

東丹沢堂平における流域スケールでの土壤保全対策効果の検証

石川芳治*・内山佳美**

Evaluation of soil conservation measures in watershed scale at Dodaira, East Tanzawa Mountains

Yoshiharu ISHIKAWA*, Yoshimi UCHIYAMA**

要 旨

東丹沢堂平地区では近年シカの採食圧により林床植生が衰退し、急勾配の斜面を中心として激しい土壤侵食が発生している。土壤侵食を軽減するために、最近ではシカの保護管理および土壤保全工の設置等の種々の対策が実施されてきている。このような対策の効果を明らかにするためにはプロットスケールでの効果の検証とともに流域スケールでの効果の検証も必要である。このため堂平地区の斜面におけるプロットスケールでの土壤侵食量の観測を行うとともに堂平地区を流域に含む堂平沢（流域面積約 141ha）とワサビ沢（流域面積約 91ha）の下流において濁度および水位を測定して、浮遊土砂量を測定した。その結果、斜面土壤侵食量と溪流における浮遊土砂量には強い相関関係が認められた。これらの成果は、丹沢堂平地区の土壤侵食対策の効果検証のための資料として用いることができると考えられる。と考える。

I はじめに

東丹沢の堂平地区では約 30 年前からシカの採食により林床植生であるスズタケが衰退し、これに伴って林床におけるリター（落葉・落枝）の堆積量も減少し、最近では林床が裸地化し、広い範囲にわたって土壤侵食が進行し深刻な問題となっている。表層土壤の侵食は樹木の根を露出させ、倒木の要因となっているだけでなく、林床に生息する生物相に影響を与え、さらに土壤が流下する溪流の生態系にも悪影響を与えている。流出した土壤は濁水となって水源を汚濁し、また貯水ダムに流入して堆砂を進行させ貯水ダムの利用可能年数の低下をひきおこす可能性がある。このように堂平における土壤侵食はブナ林のみならず、それに繋がる溪流における生態

系、貯水ダムに関連する水資源などに大きな影響を与えており、早急に土壤侵食を軽減する必要がある。

堂平地区における土壤侵食量を減少させて溪流における生態系への影響を減少させるために神奈川県では種々の対策を実施してきている。堂平地区では神奈川県によるシカの保護管理の成果が上がっており、図 1 に示すように堂平地区におけるシカの生息密度は最近では急速に低下している（神奈川県、2011）。このような対策の効果もあり、堂平地区では、最近の数年間については林床植生も回復傾向にある。さらに、堂平地区では土壤保全工を試験的に施工して、土壤侵食量の低減効果を検討してきている。これまでに実施した土壤保全対策の効果を検証するためには、プロットスケールのモニタリングとともに、流域スケールでのモニタリングを行い、シ

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

** 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）

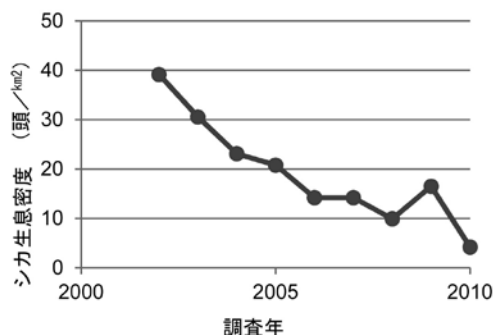


図1 丹沢堂平地区におけるシカの生息密度の変化 (神奈川県、2011)

カの保護管理や土壌保全対策の効果を広域的に検証していく必要がある。しかしながら、土壌保全工やシカの保護管理が流域スケールでの土砂の流出に与える影響の評価手法については未解明の部分も多い。このため本研究では、土壌保全対策を実施している堂平地区を流域に含む堂平沢とワサビ沢の下流において濁度および水位を測定して、流域スケールでの浮遊土砂量を観測し、降雨量と土壌侵食量および浮遊土砂量の関係等について検討することにより、流域スケールでの土壌保全対策の効果を評価する手法の確立のための基礎的データを得ることを目的とする。

II 調査地

調査地は、神奈川県愛甲郡清川村の東丹沢堂平地区と堂平地区を流域に含むワサビ沢と堂平沢の2流域である(図2)。堂平地区は相模川流域の宮ヶ瀬ダム上流の支流である塩水川流域に位置し、地表層は厚さ2～3mのローム(火山灰)で覆われ、表層土壌の透水性は比較的良好である。基盤の地質は海成火砕岩類を主体とする新第三紀層丹沢層群である。標高は約1,190mであり、斜面勾配は5度～33度程度である。この地域の植生はヤマボウシブナ群集で、高さ25～30mのブナが卓越している。林床植生は約30年前まではスズタケが卓越していたが、現在ではシカの採食により衰退してほとんどみられず、林床植生被覆率は1～18%程度であり、モミジイチゴ、バライチゴ、オオバノヤエムグラ、アザミ類等のシカの不嗜好性植物が一部に見られる。調査箇所のブナ林の立木密度は366本/haで平均直径は26.9cmであり、斜面の方位は南および東



図2 堂平地区位置図

向きで日射条件は比較的良好である。

浮遊土砂量を観測したワサビ沢と堂平沢の2流域は、堂平地区を流域内に含み、標高710m地点を流域出口として合流している(図3)。ワサビ沢流域と堂平沢流域の流域概況を表1、2に示す。両流域ともほぼ同じような流域地形特性を持っていると考えられる。

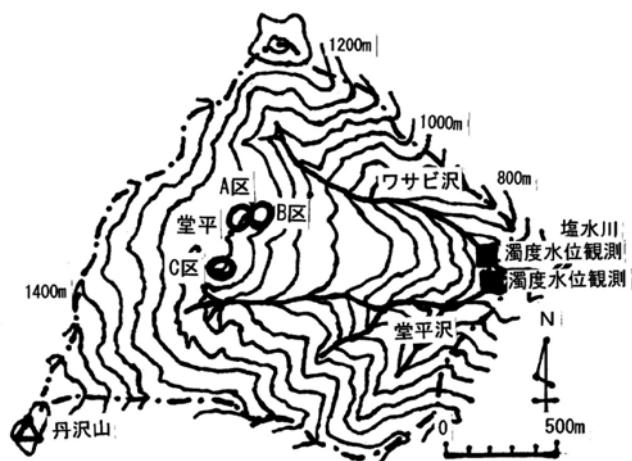


図3 堂平地区斜面の位置とワサビ沢、堂平沢の流域図

表1 ワサビ沢流域の流域概況

流域面積	$A=0.91\text{km}^2$	流域内最高標高	$H_{\max}=1360\text{m}$
主流長	$L=1.19\text{km}$	最低標高	$H_{\min}=710\text{m}$
流域平均幅	$A/L=0.77\text{km}$	標高差	$H_{\max}-H_{\min}=650\text{m}$
流域周囲長	$M=3.59\text{km}$	流域内水源標高	$H_{\text{水源}}=1140\text{m}$
形状係数	$B/L=2.02$ (B : 流域平均幅)	主流平均勾配	$(H_{\text{水源}}-H_{\text{観測}})/L=0.36$ ($\theta=20^\circ$)
		流域の平均傾斜	32.6° (Horton法) 32.4° (寺田法)
谷密度	6.83km^{-1}		

表2 堂平沢流域の流域概況

流域面積	$A=1.41\text{km}^2$	流域内最高標高	$H_{\max}=1560\text{m}$
主流長	$L=1.88\text{km}$	最低標高	$H_{\min}=710\text{m}$
流域平均幅	$A/L=0.75\text{km}$	標高差	$H_{\max}-H_{\min}=850\text{m}$
流域周囲長	$M=4.87\text{km}$	流域内水源標高	$H_{\text{水源}}=1390\text{m}$
形状係数	$B/L=3.32$ (B : 流域平均幅)	主流平均勾配	$(H_{\text{水源}}-H_{\text{観測}})/L=0.36$ ($\theta=20^\circ$)
		流域の平均傾斜	29.0° (Horton法) 28.9° (寺田法)
谷密度	6.87km^{-1}		

Ⅲ 調査方法

堂平地区の林床植生衰退地における降雨量（樹冠通過雨量）と土壌侵食量の関係を検討するために、図3に示すC区内の勾配33度の斜面に幅2m、長さ5mの土壌侵食調査プロットを4箇所設置した（図4）。C区内の各土壌侵食調査プロットにおいて2009年～2011年の毎年4月～11月の間、1週間～2週間毎に降雨量（樹冠通過雨量）と土壌侵食量を観測するとともに、林床合計被覆率（林床植生被覆率＋リター被覆率）を測定するために1m×1mのコドラートをプロット内に置き写真撮影を行った。なお、堂平地区のA区とB区には土壌侵食対策工を設置した。

堂平地区を流域の一部に含むワサビ沢と堂平沢の下流（合流点の直上流）において平成21年（2009）4月12日～12月6日、平成22年（2010）4月3日～12月12日および平成23年（2011）3月30日～12月4日の約3年間（冬期を除く）水位（流量）、濁度（浮遊土砂濃度）を測定した。

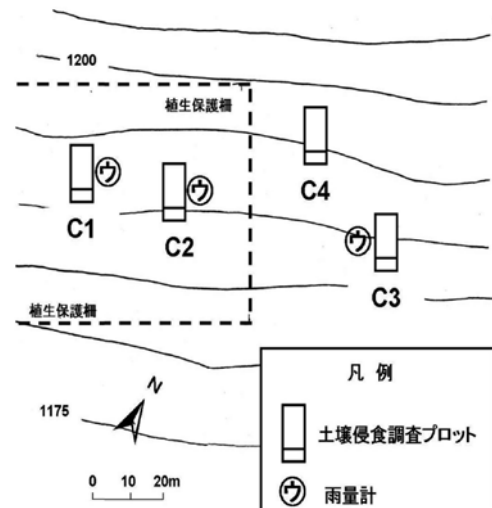


図4 堂平地区C区内の土壌侵食調査プロットと雨量計の配置図

1 水位と溪流流量

図3に示すワサビ沢、堂平沢の下流地点に圧力式水位計（HI-NET社製、HM-500-02-30）、をそれぞれ1個ずつ設置して10分毎に自動観測を行った。水位計の設置地点において、水位の異なる時期に、プロペラ式流速計（KENEK社製、VR-201）を用いて流速分布を測定し、さらに流水部の断面積、水深の測

定を行い、溪流の流量を算出した。数回の流量と水位データとの関係から水位～流量曲線を作成し、この曲線を用いて水位データから流量を求めた。なお、水位計の出力値から水位を算出するためには出力値と水位の関係についてもキャリブレーションを行った。ワサビ沢流域、堂平沢流域における水位計の設置状況を写真1、2に示す。

2 濁度と浮遊土砂量

ワサビ沢、堂平沢流域の最下流部（水位計の設置箇所と同一地点）に濁度計（OPTEX 社製、TC-3000）を設置して10分間隔で濁度データを自動記録した。記録は、データロガー（ウイジン社製、UIZ3635）により行った。ワサビ沢流域、堂平沢流域に設置した濁度計を写真1、2に示す。

濁度計では、河川流水中を浮遊流下する浮遊土砂と有機物を合わせた濁質物質が計測される。そこで、濁度計の出力値から濁質物質濃度を求めるために、濁質物質濃度と濁度計の出力値の関係を求めるためにキャリブレーションを行った。キャリブレーションには堂平地区の斜面表層から採取した土壌を0.25mmメッシュのふるいに通した土壌を用いた。なお、ワサビ沢で採取した濁水において測定した結

果では、濁質物質のうち、約70%が浮遊土砂であったため、濁質物質濃度の70%を浮遊土砂濃度とした。キャリブレーション結果を用いて濁度計の出力値から濁質物質濃度を求め、その70%を浮遊土砂濃度として算定し、それに流量を乗じた値を浮遊土砂量とした。

3 雨量と斜面土壌侵食量

図3に示す堂平地区のC区の約33度の斜面上4箇所に土壌侵食調査プロットを設置し、さらに同じ斜面上に樹冠通過雨量を測定するための雨量計（大田計器製作所製、No.34-T、転倒杓型、1転倒0.5mm）を計3個設置した（図4）。雨量計の降雨量データはデータロガー（ウイジン社、UIZ3639）により1～2分毎に自動的に記録した。3個の雨量計の平均値を以下では単に雨量（樹冠通過雨量）と呼ぶ。土壌侵食量については、土壌侵食調査プロットの下部に土砂捕捉マット（幅40cm、深さ40cm、高さ40cm、長さ2m）を設置し（図5）、土砂捕捉マット内に堆積した土砂及びリターを4～11月の間に1週間～2週間毎に1回採取し、実験室に持ち帰り、洗浄により土砂とリターに分離して105℃で2日間乾燥した後、それぞれの絶乾質量を測定した。植生保護柵の外にあるC3の土壌侵食調査プロットにおける2009年～2011年における7～9月の平均林床植生被覆率は1%、平均林床合計被覆率（林床植生被覆率+リター被覆率）は29%である。



写真1 ワサビ沢に設置した水位計、濁度計



写真2 堂平沢に設置した水位計、濁度計

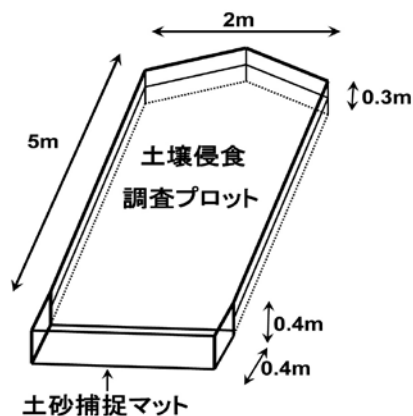


図5 土壌侵食調査プロットの模式図

IV 結果および考察

1 土壌侵食量と浮遊土砂量

1 イベントの降雨（1雨）における斜面での土壌侵食量と溪流における浮遊土砂量の関係を、季節ごとに分けて分析した。ここで、連続した降雨量のある降雨を1イベントの降雨（一雨）とし、24時間以上降雨がない状態が続いた場合、別のイベント降雨とした。1イベント降雨における総浮遊土砂量を浮遊土砂量とした。土壌侵食量の値は、図4に示すC3の土壌侵食調査プロットの測定値を用いた。C3の土壌侵食調査プロットの林床植生および堆積リターは人為的に取り除いたため、4～12月の林床合計被覆率はほぼ0%である。季節は、4～6月を春季、7～9月を夏季、10～12月を秋季とした。ワサビ沢における浮遊土砂量と土壌侵食量の関係を図6に示す。また、堂平沢における浮遊土砂量と土壌侵食量の関係を図7に示す。両溪流とも土壌侵食量と浮遊土砂量の関係には正の相関があることが分かった。したがって、土壌侵食と浮遊土砂は別々の現象ではなく、流域における斜面の土壌侵食が溪流への浮遊土砂流出に影響を与えていると考えられる。また、ばらつきは春季、秋季に比べて夏季において少なかった。このことから、斜面の土壌侵食と溪流への浮遊土砂流出は夏季において強く関係していると考えられる。

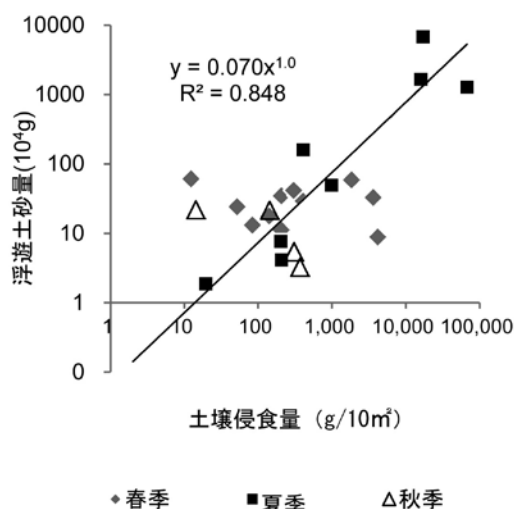


図6 ワサビ沢における浮遊土砂量と土壌侵食量の関係 (2009-2011年)

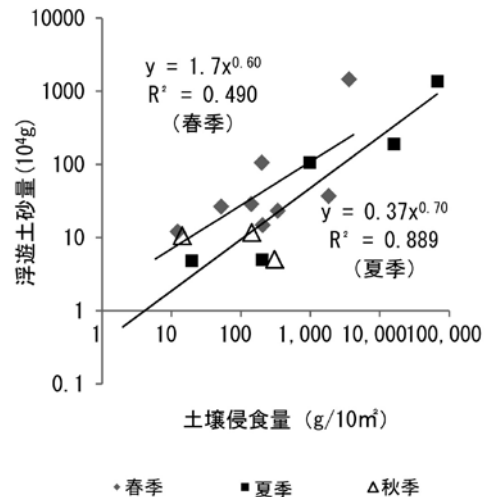


図7 堂平沢における浮遊土砂量と土壌侵食量の関係 (2009-2011年)

2 ピーク流量と浮遊土砂量

ワサビ沢における一イベントごとのピーク流量と浮遊土砂量の関係を季節ごとに分けて分析した結果を図8に示す。また、堂平沢における同様の結果を図9に示す。図8、9から浮遊土砂量はピーク流量に対して指数関数的に増大することが分かった。また、同一の流量に対して夏季では、春季と秋季に比べて浮遊土砂量が大きくなる傾向が見られる。ピーク流量と浮遊土砂量の相関は、春季と夏季で小さく、秋季に大きいことが分かった。

3 雨量と浮遊土砂量

ワサビ沢と堂平沢において、1イベント降雨における雨量と浮遊土砂量の関係を季節ごとに分けて分析した。

(1) 最大10分間雨量と浮遊土砂量

ワサビ沢と堂平沢において最大10分間雨量と浮遊土砂量の関係を季節ごとに分けて分析した。ここでの最大10分間雨量とは、1イベントの降雨における最大の10分間雨量を意味する。季節毎に分けた場合のワサビ沢における最大10分間雨量と浮遊土砂量の関係を図10に、堂平沢における最大10分間雨量と浮遊土砂量の関係を図11に示す。最大10分間雨量と浮遊土砂量の結果から、データにばらつきがあり、最大10分間雨量が大きくても浮遊土砂量があまり大きくならない降雨が見られた。このことから、最大10分間雨量と浮遊土砂量との関係は弱いと考えられる。

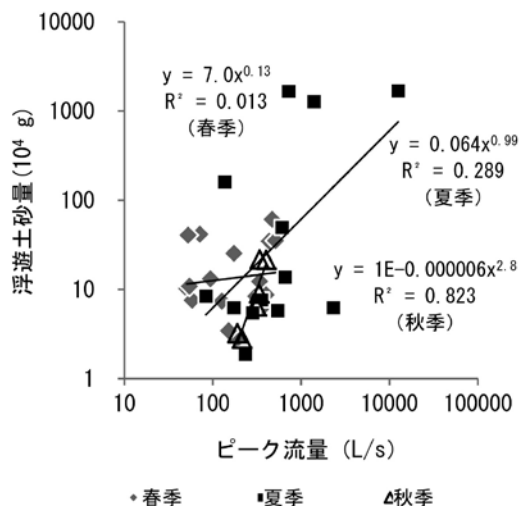


図8 ワサビ沢におけるピーク流量と浮遊土砂量の関係 (2009-2011年)

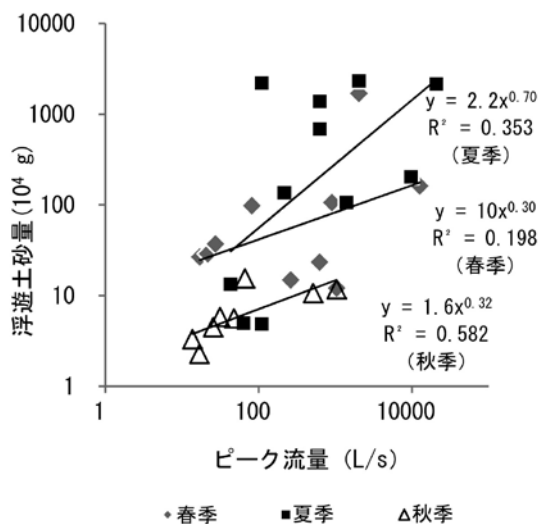


図9 堂平沢におけるピーク流量と浮遊土砂量の関係 (2009 - 2010年)

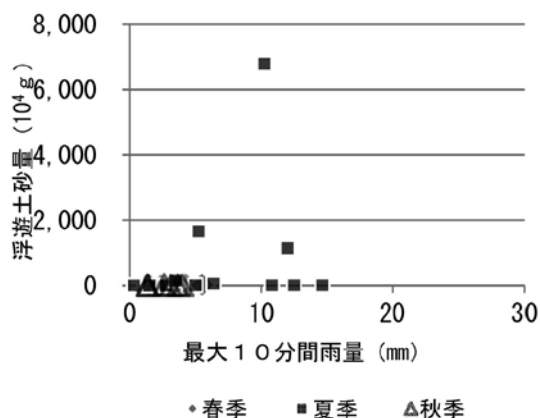


図10 ワサビ沢における最大10分間雨量と浮遊土砂量の関係 (2009-2011年)

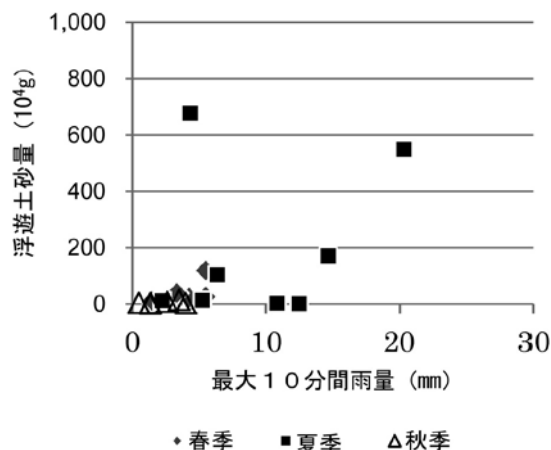


図11 堂平沢における最大10分間雨量と浮遊土砂量の関係 (2009-2011年)

(2) 一雨雨量と浮遊土砂量の季節変化

一雨雨量と浮遊土砂量の関係を、季節ごとに分けて分析した。ワサビ沢における一雨雨量と浮遊土砂量の関係を図12に示す。堂平沢における一雨雨量と浮遊土砂量の関係を図13に示す。一雨雨量と浮遊土砂量には正の相関があることが分かった。また、同一の雨量に対し夏季では、春季や秋季に比べて浮遊土砂量が大きくなる傾向が認められる。

(3) 一雨雨量と浮遊土砂量の季節ごとの経年変化
一雨雨量と浮遊土砂量には季節変化があることが分かったので、季節別に一雨雨量と浮遊土砂量の経年変化(2009～2011年)を分析した。ワサビ沢における春季、夏季、秋季の一雨雨量と浮遊土砂量との

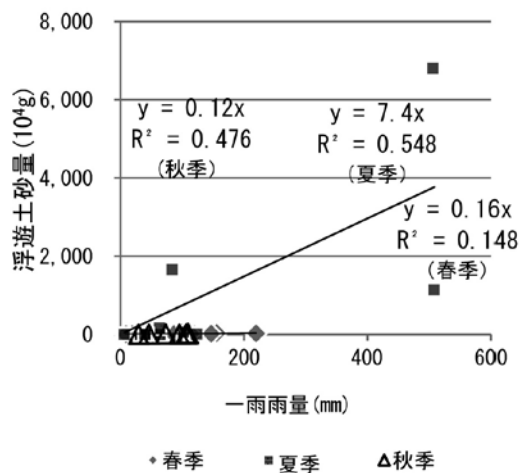


図12 ワサビ沢における一雨雨量と浮遊土砂量の関係 (2009-2011年)

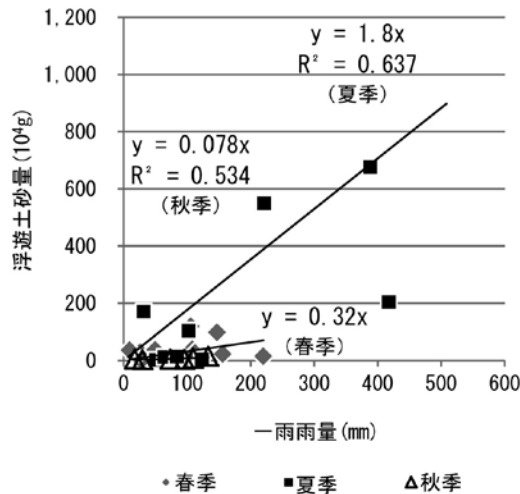


図 13 堂平沢における一雨雨量と浮遊土砂量の関係 (2009-2011 年)

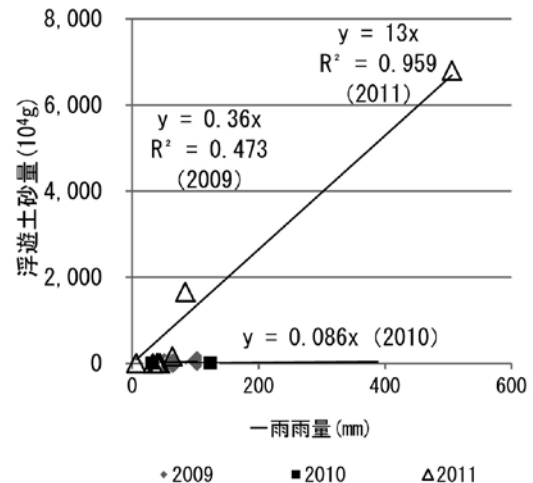


図 15 ワサビ沢における夏季の一雨雨量と浮遊土砂量の関係 (経年変化)

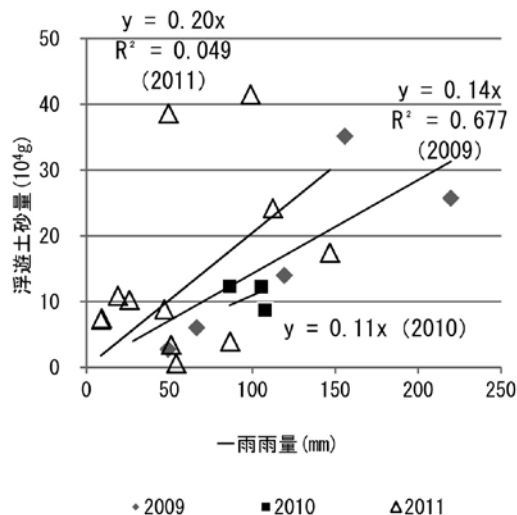


図 14 ワサビ沢における春季の年別一雨雨量と浮遊土砂量の関係 (経年変化)

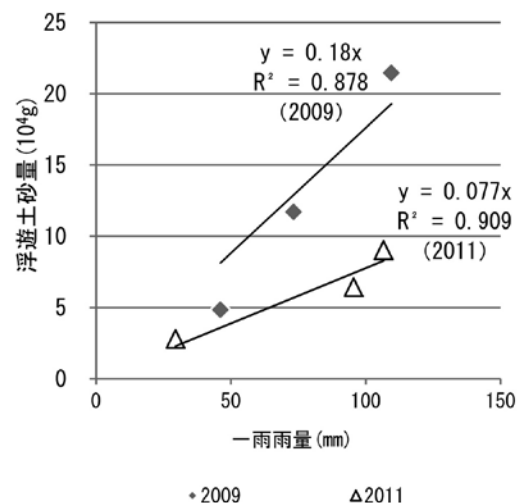


図 16 ワサビ沢における秋季の一雨雨量と浮遊土砂量の関係 (経年変化)

関係を図 14、15、16 に示す。また、堂平沢における春季、夏季、秋季の一雨雨量と浮遊土砂量との関係を図 17、18、19 に示す。

図 14～19 を基に、2009～2011 年の間の、同一規模の一雨雨量に対するワサビ沢と堂平沢の浮遊土砂量を季節ごとに比較すると表 3 のようになる。

表 3 より、春季と夏季では溪流の浮遊土砂量は 2009 年から 2011 年へと増加傾向にあり、堂平地区の A 区、B 区で見られた林床合計被覆率の増加の影響が溪流の浮遊土砂量の減少につながっていないと判断される。この理由として、2011 年は台風 12 号、

台風 15 号という降雨量の大きなイベントが発生したことが原因の一つとして考えられる。なお 2009 年の 4 月～11 月の総雨量は 2123mm、2010 年の 4 月～11 月の総雨量は 2420mm、2011 年の 4 月～11 月の総雨量 3135mm とこの 3 年間では毎年増加している。一方、秋季では、溪流の浮遊土砂量は減少傾向にあり、林床合計被覆率の増加の影響が浮遊土砂量の減少に影響している可能性がある。

2009 年から 2011 年の観測結果からは堂平地区における土壌保全対策に伴う影響が溪流における浮遊土砂量の減少に直ちに影響しているとは認められな

表3 同一規模の一雨雨量に対する浮遊土砂量の増減（経年変化）

溪流	季節	2009→2010年	2010→2011年	2009→2011年
ワサビ沢	春季(4-6月)	減少	増加	増加
	夏季(7-9月)	減少	増加	増加
	秋季(10, 11月)	2010年のデータ無し	2010年のデータ無し	減少
堂平沢	春季(4-6月)	増加	増加	増加
	夏季(7-9月)	増加	ほぼ横ばい	増加
	秋季(10, 11月)	増加	減少	減少

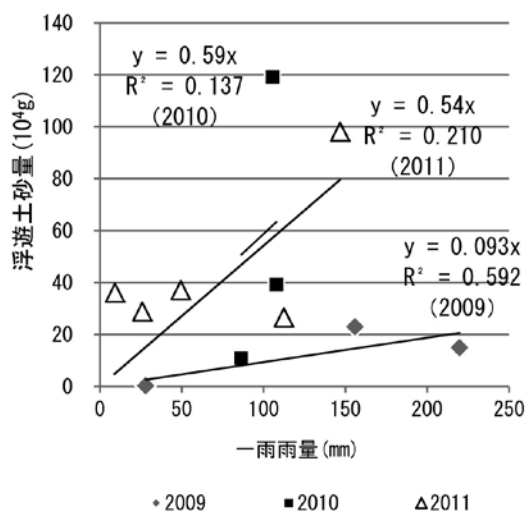


図17 堂平沢における春季の年別一雨雨量と浮遊土砂量の関係（経年変化）

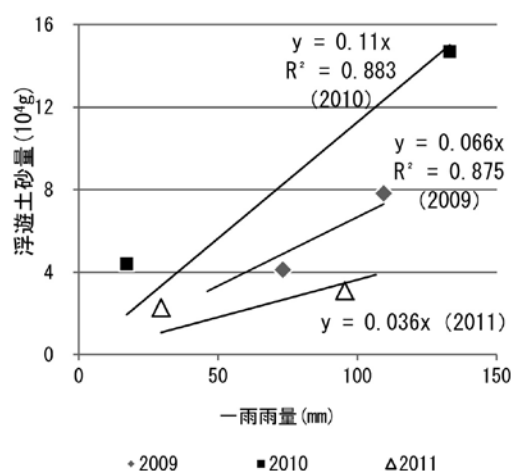


図19 堂平沢における秋季の一雨雨量と浮遊土砂量の関係（経年変化）

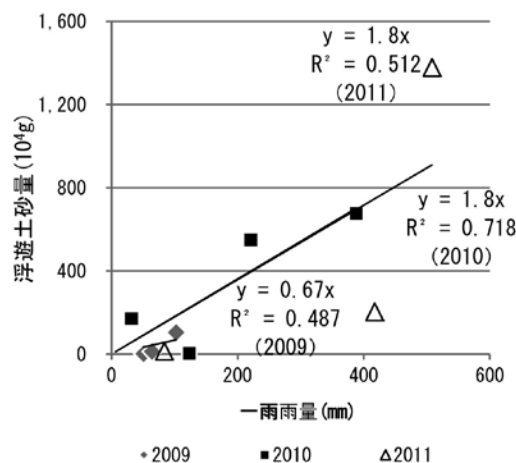


図18 堂平沢における夏季の一雨雨量と浮遊土砂量の関係（経年変化）

かったが、斜面全体の土壌侵食量が溪流の浮遊土砂となって流出するにはある程度の時間差が必要とも考えられる。このことから、斜面における土壌保全対策が浮遊土砂量に与える影響（効果）を判断するにはある程度の期間の現地観測が必要と考えられる。

V まとめ

丹沢堂平地区ではシカの採食により林床植生が衰退し、急勾配の斜面を中心に激しい土壌侵食が発生している。このような土壌侵食を減少させるための土壌保全対策として、土壌侵食対策工を設置するとともにシカの保護管理によりシカの生息密度を減少させる努力がなされてきている。

水源環境保全・再生の観点からは、このような土壌保全対策による土壌侵食軽減の効果を検証するこ

とが必要とされる。このためには斜面におけるプロットスケールでの土壌侵食軽減効果を検証すると同時に、流域スケールでの土壌侵食軽減効果を検証することも重要である。しかし、流域スケールでの土壌保全対策の効果の評価手法については未解明の部分も多い。堂平地区のように関東ロームが斜面の表面に厚く堆積している流域では、流域スケールでの土壌侵食軽減効果の検証方法として、溪流における浮遊土砂量の減少を検討することが有効と考えられる。このため土壌保全対策を実施している堂平地区を流域に含む堂平沢（流域面積約 141ha）とワサビ沢（流域面積約 91ha）の下流において濁度および水位を測定して、流域スケールでの浮遊土砂流出モニタリングを行い、これらと堂平地区の斜面におけるプロットスケールでの土壌侵食量のモニタリング結果と比較検討を行った。この結果、堂平地区では斜面におけるプロットスケールの土壌侵食量と溪流における流域スケールの浮遊土砂量に強い相関があることが分かった。一方、一雨雨量と浮遊土砂量には季節変化が認められ、夏季では一雨雨量の増加により浮遊土砂量も増加する傾向が認められた。季節毎に、一雨雨量と浮遊土砂量の関係を求め、2009、2010、2011 年と 3 カ年の経年変化を検討した結果、明確な減少傾向は認められず、同一の一雨雨量に対する浮遊土砂量からは堂平地区における土壌保全対策の効果が直ちに浮遊土砂量の減少になって現れていないことが分かった。斜面における土壌

侵食量の減少が溪流の浮遊土砂量の減少に繋がるためにはある程度の時間が必要であることが予想されるので、今後更に観測を継続して検証を行う必要がある。

堂平地区における総合的で長期にわたる土壌侵食量観測、浮遊土砂量観測の成果を基に、今後、溪流における浮遊土砂量の予測手法の開発や、土壌保全対策の効果の評価手法を確立する必要がある。このためには、土壌侵食機構と、浮遊土砂供給プロセスを明らかにし、斜面土壌侵食と溪流の浮遊土砂量の相関性だけでなく、侵食土砂の流出機構（斜面から溪流への移動過程と移動機構）を明らかにしていく必要がある。例えば斜面単位での土壌侵食の時間変化を降雨量の時間変化と合わせて解析することにより土壌侵食機構がさらに明らかになると考えられる。また、今回の解析において用いなかった堂平地区における多数の土壌侵食調査プロットの土壌侵食量、地表流流出量、林床合計被覆率と溪流における浮遊土砂量および流量の関係を総合的に解析することにより、土壌保全対策の効果評価を斜面（プロットスケール）から流域スケールへ拡張することが可能と考えられる。

VI 引用文献

神奈川県（2011）平成 23 年度神奈川県ニホンジカ保護管理事業実施計画、23

