

大洞沢試験流域における流出土砂量と土砂生産源の季節変動

平岡真合乃*・五味高志*・小田智基**・熊倉歩***
・宮田秀介****・内山佳美*****

Seasonal variation of sediment yields and potential source of sediment production in the Oobora monitoring watershed

Marino HIRAOKA*, Takashi GOMI*, Tomoki ODA**, Ayumu KUMAKURA***,
Shusuke MIYATA**** and Yoshimi UCHIYAMA*****

要 旨

丹沢山地大洞沢試験流域内の流出土砂量と土砂生産源の季節変化を把握するために、流域末端の沈砂池で流出土砂量の測定と、流域内斜面でのインターバルカメラを用いた林床被覆の連続観測を行った。流出土砂量は台風などの大規模降雨時に多くなる傾向が見られたが、流量変化との関係は見られなかった。流域内で裸地は流路沿いに分布しており、斜面傾斜が 40° 以上と急傾斜であったことから、潜在的な土砂生産源と考えられた。林床被覆率は秋季から冬季の気温の変化にともなって経日変動していた。気温が 0℃ 付近を変動している期間の裸地面では、凍結融解作用にともなう土砂の不安定化や移動が確認でき、土砂生産の季節的な変動が示唆された。

I はじめに

世界各地でニホンジカ (*Cervus nippon*; 以下、シカ) やエゾシカ (*C. n. yesoensis*)、アカシカ (*C. elaphus*) などによる植生変化が報告されている (例えば, Gill, 1992; 梶, 1993; 田中ほか, 2008)。神奈川県丹沢山地では、1955 年にシカ猟が禁止され、1960 年代から造林地における採食被害の発生が確認されてきた (内山・鈴木, 2007b)。1980 年代にはスズタケ (*Sasamorpha borealis*) の退行や希少植物の減少など、シカの過密化による影響が発生している (村上, 2007; 田村, 2007; 山根, 2010)。シカの累積的な採食にともなう急速な林床植生の衰退は、林床の裸地化を促進し (安藤ほか, 2007)、森林生態系における種多様性の低下

(安藤ほか, 2007; 福島ほか, 2011; Sakai *et al.*, 2012) に加えて、水や土砂 (石川ほか, 2007) および栄養塩の流出 (福島・徳地, 2008) の発生などが報告されている。特に、丹沢山地の斜面は急傾斜で地盤が脆弱であり (金子ほか, 2007)、潜在的に土砂生産が活発な地域である。そのためシカ採食による林床植生の衰退が進めば、土壌侵食による土砂生産が加速化するおそれがある。神奈川県では、丹沢山地におけるシカの採食が水や土砂の流出に及ぼす影響について、2007 年から対照流域法によるモニタリングを開始している。

近年、丹沢山地では、斜面プロットを用いて侵食土砂量を観測し、山地斜面からの土砂生産量が推定されている (石川ほか, 2007; 若原ほか, 2008; 初ほか, 2010; 海虎ほか, 2012)。これらの研究

* 東京農工大学大学院 農学府 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

** 東京大学大学院 農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1)

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

**** 京都大学防災研究所 (〒612-8235 京都府京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

***** 神奈川県自然環境保全センター 研究企画部 研究連携課 (〒243-0121 厚木市七沢 657)

により、山地斜面における土砂生産は、誘因となる降雨や風速などの気象条件と、素因である傾斜、林床植生やリターなどの林床被覆に影響を受けることが明らかになった。特に、林床合計被覆率が低下することによって降雨1mm当たりの侵食土砂量が増加し（初ほか，2010）、堂平地区では年間2～9mmの土壌が侵食されていると報告されている（石川ほか，2007）。日本の山地における平均的な年間侵食速度は0.1～1.0mm/yr程度（長谷川ほか，2005）であることと比較すると、堂平地区では激しい土壌侵食が発生していると考えられる。しかし、斜面プロットの観測結果のみでは、現在神奈川県が進めている対照流域法による水環境モニタリング調査における、流域スケールの土砂流出プロセスを把握することは難しい。

一般に、流域の土砂流出プロセスを検討する場合、流域末端の堰堤などの堆砂量から流出土砂が把握され、流量との関係を検討することが多い（例えば、芦田・澤田，1992）。流域の土砂動態は地形や地質、林況などの場の条件に加えて、水の掃流力や流量によって支配される現象である（矢部ほか，2000）。しかし、単純に斜面で生産された土砂のすべてが流域系外へ流出するとは考えにくく（Knighton, 1998）、流域からの土砂流出を考える上で、土砂動態、すなわち土砂生産と輸送過程を把握することが重要である。特に、山地上流域では、斜面と流路が密接に関連しており、土砂の生産現象と河道内での流送現象を一体的にとらえる必要がある（五味，2006）。そのため、複雑な土砂の動態や流出過程を把握するためには、流域末端部における観測に加えて、斜面における土砂生産過程も把握する必要がある。

斜面の土砂生産に関連する表面流の発生や土壌侵食は、林床被覆状態によって異なることが示されている（例えば、Miura *et al.*, 2003；平岡ほか，2010）。一般に、森林の地表面は林床植生もしくはリターによって被覆されているが、シカの高密度生息地や施業遅れの人工林では、地表面が裸地化し、表面流や土壌侵食の発生が報告されている（Miura *et al.*, 2003；石川ほか，2007；Onda *et al.*, 2010）。流域内の裸地は土砂生産源であり（藤田ほか，2004；Mizugaki *et al.*, 2008）、流域の土

砂生産特性を把握するためには裸地の空間分布を把握する必要がある。林床植生やリターは空間的に不均質に分布していることから（例えば、五味ほか，2012）、裸地についても同様であると考えられる。さらに、林床植生やリターの被覆量は季節的に変動し（服部ほか，1992；石川ほか，2007）、土砂生産の場やその条件も季節的に変化する（藤田ほか，2004）。したがって、土砂生産の場の空間的、時間的不均一性、降雨の季節性などの、誘因と素因の季節的な変動を把握することは、斜面の土砂生産過程を明らかにする上で重要である。

そこで本研究では、大洞沢観測流域における数年間の流出土砂や林床被覆動態の観測結果から、山地流域の土砂生産特性を検討するために、（１）流域の土砂流出の実態を把握し、（２）土砂生産源である裸地斜面の分布との関係を検討し、（３）斜面の林床被覆と裸地の季節変動を把握することを目的とした。

II 研究方法

1 対象流域の概要

研究対象流域は神奈川県清川村煤ヶ谷の大洞沢支流の2流域（流域No.3：7.0ha、流域No.4：4.6ha）とした（図1）。年平均気温は11℃で、年平均降水量は約3,000mmである。標高は、流域No.3が471～637m、流域No.4が484～670mである（図1）。地質は新第三期層丹沢層群大山亜層群に属する。基岩は風化した堆積岩で、一部流路沿いの斜面に基岩が露出した箇所が見られる。大洞沢は地質的に脆弱であるため小規模崩壊の発生数が多く、それゆえ多量の土砂が生産される特徴がある（矢部ほか，2000）。土壌は火山灰が混入しており（白木ほか，2007）、全般的に構造発達は悪い。流域内の平均傾斜は36°であるが、流路沿いには40°以上の斜面が分布している（五味ほか，2012）。流域内には、スギやヒノキの人工林と落葉性の広葉樹林がモザイク状に分布している。尾根部から斜面中腹の林床では、シカの嗜好性種であるマツカゼソウ（*Boenninghausenia japonica*）やケチヂミザサ（*Oplismenus undulatifolius*）などが優占しており、植生被覆が見られるが、斜面下部では、林床植生は

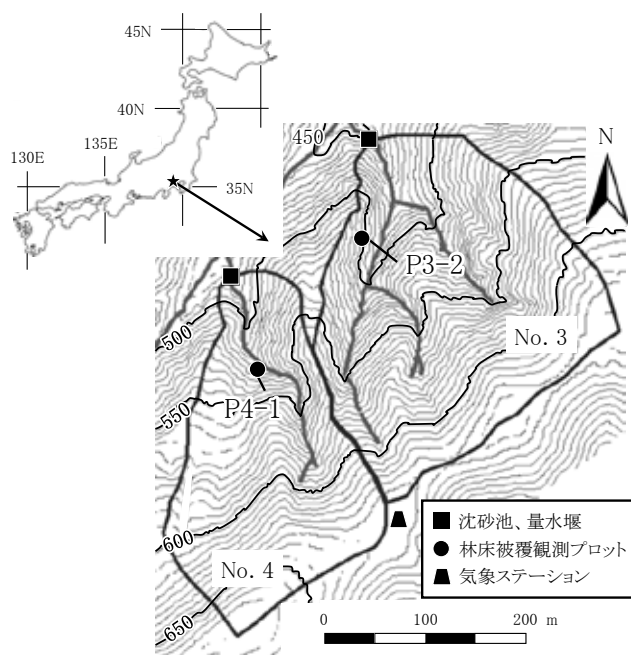


図1 対象流域概要と沈砂池および量水堰、観測プロット、気象ステーションの位置図

乏しく、リター被覆のみの箇所や裸地化している箇所がみられる。流域内の植生調査結果から、全流域面積に対する裸地面積の割合を推定したところ、流域No. 3が19%、流域No. 4が15%であった(五味ほか, 2013)。

2 流域の流出土砂量および流量の観測

流出土砂量を把握するために、流域No. 3と流域No. 4の末端の沈砂池(幅5 m×長さ10 m×深さ2 m)で横断測量を行い(図1)、任意の期間に堆積した土砂量を測定した。沈砂池両端に1 m間隔で基準点を設け、両端を結んで水平面を作成し、土砂までの深度を測定した。水平面から土砂までの空間容積を算出し、沈砂池の容積から差し引くことで当該堆積

土砂量を求め、前回堆積土砂量との差分を期間内流出土砂量とした。土砂の体積を重量に換算する際の土砂密度は $2.6 \text{ t} / \text{m}^3$ とした。

各流域の出口の 90° Vノッチ量水堰に圧力式自記水位計を設置し(図1)、水位を10分ごとに観測した。観測された水位は水位流量関係式を用いて流量に変換し、日流量を算出した。観測期間は2009年8月1日から2012年8月31日とした。また、流域尾根部の気象ステーションで(図1)、降雨量、風速、日射量、気温をそれぞれ測定した。

3 林床被覆の観測と画像解析

流域No. 3と流域No. 4の斜面に、固定プロット(0.5×0.5 m)を2箇所設置した(図1)。プロットは、設置時点でリターのみが存在する箇所(P3-2)、林床植生とリターが存在する箇所(P4-1)にそれぞれ設置した。各プロットの傾斜はP3-2が 55° 、P4-1が 40° であった。いずれのプロットも上層木は落葉性広葉樹であった。インターバルカメラはGardenWatchCam (GWCTL130A, Brinno Co Ltd., U.S.A.)を用いた。カメラはプロットの斜面下方の地表面からおおよそ1.5 mの高さで、撮影時のゆがみが最小になるように斜面傾斜に対して平行に設置した(平岡ほか, 2013)。一日一回正午12時に写真撮影し、P3-2では2011年8月28日～2012年1月17日、P4-1では2011年9月30日～12月9日に観測を行った。

撮影された画像は、初ほか(2010)に基づいて、Adobe Photoshopでプロット内の林床植生およびリターのピクセル数をそれぞれ計測し(写真1)、その合計値である林床被覆率(三浦, 2000)を算出した。ただし、レンズが曇っている画像、もしくは

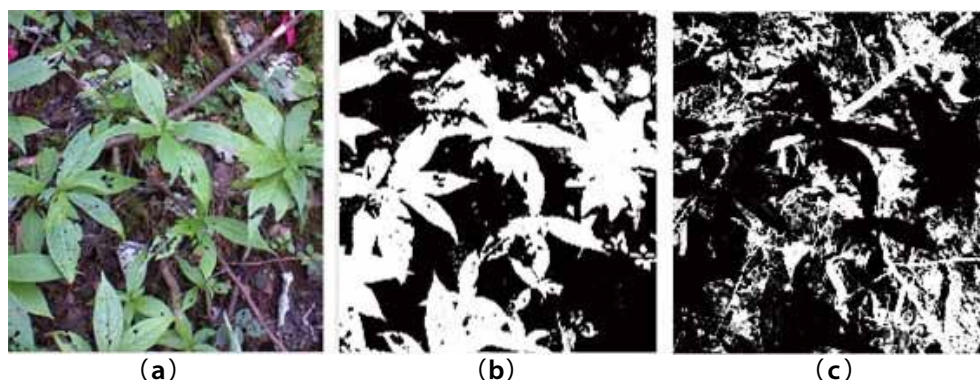


写真1 ピクセル解析のフロー

(a) 撮影された林床被覆の画像 (b) 抽出された下層植生のピクセル (c) 抽出されたリターのピクセル

日射が局所的に強い画像については、解析時の色域指定作業に影響が出るため解析から除外した。また、積雪があった場合についても解析から除外した。

Ⅲ 結果・考察

1 流域の流出土砂量

2009年度流出土砂は、台風9号を含む期間1（2009年8月4日～24日）と、台風18号を含む期間2（2009年8月24日～10月22日）の2期間で観測できた。2010年度は、期間3（2009年10月22日～2010年6月24日）、台風9号を含む期間4（2010年6月24日～9月21日）、前線通過にともなう降雨を含む期間5（2010年9月21日～11月

8日）、期間6（2010年11月8日～24日）の4期間で観測できた。2011年度は台風6号を含む期間7（2010年11月24日～2011年8月1日）と、台風12号と15号を含む期間8（2011年8月1日～10月19日）の2期間で観測できた。2012年度は、台風4号を含む期間9（2012年6月19日～7月3日）、梅雨前線にともなう降雨を含む期間10（2012年7月3日～8月20日）の2期間で観測できた（表1）。流域No.4では、期間9に横断測量を実施していない。4年間の観測結果から、本研究対象地域では、おおむね7月下旬から10月下旬まで台風や前線にともなう大規模な降雨があり、それ以外の時期は比較的小規模な降雨が観測される傾向が見られた（表1、図2）。流域No.3と流域No.4の降雨に対する

表1 流出土砂量の観測期間と概要

期間No.	観測期間	主な降雨イベント	イベント 総降雨量* (mm)	流出土砂量 (m ³)	
				No.3	No.4
1	2009/08/04～08/24	台風9号	136	11.60	3.38
2	2009/08/24～10/22	台風18号	202	0.62	0.30
3	2009/10/22～2010/06/24		153	7.47	3.14
4	2010/06/24～09/21	台風9号	134	0.06	2.36
5	2010/09/21～11/08	前線通過	174	9.57	1.26
6	2010/11/08～11/24		51	0.99	0.60
7	2010/11/24～2011/08/01	台風6号	295	6.46	0.66
8	2011/08/01～10/19	台風12号、15号	323、345	8.40	1.50
9	2012/06/19～07/03	台風4号	157	0.61	—
10	2012/07/03～08/20	梅雨前線	152	2.09	3.11

* 期間内最大イベント

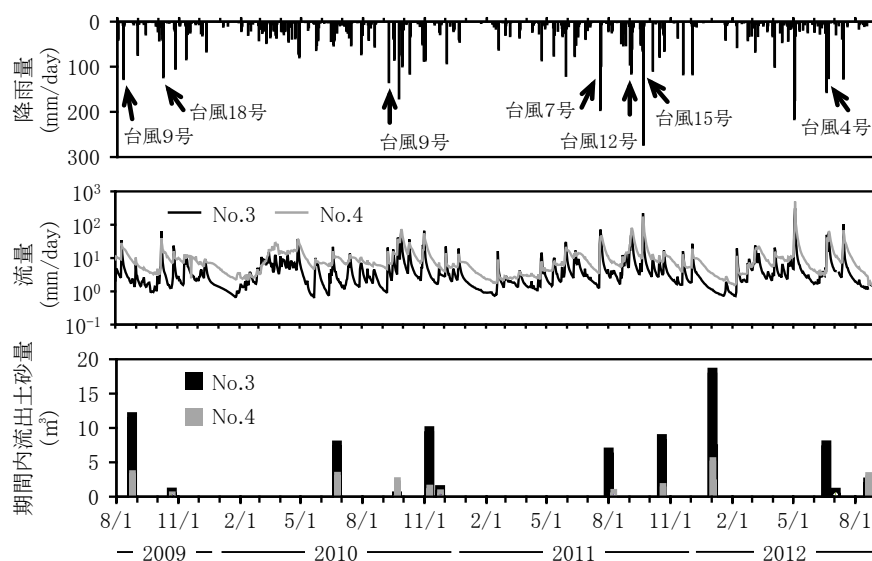


図2 2009年8月1日から2012年8月31日までの降雨量、流量、期間内流出土砂量

流出波形は類似した傾向を示したが、流域No. 3の方がNo. 4よりも減水が早い傾向があった（図2）。

台風や前線通過にともなう大規模降雨（総降雨量130 mm以上）を含む期間1、2、4、5、7～10には、流域No. 3で0.06～11.60 m³、流域No. 4で0.30～3.38 m³の流出土砂量が観測された（図2、表1）。期間3および6では、流域No. 3で7.47、0.99 m³、流域No. 4で3.14、0.60 m³の流出土砂量が観測された（表1）。両期間とも主な降雨イベントはなかったものの、期間3の方が降雨規模が大きく（表1）、期間内の降雨頻度も高かったことから、流出土砂量が大きかったと考えられた。また、これらの期間は降雪のある冬期から春期を含んでおり、融雪にともなう土砂流出が発生している可能性が考えられた（芦田・澤田，1992；Kurashige，1998）。2009年8月から2011年8月までの観測結果から年間の流出土砂量を推定したところ、流域No. 3で6.47～7.61 t/ha/yr、流域No. 4で2.11～4.57 t/ha/yrとなった。先行研究の観測結果と比較すると、流域No. 3、流域No. 4とも先行研究結果のオーダーの範囲内であった（表2）。

流量と掃流力の関係を把握するために、同一期間内の総流出量と流出土砂量との関係を調べたところ、いずれの流域においても明瞭な関係は見られなかった（図3）。期間内総流出量が500 mm以上の場合、流域No. 3と流域No. 4平均流出土砂量は、それぞれ2.96 t/ha (SD = 0.49)、1.13 t/ha (SD = 0.58)であり（図3）、流量が増加しても流出土砂量はほとんど変わらなかった。また、同程度の流量に対する流出土砂量は、流域No. 3の方が流域No. 4よりも1オーダー以上多かった（図3）。これらのことから、各流域における流出土砂量に対して、流域内の土砂生産量、河道内の土砂貯留量や掃流力の違いが影響

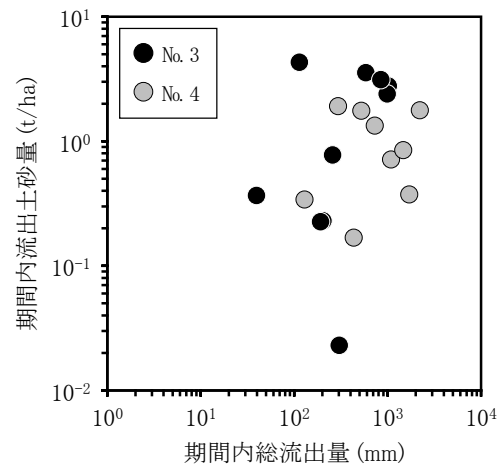


図3 期間内の総流出量と流出土砂量

している可能性が考えられた。すなわち、流路内の土砂貯留量が制限要因となり、大規模降雨時の流量が土砂流出量の増加をもたらさなかった可能性がある。ただし、流路内の土砂貯留量は流域No. 3の方が多く、流域末端における流出土砂量が多くなったと考えられた。

2 流域内の土砂生産源分布の推定

流域No. 3と流域No. 4における流出土砂量の観測結果から、流路内の移動可能な土砂量の違いが考えられ、その要因として流域内の裸地の分布に着目した。いずれの流域においても流域末端部に近い河道沿いに裸地斜面が分布していた（五味ほか，2012）。このことから、河道で観測される浮遊砂は流域内の裸地から供給される可能性が高いと考えられた（Mizugaki *et al.*, 2008）。また、河道沿いの斜面勾配は40°以上と急傾斜であることから、雨滴衝撃による飛散土砂によって、土壌侵食が発生しやすい可能性も考えられる（Mizugaki *et al.*, 2010）。

表2 本研究および先行研究における流域の年間流出土砂量

観測地	流域名	年間流出土砂量 (t/ha/yr)	観測期間	流域面積 (ha)	年降水量 (mm)	標高 (m)	傾斜 (°)	地質	植生タイプ	出典
Oborazawa, Japan	No.3	6.47～7.61	2009～2011	7.0	2,189	471～637	36	砂岩	広葉樹、スギ、ヒノキ	本研究
Oborazawa, Japan	No.4	2.11～4.57	2009～2011	4.6	2,189	484～670	36	砂岩	広葉樹、スギ、ヒノキ	本研究
Coweeta, NC, USA	WS2	0.1	2年	12.3	1,810	716～991	31	石英閃緑岩、砂岩	ユリノキ、ブナ	Swank <i>et al.</i> (2001)
HJ Andrews, OR, USA	WS2	1.8	1958～1988	60.0	2,300	525～1,065	n/a	火山砕屑岩	アメリカトガサワラ	Grant and Wolff (1991)
Alsea, OR, USA	Flynn Creek	10.2	1959～1965	202.0	2,540	300*	n/a	砂岩	アメリカトガサワラ、広葉樹	Beschta (1978)
Alsea, OR, USA	Flynn Creek	9.5	1966～1973	202.0	2,540	300*	n/a	砂岩	アメリカトガサワラ、広葉樹	Beschta (1978)
Alsea, OR, USA	Deer Creek	9.7	1959～1965	304.0	2,540	254*	n/a	砂岩	アメリカトガサワラ、広葉樹	Beschta (1978)
Alsea, OR, USA	Needle Branch	5.3	1959～1965	75.0	2,540	225*	n/a	砂岩	アメリカトガサワラ、広葉樹	Beschta (1978)

* 平均標高

n/a: 記載なし

全流域面積に対する裸地面積の割合は、流域No. 3が19%、流域No. 4が15%であり、裸地面積は流域No. 3が1.3 ha、流域No. 4が0.7 haと推定された（五味ほか，2012）。裸地面における単位面積当たりの侵食土砂量が同程度発生していると仮定すると、流域No. 3は流域No. 4と比べると2倍程度の土砂生産があると予想される。実際には、斜面で生産された土砂が河道に流入するプロセスを考慮する必要があるが（Knighton, 1998）、両流域とも河道沿いの急斜面に裸地が分布しており、こうした場で生産された土砂の多くが河道に流入する可能性が高い。以上のことから、本研究対象流域の土砂生産特性は、流路内の移動可能土砂量と土砂の生産場である裸地斜面の分布に大きく影響される可能性が示唆された。

3 林床被覆分布とその季節変動

流出土砂量は流域No. 3で多く、裸地面積も流域No. 3が大きいことから、流域内の土砂生産量は流域No. 3の方が多いと推察された。しかし、斜面の裸地の状態は、林床植生やリターなどの林床被覆の季節変動性に依存して季節的に変動すると考えられる（服部ほか，1992）。インターバルカメラを用いて斜面の林床被覆の経日変動を計測した結果、林床被覆率は降雨時にはほとんど変化しなかったが、リター被覆のみのP 3-2では夏季から冬季にかけて増加傾

向を示し、植生とリター被覆が存在するP 4-1では秋季から冬季にかけて減少傾向を示した。P 3-2では、台風時に一時的な林床被覆率の低下が見られたが、8月下旬に10%程度だった被覆率は徐々に増加し、11月以降60%程度まで増加した。P 4-1では、10月上旬に80%程度だった林床被覆率が徐々に減少し、12月中旬には60%程度になった（図4）。落葉広葉樹下のリターは降雨や林内の風によって移動し（服部ほか，1992；若原ほか，2008）、気温の低下にともなって上層木からの落葉が増加することでリター被覆が増加すると考えられた（三浦，2000）。植生は気温の低下にともなって枯死する種もあることから、秋季から冬季には植生被覆は減少すると考えられた（三浦，2000）。山地斜面の侵食土砂量は林床被覆の低下にともなって増加することから（Miura *et al.*, 2003；初ほか，2010）、林床被覆率が季節的に変動し、それにともなって土砂生産の場となる斜面の条件も変動すると考えられた。特にP 3-2では、12月中旬から1月中旬にかけて林床被覆率が低下しており（図4）、生産される土砂量が増加する可能性がある。

林床被覆の季節変動と降雨パターンから、斜面で土砂が生産される時期を推定した。リター被覆のみの地点では、落葉期前の初秋には林床被覆率は比較的低く、そこへ台風などの大規模な降雨があるため

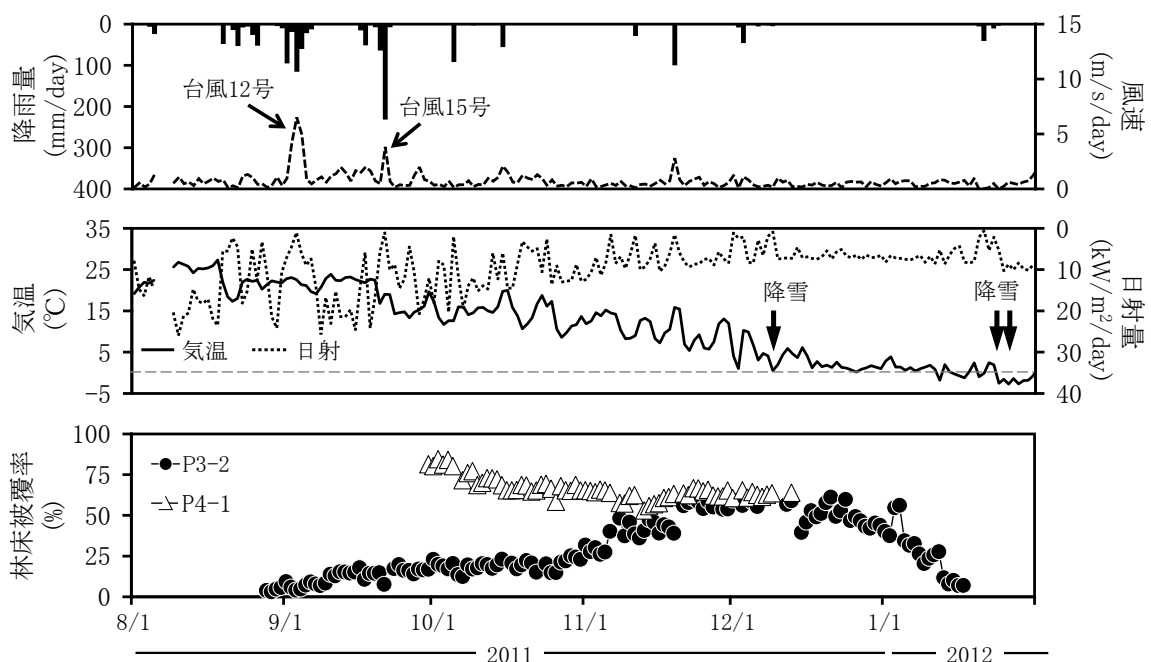


図4 観測期間の降雨量、風速、気温、日射量および林床被覆率（灰色の点線は気温0℃を表す）

に土砂が生産され、流域外へ流出する可能性が考えられた（図2、4）。春先には大規模な降雨は少ないものの、林床被覆率が低下しているため（図2、4）、斜面で土砂が生産される可能性が考えられる。また、裸地では凍結融解作用によって土壌が不安定になり、土砂が移動することもあるため（藤田ほか，2004；堤ほか，2007）、気温が0°付近を変動する冬季には、土砂生産量が増加する可能性もある。しかし、積雪期間は地表面が雪で被覆されている状態が確認されたことから、土砂はほとんど移動しないと考えられる。植生とリター被覆が存在する地点では、冬季の植生枯死後の林床被覆や裸地の経日変動についてさらに詳しく調べる必要があると考えられる。以上のことから、流域の土砂生産特性を考えるうえで、斜面からの実際の土砂生産量の観測に加えて、裸地の空間分布や季節的な動態を把握することが必要と考えられる。また、土砂流出過程を検討するためには、掃流砂と浮遊砂、ウォッシュロードなどを観測し、定量化する必要がある（芦田・澤田，1992；Kurashige，1998）。加えて、丹沢山地の地質的、地形的特性から斜面崩壊の発生が多数報告されており（金子ほか，2007；厚井ほか，2007；内山・鈴木，2007a）、本対象流域内でも崩壊痕が見られることから、斜面崩壊にともなう大規模な土砂移動や土砂生産（加藤ほか，2005）についても把握する必要があると考えられる。

IV まとめ

大洞沢試験流域における流出土砂量と土砂生産源の分布および季節変動を調べた結果、以下のことが明らかとなった。（1）流域の土砂生産は降雨の規模や頻度、季節性に影響を受けるが、流出土砂量には上限があり、流量増加にともなって増加するわけではないことが分かった。（2）本流域では、急傾斜の裸地が流域の末端部付近の河道沿いに分布しており、土砂生産場である可能性が考えられた。こうした裸地の面積の大きさや分布特性が、流域の流出土砂量に影響していると考えられた。（3）林床植生やリターなどの林床被覆は、降雨ではなく、風速や気温などの気象条件に応じて季節的に変動し、それによって土砂生産源である裸地も季節的に変

動することが分かった。さらに、冬季には裸地で凍結融解作用による不安定な土砂の生産と移動が確認された。以上のことから、山地流域の土砂生産を検討する上で、降雨規模や頻度よりはむしろ、土砂生産場である裸地の空間分布とその季節変化を把握することが重要であると考えられる。また、今後流域の土砂収支を検討するためには、流路内の土砂の輸送・滞留過程の定量的な把握や、裸地を拡大させるような崩壊痕からの土砂生産の定量化などが必要であると考えられる。

V 謝辞

本研究を行うにあたり、東京農工大学流域水文・生態系管理学研究室の皆さんには、現地調査で多大なご協力をいただいた。また、東京農工大学の石川芳治教授と白木克繁准教授には数多くのアドバイスをいただいた。記して感謝申し上げる。

VI 引用文献

- 安藤彰則・鈴木伸一・村上雄秀（2007）東・西丹沢の植生比較 - 丹沢東西モニタリングエリアの植生 - . 丹沢大山総合調査学術報告書：67-74.
- 芦田和男・澤田豊明（1992）山地流域における出水と土砂流出（21）. 京都大学防災研究所年報 35(B-2)：29-39.
- Beschta, R.L. (1978) Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon coast range. *Water Resources Research* 14: 1011-1016.
- 初磊・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美（2010）丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係. *日本森林学会誌* 92(5)：261-268.
- 藤本征司（2008）気温変動が暖温帯域の樹木の葉フェノロジーに与える影響の予測. *保全生態学研究* 13(1)：75-87.
- 藤田正治・澤田豊明・志田正雄・伊藤元洋（2004）山地流域における土砂生産 - 高原川流域における観測研究 - . *京都大学防災研究所年報* 47(B)：143-150.

- 福島慶太郎・徳地直子 (2008) シカの食害が森林生態系の物質循環に与える影響：溪流水質の予備調査から．森林研究 77：77-87.
- 福島慶太郎・井上みずき・阪口翔太・藤木大介・山崎理正・境優・齊藤星耕・中島皇・高柳敦 (2011) ニホンジカによる過採食が芦生の冷温帯天然林の生物多様性と生態系機能に及ぼす影響の解明．プロ・ナトゥーラ・ファンズ第20期助成成果報告書：181-199.
- Gill, R.M.A. (1992) A review of damage by mammals in north temperate forests: 1. deer. *Forestry* 65(2): 145-169.
- Gomi, T., Sidle, R.C., and Swanston, D.N. (2004) Hydrogeomorphic linkages of sediment transport in headwater streams, Maybeso Experimental Forest, southeast Alaska. *Hydrological Processes* 18(4): 667-683.
- 五味高志 (2006) 土壌侵食と森林 - 森林斜面から流域の視点へ -. 森林科学 47: 10-14.
- 五味高志・小田智基・鈴木雅一・平岡真合乃・宮田秀介・内山佳美・山根正伸 (2012) 丹沢山大洞沢観測流域における水と土砂動態観測．砂防学会誌 65(1): 73-79.
- 五味高志・平岡真合乃・坂上賢・ファム ティ クイン アン・内山佳美 (2013) 大洞沢試験流域における林床被覆の空間分布特性．神奈川県自然環境保全センター報告 10: 59-69.
- 海虎・石川芳治・白木克繁・若原妙子・畢力格図・内山佳美 (2012) ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響．日本森林学会誌 94(4): 167-174.
- 長谷川浩一・若松加寿恵・松岡昌志 (2005) ダム堆砂データに基づく日本全国の潜在的侵食速度分布．自然災害科学 24(3): 287-301.
- 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治 (1992) 林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響．森林総合研究所研究報告 362: 1-34.
- 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・水垣滋・五味高志・南光一樹 (2010) ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響．日本森林学会誌 92(3): 145-150.
- 平岡真合乃・五味高志・内山佳美 (2013) インターバルカメラを用いた連続観測による林床被覆の季節変化の把握．砂防学会誌 (印刷中)
- 石川芳治・白木克繁・戸田浩人・若原妙子・宮貴大・片岡史子・中田亘・鈴木雅一・内山佳美 (2007) 堂平地区における林床植生衰退地での土壌侵食と浸透の実態．丹沢大山総合調査学術報告書: 445-458.
- 梶光一 (1993) シカが植生をかえる. 242-249. 生態学からみた北海道. 東正剛・阿部永・辻井達一編, 373pp, 北海道大学図書刊行会, 北海道.
- 金子慶之・有馬眞・佐藤理恵子・小野紘斗・岩垣拓也・川崎昭如 (2007) 西丹沢中川上流域に分布するトータル岩母材土壌の構造と地球化学的特性：長期モニタリングに向けた基盤データの構築．地質学雑誌 113(12): 611-627.
- 加藤弘亮・恩田裕一・平松晋也・柏木章子・宮本邦明 (2005) 吉野川上流長沢ダム流域における放射性同位体を用いた微細土砂供給源の推定．砂防学会誌 58(2): 5-14.
- Knighton, D. (1998) *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. John Wiley & Sons, New York. 383pp.
- 厚井高志・堀田紀文・鈴木雅一 (2007) 中川川流域における堰堤満砂期間を用いて推定した土砂生産分布と崩壊履歴の関係．丹沢大山総合調査学術報告書: 425-431.
- Kurashige, Y. (1998) Process-based estimation of suspended-sediment concentration during the thaw season in a small headwater basin. *International Association of Hydrological Science Publication* 249: 415-422.
- 三浦寛 (2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価．日本林学会誌 82(2): 132-140.
- Miura, S., Yoshinaga, S., and Yamada, T. (2003) Protective effect of floor cover against soil erosion on steep slopes forested with *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) and other species. *Journal of Forest Research* 8(1): 27-35.
- Mizugaki, S., Onda, Y., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., and Hiramatsu, S. (2008) Estimation of suspended

- sediment sources using ^{137}Cs and $^{210}\text{P}_{\text{bex}}$ in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds in southern Japan. *Hydrological Processes* 22(23): 4519-4531.
- Mizugaki, S., Nanko, K., and Onda, Y. (2010) The effect of slope angle on splash detachment in an unmanaged Japanese cypress plantation forest. *Hydrological Processes* 24(5): 576-587.
- 村上雄秀 (2007) シカ食害下の丹沢山地の植生変遷について. *生態環境研究* 14(1): 19-33.
- Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Nonoda, T., and Sidle, R.C. (2010) An overview of the field and modelling studies on the effects of forest devastation on flooding and environmental issues. *Hydrological Processes* 24(5): 527-534.
- Sakai M., Natuhara Y., Imanishi A., Imai K., and Kato M. (2012) Indirect effects of excessive deer browsing through understory vegetation on stream insect assemblages, *Population Ecology* 54(1): 65-74.
- 白木克繁・若原妙子・石川芳治・鈴木雅一・内山佳美 (2007) 大洞沢の降雨と流出. 丹沢大山総合調査学術報告書: 405-409.
- Swank, W.T., Vose, J.M., and Elliott, K.J. (2001) Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. *Forest Ecology and Management* 143: 163-178.
- 田村淳 (2007) ニホンジカの採食圧を受けてきた冷温帯自然林における採食圧排除後 10 年間の下層植生の変化. *森林立地* 49(2): 103-110.
- 田中由紀・高槻成紀・高柳敦 (2008) 芦生研究林におけるニホンジカ (*Cervus nippon*) の採食によるチマキザサ (*Sasa palmata*) 群落の衰退について. *森林研究* 77: 13-23.
- 堤大三・藤田正治・伊藤元洋・手島宏之・澤田豊明・小杉賢一朗・水山高久 (2007) 凍結融解による土砂生産に関する基礎的研究－田上山裸地斜面における現地観測と数値シミュレーション－. *砂防学会誌* 59(6): 3-13.
- 内山佳美・鈴木雅一 (2007a) I 丹沢山地における土砂災害の実態とその履歴. 丹沢大山総合調査学術報告書: 469-473.
- 内山佳美・鈴木雅一 (2007b) II 丹沢大山地域における森林資源の変化と森林管理・利用の変遷. 丹沢大山総合調査学術報告書: 474-478.
- 矢部和弘・中嶋伸行・西尾邦彦 (2000) 東丹沢大洞沢における流出土砂量推算式の検討. *東京農業大学農学集報* 45(3): 217-225.
- 山根正伸 (2010) 神奈川県におけるニホンジカ保護管理の新展開. *日本鹿研究* 創刊号: 2-8.
- 若原妙子・石川芳治・白木克繁・戸田浩人・宮貴大・片岡史子・鈴木雅一・内山佳美 (2008) ブナ林の林床植生衰退地におけるリター堆積量と土壌侵食量の季節変化 - 丹沢山地堂平地区のシカによる影響 -. *日本森林学会誌* 90(6): 378-385.

