

**河川砂防技術研究開発**  
**【成果概要】**

① 研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	福山 泰治郎 (ふくやま たいじろう)	信州大学		助教
② 研究テーマ	名称	シカの高密度化が流域の土砂流出に及ぼす影響評価手法の開発と将来予測		
	政策領域	[分野] 地域課題分野 (砂防)	融合技術	(リモートセンシング, 非破壊検査, 認知行動学 等)
		[公募課題]		
③ 研究経費 (単位: 万円)	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	総合計
※端数切り捨て。	202 万円	199 万円	76 万円	477 万円
④ 研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名, 所属・役職を記入下さい。なお, 記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※平成 年3月31日現在)			
泉山 茂之	信州大学農学部・教授			
小野 裕	信州大学農学部・助教			
⑤ 研究の目的・目標	(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>本研究の目的はシカの密度増加が流域スケールの表土流亡に及ぼす長期的影響を効率的に事後評価するとともに将来予測が可能となる手法を開発することである。この目的を達成するために、砂防堰堤の堆積速度と堆積物に占める表土由来成分の割合の年変動を推定するとともに、流域のシカの生息状況 (数・空間分布) の経年変化, 土砂生産の時空間分布 (斜面崩壊, 伐採・間伐, 表面侵食・濁水発生), 流域の気象データ (降水量・気温) を調査する。</p>				

## ⑥研究成果

(様式 F-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

### 1. はじめに

日本では20世紀後半以降、ニホンジカの個体数増加と分布域の拡大とともに、食害や樹木剥皮などの農林業被害が深刻な問題となっている。長野県では特定鳥獣管理計画を策定し(長野県, 2016), ニホンジカの捕獲・個体数管理を進めているが, 県内のシカ頭数は2015年時点で推定20万頭強と依然多い状況にある。県では生息密度の目標を農林業地域で1~2頭/km<sup>2</sup>, 鳥獣保護区で3~5頭/km<sup>2</sup>と設定しているが, 2015年現在の生息密度は, 八ヶ岳地域では51頭/km<sup>2</sup>, 南アルプス地域では13頭/km<sup>2</sup>と推定され(長野県, 2016), 目標とする水準に比べて大幅に高密度な状況にある。さらに, シカはこれまでほとんど目撃されてこなかった県北部(北アルプス域)・南西部(中央アルプス域)にも分布を拡大していると思われる。

国内各地で行われた調査により, シカの高密度化・採食圧の増加にもなって下層植生の衰退や種構成の変化が生じること(たとえば植生学会企画委員会, 2011), 下層植生の衰退にもなって地表流発生や土壌侵食が増加すること(古澤ほか 2003, 若原ほか 2008, Sakai et al. 2012, 畢力格図ほか 2013, Yamada & Takatsuki 2015, 榎木ほか 2016), 溪床が流入土砂で細粒化すること(境ほか 2013)が報告されてきた。これらの研究から, シカの高密度化がその後の土壌侵食を加速するものと考えられるが, シカの高密度化や採食圧の増加が流域スケールの土壌侵食や土砂流出にどのように影響するのか明らかでない。表面侵食を抑制して流域からの土砂生産・流出を抑制するためには, 流域のどこにシカが集中して採食圧が増加し, その後の土壌侵食の危険性が高まるかを予測する必要がある。そこで本研究では, シカの高密度化と採食圧の増加が森林流域の土壌侵食に及ぼす影響を評価・予測することを目的として, 南アルプス北部で下層植生・土壌侵食・シカ頭数を調査し, シカの影響を考慮した土壌侵食危険度の予測を試みた。

### 2. 調査地の概要と調査方法

対象流域は, 南アルプス北部に位置する, 天竜川水系三峰川支川山室川左支の座頭沢流域(長野県伊那市高遠町)である。南アルプス一帯ではニホンジカの個体数が増加し, 本来の生息域である山地帯だけでなく, 亜高山, 高山帯まで分布域を拡大している。座頭沢流域の南東は入笠牧場に接しており, そこでは南アルプス域の他の牧場と同様に高密度のニホンジカが確認されている。座頭沢流域を含む山室川最上流の左岸域(3,111 ha)は鳥獣保護区(三義)に指定されており(長野県, 2018), シカの生息密度が高いことが想定される。

山室川は, 高遠町東高遠で三峰川に合流する流域面積59.0 km<sup>2</sup>, 流路延長17.9 km, 標高750~1,870 m, 高低差1,120 m, 平均河床勾配 1/16の河川である。座頭沢は流域面積2.88 km<sup>2</sup>, 平均河床勾配 1/4, 標高1,230~1,870 m(山地帯~亜高山帯)に位置する森林流域である。流域の大部分が1951~54年に植栽されたカラマツ林で占められ, その多くが1990~91年に列状間伐されている。流路沿いには一部ブナ等の広葉樹が見られる。下層植生は多くはササやバラ科, 北向き斜面ではオシダ等の被度が大きい。草高はササが優占する斜面で平均28 cm, オシダが平均66 cm(2017/7/7時点)で, 草丈は小さく, 多数の採食痕や糞が見られ, 採食圧が高いと考えられる。センサーカメラで撮影された回数から, 対象流域のシカ生息密度は約21頭/km<sup>2</sup>と推定される。

斜面の侵食土砂量を観測するために, 流域内に17台の土砂受け(幅2 m)と9台のセンサーカメラを設置した。土砂受けは山腹斜面(傾斜角30~35° 斜面長19~72 mの直線状斜面)の末端(流路から水平距離0.6 m~25 m)に設置し, センサーカメラは土砂受けの上部斜面に侵入したシカを撮影できるように設置し, 2017年5月から2018年12月の無積雪期に観測した。並行して林内雨量・気温・地温と斜面の植被率を観測した。試験流域では, 河道で土砂濃度と流量を観測するとともに, 流域内のシカの頭数と斜面の植被率を観測した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 斜面の土壌侵食に及ぼすシカの影響

座頭沢上流1 No.3, No.4 (ササ等 北西向き, 保護柵区) と座頭沢上流2-B (オシダ等 北向き No.12~No.15) では, 雨量が多い場合でもリターの移動が主であり, 顕著な土壌侵食は見られなかった (図2)。2017年7月に食塩による誘引を行った地点 (座頭沢上流1, No.5, No.6) では, 2018年度は誘引を行っていないにもかかわらずシカによる地表のかく乱があり, それにともなって侵食土砂量が

#### ⑥研究成果 (つづき)

増加した (図2)。ササ等が優先する斜面 (座頭沢上流1 北西向き斜面 No.1, No.2, 南東向き No.9, 座頭沢上流2-A 南向き斜面 No.10, No.11) では, 雨量に応じて侵食土砂がわずかに増加する傾向が見られた (図2)。

座頭沢上流3-A No.16,

No.17 (ササ・シダ 南西向き斜面) では, 2017年には保護柵を設け, 2018年に保護柵を取り外した。保護柵の有無による侵食土砂量の変化は明らかでないが, 雨量の増加に応じて侵食土砂量が増加する傾向が見られた (図2)。



図1 観測施設の配置 (山室川左支 座頭沢流域)

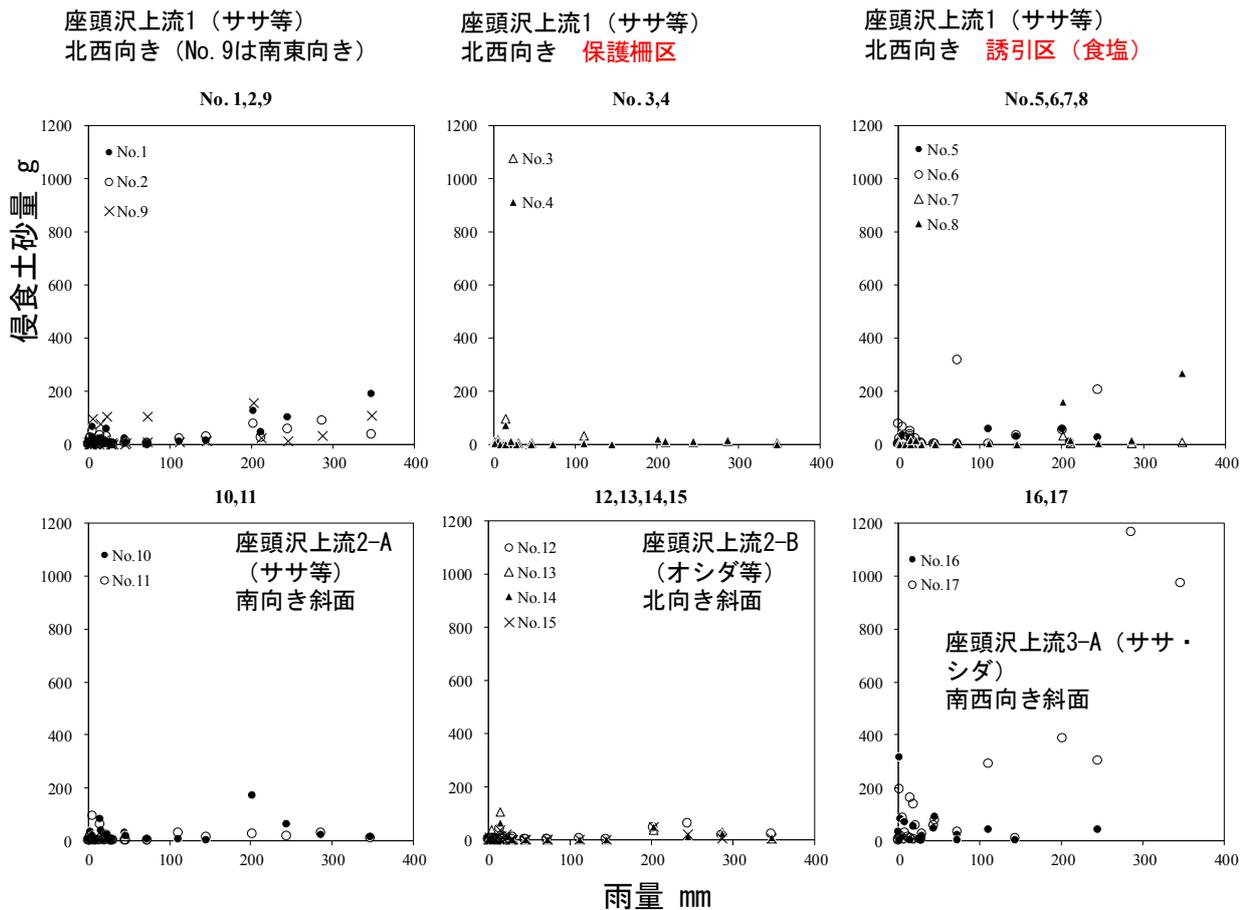


図2 座頭沢上流の侵食土砂量（2017年4月～2018年12月）

### 3.2. 流域の土砂流出に及ぼすシカの影響

座頭沢上流河道の土砂濃度と、雨量、流量、流域内で撮影されたシカ頭数の時系列変化を見ると、上流域でのシカの撮影数と、シカが撮影されたタイミングの土砂濃度の変化には関連が見られず、基

#### ⑥研究成果（つづき）

本的には雨量と流量に応じて土砂濃度が変化した。したがって、植生に覆われた森林流域では基本的に溪流の土砂流出に対する直接的・短期的なシカの影響はほぼないものと考えられた。

### 3.3 シカの食害が長期的に斜面や流域の下層植生や表土に及ぼす影響の評価

侵食土砂量・流出土砂量の観測から、植生に覆われた森林流域では基本的に土壌侵食や溪流の土砂流出に対する直接的・短期的なシカの影響は限定的で、その一方、下層植生が衰退した条件や、法面や崩壊跡地などの裸地斜面では、シカの採食圧や踏圧が土壌侵食に影響しているという知見が得られた。また、センサーカメラによる調査結果から、シカの出現時期や場所に注目すると、撮影されるシカの頭数は、季節や場所によって偏りが見られた。特に、積雪期とその前後（初冬から春）は、日中、南向きの斜面でシカが多く撮影された。そこで、シカの食害が長期的に斜面や流域の下層植生や表土に及ぼす影響を評価するために、日射量の空間分布と、下層植生の分布・衰退状況やシカの季節的な集中との関連を検討し、シカの影響による土壌侵食のリスク評価を試みた。

「日当たりの良い斜面では、シカが春先に集中することでササ等が衰退し、侵食を受けやすくなる」というプロセスを想定した。また、現地散水実験では、100 mm/hでも地表流による侵食がほぼなかったことを考慮して、対象流域では雨滴侵食が卓越すると想定し、次の雨滴侵食モデル（Kinnell, 20

05) を適用した。

## S

ここで、 $S$ :侵食土砂量（雨滴により下方に移動する単位幅あたり土砂量）， $k_s$ : 土壌の受食性（一般には粒度等の土性に依存するとされているが，ここでは現地で実測された土壌侵食量と日射量の関係を基に，日射量の関数とした）， $E$ : 有効降雨エネルギー（流域内では降雨は一様と仮定し，1とした）， $f(s_g)$ : 傾斜（%）である。この式を対象流域に適用し，シカの影響による「土壌侵食危険度マップ」を作成した。

危険度が高いと評価された領域は，流域北部の南向き急斜面に集中していること，作業道やカラマツ人工林の列状間伐の分布域との重複が多く，シカの影響を受けやすい環境といえること，南向き斜面の下部では，土壌侵食が流路への土砂供給に寄与するおそれがあることが推定された。

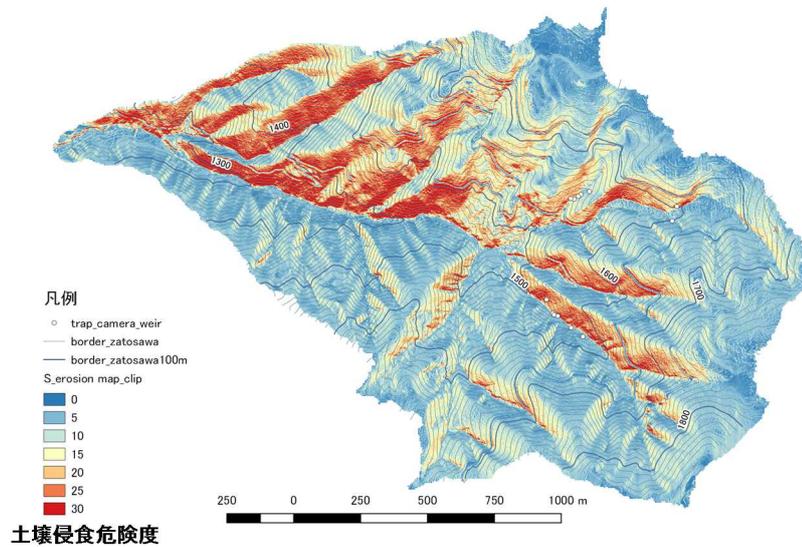


図3 シカの影響による土壌侵食危険度マップ

## ⑥研究成果（つづき）

### 3.4. シカの増加が流域の土砂流出に及ぼす影響の長期的評価

シカの増加が流域の土砂流出に及ぼす影響を過去に遡って長期的に評価するために，砂防ダム堆積物の分析や空中写真の判読を行った。1948年以降現在まで16回撮影された空中写真から，座頭沢砂防堰堤の堆砂状況と植生侵入状況の推移をみると，1988年には満砂し，2000年には堆砂地に植生が侵入していることが読み取れる。座頭沢を含む山室川流域では，1982年（昭和57年）台風10号および1983年（昭和58年）台風10号による土砂災害が発生していることから，1988年にはほぼ満砂したと考えられる。さらに，2000年以降は植生が安定して生育していることから，流路が固定されたものと考えられる。流路が固定された後は，平時時には土砂は堆積せず，洪水時のみ土砂が氾濫・堆積することがあると考えられる。

次に，砂防堰堤に堆積した土砂を表層から深度70cmまで3～5cmごとに採取し，Cs-137（セシウム137）濃度，Pb-210（鉛210）濃度，炭素・窒素含有率，CN比，粒径組成を調べた（図4）。その結果，表層から20cm以深ではCs-137が低い濃度で一定の値を示し，炭素含有率が極めて低い値を示した。また，砂・礫の割合は顕著に高かった。これらの結果から，表層から20cm以深が，崩壊や土石流由来の土砂（有機物の少ない下層土由来の土砂）が堆積した層（1983年台風10号災害による土石流やその後の土砂流出）である可能性が考えられた。

一方、堆積物表層から深度20cmまでの層では、Cs-137濃度・炭素含有率・CN比が比較的高く、シルト・粘土の割合が顕著に高かった。Pb-210は堆積年代の推定に用いられる放射性同位体であるが、本研究の試料はPb-210濃度が低く、多くの層で検出できなかったために、堆積年代や堆積速度を推定することはできなかった。堆積物の分析結果は、座頭沢流域では近年（堆砂地の植生が安定した2000年以降）、流域の表土由来の土砂の割合が多いと考えられた。

表面侵食由来の土砂の割合が相対的に増加したのは、流域の崩壊地が減少し、土砂生産・流出における表層崩壊・土石流の寄与が減ったことが主要因と考えられるが、それに加えて、1990年代以降にシカが急増したことや、1990年に流域内のカラマツ人工林が列状に間伐され、シカの好む草地的環境が増加したこと、それにともないササ等下層植生の衰退も寄与している可能性が考えられた。

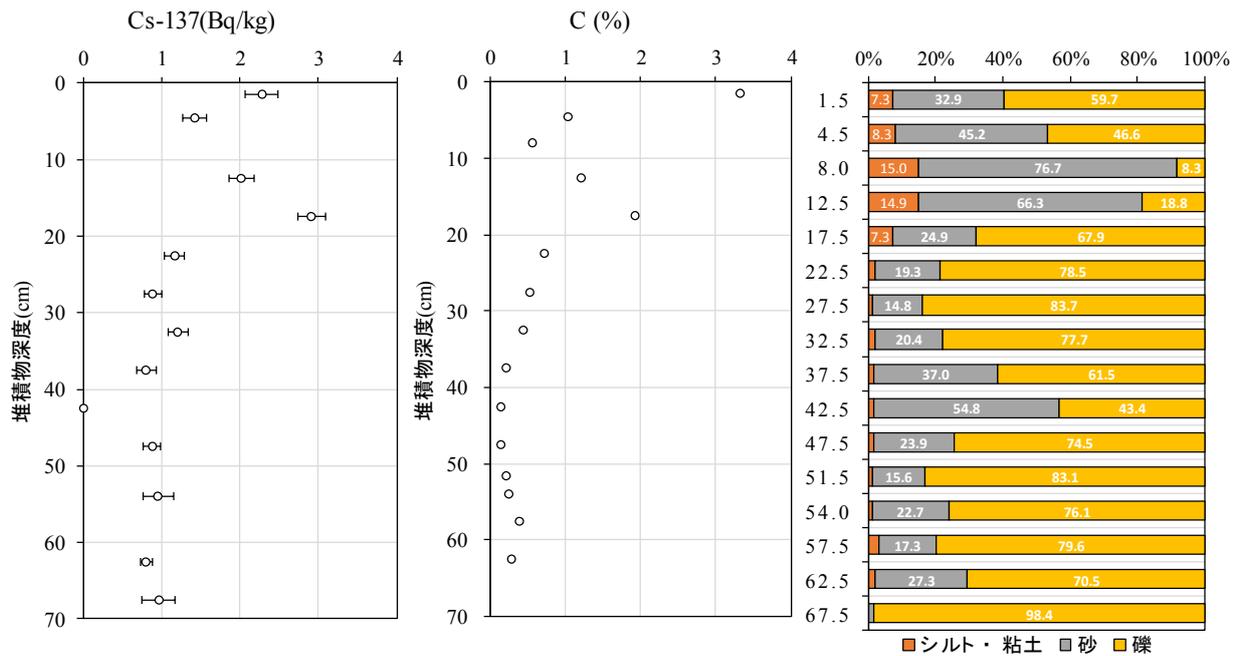


図4 砂防堰堤堆積土砂のセシウム137濃度，炭素含有率，粒径組成の深度分布

## ⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・これまでに発表した代表的な論文
  - ・著書(教科書, 学会妙録, 講演要旨は除く)
  - ・国際会議, 学会等における発表状況
  - ・主要雑誌・新聞等への成果発表
  - ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
  - ・究開発成果としての事業化, 製品化などの普及状況
  - ・企業とのタイアップ状況
  - ・特許など, 知的財産権の取得状況
  - ・技術研究開発成果による受賞, 表彰等)
1. 福山泰治郎, 椎葉秀作, 大森秀人, 平松晋也, 加瀬慶典, 菊池将人, 花岡正明 (2017) シカの踏圧が山地斜面の水・土砂流出に及ぼす影響, 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, 48-49.
  2. 花岡正明, 椎葉秀作, 中谷洋明, 大森秀人, 杉山和也, 福山泰治郎, 竹田謙一, 平松晋也 (2017) 天竜川上流におけるシカ食害・獣害による土砂流出への影響, 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, 324-325.
  3. Taijiro Fukuyama, Shinya Hiramatsu, Keisuke Kase, Masato Kikuchi, Shusaku Shiiba, Hideto Ohmori, Masaaki Hanaoka (2017) Impact of increase in Sika deer (*Cervus Nippon*) on infiltration rate and soil erosion on forested hillslope, Proceedings of seventh international conference – GEOMATE 2017, Geotechnique, construction materials and environment, 571-576.
  4. 菊池将人, 福山泰治郎, 平松晋也 (2018) 流域の土砂生産環境に及ぼすニホンジカの影響に関する現象論的考察, 平成30年度砂防学会研究発表会概要集, 211-212.
  5. 花岡正明, 椎葉秀作, 岡村修, 杉山和也, 福山泰治郎, 竹田謙一, 平松晋也 (2018) 天竜川上流におけるシカ食害・獣害による土砂流出への影響調査について, 平成30年度砂防学会研究発表会概要集, 355-356.

## ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ, マスメディア, 公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL, 新聞掲載は新聞名, 掲載日等, 公開イベントは実施日, テーマ, 参加者数等を記入下さい。)

該当なし

### ⑨表彰，受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞，学会等の技術開発賞，優秀賞等を記入下さい。)

該当なし

### ⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ，研究の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた，研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究の結果，シカの密度増加が森林流域の土壤侵食を加速させるプロセスが明らかになってきた。シカが林床植生を採食することで地表を被覆する下層植生が衰退すると，雨滴が地表に直達することになる。また，地表被覆の衰退は地温の変動を増幅するため，凍上と融解のサイクルが増加し，表土の団粒構造が破壊されることになる。このような構造破壊はシカの踏圧増加によっても引き起こされると考えられ，シカの高密度化にともなって土砂生産が活発化することになると考えられた。このような状況は，たとえば間伐遅れのヒノキ人工林で下層植生が衰退し，表面侵食が増加するのと同様に，森林に覆われた流域でも，シカの採食圧が高い条件下では，下層植生が衰退して土砂生産のポテンシャルが増加することを示唆している。したがって，土砂生産源対策としてシカの密度管理や森林の整備，そのために必要な林道の整備も重要と考えられる。

本研究の実施期間では，シカの採食圧にともなう斜面の植生衰退と土壤侵食が，いつどのように溪流に到達し，流出土砂となるかまでは明らかにできなかった。砂防ダム堆積物の分析から，近年表土流出の割合が増えている傾向がみられるものの，シカがどれだけ増加すれば何年後に表土流出がどの程度増加するかまでは明らかでない。これらの点は，他の分析手法や長期的な観測などによる解明が必要となる。

### ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等，砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

砂防河川流域は高標高域までを含み，気象・地形条件が厳しいことが多い。その場合，植生が一度失われると荒廃が加速され，回復が困難になると考えられる。地表攪乱にともなって流域からの表土流亡が促進されると，河床に不安定な土砂が増大するのに加え，濁水の発生や，河床構成材料や水質の変化を引き起こし，下流生態系にも影響が及ぶ恐れがある。

シカが林床植生を採食することで地表を被覆する下層植生が衰退すると，雨滴が地表に直達することになる。また，地表被覆の衰退は地温の変動を増幅するため，凍上と融解のサイクルが増加し，表土の団粒構造が破壊されることになる。このような構造破壊はシカの踏圧増加によっても引き起こされると考えられ，シカの高密度化にともなって土砂生産が活発化することになると考えられる。

したがって，山地流域でシカの影響を適正に評価することは，流域の土砂生産源対策を効率的に実施する上で重要と考えられる。土砂生産源対策としては山腹工以外にもシカの密度管理や森林の整備，そのために必要な林道の整備も重要と考えられる。