幅, 屈曲度と倒・流木および土砂量の分布  
Fig. 4 Volume of woody debris and sediment in relation to gradient, channel width and sinuosity.



写真-5 大規模な流木群

(A) 下流端の状況。(B) 中央部の状況

Photo 5 A large log jam (volume=3,100 m<sup>3</sup>) located at the middle reach of the research section in March 1995.  
(A) Upstream view. (B) Middle section.

この巨大な流木群は上流から流下した広葉樹やスギ造林木などが堅く組合わさって堆積したものである。この区間に大規模な流木群が形成された理由としては、790～800 m 区間（下流端から）の右岸斜面に崩壊があり、その崩壊土砂と立木による河道狭窄化が、多量の流木堆積に至ったためと考えられる。

土砂については、滝などの急勾配区間を除いて、大部分の区間に堆積がみられた。とくに430～560 m 区間には多量の土砂が分布している。また前述した巨大な流木群の上流には約800 m<sup>3</sup>の土砂が堆積して緩勾配となっており、その影響は上流約100 m 地点にまで及んでいた。なお、巨大流木群の下の河床にも土砂が存在していたが、多量の流木に埋もれて堆積量を測定することができなかった。河道に存在する土砂のうち、運搬されていないものの割合は約7.5%で、倒木に比べてやや大きい値を示した。

#### 4.3 主成分分析法による関係解析

流木および土砂の堆積と河道地形要素との関係をより詳細に検討するために、主成分分析法による解析を行った。解析にあつたの独立変数は勾配、河道幅、屈曲度、流木堆積量、土砂堆積量の5変数とし、累積寄与率が70%以上となる主成分をとりあげた。なお、最大規模の流木群が存在する759～859 m 区間に関しては、河床勾配の測定ができなかったために、この解析からは除外している。

主成分分析法による解析結果を表-1に示した。ここでは累積寄与率が76%となる第1、第2、第3主成分についての意味づけを行った。第1主成分の因子負荷量を見ると、河道幅と土砂堆積量が負の大きな値をもっていることから、河道幅による水位の増減、その結果としての土砂堆積量を表している。このことは、つまり掃流力を表す主成分と考えられ、掃流力が大きいほど主成分の値も大きくなっている。第2主成分は勾配が負、屈曲度が正の大きな因子負荷量をもっていることから、河道地

形を表す主成分であり、勾配が小さく屈曲が大きいほど主成分の大きさは大きくなっている。さらに第3主成分は、流木堆積量が負の大きな因子負荷量となっており、流木堆積量を表す主成分であることがわかる。

各主成分のスコアを流木、土砂それぞれについて堆積量の階級別に示したのが、図-5である。まず第1（PC1）、第2（PC2）主成分に関する散布図では、流木はPC1の値が1以下の領域で堆積が起っており、20 m<sup>3</sup>を越える堆積はPC1が-0.5以下の範囲に存在している。しかし、流木堆積量とPC2との関係は明瞭でない（図-5(A)）。これらのことから、流木の堆積には河道幅は寄与しているが、勾配と屈曲度はあまり影響を与えていないものと考えられる。すなわち、流木が移動可能な水位が生じると、河道地形に関わらず運搬されるものと推測される。土砂の堆積もPC1の値が1以下の領域に存在し、50 m<sup>3</sup>以上の堆積はPC1が-0.5以下の範囲にみられる（図-5(B)）。この際、流木の場合と異なっているのは、PC1の値が1よりも大きいところにも堆積が起っていること（図-5(B)右上2点）である。現地調査によると、この2箇所は大きな屈曲の内側に堆積が発生している区間であることが判明しており、同じ河道区間でも屈曲の外側と内側とでは、流速が異なることに起因していると考えられた。またPC2については、その値が-1以上の領域で堆積が発生しており、その値以下の範囲では全く堆積がみられない。以上のことから、土砂の堆積は計測した全ての河道地形要素である河道幅、勾配、屈曲度に影響を受けていることがわかる。

つぎに第1主成分と流木堆積量を表す第3主成分との関係（図-5(C)）をみると、20 m<sup>3</sup>を越える堆積区間は図左下の領域にプロットされている。現地での観察結果によると、これらの区間にはすべて径数mに及ぶ巨礫が存在していることがわかった（写真-6）。つまり、運搬されてきた流木は河道内に存在する巨礫に引っかかって堆積したものと推定される。さらに、流木堆積量のと

表-1 河道地形要素の主成分分析結果

Table 1 Factor loadings and eigenvalues of principal component analysis for channel morphology and volume of woody debris and sediment.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
Gradient	0.3518	-0.7503	-0.2822	0.4832	0.0102
Channel width	-0.7920	-0.0136	0.2583	0.3179	0.4526
Sinuosity	0.3856	0.7259	-0.2519	0.5104	0.0220
Volume of woody debris	-0.5370	0.0320	-0.8084	-0.2124	0.1097
Volume of sediment	-0.8240	0.0115	0.0402	0.2780	-0.4918
Eigenvalue	1.8670	1.0912	0.8649	0.7175	0.4594
Cumulative proportion	0.3734	0.5916	0.7646	0.9081	1.0000

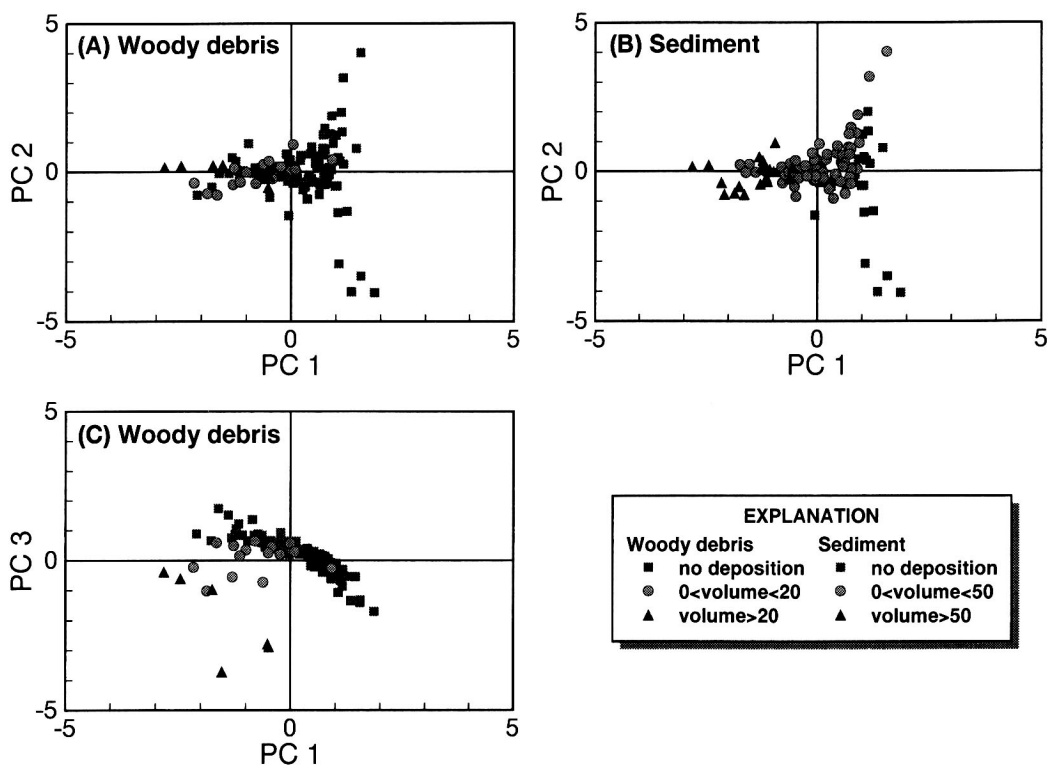


図-5 主成分スコア散布図

Fig. 5 Scores of principal component analysis for channel morphology and volume of woody debris and sediment.

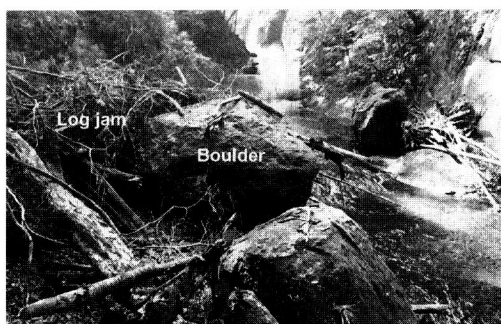


写真-6 河道内の巨礫によって堆積した流木群

Photo 6 Upstream view of log jams deposited behind large boulders.

くに多い3区間(図-5(C)でPC 3が-3以下の3点)においては、崩壊斜面の直下流である箇所および河道幅が6~8mと狭い箇所であることが確認された。したがって、これらの流木堆積量の増加は斜面崩壊による倒木供給や狭隘な河道における流木堆積が河道閉塞を引き起こした結果と考えられた。

以上をまとめると、土砂の場合には広い河道区間における水位の減少と緩勾配による掃流力減少が主として堆積に寄与するものであり、部分的には屈曲部内側での流

速減少も関与していると推測される。ところが、流木に関しては河道幅以外の河道地形要素と明瞭な関係は認められない。流木群は、河道内に堆積する径数m程度の巨礫の上面や上流側に存在することが多く、掃流力を左右する地形要素よりもむしろ、巨礫などの障害物が流木群の形成に大きく影響するものと考えられる。したがって今後、河岸斜面や山腹からの巨礫の供給によっては、新たな流木群が形成されることも予想される。このように、流木と土砂とは分布傾向が異なっており、それぞれの運搬・堆積形態の違いを反映しているものと推定される。とくに流木に関しては、運搬時の水位よりも高さがある障害物の存在が、その堆積に大きな影響を及ぼしていることから、スリットダム等の施設は有効な手段となるであろう。

#### 4.4 流木群の形成時期

河道における大きささまざまな流木群は、1991年9月の台風19号来襲以降、徐々に運搬されたものであるが、区間中央部に存在するような巨大流木群はある時期に急激に形成されたものと考えられる。この流木群は1993年10月の調査時に初めて確認したが、それ以前は未踏査であり、具体的な形成時期については不明である。調査区間下流端に施工されているスリットダムは、1993

年3月には少量の流木が堆積しているだけであった(写真-3(A)), 同年10月の調査時に巨礫や多量の流木が捕捉されていたとともにダム右岸斜面が大きく侵食されていることが観察された(写真-3(B))。1992年が小雨であったのに対し, 1993年は梅雨前線や台風により記録的な豪雨に見舞われ, 九州各地では土砂災害が多発した年であった。調査地近傍の気象庁玖珠地域気象観測所では, 6月から9月にかけて2,032mmの降雨量を観測し, 中でも9月3日には日雨量199mmの豪雨を記録している。したがって, 巨大な流木群を形成するような土砂移動は, 台風19号から約2年間経過した1993年夏季に発生した可能性が高いと推察された。

## 5. おわりに

1991年の台風19号による被害がみられた山地流域における倒・流木や土砂の堆積状況を把握するため, 大分県西部の深耶馬溪に位置する河川において現地調査を行った。河道に堆積している倒・流木や土砂は, 今後の豪雨によって流動化することが予想される。それらの移動実態を把握して, 今後の対策の基礎資料を得るため, 現在も調査を継続しており, その結果は順次報告する予定である。

本調査を実施するにあたり, 熊本営林局玖珠営林署(現 大分西部営林署玖珠森林経営センター) および森林事務所の関係各位には多大なる便宜をはかっていた。現地調査には森林総合研究所の竹下 幸氏(元九州支所), 梁瀬秀雄氏, 真島征夫氏のご協力を得た。また愛媛大学理学部の井上幹生氏には本稿をまとめる際に貴重なご意見をいただいた。さらに U. S. Geological Survey Cascades Volcano Observatory の Jon J. Major 氏には英文の不備を指摘していただいた。以上の方々にかから感謝いたします。

## 引用文献

- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎(1988): 別府地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 131pp.
- 諫本信義・高宮立身(1992): 1991年9月, 台風19号により発生した大分県における森林被害の要因解析, 森林立地, Vol. 34, No. 2, p. 98-105
- 石川芳治・水山高久・福澤 誠(1989a): 土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 砂防学会誌(新砂防), Vol. 42, No. 3, p. 4-10
- 石川芳治・水山高久・福澤 誠(1989b): 砂防ダムおよび流木止スクリーンによる流木捕捉効果, 土木技術資料, Vol. 31, No. 9, p. 41-47
- Kamata, H. (1989): Shishimuta caldera, the buried source of the Yabakei pyroclastic flow in the Hohi volcanic zone, Japan, Bulletin of Volcanology, Vol. 51, p. 41-50
- 古賀修一郎(1981): 大分県日田市東部の耶馬溪火砕流堆積物の記載, 岩石学的研究, 岩鉱, Vol. 76, p. 353-361
- 水原邦夫・南 哲行・武居有恒(1979): 流木の流下阻止に関する基礎的研究(I)-主として, 流木群の運動形態について-, 砂防学会誌(新砂防), Vol. 32, No. 1, p. 10-16
- 水山高久・石川芳治・矢島重美(1989): 透過型砂防ダムによる流木捕捉効果, 土木技術資料, Vol. 30, No. 11, p. 47-52
- Nakamura, F. and Swanson, F. J. (1993): Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 18, p. 43-61
- Nakamura, F. and Swanson, F. J. (1994): Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, western Cascade Range, Oregon, Canadian Journal of Forest Research, Vol. 24, p. 2395-2403
- 野田 亮(1993): 1991年台風17・19号による福岡県の森林被害, 森林立地, Vol. 35, No. 1, p. 50-59
- 尾崎正陽・長谷義隆・豊原富士夫(1994): 土地分類基本調査「耶馬溪」(5万分の1), 表層地質, 大分県, p. 37-46
- 竹下敬司・金 錫権(1994): 風倒木根系による土層攪乱と斜面崩壊, 日本林学会論文集, Vol. 105, p. 611-614
- 宇都浩三・須藤 茂(1985): 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代, 地質調査所報告, Vol. 264, p. 67-83

(原稿受理 1998年11月18日)